

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département d'Electronique*

# *Mémoire*

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**FILIERE : Télécommunications**

**Spécialité : Systèmes des Télécommunications**

Par

- **Haouari Raniya**
- **Kermiche Ihsane**

*Intitulé*

***Déploiement des WSN par l'approche (BIM) dans  
les Smart- Building -IoT/M2M***

*Soutenu le : .....*

*Devant le Jury composé de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. salih AIDEL</i>	<i>Professeur</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mlle. DJEHAICHE Rania</i>	<i>Doctorante</i>	<i>Co_Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.</i>	<i>....</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2022/2023*

## ***REMERCIEMENTS***

En préambule ce mémoire nous remercions et glorifions ALLAH le tout  
Puissant et miséricordieux pour la santé, le courage, la volonté, la force et patience  
Qu'il nous a donné durant toute la période d'étude.

Nous tenons à remercier vivement notre encadreur Monsieur le Professeur  
'**AIDEL Salih**' d'avoir accepté de nous guider tout le long de ce travail, et pour sa  
Grande disponibilité, sa patience, ainsi que pour la générosité avec laquelle il a su  
Partager ses connaissances et conseils.

Nos remerciements la plus respectueuse s'adressent à notre Co-encadreur Mlle  
'**DJEHAICHE Rania**' pour ses conseils judicieux, et pour ses précieuses remarques et  
Son soutien.

Nous tenons à citer dans ces remerciements les membres du jury qui ont bien voulu  
Examiner et juger notre travail.

Nous exprimons également notre remerciement, pour nos parents, nos familles, nos  
Enseignants et collègues à l'Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim et  
Spécialement nos collègues de la promotion master 2 systèmes des télécommunications.  
Et tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réussite de ce travail trouvent à  
Travers ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude pour leur soutien  
Et leurs encouragements de tous les instants. On vous en remercie chaleureusement.

Enfin, je tiens à rendre hommage à la personne la plus respectable **M. Moussa Benchenouf**.

Votre aide précieuse a été essentielle pour moi, et je suis reconnaissant(e) pour tous les  
conseils et les encouragements que vous m'avez donnés. Votre présence a été un véritable  
atout pour moi, et je ne saurais jamais assez vous remercier pour tout ce que vous avez fait.

# Dédicace

Nous dédions ce modeste travail

A nos chers parents qui nous ont  
beaucoup aidés et encouragés durant toutes  
nos années d'études

A nos chers frères et mon  
marie et mes sœurs Et  
mes amis

Ymen herriche, lakhdhari  
marwa, madoui nada

A tous nos professeurs, enseignants et notre  
directeur de mémoire

**RANIYA**

# Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De  
m'avoir donné la force et le courage de mener à  
bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur  
amour, leur tendresse, leur soutien et Leurs prières  
tout au long de mes études.

A Toute ma famille et mon fiancé.

A tous mes amis et spécifiquement mes Chéries :

KHAWLA, DINA, NADA et ma copine de  
chambre BOUTHAYNA.

A tous nos professeurs, enseignants, collègues, et à  
tous ceux qui nous ont aidés, même s'il s'agissait  
d'une aide morale Pendant notre parcours

A Tous ceux qui me sont chers ...

**IHSANE**

# Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Table des matières	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Liste des acronymes	
Introduction générale.....	1
<b>CHPITRE I: Concepts fondamentaux des Réseaux IOT/M2M</b>	
I .1. Introduction.....	3
I .2. La communication M2M .....	3
I .2.1. Définition .....	3
I .2.2. Historique .....	4
I .2.3. Les Normes de M2M.....	4
I .2.3.1. ETSI (European Télécommunications Standards Institute) .....	4
I .2.3.2. 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) .....	5
I .2.4. Fonctionnement et architectures du réseau M2M .....	6
I.2.4.1. Fonctionnement .....	6
I .2.4.2. Architecture .....	7
I.2.5. Les cartes SIM M2M.....	8
I .2.6. Le protocole IPV6 .....	8
I .2.6.1. Des types de formats d'adresse IPv6.....	9
I .2.6.2. L'en-tête et l'adressage dans IPv6 .....	9
I .2.7. La topologie de la communication M2M.....	9
I .2.7.1. Les réseaux WAN/FAN dans les réseaux M2M .....	10
I.2.7.2. Les réseaux HAN/NAN/LAN dans les réseaux M2M .....	10
I .2.8. La sécurité du M2M (Machine to Machine) .....	10
I .3. Les réseaux de communication IoT .....	11
I .3.1. Définition .....	11
I .3.2. L'objet connecté .....	11
I .3.3. Les éléments d'IoT .....	12
I .3.4. L'évolution d'Internet et de son impact dans le monde.....	13
I .3.5. Domaines d'application de l'Internet des objets .....	13
I .3.6. Technologies d'IoT .....	15
I .3.6.1 Les technologies de courte portée .....	16
I .3.6 .2. Les technologies de moyenne portée.....	16

---

## TABLE DES MATIERS

---

I .3.6.3. Les technologies de longue portée.....	16
I .3.7. Les caractéristiques de l’IoT .....	18
I .3.8. Conclusion .....	19
CHAPITRE II :L’intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)	
II.1. Introduction .....	21
II.2. Présentation du smart building .....	21
II .2.1. Définition .....	21
II .2.2. Systèmes intelligents.....	22
II .2.3. Aperçu historique sur le concept du bâtiment intelligent .....	22
II .2.4.1 Automatisation des Smart Buildings .....	23
II .2.4.1. Génération de données .....	24
II .2.4.2. Transformation et stockage des données.....	24
II.2.4.3. Consommation de données.....	25
II .2.5. La gestion technique d'un bâtiment intelligent .....	25
II .2.6. Les nouvelles technologies de l’information et de la communication .....	27
II .2.7. Le smart building comme environnement de travail .....	28
II .2.8. Les avantages du smart building.....	28
II .3. L'application du BIM dans la modélisation des bâtiments intelligents .....	29
II .3.1. Définition du BIM.....	29
II .3.2. Historique du BIM .....	30
II .3.3. La différence entre BIM et CAO .....	31
II .3.4. Fonction de BIM .....	32
II .3.5. Une maquette numérique .....	33
II.3.5.1. Maquettes numériques de bâtiments existants .....	33
II .3.5.3. Scanner laser terrestre .....	34
II .3.6. Les dimensionnement de BIM .....	35
II.3.7. Les niveaux de détail de BIM .....	36
II .4. L'intégration des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les Smart Buildings .....	37
II .4.1. Définition d’un capteur sans fils (RCSF).....	37
II.4.2. Architecture d’un réseau de capteur sans fils .....	38
II .4.3. Types de réseaux de capteurs sans fil .....	39
II .4.3.1. Le model dynamique de réseau .....	39
II .4.3.2. Le model de délivrance de données .....	39
II .4.4. Classification des Réseaux Sans Fil.....	39
II.4.4.1. Classification selon la zone de couverture .....	40
II .4.4.2. Classification selon l'infrastructure .....	41
II .4.5. Domaines d’applications des RCSF.....	44
II .4.5.2. Applications à la surveillance .....	45

---

## TABLE DES MATIERS

---

II .4.5.3. Applications environnementales .....	45
II .4.5.4. Applications médicales .....	45
II .4.5.5. La domotique .....	45
II .4.5.6. Applications commerciales .....	46
II .4.6. Caractéristiques des RCSF.....	46
II .7. Conclusion.....	47
CHAPITRE III : Approche (BIM) dans les Smart- Building -IoT/M2M	
III .1. Introduction .....	50
III .2. Le but de ce projet.....	50
III .3. Le serveur de système.....	51
III .3. 1. La carte Arduino UNO .....	51
III.4. Les composants .....	53
III .4.1. Les types des capteurs utilisés .....	53
III .4.2. Les actionneurs.....	54
III .4.4. Liste des capteurs .....	58
III .5. Logiciels utilisés.....	59
III .5.1. ISIS Proteus .....	59
III .5.2. Le logiciel Arduino IDE .....	60
III .6. Présentation de la simulation.....	60
III .6.1. La description de chaque partie .....	60
III.6.2. Zoom sur le branchement .....	62
III .6.3. Résultats.....	62
III .7. Conclusion.....	65
Conclusion générale.....	66
Références Bibliographique : .....	67

## Résumé

Ce mémoire explore le déploiement des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les bâtiments intelligents en utilisant l'approche Building Information Modeling (BIM) et les technologies IoT/M2M. L'objectif est d'améliorer la gestion des bâtiments intelligents et diminuer l'énergie en même temps en intégrant des capteurs sans fil pour la collecte de données en temps réel. Le mémoire examine les avantages de l'approche BIM dans le processus de déploiement des WSN, notamment la modélisation virtuelle des bâtiments, la coordination multidisciplinaire et la visualisation des données. Des études de cas et des simulations sont réalisées pour évaluer l'efficacité de l'approche proposée.

### Mots clés

WSN, BIM, IoT/M2M, réseaux de capteurs sans fil, bâtiments intelligents, Building Information Modeling, gestion des bâtiments intelligents, capteurs sans fil, diminuer l'énergie.

### Abstract

This paper explores the deployment of wireless sensor networks (WSN) in smart buildings using the Building Information Modeling (BIM) approach and IoT/M2M technologies. The goal is to improve smart building management and reduce energy at the same time by integrating wireless sensors for real-time data collection. The brief examines the benefits of the BIM approach in the WSN deployment process, including virtual building modelling, multidisciplinary coordination and data visualization. Case studies and simulations are conducted to assess the effectiveness of the proposed approach.

### Keywords:

WSN, BIM, IoT/M2M, Wireless Sensor Networks, smart buildings, Building Information Modeling, integrating wireless sensors, management of smart buildings, reduce energy .

### ملخص

نهدف في هذه المذكرة الى نشر شبكات الاستشعار اللاسلكية (م2م) في المباني الذكية باستخدام نهج نمذجة معلومات المباني (بيم) وتقنيات (م2م) أ (او تي) الهدف هو تحسين إدارة المباني الذكية وتقليل الطاقة في نفس الوقت من خلال دمج المستشعرات اللاسلكية لجمع البيانات في الوقت الفعلي . فنناقش في هذا العمل فوائد (بيم) في عملية نشر (ففسن)، بما في ذلك النمذجة الافتراضية للمباني ، التنسيق المتعدد التخصصات وتصور البيانات. ومن اجل هذا نجري دراسات حالات وعمليات محاكاة لتقييم فعالية النهج المقترح

### : الكلمات المفتاحية

شبكات الاستشعار اللاسلكية، المباني الذكية، نمذجة معلومات البناء، دمج أجهزة الاستشعار اللاسلكية، إدارة ، WSN, BIM, IoT/M2M المباني الذكية. تقليل الطاق

# Liste des figures

Figure 1.1 : M2M machine à machine logos .....	4
Figure 1.2 : De la situation des « silos » existants vers un cadre applicatif standardisé générique .....	5
Figure 1.3 : La structure du 3GPP .....	6
Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de communication M2M .....	6
Figure 1.5 : Exemple de carte SIM M2M .....	8
Figure 1.6 : Format d'un datagramme IPv6.....	9
Figure 1.7 : Topologie de communication M2M .....	10
Figure 1.8 : Quelques systèmes d'IoT .....	11
Figure 1.9 : Les composants essentiels de la technologie d'IoT .....	12
Figure 1.10 : L'Evolution des objets connectés .....	13
Figure 1.11 : Domaines d'application de l'IOT .....	13
Figure 2.1 : Exemple des différents processus utilisés dans un Smart Building .....	21
Figure 2.2 : Schéma de fonctionnement d'un système intelligent .....	22
Figure 2.3 : Architecture IoT basée sur le cloud montré sur un exemple des capteurs d'humidité et de température .....	23
Figure 2.4 : La gestion technique d'un bâtiment intelligent.....	26
Figure 2.5 : Historique du BIM .....	30
Figure 2.6 : Les différences entre CAO et BIM .....	31
Figure 2.7 : Champ d'action du BIM .....	32
Figure 2.8 : Maquette numérique .....	33
Figure 2.9 : Acquisition de façade au scanner laser et au tachéomètre sans réflecteur .....	34
Figure 2.10 : les dimensions du BIM .....	35
Figure 2.11 : Les niveaux de détail de BIM .....	35
Figure 2.12 : Croquis d'une base de poteau dans différent de niveau .....	36
Figure 2.13 : capteurs sans fils .....	37
Figure 2.14 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.....	37
Figure 2.15 : Classification des réseaux sans fil.....	39
Figure 2.16 : Classification des réseaux sans fil suivant leur taille.....	39
Figure 2.17 : Catégories de Réseaux sans fil.....	40
Figure 2.18 : Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.....	41
Figure 2.19 : Exemple de réseau Ad-Hoc .....	42
Figure 3.1 : Les composants de la carte Arduino UNO .....	49
Figure 3.2 : Détecteur de lumière .....	54
Figure 3.3 : Photovoltaïque .....	54
Figure 3.4 : Ventilateur FAN .....	55
Figure 3.5 : Afficheur LCD avec I2C.....	55
Figure 3.6 : Résistance .....	55
Figure 3.7 : LED.....	55
Figure 3.8 : Chauffage (Heater) .....	56
Figure 3.9 : DHT11 .....	56
Figure 3.10 : Détecteur de mouvement PIR.....	56
Figure 3.11 : Capteur de courant ACS712 .....	57
Figure 3.12 : La fenêtre principale et La barre d'outils du logiciel Proteus 8.....	58
Figure 3.13 : Interface du logiciel Arduino IDE. ....	59
Figure 3.14 : Connexion des composants avant la simulation .....	60
Figure 3.15 : Les résultats sur proteus.....	62
Figure 3.16 : L'affichage de température et humidité sur LCD .....	63
Figure 3.17 : la température captée par DHT11 plus de 25 C° .....	64
Figure 3.18 : L'affichage de capteur de courant sur LCD.....	65

## **Liste des Tableaux**

Tableau 1 : Quelques caractéristiques techniques des différentes technologies d'IoT_ .....	17
Tableau 2 : Types de modifications nécessaires et d'équipements adaptés .....	27
Tableau 3 : Les avantages du smart building .....	29
Tableau 4 : Caractéristiques de la carte Arduino UNO_.....	51

# Liste des acronymes

2G : 2<sup>ème</sup> Génération de téléphonie mobile.

3G : 3<sup>ème</sup> Génération de téléphonie mobile.

3GPP:3GPP the 3rd Generation Partnership Project.

4G : 4<sup>ème</sup> Génération de téléphonie mobile.

5G : 5<sup>ème</sup> Génération de téléphonie mobile.

6LoWPAN : réseaux personnels sans fil de faible puissance.

BIM: Building information modelling.

BLE: Bluetooth basse énergie.

BMS: Building Management System

BS: Base Station

BT : Base Transceiver

CAO : Construction Assistée par Ordinateur.

ETSI : European Telecommunications Standards Institute.

GND: Ground (mass).

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Global System for Mobile.

GTB : Gestion Technique du Bâtiment

IA : l'intelligence artificielle

IDE: Interated Developement Environment.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IMC: l'International Machine to Machine.

IoT: Internet of Things.

IP : Internet Protocol.

IPV6 : Internet Protocol version 6.

ISIS : logiciel permet également de simuler ces schémas.

LAN: Local Area Network

LCD: Liquid Crystal Display.

---

## Liste des acronymes

---

LED : Lighting emitting Diode.

LoRaWAN : Le réseau étendu à longue portée.

LPWAN: Low-Power Wide Area Network.

LTE: Long Term Evolution.

M2M: Machine to machine.

NFC : Near field communication.

NTIC : Nouvelles technologies de l'information et de la communication.

PAN: Personal Area Network

PIR: Passive infrared sensor.

Proteus Professional : logicielle destinée à l'électronique.

PWM: Pulse Width Modulation.

RFID: Radio Frequency Identification.

SIM: Subscriber Identity Module.

SMS: Short Message Service.

TCP: Transmission Control Protocol.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

USB: Universal Serial Bus.

V: Volt

VCC: Voice call continuity.

VDI : Voix, Données, Images VIN Volt In.

WAN: Wide Area Network

WAN: Wide area network.

WIFI: Wireless fidelity.

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

WLAN: Wireless Local Area Network.

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network.

WPAN: Wireless Personal Area Network.

WSN: Wireless Sensor Networks.

WWAN: Wireless Wide Area Network.

### Introduction générale

Ce mémoire examine le déploiement des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les Smart Buildings en utilisant l'approche du Building Information Modeling (BIM) et de l'Internet des objets (IoT) / Machine-to-Machine (M2M). Le document se compose de trois chapitres principaux.

Le premier chapitre aborde les concepts fondamentaux des réseaux IoT/M2M. Il explore les principes et les caractéristiques des réseaux IoT/M2M, en mettant l'accent sur la connectivité des appareils et des capteurs au sein d'un environnement intelligent. Les technologies et les protocoles de communication utilisés dans les réseaux IoT/M2M sont également examinés, ainsi que les défis liés à la sécurité, à l'interopérabilité et à la gestion des données.

Le deuxième chapitre se concentre sur l'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM). Il explore les avantages de l'utilisation des WSN dans les bâtiments intelligents, tels que la collecte de données en temps réel, la surveillance de l'environnement et l'optimisation des performances énergétiques. L'approche du BIM est présentée comme un moyen de modéliser et de gérer les informations du bâtiment, permettant une intégration plus efficace des WSN. Les méthodologies et les normes liées au BIM et aux WSN sont également discutées.

Le troisième chapitre examine plus en détail l'approche du BIM dans les Smart Buildings - IoT/M2M. Il présente des études de cas et des exemples concrets de déploiement des WSN dans les bâtiments intelligents en utilisant le BIM. Les avantages, les défis et les meilleures pratiques de cette approche sont analysés, en mettant l'accent sur les domaines tels que la surveillance de l'environnement, la gestion de l'énergie, la sécurité et le confort des occupants. Des recommandations sont également formulées pour améliorer l'efficacité et la performance des bâtiments intelligents en intégrant les WSN par le biais du BIM.

En résumé, ce mémoire explore l'intégration des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les Smart Buildings en utilisant l'approche du Building Information Modeling (BIM) et de l'Internet des objets (IoT) / Machine-to-Machine (M2M). Il examine les concepts fondamentaux des réseaux IoT/M2M, la modélisation des informations du bâtiment (BIM) et les avantages de l'intégration des WSN dans les bâtiments intelligents. L'approche du BIM dans les Smart Buildings - IoT/M2M est étudiée en détail, avec des exemples concrets et des recommandations pour une mise en œuvre réussie.

# **CHPITRE I**

## **Concepts fondamentaux des Réseaux IOT/M2M**

## **I .1. Introduction**

L'Internet des objets (IoT) et le machine-to-machine (M2M) sont considérés comme des paradigmes révolutionnaires, car ils offrent la possibilité de modifier radicalement la façon dont nous interagissons avec notre environnement. Ces technologies permettent à des dispositifs intelligents dotés de capacités variées de communiquer de manière transparente sur l'internet, ce qui peut améliorer considérablement notre qualité de vie. Grâce à ces technologies, nous pouvons être en mesure de contrôler et de surveiller des objets à distance, d'accéder à des données en temps réel et de prendre des décisions plus efficaces. Ces technologies promettent de transformer le monde et de nous offrir de nouvelles possibilités. Ce chapitre explore les principes de base de la communication M2M / IoT, en mettant en évidence les définitions, architectures, fonctionnalités et domaines d'application qui en découlent. Nous examinons également les différences entre le M2M et l'IoT, qui sont souvent confondus mais qui présentent des différences significatives. En outre, nous discutons des avantages et des défis liés à la communication M2M / IoT et évaluons comment ces technologies peuvent être utilisées pour créer des solutions innovantes.

## **I .2. La communication M2M**

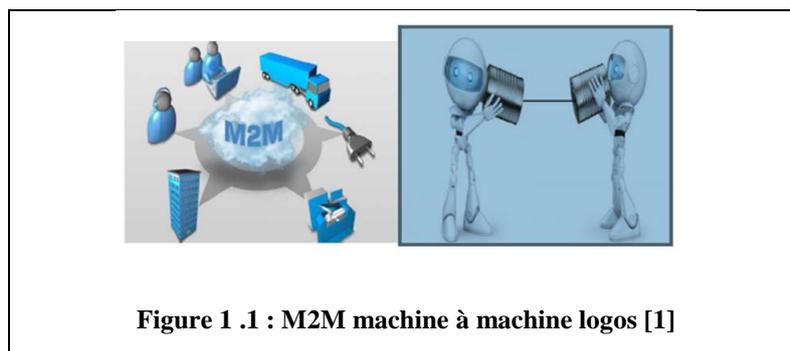
### **I .2.1. Définition**

La technologie "machine à machine" est une forme de communication entre les machines qui leur permet de partager des données et des informations sans aucune intervention humaine ; c'est ce qui explique son nom. Cette technique est devenue de plus en plus complexe et puissante, offrant une variété de possibilités et de nouvelles façons de communiquer et de partager des informations.

Les technologies M2M sont à la base du phénomène appelé Internet des objets (IdO). Grâce à ces systèmes, des dispositifs et des capteurs connectés peuvent communiquer entre eux, créant ainsi une variété de possibilités dans de nombreux domaines d'application. Les systèmes cellulaires sont essentiels pour permettre un déploiement efficace des communications M2M, permettant à des millions d'appareils de communiquer entre eux. [1]

Les technologies cellulaires mobiles offrent aux entreprises une connectivité mondiale aux normes, une installation et une maintenance faciles, ainsi que des déploiements à court terme pour les applications M2M. Avec des avantages tels que des coûts d'exploitation réduits, une meilleure disponibilité et une plus grande flexibilité, les communications cellulaires

mobiles sont la solution idéale pour les entreprises à la recherche d'une connectivité fiable et économique. [2]



### I .2.2. Historique

- La Première utilisation de la communication M2M créditée à Théodore Paraskevakos pour la transmission de données sur des lignes téléphoniques.

-En 2002, Nokia et Opto 22 proposent des services de communication sans fil M2M.

-En 2006, la NASA a utilisé la technologie M2Mi pour transformer une machine intelligente en une machine automatique.

-En 2010, un groupe a commencé à créer un hub machine to machine, et maintenant, Tyntec annonce la disponibilité des services SMS pour les applications M2M.

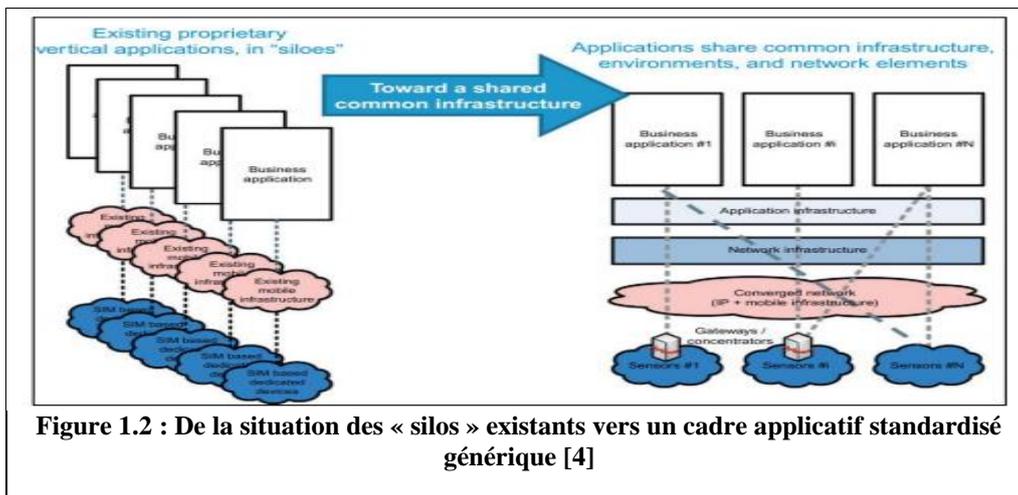
-En avril 2011, Ericsson a acquis la plateforme M2M de Telenor Connexion.

