

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA



FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE  
MÉMOIRE DE MASTER PROFESSIONNEL  
OPTION : Administration et sécurité des réseaux

*Thème*

---

# **Internet of Things, protocoles de communication et simulation d'un scénario [maison intelligente]**

---

Mémoire soutenue le 31/10/2021 par :

M<sup>lle</sup> OUABBA Lamia

M<sup>lle</sup> MEHAH Siham

Devant le jury composé de :

<b>Président</b>	M <sup>r</sup>	M. MOKETFI	M.A.A	U. A/Mira Bejaia.
<b>Examineur</b>	M <sup>me</sup>	N. BOUADEM	M.C.B	U. A/Mira Bejaia.
<b>Encadrant</b>	M <sup>me</sup>	A. HOUHA	M.A.A	U. A/Mira Bejaia.

**Promotion 2021/2022**

# *Remerciements*

---

*Louange tout d'abord à dieu qui nous a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.*

*Nous tenons à adresser tous nos plus sincères remerciements à nos parents pour leurs sacrifices et leurs soutiens tout au long de nos études et la réalisation de ce travail.*

*Nous exprimons toutes nos infinies gratitudee et notre vive reconnaissance à notre promotrice HOUHA AMEL pour ses précieux conseils, ses orientations, sa disponibilité, sa sympathie et le temps qu'elle nous a consacré.*

*Ainsi nous remercions chacun des membres du jury pour l'intérêt porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir avec leurs propositions.*

*Nous présentons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis(e) qui nous ont soutenu et encouragé tout au long du cursus universitaire et la réalisation de ce travail.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitudee et respects à tous et à toutes.*

# *Dédicaces*

---

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux êtres les plus chers de ma vie, mon père et ma mère qui ont été les Bougies allumant mon chemin vers la réussite, qui m'ont tout donnés, leurs amours, leurs sacrifices pour que je puisse suivre mes études dans de bonnes conditions et qui ne cessent pas de m'encourager et de veiller pour mon bien.*

*A mes chères sœurs : Fatima, Dalila et Kenza qui étaient toujours à mes côtés pour m'encourager et me conseiller.*

*A mon frère Hamza et sa femme Siham qui étaient aussi toujours à mes côtés.*

*A mon cher fiancé Lamine qui m'a toujours soutenu et encouragé, ainsi toutes sa famille.*

*A mes chères copines : Damia, Laldja, Nabila, Sarah, Sylia, Meriem.*

*A mon chère amie et binôme Siham MEHAH pour les efforts contribué de sa part dans ce travail et son soutien tout au long de notre parcours universitaire.*

*A tous ceux qui sèment le bonheur dans mon chemin.*

# *Dédicaces*

---

C'est avec profonde gratitude et sincère mot, que je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, pour les sacrifices déployés à mon égard, pour leurs soutiens tous les efforts consentis pour mon éducation et ma formation durant toutes les années d'études et sans lesquels je n'aurais jamais réussi.

À ma très chère sœur « Sonia », au secret du bonheur dans cette vie et au meilleur de ce que Dieu m'a béni dans ce monde pour avoir contribué à la réussite de ce travail d'une manière indirecte, et pour tout le soutien moral ...

A mes bébés d'amour mes neveux :

À Mon précieux Yasser et à mon petit ange Ilimas.

A mes chers frères : Fouad, Massinissa et Mounir pour leur soutiens et encouragements Merci d'être là pour moi.

A ma chère amie Kenza, je te remercie pour ton amitié chère à mon cœur, et je te souhaite tout le bonheur du monde...

Mes cousins et cousines, tentes et oncles.

Et à toute personne que je porte fort dans mon cœur et qui sauront se reconnaître. À chaque main tendue et pour toute attention témoignée.

Et je n'oublie pas de dédier ce travail, à mon amie et binôme, qui a participé à le réaliser « Lamia ».

**Merci du fond du cœur.**

**M. Siham**

# Table des matières

<b>Table des matières</b> .....	I
<b>Liste des acronymes</b> .....	II
<b>Table des figures</b> .....	III
<b>Liste des tableaux</b> .....	IV
<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre I : Internet des objets</b> .....	03
I. 1. Introduction .....	03
I. 2. Internet des objets .....	03
I. 2.1. Définition d’IdO .....	03
I. 2.2. Définition d’objet connecté .....	04
I. 3. Historique .....	05
I. 4. Fonctionnement d’IdO .....	05
I. 5. Couches d’un modèle IdO .....	06
I. 6. Composants d’IdO.....	07
I. 7. Domaine d’application d’internet des objets .....	09
I. 7.1. Domaine santé .....	09
I. 7.2. Domaine transport .....	10
I. 7.3. Domaine sport .....	10
I. 7.4. Domaine d’industrie .....	10
I. 7.5. Domaine l’agriculture .....	11
I. 7.6. L’IdO dans le domaine les villes intelligentes .....	11
I. 8. Avantages d’internet des objets .....	12
I. 8.1. Amélioration de l’engagement des clients .....	12
I. 8.2. Optimisation de la technologie .....	12
I. 8.3. Réduction des déchets .....	13
I. 8.4. Amélioration de la collecte de données .....	13
I. 9. Défis l’internet des objets .....	13
I. 10. Conclusion .....	14
<b>Chapitre II : Protocoles communication</b> .....	16
II. 1. Introduction.....	16
II. 2. Protocoles de communication .....	16
II. 2.1. Réseau a court portée .....	16
II. 2.1.1. Protocole NFC .....	16
II. 2.1.2. Bluetooth.....	16
II. 2.1.3. Zigbee .....	17
II. 2.1.4. Z-wave .....	17
II. 2.1.5 Wi-Fi.....	18
II. 2.1.6. Bluetooth Low Energy .....	19
II. 2.2. Réseau a longue portée .....	19
II. 2.2.1. Réseau cellulaire .....	20
II. 2.2.2. Sigfox.....	20
II. 2.2.3. LoRa.....	21

