



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département d'Informatique

# Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

Hamouda Amina

Dahmani Soumya

*En vue de l'obtention du diplôme de Master 02 en*

***Filière : Informatique***

***Option : ISIL (Ingénierie des Systèmes d'Information et des Logiciels)***

**Thème**

---

**Simulation et Optimisation multicritère d'un modèle  
d'éclairage public d'une ville intelligente**

---

**Devant le jury composé de :**

<i>BRAHIMI Farida</i>	<i>DR.</i>	<i>UAMOB</i>	<i>Président</i>
<i>YAHIAOUI Kais</i>	<i>MAB</i>	<i>UAMOB</i>	<i>Encadreur</i>
<i>BOUDJELABA Hakim</i>	<i>DR.</i>	<i>UAMOB</i>	<i>Examineur</i>

2018/2019

# *Remerciements*

Nous tenons à remercier Dieu tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la volonté d'accomplir ce modeste travail. A notre promoteur Mr Yahiaoui Kais, pour sa patience, ses remarques et ses conseils et son aide durant toute la période du travail. Nos vifs remerciements vont également au membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire

A mes chère parents AHMED HAMOUDA et NACIRA MAHDAOUI pour leur soutien et leurs sacrifices et pour leur patience et leur amour.

A ma grand- mère et mon grand- père pour leur gentillesse et leurs précieux conseils .

A mes sœurs : FOUZIA et SARA et mes frères : YOUCEF, HAMZA et ABDOU pour leurs complicités .

A mes chères tante .

A mes chères : MIMICHA, AYOUB et FATMA .

A tous mes amis et collègues .

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .

*HAMOUDA Amina .*

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire .

A ma chère maman TOUADI LILA qui a été toujours là pour moi avec sa douceur, sa patience et ses encouragements .

A mon chère papa DAHMANI NOUR-EDDINE qui m'a toujours soutenu moralement

A ma chère grand-mère pour sa douceur et sa gentillesse .

A mes sœurs IMANE et NASSIMA pour leur aides .

A mes chères tantes et oncles .

A mes chères cousins et cousines .

A mes adorables petites cousines MELOUKA et MENOULA .

*DAHMANI Soumya.*

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>i</b>
<b>Table des figures</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iii</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>iv</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Concepts généraux sur les réseaux de capteurs sans fil</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Historique des réseaux de capteurs sans fil . . . . .	3
1.3 Les capteurs . . . . .	4
1.3.1 Définition d'un capteur sans fil . . . . .	4
1.3.2 Les composants d'un capteur . . . . .	4
1.4 Caractéristiques d'un capteur . . . . .	6
1.5 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF) . . . . .	6
1.5.1 Définition . . . . .	6
1.6 Architectures d'un réseau de capteurs sans fil . . . . .	7
1.6.1 Le capteur (Sensor) . . . . .	8
1.6.2 L'agrégateurs (aggregator) . . . . .	8
1.6.3 Le puits (sink) . . . . .	8
1.6.4 La passerelle (Gateway) . . . . .	8
1.7 Caractéristique des réseaux de capteurs sans fil . . . . .	9

1.8	Domaine d'applications des RCSFs . . . . .	9
1.9	Systèmes embarqués pour les capteurs . . . . .	11
1.10	Technologies de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil . . . . .	13
1.11	Topologie du réseau de capteurs sans fil . . . . .	16
1.12	Conclusion . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Internet des Objets</b>	<b>18</b>
2.1	Introduction . . . . .	18
2.2	Définition de l'internet des objets . . . . .	18
2.2.1	Objet connecté . . . . .	19
2.2.2	Caractéristiques d'un objet connecté . . . . .	19
2.3	Domaine d'application . . . . .	20
2.3.1	Les villes intelligentes . . . . .	20
2.3.2	L'aérospatiale et l'aviation . . . . .	21
2.3.3	Les télécommunications . . . . .	22
2.3.4	Les bâtiments intelligents . . . . .	22
2.3.5	La santé et les technologies médicales . . . . .	22
2.3.6	La logistique et la gestion des chaînes d'approvisionnement . . . . .	23
2.4	La sécurité dans internet des objets . . . . .	23
2.4.1	Définition des objectifs de la sécurité . . . . .	23
2.4.2	Vulnérabilités et menaces dans l'internet des Objets . . . . .	24
2.5	Fonctionnement et architecture de L'IoT . . . . .	25
2.6	Technologies de l'IoT . . . . .	26
2.7	Composants d'un système IoT . . . . .	28
2.8	Conclusion . . . . .	30
<b>3</b>	<b>L'éclairage public d'une ville intelligente</b>	<b>31</b>
3.1	Introduction . . . . .	31
3.2	Habiter dans une smart city . . . . .	32
3.3	Les caractéristiques de la ville intelligente . . . . .	32
3.3.1	Economie durable . . . . .	32
3.3.2	Eco-citoyen . . . . .	33
3.3.3	Gouvernance durable . . . . .	33

3.3.4	Mobilité intelligente . . . . .	33
3.3.5	Environnement durable . . . . .	33
3.3.6	Habitat intelligent . . . . .	34
3.4	Nouveaux services performants . . . . .	34
3.4.1	Transport et mobilité intelligente . . . . .	34
3.4.2	Environnement durable . . . . .	34
3.4.3	Urbanisation responsable et habitat intelligent . . . . .	35
3.5	Les clés numériques pour une ville intelligente . . . . .	35
3.6	La relation entre une ville durable et ville intelligente . . . . .	35
3.6.1	La concrétisation de la ville intelligente . . . . .	36
3.6.2	Rendre une ville intelligente . . . . .	36
3.6.3	Réseaux de capteurs sans fil pour les villes intelligentes . . . . .	36
3.7	L'éclairage public intelligent . . . . .	37
3.7.1	L'éclairage public : un gouffre énergétique . . . . .	38
3.7.2	L'éclairage public : une évolution rapide et récente . . . . .	39
3.7.3	Eclairage public intelligent : les solutions de demain . . . . .	39
3.7.4	L'éclairage public : le point de départ de la ville intelligente . . . . .	40
3.7.5	Caractéristiques d'éclairage intelligent . . . . .	41
3.8	Conclusion . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Implémentation du modèle proposé pour l'optimisation</b>	<b>43</b>
4.1	Introduction . . . . .	43
4.2	Généralités sur la simulation . . . . .	43
4.2.1	Définition de la simulation . . . . .	43
4.2.2	Contraintes et défis de la simulation dans les réseaux de capteurs sans fil . . . . .	44
4.2.3	Avantage et inconvénients de la simulation . . . . .	44
4.3	Outils de simulation pour RCSF . . . . .	45
4.3.1	Ptolemy II . . . . .	45
4.3.2	Visual-Sense . . . . .	46
4.4	Présentation du modèle proposé pour la simulation . . . . .	47
4.5	Les services d'éclairage intelligents de notre modèle . . . . .	48
4.5.1	Service « Passage pour piéton » . . . . .	49

4.5.2	Service «abribus » . . . . .	50
4.5.3	Service « Rond-point intelligent » . . . . .	52
4.5.4	Service « Lampe souterraine intelligente » . . . . .	53
4.5.5	Service « Poteaux intelligents » . . . . .	54
4.6	Gestion de la consommation d'énergie d'éclairage . . . . .	55
4.7	Optimisation d'énergie . . . . .	56
4.8	Conclusion . . . . .	60
	<b>Conclusion générale</b>	<b>62</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>63</b>
	<b>Annexe 1</b>	<b>67</b>
	<b>Annexe 2</b>	<b>68</b>



# Table des figures

1.1	Les composants d'un noeud capteur. . . . .	5
1.2	Réseaux de Capteur Sans Fil (RCSF). . . . .	7
1.3	Architecteur d'un réseau de capteur sans fil . . . . .	7
1.4	Applications des RCSFs. . . . .	10
1.5	Modèle de la topologie hiérarchique. . . . .	16
1.6	Modèle de la topologie Plate. . . . .	17
2.1	L'IdO connecte des objets en utilisant des capteurs et Internet [11]. . . . .	19
2.2	Une figure qui représente les constituants d'une ville intelligente. . . . .	21
2.3	Architecture de L'IoT . . . . .	26
3.1	Les caractéristiques de la ville intelligente [20]. . . . .	32
3.2	Réseaux de capteurs sans fil pour les villes intelligentes. . . . .	37
3.3	L'éclairage public intelligent. . . . .	38
3.4	L'éclairage public : un gouffre énergétique. . . . .	39
3.5	L'éclairage public : une évolution rapide et récente. . . . .	39
3.6	Eclairage public intelligent : les solutions de demain. . . . .	40
4.1	Fenêtre principale de Ptolemy II. . . . .	46
4.2	Fenêtre principale de Visual Sense. . . . .	47
4.3	L'interface du modèle. . . . .	48
4.4	Les services d'éclairage intelligents de notre modèle. . . . .	49
4.5	Passage piéton intelligent. . . . .	50
4.6	Service de passage piéton intelligent . . . . .	50

4.7	Service d'abribus intelligent allumé. . . . .	51
4.8	Service d'abribus intelligent éteint. . . . .	51
4.9	Abribus intelligent. . . . .	52
4.10	Service Rond-point intelligent. . . . .	53
4.11	Service des lampes souterraines intelligentes. . . . .	54
4.12	Lampe souterraine intelligente. . . . .	54
4.13	Poteaux intelligents. . . . .	55
4.14	Service poteaux intelligents. . . . .	55
4.15	L'éclairage traditionnel . . . . .	57
4.16	L'éclairage moderne. . . . .	57
4.17	Abribus allumée. . . . .	58
4.18	Abribus éteint. . . . .	58
4.19	Range assai grand. . . . .	59
4.20	Unités des ranges en égalité. . . . .	59
4.21	Différentes largeurs de chaussées. . . . .	60

# Liste des tableaux

1.1	Générations des nœuds de capteurs . . . . .	4
2.1	Composants d'une solution IoT . . . . .	29

# Liste des abréviations

Ah	Ampère Par Heure
V	Volte
RCSF	Réseaux de capteurs sans fil
WSN	Wireless Sensor Network
PC	Personal Computer
LAN	Local Area Network
OS	Operating System
ROM	Random Access Memory
uIP	Micro IP
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
IP	Internet Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
NeSC	Network Embedded System C
MANTIS	Multimodal Networks of In-situ micro Sensor
IDO/IoT	Internet Des Objets / internet of thing
Wi - Fi	Wireless Fidelity
IEEE	Institut Des Ingénieurs Electriciens et Electroniciens
WPAN	Wireless Personal Area Network
v	volte
Kbps	Kilobits par seconde
Mbps	Mégabits Par Seconde
WLANs	Wireless Local Area Network

UWB	Ultra Wide Band
GHZ	Gigahertz
mW	Mégawatt
WMSNS	Wireless Multimedia Sensor Networks
MBAN	Wireless Body Area Networks
MAC	Media Access Control
NB	Narrow Band
ISM	Industrial, Scientific and Medical
HBC	Pour Human Body Communication
SN	Nominal Stiffness
CH	cluster head
BS	BackSpace
RFEID	Radio Frequency Identification
dvd	Digital Versatile Disc
GSM	Global System for Mobile
UTMS	Universal Mobile Telecommunications System
LTE	Long Term Evolution
NFC	Near Field Communication
GPS	Global Positioning System
SIM	Subscriber Identity Module
CPL	courants porteurs en ligne
PDA	personal digital assistant
M2M	machine à machine
Wimax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Wlan	wireless local area network
TCP	Transmission Control Protocol
wsn	wireless sensor network

RF	Radio-fréquence
ADN	Anime Digital Network
NFC	Near Field Communication
ERP	entreprise resource planing
CRM	customer relationship management
3D	tridimensionnel
TIC	Technologies de l'information et de la communication
EPC	Engineering Procurement and Construction
SMART	SPÉCIFIQUE, MESURABLE, ACCESSIBLE, RÉALISTE, TEMPOREL
TWH	Térawattheure
EDF	Électricité de France
LED	Light-emitting Diode
2G	deuxième génération
3G	troisième génération
4G	quatrième génération

# Introduction générale

L'essor des nouvelles technologies ainsi que les progrès effectués dans le domaine des télécommunications, des réseaux et du traitement de l'information ont entraîné l'apparition de nouveaux outils et objets communicants qui améliorent notre qualité de vie. Depuis quelques années, Les réseaux de capteurs sans fil sont devenus le fruit du développement conjoint des technologies sans fil et de la miniaturisation des architectures électroniques. Avant cette évolution, l'acheminement des informations relevées par un capteur était réalisé via un support de transmission filaire, encombrant et coûteux, et son installation devait justifier de perspectives de profits économiques importants. A présent, chaque capteur également appelé "noeud" est doté d'un circuit radio lui permettant de transmettre et de recevoir des informations via un médium sans fil.

Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc avec la plupart de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement déterminée. Ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique, nommée «champ de captage» correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Les données captées par les nœuds sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud reconnu comme un "point de collecte", nommé nœud-puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau (via Internet, un satellite ou un autre dispositif). L'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits.

Le réseau de capteur sans fil est aussi considéré comme une technologie spécifique qui aide à la création de villes intelligentes pour construire une ville adaptée aux besoins du présent mais qui préserve les ressources pour l'avenir a donné lieu au concept de smart

city, La Smart City ou ville intelligente consiste globalement en l'optimisation des coûts, de l'organisation, du bien-être des habitants.

Nous pensons qu'il est plus facile de commencer un voyage dans une ville intelligente avec des lampadaires intelligents. L'éclairage public est l'un des meilleurs réseaux alimentés, réparti entre les villes et les agglomérations du monde entier. Il s'agit du système nerveux d'une ville, contrairement à la plupart des applications urbaines intelligentes, l'éclairage intelligent permet d'économiser de l'argent dès le premier jour. Outre une facture énergétique réduite et des dépenses de fonctionnement réduites il participe à la fois à la sécurité publique, en jouant un rôle important dans la perception nocturne des espaces publics (identification des différents usagers, perception de leur comportement, détection des obstacles éventuels de la voirie), à la convivialité et à l'embellissement des espaces publics en mettant en valeur le patrimoine et en créant des ambiances nocturnes agréables. Il est aujourd'hui au cœur des préoccupations dans la construction de la ville de demain .

L'objectif principal de ce mémoire est d'optimiser l'énergie consommée dans l'éclairage public dans une smart city.

Dans le premier chapitre, nous donnons une vue générale sur les RCSFs et leurs domaines d'application tandis que le deuxième et le troisième chapitres sur l'internet des objets ,les villes intelligentes et leur éclairage public. Enfin, Le quatrième chapitre est consacré pour la conception et la simulation d'un modèle d'éclairage public intelligent dans une smart city élaboré sous le simulateur Visual-Sense.



# Concepts généraux sur les réseaux de capteurs sans fil

## 1.1 Introduction

Les avancées technologiques récentes confortent la présence de l'informatique et de l'électronique au cœur du monde réel. De plus en plus d'objets se voient ainsi équipés de processeurs et de moyens de communication mobiles, leur permettant de traiter des informations mais également de les transmettre [1]. Les réseaux de capteurs sans-fil entrent dans ce cadre. En effet, ceux-ci sont constitués d'un ensemble de petits appareils, ou capteurs, possédant des ressources particulièrement limitées, mais qui leur permettent néanmoins d'acquérir des données sur leur environnement immédiat, de les traiter et de les communiquer ces capteurs peuvent être reliés formant ainsi un réseau sans fil se basant sur des protocoles et des programmes pour se communiquer.

Dans ce chapitre nous allons introduire et faire une description synthétique des réseaux de capteurs sans fil en présentant leurs architectures, caractéristiques, domaines d'applications et leur technologie de la communication variés.

## 1.2 Historique des réseaux de capteurs sans fil

Les récents progrès des nouvelles techniques ont provoqué une énorme importance dans le domaine des réseaux sans fil. La technologie des réseaux de capteurs sans fil est devenue une des merveilleuses technologies dans le 21ème siècle, les réseaux de capteurs ont

montré leur impact sur notre vie quotidienne [2]. Le tableau suivant illustre l'évaluation des réseaux de capteurs.

Génération	Période	Taille	Poids	Batterie
1ère	Les années 80 et 90	Grande boîte à chaussures	Kilogrammes	Grosse
2ème	Entre 2000 et 2003	Boîte de cartes	Grammes	AA
3ème	2010	Particule de poussière	Négligeable	Solaire

TABLE 1.1 – Générations des nœuds de capteurs .