-En mai 2013, l'International Machine to Machine Council (IMC) a été récompensé par quatre nisseurs de prestataires de services pour l'écosystème machine-to-machine. [3]

### I .2.3. Les Normes de M2M

#### I .2.3.1. ETSI (European Télécommunications Standards Institute)

Des organismes de normalisation dans différentes régions du monde ont entrepris des efforts pour normaliser la technologie M2M. Ces efforts ont conduit à l'établissement d'un partenariat de normalisation plus mondial appelé oneM2M. L'objectif de l'initiative M2M est de converger vers une norme internationale unique pour l'initiative M2M ([4]) couvrant les activités des organismes internationaux de normalisation relatives au mouvement M2M. Cette étape est essentielle pour la mise en place d'un cadre unifié unifié pour l'écosystème M2M/IoT. Cela garantit la conformité aux normes établies par l'Institut européen des normes de télécommunications à travers l'initiative oneM2M Global Standards. Cette initiative couvre exigences, architecture, spécifications API, solutions de sécurité et interopérabilité des technologies M2M et IoT.



### I.2.3.2. 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project)

3PP est un consortium créé en 1998 pour identifier les spécifications techniques qui permettent l'exploitation d'équipements de différents fabricants dans les domaines des systèmes de communication mobile. Contrairement à ce que son nom suggère, il non seulement normalise les systèmes 3G, mais précise également les systèmes.

- GSM/GPRS/EDGE

- UMTS (FDD et TDD)

- réseau central LTE et EPC. Son rôle est de maintenir et de développer les spécifications techniques des systèmes [5].

3GPP est un consortium chargé d'identifier les techniques de spécialisation qui permettent l'interopérabilité des équipements de divers fabricants. Il fait partie d'une équipe de coordination utilisée par l'équipe de coordination du projet et de divers ensembles de techniques spécialisées utilisées par l'équipe des spécifications techniques. Contrairement à ce que son nom suggère, la portée des activités 3GPP ne se limite pas à la normalisation des systèmes 3G. Les organismes de normalisation d'une région donnée n'approuvent pas et ne diffusent pas la technique standard sur la base d'un dessin ou d'une région du monde. Les modifications des spécifications approuvées par les groupes de travail sont liées à l'émission, ce qui représente une étape importante dans le développement des systèmes.

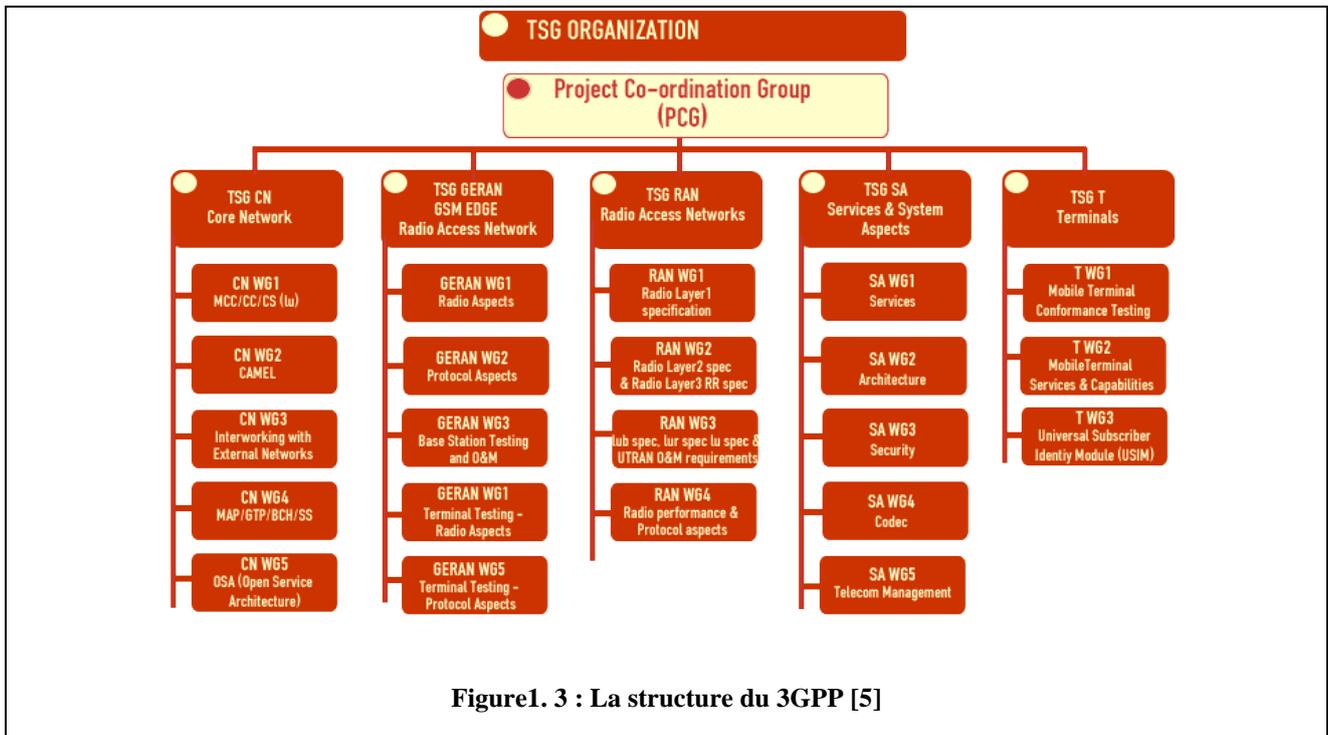


Figure1. 3 : La structure du 3GPP [5]

## I .2.4. Fonctionnement et architectures du réseau M2M

### I.2.4.1. Fonctionnement

Le réseau M2M (Machine-to-Machine) se compose de divers dispositifs tels que des capteurs, des compteurs intelligents, des déclencheurs, etc., qui forment une zone de réseau. Ces appareils sont connectés à des portails de collecte d'informations, puis transférés vers un serveur central ou un nuage pour une analyse plus approfondie. La figure 1.4 ci-dessus représente les composantes de la structure du réseau M2M :

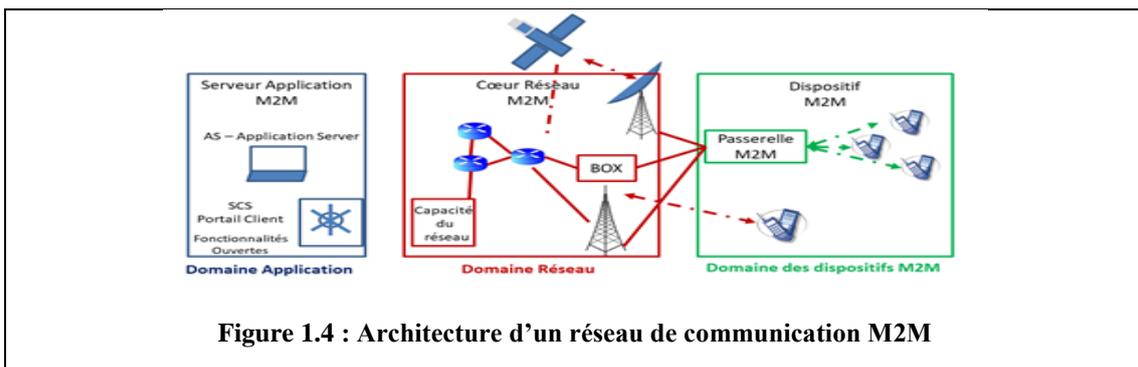


Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de communication M2M

### I .2.4.2. Architecture

L'architecture générale du réseau M2M est spécifiée par l'organisation ETSI, qui est un organisme de normalisation indépendant et à but non lucratif. Elle produit des normes pour l'industrie des TIC et définit les fonctions de base permettant l'échange de données entre objets et serveurs. L'architecture est basée sur un ensemble de fonctions logicielles déployées dans le Framework.

### A. Les utilisateurs et les équipements

(Tels que des capteurs de position ou des photocopieurs d'entreprise) interagissent avec ces fonctions pour échanger des données entre objets et serveurs. [6]

### B. Domaine d'appareil M2M

- **B.1 Objet intelligent** : Capteur, actionneur capable de transmettre des données de manière autonome. L'appareil (devis) peut se connecter au domaine de réseau de trois méthodes :

-**La première méthode de connexion** : la connectivité directe dont l'appareil M2M se connecte à la plate-forme de service M2M directement via une connexion de réseau étendu (WAN) (3G / 4G). [7]

-**La deuxième méthode de connexion** : le périphérique M2M se connecte au domaine de réseau via une passerelle M2M (M2M Gateway).

-**La troisième méthode de connexion** : une extension de la seconde et inclut plusieurs passerelles. [8]

- **B.2. Passerelle M2M** : La passerelle M2M collecte et traite les données, simplifie l'utilisation des périphériques M2M et gère leur configuration.

-**B.3. Réseaux local M2M (M2M area network)** : Qui permet la connectivité entre les périphériques et les passerelles M2M. Il est préférable d'utiliser un réseau local M2M lorsque le coût est un facteur important. Différentes technologies de réseau personnel WPAN peuvent être utilisées pour permettre la communication entre les appareils.

### C. Domaine de réseau (network Domain)

**C.1. Réseaux de communication M2M** : Assurent la connectivité entre les passerelles et les applications M2M, utilisant différentes technologies de communication telles que LTE, WiMax, WLAN, etc.

**C.2. La plate-forme M2M** : Est un ensemble d'outils qui permettent la gestion et l'exploitation des objets connectés. Elle inclut notamment des fonctionnalités de gestion de files d'attente et d'archivage des messages échangés.

### D. Domaine d'application

Les applications M2M seront basées sur les actifs infrastructurels fournis par l'opérateur

### E. Système d'information d'entreprise

Pour l'intégration de la solution M2M dans le système d'information d'une entreprise, deux cas de figure peuvent se présenter :

Dans le premier cas, le middleware de la plate-forme de services assure la connectivité avec les applications spécifiques de l'entreprise.

Dans le deuxième cas, la solution M2M peut proposer une interface de visualisation des échanges, sans interaction avec le reste du système d'information.

### I.2.5. carte SIM M2M

Puces destinées aux objets liés professionnels des industriels [9] et aux projets. Ils comprenant un microcontrôleur à mémoire qui a la capacité de stocker des données ou des programmes et de les transmettre à travers un réseau particulier. Par opposition aux cartes SIM grand public.

Les cartes SIM M2M sont multicanaux (données, voix, SMS) et peuvent utiliser plusieurs réseaux (2G, 3G ou 4G) pour les appareils mobiles comme les smartphones et les tablettes pour assurer la meilleure connectivité possible.



Figure 1.5 : Exemple de carte SIM M2M [9]

### I.2.6. Le protocole IPV6

Malgré le nombre croissant d'utilisateurs sur Internet et la demande d'espace d'adressage qui en résulte, IPv6 est un protocole de couche réseau fondamental conçu pour faciliter la communication de bout en bout entre les interfaces réseau. [10]

#### I.2.6.1. Des types de formats d'adresse IPv6

-Unicast : une seule adresse d'identification d'interface. L'interface désignée par une adresse unicast reçoit les paquets transmis à cette adresse.

-Anycast : ensemble d'interfaces identifiées par une adresse. Selon les protocoles de routage, les paquets envoyés à une adresse unicast sont livrés à l'une des interfaces indiquées par cette adresse, généralement la plus proche.

-Multicast : Une adresse multicast désigne un groupe d'interfaces. Toutes les interfaces désignées par une adresse multicast reçoivent des paquets transmis à cette adresse.

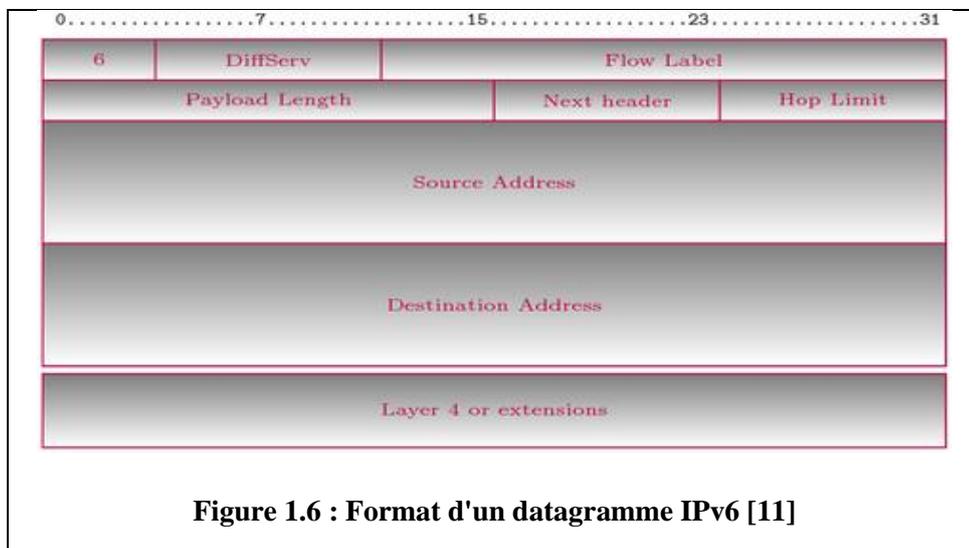
### I.2.6.2. L'en-tête et l'adressage dans IPv6

-Dans IPv6, les extensions ont pris la place du champ d'option qui a causé une taille d'en-tête IPv4 variable et a permis une taille d'en-tête fixe. [11]

Entre les couches 3 (IP) et 4 (UDP, TCP), les extensions sont un type de protocole intermédiaire.

-IPv6 permet de nombreux niveaux de hiérarchies d'adressage et un plus grand nombre de nœuds adressables car il utilise des adresses 128 bits plutôt que les adresses IPv4 32 bits.

La configuration automatique des adresses est facilitée avec les adresses \_IPv6.

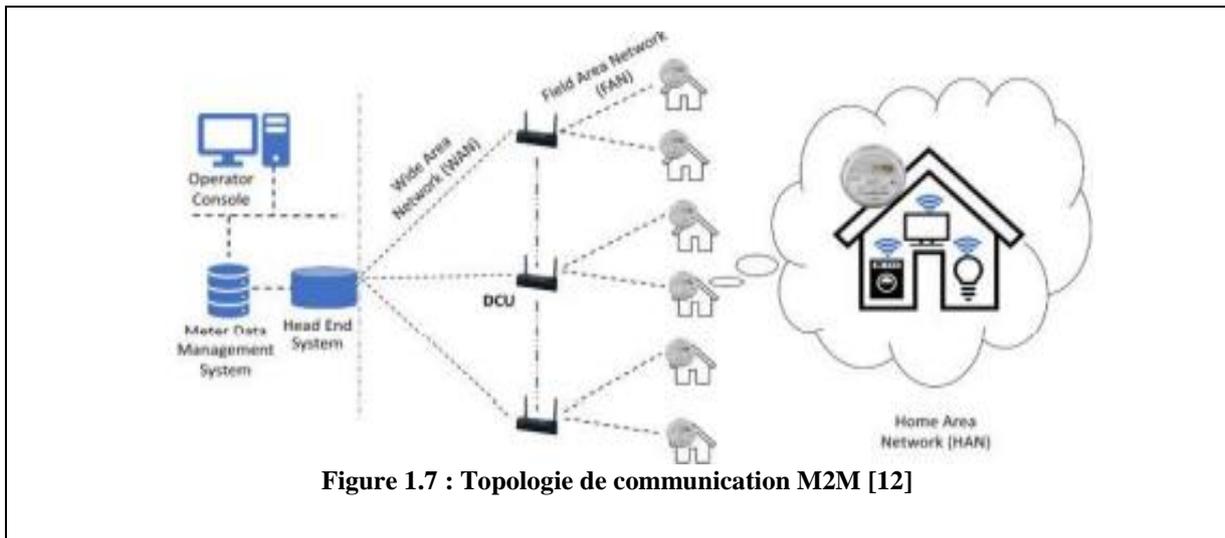


**Figure 1.6 : Format d'un datagramme IPv6 [11]**

### I.2.7. La topologie de la communication M2M

Le scénario le plus typique comprend une connexion à distance entre les appareils sur le terrain et un serveur central, mais certaines technologies M2M permettent une communication locale entre deux unités ou plus [6]. Cette topologie peut être modifiée pour intégrer une passerelle M2M qui peut consolider la communication entre de nombreux appareils et le serveur principal et, si nécessaire, traduire les protocoles. La figure illustre la topologie de communication M2M. Un réseau M2M se compose généralement des éléments suivants :

Réseau de terrain (FAN), réseau de quartier (NAN), réseau à longue portée (WAN), HAN et LAN.



**Figure 1.7 : Topologie de communication M2M [12]**

### **I .2.7.1. Les réseaux WAN/FAN dans les réseaux M2M**

Utilisez les technologies cellulaires M2M comme 2G/3G/4G/5G pour permettre une communication longue portée dans le réseau M2M. Ces technologies sont cruciales pour permettre une communication fiable et sécurisée entre les dispositifs connectés sur de vastes zones géographiques.

### **I.2.7.2. Les réseaux HAN/NAN/LAN dans les réseaux M2M**

Utilisent des capteurs et actionneurs sans fil à grande échelle pour surveiller et contrôler les dispositifs connectés sur de courtes distances. Ces capteurs sont installés dans un réseau M2M standard et permettent la collecte de données, l'automatisation de processus et la mise en œuvre d'autres fonctionnalités essentielles du réseau M2M.

Ces capteurs jouent un rôle important dans la réalisation de différentes fonctionnalités disponibles dans le réseau M2M. [12]

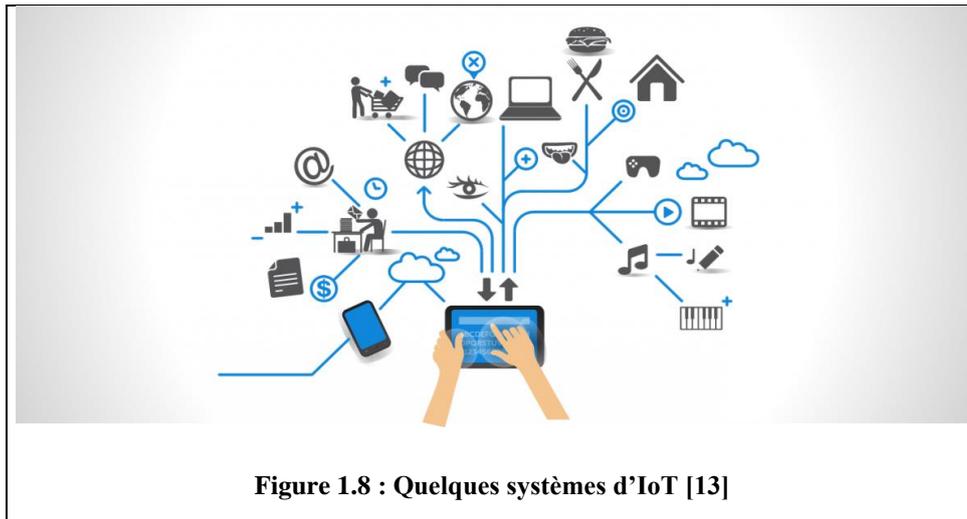
### **I .2.8. La sécurité du M2M (Machine to Machine)**

Est un ensemble de mesures visant à protéger les systèmes de communication entre machines contre les différents risques de sécurité non-autorisés, fraude, intrusion sans fil, piratage de périphérique, la confidentialité et l'exposition des applications critiques. Afin d'assurer la sécurité des communications M2M, plus de mesures de sécurité peuvent être déplacées, pas la sécurité physiologique, l'intégration de la sécurité dans les machines, le cryptage des communications, la segmentation de la sécurité M2M sur leur propre réseau, la gestion de l'identité, la confidentialité des données et les disponibilités des périphériques

## **I .3. Les réseaux de communication IoT**

### **I .3.1. Définition**

L'Internet des Objets (IdO) est une révolution technologique dans le domaine de l'informatique et des télécommunications, qui est également connue sous le nom d'Internet of Things (IoT). [13] L'IdO englobe une variété d'équipements et de systèmes de détection tels que les réseaux de capteurs, les dispositifs de lecture, les systèmes de localisation et la communication machine à machine (M2M). [9] Cette révolution est rendue possible grâce à l'évolution constante de l'Internet, des technologies, des logiciels et des protocoles de communication. On peut envisager quelques systèmes d'IoT sur la figure suivante :



### **I .3.2. L'objet connecté**

Est un dispositif qui permet de collecter, stocker, transmettre et traiter des données provenant du monde physique. Ces dispositifs sont uniques et sont directement ou indirectement connectés à Internet via un concentrateur. Il existe deux types d'objets connectés : les objets actifs et les objets passifs. [14]

\*Les objets actifs : peuvent stocker tout ou partie de leur identité et peuvent échanger directement ces informations avec d'autres objets actifs.

\*les objets passifs : l'identité des objets passifs n'est pas directement stockée dans l'objet lui-même, à l'exception de l'identifiant, et nécessite l'utilisation d'une infrastructure tierce capable de stocker cette information.

### **I .3.3. Les éléments d'IoT**

De manière pratique, un projet d'IoT comprend cinq composantes essentielles, à savoir les objets ou capteurs connectés, le réseau, les données collectées par ces objets, les informations déduites de l'analyse de ces données et enfin, les applications d'exploitation qui permettent la visualisation des informations.

\*Les capteurs (les objets) : comme des équipements capables de générer des données et de transmettre des valeurs. Il y a deux types d'objets : les capteurs, qui sont passifs et peuvent seulement générer des données, et les objets actifs, qui ont la capacité de traiter les données

\*Les réseaux de capteurs : le réseau comme l'élément le plus important. [15]

Il est nécessaire d'installer les objets dans une zone de couverture qui doit être alimentée en permanence en énergie

\*Les données : l'importance des données en tant que source de valeurs et leur génération par des objets. Les données sont ensuite stockées dans des bases de données pour permettre une solution performante

\*les informations : sont obtenues par le traitement et l'analyse des données brutes collectées par les objets. Il est important de stocker ces informations dans des bases de données pour une utilisation ultérieure.

\*les applications d'exploitation : sont des interfaces permettant de visualiser les informations traitées et analysées, notamment sous forme de tableaux de bord.



Figure1.9 : Les composants essentiels de la technologie d'IoT [15]

### I.3.4. L'évolution d'Internet et de son impact dans le monde

En 2003, la population mondiale était proche de 6 milliards et environ un demi-milliard d'appareils étaient connectés à Internet [16]. En 2009, l'idée de l'Internet des objets a été lancée et, avec l'apparition des smartphones, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards.

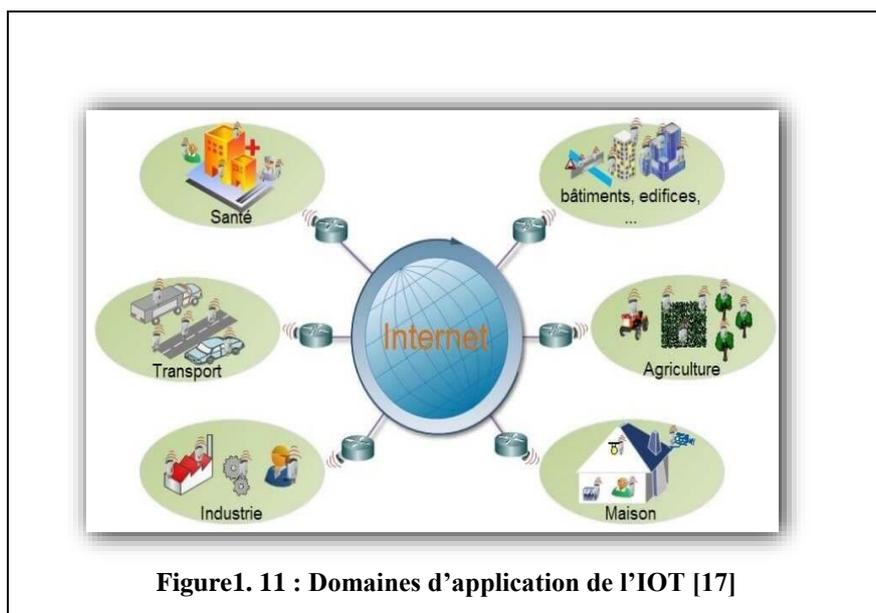
Les experts estiment que d'ici 2020, 50 milliards d'appareils seront connectés à Internet, mais cette estimation ne prend pas en compte les avancées technologiques futures. De plus, il

est prévu que tout ce qui existe, y compris les animaux, les lampes, les maisons, les personnes, les chaussures, les arbres, etc., sera connecté à Internet, ce qui pourrait augmenter le nombre de capteurs connectés de plusieurs millions voire plusieurs milliards.