II. 2.3. Classification des protocoles .....	22
II. 2.4. Protocoles applicatifs .....	23
II. 2.4.1. Protocoles de transferts web .....	24
II. 2.1.2. Protocoles de messagerie .....	25
II. 2.1.3. Protocoles réseau .....	25
II. 3. Conclusion .....	25
<b>Chapitre III : Système multi-agent .....</b>	<b>26</b>
III. 1. Introduction .....	26
III. 2. Agent et système multi-agent .....	26
III. 2.1. Agent .....	26
III. 2.1.1. Définition d'agent .....	27
III. 2.1.2. Propriétés d'agent .....	28
III. 2.1.3. Types d'agent.....	30
III. 2.2. Système multi-agent .....	30
III. 2.2.1. Définition d'un SMA.....	30
III.2.2.2. Environnement SMA.....	31
III. 2.2.3 Caractéristiques SMA.....	32
III.2.2.4. Notions importantes dans SMA.....	32
III. 2.2.5. Domaines d'application des SMA.....	33
III. 3. Avantages des SMA .....	34
III. 4. Conclusion .....	34
<b>Chapitre IV : Scénario et simulation.....</b>	<b>35</b>
IV. 1. Introduction.....	35
IV. 2. Scénario .....	35
IV. 2.1. Description du scénario .....	35
IV. 2.2. Condition .....	36
IV.3. Simulation .....	36
IV.3.1. Définition .....	37
IV.3.2. Simulation à base d'agent.....	37
IV.3.3. Domaine d'application de simulation orientée agent.....	37
IV.4. Choix NetLogo .....	38
IV.4.1. Présentation de NetLogo .....	38
IV.4.2. Interface NetLogo.....	41
IV.5. Définition des agents .....	43
IV.6. Propriétés des agents .....	45
IV.7. Présentation de simulation .....	47
IV.7.1. Description des interfaces .....	47
IV.7.1.1. Bouton.....	48
IV.8. Discussions .....	52
IV.9. Conclusion .....	52
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>53</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>55</b>

# Liste des acronymes

AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
BLE	Bluetooth Low Energy
COAP	Constrained Application Protocol
IdO	Internet des Objets
IoT	Internet of Thing
LPWAN	Low Power Wide Area Network
M2M	Machine to Machine
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NFC	Near Field Communication
RFID	Radio Frequency Identification
SMA	Système Multi-Agent
WSN	Wireless Sensor Network
WPANs	Wireless Personal Area Networks
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
XMPP	eXtensible Messaging and Presence protocol

## Table des figures

Figure I.1 : Internet des objets .....	04
Figure I.2 : Les trois couches d'IoT .....	06
Figure I.3 : Domaine d'application d'IoT .....	09
Figure I.4 : Appareil intelligent dans le domaine de la santé.....	10
Figure I.5 : Les constituants d'une ville intelligente.....	11
Figure I.6 : Amélioration de l'engagement client .....	12
Figure II.1 : Logo de Bluetooth .....	17
Figure II.2 : Logo de Z-wave .....	18
Figure II.3 : Logo Wi-Fi .....	19
Figure II.4 : Logo Sigfox .....	21
Figure II.5 : Logo LoRa .....	21
Figure II.6 : Classification des protocoles de communication.....	22
Figure II.7 : Comparaison des réseau IoT.....	23
Figure III.1 : Présentation classique d'un agent et son environnement .....	27
Figure III.2 : Agent réactif .....	28
Figure III.1 : Agent cognitif .....	29
Figure III.1 : Présentation schématique d'un système multi-agent.....	31
Figure IV.1 : Présentation d'une maison intelligente .....	36
Figure IV.2: Logo de NetLogo .....	38
Figure IV.3: Lancement du simulateur NetLogo v 6.0.4 .....	39
Figure IV.4 : composants de la fenêtre NetLogo .....	42
Figure IV.5 : Interface de simulation .....	47
Figure IV.6 : Présentation du fonctionnement de bouton « garer » .....	48
Figure IV.7 : Présentation de fonctionnement de bouton « aération » .....	49
Figure IV.8 : Présentation d'ouverture des fenêtres .....	49
Figure IV.9 : Présentation de fonctionnement de bouton « chauffage ».....	50
Figure IV.9 : Présentation de fonctionnement de bouton « Securite » .....	51
Figure IV.9 : Présentation de fonctionnement de bouton « move ».....	52

## Liste des tableaux

<u>Tableau I.1 : composants de bases d'un système IoT.</u> .....	07
<u>Tableau III.1 : Comparaison entre agent cognitif et agent réactif</u> .....	30
<u>Tableau VI.1 : Propriétés de chaque agent</u> .....	46

# Introduction générale

Aujourd'hui nous voyons naître un grand nombre d'applications basées sur de nouveaux concepts comme les réseaux intelligents, les maisons intelligentes, et les transports intelligents...etc., ce sont des systèmes d'infrastructure qui relient notre monde plus que nous n'aurions jamais cru possible. Ces concepts sont tous impliqués dans un concept unique « l'internet des objets (IOT) ».

Ce dernier se définit par un réseau mondial qui permet à des milliards de dispositifs informatique de se communiquer les uns avec les autres ou à internet en suivant les protocoles qui assurent leurs communications et échange d'information à travers une variété de dispositifs. Le nombre d'objets connectés croît de manière exponentielle.

Ce paradigme révolutionnaire crée une nouvelle dimension qui enlève les frontières entre le monde réel et le monde virtuel.

L'IoT est le fruit du développement et de la combinaison de différentes technologies. Il englobe presque tous les domaines de la technologie d'information (Information Technology (IT)) actuels tel que les villes intelligentes (smart cities), les systèmes machine à machine (Machine to Machine), les véhicules connectés, les réseaux de capteur sans fil (Wireless Sensor Networks (WSN)), etc.

L'interaction entre les objets connectés se fait via multiples technologies avec divers plateforme de traitement de données, ces technologies se divise en deux grand catégorie : les réseaux à courte portée comme le Bluetooth, Zigbee, wifi ... permet le transfert des données sur de faible distance, ils sont beaucoup utilisés dans la domotique par contre les réseaux à longue portée comme les réseaux cellulaires, Sigfox, Lora ...qui sont capable de faire transiter des données d'un appareil a l'autre sur des vaste distance qui sont appliquer généralement par les entreprise qui veulent connecter des kilomètres d'infrastructures à l'Internet ou dans des projets de smart cités par exemples.

La grande puissance de l'IoT repose sur le fait que ses objets communiquent, analysent, traitent et gèrent des données d'une manière autonome et sans aucune intervention humaine L'objectif de notre travail est de choisir parmi les déférents domaines d'Internet des objets un scénario et voir les similarités avec les systèmes multi-agents qui vont être utiles pour la modélisation de ce scénario, enfin réaliser ce scénario avec le simulateur multi-agent Netlogo en l'adaptant à nos besoins.

Ce dernier est largement utilisé dans divers domaines et fournit une bibliothèque de modèles riche. Excepté dans le domaine du réseau, son utilisation apparaît actuellement en émergence et il est largement apprécié par les chercheurs en raison de sa facilité d'installation, de compréhension, d'apprentissage, de traitement et d'autres avantages, que les programmeurs peuvent reconnaître lorsqu'ils l'utilisent, néanmoins en raison des pénuries des modules du réseau et d'implémentation de protocole, il existe encore de nombreuses limitations lors de la simulation dans le domaine du réseau. De ce fait l'adaptation de ce simulateur au scénario internet of things est le sujet de notre thème de recherche.