## 1.3 Les capteurs

### 1.3.1 Définition d'un capteur sans fil

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité, vibration, etc.), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base. Chaque capteur assure les trois principales fonctions de base qui sont : l'acquisition de données, les traitements sur ces données et leurs communications aux stations de bases [1].

### 1.3.2 Les composants d'un capteur

Un capteur est composé de 3 unités : [10]

#### a.L'unité d'acquisition

L'unité d'acquisition est composée d'un capteur qui va obtenir des mesures numériques sur Les paramètres environnementaux et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.

#### b.L'unité de traitement

L'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les Informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission.

### c.L'unité de transmission(communication)

L'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio.

C'est la batterie qui, n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs. Les unités d'énergie peuvent être supportées par des photopiles qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique.

### d.La source d'énergie

Pour des réseaux de capteurs sans fil autonomes, l'alimentation est une composante Cruciale. Il y a essentiellement deux aspects : premièrement, stocker l'énergie et la fournir Sous la forme requise ; deuxièmement, tenter de reconstituer l'énergie consommée par un réapprovisionnement grâce à une source externe au nœud-capteur telles les cellules solaires. Le stockage de l'énergie Se fait traditionnellement en utilisant ses piles. À titre indicatif, ce sera souvent une pile AA normale d'environ 2.2 , 2.5 Ah fonctionnant à 1.5V Ces trois unités sont alimentées par une batterie comme la montre la figure ci-dessous

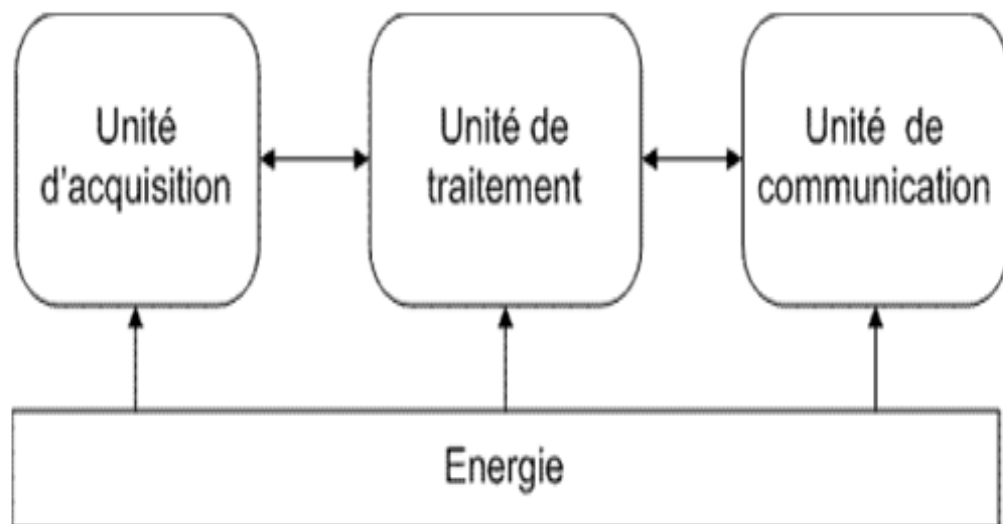


FIGURE 1.1 – Les composants d'un nœud capteur.

## 1.4 Caractéristiques d'un capteur

Un capteur est doté des caractéristiques suivantes : [3]

- Capte toujours ;
- Capable de calculer ;
- Capable de communiquer ;
- Préposition / déploiement aléatoire ;
- Limitation de la durée de vie des batteries ;
- Densité (petit / grand nombre) ;
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande ;
- L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur ;
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.

## 1.5 Réseaux de capteurs sans fil (RCSF)

### 1.5.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) en anglais WSN (Wireless Sensor Network) est un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs, variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil (voir la figure ) [1].



FIGURE 1.2 – Réseaux de Capteur Sans Fil (RCSF).

## 1.6 Architectures d'un réseau de capteurs sans fil

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs organisés en champs « Sensor Fields ». Chacun de ces nœuds a la capacité de collecte des données et de les transférer au nœud passerelle (dit « sink » en anglais ou puits) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits transmet en suite ces données par internet ou par satellite à l'ordinateur central pour analyser ces données et prendre des décisions[10].

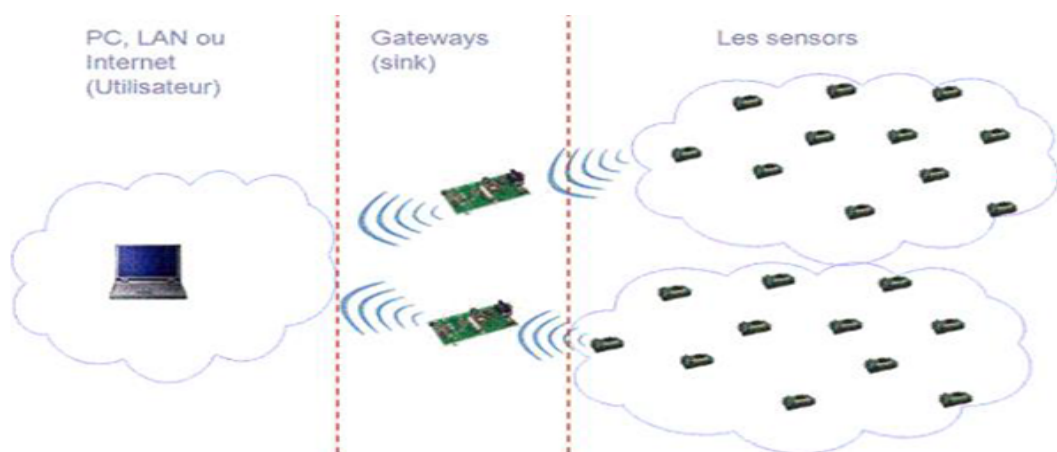


FIGURE 1.3 – Architecture d'un réseau de capteur sans fil

La Figure 1.3 représente l'architecture habituelle des réseaux de capteurs sans fils. Ils sont construits autour des quatre principales entités suivantes :

### 1.6.1 Le capteur (Sensor)

Comme le dit bien son nom, il est en charge de mesurer une valeur relative à son environnement (température, pression, luminosité, présence, etc.). On peut parfois rencontrer des capteurs actionneurs qui non seulement mesureront mais auront aussi pour rôle d'entreprendre une action en fonction de la valeur mesurée. L'intelligence est nécessaire à la prise de décision quant à l'action à entreprendre peut alors être déportée sur un autre nœud du réseau. [10]

### 1.6.2 L'agrégateurs (aggregator)

Il est en charge d'agréger les messages qu'il reçoit de plusieurs capteurs puis de les envoyer en un seul message au puits (sink). Cette opération a pour principal but de limiter le trafic sur le réseau et donc de prolonger la durée de vie globale du réseau de capteur. Il correspond généralement à la tête d'une grappe (Cluster Head). L'utilisation de grappes offre de nombreux intérêts à tous les niveaux, notamment pour le routage. [10]

### 1.6.3 Le puits (sink)

Le puits est le nœud final du réseau. C'est à lui qu'est envoyé l'ensemble des valeurs mesurées par le réseau. Il peut arriver qu'il y'ait plusieurs puits sur un même réseau de capteurs. [10]

### 1.6.4 La passerelle (Gateway)

La passerelle est un dispositif qui a la particularité d'avoir deux interfaces réseau. Il permet de relier le réseau de capteurs sans fils à un réseau plus traditionnel, typiquement l'internet. En effet, habituellement le réseau de capteurs ne sert qu'à faire remonter les mesures, les applications traitant ces informations étant exécutées sur la machine de l'utilisateur final. Le fonctionnement global de cette architecture consiste donc à ce que les capteurs fassent des mesures qu'ils font remonter au puits via les agrégateurs. L'application finale tournant sur une machine se situant sur un autre réseau a ainsi accès aux valeurs via une passerelle. A noter que les agrégateurs sont facultatifs, et que le puits et la passerelle sont généralement localisés dans un seul dispositif. [10]

## 1.7 Caractéristique des réseaux de capteurs sans fil

Par ailleurs les caractéristiques essentielles des RCSF s'établissent comme suit : [4]

- Scalabilité et adaptabilité : Importance des nombres de nœuds qui peut parfois atteindre des millions en vue d'une meilleure granularité de surveillance, avec une polyvalence de remplacement en cas de défaillance ;
- Caractéristiques du trafic interrompu : L'accès sans fil est perturbé par les interférences inévitables au sein d'un RCSF (Exp : perturbation des liens radio dans un hôpital) ;
- Réseaux multi-sauts : Les RCSF adoptent des communications multi saut en raison des limitations des ressources physiques dues à la miniaturisation des composants électroniques ;
- Réduction de la consommation de l'énergie : La gestion de l'énergie au sein d'un RCSF est limitée du fait que les capteurs sont alimentés par des batteries qui ne peuvent être changées par suite des milieux hexogènes défavorables (sachant que le rechargement des batteries est très onéreux et donc très peu rentable d'un point de vue économique) ;
- Différents types de déploiements : Engendrent des conséquences qui diffèrent d'un déploiement à un autre :
  - Le déploiement dans la nature mène à une absence de sécurité physique causée par la présence d'intrus ou de capture de nœuds ;
  - Le déploiement dans un lieu précis exige une topologie préconfiguré ;
  - Le déploiement aléatoire demande des algorithmes d'auto organisation.

## 1.8 Domaine d'applications des RCSFs

Les RCSFs peuvent avoir beaucoup d'applications voir la FIGURE (1.4). Parmi elles, nous citons :



FIGURE 1.4 – Applications des RCSFs.

### a. Découvertes de catastrophes naturelles

On peut créer un réseau autonome en dispersant des nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que les feux de forêts, les tempêtes ou les inondations. Ceci permet une intervention des secours beaucoup plus rapide et efficace[9].

### b. Détection d'intrusions

En plaçant, à différents points stratégiques, des capteurs, on peut ainsi prévenir des cambriolages ou des passages de gibier sur une voie de chemin de fer par exemple sans avoir à recourir à de coûteux dispositifs de surveillance vidéo [9].

### c. Applications métiers

On pourrait stocker des entrées nécessitant un certain taux d'humidité et une certaine température (min ou max). Dans ces applications, le réseau doit pouvoir collecter ces différentes informations et alerter en temps réel si les seuils critiques sont dépassés [9].

### d. Contrôle de la pollution

On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques.



### e. Applications militaires

Les RCSFs permettent la détection des mouvements ennemis sur un champ de bataille ou bien de tracer leurs mouvements. De façon analogue, ils peuvent permettre la détection d'intrusion ou de cambriolage dans le domaine de la sécurité civile.[4]

### f. Applications médicaux

La recherche sur l'usage des capteurs intelligents dans le domaine médical inclut les moyens d'hospitalisation à domicile, l'intégration des micro-capteurs "dans" le corps (e.g. construire un BAN-Body Area Network) et la gestion des urgences . Sachant que les applications concernant le domaine médical évoluent à une vitesse fulgurante. C'est ainsi que parmi les nouvelles venues on peut citer la télésurveillance des signes vitaux et des niveaux d'activité à domicile des personnes âgées ou handicapées ; le déploiement de micro-capteurs sur le corps humain ou éventuellement implantés permet une surveillance permanente des constantes vitales d'un patient.[ 4]

### g. Agriculture

L'implantation de nœuds dans la terre peut nous permettre d'avoir des informations concernant les endroits les plus secs et ceci pour les arroser en priorité, ces données seront obtenues en questionnant le réseau de capteurs sans fil.

Doté le bétail de capteurs faciliteras leurs localisation a toute heure, ce qui facilitera la vie aux éleveurs.[4]

## 1.9 Systèmes embarqués pour les capteurs

Les avancées technologiques récentes ont permis de faire embarquer des systèmes d'exploitation (OS : Operating System) au sein des capteurs, mais leurs fonctionnalités restent toutefois limitées. Les systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fil sont des interfaces informatiques spécifiques destinées au fonctionnement des capteurs dans les réseaux. [5]

Le rôle du système d'exploitation pour un capteur en réseau est d'être l'interface entre les ressources matérielles et les applications distribuées. Il doit fournir une variété de services systèmes basiques comme la gestion de l'allocation des ressources sur les

périphériques de matériels divers et la gestion et la planification des tâches. Le but du système d'exploitation est de faciliter la programmation des applications, mais aussi d'optimiser les utilisations des ressources. [5]

Il existe plusieurs systèmes d'exploitation pour les réseaux de capteurs sans fils comme[6] :

### **a. Contiki**

Est un système d'exploitation léger et flexible écrit en langage C, portable et open source pour capteurs miniatures. Contiki est spécialement conçu pour respecter les contraintes des RSCFs, en particulier, celles qui sont liées aux limitations de l'espace mémoire (il en occupe environ 32 kilooctets de ROM et 4 kilooctets de RAM).

Contiki est constitué d'un noyau, de bibliothèques, d'un ordonnanceur et d'un jeu de processus. Comme tout système d'exploitation, son rôle est de gérer les ressources physiques telles que le processeur, la mémoire, les périphériques informatiques (d'entrées/sorties). Il fournit ensuite aux applications informatiques des interfaces permettant d'utiliser ces ressources. Conçu pour les modules de capteurs sans-fil

Pour la communication, Contiki implémente deux mécanismes : Rime et uIP. Le premier mécanisme consiste en une couche située juste au-dessous des applications, le deuxième mécanisme (uIP : micro IP) est une implémentation adaptée d'une pile protocolaire basée IP (les protocoles : TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol), IP (Internet Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol)). L'adoption de tel mécanisme de communication rend possible la communication directe entre un capteur et n'importe quel hôte IP. Contiki pourrait être le meilleur choix lorsque la flexibilité est le plus important, par exemple lorsque le logiciel du nœud doit être mis à jour souvent pour une grande quantité de nœuds.

### **b. Tinyos OS**

TinyOS est un système d'exploitation open source pour les réseaux de capteurs sans fil qui trouve sa genèse au sein du laboratoire d'informatique de l'université de Berkeley et qui a été l'un des premiers systèmes d'exploitation conçus pour les réseaux de capteurs miniatures. En effet, TinyOS est le plus répandu des OS pour les réseaux de capteurs sans fil. Il est capable d'intégrer très rapidement les innovations en relation avec l'avancement des applications et des réseaux eux-mêmes tout en minimisant la taille du code source en

raison des problèmes inhérents de mémoire dans les réseaux de capteurs.

Les applications de TinyOS sont écrites en langage de programmation NesC (Network Embedded System C), une extension du langage programmation C., l'utilisation du langage NesC permet l'optimisation du code et par suite réduit l'usage de la mémoire à accès aléatoire (RAM).

### c. MantisOS

MANTIS (Multimodal Networks of In-situ micro Sensor) OS apparu en 2005, a été conçu par l'université du Colorado. C'est un système d'exploitation léger et multitâche pour les capteurs, adapté aux applications à plusieurs traitements, chacun associé à un ou plusieurs processus, sont en concurrence pour accéder aux ressources du capteur sans fil. Il dispose d'un environnement de développement Linux et Windows.

La programmation d'application sur MANTIS OS se fait en langage C, son empreinte mémoire est faible : 500 octets en mémoire RAM et 14kilo-octets en mémoire flash. C'est un système modulaire dont le noyau supporte également des entrées/sorties synchrones et un ensemble de primitives de concurrence, l'économie d'énergie est réalisée par MANTIS à l'aide d'une fonction de veille appelée sleep function qui désactive le capteur lorsque toutes les tâches actives sont terminées, MANTIS est un système dynamique où les modifications applicatives peuvent être réalisées pendant le fonctionnement.