### I.3.5. Domaines d'application de l'Internet des objets

Domotique, transport, agriculture, environnement, sécurité, etc. L'Internet des objets permet une meilleure gestion des ressources, une automatisation accrue des processus, une surveillance et une analyse en temps réel des données, une amélioration de la productivité et de la qualité de vie. Il offre également de nouvelles opportunités pour l'innovation et la création de nouveaux produits et services. Cependant, il soulève également des questions de sécurité, de confidentialité et d'éthique, qui doivent être prises en compte lors de son déploiement et de son utilisation. L'utilisation de l'IOT permettra le développement de plusieurs applications intelligentes qui toucheront essentiellement ceux qu'on citera dans ce qui suit, nous citons brièvement des exemples d'applications de l'IOT. [17]



**I.3.5.A. La domotique :** regroupe un ensemble de technologies informatiques, électrotechniques et électroniques qui permettent l'automatisation des équipements d'un habitat. Elle transforme une maison en une maison intelligente en intégrant tous les automatismes

nécessaires en matière de sécurité (comme les alarmes), de gestion de l'énergie (optimisation de l'éclairage et du chauffage, etc.), de communication (contacts et discussions avec des personnes extérieures), etc.

**I .3.5. B. Automobile :** Avec la popularité grandissante des véhicules intelligents, la plupart des voitures vendues aujourd'hui sont équipées de capteurs et de moyens de communication pour faire face aux problèmes de circulation, de sécurité et de trafic. L'objectif est de permettre aux véhicules de communiquer de manière autonome avec d'autres voitures ou une station de surveillance pour éviter les accidents, réduire le trafic et sauver des vies. Par exemple, en cas d'accident, la voiture peut demander automatiquement de l'aide et expliquer son emplacement et sa capacité à communiquer avec les utilisateurs. Aujourd'hui, les constructeurs automobiles travaillent sur des projets de véhicules autonomes capables de se déplacer d'un point A à un point B sans aucune intervention humaine.

**I .3.5. C. Santé :** Le secteur de la santé a bénéficié d'un grand nombre d'applications IoT permettant aux patients et à leur médecin de recevoir des informations en temps réel qui étaient auparavant impossibles à obtenir. Un exemple est le médicament connecté *Porteuse Digital Heath* qui est équipé d'un capteur directement intégré dans le corps humain pour suivre les patients à distance. D'autres dispositifs IoT sont également disponibles, tels que des bracelets connectés qui permettent de suivre l'activité physique quotidienne du patient, mesurer le taux de sucre, compter le nombre de pas et les kilomètres parcourus, ainsi que de déclencher une alerte en cas d'anomalie.

**I.3.5. D. L'agriculture :** l'objectif de l'agriculture intelligente qui vise à renforcer les systèmes agricoles, à contribuer à la sécurité alimentaire et à intégrer le besoin d'adaptation et le potentiel d'atténuation dans les stratégies de développement de l'agriculture durable. Pour atteindre cet objectif, les nouvelles technologies telles que l'imagerie satellitaire, l'informatique et les systèmes de positionnement par satellite tels que le GPS sont utilisés, ainsi que des capteurs pour recueillir des informations sur l'état du sol, le taux d'humidité, le taux de sels minéraux, etc. Ces informations sont ensuite envoyées au fermier pour prendre les mesures nécessaires pour garantir une production agricole de qualité.

**I .3.5. E. Les villes intelligentes :** ou *smart cities*, sont en croissance dans les pays qui connaissent une avancée technologique. Des systèmes permettent de contrôler le fonctionnement de la ville, les activités des populations, la gestion des bâtiments et la sécurité. Pour la sécurité, l'internet des objets permet de gérer le trafic dans les lieux de grande affluence, le suivi des caméras de télésurveillance publiques et l'éclairage connecté. Les enjeux d'une ville

connectée sont entre autres l'optimisation des ressources économiques, la gestion de la population et l'assainissement de la ville

**I .3.5. F. IOT dans le domaine du sport :** Les objets connectés ont révolutionné le monde du sport en permettant aux utilisateurs de suivre leur activité physique tout au long de la journée. Les montres et bracelets connectés peuvent calculer le nombre de pas, la distance parcourue, le temps d'activité, les calories brûlées et même le sommeil. Pour les amateurs de haute technologie, cela ouvre de nombreuses opportunités, allant des montres connectées aux téléviseurs connectés en passant par les drones et les Google Glass.

**I .3.5. G. IOT dans le domaine de la sécurité :** Les entreprises de sécurité se positionnent comme des alliés pour les personnes résidant à domicile en fournissant des données sur la consommation d'énergie. Les fournisseurs d'énergie pourront utiliser ces données pour convaincre leurs clients de baisser leur consommation énergétique. Cela pourrait être difficile pour les fournisseurs d'accompagner leurs clients dans cette transition énergétique.

### **I .3.6. Technologies d'IoT**

L'IoT permet de connecter différents objets intelligents via Internet et nécessite plusieurs systèmes technologiques pour fonctionner. L'IoT englobe diverses solutions techniques telles que RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc. qui permettent d'identifier des objets, de collecter, stocker, traiter et transférer des données dans des environnements physiques et virtuels. Bien qu'il existe de nombreuses technologies utilisées dans l'IoT, le paragraphe ne mentionne que certaines d'entre elles

#### **I .3.6.1 Les technologies de courte portée**

\*NFC (Near Field Communication) : les protocoles NFC sont basés sur la technologie RFID qui permet l'identification d'objets équipés d'une puce électronique. Cette technologie fonctionne en utilisant un équipement appelé interrogateur pour détecter l'étiquette RFID des objets à proximité. Le protocole NFC est un standard de communication sans contact à très courte distance, d'environ quelques centimètres, qui permet une communication simple entre deux équipements électroniques

\*Bluetooth : est un protocole de transfert de données sans fil, inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson. Il utilise une bande passante faible, ce qui le rend adapté pour transférer de petites quantités de données sur de courtes distances, et est également peu énergivore. La plupart des téléphones mobiles sont équipés de Bluetooth, permettant la communication entre deux téléphones ou entre un téléphone et un objet connecté différent. Il est utilisé dans diverses

applications telles que les oreillettes pour les discussions téléphoniques sans fil, les montres intelligentes, les moniteurs de fréquence cardiaque, etc.

\*Zigbee : est un protocole de communication radio conçu spécifiquement pour les applications de domotique. Il a une portée moyenne de 100 mètres et utilise une faible bande passante, ce qui en fait une option idéale pour le transfert de données en faible volume. Zigbee est peu énergivore et adapté pour les échanges de données à bas débit, ce qui le rend approprié pour les appareils alimentés par une pile ou une batterie, notamment pour les capteurs. [18]

### I .3.6 .2. Les technologies de moyenne portée

\*Wi-Fi : est un ensemble de protocoles de communication sans fil permettant des connexions à haut débit sur des distances allant de 20 à 100 mètres. Cependant, le Wi-Fi est très énergivore et ne convient que pour les appareils branchés sur secteur ou dont l'alimentation électrique est fréquente. Il permet de transférer rapidement une grande quantité de données

\*Bluetooth LowEnergy (BLE) : également connue sous le nom de Wibree, est un protocole de réseau personnel sans fil à très basse consommation d'énergie. Tout comme le Bluetooth, le BLE permet de transférer une quantité limitée de données sur une distance moyenne de 60 mètres. Cependant, la différence réside dans la consommation électrique nécessaire pour la communication, qui est dix fois inférieure pour le BLE

### I .3.6.3. Les technologies de longue portée

**-Réseaux cellulaires mobiles** : basés sur la technologie GSM et fournis par les opérateurs de télécommunication, permettent de transférer une grande quantité de données sur une longue portée. Ces réseaux nécessitent l'installation d'une carte SIM dans l'appareil à connecter pour l'identifier sur le réseau de communication

#### **-Réseaux radio bas-débit :**

\*SigFox : c'est un réseau de communication radio sans fil à bas débit et à basse fréquence, d'une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain et de 30 à 50 kilomètres en milieu rural. Ce réseau convient à des appareils à basse consommation, dotés ainsi d'une grande autonomie, qui transfèrent une faible quantité de données

\*LoRa : est un système de communication radio très peu énergivore et à longue portée, qui permet de transmettre des données à de faibles débits sur de longues distances. Il est adapté aux équipements peu énergivores, tels que les capteurs, qui n'émettent que périodiquement. Les

## CHPITRE I : Concepts fondamentaux des Réseaux IOT/M2M

distances de transmission varient de 2 à 5 kilomètres en ville et peuvent aller jusqu'à 45 kilomètres en milieu rural.

Le tableau suivant résume quelques caractéristiques techniques des différentes technologies citées en haut :

	Courte portée			Moyenne portée		Longue portée	
Technologies	NFC	Bluetooth	Zigbee	Wi-Fi	BLE	SigFox	LoRa
Portée Moyenne (en intérieur)	<10 cm	10 m	100 m	100 m	60 m	>2 km	>2km
Débit (Mbit/s)	$1.10^{-3}$	$1.10^{-3}$	$1.10^{-2}$	$1.10^2$	$1.10^{-3}$	$1.10^{-3}$	$1.10^{-3}$
Fréquence	2.4 GHZ	2.4 GHZ	2.4 GHZ	2.4 GHZ 5 GHZ	2.4 GHZ	868 GHZ	868 GHZ
Usages	Téléphonie, carte de paiement	Périphériques Informatiques et multimédia	Domotique	Naviga- tion Internet. Transfert consé- quent de don- nées.	Périphé- riques Informa- tiques et multimédia	Prévention d'incidents. Collecte de Données. Gestion de réseaux.	

Tableau 1 : Quelques caractéristiques techniques des différentes technologies d'IoT [18]

### I.3.7. Les caractéristiques de l'IoT

Les dispositifs IoT sont caractérisés par leur capacité à capturer, collecter et traiter les données pour en tirer des informations significatives. Ils peuvent également communiquer ces

données à d'autres appareils pour une collaboration ou un traitement supplémentaire, extraire des paramètres de contrôle ou de sortie, et contrôler les appareils ou afficher les données traitées. [19]

- Les appareils IoT peuvent capturer et surveiller les paramètres physiques, vitaux et les activités humaines ou animales.
- Les appareils IoT sont faciles à utiliser et à déployer sur le corps ou sur le terrain en fonction des applications.
- Les appareils IoT peuvent traiter les données brutes collectées pour en tirer des informations significatives.
- Les appareils IoT peuvent agréger les paramètres associés pour améliorer la compréhension des données collectées.
- Les appareils IoT peuvent identifier, analyser et traiter les données historiques pour en tirer des conclusions.
- Les appareils IoT peuvent prédire les tendances en analysant les données actuelles et historiques.
- Les appareils IoT peuvent alerter ou communiquer aux parties prenantes sur la qualité des données collectées et proposer des actions correctives en fonction des connaissances antérieures sur des ensembles de données similaires.
- Les appareils IoT peuvent contrôler automatiquement l'environnement ou les paramètres associés pour normaliser les données collectées.

Toutes ces activités peuvent se produire avec ou sans intervention humaine.

### **I .3.8. Conclusion**

En conclusion, le machine-to-machine (M2M) et l'Internet des objets (IoT) sont deux technologies passionnantes et révolutionnaires qui ont le potentiel de changer notre façon d'interagir avec le monde qui nous entoure. Ces technologies permettent une communication transparente et efficace entre différents dispositifs intelligents, ce qui peut améliorer notre qualité de vie de manière significative. Le chapitre a présenté les concepts fondamentaux de la communication M2M/IoT, y compris la définition, l'architecture, le fonctionnement et les domaines d'application dans cette communication. En outre, le chapitre a mis en évidence la

différence entre le M2M et l'IoT, qui sont souvent confondus, mais qui ont des différences importantes.

En somme, M2M et IoT sont deux technologies prometteuses qui peuvent offrir de nombreuses opportunités dans divers domaines tels que la santé, la domotique, la logistique, l'agriculture, l'industrie, etc. Ces technologies sont encore en évolution et sont appelées à devenir encore plus sophistiquées à l'avenir

## **CHAPITRE II :**

**L'intégration du Smart Building avec  
les réseaux de capteurs sans fil  
(WSN) et la modélisation des  
informations du bâtiment (BIM)**

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la**  
**modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

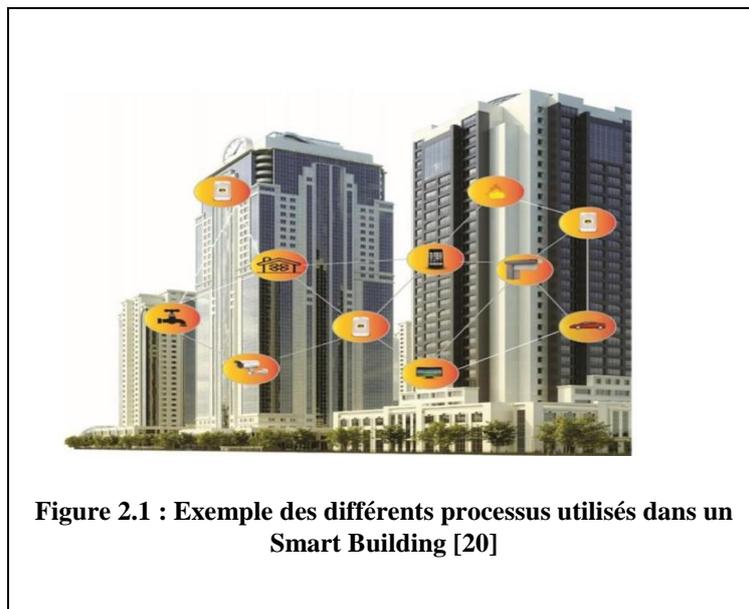
## **II.1. Introduction**

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont des systèmes de surveillance et de collecte de données qui sont de plus en plus utilisés dans les bâtiments intelligents (BI). Ils sont constitués de capteurs autonomes et de nœuds de communication sans fil qui permettent de mesurer différents paramètres tels que la température, l'humidité, la luminosité, etc. Ces données sont ensuite traitées et analysées pour optimiser les performances énergétiques, le confort des occupants et la maintenance des équipements. Les modèles de construction et d'exploitation de bâtiments en information modélisée du bâtiment (BIM) sont également utilisés pour améliorer la planification, la construction et la gestion de bâtiments intelligents. La combinaison de ces deux technologies permet de créer des bâtiments plus efficaces, durables et confortables pour les occupants.

## **II.2. Présentation du smart building**

### **II .2.1. Définition**

Le Smart Building, ou bâtiment intelligent est une structure automatisée qui gère le fonctionnement du bâtiment, y compris l'éclairage, l'électricité et les compteurs d'eau, le chauffage, les alarmes incendie et les installations de refroidissement à l'aide de capteurs et de systèmes de contrôle. [20] Les ascenseurs, les systèmes d'accès et les ombres peuvent aussi être inclus dans le système. Les capteurs, actionneurs et micro-puces collectent et gèrent les données pour améliorer la fiabilité et les performances des actifs, réduire la consommation d'énergie, optimiser l'utilisation de l'espace et minimiser l'impact environnemental des bâtiments.



**Figure 2.1 : Exemple des différents processus utilisés dans un Smart Building [20]**

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la**  
**modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

## II .2.2. Systèmes intelligents

Un système intelligent ou objet intelligent est un appareil équipé d'un ordinateur connecté à internet, capable de collecter et analyser des données, et de communiquer avec d'autres systèmes. Ces systèmes ont la capacité d'apprendre par expérience, de s'adapter aux données actuelles, et peuvent être supervisés et gérés à distance.

Les systèmes intelligents ne se limitent pas seulement aux périphériques, mais peuvent inclure des collections interconnectées de périphériques, des réseaux et de plus grands systèmes, ainsi que des systèmes logiciels basés sur l'intelligence artificielle.

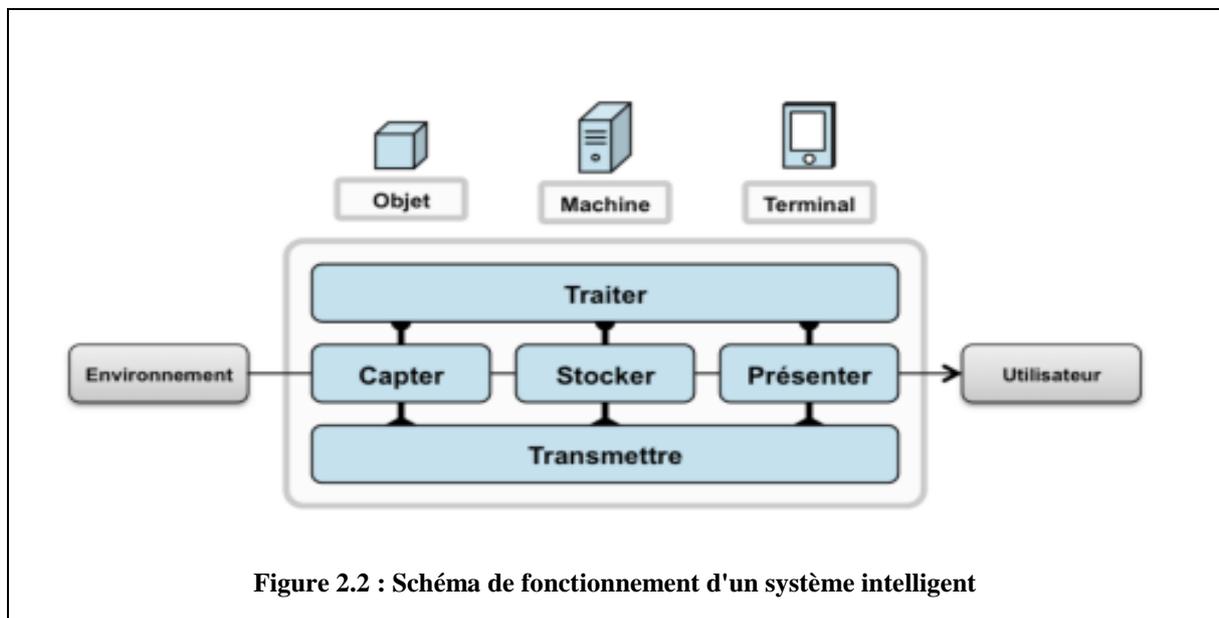


Figure 2.2 : Schéma de fonctionnement d'un système intelligent

Les systèmes intelligents sont largement utilisés dans différents domaines tels que les terminaux de point de vente, les voitures, les feux de circulation, les compteurs intelligents, les gouvernes d'avions, etc. L'intégration de l'intelligence dans les systèmes fait partie du développement de l'internet des objets (IoT) où presque tout peut être connecté et transférer automatiquement des données sur un réseau.

## II .2.3. Aperçu historique sur le concept du bâtiment intelligent

Le concept du bâtiment intelligent a évolué au fil des années, passant par trois périodes distinctes : [21]

- La période de l'automatisation de la construction (1981-1985) : caractérisée par l'utilisation de technologies innovantes pour automatiser les systèmes de construction.
- La période de construction responsable (1986-1991) : caractérisée par la capacité des bâtiments à changer leurs systèmes dans le temps.

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

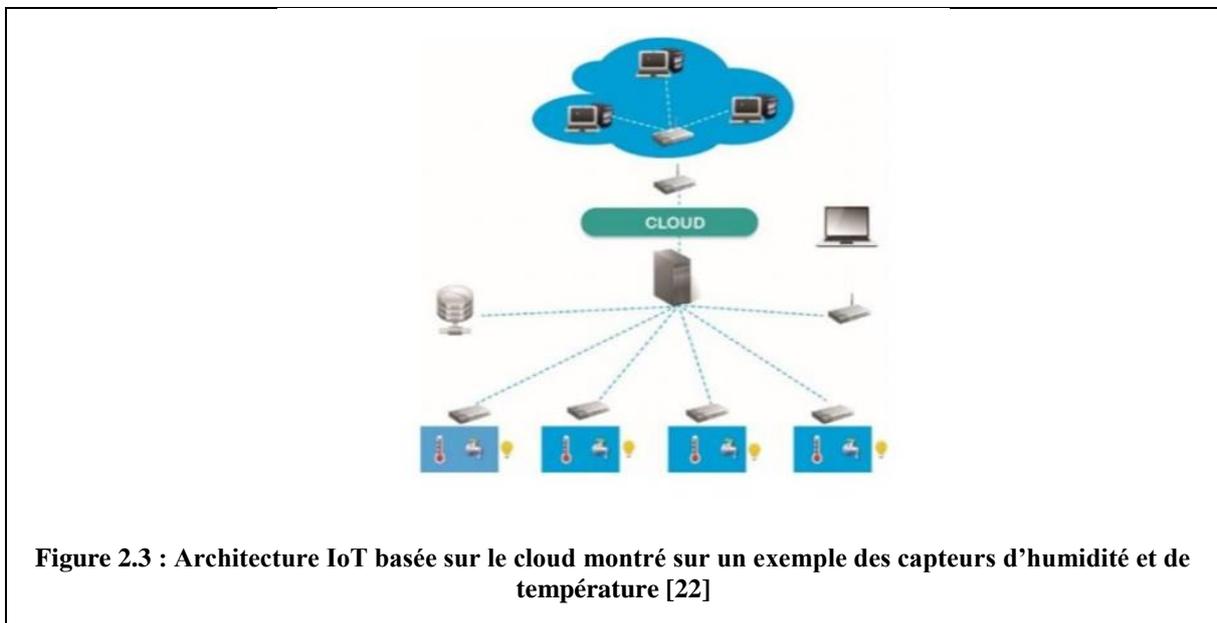
---

- La période de bâtiment effectif (1992-à nos jours) : caractérisée par une conception axée sur les occupants et leurs fonctions plutôt que sur les systèmes informatiques. Les bâtiments intelligents modernes utilisent des technologies telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA) et le Big Data pour optimiser les performances du bâtiment, tout en offrant un environnement confortable et économe en énergie.

### II .2.4.1 Automatisation des Smart Buildings

Mettre en place un système de gestion des immeubles appelé Building Management System (BMS) pour automatiser les immeubles intelligents. [22]

L'objectif principal du BMS est d'améliorer le confort des gens en gardant le bâtiment dans l'état désiré et de réduire la consommation d'énergie. Les données sont générées et surveillées à l'intérieur du bâtiment à l'aide de capteurs. Comme le déploiement de nombreux capteurs est coûteux, certains d'entre eux sont simulés pour créer un scénario plus réaliste. Les données sont transformées en un format standard et téléchargées sur la plate-forme en nuage, puis consommées à travers l'application de gestion des bâtiments. Comme le montre la figure 2.3 suivante :



**Figure 2.3 : Architecture IoT basée sur le cloud montré sur un exemple des capteurs d'humidité et de température [22]**

### II .2.4.1. Génération de données

Le premier pas vers l'amélioration d'un bâtiment doté de fonctions intelligentes est de surveiller tous les éléments nécessaires à l'intérieur et dans l'environnement. Certains éléments sont dotés de petits capteurs pour acquérir les données nécessaires, comme les potentiomètres pour les lumières, les systèmes HVAC et les ordinateurs, et les capteurs électromagnétiques

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

pour les portes et les fenêtres. Les capteurs de température, d'humidité et de luminosité sont utilisés à des fins de contrôle environnemental. Pour reproduire le reste des éléments du système, les données sont générées par un logiciel capable de créer les mêmes paquets que les paquets physiques.

Adresse Destinataire	ID du capteur	Données
----------------------	---------------	---------

La structure des paquets de données utilisés dans les systèmes intelligents de surveillance des bâtiments, lesquels sont composés de l'adresse de destination, de l'identifiant du capteur et de la charge utile contenant les relevés du capteur. Les données sont générées par des capteurs réels et simulés, et sont transmises à une passerelle qui utilise des protocoles tels que le Wi-Fi pour les envoyer à un serveur central pour agrégation et normalisation.