Ce travail est structuré en quatre chapitres :

Après la présente introduction, le premier chapitre « **Internet des objets** », nous y effectuons une analyse détaillée de l'IdO, son historique et son fonctionnement, ensuite les couches et les composant d'un model IdO, puis ses déférents domaines d'application, ainsi que les avantages et les défis de l'Internet des objets. Dans le deuxième chapitre « **les protocoles de communication dans IdO** », nous étudierons les protocoles de communication dans IdO (longue et courte portée), après une classification de ces protocoles nous présentons brièvement les protocoles applicatifs et on termine par une conclusion. Le troisième chapitre « **Système multi-agent** », est consacré pour détailler les systèmes multi-agent, Le dernier chapitre « **Scénario et la simulation** », est consacré à la simulation de notre scénario qui sera présenté dans le même chapitre.

Enfin, nous conclurons ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives de recherche que nous souhaitons accomplir prochainement.

# **Chapitre I**

**Internet des objets**

## **I.1. Introduction**

L'Internet des Objets (IdO) est un réseau mondial d'objets qui repose sur l'idée que tous les objets peuvent être connectés un jour à Internet et sont donc capable d'émettre de l'information et éventuellement de recevoir des commandes. L'IdO ouvre la voie vers une multitude de scénarios basés sur l'interconnexion entre le monde physique et le monde virtuel.

Dans ce chapitre, nous présenterons d'abord l'IdO et son historique, puis ses différents domaines d'application, ainsi que les avantages l'internet des objets et nous terminerons par une conclusion.

## **I.2. Internet des objets**

### **I.2.1. Définition d'internet des objets (IdO)**

Internet des objets ou bien « **L'Internet of Things (IoT)** » en anglais est « un réseau qui relie et combine les objets avec l'Internet, en suivant les protocoles qui assurent leurs communications et échange d'informations à travers une variété de dispositifs ». [1]

**L'IoT** peut se définir aussi comme étant « un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électroniques normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi, de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter les données sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels ». [2]

Il existe plusieurs définitions sur le concept de **L'IoT**, mais la définition la plus pertinente à notre travail de recherche est celle proposée par Weill et Souissi qui ont défini **L'IoT** comme « une extension de l'Internet actuel envers tout objet pouvant communiquer de manière directe ou indirecte avec des équipements électroniques eux-mêmes connectés à l'Internet. Cette nouvelle dimension de l'Internet s'accompagne avec de forts enjeux technologiques, économiques et sociaux, notamment avec les économies majeures qui pourraient être réalisées par l'ajout de technologies qui favorisent la standardisation de ce nouveau domaine, surtout en matière de communication, tout en assurant la protection des droits et des libertés individuelles » [3]

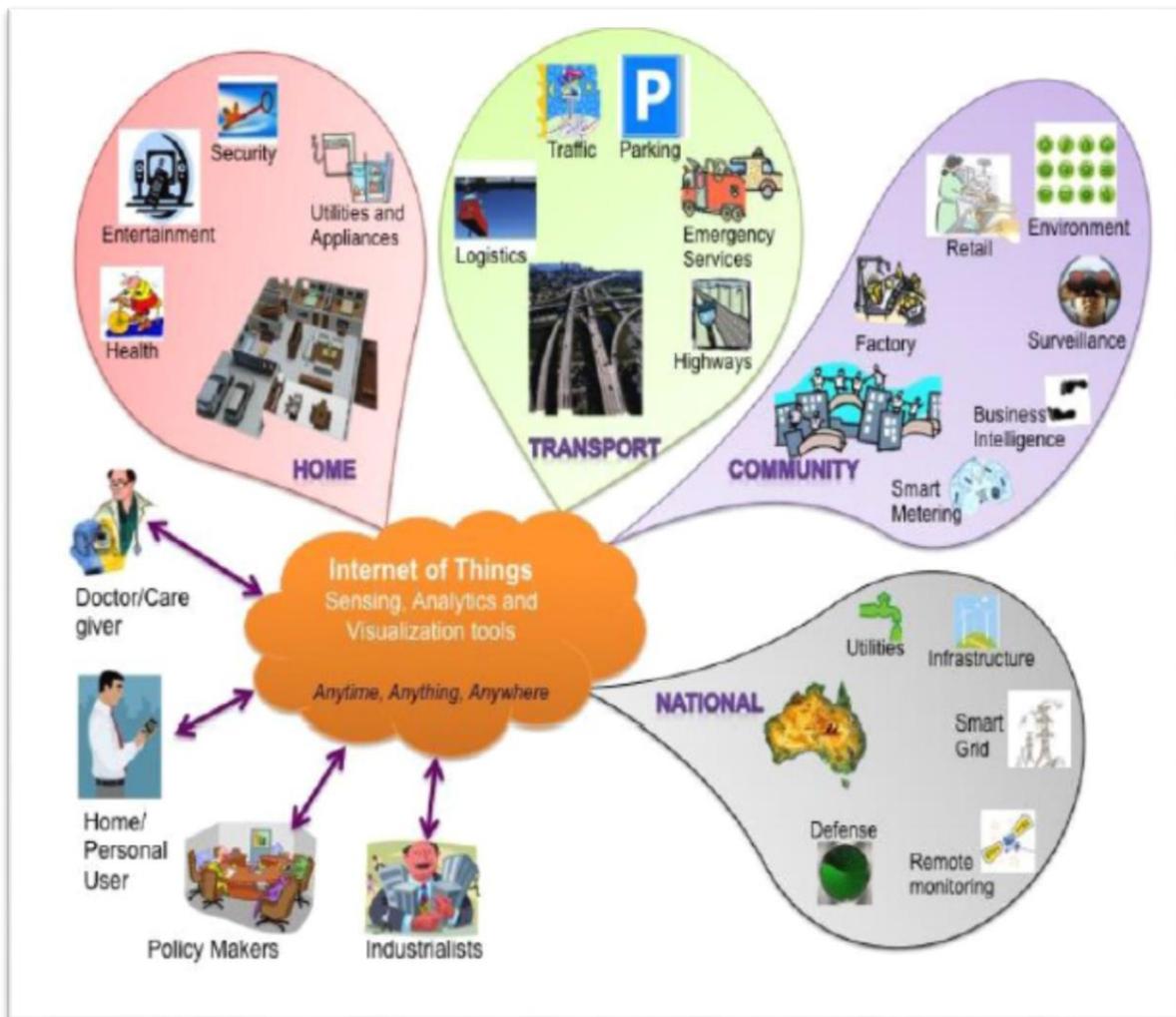


Figure I.1 : Internet des objets [4]

### I.2.2. Définition l'objet connecté

Aujourd'hui, il est encore compliqué de trouver une définition précise de ce terme générique « **objet connecté** ». Globalement un **objet connecté** est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local.