## 1.10 Technologies de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil

La communication sans fil dans les réseaux de capteurs est importante et critique. Les RCSFs peuvent en supporter plusieurs types, l'efficacité de ces communications et leur conformité aux particularités de l'application figée sont des critères clés pour le choix de telle ou telle technologie. Étant donné que les RCSFs sont des réseaux particuliers exploités dans l'IdO, alors le développement des applications de ces réseaux nécessite diverses conceptions technologiques de transmissions en fonction de la portée radio (Range) et de la contrainte de l'énergie consommée.[7]

Parmi les technologies de la communication dans les réseaux de capteurs sans fil, nous citons les suivantes :

### a. Bluetooth

Le Bluetooth est un standard de communication sans fil utilisant une technologie radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. L'avantage du Bluetooth par rapport au Wi-Fi, qui l'offre de meilleures performances, se trouve au niveau de la consommation : en effet, la connexion sans fil est surtout utilisée pour les appareils mobiles, et donc n'étant pas directement reliés au secteur. Par conséquent, la technologie Bluetooth a une plus faible consommation que le Wi-Fi.[8]

### b. ZigBee

Beaucoup moins connue que le Bluetooth, ZigBee est le nom d'une suite de protocoles de hauts niveaux basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour les réseaux personnels sans fil (Wireless Personal Area Network : WPAN). La technologie ZigBee a pour but la communication à courte distance telle que le propose déjà la technologie Bluetooth. Les nœuds sont conçus pour fonctionner plusieurs mois (jusqu'à deux ans) en autonomie complète grâce à une simple pile alcaline de 1.5V. Sa très faible consommation électrique et ses coûts de production très bas en font une candidate idéale pour les RCSFs. Le petit débit qu'il offre (250Kbps théorique contre 1Mbps pour Bluetooth), n'est pas vraiment un handicap pour un réseau de capteurs puisque la taille des paquets échangés n'est pas vraiment importante. [8]

### c. Wifi

Le protocole de communication WiFi est le protocole le plus utilisé pour toutes les applications sans fil. Il offre une large bande passante (de 11 à 320 Mbits/s) ce qui a permis de démocratiser l'utilisation de la technologie sans-fil dans les réseaux classiques WLANs. Les premiers capteurs sans-fil ont eu recours à ce protocole pour permettre la communication entre nœuds. Cependant, le standard de communication WiFi n'apparaît plus actuellement comme une solution viable pour les réseaux de capteurs sans fil, du fait d'un besoin énergétique trop important pour son utilisation. La durée de vie des capteurs sans fil alimentés par des piles ne dépasse que rarement quelques heures. C'est pourquoi, les applications de capteurs à base de communication sans fil WiFi sont très peu répandues. [5]

#### d. UWB (Ultra Wide Band)

Cette Technologie utilise des signaux radio envoyés avec une intensité très faible et des impulsions très courtes. Elle opère dans la bande de fréquence de 3,1GHz à 10,6 GHz. UWB est conçue pour remplacer la norme Bluetooth afin d'offrir plus de bande passante, moins d'interférences avec les autres technologies et un délai plus court. UWB est utilisée pour les transmissions à haut débit avec une consommation électrique (proche de 400 mW). Cette technologie offre des avantages par rapport à Bluetooth. Elle consomme 50 fois moins d'énergie pour transmettre un bit par rapport à Bluetooth. Selon Akyildiz et al, aujourd'hui, le standard IEEE 802.15.3 est devenu le candidat le plus intéressant pour fournir la qualité de service dans les réseaux WMSNs (Wireless Multimedia Sensor Networks). L'inconvénient majeur de la technologie UWB est sa faible portée de communication (environ 10 m) [5]

#### e. IEEE 802.15.6

Cette technologie de courte portée est utilisée par des objets ou dispositifs à ultra basse consommation, placés sur ou à proximité d'un corps humain. Elle permet un débit maximal de 10 Mbits/s. Cette norme combine des caractéristiques de sécurité, de fiabilité, de qualité de service, de basse consommation d'énergie et de protection contre les interférences, ce qui la rend adaptées de multiples applications de réseaux radio corporels (WBAN, Wireless Body Area Networks). [5]

La technologie IEEE 802.15.6 définit une couche MAC unique et trois couches physiques différentes utilisables en fonction des applications visées. La couche NB PHY (NB pour Narrow Band) autorise des transmissions a bande étroite dans les bandes ISM (Industrial, Scientific and Médical) traditionnelles avec des débits pouvant atteindre 500 Kbits/s. La couche physique UWB PHY s'appuie sur la technologie radio ultralarge bande (UWB), pour cela elle est appelée UWB PHY. Elle permet des débits allant jusqu'à 10 Mbits/s dans des bandes de fréquences situées autour de 4 GHz et 8 GHz. Enfin, la couche HBC PHY (HBC pour Human Body Communication) s'inspire du standard de communication en champ proche et exploite les bandes 16 MHz et 27 MHz [5]

## 1.11 Topologie du réseau de capteurs sans fil

De façon générale, les architectures des réseaux de capteurs se présentent sous forme de deux topologies : [6]

### a. Topologie hiérarchique (à base de cluster)

Dans cette architecture, le réseau est constitué d'un ensemble de groupe de capteurs (cluster), dans chaque cluster un chef de groupe appelé Cluster-Head a la responsabilité de collecter et gérer les informations à partir de ces nœuds membres, par la suite agréger ces données et les envoyer à la station de base.

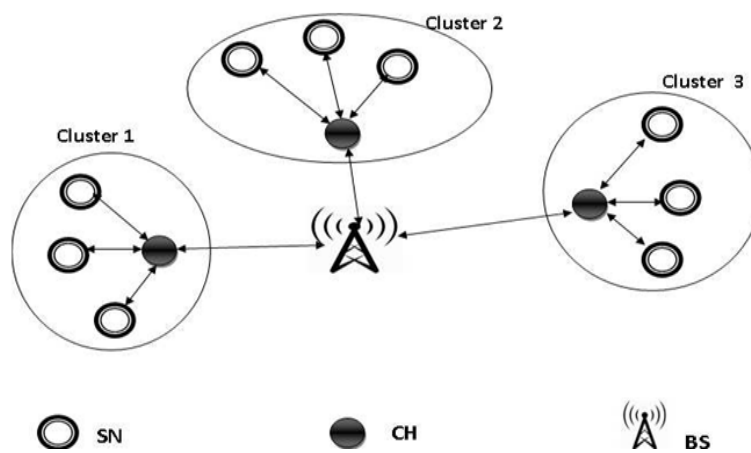


FIGURE 1.5 – Modèle de la topologie hiérarchique.

## b. La topologie plate

Tous les nœuds dans le réseau ont le même niveau de responsabilité. Les capteurs communiquent entre eux afin d'acheminer l'information au nœud centralisé (station de base) via un mode multi-sauts. C'est-à-dire que si un nœud veut envoyer un message vers la station de base et que celle-ci est en dehors de sa portée radio, il envoie son message à un nœud intermédiaire (dans sa portée radio) pour passer le message et la même procédure se répète récursivement, jusqu'à ce que le message arrive à la station de base.

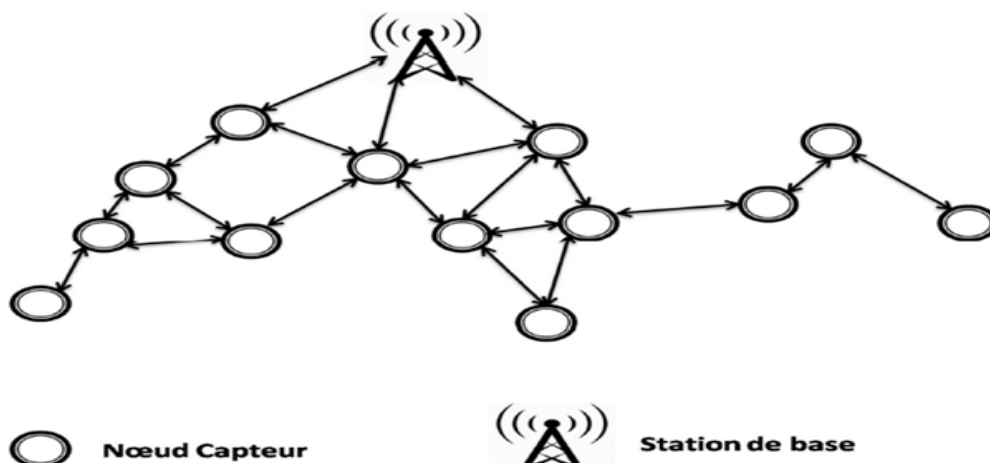


FIGURE 1.6 – Modèle de la topologie Plate.

## 1.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de donner quelques généralités sur les réseaux de capteurs sans fils que nous avons considéré comme un cas particulier. Pour cela, nous avons décrit les principaux concepts liés aux réseaux de capteurs sans fil tels que : l'architecture, les caractéristiques, les domaines d'applications, la Topologie, les systèmes d'exploitations dédiés au ce type de réseau...etc. Le Chapitre suivant sera consacré à une étude sur internet des objets.

# Internet des Objets

## 2.1 Introduction

Internet des objets est un réseau mondial d'objets qui repose sur l'idée que tous les objets peuvent être connectés un jour à Internet, ces objets sont adressables de manière unique. Tout objet, y compris (des ordinateurs, des capteurs, des RFID et des téléphones mobiles) seront en mesure d'émettre de l'information et éventuellement de recevoir des commandes. IoT ouvre la voie vers une multitude de scénarios basés sur l'interconnexion entre le monde physique et le monde virtuel, Cependant, comme d'autres concepts, celui-ci fait face à un nombre de problématiques qui nécessitent d'être étudiées pour permettre à l'Internet des objets d'atteindre son plein potentiel [11].

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord l'IoT, Vulnérabilités et menaces dans l'internet des objets, ainsi que ces composants et Technologies et quelques domaines d'application. Enfin, nous allons finir par une conclusion.

## 2.2 Définition de l'internet des objets

L'internet des objets (IdO) en anglais IOT (Internet Of Thing) est une infrastructure dynamique d'un réseau global. Qui permet d'interconnecter des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables.

D'un point de vue conceptuel, l'Internet des objets affecte, à chaque objet une identification unique sous forme d'une étiquette lisible par des dispositifs mobiles sans fil, afin de pouvoir de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau crée une passerelle entre le



monde physique et le monde virtuel.

D'un point de vue technique, l'IoT consiste l'identification numérique directe et normalisée (Adresse IP, protocole http...) d'un objet physique grâce à un système de communication sans fil (puce RFID, Bluetooth ou WiFi) [11].



FIGURE 2.1 – L'IdO connecte des objets en utilisant des capteurs et Internet [11].

### 2.2.1 Objet connecté

L'IoT repose avant tout sur les objets connectés. Un objet connecté a la capacité de capter une donnée et de l'envoyer, via le réseau Internet ou d'autres technologies, pour que celle-ci soit analysée et visualisée sur des tableaux de bord dédiés. [12]

Les objets connectés interagissent avec leur environnement par le biais de capteurs : température, vitesse, humidité, vibration... Dans l'Internet des Objets, un objet peut aussi bien être un véhicule, qu'une machine industrielle ou encore une place de parking. [12]

### 2.2.2 Caractéristiques d'un objet connecté

Les objets connectés se définissent en termes d'identité, d'interactivité, d'objet ombre «Shadowing», de sensibilité et d'autonomie [13].

- Identité : pour que les objets soient gérables, ils doivent être identifiables comme une entité unique.
- Interactivité : les progrès technologiques ont permis de connecter une grande variété d'objets et de dispositifs. Un objet n'a pas besoin d'être connecté à un réseau à

tout moment. Pour des objets dits passifs tels que des livres ou des DVD, des étiquettes RFID doivent seulement être en mesure de signaler leur présence, de temps en temps, comme au moment de quitter un magasin.

- Object Ombre (Shadowing) : La notion de shadowing désigne le fait qu'un programme logiciel puisse tout connaître d'un objet physique et agir en son nom. Grâce à cela, même un objet physique « muet » peut avoir une représentation virtuelle relativement intelligente. Ceci est parfois désigné sous le nom de cyber-objet ou d'agent virtuel.
- Sensibilité : Un objet peut transmettre des informations non seulement sur son propre état, mais aussi sur les caractéristiques de son environnement. Il peut ainsi avoir des capteurs signalant les niveaux de température, d'humidité, de vibrations, d'emplacement ou de bruit.
- Autonomie : Les objets doivent pouvoir être traités et surveillés individuellement, généralement depuis un point éloigné, et doivent fonctionner indépendamment d'une télécommande. Le concept d'« indépendance » est ainsi central : chaque objet devient responsable de lui-même, même s'il peut être interrogé par un tiers pour connaître son état. Les objets peuvent ainsi présenter divers degrés d'autonomie.

Ces caractéristiques permettent non seulement aux éléments physiques d'acquérir de nouvelles capacités, mais aussi de créer de nouveaux objets. L'Internet des objets ouvre donc un environnement ultra-connecté, des capacités et des services permettant une interaction avec et entre les objets physiques et leur représentation virtuelle.

## 2.3 Domaine d'application

L'internet offre de nombreuses applications à ses utilisateurs. Parmi ces applications nous citons :

### 2.3.1 Les villes intelligentes

Beaucoup de grandes villes ont été soutenues par des projets intelligents, comme Séoul, New York, Tokyo, Shanghai, Singapour, Amsterdam et Dubaï. Les villes intelligentes (voir Figure 2.2) peuvent encore être considérées comme des villes de l'avenir et de la vie

intelligente, et par le taux d'innovation de la création de villes intelligentes d'aujourd'hui, il sera devenu très faisable pour entrer la technologie IoT dans le développement des villes.

La demande exige une planification minutieuse à chaque étape, avec l'appui de l'accord des gouvernements, citoyens à mettre en œuvre la technologie d'Internet des objets dans tous les aspects. Par l'IoT, les villes peuvent être améliorées à plusieurs niveaux, en améliorant les infrastructures, en améliorant les transports...[14]



FIGURE 2.2 – Une figure qui représente les constituants d'une ville intelligente.

### 2.3.2 L'aérospatiale et l'aviation

L'Internet des Objets va renforcer la sécurité des produits et des services en les protégeant de la contrefaçon. Un problème auquel est confrontée l'aviation ; 28 incidents ont été provoqués aux Etats-Unis par des éléments contrefaits non conformes aux normes de sécurité. Ces incidents pourraient être évités en introduisant un «pedigree électronique» qui tracerait le cycle de vie des éléments critiques de l'avion, de leur fabrication jusqu'à leur utilisation. Ceci est réalisable en couplant la technologie RFID à une base de données dynamique. Cette base de données pourra être couplée à d'autres éléments de l'avion comme différents capteurs (pression, température...) et systèmes de

sécurité. [15]

### 2.3.3 Les télécommunications

En se basant sur les multiples technologies existantes et futures (GSM, UMTS, LTE, NFC, Bluetooth, Wifi, GPS et capteurs), l'IoT favorisera le développement de nouvelles applications et de nouveaux services. Par exemple dans le cas du NFC, nous communiquons simplement et de manière sécurisée avec différents objets en les « scannant » avec un téléphone mobile qui transmettra les données vers un serveur.

L'interconnexion des objets crée un vaste réseau d'échanges de données qui permet même de conserver un medium de communication en cas de défaillance de l'infrastructure des télécommunications actuelles. De plus, la gestion des données personnelles par la carte SIM offre une sécurité accrue pour l'authentification, l'échange de données confidentielles ou encore le paiement par mobile. [15]

### 2.3.4 Les bâtiments intelligents

Le secteur du bâtiment est, parmi les secteurs économiques, le plus consommateur en énergie. Des solutions comme les compteurs intelligents deviennent de plus en plus populaires pour mesurer la consommation d'énergie et la transmettre, par téléphone ou par courant porteur en ligne (CPL) au gestionnaire des données de comptage. Toujours dans une logique d'objets interconnectés, ce type de solution peut être combiné à d'autres capteurs (température, humidité) afin de disposer d'informations générales et précises sur les bâtiments formant un environnement intelligent et économe. La valeur ajoutée se trouve dans l'acquisition des données en temps réel permettant de s'adapter aux facteurs environnementaux et de détecter immédiatement les situations dangereuses. De plus, ces systèmes accompagneront et assisteront les personnes âgées à domicile dans une société confrontée au vieillissement de la population. [15]

### 2.3.5 La santé et les technologies médicales

De nombreuses applications sont envisageables dans le secteur de la santé avec l'utilisation d'un PDA, ou d'un mobile équipé de la technologie RFID comme support, pour la surveillance des patients et la dispensation des médicaments. Ceci permettra de faciliter la

surveillance des patients et d'établir des diagnostics en commun. La combinaison de capteurs, de la RFID, du NFC, du Bluetooth, du Wifi... augmentera l'efficacité des systèmes de monitoring des fonctions vitales (température, pression sanguine, rythme cardiaque, taux de cholestérol, taux de glucose dans le sang, etc.).