Le taux d'échantillonnage varie selon l'appareil qui fait l'objet de la surveillance et les messages sont générés lorsque l'état des portes et des fenêtres change. L'utilisation de capteurs définis par logiciel permet une extensibilité facile et une adaptation rapide à d'autres scénarios possibles.

#### **II .2.4.2. Transformation et stockage des données**

La description fait référence à la façon dont les données sont traitées et stockées dans un système de surveillance à l'aide de capteurs reliés à un serveur central. Les messages envoyés par les capteurs contiennent un identifiant qui permet au serveur central de savoir quel type de données est contenu dans le message. Les données sont ensuite transformées en un format JSON standardisé avec une structure clé-valeur pour chaque donnée, et chaque message contient une estampille de temps. Les données normalisées sont ensuite envoyées à un service en cloud à l'aide d'une API REST. Dans ce service en cloud, chaque capteur physique est associé à un capteur virtuel, et cette relation est stockée de manière privée dans le serveur central. Cependant, les informations sur les capteurs, telles que le modèle, le type et l'emplacement, sont accessibles au public grâce à une base de données en cloud supplémentaire. Cette base de données permet aux entités extérieures d'interroger des capteurs particuliers sans avoir à déployer leurs propres capteurs.

Cependant, certains capteurs sont privatisés pour des raisons de sécurité et de confidentialité des utilisateurs. Par exemple, les capteurs de proximité et de mouvement sont privatisés pour éviter que des tiers puissent déterminer si une pièce est vide ou non et utiliser cette information pour faire du piratage social. Pour obtenir les données de ces capteurs privatisés, un mot de passe est requis.

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

### **II.2.4.3. Consommation de données**

L'application développée est un système de management du bâtiment (BMS) qui reçoit des informations des capteurs via des abonnements des différents capteurs du bâtiment. Les données de capteur actuelles et générées par logiciel sont introduites dans le BMS, qui est en mesure d'agir en conséquence si nécessaire. Étant donné que le déploiement et le test d'un tel scénario dans un environnement réel sont trop coûteux, la simulation a été choisie comme deuxième élément pour obtenir des résultats proches de la réalité et des avantages d'un bâtiment doté de capacités intelligentes.

L'architecture mise au point assure la synchronisation entre les capteurs réels et virtuels avec les éléments simulés du bâtiment. Les personnes à l'intérieur du bâtiment sont également simulées afin de pouvoir répéter les tests plusieurs fois. Les personnes sont définies par un ensemble d'actions pouvant être réalisées à l'intérieur du bâtiment, ainsi que par la probabilité dans le temps que ces actions soient effectivement réalisées. La dernière caractéristique du simulateur correspond aux capacités intelligentes du SGB. Le système doit être capable de détecter si une action qui augmente le confort et réduit potentiellement la consommation d'énergie peut être effectuée en regardant l'état de l'immeuble à tout moment. L'implémentation des capacités intelligentes est développée au moyen d'un système basé sur des règles qui surveille les conditions correspondant à chaque action possible à activer. En comparant les résultats d'une structure de construction renforcée par les dispositifs intelligents mentionnés ci-dessus, il est possible d'augmenter le confort des gens et de réduire la consommation d'énergie du bâtiment.

### **II .2.5. La gestion technique d'un bâtiment intelligent**

Est un processus complexe qui implique la convergence de plusieurs systèmes, applications et protocoles pour permettre une supervision commune et une optimisation de la gestion du bâtiment. Pour Schneider Electric, la priorité est de faire parler tous ces systèmes d'une même voix en faisant converger les objectifs des parties prenantes, les systèmes eux-mêmes, les acteurs et leurs méthodes. La convergence permet aux systèmes conçus séparément d'interagir au moyen d'un système d'information sur les occupants.

Pour optimiser la gestion du bâtiment Hive, Schneider Electric fait dialoguer l'ensemble des systèmes de ce bâtiment en utilisant une Gestion Technique du Bâtiment (GTB) Continuum développée par la société. Cette GTB intègre nativement l'ensemble des systèmes, tels que le

---

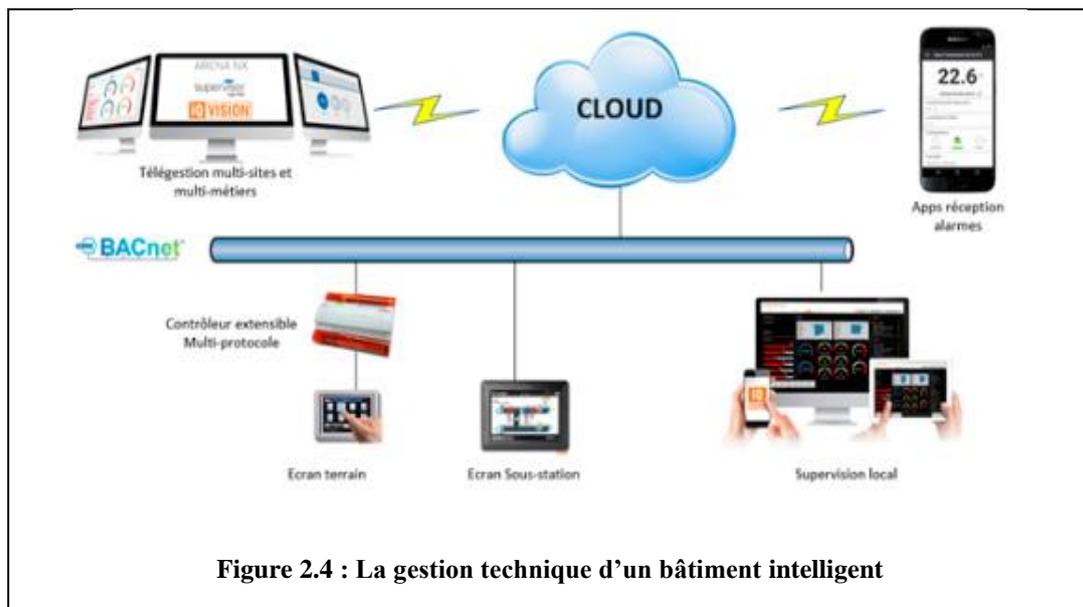
## CHAPITRE II : L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

contrôle commande de la CVC, la vidéo protection, le contrôle d'accès, l'anti-intrusion, les compteurs électriques et thermiques, au travers d'un réseau IP mutualisé.

Un des buts recherchés dans ce concept est la sécurité dans le bâtiment, qui se traduit par sa capacité à communiquer sur des protocoles ouverts et reconnus tels que BACNET et LON, permettant l'interopérabilité des équipements installés dans les bureaux tels que les stores, l'éclairage, la climatisation, etc. Chaque résident peut agir sur son environnement professionnel grâce à une interface conviviale, comme une télécommande murale ou sans fil, pour ajuster la lumière, la température, le soleil, etc.

En résumé, la gestion technique d'un bâtiment intelligent est un processus complexe qui a pour objectif d'optimiser la gestion de l'énergie, d'améliorer la sécurité et le confort des occupants, ainsi qu'à réduire les coûts de fonctionnement du bâtiment. La convergence des systèmes est essentielle pour atteindre ces objectifs, et Schneider Electric propose des solutions telles que la GTB Continuum pour y parvenir.



### II .2.6. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication

Dans le secteur de la construction durable, la domotique est présentée comme une solution pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments. Un bâtiment intelligent utilise des technologies de communication pour prendre en compte tous les aspects de la maison, parmi lesquels :

- Les équipements consommateurs de l'électricité ;
- Les équipements producteurs de l'électricité ;

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

- Les équipements de stockage de l'électricité, etc.

La gestion des véhicules électriques et du chauffage est alimentée par de l'électricité stockée et des panneaux photovoltaïques dans un bâtiment Intelligence. Nouvelles technologies de l'information et de la communication Les NTIC font référence au domaine de la télématique et décrivent le nombre croissant de sources d'informations actuelles, leur stockage et leur utilisation, ainsi que la génération, la transmission et le format de ces informations. La domotique est le prolongement de la télématique appliquée aux bâtiments. La transposition des NTIC au domaine du bâtiment implique quelques changements au sein des maisons et des infrastructures accueillant des travailleurs. En effet, un bâtiment intelligent se charge de la gestion électrique du logement, c'est-à-dire :

- L'éclairage ;
- Le chauffage ;
- Les équipements électroménagers ;
- Les systèmes de surveillance, etc.

Il est également possible d'acquérir des maisons mitoyennes en construction comme en rénovation. En effet, les technologies actuelles permettent de mettre en place de nouvelles techniques pour que les équipements soient adaptés aux besoins de la maison connectée :

Types de modifications nécessaires	Types d'équipements adaptés
Equipements adaptés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eclairage basse consommation</li> <li>• Ballon d'eau chaude</li> </ul>
Nouvelles technologies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objets connectés au Wi-Fi</li> <li>• Communication des différents équipements entre eux</li> </ul>
Gestion de l'électricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage de l'énergie produite</li> <li>• Autoconsommation</li> <li>• Fonctionnement réduit ou différé</li> </ul>

**Tableau 2 : Types de modifications nécessaires et d'équipements adaptés**

### **II .2.7. Le smart building comme environnement de travail**

Smart building peuvent être utilisés comme environnements de travail d'entreprise. En fait, les bâtiments connectés peuvent créer un écosystème de services que les employés peuvent

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

utiliser pour optimiser leur consommation et le confort des espaces dans lesquels ils travaillent. [23]

Les employés peuvent gérer leur environnement propre à distance via une application sur un smartphone, ce qui leur permet d'allumer le chauffage le matin avant de se rendre au travail ou d'éteindre la programmation automatique lorsqu'ils sont en déplacement. À l'instar des bâtiments intelligents pour les maisons, les bâtiments intelligents pour le travail permettent une gestion des bâtiments qui est possible en analysant les habitudes des personnes, afin que la consommation des infrastructures puisse être adaptée au mieux aux besoins.

### **II .2.8. Les avantages du smart building**

La mutation des infrastructures et la mutation des villes accueillent le principe du smart building pour ces apports dans de nombreux domaines. Le smart building apporte en effet :

- Une réelle flexibilité
- Une faible empreinte carbone

<b>Caractéristiques du smart building</b>	<b>Avantages</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Une gestion énergétique connectée</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permet de réaliser des économies d'énergie</li><li>• Permet d'améliorer le confort des habitants</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Une gestion de la sécurité des bâtiments</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permet d'améliorer la sécurité des bâtiments</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Une gestion des accès des bâtiments</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permet de sécuriser les résidences et les logements individuelle (gestion des accès : badge reconnaissance vocale, biométrie)</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Une connectivité interne extrêmement performante</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permet de créer un véritable environnement de vie en réseau</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Une interactivité entre les résidents et les bâtiments via des objets connectés avec des applications accessibles via smartphone et autres appareils</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aide à mieux gérer la consommation énergétique d'un logement</li><li>• Permet de déclencher ou entendre des appareils à distance</li></ul>

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permet de réaliser des économies d'énergie</li></ul>
--	--

Tableau 3 : Les avantages du smart building

## **II .3. L'application du BIM dans la modélisation des bâtiments intelligents**

### **II .3.1. Définition du BIM**

Le BIM est un processus de gestion de l'information qui permet de créer une maquette numérique d'un bâtiment et de la partager entre tous les intervenants d'un projet de construction. Cette maquette contient des informations détaillées sur tous les aspects du bâtiment, y compris sa structure, ses installations et ses équipements. [24]

Le BIM permet aux différentes parties prenantes de collaborer plus efficacement et d'anticiper les problèmes potentiels sur un chantier de construction avant qu'ils ne surviennent. Il réduit également les coûts et le temps de construction en permettant aux parties prenantes de travailler ensemble plus efficacement. Bien que le BIM soit souvent associé à des outils logiciels spécifiques, il est important de comprendre que le BIM est avant tout une méthode de travail qui repose sur une gestion efficace de l'information tout au long du cycle de vie d'un bâtiment.

Le BIM est un processus qui s'inscrit dans un projet de A à Z :

- Lors de l'élaboration
- Lors de la construction
- Lors de la livraison
- Lors de l'exploitation

### **II .3.2. Historique du BIM**

Le BIM (Building Information Modeling) est la dernière génération de systèmes de CAO orientés objet.

La première impulsion pour créer des modèles basés sur les fonctions remonte à la fin des années 1970. À cette époque, des recherches ont été menées pour développer des techniques permettant de fournir des données de fonction de fabrication pour la programmation (NC). [25]

---

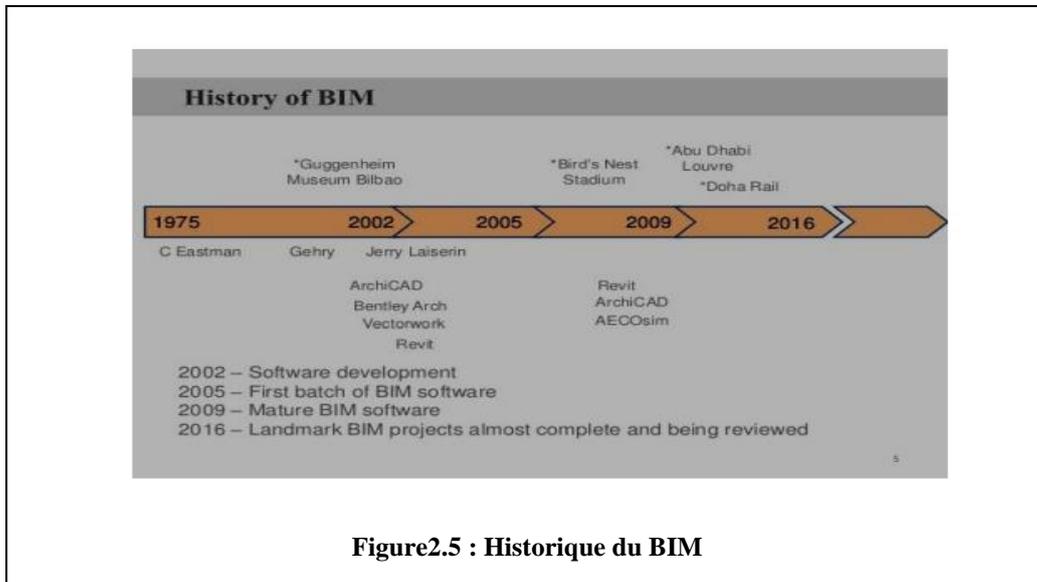
## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

En 1985, Pratt et Wilson ont été les premiers à proposer le concept de conception par caractéristiques, suivi en 1987 par M. Geisberg qui a créé la technologie de modélisation paramétrique. Le terme BIM a été introduit par le professeur Charles M. Eastman à Georgia Institute of Technology, basé sur son terme "Building Product Model" inventé depuis la fin des années 1970.

L'acronyme actuel BIM, a d'abord été utilisé par Phil Bernstein, puis popularisé et normalisé par Jerry Laiserin en tant que terme général pour la représentation numérique des processus de construction.



**Figure2.5 : Historique du BIM**

### II .3.3. La différence entre BIM et CAO

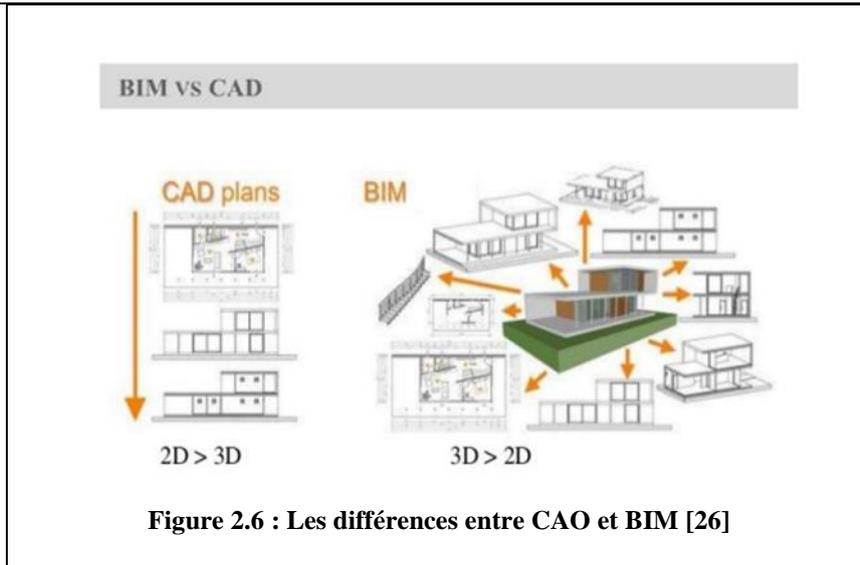
La différence entre BIM (Building Information Modeling) et CAO (Conception Assistée par Ordinateur) réside principalement dans leur approche de la conception de bâtiments. La CAO se concentre sur la création de dessins et de modèles en deux dimensions, tandis que le BIM est un processus de modélisation 3D qui prend en compte les dimensions, les caractéristiques et les composants des éléments physiques d'un bâtiment. Avec la CAO, les dessins sont créés à partir de formes géométriques simples et ne contiennent pas d'informations détaillées sur les propriétés physiques des éléments de construction. En revanche, le BIM utilise un modèle de données intelligent qui permet de créer des modèles paramétriques détaillés, qui contiennent des informations sur la structure, les composants, les matériaux, les coûts et les délais de construction. [26]

---

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---



En bref, le BIM a des capacités plus avancées que la CAO, nous permettant de simuler les propriétés physiques des éléments de construction, d'analyser leurs performances, de détecter les écarts de conception et de faciliter la collaboration entre les différentes parties prenantes du projet.

#### II .3.4. Fonction de BIM

Le BIM peut être utilisé pour : [27]

**\*La collecte de données :** est l'une des principales fonctions du BIM (Building Information Modeling). Cette fonction permet de :

- ✓ Recueillir des données structurées, actualisées et fiables auprès de tous les acteurs du projet à toutes les étapes du projet, telles que l'architecture, la structure, les fluides, la thermique, les courants faibles et forts, à toutes les phases d'un projet.
- ✓ Il centralise ces données en un seul endroit, mais a de multiples usages appelés bibliothèques partagées dynamiques pour faciliter l'accès à l'information.
- ✓ Éviter la duplication des informations réduit les erreurs et les divergences dans le modèle.

**\*Générer les données :**

- ✓ Générez des informations sur votre projet de manière simple à l'aide de divers supports (schémas, rapports, tableaux, plans, plans, etc.) et de données réelles ;

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

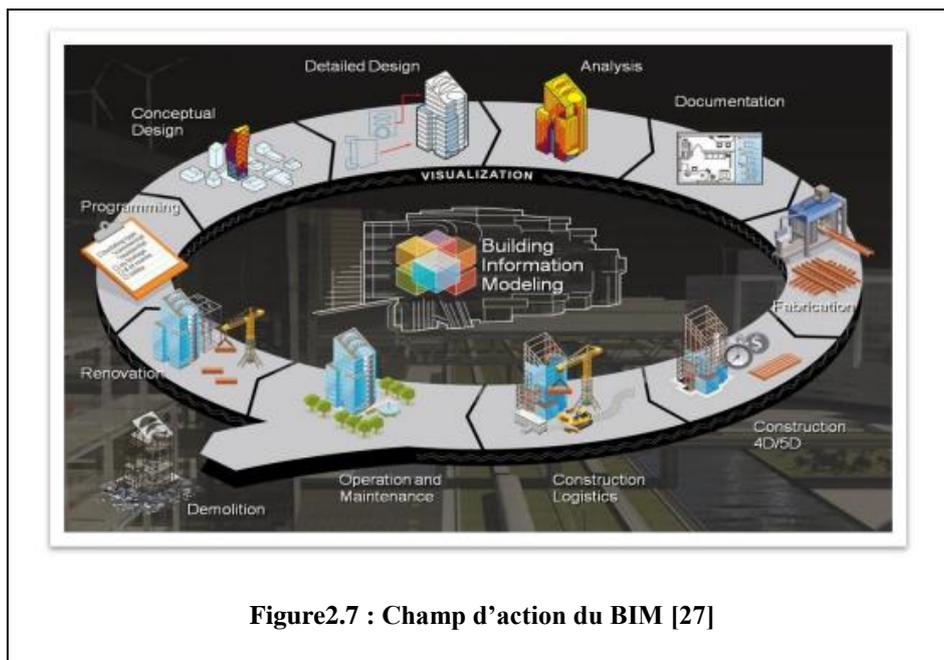
- ✓ Présentation du projet sous forme détaillée ou schématique pour les membres du projet ou les membres extérieurs (futurs utilisateurs, riverains, etc.). [27]

**\*La fonction d'analyse et de contrôle des données du BIM (Building Information Modeling) :** permet de

- ✓ Détecter les écarts entre les modèles créés par différentes parties prenantes, tels que les écarts physiques, les plans et d'autres types d'écarts.
- ✓ Prend en charge la prise de décision en facilitant les prévisions dans la programmation, la gestion des actifs, la maintenance, les décisions techniques, les finances et plus encore.
- ✓ Valider l'atteinte des besoins et exigences à toutes les étapes du projet en utilisant les informations collectées et générées par le BIM.

**\* Communiquer les données**

- ✓ Partagez les données et les commentaires entre tous les acteurs du BIM pour favoriser la collaboration et la transparence au sein des équipes de projet.
- ✓ Mettez à jour les modèles dynamiques en temps réel pour vous assurer que toutes les parties prenantes du projet ont accès à des informations précises et à jour avec lesquelles travailler.



**Figure2.7 : Champ d'action du BIM [27]**

### II .3.5. Une maquette numérique

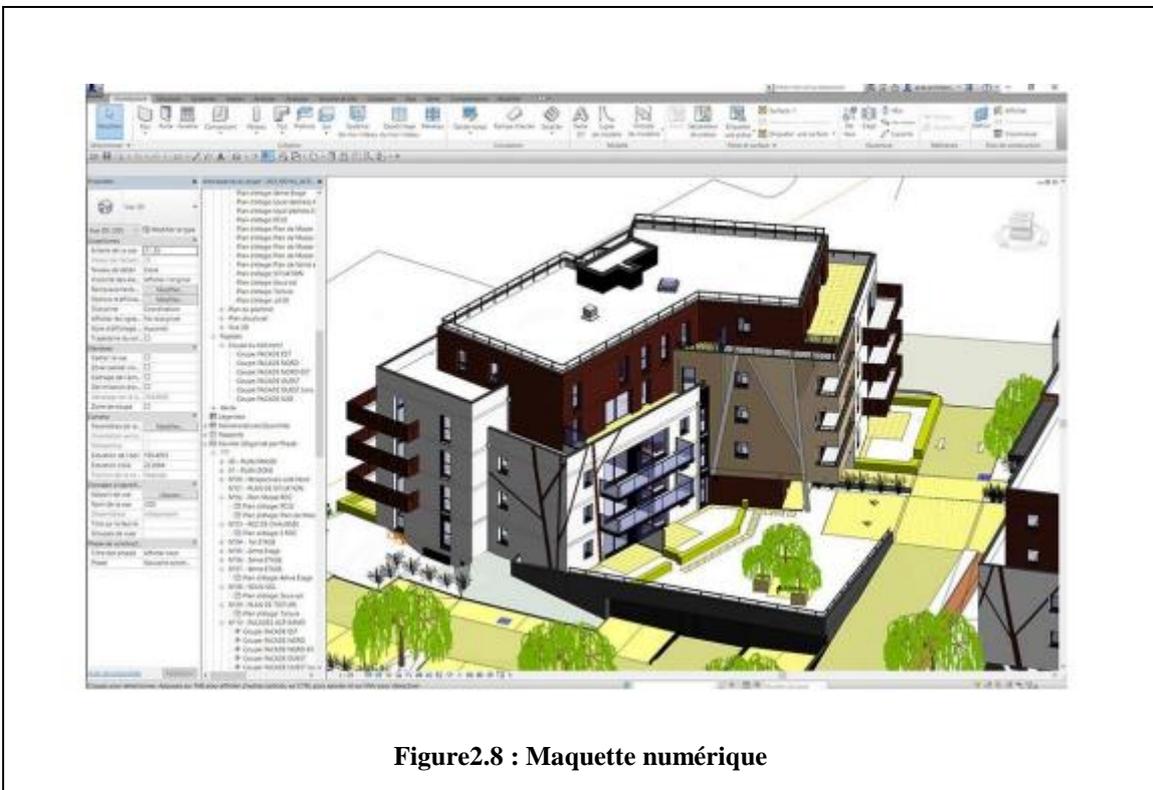
---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

Est une représentation géométrique, souvent en 3D, d'un produit créé sur ordinateur pour permettre l'analyse, le contrôle et la simulation de son comportement spécifique. Cette représentation géométrique peut être utilisée pour visualiser le produit, mais elle peut également contenir des informations sémantiques sur la nature de l'objet et ses propriétés. Les termes "analyser", "contrôler" et "simuler" impliquent que des informations détaillées sont présentes dans la maquette numérique, permettant aux utilisateurs d'effectuer des opérations avancées sur les objets représentés. Sans ces informations, seule une vérification visuelle peut être effectuée.