On distingue globalement deux grands groupes d'objets connectés :

- **Les objets passifs** : ils embarquent une faible capacité de stockage (de l'ordre du kilo-octet) leur permettant d'assurer un rôle d'identification. Ils peuvent parfois, dans le cas d'une puce RFID, embarquer un capteur (température, humidité) et être réinscriptibles. [5]

- **Les objets actifs** : ils peuvent être équipés de plusieurs de capteurs, d'une plus grande capacité de stockage, être doté d'une capacité de traitement ou encore être en mesure de communiquer sur un réseau. [5]

### **I.3. Historique d'IoT**

C'est en 1998 que Kevin Ashton, gestionnaire de marque chez Procter et Gamble, a employé la notion d'Internet des objets pour la première fois. Il déclare lors d'une réunion du groupe : « si nous parvenons à ajouter l'identification par fréquence radio et d'autres capteurs aux objets de la vie quotidienne, nous pourrions alors créer un Internet des Objets et poser les fondations d'une nouvelle ère de la perception par les machines » [6]. Il commença donc à s'intéresser au développement d'un système universel ouvert qui permet de connecter des objets à Internet.

### **I.4. Fonctionnement d'IoT**

L'Internet of Things (IoT) permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Citons quelques exemples de ces technologies.

« L'IoT désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels ». [2]

En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IoT, nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes.

Ces technologies sont les suivantes : RFID, WSN et M2M, et sont définies ci-dessous :

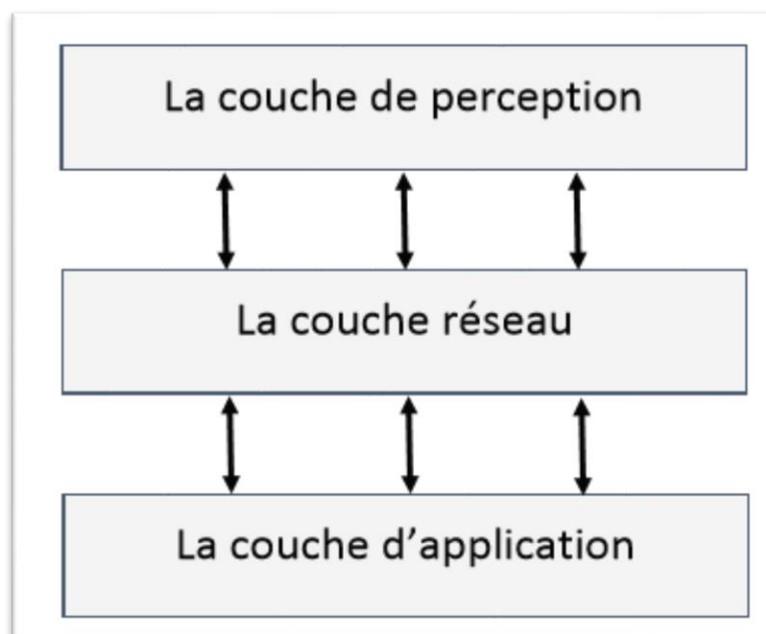
- **RFID** (Radio Frequency Identification) : le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. C'est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio [7]. Il s'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données des étiquettes à des objets, ou pour identifier les objets à distance. L'étiquette contient des informations stockées électroniquement pouvant être lues à distance [8].
- **WSN** (Wireless Sensor Network) : c'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 mémoires, un émetteur-récepteur RF et une source d'alimentation, comme il peut aussi tenir compte des divers capteurs et des actionneurs [9]. Comme son nom l'indique, le WSN constitue alors un réseau de capteurs sans fil qui peut être une technologie nécessaire au fonctionnement de l'IoT.

- **M2M** (Machine to Machine) : c'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 » [10].

### I.5. Couches d'un modèle IdO

Le concept de l'Internet des objets a été l'objet des recherches depuis plus d'une décennie, mais même si encore de nombreux aspects ne sont pas clairement définis. Par exemple, aujourd'hui il n'y a pas une architecture standardisée et spécifique pour l'IoT. Malgré ce manque de compatibilité, il y a une architecture à trois couches (figure 6) bien connu qui est généralement accepté, ces couches sont : la couche de perception, la couche réseau et la couche d'application.[11]



**Figure I.2:** les trois couches de l'IoT[11].

- **La couche de perception** : La tâche principale de la couche de perception est de reconnaître les propriétés physiques telles que la température, l'humidité, le niveau de la lumière, la vitesse, etc., par divers dispositifs de détection et de convertir ces informations en signaux numériques. Les objets de cette couche peuvent avoir des capacités de détection et/ou des capacités d'actionnement. (Un actionneur est un dispositif qui peut recevoir des commandes programmées et effectuer des tâches à des moments précis).
- **La couche réseau** : est une couche responsable de la transmission des données reçues de la couche de perception à une base de données, serveur ou d'un centre de traitement. Les principales technologies utilisées pour réaliser cette couche sont : les technologies cellulaires 2G / 3G / LTE, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee ou Ethernet, et avec ces différentes technologies on peut donc faire le traitement de plusieurs objets qui seront connectés à l'avenir.

L'internet des objets sera un énorme réseau qui relie non seulement une multitude d'objets, mais englobe également des réseaux hétérogènes.

- **La couche d'application** : La couche application analyse les informations reçues de la couche réseau. Cette couche fournit des applications pour toutes sortes de défis technologiques.

## I.6. Composants d'IdO

L'IoT qui permet la connexion de nos appareils intelligents et des objets au réseau pour fonctionner efficacement et à distance. Ce point répond à la question : quelles sont les principales composantes de l'Internet des objets ?

Le tableau suivant présente les composants principaux de l'IOT :

Composant IDO	La disruption
Objets Physiques	Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer de nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à

	Internet ou à un réseau local.
<b>Capteurs</b>	Ils sont installés sur les es objets connectés, ils sont plus ou moins intelligents, selon qu'ils intègrent ou non eux-mêmes des algorithmes d'analyse de données, et qu'ils soient pour certains auto-adaptatifs. Les capteurs connus sont : Capteurs de température et thermostats, Capteurs de pression, Humidité / niveau d'humidité, Détecteurs d'intensité lumineuse, Capteurs d'humidité, Détection de proximité, Étiquettes RFID...
<b>Utilisateur</b>	Exemple : Les humains peuvent contrôler l'environnement via des applications mobiles
<b>Prestations de service</b>	Exemple : Services Cloud - peuvent être utilisés pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traiter les Big Data et les transformer en informations précieuses</li> <li>• Construire et exécuter des applications innovantes</li> <li>• Optimiser les processus métier en intégrant les données de l'appareil.</li> </ul>
<b>Plateformes</b>	Elle est considérée comme un type d'intergiciel utilisé pour connecter les composants IoT (objets, personnes, services, etc.) à l'environnement l'IoT. Elle fournit de nombreuses fonctions : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accès aux appareils</li> <li>• Assurer une installation / un comportement correct de l'appareil</li> <li>• Analyse des données</li> <li>• Connexion interopérable avec le réseau local, le Cloud ou d'autres périphériques.</li> </ul>
<b>Réseaux</b>	Les composants IoT sont liés entre eux par des réseaux, utilisant diverses technologies, normes et protocoles sans fil et filaire.