Des implants pourront être utilisés pour identifier immédiatement les problèmes de santé d'un patient dans le cas d'une admission en urgence, ce qui peut sauver la vie du patient, en particulier pour les diabétiques, les malades du cancer ou de la maladie d'Alzheimer. [17]

### **2.3.6 La logistique et la gestion des chaînes d'approvisionnement**

L'implémentation de l'internet des objets dans la logistique a de nombreux avantages : la traçabilité en temps réel grâce aux systèmes équipés de puce RFID, l'échange de données sur les produits, la gestion intelligente des stocks, la vérification automatique des entrées/sorties des produits... Ces applications vont générer un gain de temps et une économie importante dans la logistique. [15]

## **2.4 La sécurité dans internet des objets**

### **2.4.1 Définition des objectifs de la sécurité**

La sécurité informatique d'une manière générale consiste à assurer que les ressources matérielles et logicielles d'une organisation sont uniquement dans le cadre prévu. Elle vise à assurer plusieurs objectifs, dont les cinq principaux sont : L'authentification, L'intégrité, la disponibilité et la non-répudiation [16]

#### **a. Authentification**

L'authentification peut être définie comme le processus de prouver une identité revendiquée. La confidentialité, l'intégrité des données, et la répudiation dépendent tous de l'authentification, la confidentialité appropriée. Un système sans cette fonctionnalité ne pouvait pas fournir les objectifs de sécurité mentionnée de manière satisfaisante.

### **b. Confidentialité**

Ensemble des mécanismes permettant qu'une communication de données reste privée entre un émetteur et un destinataire. La cryptographie ou le chiffrement des données est la seule solution fiable pour assurer la confidentialité des données.

### **c. Intégrité**

L'intégrité peut être vue comme un ensemble de mesures garantissant la protection des données contre les modifications et les altérations non autorisées. L'objectif des attaques sur l'intégrité est de changer, d'ajouter ou supprimer des informations ou des ressources.

### **d. Disponibilité**

La disponibilité est un service réseau qui donne une assurance aux entités autorisées d'accéder aux ressources réseaux avec une qualité de service adéquate. L'objectif des attaques sur la disponibilité est rendre le système inexploitable ou inutilisable.

### **e. Non-répudiation**

Mécanisme permettant de garantir qu'un message a bien été envoyé par un émetteur et reçu par un destinataire, c'est-à-dire aucun des correspondants ne pourra nier l'envoi ou la réception du message.

## **2.4.2 Vulnérabilités et menaces dans l'internet des Objets**

A cause de la forte intégration de l'IoT, les objets du quotidien deviennent des risques potentiels d'attaque sur la sécurité, l'ubiquité de L'IdO amplifiera les menaces classiques de la sécurité qui pèsent sur les données et les réseaux, de plus l'apparition de nouvelles menaces qui toucheront directement à l'intégrité des objets eux-mêmes, les infrastructures et processus et la privacy des personnes [16].

### **a. Menaces sur les données et les réseaux**

Le manque de surveillance et de protection physique des objets communicants peut engendrer des attaques potentielles portées sur le matérielle telles que le vole, la corruption ou la contrefaçon de ces derniers pour récupération des données qui sont stockées sur

ces dispositifs ou pour interrompre le bon fonctionnement des réseaux ou les systèmes complexes les hébergent [16].

De plus, les transmissions sans fil sont réputées par leur forte vulnérabilité aux attaques de l'écoute passive et de déni de service. Les solutions cryptographiques existantes aujourd'hui ne sont pas adéquates pour tenir faces à ces problèmes cités à cause de la limitation de ressources des objets communicants, de ce fait, l'adaptation de ces dernières ou la conception de nouveaux modèles est une nécessité afin d'assurer les services de sécurité. [16]

### **b. Menaces sur la privacy**

De nombreux objets seront intégrés, portés ou même bien installés dans les lieux privés des personnes, ces objets présentent une potentielle menace pour la vie privée ( privacy ) de leurs utilisateurs. En effet, ces appareils électrique non seulement sont traçables, mais peuvent filmer, écouter ou même enregistrer leurs rythmes cardiaque ou respiratoire ainsi que la température du corps ou sa cinématique dans un but malicieux [16].

### **c. Menaces sur les systèmes et l'environnement physique des objets**

Des objets malicieux connectés à un réseau ou intégrés dans un système complexe peuvent causer un dysfonctionnement quelconque, un déni de service ou autres types d'attaques à l'intégrité des données et les informations sensibles du système, ou pire encore prendre le contrôle du système [16].

## **2.5 Fonctionnement et architecture de L'IoT**

Comment s'opère cette interopérabilité entre tous les différents objets? Grâce au concept de « Service oriented Architecture » (SoA), tel que décrit par Xu, He & Li (2014). Il s'agit d'un modèle d'architecture qui organise l'Internet des objets en quatre différentes couches (Layers) : Sensing Layer, Networking Layer, Service Layer et Interface Layer [32].

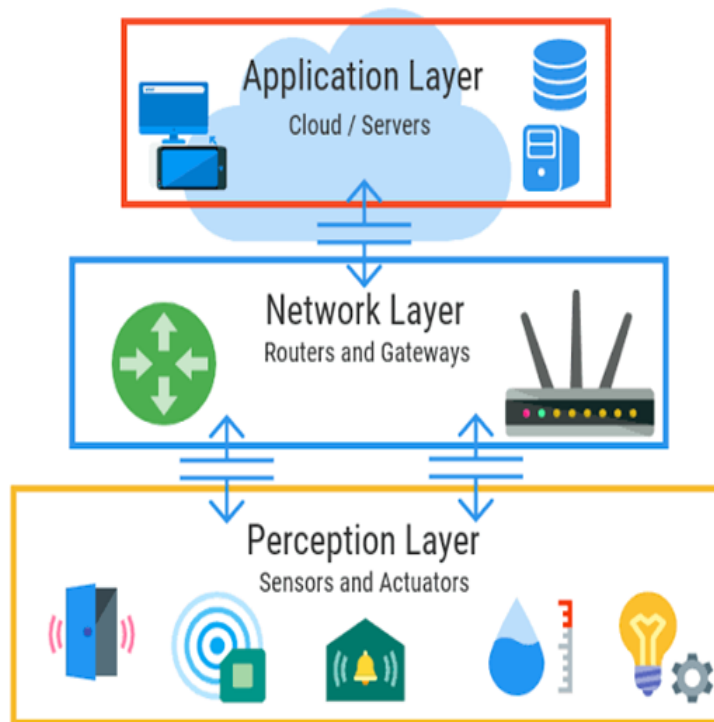


FIGURE 2.3 – Architecture de L'IoT .

- Premièrement, la couche « Sensing » regroupe tous les « hardwares » physiques nécessaires à la collection de données tels que les capteurs intelligents avec RFID.
- La seconde couche, la couche « Networking », a pour rôle de connecter entre eux tous les équipements.
- Ensuite, la couche « Service » repose essentiellement sur les technologies de « middleware » permettant de réunir les « hardwares » et « softwares » sur une même plateforme.
- Finalement, la dernière couche dite « Interface » s'occupe quant à elle de la présentation de l'application aux utilisateurs finaux, du design et de l'agrégation des différentes sources. Cette couche met en place des protocoles d'accès communs permettant ainsi l'accès aux différentes applications.

## 2.6 Technologies de l'IoT

L'IoT permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. L'IoT désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent



d'identifier des objets , capter , stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. [16]

En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IdO, nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes qui sont, selon Han et Zhongshan, les technologies clés de l'IoT. Ces technologies sont les suivantes : RFID, WSN et M2M, et elles sont définies ci-dessous. [16]

### **a. RFID**

Est une technologie sans fil qui est utilisée pour l'identification des objets, elle englobe toutes les technologies qui utilisent des ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. C'est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio. Il s'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données des étiquettes à des objets, ou pour identifier ces objets à distance. L'étiquette contient des informations stockées électroniquement qui peuvent être lues à distance.

### **b. WSN**

Est un ensemble de nœuds qui communiquent sans fil et qui sont organisés en un réseau coopératif. Chaque nœud possède une capacité de traitement et peut contenir différents types de mémoire, un émetteur-récepteur RF et une source d'alimentation. Il peut aussi tenir compte des divers capteurs et actionneurs. Constitue un réseau de capteurs sans fil qui peut être une technologie nécessaire au fonctionnement de l'IoT.

### **c. M2M**

Est l'association des technologies de l'information et de la communication avec des Objets intelligents dans le but de donner à ces derniers les moyens d'interagir sans intervention humaine avec le système d'information d'une organisation ou d'une entreprise.

## 2.7 Composants d'un système IoT

L'internet des objets n'est pas une technologie à part-entière mais plutôt un système intégrant plusieurs autres systèmes. Lier un objet ou un lieu à Internet est un processus plus complexe que la liaison de deux pages Web. Divers composants sont de mise, L'IOT en exige sept :[16]

- étiquette physique ou virtuelle pour identifier les objets et les lieux.
- Un moyen de lire les étiquettes physiques, ou de localiser les étiquettes virtuelles.
- Un dispositif mobile (smartphone, tablette, ordinateur portable).
- Un logiciel additionnel pour le dispositif mobile.
- Un réseau sans fil de type 2G, 3G ou 4G.
- L'information sur chaque objet lié.
- Un affichage pour regarder l'information sur l'objet lié.

Le tableau suivant résume les principaux systèmes technologiques nécessaires à l'implantation d'une solution IoT. [16]

Type de système	Enjeux	Technologies employées
<b>Identification</b>	Reconnaître chaque objet de façon unique et recueillir les données stockées au niveau de l'objet	<b>Anciennes</b> : Codes barres, solution RFID simple <b>Récente</b> : Solution RFID complexes, Surface Acoustique Waves, puces optique, ADN
<b>Capteurs</b>	Recueillir des informations présentes dans l'environnement pour enrichir les fonctionnalités du dispositif.	<b>Anciennes</b> : le Thermomètre, Hydromètre. <b>Récente</b> : Capteurs miniaturisés nanotechnologies.
<b>Connexion</b>	Connecter les systèmes entre eux.  enrichir les fonctionnalités	<b>Anciennes</b> : Câbles . . etc. <b>Récente</b> : Bluetooth, Near Field Communication (NFC), miniaturisés WiFi . . etc.
<b>Intégration</b>	Intégrer les systèmes pour que les données soient transmises d'une couche à l'autre.	<b>Anciennes</b> : Middlewares. <b>Récente</b> : Middlewares évolués.
<b>Traitement de données</b>	Stocker et analyser les données pour lancer des actions ou pour aider à la prise de décisions.	<b>Anciennes</b> : Excel, ERP, CRM. <b>Récente</b> : Datawarehouse 3D compatible avec les puces RFID, Web sémantique. .
<b>Réseaux</b>	Transférer les données dans les mondes physiques et virtuels.	<b>Anciennes</b> : L'internet, Ethernet. . . <b>Récente</b> : Réseau EPC global .

TABLE 2.1 – Composants d'une solution IoT

## 2.8 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet d'une étude sur la technologie d'IoT. Nous avons présenté le fonctionnement ainsi que les composants des systèmes d'IdO, leurs domaines d'applications. D'après l'étude des domaines d'applications, nous pouvons dire que les villes intelligentes englobent presque tous les domaines d'application d'IdO. De ce fait, le chapitre suivant fera l'objet d'une étude générale des Smart City.

# L'éclairage public d'une ville intelligente

## 3.1 Introduction

La ville, est considérée comme le plus important rassemblement humain, c'est un organe vital et complexe, c'est un lieu de concertation de plusieurs activités, et un lieu de mobilité intense pour des individus afin d'assurer leurs besoins. L'intelligence des villes est une notion plutôt récente qui représente une nouvelle approche de développement urbain en mettant en avant l'intégration de nouvelles technologies d'information et de communication (TIC) dans la gestion de la ville dans le but de répondre aux nécessités de celle-ci de façon efficiente. L'idée de l'intelligence d'une ville est donc de mettre en place un développement de ladite ville en utilisant les nouvelles technologies dans le but d'améliorer la qualité, la performance et l'interactivité des services urbains tout en réduisant au maximum les coûts en argent, temps et ressources.

Dans ce contexte, l'éclairage public intelligent est considéré comme les veines qui relient tous les organes vitaux de la ville, permettant aux usagers de la voie publique de circuler de nuit avec une sécurité et un confort aussi élevé que possible tout en réduisant le taux de consommation électrique.[18]

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord la ville intelligente, ses caractéristiques, ses clés numériques ainsi qu'une petite étude sur l'éclairage public intelligent et enfin, nous allons finir par une conclusion.

## 3.2 Habiter dans une smart city

Le monde devient de plus en plus conscient de l'impact de l'activité humaine sur l'environnement et avec le besoin de modes de vie alternatifs, les smart city commencent à naître. Le jargon peut paraître compliqué mais le concept derrière est facile à comprendre. Les smart (intelligent) city (villes) sont simplement des espaces urbains qui sont construits ou modifiés dans le but de rendre la vie des résidents plus agréable et facile tout en étant durable et 'éco-friendly'. Cela a l'air d'être une utopie futuriste ? Bien au contraire ! Aujourd'hui, les villes intelligentes sont une réalité et deviennent rapidement une nécessité.

## 3.3 Les caractéristiques de la ville intelligente

Selon Rudolf Giffinger, les villes intelligentes peuvent être classées selon six critères principaux liés aux théories régionales et néoclassiques de la croissance et du développement urbain. Ces critères sont respectivement fondés sur les théories de la compétitivité régionale, l'économie des transports et des technologies de l'information et de la communication, les ressources naturelles, les capitaux humains et sociaux, la qualité de vie et la participation des citoyens à la vie démocratique de la ville [19]

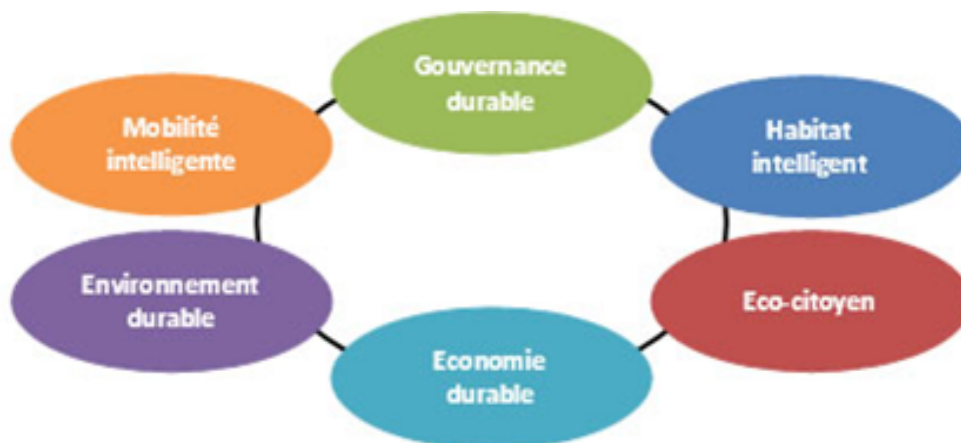


FIGURE 3.1 – Les caractéristiques de la ville intelligente [20].

### 3.3.1 Economie durable

Cet aspect comprend les facteurs liés à la compétitivité économique de la ville, c'est-à-dire : l'innovation, l'entrepreneuriat, l'esprit d'entreprise, la productivité et la flexibilité

du marché du travail ainsi que l'importance économique de la ville sur le marché national et international.

### **3.3.2 Eco-citoyen**

Cette caractéristique est le résultat de différents facteurs liés au développement du capital humain et social. En effet, elle prend en considération le niveau de qualification et d'éducation de la population, les diversités sociales et ethniques et la qualité des interactions sociales en ce qui concerne l'intégration et la participation publique ainsi que l'ouverture sur le monde. Pour certains auteurs comme Toppeta (2010) et Steinert et al. (2011), certains projets d'e-éducation, comme les cours en ligne et l'apprentissage à distance par exemple proposés par les villes, permettent d'obtenir des résultats favorables pour le développement de cette dimension de Smart People

### **3.3.3 Gouvernance durable**

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

### **3.3.4 Mobilité intelligente**

La mobilité ne comprend pas seulement les systèmes de transports modernes et durables, elle contient également les aspects liés à la disponibilité des TIC ainsi que l'accessibilité locale et internationale très importante à l'heure actuelle avec la globalisation . La façon la plus efficace pour aboutir à la mobilité intelligente est la planification urbaine qui met l'accent sur les modes de transports collectifs plutôt qu'individuels en utilisant les technologies de l'information et de la communication. La promotion de certains transports plus efficaces et intelligents comme le co-voiturage, la combinaison voiture-vélo ou encore l'utilisation des transports en commun mènent à une circulation plus efficace.

### **3.3.5 Environnement durable**

De nos jours, les préoccupations liées aux conditions naturelles et climatiques, à la pollution, à la gestion des ressources et à la protection de l'environnement devenant de plus

en plus importantes, les villes essaient de réduire au maximum leur empreinte écologique et énergétique par une gestion responsable des ressources en utilisant, par exemple, des nouvelles innovations technologiques comme les énergies propres (solaire, éolienne, etc.) qui permettent également de gagner en efficacité .