**II.3.5.1. Maquettes numériques de bâtiments existants :** La création d'une maquette numérique est nécessaire pour utiliser le BIM dans un bâtiment existant. Ce modèle peut être créé à partir de documents actuels existants ou de déclarations sur l'état réel du bâtiment. Cependant, la documentation existante sur les bâtiments est souvent indisponible ou obsolète. Dans ce cas, des levés de l'existant doivent être effectués, notamment avec l'utilisation du scanner laser pour capturer la géométrie du bâtiment sous forme de nuages de points. Cette méthode permet la collecte rapide de grandes quantités de données détaillées et précises. On parle alors de BIM "tel que saisi" pour désigner une maquette créée à partir de données issues d'un levé au scanner laser.



**Figure2.8 : Maquette numérique**

**II .3.5.3. Scanner laser terrestre :** Le balayage laser au sol est une technique populaire pour modéliser des bâtiments existants, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur. Cette technique vous

---

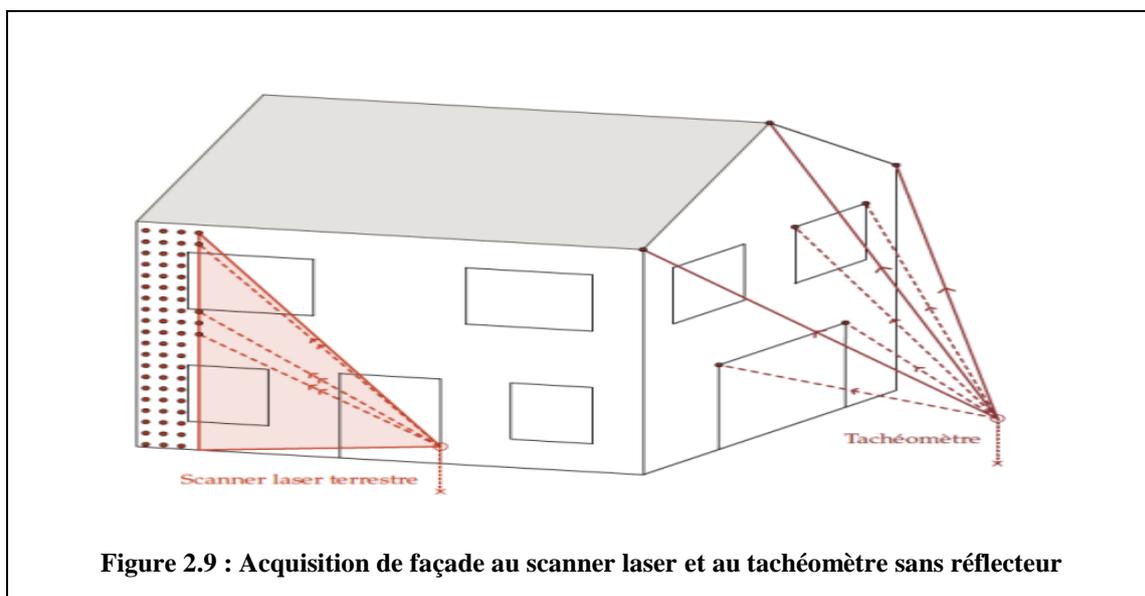
## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

permet d'enregistrer rapidement et avec précision le niveau de détail disponible. Elle est largement adoptée par l'industrie du bâtiment et dans la documentation du patrimoine. Certains gouvernements recommandent son utilisation dans le processus BIM, notamment le gouvernement britannique et américain.

Le balayage laser terrestre est une technique de détection qui utilise la lumière laser. Les objets peuvent être mesurés rapidement et sans contact à l'aide d'un motif de points régulier. Elle fournit les coordonnées tridimensionnelles des points décrivant les surfaces présentes dans la scène considérée. L'ensemble de ces points est appelé nuage de points



#### II .3.6. Les dimensionnement de BIM

Le BIM ne se limite pas seulement à de la 3D, la base de données qui est associée à la maquette numérique peut prendre d'autres dimensions

- ✓ **BIM 3D** : Il permet la visualisation, la détection de collision, la préfabrication, l'inventaire, etc. en utilisant trois dimensions géométriques de X-Y-Z. [28]
- ✓ **BIM 4D** : ajoute une dimension "temps" pour lier les éléments géométriques avec une information temporelle ou un planning de construction.
- ✓ **BIM 5D** : ajoute une dimension "coût" aux 4 dimensions précédentes pour estimer les coûts de construction ou obtenir un aperçu financier du projet.
- ✓ **BIM 6D** : Il traite des aspects du développement durable, comme l'analyse énergétique.

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

- ✓ **BIM 7D** : lie les éléments du projet à tous les aspects de la durée de vie du bâtiment, tandis que.
- ✓ **BIM XD** : Représente des données supplémentaires qui peuvent être ajoutées à d'autres dimensions.

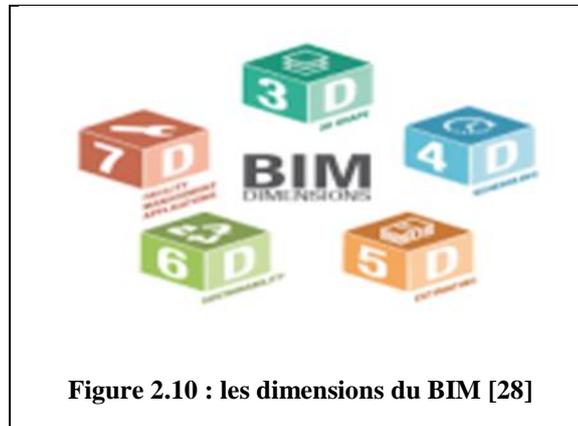


Figure 2.10 : les dimensions du BIM [28]

### II.3.7. Les niveaux de détail de BIM

Les niveaux de détail (LOD) définissent le niveau de précision et de sophistication du modèle BIM en fonction de la phase du projet. [29] Les LOD suivants sont couramment utilisés :

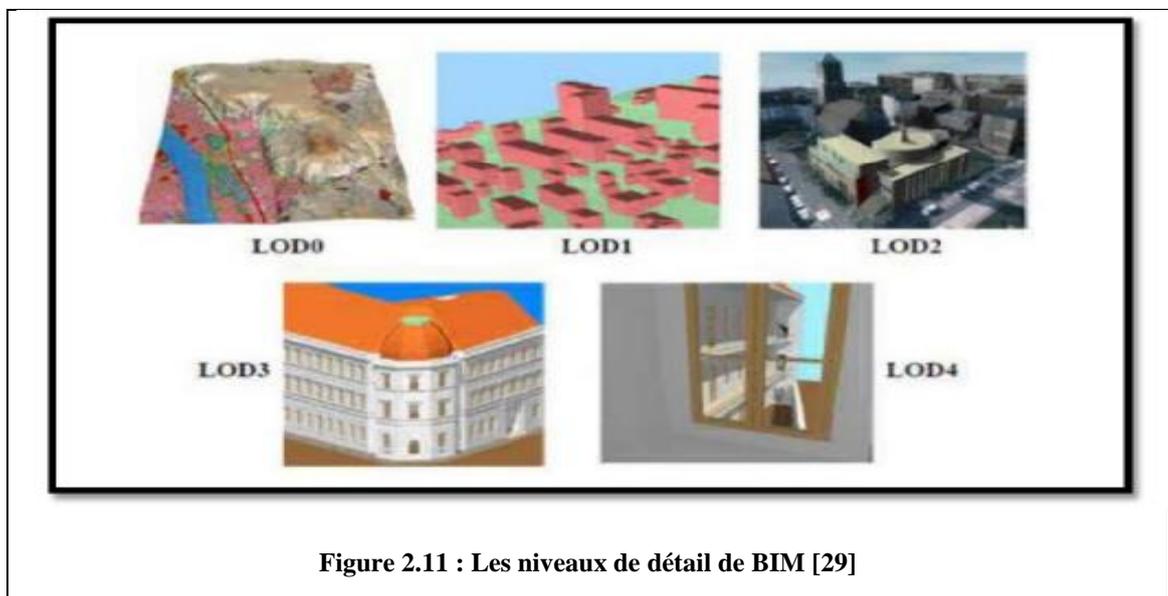


Figure 2.11 : Les niveaux de détail de BIM [29]

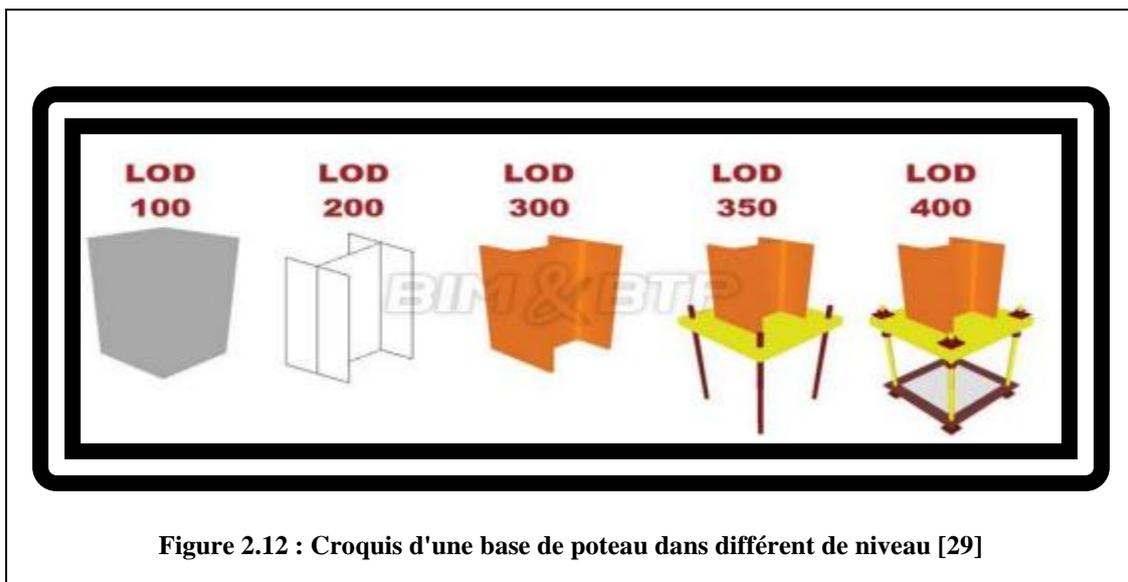
- ✓ LOD 100 : les éléments sont représentés de manière générique ou symbolique et les informations peuvent provenir d'autres éléments.

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

- ✓ LOD 200 : les éléments sont représentés graphiquement de manière générique avec des dimensions approximatives.
- ✓ LOD 300 : Les articles sont représentés graphiquement d'une manière spécifique avec des dimensions et des quantités exactes.
- ✓ LOD 350 : les éléments sont représentés graphiquement de manière spécifique et interagissent avec les autres éléments.
- ✓ LOD 400 : les éléments sont représentés graphiquement de manière spécifique avec des informations sur le détail, la fabrication, l'assemblage et l'installation.
- ✓ LOD 500 : Les éléments sont représentés graphiquement d'une manière spécifique, vérifiés in situ et annotés avec des informations non graphiques jointes.



## II .4. L'intégration des réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les Smart Buildings

### II .4.1. Définition d'un capteur sans fils (RCSF)

Les réseaux de capteurs sans fil sont classés comme des réseaux ad hoc, qui ne disposent pas d'une infrastructure de communication fixe ou d'une administration centralisée et dans lesquels les nœuds servent à la fois d'hôte et de routeur. Ces réseaux sont constitués d'une collection de micro-capteurs dispersés de manière aléatoire dans une zone géographique qui détermine la pertinence du phénomène à capturer. Les micro-capteurs ont la capacité de surveiller en permanence une série de paramètres ambiants, notamment la température et l'humidité, et de détecter des événements tels que les tremblements de terre.

---

## CHAPITRE II : L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

En raison de leur taille minuscule (environ 1 cm<sup>3</sup>), les capteurs ont des capacités limitées de collecte et de traitement des données ; toutefois, les composants intégrés de communication sans fil offrent des capacités plus importantes. [30]

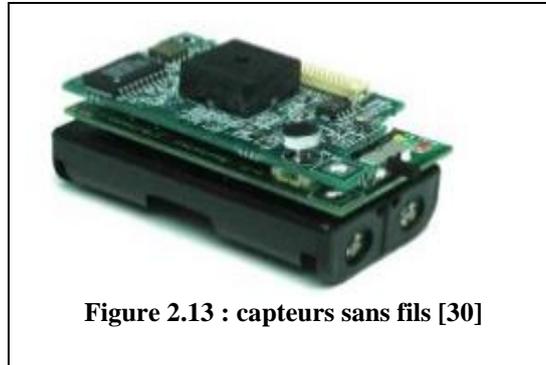


Figure 2.13 : capteurs sans fils [30]

### II.4.2. Architecture d'un réseau de capteur sans fils

La zone d'intérêt pour le phénomène observé est définie géographiquement comme le champ de capture et c'est là que les nœuds capteurs sont répartis.

Les données collectées sont envoyées à un site de collecte de données, comme illustré dans la figure 2.14. La station de base ou les conduites de nœuds servent de conduit entre le réseau de capteurs et l'utilisateur final. L'utilisateur peut ainsi surveiller et contrôler l'environnement à distance via l'internet ou un satellite en envoyant des requêtes à d'autres nœuds du réseau par l'intermédiaire des conduites de nœuds qui énumèrent spécifiquement les données dont il a besoin. Les stations de base ont des capacités bien supérieures à celles des capteurs en termes de mémoire, de vitesse de traitement et de réserves d'énergie.

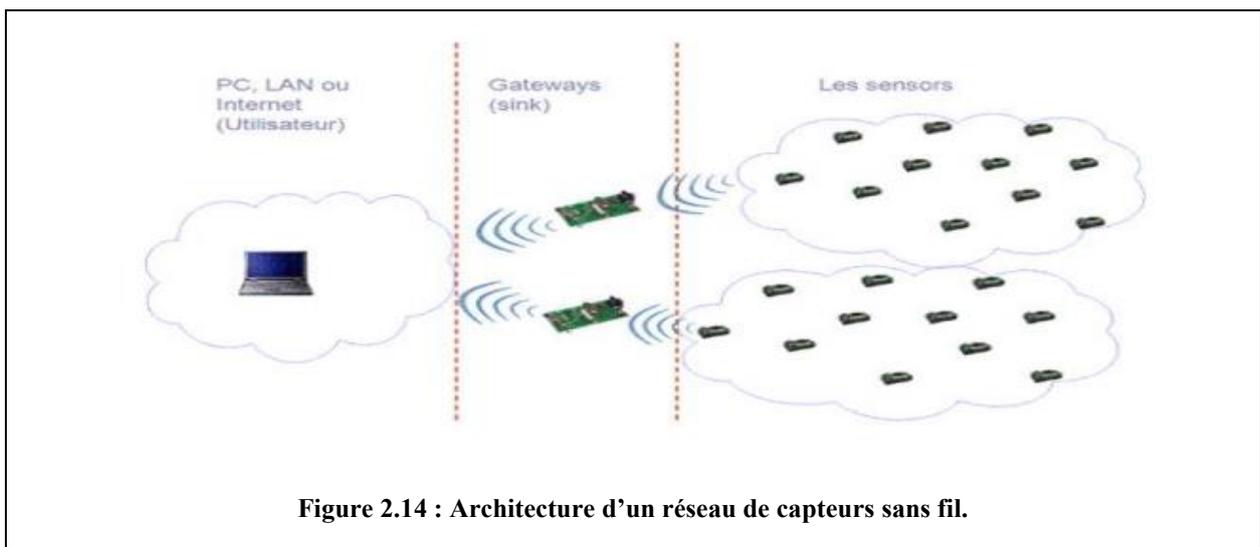


Figure 2.14 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil.

### II .4.3. Types de réseaux de capteurs sans fil

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

Il existe deux modèles de réseau pour les RCSFs : le modèle dynamique et le modèle de surveillance d'événements.

#### **II .4.3.1. Le model dynamique de réseau**

Le réseau est constitué de capteurs mobiles qui s'adaptent automatiquement à l'environnement astatique dans le but d'explorer des zones dangereuses ou inaccessibles. Les acteurs qui jouent le rôle des ravisseurs agissent également en tant qu'acteurs. Dans le modèle de surveillance d'événements, le réseau est constitué de capteurs fixes qui surveillent les événements survenant dans une certaine zone géographique. Les données recueillies sont transmises de manière multisauts à une pompe à nœud chargée d'exécuter les activités requises. Ce réseau peut être connecté à un autre réseau à l'aide d'une connexion filaire.

#### **II .4.3.2. Le model de délivrance de données**

Il est possible de les classer en plusieurs catégories. La première catégorie est appelée "distribution continue de dons" car les capteurs transmettent périodiquement les informations qu'ils ont collectées. Dans la deuxième catégorie, les informations sont transmises par les capteurs lors de la détection d'un événement. "Distribution de données en fonction de l'événement". Dans la troisième catégorie, appelée "distribution de données initiée par l'observateur", l'utilisateur doit faire une demande pour recevoir l'information demandée. Enfin, il existe une distribution de données hybride qui combine les différentes techniques de distribution mentionnées ci-dessus.

#### **II .4.4. Classification des Réseaux Sans Fil**

La classification des réseaux sans fil peut se faire à l'aide de deux facteurs principaux. Le premier critère est basé sur la zone de couverture du réseau, qui permet de différencier quatre catégories : les réseaux personnels, locaux, métropolitains et autres. [31]

Il permet de distinguer les réseaux sans fil en deux catégories : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure. Comme on le voit dans l'illustration de la figure 2.15 :

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

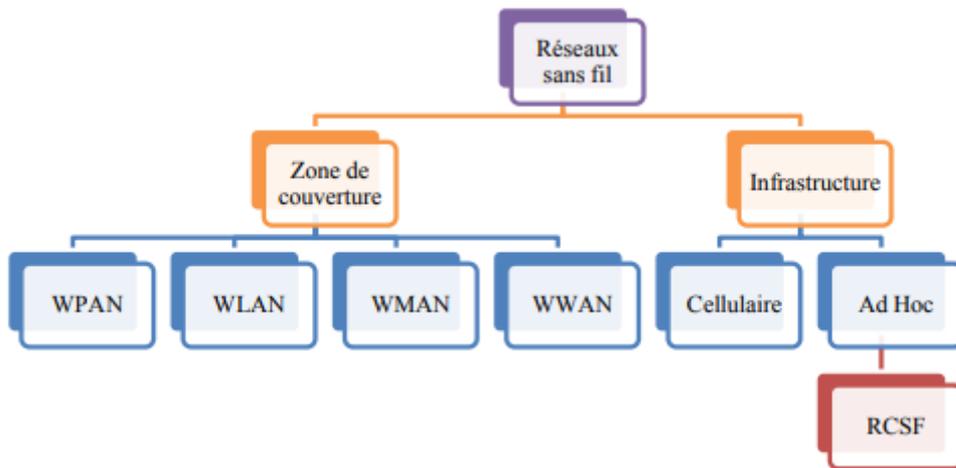


Figure 2.15 : Classification des réseaux sans fil [31]

**II.4.4.1. Classification selon la zone de couverture :** La classification des réseaux sans fil peut être basée sur la taille de la zone qu'ils couvrent. Cette classification distingue quatre types de réseaux : WPAN, WLAN, WMAN et WWAN.

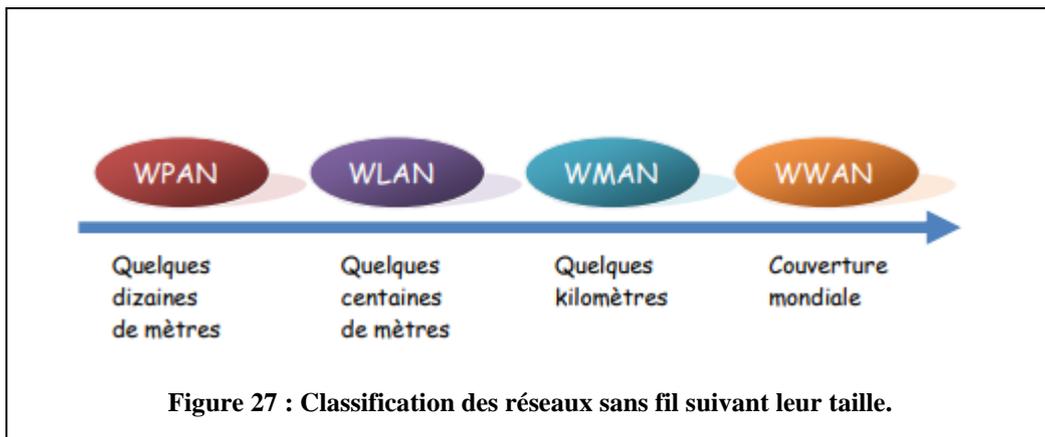


Figure 27 : Classification des réseaux sans fil suivant leur taille.

**A. Les WPAN (Wireless Personal Area Networks) :** Les réseaux personnels sans fil, également connus sous le nom de WPAN, sont des réseaux sans fil à petite échelle dont la portée maximale est limitée à quelques dizaines de mètres autour de l'utilisateur, comme dans les bureaux ou les salles de conférence. Ils sont principalement utilisés pour relier des appareils électroniques personnels, notamment des téléphones mobiles, des oreillettes et des ordinateurs portables, sans qu'il soit nécessaire d'établir une connexion filaire. Les normes actuelles de communication de réseau sans fil pour WPAN comprennent Bluetooth, Zigbee, RFID et Homer. En outre, elles permettent la connexion de divers appareils électroniques.

**B. Les réseaux WLAN (Wireless Local Area Networks) :** font partie des réseaux locaux sans fil ayant une portée maximale d'environ 500 mètres, ce qui les rend adaptés pour couvrir des

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

zones géographiques restreintes telles que des campus universitaires, des bâtiments, des aéroports ou des hôpitaux. Les normes de communication courantes pour les WLAN incluent le Wi-Fi (Wireless Fidelity) et les HIPERLAN.

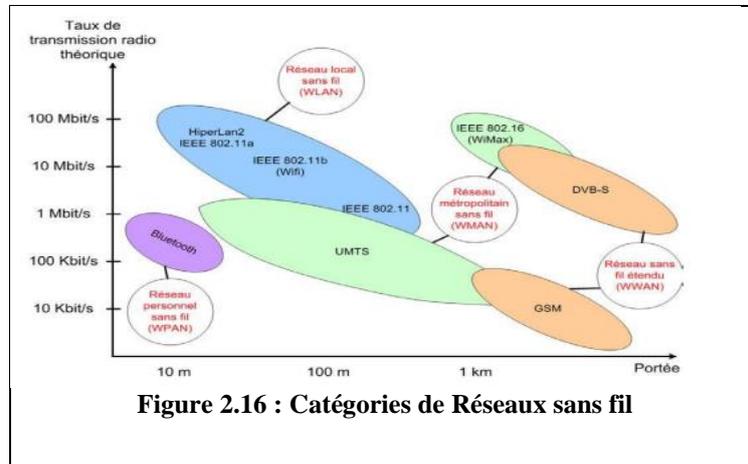


Figure 2.16 : Catégories de Réseaux sans fil

**C. Les réseaux WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) :** Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN), également connus sous le nom de réseaux Boucle Locale Radio (BLR), sont des réseaux sans fil qui peuvent couvrir des zones plus étendues que le WLAN, jusqu'à la taille d'une ville, avec une portée maximale de 50 km. Bien qu'ils utilisent le même matériel que le WiFi, ils peuvent couvrir une zone plus étendue. WiMAX et HIPERMAN font partie des normes de communication actuelles pour le WMAN.