**Tableau I.1** : Les composants de base d'un système IoT

## I.7. Domaine d'application d'internet des objets

Le marché des objets connectés est promis à une grande croissance dans les années à venir car il a une valeur immense dans les différents domaines d'objets connectés pour les professionnels. Cependant, seules quelques applications sont actuellement déployées. [12]

L'utilisation de l'IDO permettra le développement de plusieurs applications intelligentes qui toucheront essentiellement ceux qu'on citera dans ce qui suit, nous citons brièvement des exemples d'applications de l'IDO. [13]

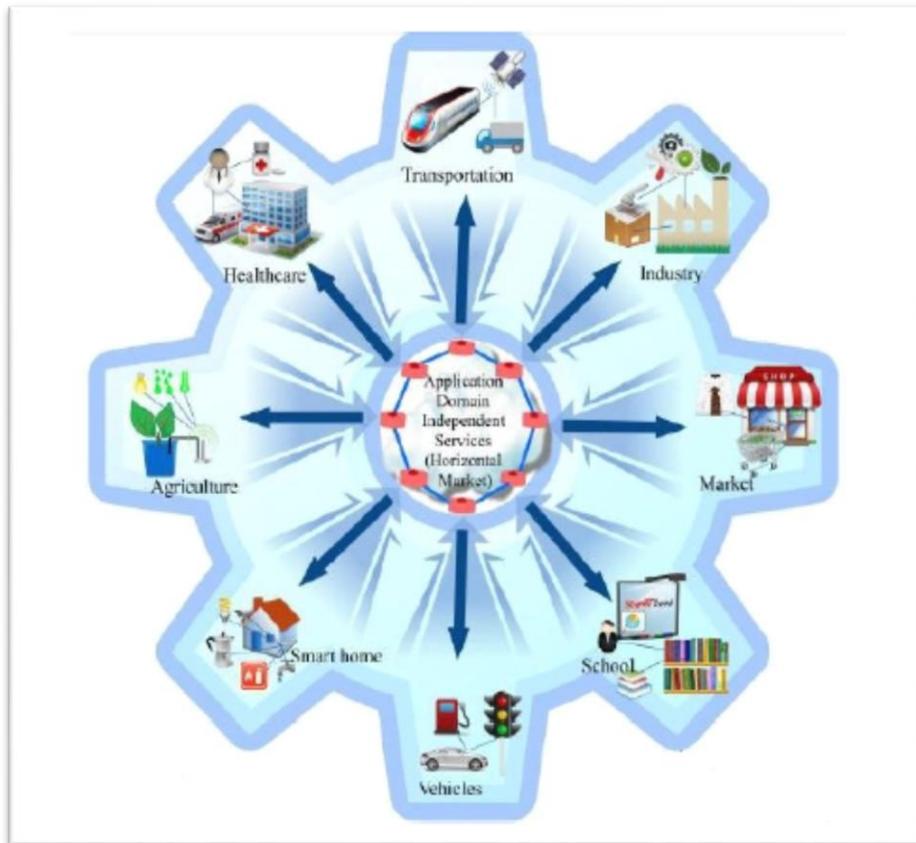
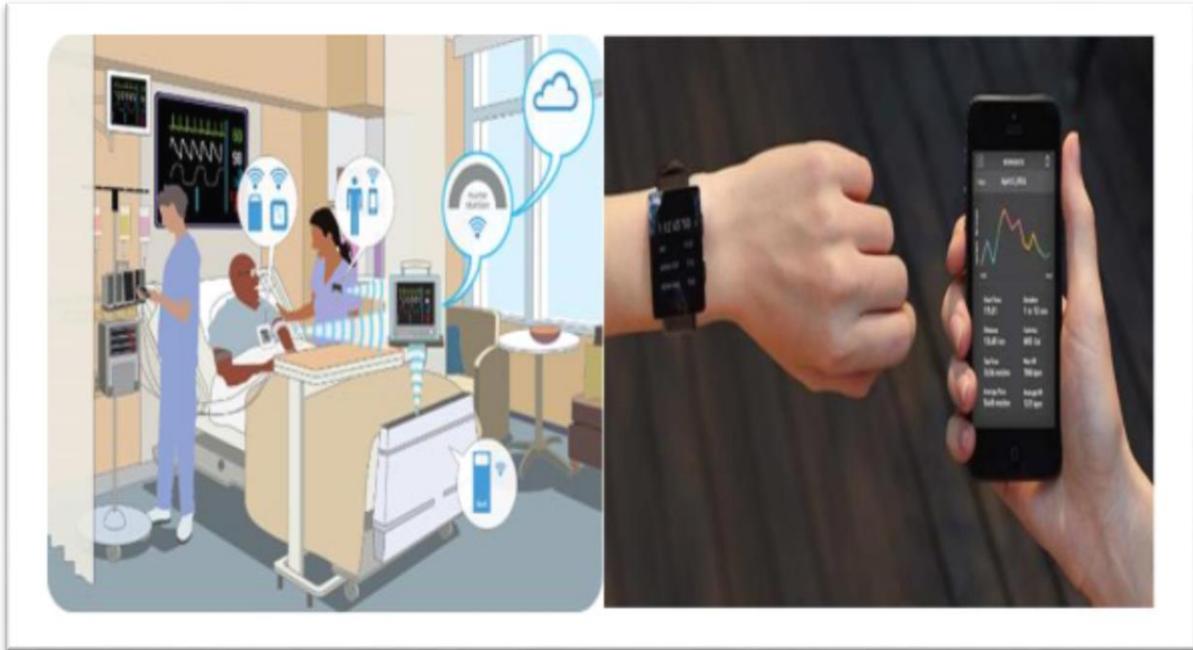


Figure I.3 : Domaines d'application d'internet des objets [13]

### I.7.1. Domaine de santé

Les objets connectés peuvent être utilisés comme dispositif de surveillance ou de monitoring sous forme de bracelet connecté ou de montre connectée qui permettront de suivre à tout moment nos activités physiques en nous informant de signes irréguliers. Si vous êtes une personne qui prend des médicaments, ces objets connectés peuvent également vous informer quand il est temps de prendre vos médicaments. En outre, cela pourrait éventuellement informer votre médecin d'une situation d'urgence.