### **3.3.6 Habitat intelligent**

Cette dernière caractéristique, décrite par Giffinger et al. (2007), couvre différents aspects liés à l'amélioration de la qualité de vie en termes de services principalement comme la santé, le tourisme, la sécurité, la culture, etc.

## **3.4 Nouveaux services performants**

Pour devenir intelligentes, les villes actuelles devront développer de nouveaux services performants dans tous les domaines : [21]

### **3.4.1 Transport et mobilité intelligente**

L'un des défis consiste à intégrer différents modes de transport – rail, automobile, cycle et marche à pied – en un seul système qui est à la fois efficace, facilement accessible, abordable, sûr et écologique. Cette intégration permet une empreinte environnementale réduite, optimise l'utilisation de l'espace urbain et offre aux citoyens une gamme variée de solutions de mobilité répondant à l'ensemble de leurs besoins. Par ailleurs, la ville de demain devra mettre en place les dernières technologies de transport en commun et de mobilité électrique ;

### **3.4.2 Environnement durable**

Les villes devront agir dans deux domaines principaux : les déchets et l'énergie. Concernant les déchets, les villes auront pour mission de réduire, voire d'éviter, leur production de déchets et de mettre en place des systèmes efficaces de récupération et de valorisation des déchets (procédé par lequel on transforme un déchet matériel ou un produit inutile en un nouveau matériau ou produit de qualité ou d'utilité supérieure). Dans le domaine de l'énergie, les villes devront renforcer leur action en matière d'efficacité énergétique



(développement de l'éclairage public à faible consommation) et devront mettre en place des systèmes de production locale d'énergie (panneaux solaires sur les toits des édifices, production d'électricité à partir des déchets, etc.) ;

### 3.4.3 Urbanisation responsable et habitat intelligent

La valeur élevée de l'immobilier dans les centres villes combinée à la disponibilité limitée des terres rendent l'urbanisation actuelle complexe. En effet, le modèle de l'étalement urbain – coûteux en espace, en équipements publics, en énergie – qui primait jusqu'ici n'est plus possible. Il faut réinventer des formes urbaines qui, à la fois, respectent une intimité indispensable, assurent un ensoleillement suffisant, permettent des évolutions et favorisent le « vivre-ensemble ». Les bâtiments devront, également, être plus intelligents afin de faciliter et d'améliorer la gestion de l'énergie, voire de réduire les consommations.

## 3.5 Les clés numériques pour une ville intelligente

Les chantiers prioritaires pour la ville intelligente, Parmi les thématiques prioritaires de nature générique relatives à la ville intelligente, on peut notamment retenir la typologie suivante [22] :

- Processus internes de la ville et gestion de la relation citoyenne.
- Aménagement numérique du territoire et reprogrammation de l'espace publique.
- Cadre de la vie, mobilité, sécurité et environnement.
- Solidarités numériques.
- Education et culture.
- Participation citoyenne.

## 3.6 La relation entre une ville durable et ville intelligente

Une smart city est nécessairement durable. L'intelligence sert à articuler, de manière cohérente, la réduction de l'empreinte carbone, l'efficacité énergétique, la gestion de l'eau et des déchets. . . la ville intelligente, c'est aussi celle qui offre à ses citoyens un cadre de

vie soutenable, ce qui inclut l'accessibilité, la protection de la santé et la facilitation de l'engagement citoyen.

### 3.6.1 La concrétisation de la ville intelligente

Les divers projets estampillés "smart" promettent tous une efficacité technique capable de prendre en charge les deux principaux enjeux urbains [23] :

- Limiter la consommation des ressources ;
- Intégrer les citoyens à l'administration de la ville.

### 3.6.2 Rendre une ville intelligente

Comment conduire les premières expérimentations et organiser l'évolution de la numérisation des services publics. Mettre en place le volet technologique : quels systèmes utiliser, comment aborder la problématique d'interconnexion de système. Anticiper de comprendre les facteurs de risques posés par la « smart-city » en termes de souveraineté de la chose publiques, Prévenir le risque de la ville connectée : Intérêt et bénéfices. [24]

### 3.6.3 Réseaux de capteurs sans fil pour les villes intelligentes

Un réseau de capteurs sans fil est une technologie : spécifique qui aide à la création de villes intelligentes. Leur but est de créer un réseau réparti de noyaux de capteurs intelligents qui peuvent mesurer plusieurs paramètres intéressants pour une meilleure gestion de la ville. Toutes les données sont transmises en temps réel aux citoyens ou aux autorités concernés.

Par exemple, les citoyens peuvent surveiller le niveau de pollution dans chaque rue de la ville ou encore recevoir une alerte quand le niveau de radiations atteint dépasse une certaine limite. Cela offre aussi la possibilité aux autorités d'optimiser l'irrigation des parcs ou l'éclairage de la ville. De plus, les fuites d'eau peuvent être facilement détectées, et des cartes dressant l'état de la pollution sonore peuvent être créées. Les poubelles peuvent aussi être plus intelligentes, des capteurs permettant de déclencher une alarme lorsqu'elles sont presque pleines.

Le trafic routier peut être contrôlé pour modifier l'éclairage urbain de manière dynamique. De même, le trafic peut être réduit grâce à des systèmes détectant la place de

parking la plus proche. Les automobilistes sont informés en temps réel et peuvent rejoindre rapidement une place libre, économisant ainsi du temps et du carburant. Tout cela réduit la pollution et les embouteillages tout en améliorant la qualité de vie.

De même des capteurs peuvent permettre aux autorités de la ville de contrôler en temps réel l'occupation des places de stationnement en dépassement sur de la zone bleue. [25]



FIGURE 3.2 – Réseaux de capteurs sans fil pour les villes intelligentes.

### 3.7 L'éclairage public intelligent

L'éclairage public est une source de pertes économiques et écologiques monstrueuses. C'est pourquoi, une transition, s'est avérée primordiale, vers l'éclairage public intelligent. Ce système vise à intégrer des « contrôleurs » dans chaque lampadaire. De cette façon, l'allumage ou l'extinction de ceux-ci dépendraient du trafic via des moyennes effectuées sur les axes routiers grâce à des détecteurs de présence.

L'éclairage public est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité ou à l'agrément des êtres humain. [26]



FIGURE 3.3 – L'éclairage public intelligent.

### 3.7.1 L'éclairage public : un gouffre énergétique

La première raison est économique. En France, 9 millions de lampes fonctionnent entre 3 500 et 4 300 heures par an pour une puissance installée d'environ 1 260 MW. L'éclairage public des villes représente près de la moitié de la consommation d'électricité des collectivités territoriales, soit 18 % de leur consommation toutes énergies confondues. Le poids de l'éclairage public dans la facture des collectivités est donc très important. Il est donc nécessaire pour les collectivités territoriales d'investir dans des technologies intelligentes capables de faire baisser leur consommation d'électricité. Cela est d'autant plus vrai que, lors du Grenelle de l'environnement, une analyse de l'état des lieux des installations d'éclairage a fait apparaître d'importants besoins de rénovation. Plus de la moitié du parc est composée de matériels obsolètes (40% des luminaires en service ont plus de 25 ans) et énergivores : boules diffusantes, lampes à vapeur de mercure (environ 1/3 du parc), etc. À l'échelon européen, ces investissements dans des technologies d'éclairage public intelligent pourraient représenter des économies d'énergie annuelles de l'ordre de 38 TWh, soit une réduction 63,7 % de la consommation d'énergie par l'éclairage public .

[27]



FIGURE 3.4 – L'éclairage public : un gouffre énergétique.

### 3.7.2 L'éclairage public : une évolution rapide et récente

L'éclairage public doit avant tout permettre aux usagers de la voie publique de circuler de nuit avec une sécurité et en confort aussi élevé que possible. Pour l'automobiliste, il s'agit de rendre aisée la perception et la localisation des contours de la route et des obstacles éventuels. Pour le piéton, il s'agit d'assurer la visibilité distincte des bordures de trottoirs, des véhicules et des obstacles [28].



FIGURE 3.5 – L'éclairage public : une évolution rapide et récente.

### 3.7.3 Eclairage public intelligent : les solutions de demain

Rénover l'éclairage public des collectivités locales est bien souvent l'occasion d'engager une réflexion globale dans une approche systémique des solutions. Présent sur toute la

chaîne de valeur, du diagnostic technique jusqu'au système de pilotage de l'éclairage, EDF et ses filiales apportent une compétence transversale et approfondie pour faire de l'éclairage urbain une source de confort, de sécurité et de valorisation de la ville tout en réduisant son empreinte carbone. L'expertise du groupe dans la durée aide les collectivités à choisir des solutions d'éclairage public intelligent et services connectés efficaces à coûts maîtrisés. [29]

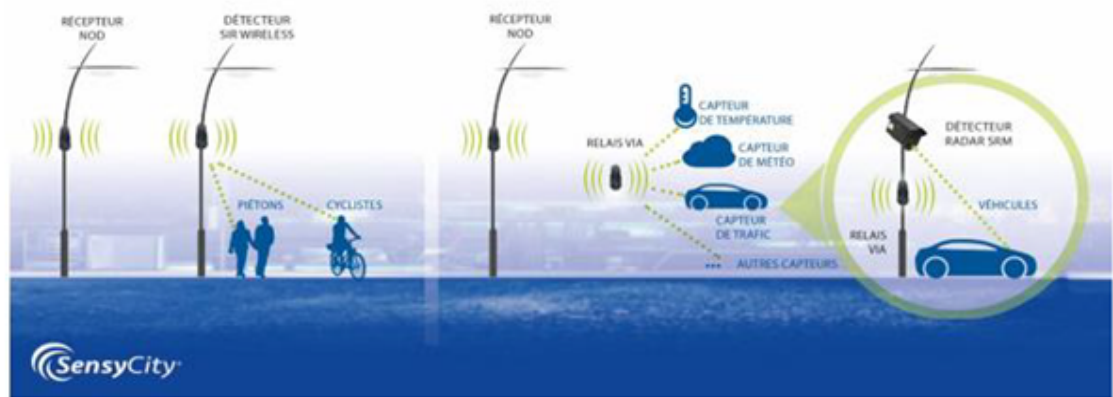


FIGURE 3.6 – Eclairage public intelligent : les solutions de demain.

### 3.7.4 L'éclairage public : le point de départ de la ville intelligente

Plusieurs solutions complémentaires participent à la mise en place d'un éclairage intelligent : [30]

1. LED : Equiper les luminaires de LED lors de travaux de rénovation permet de réaliser d'importantes économies d'énergie. En effet, les LED procurent une lumière plus esthétique que celle des ampoules traditionnelles, ont une durée de vie plus longue et consomment moins d'énergie.
2. Capteurs : Grâce à l'installation de capteurs de présence et de luminosité, l'éclairage des luminaires s'adapte en fonction de l'environnement et des situations.
3. Télégestion : Via l'outil de télégestion Muse®, les villes peuvent piloter à distance l'allumage / l'extinction des luminaires et l'intensité d'éclairage. Muse® permet également de prévoir les interventions de maintenance préventive et curative.

L'éclairage intelligent est un premier pas vers la ville connectée. Les infrastructures installées ont été pensées pour mettre en place, sur le long terme, d'autres services associés comme la vidéo protection, le Wifi, le stationnement intelligent, etc.

### 3.7.5 Caractéristiques d'éclairage intelligent

#### 7.5.1. Plus sûre, plus intelligent et plus efficace

Une ville intelligente nécessite non seulement la capacité de prise en charge de toutes sortes de capteurs et des données qu'ils recueillent, mais aussi des solutions répondant aux besoins de ses concitoyens. Pour fournir la base de cette prise en charge, une solution de contrôle de l'éclairage VantagePoint. Le contrôle de l'éclairage VantagePoint est une solution intelligente qui utilise un module de contrôle, un logiciel et le réseau de communication FlexNet pour offrir un contrôle accru et une meilleure automatisation des éclairages. Les modules fonctionnent aussi bien pour les éclairages LED que traditionnels, ils permettent de profiter de la réduction des coûts de maintenances sans avoir à passer à technologie LED [23].

#### 7.5.2. Un déploiement plus rapide

L'éclairage d'avantage d'endroits, grâce à la facilité et la souplesse d'installation ne nécessitant qu'une formation minime. Avec son logiciel intégré et son module Plus-and-Play, sa mise en œuvre est ultrarapide [31].

#### 7.5.3. L'effet de l'éclairage public intelligent

L'effet de l'éclairage public sur la sécurité des personnes sur la voie publique a fait l'objet de nombreuses recherches :

- L'éclairage public permet de réduire de 31 à 41 % le nombre d'accidents de la circulation.
- L'éclairage public permet de réduire de 51 % les effractions, vols et actes de vandalisme.
- L'éclairage public sert également à l'embellissement des espaces publics par la mise en valeur du patrimoine, des monuments architecturaux et historiques [23].

## **3.8 Conclusion**

L'éclairage public intelligent est un système initialement conçu pour augmenter l'efficacité énergétique, il devient un outil phare du développement des smartcities, c'est un moyen de rendre autonomes numériquement les territoires, dont le principe équivaut à créer des villes interconnectées et efficaces.



# Implémentation du modèle proposé pour l'optimisation

## 4.1 Introduction

Notre objectif principal dans ce travail consiste à réduire et optimiser la consommation d'énergie dans toute source d'éclairage. Pour ce faire, nous avons utilisé un environnement de simulation qui permet de simuler un système intelligent qui contrôle l'éclairage dans les villes intelligentes. Pour cela, nous avons utilisé un logiciel de simulation Visual-Sense afin d'obtenir des résultats plus proches à la réalité.

## 4.2 Généralités sur la simulation

### 4.2.1 Définition de la simulation

La simulation est une technique de modélisation largement utilisée dans l'évaluation de performances des systèmes informatiques et réseaux de communication. Il s'agit d'implanter un modèle simplifié du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat. Cela permet de modéliser des situations très complexes que l'on ne peut résoudre analytiquement. De plus, le comportement transitoire des systèmes peut être évalué alors que les modèles analytiques sont généralement utilisés pour étudier le comportement stationnaire d'un système[33].

## 4.2.2 Contraintes et défis de la simulation dans les réseaux de capteurs sans fil

La simulation des réseaux de capteurs sans fil introduit de nombreuses problématiques liées à la modélisation des nœuds, du médium radio et de l'environnement physique. Ainsi, un simulateur doit prendre compte de nombreux paramètres afin que la modélisation s'approche le maximum du system réel. Les différentes fonctionnalités que doit offrir un simulateur pour les réseaux de capteurs son fil sont les suivants : [33]

- Une modélisation complète de l'architecture des nœuds, à s'avoir les différentes couches du modèle OSI (Open Systems Interconnexion) par exemple application, routage, MAC. .
- Une modélisation des composants matériels des nœuds son fil comme la modélisation d'une batterie, d'un capteur ou d'un processeur.
- Une modélisation détaillée du médium radio afin de prendre en compte les différents phénomènes liés à la propagation, aux collisions et aux interférences.
- Une modélisation de l'environnement physique. Par exemple, simuler la présence d'obstacles ou la propagation d'un feu d'incendie [33].

## 4.2.3 Avantage et inconvénients de la simulation

### Avantage :

- Observations des états du système.
- Etudes des points de fonctionnement d'un système.
- Etudes de l'impact des variables sur les performances du système.
- Etude d'un système sans les contraintes matérielle[33].

### Inconvénients :

- La conception de modèles peut nécessiter des compétences spéciales.
- Résultats pas forcément généralisable[33].

## 4.3 Outils de simulation pour RCSF

### 4.3.1 Ptolemy II

Ptolemy II est en développement depuis 1996 ; c'est un successeur de Ptolemy Classic , qui a été développé depuis 1990. Le noyau de Ptolemy II est un ensemble de classes et de packages Java, superposés pour fournir des fonctionnalités de plus en plus spécifiques. Le noyau prend en charge une syntaxe abstraite, une structure hiérarchique d'entités avec des ports et des interconnexions. Un éditeur graphique appelé Vergil prend en charge l'édition visuelle de cette syntaxe abstraite. Une syntaxe concrète XML (Extensible Markup Language) appelée MoML (A Modeling Markup Language in XML) fournit un format de fichier persistant pour les modèles . Divers outils spécialisés ont été créés à partir de ce cadre, notamment, Kepler (pour les flux de travail scientifiques), VisualSense. (Pour la modélisation et la simulation de réseaux sans fil), Viptos (pour la conception de réseaux de capteurs) et certains produits commerciaux. Les éléments clés de l'infrastructure comprennent une sémantique abstraite des acteurs, qui permet l'interopérabilité de modèles de calcul distincts avec une sémantique bien définie ; un modèle de temps (en particulier le temps super dense, qui permet l'interaction d'une dynamique continue et d'une logique impérative) ; et un système de types sophistiqué prenant en charge la vérification de type, l'inférence de type et le polymorphisme. Le système de types a récemment été étendu pour prendre en charge les ontologies définies par l'utilisateur. Le projet comprend diverses expériences de synthèse du code de mise en œuvre et d'abstractions à des fins de vérification.