**D. Les réseaux WWAN (Wireless Wide Area Networks) :** sont des réseaux cellulaires mobiles ayant une portée à l'échelle mondiale. Ils offrent une large couverture géographique et permettent aux utilisateurs de rester connectés lors de leurs déplacements. Les normes de communication courantes pour les WWAN incluent le GSM et ses évolutions (GPRS, EDGE), le CDMA et l'UMTS.

**II .4.4.2. Classification selon l'infrastructure :** les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

Les systèmes connus sous le nom de réseaux mobiles ou sans fil sont conçus pour des environnements mobiles et permettent aux utilisateurs d'accéder à l'information quelle que soit leur situation géographique. Les réseaux mobiles peuvent être divisés en deux catégories principales : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure.

**A. Les réseaux avec infrastructure :** également connus sous le nom de réseaux cellulaires, sont des réseaux sans fil qui se composent de deux types d'éléments :

\*les "sites fixes" du réseau filaire

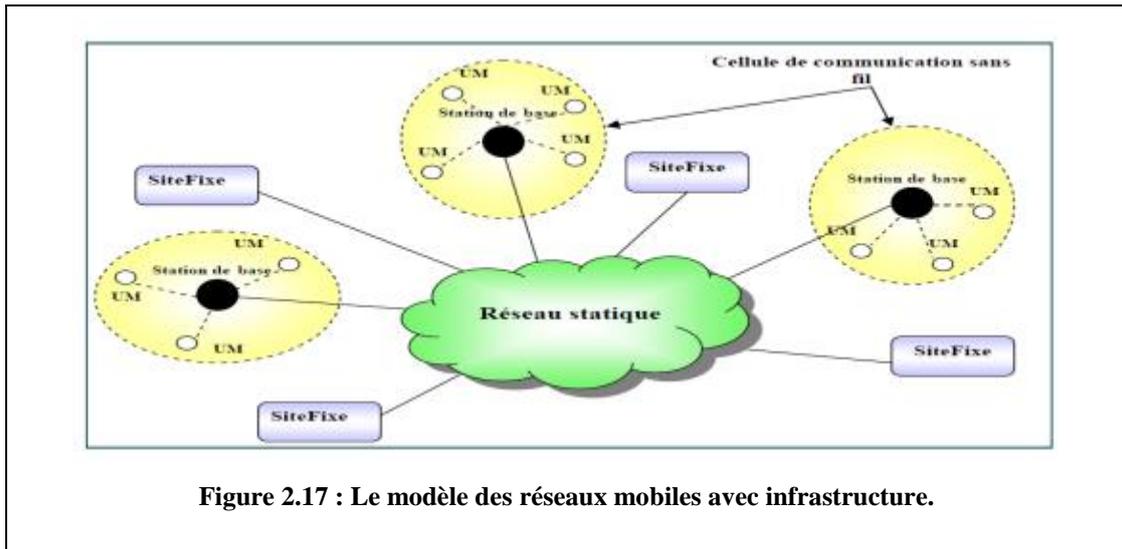
---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

\*les "sites mobiles" des réseaux sans fil.

Les sites fixes sont des stations de base (SB) connectées à une source d'énergie inépuisable et chargées de relayer les données à chaque terminal mobile par l'intermédiaire de leur cellule. Ils sont équipés d'une interface de communication sans fil qui leur permet de communiquer avec les sites mobiles dans une zone géographique spécifique sans l'utilisation d'un fil. Appelée cellule comme le montre la figure suivante :



Les réseaux cellulaires sont constitués de stations de base reliées entre elles par un réseau de communication filaire. Chaque station de base ressemble à une cellule de message unique que les unités mobiles peuvent utiliser pour envoyer et recevoir des messages. Par l'intermédiaire de la station de base à laquelle elles sont directement attachées, les unités mobiles peuvent communiquer avec d'autres sites. Les réseaux cellulaires surmontent le problème de la dégradation du signal en déployant de nombreux points d'accès afin d'accroître la couverture mondiale du réseau. Les points d'accès sont reliés entre eux par un réseau filaire qui s'occupe de la partie routage et de la plupart des fonctions d'administration, comme l'authentification centralisée. Les réseaux WLAN (Wi-Fi), WMAN (WiMAX) et WWAN (GSM) sont tous des exemples de réseaux cellulaires avec infrastructure.

**B. Les réseaux sans infrastructure** : également appelés réseaux ad hoc, ne disposent pas d'un point d'accès fixe. Au lieu de cela, chaque station du réseau agit comme un terminal et un routeur, permettant le transfert de données entre les différents terminaux sans qu'ils soient directement connectés les uns aux autres.

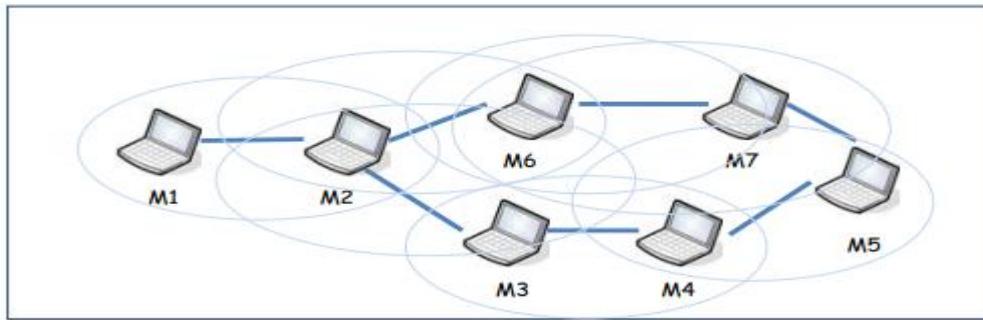
La caractéristique essentielle d'un réseau ad-hoc est l'existence de tables de routage dynamiques dans chaque nœud. C'est la catégorie des réseaux WPAN tels que le Bluetooth.

---

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---



**Figure 2.18 : Exemple de réseau Ad-Hoc.**

Les réseaux Ad Hoc présentent six grandes caractéristiques :

-La topologie est dynamique. Cela est dû à la mobilité des nœuds qui composent le réseau, ce qui peut entraîner des changements dans la topologie et le tracé des routes pendant la transmission d'un paquet de données.

- Les connexions sont asymétriques, ce qui signifie qu'elles ne se produisent pas toujours dans les deux sens. Par exemple, une unité peut recevoir des informations d'une autre unité mais ne pas être en mesure de lui transmettre des données en retour.

-La bande passante : est limitée lors de la communication par canaux hertziens puisque le support de communication doit être partagé entre plusieurs hôtes. Ce partage est dû à la réutilisation spatiale, qui est le phénomène de collisions provoqué par l'atténuation des signaux avec la distance. Même si plusieurs hôtes peuvent utiliser le même support simultanément, des réémissions sont fréquemment nécessaires pour éviter les collisions.

-Les fortes contraintes énergétiques : dans les systèmes embarqués sont dues au fait que chaque unité doit souvent avoir sa propre source d'alimentation autonome.

-Absence d'infrastructure et de contrôle centralisé : car les hôtes sont mobiles et il est de leur responsabilité de maintenir les connexions. Les nœuds du réseau agissent comme des routeurs et sont responsables de la transmission des données et de la décision de la route à emprunter pour atteindre la destination souhaitée.

-Les interférences : sont un problème courant avec les réseaux et les ondes qui peuvent apparaître entre les hôtes d'un réseau ou lorsqu'une onde se réfléchit elle-même. Ces interférences peuvent entraîner une augmentation des erreurs de transmission et une baisse des performances globales.

#### **II .4.5. Domaines d'applications des RCSF**

---

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ou stands for Wireless Sensor Network en anglais (WSN) sont utilisés dans de nombreux domaines grâce à leur miniaturisation, leur adaptabilité, leur faible coût et leur capacité de communication sans fil.

Les RCSF peuvent être composés de différents types de nœuds capteurs et sont capables de surveiller une grande variété de phénomènes ambiants. Les domaines d'application des RCSF incluent notamment le militaire, la santé, l'environnemental, les maisons intelligentes et l'industrie.

**II .4.5.1. Applications militaires :** L'utilisation généralisée des réseaux de capteurs sans fil dans les applications militaires peut être attribuée à des facteurs tels que leur faible coût, leur déploiement rapide, leur auto-organisation et leur tolérance aux interférences. Ils ont été créés dans le cadre de la recherche militaire pour être utilisés dans des systèmes de guerre axés sur les réseaux. L'utilisation du RCSF comprend la surveillance des champs de bataille, la collecte de données spécifiques à un lieu, et la surveillance de l'environnement, le nombre, le mouvement et l'identité des soldats et des véhicules, ainsi que pour la détection des agents chimiques, biologiques et nucléaires.

**II .4.5.2. Applications à la surveillance :** Dans le domaine de la sécurité, les réseaux de capteurs sans fil peuvent être utilisés pour surveiller les personnes et les lieux, ce qui peut réduire considérablement le coût de la sécurité. Pour détecter les fissures et les changements provoqués par les tremblements de terre ou la détérioration, les capteurs peuvent être intégrés dans de grandes structures comme les ponts et les bâtiments. Ils peuvent également être utilisés pour créer un réseau d'actionneurs de capteurs de mouvement qui agissent comme un système d'alerte pour détecter les intrusions dans une zone de surveillance.

**II .4.5.3. Applications environnementales :** Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les paramètres environnementaux tels que la qualité de l'air et de l'eau, la pollution, les risques industriels, les feux de forêt et les changements climatiques. Le déploiement de capteurs appropriés dans ces domaines peut aider à détecter rapidement les changements indésirables dans l'environnement et faciliter les interventions pour réduire les risques et les dommages environnementaux. Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour améliorer la gestion de l'irrigation et optimiser la croissance des cultures.

**II .4.5.4. Applications médicales :** Grâce à de minuscules capteurs qui peuvent être implantés sous la peau ou appliqués par voie topique, ils peuvent être utilisés pour surveiller les organes

---

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

vitaux de l'homme. En mettant en œuvre des mesures physiologiques telles que la tension artérielle ou les battements cardiaques, ils peuvent également contribuer au diagnostic de certaines maladies. Les informations recueillies par les capteurs peuvent être stockées en vue d'un suivi à long terme du patient. En outre, ces réseaux sont capables de détecter des comportements anormaux chez les personnes dépendantes, telles que les personnes âgées ou handicapées.

**II .4.5.5. La domotique :** fait référence à l'utilisation de la technologie pour automatiser les tâches domestiques et améliorer la qualité de vie. Les capteurs peuvent être intégrés dans des appareils ménagers tels que les aspirateurs, les fours à micro-ondes et les réfrigérateurs, pour interagir entre eux et avec un réseau externe via Internet. Les capteurs de mouvement et de température peuvent également être déployés dans les maisons intelligentes pour automatiser des tâches telles que l'extinction des lumières et de la musique dans une pièce vide, l'ajustement de la climatisation et du chauffage en fonction des points de mesure multiples, et le déclenchement d'une alarme en cas d'intrusion.

**II .4.5.6. Applications commerciales :** L'utilisation des réseaux de capteurs dans les entreprises comprend la surveillance de l'état des équipements, la gestion des stocks, le contrôle de la qualité des produits, le développement d'espaces commerciaux intelligents, la surveillance des conditions environnementales dans les bâtiments administratifs, le contrôle des robots dans les environnements de fabrication automatisés, la création de jouets interactifs et de musées interactifs, ainsi que la surveillance et l'automatisation des processus d'entreprise.

#### II .4.6. Caractéristiques des RCSF

**\*L'auto-configuration des nœuds capteurs :** Lorsqu'un réseau de capteurs est déployé, soit de manière aléatoire, soit de manière planifiée, chaque nœud doit être capable de s'auto-configurer et de collaborer avec les autres nœuds du réseau. Chaque nœud possède un module doté d'une antenne émettrice/réceptrice pour communiquer avec les nœuds voisins. Chaque nœud peut apprendre les itinéraires à emprunter en fonction des exigences de l'application en échangeant des informations avec ces voisins.

**\*La qualité de service (QoS) :** dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) se réfère à la quantité et à la qualité des informations extraites à partir des données collectées par les capteurs déployés dans l'environnement. Contrairement aux réseaux informatiques classiques, la QoS dans les RCSF dépend des caractéristiques spécifiques de chaque type de données utilisées.

---

## CHAPITRE II :

### L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)

---

Le niveau de QoS peut être défini par un ensemble de critères et d'attributs tels que le temps de latence, la bande passante et le nombre de paquets perdus. Les RCSF doivent être en mesure de garantir la QoS requise pour chaque application utilisant ces réseaux.

**\*La capacité et la collaboration entre les capteurs :** sont des caractéristiques clés des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ces réseaux doivent être en mesure de prendre en compte et de gérer un très grand nombre de nœuds qui collaborent pour atteindre un même objectif. Contrairement aux réseaux sans fil traditionnels, la collaboration des nœuds est essentielle dans les RCSF pour éviter le traitement et la transmission des données redondantes sur tout le réseau. Ce genre de traitement est nécessaire pour éviter une perte d'énergie et de temps importantes dans le cadre d'une optimisation de la consommation d'énergie à travers tout le réseau. Les RCSF doivent donc être conçus pour être évolutifs et collaboratifs, afin de répondre aux besoins de chaque application et de garantir la fiabilité et l'efficacité du réseau.

**\*Déploiement :** Les actions d'un capteur peuvent être aléatoires ou prédéterminées. Dans la méthode aléatoire, les capteurs sont répartis au hasard sur la zone à observer, tandis que dans la méthode déterminée, ils sont positionnés à des endroits prédéterminés. Cependant, l'utilisation intensive de capteurs dans un réseau peut rendre la méthode aléatoire plus difficile.

**\*Le routage :** Les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc sont censés accomplir trois fonctions principales

-la détermination et la détection des changements de la topologie du réseau

-le maintien de la connectivité réseau et le calcul et la détection des bons itinéraires. Cependant, pour les réseaux de capteurs, moins d'efforts ont été accordés aux protocoles de routage, car les protocoles ad hoc traditionnels ne conviennent pas au type de trafic "plusieurs à un" où tous les nœuds transmettent généralement à une seule station de base ou à un centre de fusion. Malgré cela, certains mérites de ces protocoles peuvent être appliqués aux réseaux de capteurs, tels que la communication multi-sauts et le routage QoS. Le routage peut également être associé à la compression des données pour améliorer l'évolutivité du réseau.

## II .7. Conclusion

En conclusion, l'utilisation de réseaux de capteurs sans fil (WSN) et de modélisation des données du bâtiment (BIM) dans les bâtiments intelligents offre de nombreux avantages en termes de gestion efficace de l'énergie, de confort des occupants et de durabilité environnementale.

---

**CHAPITRE II :**  
**L'intégration du Smart Building avec les réseaux de capteurs sans fil (WSN) et la modélisation des informations du bâtiment (BIM)**

---

Les réseaux de capteurs sans fil permettent de surveiller les conditions du bâtiment en temps réel, d'optimiser les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) pour améliorer l'efficacité énergétique et de prévenir les pannes et les dommages.

D'autre part, la modélisation des données du bâtiment offre une vue d'ensemble complète des caractéristiques énergétiques et environnementales du bâtiment, permettant aux architectes et aux ingénieurs de concevoir des solutions de haute performance énergétique dès le début de la conception et d'optimiser le fonctionnement et la maintenance du bâtiment tout au long de son cycle de vie.

En combinant ces deux technologies dans les bâtiments intelligents, il est possible d'obtenir des bâtiments plus économes en énergie, plus confortables pour les occupants et plus respectueux de l'environnement. Par conséquent, l'utilisation de WSN et de BIM dans les bâtiments intelligents est une tendance en croissance pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et pour répondre aux défis de la durabilité environnementale.

**CHAPITRE III :**  
**Approche (BIM) dans**  
**les Smart- Building -**  
**IoT/M2M**

### **III .1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous abordons la gestion d'énergie dans les bâtiments intelligents (BIMs) en utilisant Arduino et les réseaux de capteurs sans fil (WSN).

Dans cette étude, nous considérons Arduino comme l'élément central responsable de la collecte et du traitement des données énergétiques provenant des capteurs WSN répartis dans le bâtiment. Nous examinerons les différentes façons dont les WSN peuvent être déployés pour surveiller la consommation d'énergie dans différentes zones du bâtiment, tels que les systèmes d'éclairage, de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), ainsi que les équipements électriques.

Ce chapitre fournira donc une base solide pour comprendre comment Arduino et les WSN peuvent être utilisés pour améliorer la gestion d'énergie dans les BIMs, ouvrant ainsi la voie à des solutions novatrices pour réduire la consommation d'énergie et promouvoir la durabilité dans les bâtiments intelligents.

### **III .2. Le but de ce projet**

Dans cette partie, nous allons simuler sur le logiciel PROTUES pour tester certains types de capteurs qui nous aident à créer une maison intelligente et confortable et surtout créer un système intelligent avec des économies d'énergie.

Pour cela, nous avons réalisé un système contenant les quatre types de capteurs suivants :

- Capteur de mouvement PIR
- Capteur de lumière LDR
- Capteur de température et d'humidité DHT11

Le principe de cette simulation est de créer une connexion entre les détecteurs et de faire la cohérence entre les rôles de chaque capteur, la première détection nécessaire est de détecter la présence de personnes dans la maison ou la salle.

Lorsque le PIR détecte un mouvement les autres capteurs commencent à faire leurs rôles et chacun dans sa spécialisation afin qu'il identifie et donne des informations au cerveau pour donner des commandes à des moteurs spéciaux pour résoudre le problème ou la pénurie dans la salle.

### III .3. Le cerveau du système

#### III .3. 1. La carte Arduino UNO

Est un outil de développement open-source populaire utilisé dans les secteurs de l'électronique et de la robotique. Elle est basée sur un microcontrôleur ATmega328P, qui sert de cerveau à l'appareil et exécute les programmes qui y sont chargés. [32]

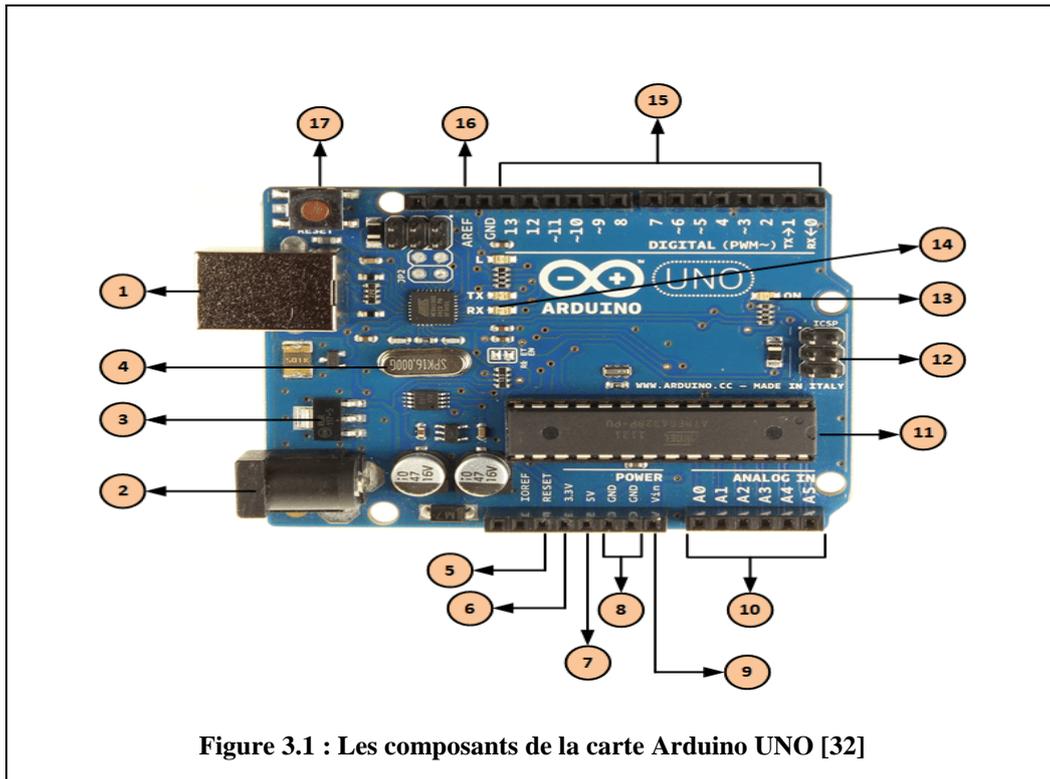


Figure 3.1 : Les composants de la carte Arduino UNO [32]

- 1. Alimentation / Programmation par USB :** Grâce à l'utilisation d'un câble USB relié à votre ordinateur, cette fonction vous permet d'alimenter une carte Arduino. En outre, cette interface permet de programmer la carte.
- 2. Alimentation via connecteur Jack DC :** Le connecteur Jack DC peut être utilisé pour alimenter directement la carte Arduino. La tension d'alimentation requise est comprise entre 5 et 12 V.
- 3. Régulateur de tension :** Cette partie régule la tension d'alimentation de l'Arduino afin de maintenir le microcontrôleur et les autres composants de la carte à la bonne tension. Sur les cartes Arduino UNO, la tension de stabilisation est de 5 volts.
- 4. Oscillateur à quartz :** La fréquence de vibration extrêmement précise (16 MHz) de ce composant permet à l'Arduino UNO de calculer les données temporelles avec précision.

**5. Arduino Reset :** Il est possible de redémarrer le programme depuis le début en connectant un bouton externe au connecteur du bouton "RESET" de la carte Arduino.

**6.3.3V :** Cette broche fournit une tension de 3,3 volts.

**7. 5V :** Cette broche fournit une tension de 5 volts.

**8. GND :** La carte Arduino comporte un certain nombre de connecteurs de ce type qui peuvent être utilisés comme masse (0 volt potentiel) pour vos circuits.

**9. VIN :** L'Arduino peut être alimenté par une source de tension externe grâce à ce connecteur, qui est relié au circuit d'alimentation principal de la carte.

**10. Broches analogiques :** L'Arduino UNO possède six plaques d'entrée analogiques dont les numéros vont d'A0 à A5. Ces broches permettent de lire un signal analogique provenant d'un capteur, tel qu'un capteur de température ou d'humidité. La carte Arduino utilise un convertisseur analogique-numérique pour transformer le signal en un nombre qui peut être lu par le microcontrôleur. La valeur est exprimée sur une échelle de 0 à 1023 points.

**11. Microcontrôleur ATmega328p :** Microcontrôleur ATmega328p : qui fonctionne comme le cerveau de la carte. Même si les microcontrôleurs des différents modèles de cartes varient légèrement, il est essentiel d'identifier le microcontrôleur avant de charger un nouveau programme à partir de l'IDE Arduino. Pour la carte Arduino UNO, le microcontrôleur possède 28 broches, 32 ko de mémoire flash, 2 ko de mémoire RAM et 1 ko de mémoire EEPROM.

**12. Le connecteur ICSP (In-Circuit Serial Programming) :** est une interface AVR composée des boutons MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC et GND. Elle permet la connectivité SPI avec d'autres composants et la programmation directe du microcontrôleur sur les plates-formes à basse fréquence.

**13. L'indicateur LED d'alimentation :** Pour signaler que le menu est correctement approvisionné, il faut se réveiller. Si l'indicateur ne s'allume pas, il peut y avoir un problème d'alimentation.

**14. LED RX et TX :** Il s'agit d'une démonstration de la communication série entre la carte et d'autres composants. Lors de l'envoi de données en série, le visualiseur TX clignote à une vitesse personnalisable, tandis que le visualiseur RX clignote pendant le processus de réception. Les bauds sont utilisés pour exprimer la vitesse de transmission.