L'internet des objets permettre aussi de suivre sa tension, son rythme cardiaque, la qualité de sa respiration ou encore sa masse graisseuse, et d'autres objets connectés médicaux, brosse à dent connectée ou encore, le scanner qui calcule le nombre de calories dans votre assiette.[2]



**Figure I.4** : Appareils intelligents dans domaine la santé

### **I.7.2. Domaine de transport**

Le suivie en temps réel du déplacement des populations, des biens et des moyens de transport dans le monde permettra l'élaboration d'un système de transport intelligent qui a comme objectifs, non seulement le renforcement de la sécurité routière, mais également l'efficacité de la gestion du trafic, l'économie du temps, de l'énergie et le confort des conducteurs.

### **I.7.3. Domaine de sport**

De nombreux objets connectés comme des montres ou des bracelets connectés vous permettrons pendant la journée de calculer le nombre de pas effectuée, la distance par courue votre temps d'activités, les calories brulées, ainsi pendant la nuit en calculant vos heures de sommeil. Pour les passionnés de High-tech, c'est un grand marché qui s'ouvre à eux ! De la montre connectée au téléviseur connecté en passant par les appareils photos, les montre, les drones, les lunettes.

### **I.7.4. Domaine d'industrie**

L'IOT dans l'industrie sera certainement un grand support pour le développement de l'économie et le secteur des services, puisque L'IDO permettra aux usines d'améliorer l'efficacité

de ses opérations, d'optimiser la production, d'améliorer la sécurité des employés, faciliter la lutte contre, la contrefaçon, la fraude et assurer un suivi total des produits.

### I.7.5. Domaine l'Agriculture

L'IdO servira non seulement à optimiser l'eau d'irrigation, mais aussi, cette technologie peut être utilisée pour lutter contre la pollution (l'air et les eaux) et améliorer la qualité de l'environnement en général. L'IdO permettra une meilleure aide à la décision en agriculture [14].

### I.7.6. L'internet des objets dans le domaine 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 Figure04) peuvent encore être considérées comme des villes de l'avenir et la vie intelligente, et par le taux d'innovation de la création de villes intelligentes d'aujourd'hui, il sera devenu très faisable pour intégrer 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....



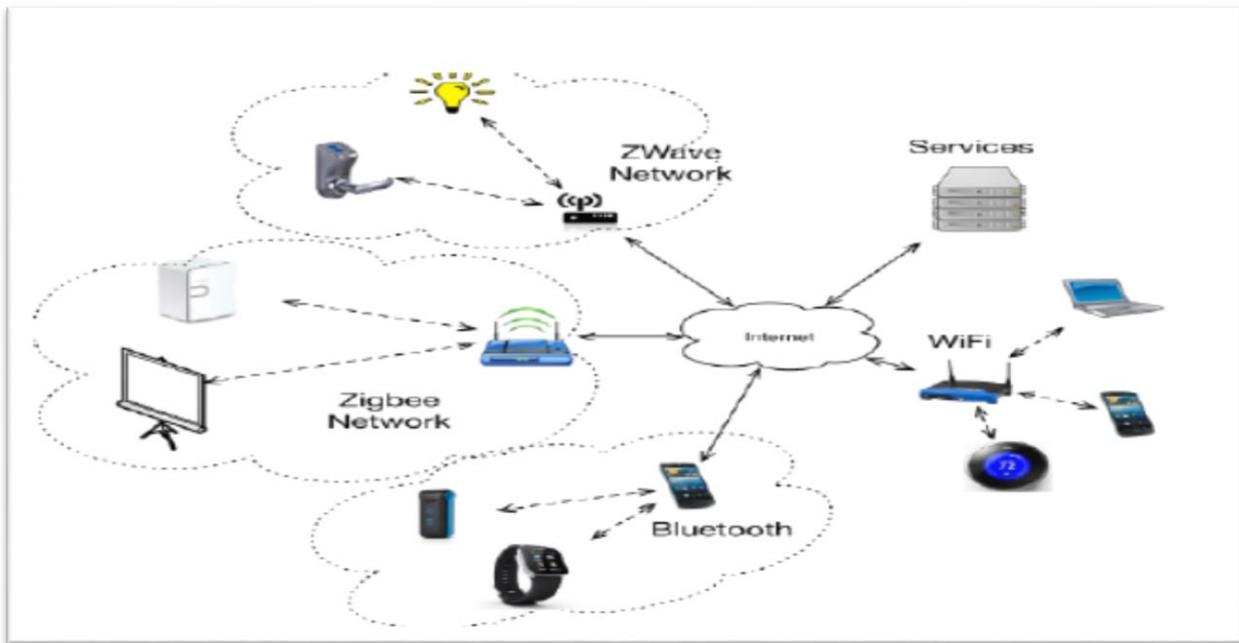
Figure I.5 : Constituants d'une ville intelligente.

## I.8. Avantage de l'Internet des objets

Les avantages « IoT » S'étendent à tous les domaines du mode de vie et des affaires. On explique quelques avantages comme suit :

### I.8.1. Amélioration de l'engagement des clients

Les analyses actuelles souffrent les failles importantes dans l'exactitude, il est indiqué l'engagement demeure passif. L'IoT aide pour atteindre un engagement plus riche et plus efficace avec le public. Comme la **figure I.6** :



**Figure I.6** : Amélioration de l'engagement client [15]

### I.8.2. Optimisation de la technologie

Les mêmes technologies et données qui améliorent l'expérience client améliorent également l'utilisation des périphériques et aident à améliorer la technologie. L'IoT déverrouille un monde de données fonctionnelles et de terrain critiques.

### I.8.3. Réduction des déchets

L'IoT rend les zones d'amélioration claires. Les analyses actuelles nous donnent un aperçu superficiel, mais l'IoT fournit des informations réelles conduisant à une gestion plus efficace des ressources.

#### **I.8.4. Amélioration de la collecte de données :**

La collecte de données moderne souffre de ses limites et de sa conception pour une utilisation passive. IoT le brise hors de ces espaces, et les place exactement où les humains veulent vraiment aller pour analyser notre monde. Il permet une image précise de tout. [16]

#### **I.9. Défis de l'Internet des Objets**

Le développement d'une application réussie IoT n'est toujours pas une tâche facile en raison de multiples défis. Ces défis comprennent : la mobilité, la fiabilité, l'évolutivité, la gestion, la disponibilité, l'interopérabilité et la sécurité et la vie privée. Dans ce qui suit, nous décrivons brièvement chacun de ces défis :