Les travaux en cours dans Ptolemy II sont axés sur les accesseurs , une technologie permettant de rendre l'internet des objets accessible à une communauté plus large de citoyens, d'inventeurs et de fournisseurs de services via des interfaces ouvertes, une communauté ouverte de développeurs et un référentiel ouvert de technologies[34].

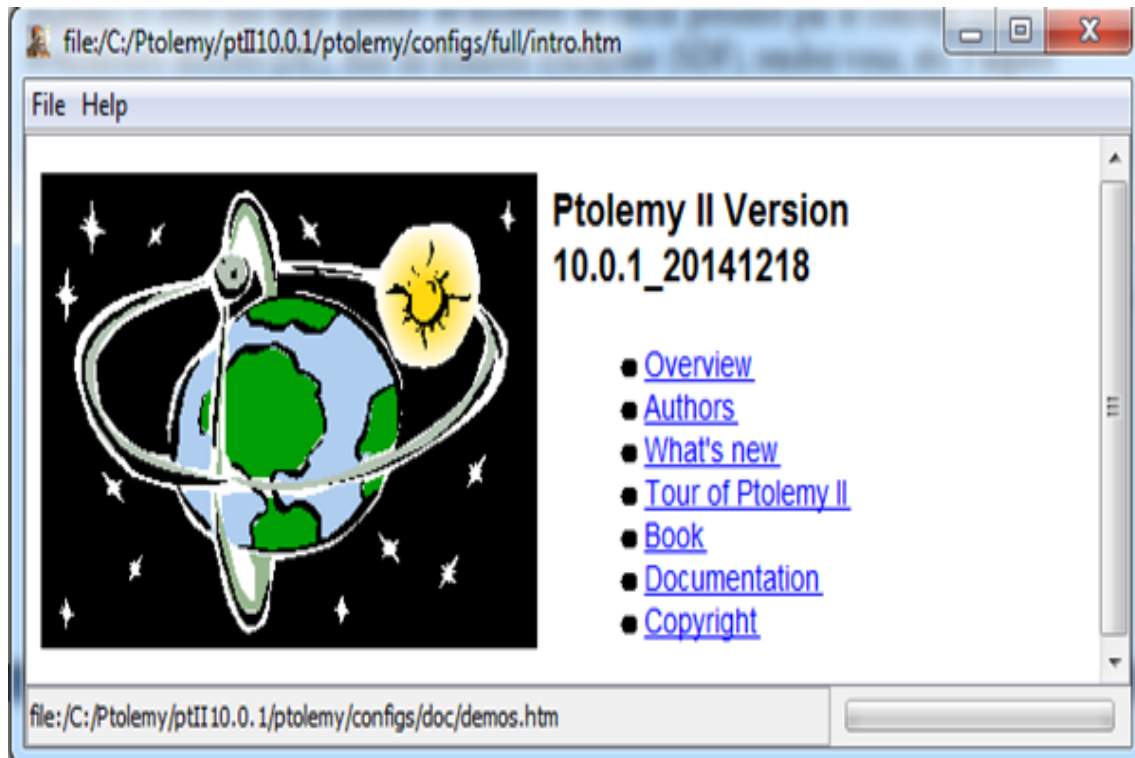


FIGURE 4.1 – Fenêtre principale de Ptolemy II.

### 4.3.2 Visual-Sense

VisualSense pour les réseaux de capteurs sans fil, basé sur Ptolemy II. Ce cadre prend en charge la définition des nœuds de capteurs, des canaux de communication sans fil, des supports physiques tels que les canaux acoustiques et des sous-systèmes câblés, orientée vers les acteurs. L'architecture logicielle comprend un ensemble de classes de base permettant de définir les canaux et les nœuds de capteurs, une bibliothèque de sous-classes fournissant certains modèles de canaux et modèles de nœuds spécifiques, ainsi qu'un framework de visualisation extensible. Les nœuds personnalisés peuvent être définis en sous-classant les classes de base et en définissant le comportement en Java ou en créant des modèles composites à l'aide de l'un des nombreux environnements de modélisation Ptolemy II. Les canaux personnalisés peuvent être définis en sous-classant la classe de base `WirelessChannel` et en associant les fonctionnalités définies dans les modèles Ptolemy II[34].

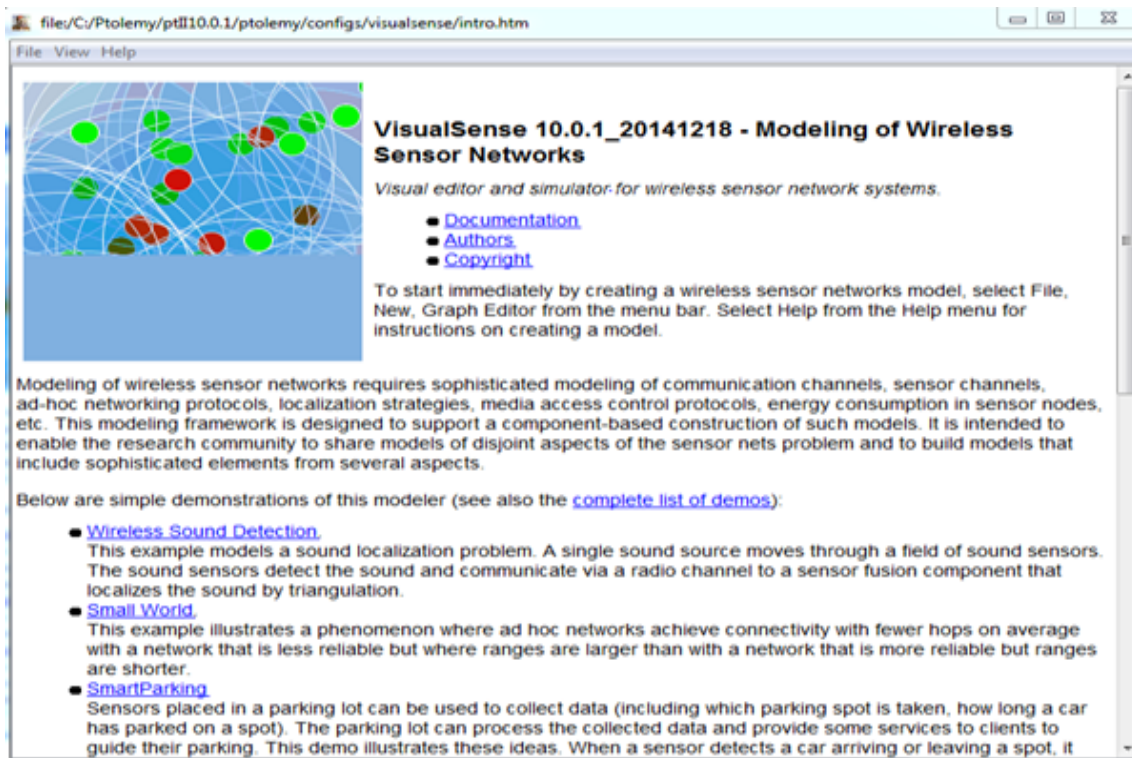


FIGURE 4.2 – Fenêtre principale de Visual Sense.

## 4.4 Présentation du modèle proposé pour la simulation

L'interface de notre modèle est illustrée comme suit :

1. Une intersections contenant un rond-point.
2. 09 véhicules de différents types et vitesses (1 moto, 1 bus, 1 camion, 6 voitures).
3. 32 poteaux destinés aux véhicules seulement.
4. 04 passages pour piétons.
5. 78 lampes souterraines uniquement pour les personnes.
6. 12 personnes.
7. Un abribus qui s'allume quand il y a au moins une personne.

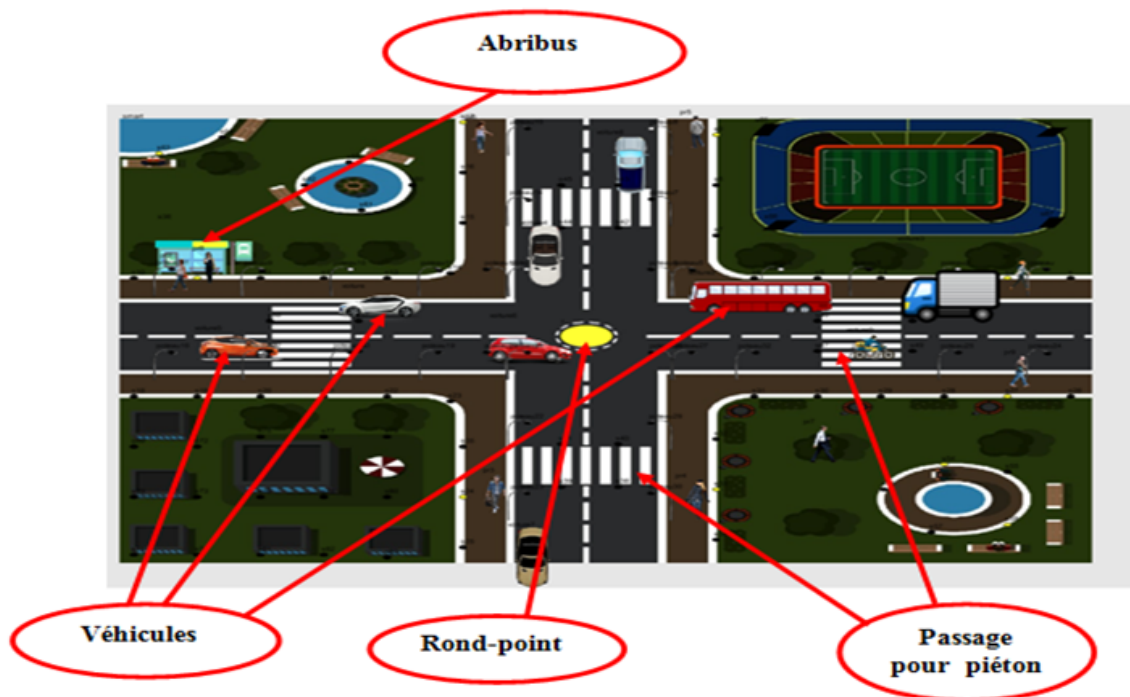


FIGURE 4.3 – L'interface du modèle.

## 4.5 Les services d'éclairage intelligents de notre modèle

voir la figure 4.4

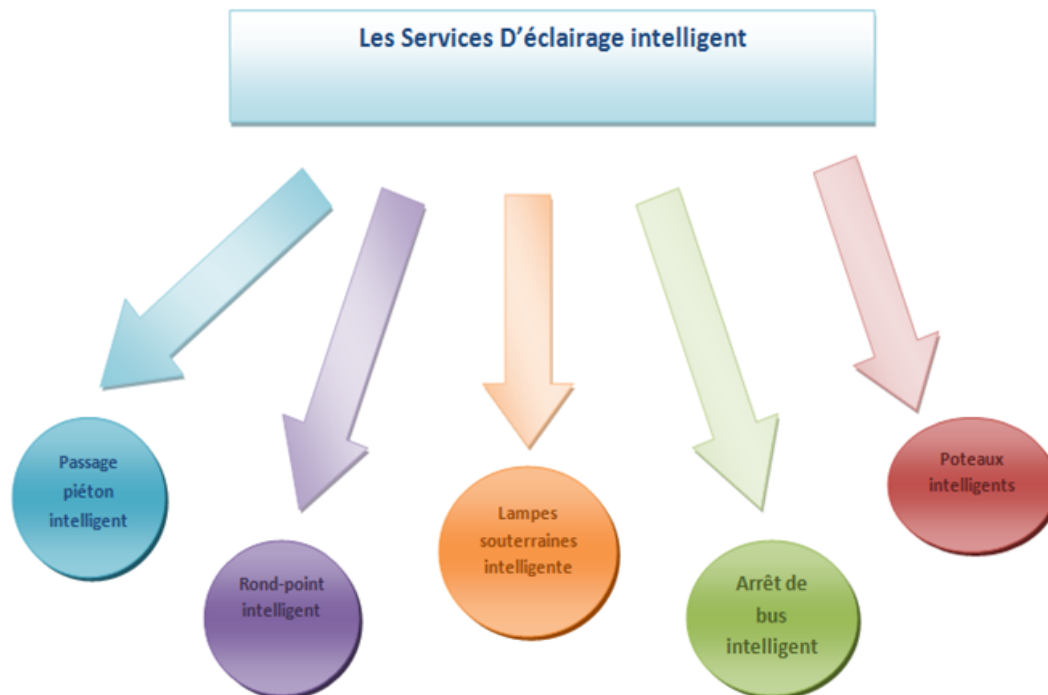


FIGURE 4.4 – Les services d'éclairage intelligents de notre modèle.

#### 4.5.1 Service « Passage pour piéton »

Dans cette partie, nous discutons sur l'étude d'un passage parmi les 4 passages créés dans notre modèle. Dans ce cas un piéton va traverser la route, les capteurs posés sous le passage se sensibilisent et les lampes sous terraines s'allume en jaune. Ce qui indique la présence d'un piéton sur le passage. Dans cet instant-là, le véhicule passant par ce passage s'arrête jusqu'à ce que le piéton soit sur l'autre coté de la route.

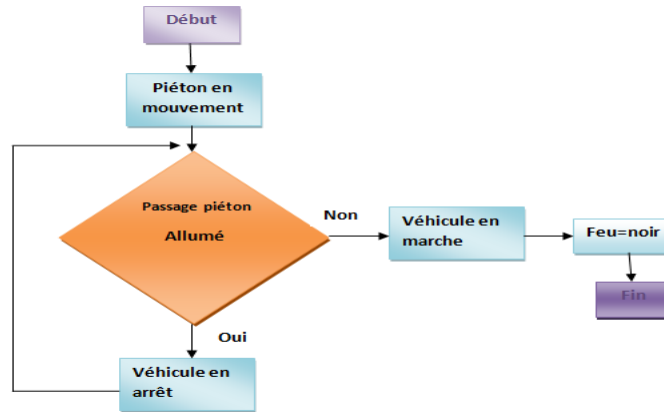


FIGURE 4.5 – Passage piéton intelligent.



FIGURE 4.6 – Service de passage piéton intelligent

#### 4.5.2 Service «abribus »

Ce service s'effectue selon la façon suivante : l'abribus s'allume en jaune lors de la présence d'au moins d'une personne. A l'arrêt du bus les personnes montent ou descendent et le bus continue sa route.





FIGURE 4.7 – Service d’abribus intelligent allumé.

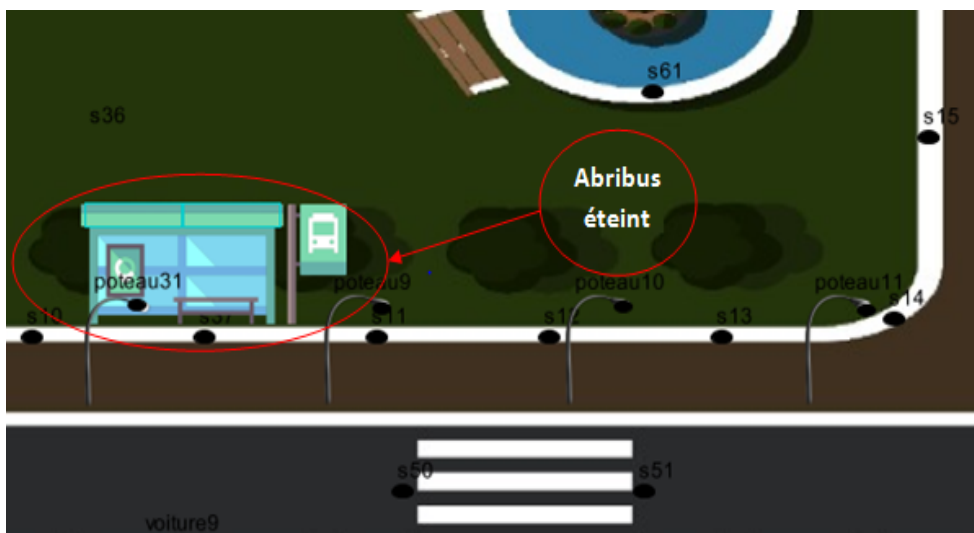


FIGURE 4.8 – Service d’abribus intelligent éteint.