**15. Entrées/sorties numériques :** La carte Arduino UNO dispose de 14 boutons d'entrée/sortie numériques, dont 6 sont capables de produire une sortie PWM. Ces boutons peuvent être

## CHAPITRE III : Approche (BIM) dans les Smart- Building -IoT/M2M

configurés pour fonctionner comme des boutons d'entrée logiques ou numériques pour lire des valeurs ou comme des boutons de sortie pour contrôler divers modules tels que des LED, des relais, etc. Une sortie PWM (Pulse Width Modulation) est fournie par les boutons étiquetés "~"

L'utilisation d'une technique numérique pour obtenir des résultats analogiques est possible avec les interrupteurs PWM.

**16. La broche AREF (Analog REference) :** peut être utilisé pour spécifier une tension de référence externe (entre 0 et 5 volts) comme limite supérieure pour les points d'entrée analogiques

**17. Le bouton "Reset" :** permet de réinitialiser la carte Arduino, ce qui réinitialise le programme depuis le début.

Microcontrôleur	Atmega328 Tension
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches Entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité max disponible par broche E/S (5 V)	40 mA (200mA cumulé pour l'ensemble des broches)
Intensité max disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité max disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire programme Flash	32 KB (Atmega328) dont 0,5 Ko utilisé par bootloader.
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (Atmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (Atmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau 4 : Caractéristiques de la carte Arduino UNO.

### III.4. Les composants

#### III .4.1. Les types des capteurs utilisés

	<b>PIR</b>	Un dispositif électronique connu sous le nom de capteur infrarouge passif (PIR) utilise le rayonnement infrarouge pour détecter les changements dans la zone de son champ de vision. Sa fonction principale est celle d'un capteur de mouvement.
--	------------	--

### CHAPITRE III : Approche (BIM) dans les Smart- Building -IoT/M2M

<b>LES TYPES DES CAPTEURS</b>		De plus, ces caméras sont utilisées dans les systèmes de sécurité avancés, comme les systèmes d'alarme antiterroriste, pour activer un interrupteur lorsque des mouvements sont détectés.
	<b>DHT11</b>	Le DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité. Il offre un signal de sortie numérique calibré pour la mesure de température et d'humidité. Ce capteur utilise une technologie unique de collecte de données numériques ainsi qu'une technologie de détection de température et d'humidité. Il est équipé de composants sensibles à l'humidité et d'un appareil de mesure de la température, et il est souvent connecté à un microcontrôleur 8 bits. En conclusion, le capteur DHT11 est un capteur de température et d'humidité pratique et précis avec une sortie numérique adaptée à une variété d'applications. [34]
	<b>ACS712</b>	Les capteurs de courant sont des dispositifs utilisés pour mesurer le courant électrique dans un circuit. Ils détectent le flux de courant à travers un conducteur et génèrent un signal proportionnel à son intensité. Les capteurs de courant sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment dans les systèmes de surveillance de l'énergie, les dispositifs de protection contre les surcharges et les circuits de contrôle. Ils permettent de mesurer avec précision le courant électrique pour assurer un fonctionnement sûr et efficace des équipements électriques.

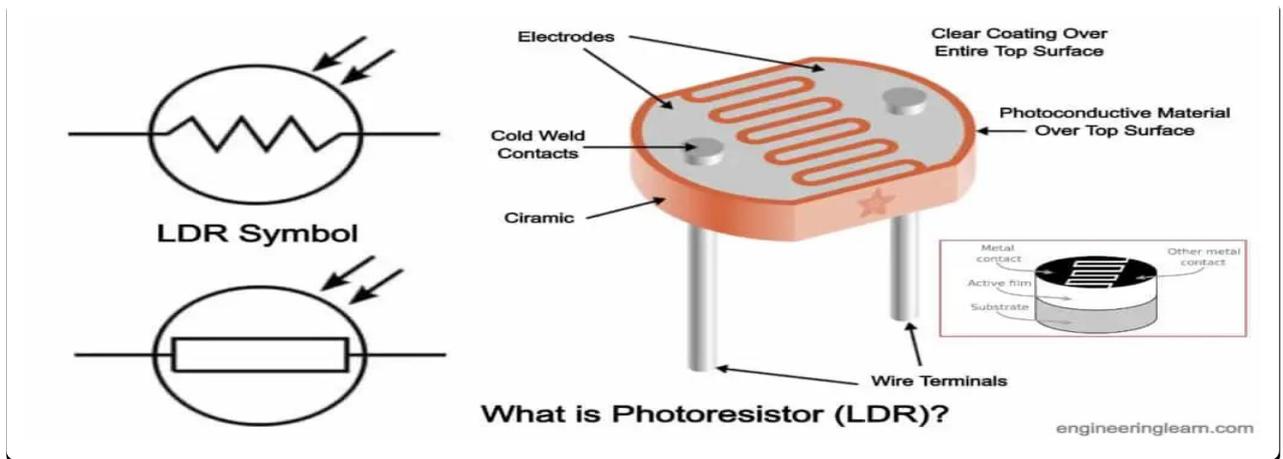
#### III .4.2. Les actionneurs

	<b>LED</b>	Les LED, ou diodes électroluminescentes, sont des dispositifs électroniques qui émettent de la lumière lorsqu'ils sont alimentés en courant électrique. Elles sont très économes en énergie, ont une longue durée de vie et sont disponibles dans une large gamme de couleurs. Les LED sont utilisées dans l'éclairage, les écrans, les indicateurs lumineux et offrent un éclairage lumineux et personnalisable. Elles sont une technologie incontournable pour des applications variées. [35]
	<b>LDR</b>	Une photorésistance, également connue sous le nom de LDR (Light Dependent Resistor), est un composant électronique dont la résistance varie en fonction de la quantité de lumière qu'il reçoit. Ce capteur est constitué d'une piste de cadmium-soufre en forme de serpent, sensible à la lumière. Lorsque la lumière frappe cette piste, la quantité de porteurs de charges libres augmente, ce qui modifie la résistance électrique de la photorésistance. [36]

<b>Les déferents actionneurs</b>	<b>LCD</b>	Les écrans à cristaux liquides (LCD, acronyme de l'anglais Liquid Crystal Display) sont des dispositifs d'affichage largement utilisés dans les téléviseurs, les ordinateurs, les smartphones et de nombreux autres appareils électroniques. Les LCD utilisent la propriété optique des cristaux liquides pour générer des images et des textes. Ils offrent une résolution élevée, des couleurs vives et un faible impact sur la consommation d'énergie. Les écrans LCD sont fins, légers et offrent un large angle de vision, ce qui en fait un choix populaire pour les dispositifs portables et les affichages grand public.
	<b>FAN</b>	Les ventilateurs sont des dispositifs électriques qui permettent de générer un flux d'air pour rafraîchir l'environnement. Ils sont compacts, portables et largement utilisés dans les maisons, les bureaux et les espaces commerciaux. Les ventilateurs fonctionnent en faisant tourner des pales qui déplacent l'air et créent une sensation de fraîcheur. Ils offrent un moyen économique et efficace de maintenir une température confortable pendant les périodes chaudes. Les ventilateurs sont disponibles dans différentes tailles et modèles, offrant ainsi une variété d'options pour répondre aux besoins de refroidissement de chacun.
	<b>Heater</b>	Les chauffages (heaters en anglais) sont des appareils qui produisent de la chaleur pour réchauffer l'environnement. Ils sont largement utilisés dans les maisons, les bureaux et les espaces commerciaux pour maintenir une température confortable. Les chauffages peuvent fonctionner à l'électricité, au gaz, au fioul ou utiliser d'autres sources d'énergie. Ils sont disponibles dans une variété de types tels que les radiateurs, les convecteurs ou les chauffages soufflants. Les chauffages offrent une solution efficace pour lutter contre le froid et créer une atmosphère chaleureuse pendant les saisons froides.
	<b>Résistance</b>	Les résistances sont des composants électriques passifs utilisés pour limiter le courant électrique dans un circuit. Elles sont constituées d'un matériau résistif qui convertit l'énergie électrique en chaleur. Les résistances sont disponibles dans une large gamme de valeurs de résistance et de puissance, ce qui permet de les adapter à différentes applications. Elles sont largement utilisées dans les circuits électroniques,

		<p>les appareils électroménagers et les systèmes de contrôle pour réguler le courant et protéger les composants sensibles. Les résistances sont essentielles dans la conception et le fonctionnement des circuits électriques. [37]</p>
	<p align="center"><b>Panneau solaire</b></p>	<p>Les panneaux solaires sont des dispositifs qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. Ils sont composés de cellules photovoltaïques qui capturent la lumière du soleil et la transforment en courant électrique continu. Les panneaux solaires sont utilisés pour générer de l'électricité propre et renouvelable, souvent dans des systèmes solaires résidentiels ou commerciaux. Ils offrent une solution durable et respectueuse de l'environnement pour la production d'énergie, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles. Les panneaux solaires contribuent à la transition vers une énergie plus propre et sont une source d'électricité renouvelable en plein essor. [38]</p>

**III .4.3. Liste des capteurs**



**Figure 3.2 : Détecteur de lumière**



Figure 3.3 : Photovoltaïque

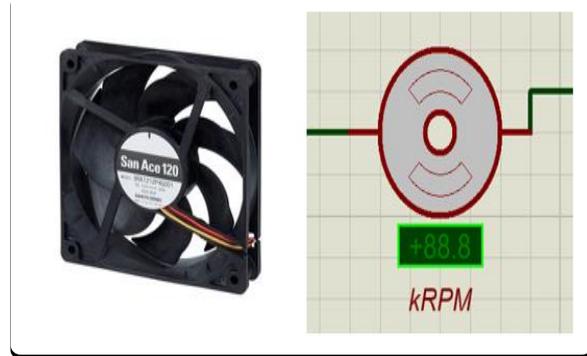


Figure 3.4 : Ventilateur FAN



Figure 3.5 : Afficheur LCD avec I2C

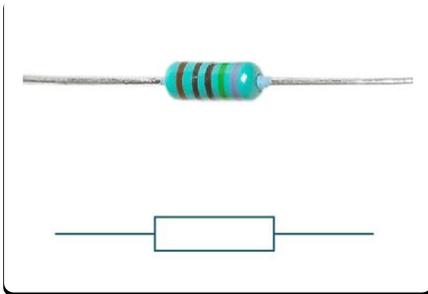


Figure 3.6 : Résistance

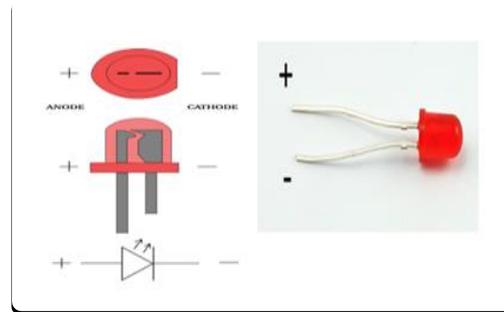


Figure 3.7 : LED



Figure 3.8 : Chauffage (Heater)

III .4.4. Liste des capteurs

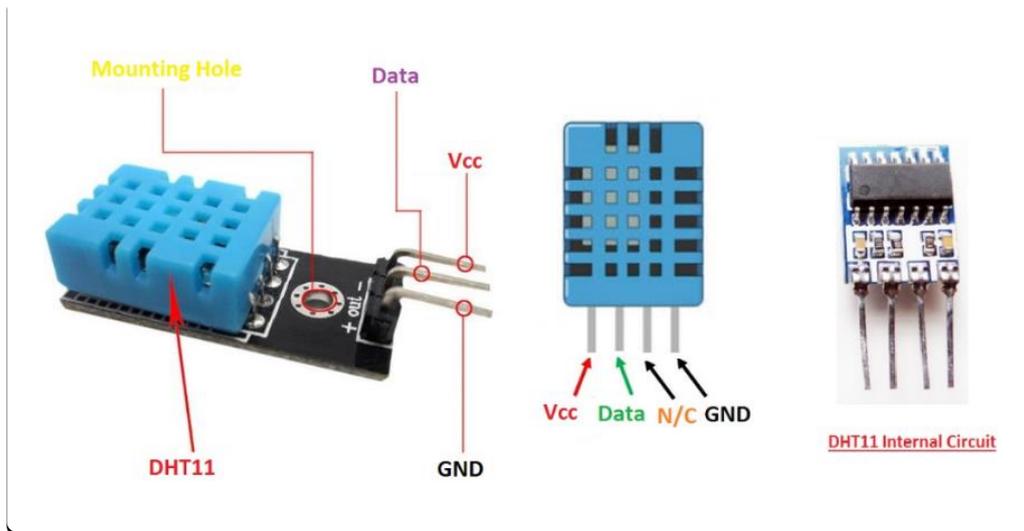


Figure 3.9 : DHT11

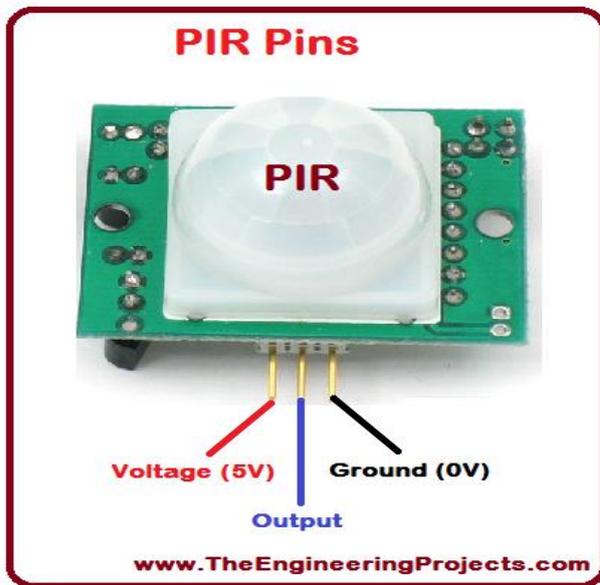


Figure3.10 : Détecteur de mouvement PIR



Figure 3.11 : Capteur de courant ACS712

III .5. Logiciels utilisés

III .5.1. ISIS Proteus

Est un programme qui permet la modélisation et la simulation de systèmes virtuels et de circuits électroniques. Pour faciliter la simulation de conceptions complètes basées sur des microcontrôleurs, elle propose des ensembles de modèles de composants et de microprocesseurs animés. En outre, Proteus vous permet de simuler la façon dont un programme informatique exécuté sur un microcontrôleur interagit avec toute électronique analogique ou numérique connectée. [39]

**Barre de menus :** La barre d'outils de Proteus offre un accès rapide et pratique aux fonctionnalités les plus utilisées du logiciel. Elle regroupe des icônes et des boutons qui représentent différentes commandes et actions disponibles. Voici quelques exemples de fonctionnalités couramment présentes dans la barre d'outils de Proteus :

- Sélection d'outils : Cette section permet de choisir l'outil de base à utiliser, tels que le sélecteur, le dessin de fils, le placement de composants, etc.
- Simulation : Cette section comprend des icônes pour lancer la simulation des circuits conçus, comme la simulation temporelle, la simulation des signaux mixtes, la simulation SPICE, etc.
- Routage des pistes : Cette section offre des options pour le routage des pistes des circuits imprimés, y compris des outils de placement automatique des pistes, de création de zones de plan de masse, etc.
- Bibliothèque de composants : Cette section permet d'accéder rapidement à la bibliothèque de composants disponibles dans Proteus pour sélectionner et placer des composants sur le schéma.
- Zoom et navigation : Cette section offre des boutons pour zoomer avant ou arrière, se déplacer horizontalement et verticalement dans la zone de travail, ainsi que pour ajuster la taille de la fenêtre à la taille du schéma.

Ces exemples illustrent quelques-unes des fonctionnalités que l'on peut retrouver dans la barre d'outils de Proteus. Cependant, il convient de noter que la configuration exacte et les options de la barre d'outils peuvent varier en fonction de la version spécifique de Proteus utilisée. Le plus souvent, le logiciel Proteus ISIS est utilisé pour éditer des schémas électriques. En outre, il permet de simuler ces schémas, ce qui permet de détecter les erreurs au stade de la conception. Comme le logiciel permet de contrôler la plupart des aspects graphiques des circuits, les circuits électriques créés avec son aide peuvent être utilisés dans la documentation.

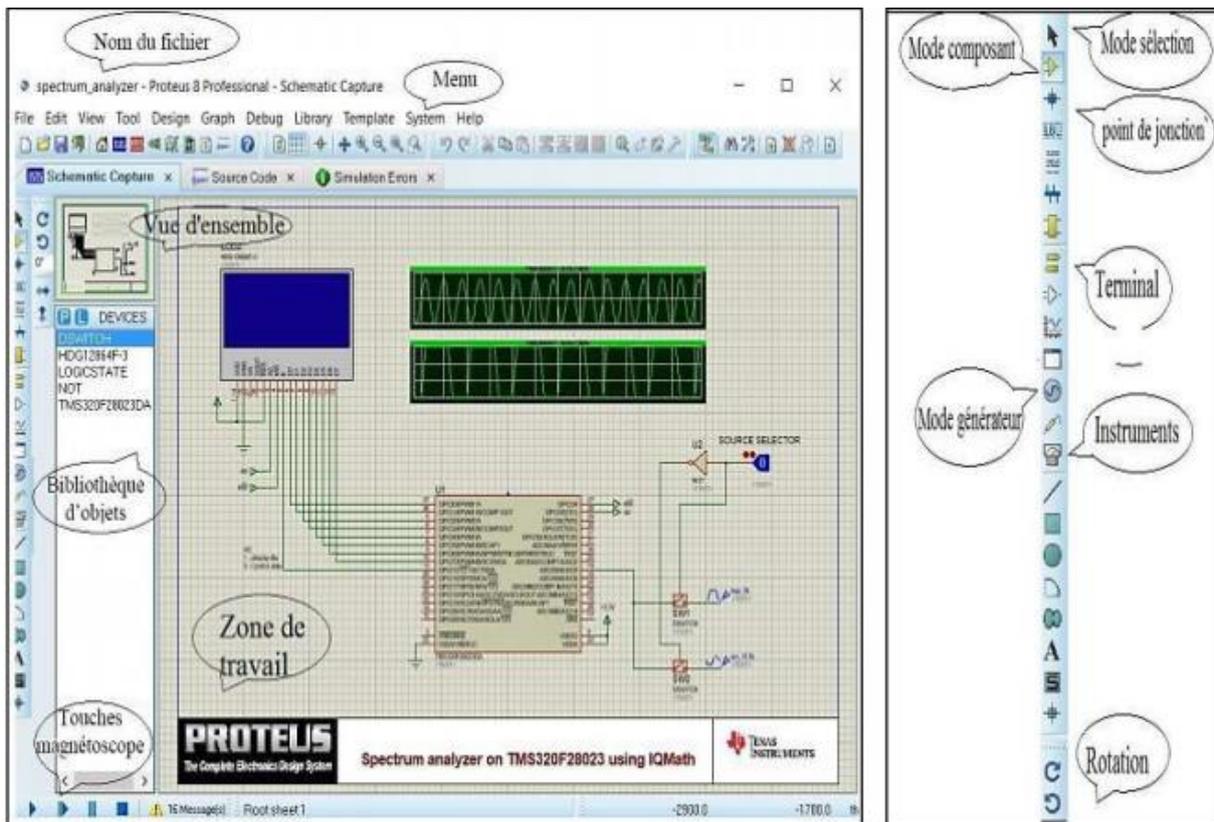


Figure 3.12 : La fenêtre principale et La barre d'outils du logiciel Proteus 8

### III .5.2. Le logiciel Arduino IDE

Est compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, Mac et Linux. Il permet de créer, tester et envoyer les programmes sur la carte Arduino. L'interface de ce logiciel est simple et se compose de quatre blocs principaux. [40]

**1. Menu :** Le menu de l'Arduino IDE est composé de plusieurs éléments :

- L'option "Fichier" permet de créer un nouveau programme, de l'enregistrer à un endroit précis et d'appeler un programme déjà existant.
- Le menu "Edition" qui offre des fonctionnalités de base telles que couper, copier, coller, supprimer, sélectionner, etc.
- Le menu "Croquis" qui regroupe les fichiers de programme créés pour le projet en cours.
- Le menu "Outils" qui permet de spécifier le type de carte utilisé, de définir la série de ports, de formater, recharger et réparer l'encodage, d'enregistrer la séquence d'initialisation de la carte connectée sur l'ordinateur, etc.

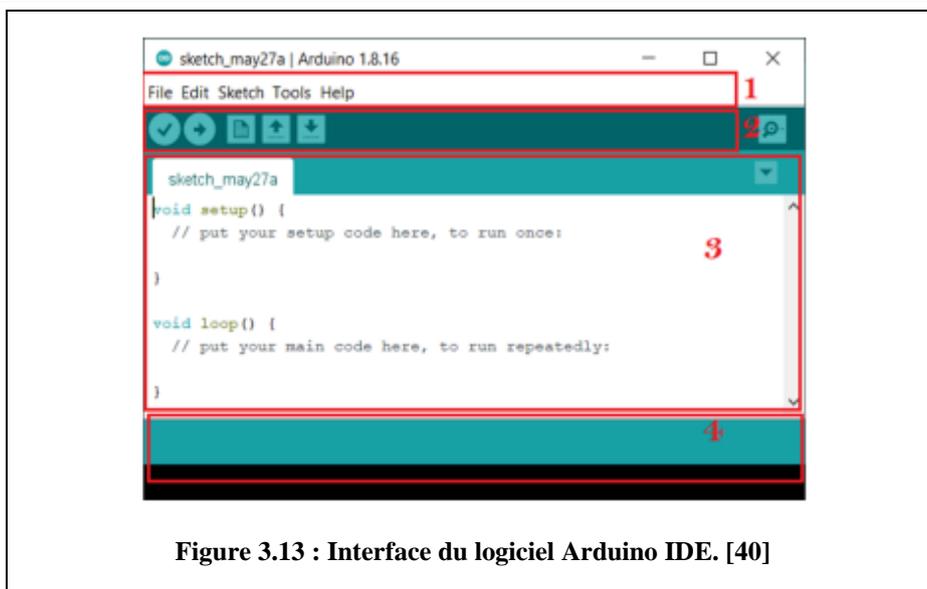


Figure 3.13 : Interface du logiciel Arduino IDE. [40]

## 2. Les boutons



- Le premier bouton permet de lancer une vérification du programme, en activant un module qui cherche les éventuelles erreurs dans le code ;
- Le deuxième bouton permet de charger ou ("téléverser") le programme dans la carte Arduino
- Le troisième bouton permet de créer un nouveau fichier
- Le quatrième bouton permet d'ouvrir un fichier existant ;
- Le cinquième bouton permet d'enregistrer le fichier en cours d'édition ;
- Le sixième bouton permet d'ouvrir le moniteur série.

**3. La fenêtre de programmation :** est la zone où le programme est écrit. Chaque logiciel respecte des règles spécifiques avant la compilation afin de structurer correctement le programme et d'éviter les erreurs de syntaxe et autres.

**4. La barre des erreurs :** répertorie toutes les erreurs qui se produisent pendant la rédaction du programme, telles que l'omission d'un point-virgule, le manque d'une accolade ou toute autre erreur dans l'instruction.