- **Mobilité** : Les périphériques IoT doivent se déplacer librement et changer leur adresse IP et leurs réseaux en fonction de leur emplacement. De plus, la mobilité peut entraîner un changement de fournisseur de services qui peut ajouter une autre couche de complexité en raison de l'interruption du service et de la modification de la passerelle.
- **Fiabilité** : Le système devrait fonctionner parfaitement et fournir toutes ses spécifications correctement. C'est une exigence très critique dans les applications qui nécessitent des réponses d'urgence. Dans les applications IoT, le système doit être très fiable et rapide dans la collecte des données, de les communiquer et de prendre des décisions et éventuellement mauvaises décisions peuvent conduire à des scénarios désastreux.
- **Évolutivité** : L'évolutivité est un autre défi des applications IoT où des millions de périphériques pourraient être connectés sur le même réseau. Gérer leur distribution n'est pas une tâche facile. En outre, les applications IoT doivent être tolérantes à de nouveaux services et périphériques qui se connectent constamment au réseau et par conséquent, doivent être conçus pour permettre des services et des opérations extensibles.
- **La gestion** : La gestion de tous ces périphériques et le suivi des défaillances, des configurations et des performances de ce grand nombre de périphériques est certainement un défi dans IoT. Les fournisseurs doivent gérer les défauts, la configuration, la comptabilité, la performance et la sécurité de leurs périphériques interconnectés et tenir compte de chaque aspect.
- **Disponibilité** : La disponibilité d'IoT inclut des niveaux de logiciel et de matériel fournis à tout moment et n'importe où pour les abonnés de service. La disponibilité du logiciel signifie que le service est fourni à toute personne autorisée à l'avoir. La disponibilité matérielle signifie que les périphériques existants sont faciles d'accès et sont compatibles avec la

fonctionnalité IoT et les protocoles. En outre ces protocoles doivent être compacts pour être en mesure d'être intégrés dans les dispositifs IoT.

- **L'interopérabilité** : L'interopérabilité signifie que les dispositifs et les protocoles hétérogènes doivent pouvoir interagir les uns avec les autres. Ceci est difficile en raison du grand nombre de plates-formes différentes utilisées dans les systèmes IoT. [17]

## **I.10. Conclusion**

Ces quelques dernières années, l'Internet des objets est devenu l'une des technologies les plus importantes du 21<sup>ème</sup> siècle. Maintenant, que nous pouvons connecter des objets du quotidien (appareils électroménagers, voitures, thermostats, interphones bébés, etc..) à Internet par l'intermédiaire de dispositifs intégrés, des communications sont possibles en toute transparence entre les personnes, les processus et les objets.

Dans ce premier chapitre nous avons présenté une étude détaillée sur l'internet des objets, sa définition, son historique et comment sa fonction. Puis nous avons cité quelques domaines d'application d'internet des objets. Par la suite nous avons parlés brièvement sur leurs avantages et ces défis.

Dans le prochain chapitre nous expliquerons les protocoles de communication dans internet des objets.

# **Chapitre II**

**Les protocoles de communication**

## **II.1. Introduction**

Pour que les objets connectés communiquent entre eux, les protocoles de communication qui sont différents seront utilisés selon le réseau auquel l'objet appartient (longue et court portée).

Dans ce chapitre nous allons définir et détaillé ces protocoles.

## **II.2. Protocoles de communication**

Se sont un ensemble de règles et de codes de langage qui définissent comment se déroule la communication entre un émetteur et un récepteur. Les protocoles sont différents selon le réseau auquel l'objet IoT appartient.

### **II.2.1. Réseaux à Court porte**

Comme le NFC, Wifi, ZigBee, ou encore le Bluetooth, permettent de transférer des données sur de faibles distances. Ils sont beaucoup utilisés dans la domotique ou sur le marché des wearable grand public.

#### **II.2.1.1. Protocole NFC**

Les protocoles **Near Field Communication (NFC)** sont fondés sur la technologie d'identification par radio fréquence RFID (Radio frequency identification). Les objets équipés d'une puce électronique RFID possèdent une étiquette et sont automatiquement identifiés par radio fréquence lorsqu'ils se trouvent à proximité d'un équipement appelé interrogateur. Le protocole NFC est un standard de communication radio fréquence sans contact à très courte distance, de l'ordre de quelques centimètres, permettant une communication simple entre deux équipements électroniques. Il est par exemple utilisé dans de nombreuses entreprises pour les badges d'accès aux locaux, ou comme support d'un abonnement à un réseau de transport en commun. [18]

#### **II.2.1.2. Bluetooth**

Inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson, le protocole **Bluetooth** est un standard de transfert de données sans fil. Il utilise une faible bande passante, ce qui ne lui permet de transférer que peu de données à de courtes distances, mais est également très peu énergivore.

Inclus à l'immense majorité des téléphones mobiles, afin de réaliser une communication entre deux téléphones, ou entre un téléphone et un objet connecté de nature différente, il possède désormais de nombreuses applications : oreillette de discussion téléphonique sans fil, montre

intelligente, moniteur de fréquence cardiaque, enceinte portative de diffusion de musique, station météo, thermostat, etc.



Figure II.1 : Logo de Bluetooth [19]

Ce protocole est également utilisé sur des capteurs statiques appelés **beamers** pour mesurer des flux, par exemple des clients dans un magasin.[18]

### **II.2.1.3. Zigbee**

ZigBee est un protocole de haut niveau permettant la communication de petites radios à consommation réduite, basée sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs). On retrouve ce protocole dans des **environnements embarqués** où la consommation est un critère de sélection. Ainsi, la domotique et les nombreux capteurs et télécommandes qu'elle implémente apprécie particulièrement ce protocole en plein essor et dont la configuration du réseau maillée se fait automatiquement en fonction de l'ajout ou de la suppression de nœuds. On retrouve aussi ZigBee dans les contrôles industriels, les applications médicales, les détecteurs de fumé. [20]

### **II.2.1.4. Z-Wave**

Z-Wave communique en utilisant une technologie radio de faible puissance dans la bande de fréquence de 868 MHz , elle est conçue spécifiquement pour les applications de domotique et ce qu'on appelle l'Habitat. Le protocole radio Z-Wave est optimisé pour des échanges à faible bande passante (entre 9 et 40 kbit/s) et des appareils sur pile ou alimentés électriquement, par opposition au Wi-Fi par exemple, qui est prévu pour des échanges à haut débit et sur des appareils alimentés électriquement uniquement. [21]



**Figure II.2** : Logo de Z-Wave [22].

### **II.2.1.5. Wi-Fi**

Le Wi-Fi est une technologie de transmission Haut-Débit sans fil qui utilise les ondes radio. Bien que désormais entré dans le langage courant, le **Wi-Fi** n'est pourtant qu'une abréviation commerciale signifiant **Wireless Fidelity**.