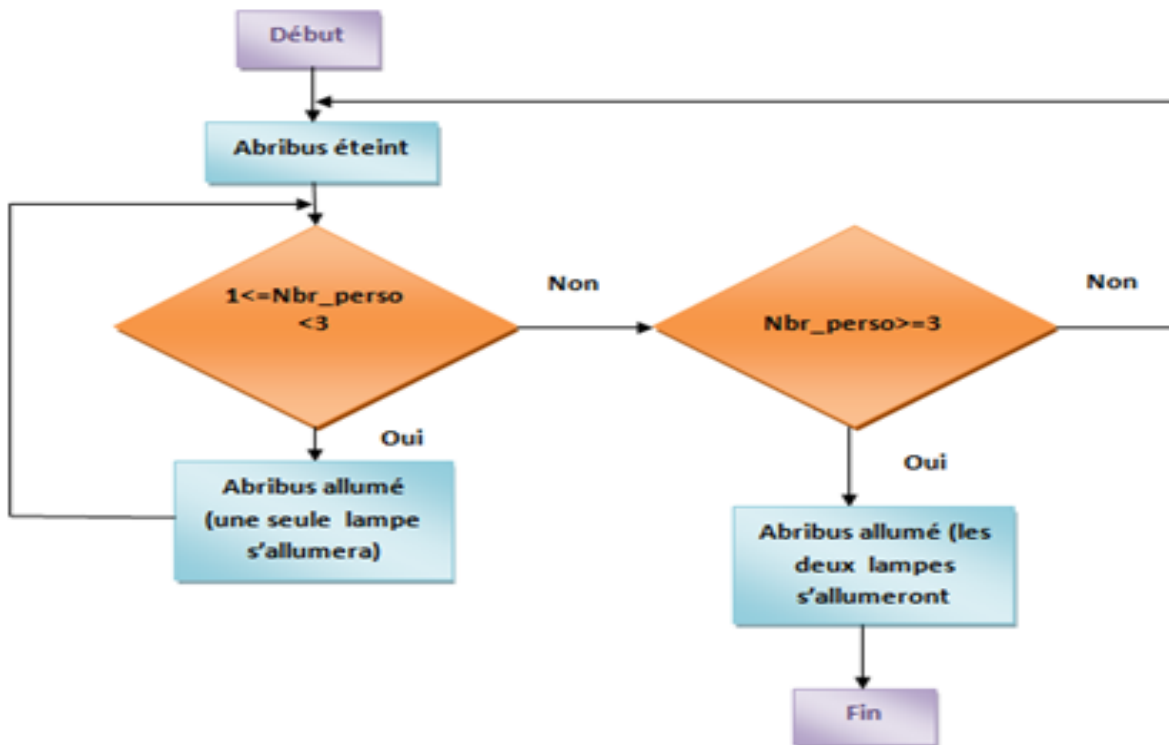


FIGURE 4.9 – Abribus intelligent.

### 4.5.3 Service « Rond-point intelligent »

Dans cette partie, nous avons développé le service d'un rond-point intelligent. La fonction de ce dernier s'effectue selon le principe suivant : une fois que le véhicule entre dans le champ de sensibilisation des capteurs du rond-point (en prenant en considération la distance entre le rond-point et le véhicule passant par ce rond-point), ce dernier s'allume et prend la couleur jaune dans l'interface. Pour éviter le problème de la congestion et les accidents (collision des véhicules), nous avons utilisé le principe de la priorité à gauche des véhicules.

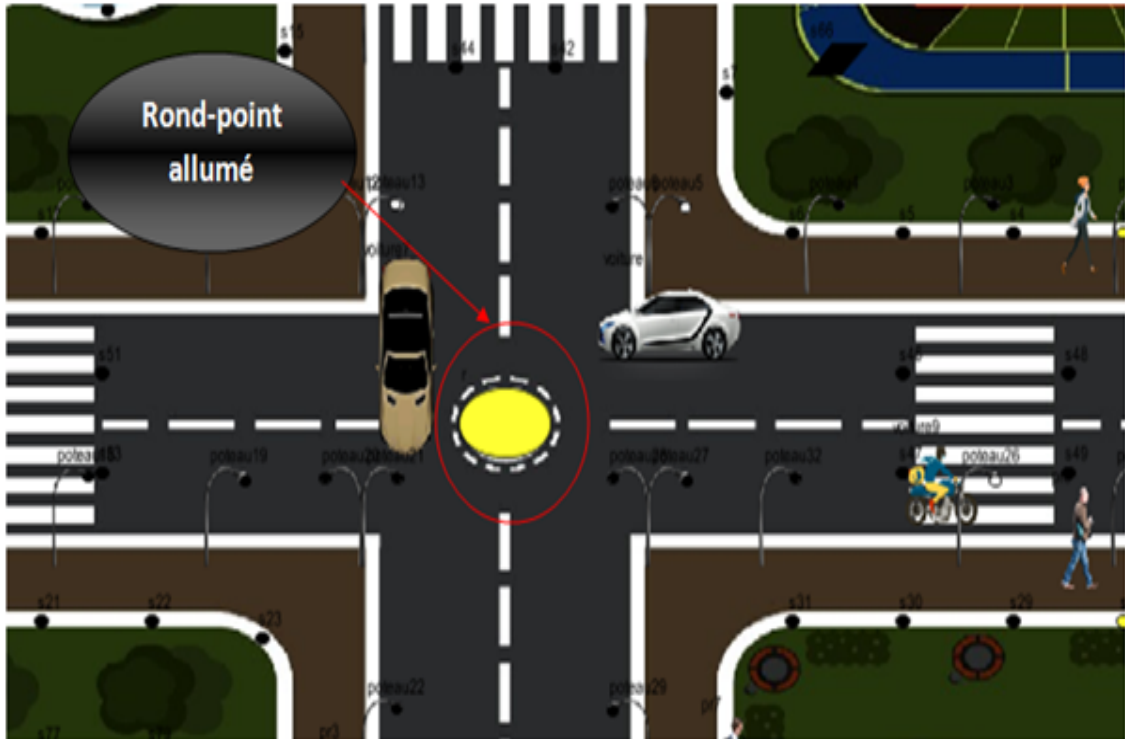


FIGURE 4.10 – Service Rond-point intelligent.

#### 4.5.4 Service « Lampe souterraine intelligente »

Ce service est spécifié uniquement pour les personnes qui se trouvent sur le trottoir ou dans les jardins, bâtiments... etc. La procédure de fonctionnement de ce service est comme suit : une fois qu'une personne soit en marche ou s'arrête devant l'une de ces lampes (en respectant la portée du capteur), ces derniers s'allument et prennent la couleur jaune sur l'interface.

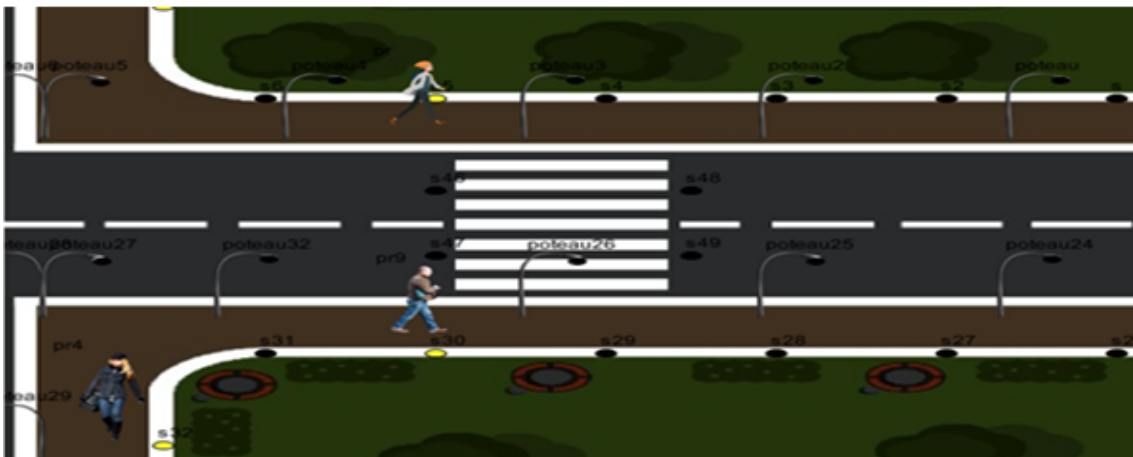


FIGURE 4.11 – Service des lampes souterraines intelligentes.

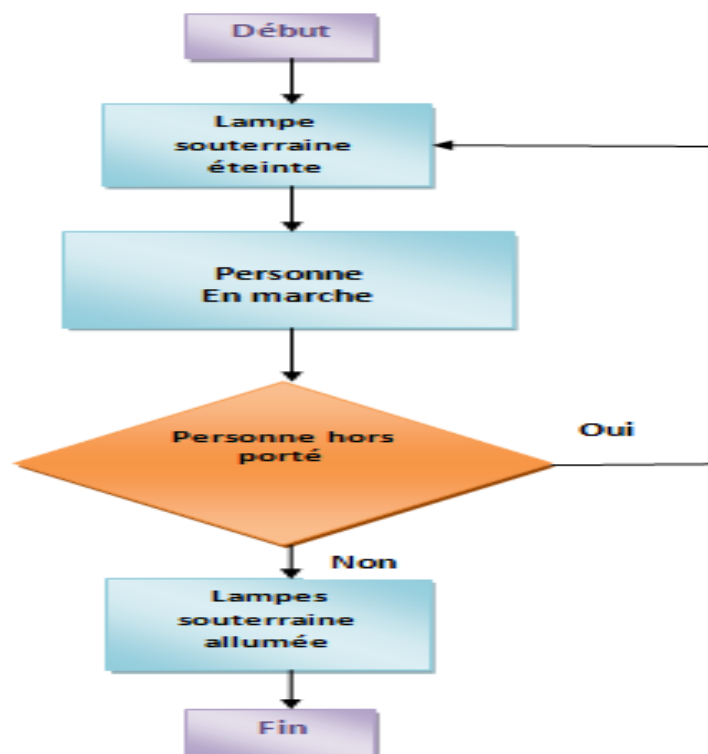


FIGURE 4.12 – Lampe souterraine intelligente.

#### 4.5.5 Service « Poteaux intelligents »

Dans le cas où un véhicule entre dans la portée du capteur installé dans le poteau, le poteau va s'allumer (prend la couleur blanche dans l'interface). Après que le véhicule sort de cette portée, le poteau s'éteindra et prend la couleur noire.

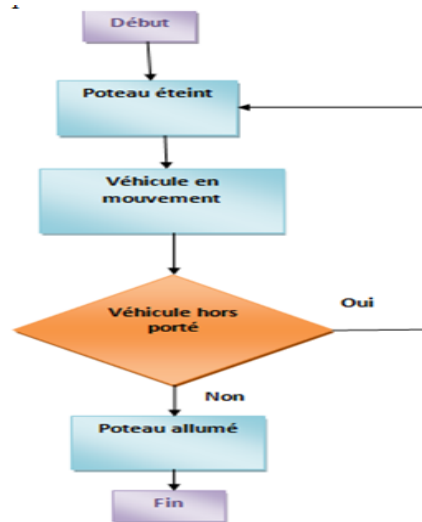


FIGURE 4.13 – Poteaux intelligents.



FIGURE 4.14 – Service poteaux intelligents.

## 4.6 Gestion de la consommation d'énergie d'éclairage

Dans une ville, un bon éclairage est nécessaire pour la sécurité et le confort des usagers de l'espace public, mais l'éclairage public traditionnel c'est aussi en moyenne 40 % de la facture électrique d'une commune et près de 20 % de sa dépense globale en énergie. C'est pourquoi, aujourd'hui il est devenu indispensable d'œuvrer pour favoriser un éclairage plus performant, moderne, respectueux de l'environnement, en un mot, moins consommateur d'énergie en choisissant des luminaires performants, en remplaçant les anciens appareils, en adaptant les puissances d'éclairage..etc. dans ce cas l'éclairage public intelligent est la meilleure solution.

## 4.7 Optimisation d'énergie

L'éclairage public pèse lourd dans le bilan énergétique, il est donc important de choisir la bonne luminaire pour la bonne application. Seule une simulation de notre système permet de sélectionner cette optimisation gagnante. Pour optimiser le système d'éclairage, nous avons fait une étude basée sur une variété de critères tel que : le nombre de personnes, le range et la distance entre les poteaux, la largeur des chaussées, la présence/absence d'objet, la durée /vitesse pour savoir la quantité optimale d'énergie consommée. Pour cela, nous avons fait plusieurs études sur les valeurs de ses critères pour qu'on puisse avoir les cinq cas suivants :

### **Premier cas : présence /absence d'objet**

Pour économiser de l'énergie dans un modèle d'éclairage public intelligent dans une smart city nous devons travailler sur un modèle d'éclairage qui s'allume en la présence d'objet (véhicule ou personne) et s'éteint dans le cas contraire pour ne pas gaspiller de l'énergie gratuitement comme dans le cas de l'éclairage public traditionnel qui consiste à allumer les lumières toute la nuit à partir de 19h jusqu'à 7h du matin. Dans ce cas, nous avons une grande consommation d'énergie avec une énergie perdue lorsqu'aucun véhicule ou personne se trouvent dans la route. Comme le montre les figures ci-dessous

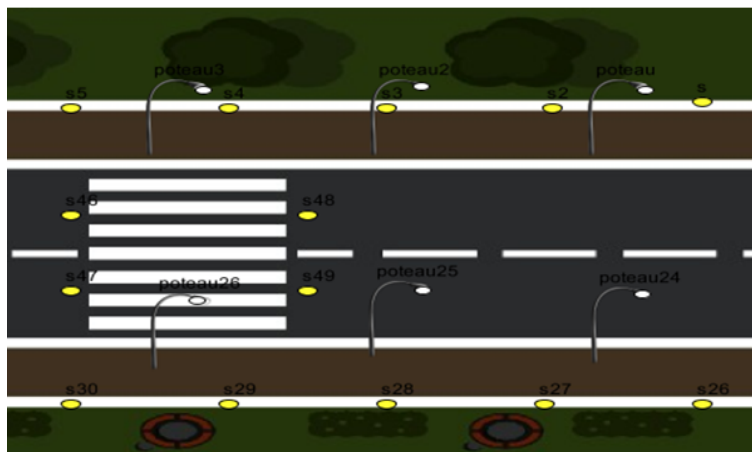


FIGURE 4.15 – L'éclairage traditionnel .



FIGURE 4.16 – L'éclairage moderne.

### Deuxième cas : le nombre de personnes

Dans l'exemple de l'abribus représenté dans les figures ci-dessous et après quelques essais et recherches Nous avons constaté que dans le cas où toutes les lumières de l'abribus s'allument même en la présence d'une personne seulement gaspille trop d'énergie pour cela nous avons mis en place un système permettant d'économiser l'énergie en se basant sur le nombre de personnes se trouvant sous l'abribus, dans le cas de la présence d'une à deux personnes la lumière d'un seul côté de l'abribus s'allumera et dans le cas de la présence de plus de deux personnes les lumières s'allumeront des deux côtés et en fin dans le cas où l'abribus soit vide aucune lumière ne s'allumera.

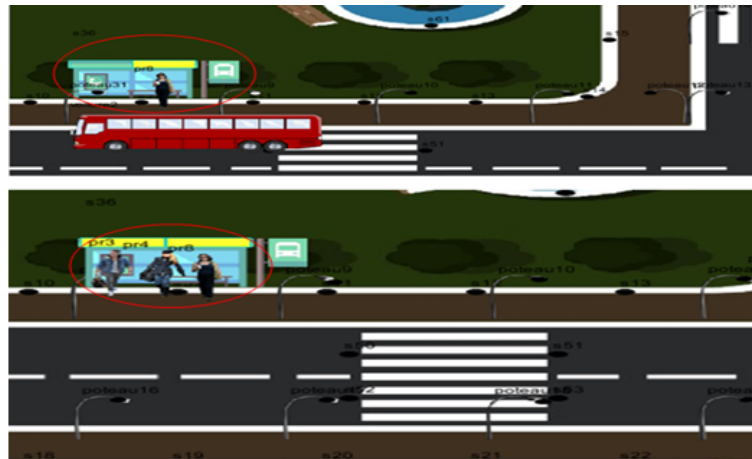


FIGURE 4.17 – Aribus allumée.