### III .6. Présentation de la simulation

Dans cette partie de simulation on va faire une communication entre trois types de capteurs, et pour cela on était raccorde les composants sur PROTUES comme si dessous :

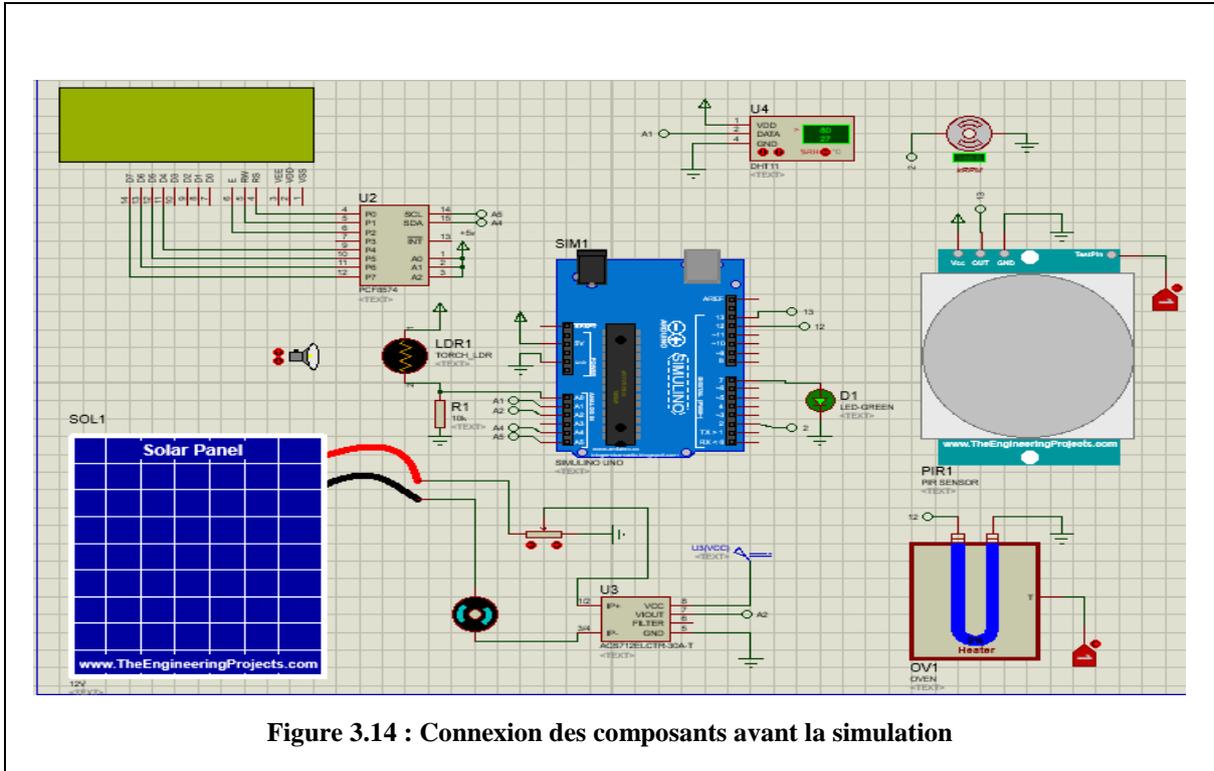


Figure 3.14 : Connexion des composants avant la simulation

#### III .6.1. La description de chaque partie

##### 1- Le cerveau :

Notre cerveau dans cette simulation c'est l'arduino.

##### 2- L'affichage

Dans cette simulation on utilise l'afficheur LCD de 20\*4 et cet écran est relié avec un I2C pour éviter interconnexions.

##### 3- L'alimentation

Dans cette simulation on va prendre l'alimentation des composants à partir d'un panneau solaire pour diminuer le cout de l'énergie électrique. Et on cas de manque de l'énergie solaire le moteur remplace le panneau et alimenter le système.

##### 4- Les capteurs

**A-capteur de courant :** dans cette simulation on utilise un capteur qui détecte et calcule le courant et le voltage et même la puissance électrique qui passe dans le système.

**B-capteur de mouvement(PIR) :** on utilise aussi un capteur de mouvement, le rôle de ce capteur est la détection de la présence des personnes dans l'espace, et s'il y'a une détection de mouvement l'information est envoyées au cerveau pour donner les ordres vers les autres composants.

**C-capteur de lumière (LDR) :** On place aussi un capteur de lumière pour détecter si l'espace a besoin d'éclairage artificiel électrique ou bien la lumière de jour naturel est suffisante.

Ce capteur aussi donne L'intensité de l'éclairage dans l'espace, Cette information aide à allumer seulement ce que nous avons besoin de la lumière, consommant ainsi seulement ce que nous avons besoin de l'énergie.

**D-capteur de température et humidité :** le rôle de ce capteur est mesuré la température et l'humidité dans l'espace et bien sûr pendant la présence des personnes puisque il est relie dans un système économique d'énergie et après de prendre les mesure il transferts les informations vers le cerveau pour continuer les procédures avec les autres appareils de climatisation et chauffage.

**5- Les moteurs :** Pour rendre la maison plus confortable en présence de personnes, nous devons fournir des dispositifs qui améliorent le climat et l'éclairage, selon les informations que chaque capteur nous donne, et dans cette simulation on choisit deux moteurs :

**A- Chauffage :** le rôle d'un chauffage dans une maison est de fournir un confort thermique, de préserver la santé et la sécurité des occupants, de protéger les biens sensibles aux variations de température, de préserver la structure de la maison et de permettre des économies d'énergie.

**B- Ventilateur :** Le ventilateur améliore le climat intérieur en assurant la circulation de l'air et en créant un mouvement d'air frais. Il rafraîchit en favorisant l'évaporation de la transpiration, améliore la ventilation en éliminant les odeurs et les polluants, et distribue de manière égale l'air conditionné. De plus, l'utilisation d'un ventilateur en combinaison avec un climatiseur permet d'économiser de l'énergie en réduisant la dépendance au climatiseur et en maintenant une sensation de fraîcheur à une température légèrement plus élevée.

### **III.6.2. Zoom sur le branchement**

#### **Pin d'arduino**

## CHAPITRE III : Approche (BIM) dans les Smart- Building -IoT/M2M

Pin Arduino	Pin d'un autre composant
2	Pin de FAN
7	Pin de LED
12	Pin de HEATER
13	Pin de PIR
A0	Pin de LDR
A1	Pin DATA de DHT11
A2	Pin VIOUT de capteur de courant
A4	Pin SDA d'I2C
A5	Pin SCL d'I2C
GND	GROUND
5 V	POWER

### III .6.3. Résultats

Après la simulation et l'activation de capteur de mouvement (donner la valeur 1 : c'est-à-dire le capteur détecte un mouvement dans l'espace).

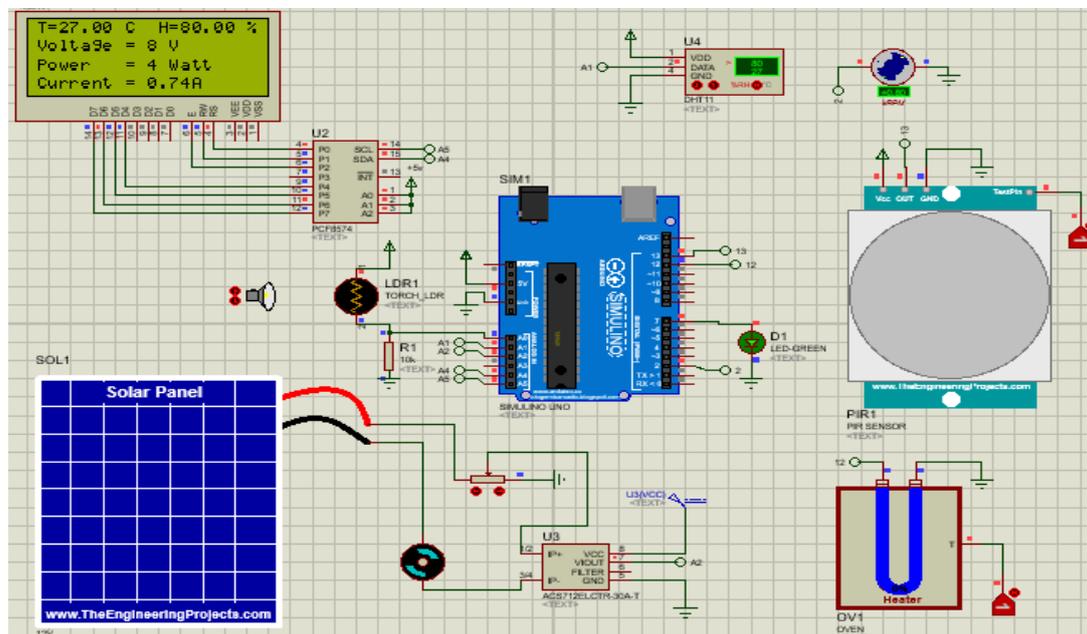


Figure 3.15 : Les résultats sur protues.

- Si le capteur détecte un mouvement, il transfère l'information vers le cerveau pour activer les autres actionneurs :

- ❖ DHT11
- ❖ LCD
- ❖ Capteur de courant
- ❖ LDR

- **DHT11**

a- D'après notre programmation d'arduino le chauffage sera Allumé si la température est inférieure à 19 C°.

Par exemple, dans ce cas, le capteur a capturé la température à 23:334 , donc la température était de 17 C° et l'humidité 79 % donc le système active le chauffage.

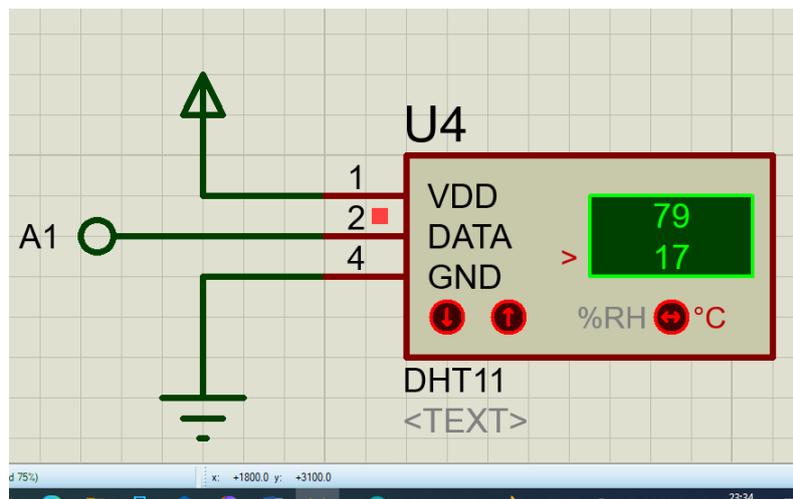


Figure 3.16 : L'affichage de température et humidité sur LCD

b- Lorsque la température est supérieure à 25 C°, le ventilateur s'allume automatiquement

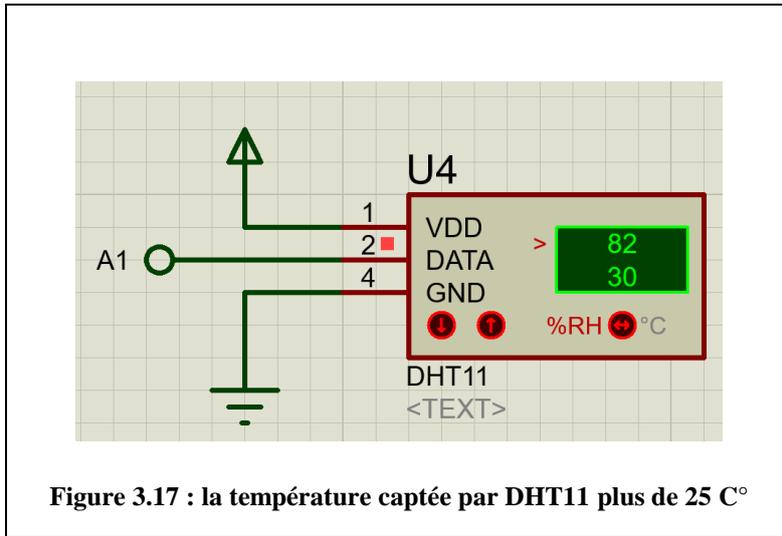


Figure 3.17 : la température captée par DHT11 plus de 25 C°

- **LDR**

Lorsque le capteur PIR détecte un mouvement, le LDR commence son rôle en transmettant l'information au cerveau, que la maison ait besoin ou non d'un éclairage artificiel.

- ❖ Si l'espace nécessite un éclairage, le capteur LDR calcule l'intensité lumineuse appropriée et nécessaire, et ceci pour consommer seulement l'énergie nécessaire sans gaspillage et c'est ce qui est requis dans nos simulations.
- ❖ S'il y a suffisamment d'éclairage naturel, Le capteur envoie au cerveau que l'intensité lumineuse requise est 0 même s'il y a des mouvements dans la maison, Et c'est ce qui nous aide à économiser de l'énergie.

- **ACS712**

Lorsque le système est activé, le capteur de courant commence à mesurer les éléments suivants :

Le courant, le voltage et la puissance électrique :

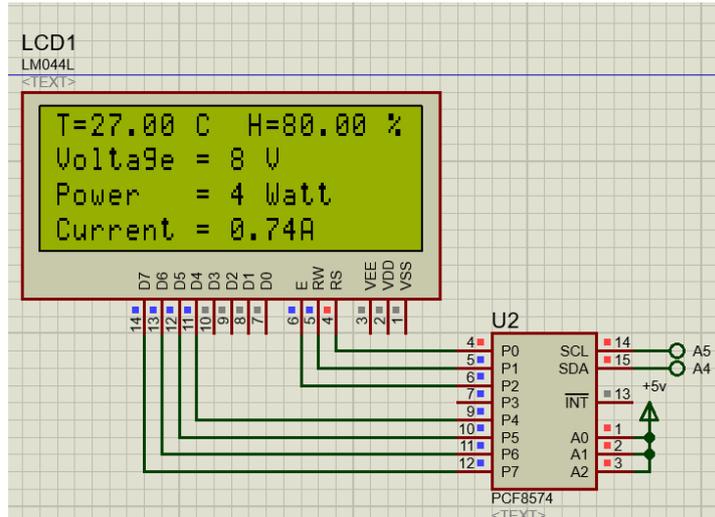


Figure 3.18 : L'affichage de capteur de courant sur LCD

### III .7. Conclusion

Le chapitre de simulation sur Proteus a été une expérience fascinante dans le domaine des systèmes intelligents et de la gestion de l'énergie. La simulation visait à optimiser la consommation d'énergie d'une main intelligente en utilisant un système intelligent. Grâce à Proteus, nous avons pu observer comment ce système pouvait analyser les besoins énergétiques de la main intelligente en prenant en compte les contraintes et les ressources disponibles. La simulation a démontré l'efficacité du système intelligent en minimisant les pertes et en maximisant l'utilisation des sources d'énergie renouvelable. Cette étude souligne l'importance de l'intelligence artificielle dans le développement de solutions durables et économes en énergie. En exploitant les capacités d'apprentissage et d'adaptation du système, il est possible d'optimiser les performances énergétiques et de contribuer à la préservation de l'environnement. Cependant, il est essentiel de souligner que cette simulation reste une représentation théorique et nécessite des tests supplémentaires avant d'être appliquée dans des systèmes réels. Malgré les résultats prometteurs, des améliorations peuvent être apportées pour affiner la précision et l'efficacité du système. En conclusion, cette simulation ouvre de nouvelles perspectives dans la gestion de l'énergie pour les systèmes intelligents, encourageant ainsi le développement et l'exploration de solutions innovantes basées sur l'intelligence artificielle, afin de favoriser le développement durable.

### Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude intitulé "Déploiement des WSN par l'approche BIM dans les Smart-Buildings - IoT/M2M" explore l'utilisation de l'approche Building Information Modeling (BIM) pour le déploiement de réseaux de capteurs sans fil (WSN) dans les bâtiments intelligents.

Ce travail met en évidence l'importance croissante des bâtiments intelligents dans le contexte de l'Internet des objets (IoT) et de la communication machine à machine (M2M). Les bâtiments intelligents intègrent des technologies avancées pour optimiser l'efficacité énergétique, la sécurité et le confort des occupants. Les réseaux de capteurs sans fil jouent un rôle essentiel dans la collecte de données environnementales et de performances des bâtiments.

L'approche BIM, largement utilisée dans l'industrie de la construction, consiste à créer un modèle numérique en 3D d'un bâtiment et à y intégrer des informations détaillées sur sa conception, sa construction et sa gestion. Le mémoire explore comment cette approche peut être étendue pour inclure les WSN dans le processus de conception et de déploiement des bâtiments intelligents.

Notre réalisation examine les avantages potentiels de l'intégration du BIM et des WSN, tels que l'amélioration de la planification et de la coordination du déploiement des capteurs, la visualisation en temps réel des données collectées, l'optimisation des performances des bâtiments et la prise de décision basée sur des données précises.

Des études de cas sont présentées pour illustrer l'application de l'approche BIM dans le déploiement des WSN dans les bâtiments intelligents. Les défis et les opportunités liés à cette approche sont également discutés, y compris les considérations de coûts, de sécurité et de confidentialité des données.

En conclusion, ce projet souligne l'importance de l'approche BIM pour le déploiement efficace des WSN dans les bâtiments intelligents. Il met en évidence les avantages potentiels de cette intégration et identifie des domaines pour des recherches futures afin d'améliorer davantage cette approche et d'exploiter pleinement le potentiel des bâtiments intelligents dans le contexte de l'IoT et du M2M.

**Références Bibliographique :**

- [1] : Niraj Pandey, « Machine-to-Machine Communication (M2M) », janvier 2016
- [2]: Djehaiche, R., Aidel, S., Benziouche, N. (2021). Design and Implementation of M2MSmart Home Based on Arduino-UNO. In: Hatti, M. (eds) Artificial Intelligence and Renewables Towards an EnergyTransition. ICAIRES 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 174. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63846-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63846-7_6)
- [3]: Jaewoo Kim, Jaiyong Lee, Member, IEEE, Jaeho Kim, and Jaeseok Yun « M2M Service Platforms: Survey, Issues, and Enabling Technologies », page (1), 2014
- [4]: ETSI, “Machine-to-machine communications (M2M); functional architecture,” TS 102.690 v1.1.1, 2015.
- [5]: Fayeze Ghavimi, Hsiao-Hwa Chen, IEEE, « M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications »
- [6]: *Vojislav B. Mišić Jelena Mišić, « Machine to machine communications (architectures, technology, standards, and application », Edition 2015*
- [7]: Eui-Jik Kim and Sungkwan Youm, « Machine-to-machine platform architecture for horizontal service integration », EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015
- [8]: M. Ptiček, V. Čačković, M. Pavelić, M. Kušek and G. Ježić « Architecture and Functionality in M2M Standards » University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering, May 2015
- [9] : *Orange business services « la carte SIM M2M », Mai 2015*
- [10]: Steffen Hermann and Benjamin Fabian, « A Comparaison of Internet Protocol (IPv6) Security Guidelines » , Institute of Information Systems, Berlin, Germany ,10 janvier 2014
- [11] : Jean-Marc Delporte «Étude sur le déploiement de l’IPv6 en Belgique, Bruxelles», pages1
- [12]: Djehaiche, Rania; Aidel, Salih (2021): Application of M2M Communication based on ZigBee to Control Smart home automation. figshare. Conference contribution. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14748486.v1>
- [13]: A. Verma, S. Prakash et al., “Sensing, controlling, and IoT infrastructure in smart building: A review,” IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 20, pp.9036–9046, 2019.

---

## BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [14] : Djehaiche, R., & Benziouche, N. (2021). *Etude et Application d'un Système de Communication M2M. figshare*. Thesis. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14710710>. v2.
- [15]: S. Talwar, D. Choudhury, K. Dimou, E. Aryafar, B. Bangerter And K. Stewart, «Enabling technologies and architectures for 5G wireless », 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014).
- [16] : Dave Evans, Livre blanc : L'Internet des Objets, Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde ?
- [17]: Perwej, Y., Haq, K., Parwej, F., & Hassan, M. M. M. (2019). The Internet of Things (IoT) and its Application Domains Baha Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Computer Applications*, 182(49), 975–8887.
- [18]: A Belo, and Marco A Spohn. Embedded system integrated into a wireless sensor network for online dynamic torque and efficiency monitoring in induction motors. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 17(3)
- [19]: ROSE, Karen, ELDRIDGE, Scott, ET CHAPIN, Lyman. The internet of things: An overview. The Internet Society (ISOC),
- [20]: B. Basnayake, Y. Amarasinghe, R. Attalage, T. Udayanga, and A. Jayasekara, “Artificial intelligence based smart building automation controller for energy efficiency improvements in existing buildings,” *International Journal of Advanced Automation Science and Technology*, vol. 40, no. 40, 2015
- [21] : Option, E., Devant, B. K., Farid, H., Abdelkrim, L., Belkacem, Y., Mcb, P., Pr, M. C. B., & Examineur, E. (n.d.). *Mémoire de fin de cycle Etude, Conception et Réalisation d'un Bâtiment Intelligent*.
- [22]: David Sembroiz1, Sergio Ricciardi1andDavide Careglio, “A novel cloud-based IoT architecture for Smart Building automation, in “Technical University of Catalonia (UPC) - BarcelonaTech, Department of Computer Architecture, Barcelona, Spain”, November 3, 2016.
- [23]: Kim Y., Kim I., Park N. Analysis of Cyber Attacks and Security Intelligence. In: Park J., Adeli H., Park N., Woungang I. (eds) *Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing.Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 274. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [24]: Konstantina Siountri, Emmanouil Skondras, and Dimitrios D Vergados.

---

## BIBLIOGRAPHIQUE

---

Developing smart buildings using blockchain, internet of things, and building information modeling. *International Journal of Interdisciplinary Telecommunications and Networking (IJITN)*, 12(3):1–15, 2020.

[25]: Loulwakhraboutli, these, using building information modeling systems (BIM) in construction projets, A été discuté 28/04/2014, Alep.

[26] : Samson Romain ; mémoire de projet de fin d'études \*La place du BIM cœur du chantier : nouveaux rôles et nouveaux outils, INSA.

[27] : Du nuage de points a la maquette numérique de bâtiment reconstruction 3d semi-automatique de bâtiments existants, par Hélène Macher, université Strasbourg, 2017.

[28]: Mustafa Corekci, Ozgun Pinarer, and Sylvie Servigne. Designing a novel smart home monitoring systems with the integration of bim and wsn. 2019.

[29]: Boukerche, X. Fei and R.B. Araujo, « An optimal coverage-preserving scheme for Wireless sensor networks Based on local information exchange », *Journal of Computer Communications (Elsevier)*, pp. 2708-2720

[30]: K Swetha, V Lahari, GVV Manikrishna, and K Bala Sai. A survey on placement of sensor nodes in deployment of wireless sensor networks. In 2019 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), pages 132–139. IEEE, 2019.

[31] : Bouazzaoui Samira, Dekali Zahira. « Conception des reseaux sans fils ieee 802.11 en modes infrastructure et ad hoc», Mémoire de master. Université abou bekr belkaid.2016.

[32]: N. S. Kumar, B. Vuayalakshmi, R. J. Prarthana, and A. Shankar, “IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, no. November 2016

[33]: R. Djehaiche, S. Aidel, and N. Benziouche, “Design and implementation of M2M-smart home based on Arduino-UNO,” in *Int. Conf. in Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*. Springer, 2020, pp. 697– 706

[34]: Pedro CHAHUARA QUISPE. Thèse de doctorat. «Contrôle intelligent de la domotique à partir d’informations temporelles multi-sources imprécises et incertaines» UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.2013.

[35]: E. Of and E. A. Fan, “Design and Development of Arduino Based Automatic Fan Control System Using PIR and LM 35 Sensor,” vol. 6, no. 8, pp. 378–389, 2018.

---

## BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [36]: Djehaiche, R., Aidel, S., Saeed, N. (2022). Implementation of M2M-IoT Smart Building System Using Blynk App. In: Hatti, M. (eds) Artificial Intelligence and Heuristics for Smart Energy Efficiency in Smart Cities. IC-AIRES 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 361. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92038-8\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92038-8_44)
- [37] : ANNE LABOURET, MICHEL VILLOZ « énergie solaire photovoltaïque »,2e édition, DUNOD.
- [38] : Aline Maroun MSAED "Micro capteur magnétique de mesure de courant et traitement intégré" Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Grenoble
- [39]: Djehaiche, R., Aidel, S., Belazzoug, M., Saeed, N. (2023). Design, Implementation, and Deployment of IoT/M2M Smart City Applications Based on MCNs. In: Hatti, M. (eds) Advanced Computational Techniques for Renewable Energy Systems. IC-AIRES 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 591. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21216-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21216-1_5)
- [40]: R. Djehaiche, S. Aidel, A. Sawalmeh, N. Saeed and A. H. Alenezi, "Adaptive Control of IoT/M2M Devices in Smart Buildings Using Heterogeneous Wireless Networks," in IEEE Sensors Journal, vol. 23, no. 7, pp. 7836-7849, 1 April1, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3247007.