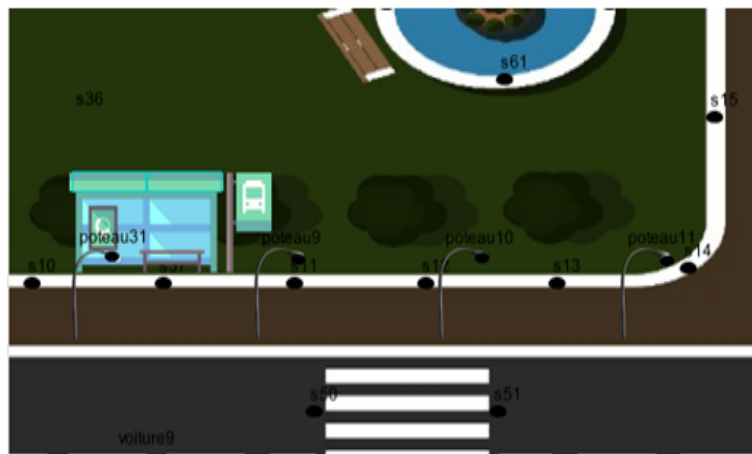


FIGURE 4.18 – Aribus éteint.

### Troisième cas : le range et la distance entre les poteaux

Chaque poteau a un range qui représente la portée de détection de son capteur, en prenant l'exemple de deux poteaux successif nous avons remarqué que le range peut jouer un rôle très important dans l'économie d'énergie, par exemple dans le cas où le range des deux poteaux est assai grand et dépasse la moitié de la distance entre ses deux derniers une quantité considérable d'énergie sera perdu dans la zone(triangle jaune) où se croise



la lumière provenant de ses deux poteaux comme le montre la figure 4.19

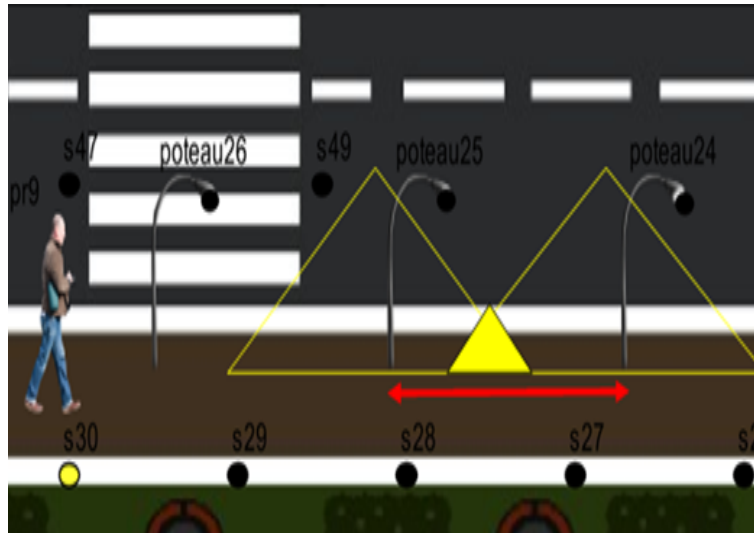


FIGURE 4.19 – Range assai grand.

Donc lorsqu'on augmente la valeur de range du capteur, la valeur de consommation d'énergie sera plus élevée. Pour cela nous avons choisi d'égaliser la valeur des ranges se qui nous a permis de gagner plus d'énergie par rapport au cas précédemment décrit comme le montre la figure

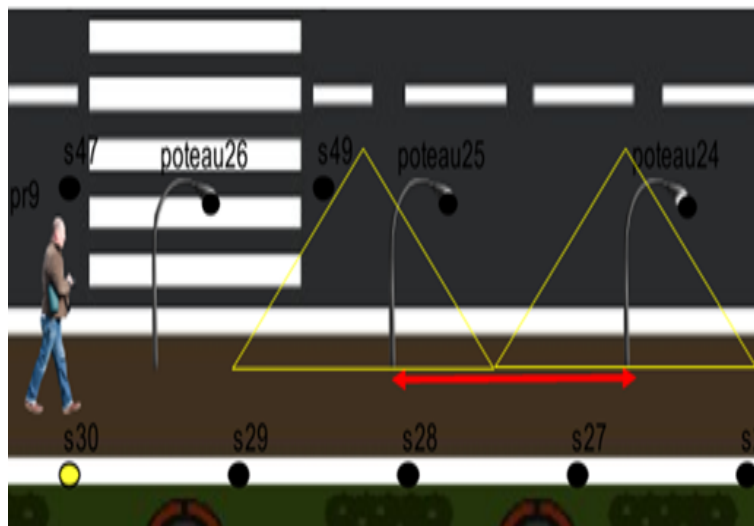


FIGURE 4.20 – Unités des ranges en égalité.

### Quatrième cas : la largeur des chaussées

Dans le cas où la largeur de la chaussée est petite, l'éclairage de l'un parmi les poteaux situé en parallèle par rapport à la chaussée suffira pour éclairer la route, dans le cas contraire où la chaussée est plus large un poteau (dont le cas où les ranges des poteau son fixe) ne suffira pas pour bien éclairer alors dans ce cas la nous aurons besoin de plus d'énergie, comme le montre la figure ci-dessous, donc la largeur de la route est un facteur d'économie d'énergie.



FIGURE 4.21 – Différentes largeurs de chaussées.

### Cinquième cas

la durée /vitesse La vitesse est un facteur qui peut participer à l'économie d'énergie. que ce soit pour un véhicule ou dans le cas d'une personne qui auront moins de vitesse consommeront une énergie importante par rapport au véhicule(ou personne) à grande vitesse, car la durée consommé par le véhicule (ou personne) à grande vitesse est plus petite, car les lumières s'allumeront et s'éteindront plus vite.

## 4.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de chaque service intelligent dans la smart city de notre modèle proposé. Nous avons utilisé le simulateur Visual Sense afin de tester et valider notre approche. En effet, les résultats expérimentaux obtenus étaient

satisfaisantes. En d'autres termes la consommation d'énergie a donnée des proportions minimales.

# Conclusion générale

Chaque année, l'éclairage public représente la majeure partie de la consommation d'énergie. Une mauvaise utilisation de lumière va conduire à l'inconfort à cause de l'utilisation de système de commande obsolète, ce qui annule les bienfaits qu'elle peut offrir.

Cette étude nous permet d'ouvrir un horizon d'ensemble de solution possible pour le traitement de la commande optimale de l'éclairage public et ainsi une réduction du coût de la consommation d'énergie. Alors, nous avons proposé plusieurs solutions pour la commande du temps afin d'allumer ou d'éteindre l'éclairage.

Toutes ces solutions ont été mises en œuvre au sein d'un système unique. elles restent ouvertes et évolutives par de nouvelles idées, comme l'ajout d'une propriété d'organisation opérationnelle de l'éclairage en se basant sur le trafic dans les routes pendant la nuit et ainsi réduire et augmenter la quantité de lumière dans ces routes, ou d'ajouter un système d'échange des données à distance entre eux, ou entre les principaux centres de commande.

# Bibliographie

## **a. Bibliographie :**

[1] HELAILI Nabila et MEKHNACHE Salima ,” Simulation du Routage dans les Réseaux de Capteurs Sans Fils ” Mémoire de Fin de Cycle En vue de l’obtention du diplôme Master en Informatique Option : Administration et Sécurité des Réseaux, Université A/Mira de Bejaïa 2017.

[2] HAFIR Latifa et SLIMANI Radhia,” Etude et évaluation des performances des protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sans fil ”, MEMOIRE DE FIN DE CYCLE ” En vue de l’obtention du diplôme de Master en Informatique, Option : Administration et Sécurité des Réseaux , Université A/Mira de Béjaia 2016.

[3] Hadjer MESSABIH, ” Contribution des réseaux de capteurs à la conscience des contextes des systèmes ”, Université HADJ LAKHDAR – BATNA.

[4] SARI Mounya Amal, ” ETUDE DU RSSI POUR L’ESTIMATION DE LA DISTANCE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL”, Mémoire de fin d’études Pour l’obtention du diplôme de Master en Informatique ,Option : Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D), Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen 2017.

[5] KANDOUCI ABDESSAMAD et BELABBAS ABDELILAH, ” Génération Et Distribution De Clés Dans Les Réseaux De Capteurs Corporels Sans Fil (WBAN ’s) ”, Mémoire de fin d’études Pour l’obtention du diplôme de Master en Informatique, Option : Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D), Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2017.

[6] Doumi Abdelmoumain, ” La Sécurité des Communications dans les Réseaux de Capteurs sans Fils ”, Mémoire présenté pour l’obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA

[7] Djamila BENDOUDA, ” Contrôle des reseaux de capteurs et actionneurs sans

fil pour la supervision ”, These En vue l’obtention du diplôme de Doctorat en science, Specialite :Informatique industrielle , Universite Ahmed Ben Bella d’Oran 2018.

[8] ALLIK Tawes et MAKHLOUF Hassiba, ” Mise en place d’un réseau de capteurs sans fil pour la surveillance des paramètres de production de l’unité de conditionnement d’huile au sein de Cevital ”, Mémoire de fin de cycle En vue de l’obtention du diplôme de Master Professionnel en Informatique ,Option Administration et Sécurité des Réseaux, Université Abderrahmane Mira de Béjaia 2017.

[9] Maouche Zineb et Djermoune Yasmina, ” Adaptation des architectures P2P pour les applications des réseaux de capteurs sans fil ” , Mémoire de Fin de Cycle En vue de l’obtention du diplôme Master recherche en Informatique, Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués, Université A/Mira de Bejaïa 2017.

[10] Mekki nabil et Mohammedi kada, ” Techniques de conservation d’énergie pour les réseaux de capteur sans fil ” , MEMOIRE DE MASTER ,OPTION : RISR , UNIVERSITE Dr. TAHAR MOULAY SAIDA 2018.

[11] CHALAL Lina et SIROUAKNE Slimane , “ Gestion des clés dans l’internet des objets ” Mémoire de Fin de cycle de Master en informatique , Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués, Université A/Mira de Béjaia.

[12] MEGTIT Tedjini et DAHMANE Dihia, “ Réalisation d’une serre agricole intelligente et contrôlable à distance par Internet “ , Mémoire de fin d’études Pour l’obtention du diplôme de Master en Génie industriel ,Option : ingénierie des systèmes, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen 2018.

[13] MELITI NEDJEMA, “ Architecture Basée Agents pour le diagnostic d’un système d’IoT (Internet of Things) “, Mémoire Présenté en vue de l’obtention du diplôme de MASTER EN INFORMATIQUE ,Option Architectures Distribuées, Université d’Oum Bouaghi Larbi Ben M’hidi 2017.

[14] Hadjadj Walid, “étude de cas sur un système médical domotique contrôlé par un SMA “, Mémoire de fin d’étude en vue de l’obtention du diplôme de Master en Informatique Spécialité :Architecture distribué , Université Larbi Ben M’hidi Oum El Bouaghi 2018.

[15] Les Cahiers de la RFID - Collection CITC Juillet 2011 - P2, “ Analyse et perspectives de l’Internet des Objets “.

[16] Hidjeb Ali , “ Implementation d’un protocole d’élection d’un serveur d’authen-

tification dans l'internet des Objets ‘, Mémoire de fin de Cycle Master 2 Informatique Professionnel ,Option : Administration et Sécurité des Réseaux, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa 2017.

[17] Baouch Touhami et Belkhiter Saad Eddine , ‘ Surveillance à distance d'un malade d'Alzheimer via un système IoT ‘, MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, En : Télécommunications ,Spécialité : Réseaux et Télécommunications, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen 2018.

[19] Alessia Galoul , ‘ « LES VILLES INTELLIGENTES » : L'OPEN DATA CONTRIBUE-T-IL À LEUR DÉVELOPPEMENT ? ‘, Mémoire-recherche en vue de l'obtention du titre de Master en sciences de gestion, UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN ,2015

[24] Ramdani Istichhed et Siche Asma, ‘ Simulation et optimisation multicritère d'un modèle d'éclairage publique d'une ville intelligente ‘, PROJET DE FIN D'ETUDES Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Option : Réseaux et Systèmes Distribués, Université de Batna 2019

[26] Mehalaine Nourelhouda, Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage publique et surveillance de quelques paramètres atmosphériques, Mémoire de fin d'études Présenter pour obtenir le diplôme de master recherche Filière : Génie électrique Spécialité : Commande électrique, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDJOU EL BOUAGHI 2018

[32] Dorian Keuller , ‘ Le secteur de la santé face à l'émergence de l'Internet des Objets : développement d'un outil d'aide à la décision. ‘,Mémoire-recherche,en vue de l'obtention du titre de Master 120 crédits en sciences de gestion (en ingénieur de gestion),UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN 2015 -2016.

---

### **b. Webographie :**

[18] [http://www.applis.univtours.fr/scd/EPU\\_DA/2016PFE\\_Torres\\_Helene.pdf](http://www.applis.univtours.fr/scd/EPU_DA/2016PFE_Torres_Helene.pdf)

[20] <https://fr.slideshare.net/geoffroigaron/selftracking-dans-un-contexte-de-ville-intelligente-smart-city>

[21] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=smartcities-caracteristiques>

[22] <https://www.digitalwallonia.be/fr/publications/smartcities-cles-numeriques-pour-la-ville-intelligente?fbclid=IwAR0KqUJpgFX8IW69TqNuBlvLZtXXWw2iF0y61HXHQeMaYlFZPkChN96Y>

- [23] [http://www.citego.org/bdf\\_fiche-document-698\\_fr.html](http://www.citego.org/bdf_fiche-document-698_fr.html)
- [27] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=eclairage-mobilier-intelligents&action=imprimer>
- [28] <http://www.smartgridscre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=eclairage-mobilier-intelligents&action=imprimer>
- [29] <https://www.edf.fr/collectivites/transition-energetique/solutions-pour-la-transition-energetique/eclairage-intelligent-et-services-connectes/offres-et-solutions> [30] <https://www.citelum.fr/n-services/gamme-eclairage-intelligent/eclairage-intelligent>
- [31] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=eclairage-mobilier-intelligents-definition>.
- [33] <http://ptolemy.berkeley.edu/ptolemyII/>.



## Abstract

In recent decades, the need to monitor and control physical phenomena such as temperature, barometric pressure, brightness, sound or other quantities has become paramount for many industrial and scientific applications. Thanks to the growing miniaturization of electronics and advances in telecommunications technologies, which have not stopped since the emergence of computers, and the invention of new networks, called Wireless Sensor Networks (RCSF), allow today to produce low-cost communicating sensors that consume little energy to meet this growing demand that comes to the rescue of the environment and the industry.

The wireless sensor network is considered a specific technology that helps the creation of smart cities to build a city that is adapted to the needs of the present but that preserves resources for the future has given rise to the concept of smart city. The main objective of a smart city is to improve the comfort of the inhabitants while having more efficient means and while respecting the environment. For this, smart public lighting is considered an essential point in smart cities. That allows the users of the public way to circulate at night with a security and a comfort as high as possible.

The main objective of this thesis is to optimize the energy consumed in smart city smart public lighting. This work is developed under the Visual-Sense simulator.

**Key words :** RCSF, IoT, Smart city, Visual\_sense . . .

## Résumé

Depuis quelques décennies, le besoin de surveiller et de contrôler les phénomènes physiques tels que la température, la pression barométrique, la luminosité, le son ou d'autres grandeurs est devenu primordial pour de nombreuses applications industrielles et scientifiques. Grâce à la miniaturisation croissante de l'électronique et les progrès des technologies des télécommunications, qui n'ont cessé depuis l'émergence de l'informatique, et l'invention de nouveaux réseaux, appelés Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF), permettent aujourd'hui de produire à faible coût des capteurs communicants peu consommateurs d'énergie pour répondre à cette demande croissante qui viennent au secours de l'environnement et de l'industrie.

Le réseau de capteur sans fil est considéré comme une technologie spécifique qui aide à la création de villes intelligentes pour construire une ville adaptée aux besoins du présent mais qui préserve les ressources pour l'avenir a donné lieu au concept de smart city, la ville intelligente. L'objectif principal d'une smart city consiste à améliorer le confort des habitants tout en disposant de moyens plus efficaces et tout en respectant l'environnement.

Pour cela, l'éclairage public intelligent est considéré comme un point essentiel dans les villes intelligentes. Qui permet aux usagers de la voie publique de circuler de nuit avec une sécurité et un confort aussi élevé que possible. L'objectif principale de ce mémoire est optimiser l'énergie consommée dans l'éclairage public intelligent de smart city. Ce travail est élaboré sous le simulateur Visual-Sense.

**Mots clés** : RCSF, IdO, Smart city, Visual\_sense . . .