De manière générale, il s'agit de la dénomination de la norme IEEE 802.11 qui est le standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). Le Wi-Fi est un outil très pratique puisqu'il permet à un internaute de se connecter à Internet sans fil. Le Wi-Fi permet de se connecter à Internet depuis n'importe quelle pièce de votre foyer si vous êtes équipé du matériel adéquat. Cette technologie facilite grandement la création de réseaux locaux entre plusieurs ordinateurs reliés sans fil à un seul et même modem-routeur. Concrètement, le Wi-Fi trouve son utilité dans la liberté qu'il offre aux internautes. Les câbles gênants et disgracieux ne sont plus nécessaires pour profiter des joies du haut-débit. En pratique, le Wi-Fi répond aux besoins des mobilités des internautes : il permet de relier des Ordinateurs portables, des PC de bureau, des assistants personnels ainsi que des périphériques mobiles à une liaison haut débit ou à des appareils électroniques communiquant dans un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur à plusieurs centaines de mètres à l'extérieur. Pour faire fonctionner un réseau wifi, deux éléments sont indispensables. D'une part, il faut posséder un modem Wi-Fi qui est relié à la prise téléphonique. D'autre part, il convient de brancher sur son ordinateur un adaptateur Wi-Fi qui fera communiquer la machine et le modem. Cet adaptateur peut prendre plusieurs formes : une clé USB, une carte d'extension ou encore une carte réseau. A partir du moment où des données numériques sont transmises via Internet sur un réseau sans fil, il est possible qu'elles soient assez facilement interceptées.



**Figure II.3** : Logo de Wi-Fi [19]

Plusieurs méthodes de sécurisation du réseau Wifi sont applicables pour que l'internaute puisse déterminer qui peut utiliser son réseau, et qui ne peut pas. On distingue globalement 3 techniques :

- **Le WEP** (Wired Equivalent Privacy) : est une méthode de cryptage qui prend la forme d'une clé secrète encodée en 64 ou 128 bits. Celle-ci doit être déclarée sur le point d'accès Wi-Fi, puis sur chaque adaptateur sans fil. Largement utilisées, les clés WEP ne sont néanmoins pas reconnues pour leur efficacité face aux tentatives sérieuses de piratage.
- **L'adresse MAC** : est un identifiant unique donné à chaque carte réseau. Le filtrage par adresse MAC permet ainsi au point d'accès de vérifier l'identité d'un ordinateur qui se connecte au réseau Wi-Fi. L'internaute devra donc préalablement renseigner le modem-routeur en rentrant les adresses MAC qu'ils souhaitent autoriser. Il est fortement conseillé d'associer cette méthode à l'encryptage via la clé WEP ou WPA.
- **Le WPA** (Wi-Fi Protected Access) : est un autre protocole de sécurisation du Wi-Fi offrant une meilleure sécurité que le WEP. Le WPA utilise des clés TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) dynamiques pour authentifier individuellement chaque appareil relié au réseau Wi-Fi (contrairement au WEP qui génère une seule clé pour tout le réseau) [23].

#### **II.2.1.6. Bluetooth Low Energy**

Le Bluetooth Low Energy est un protocole de communication sans-fil le plus utilisé dans le monde, puisque présent dans tous les smartphones et tous les PC portables (laptops) modernes. Il équipe également toutes les montres connectées et autres capteurs d'activité (wearables). La version 5 du BLE promet des débits améliorés, jusqu'à 4Mbits/s.

Sa portée est de 60m sur terrain sans obstacle et consomme très peu. Il est très utilisé sur batteries, de façon plus autonome, pour faire communiquer l'électronique embarquée en réseau court. [24]

## **II.2.2. Réseaux à longue portée (LPWAN) :**

Comme Sigfox, LoRa ou encore les technologies cellulaires (GSM,2G,3G,4G,5G) sont capables de faire transiter des data d'un appareil à l'autre sur de vastes distances, ils sont utilisés par les entreprises qui veulent connecter des kilomètres d'infrastructures à internet ou dans des projets de 'smart cities' par exemples.

### **II.2.2.1. Réseaux cellulaires mobiles**

2G, 3G, 4G, 5G : les réseaux GSM sont des réseaux cellulaires. Le signal est capté par une antenne couvrant un certain volume de captation et est relayé au sein d'un réseau propriétaire puis à Internet.

De nos jours les réseaux 2G, 3G et 4G sont bien connus et largement utilisés notamment grâce à des routeurs 4G. L'industrie, les équipementiers ainsi que les constructeurs de machines sont particulièrement friands de ce type d'équipement. En effet ils permettent de réaliser de la maintenance à distance sans une contrainte technique forte.

La 5G et ses performances hors normes à la latence très faible (temps de montée du signal de communication) est envisagée comme étant l'avenir de l'IoT. Elle est déjà en cours de déploiement en France, particulièrement dans les grandes métropoles au moment où l'on écrit ces lignes.

Véhicules autonomes, transmissions vidéo, réseaux potentiellement mondiaux, télésurveillance personnelle, tracking de véhicules : les promesses sont grandes malgré une technologie énergivore. N'importe quel objet est en théorie interopérable sur la planète pourvu qu'il possède une carte SIM, une interface de communication et un abonnement à un opérateur de téléphonie.

Alors que la 5G n'est pas encore déployée en Europe, un consortium s'est déjà monté pour travailler sur la 6ème génération de téléphonie mobile appelée 6G piloté par Nokia et le projet Hexa-X. [24]

### **II.2.2.2. Sigfox**

Sigfox est un réseau propriétaire. En ville il a une portée qui peut être supérieure à 10 kilomètres, celle-ci peut atteindre les 30 voire les 50 kilomètres à la campagne. Les appareils ne consomment que très peu d'énergie pour envoyer leurs données sur ce réseau, même s'il est difficile de le confronter à d'autres technologies, faute de tests comparatifs réalisés par un organisme indépendant. Sigfox, qui ne coûte en moyenne que 2 euros par an et par objet, couvrait fin 2015 91% de la population hexagonale. Ce réseau était déployé en juillet 2020 dans 71 pays.

En contrepartie de sa faible consommation d'énergie, Sigfox ne permet de transporter que de très faibles quantités de données, entre 10 et 100 bits par seconde maximum (bps). Monodirectionnel au départ, il permet désormais d'envoyer des informations à ses objets connectés, même s'il est impossible de réaliser rapidement d'importantes mises à jour.[25]



**Figure II.4** : Logo de Sigfox [19]

#### **II.2.2.4. LoRa**

LoRa est le raccourci de LoRaWAN qui signifie Long Range radio Wide Area Network ou réseau radio étendu à longue portée, c'est un réseau à faible consommation (LPWAN, Low Power WAN) basé sur la modulation des ondes radios sur la bande de 868 MHz. Les objets qui émettent sur ce réseau consomment très peu (jusqu'à dix ans sur batterie) mais ne peuvent émettre que de petites quantités de données (entre 0,3 et 50 kilobits par seconde) périodiquement (ils ne sont pas connectés au réseau en permanence). Cela correspond bien à des usages de remontée d'information de température, d'hygrométrie ou encore de comptage d'énergie, mais cela ne permet pas la remontée d'alarmes nécessitant des réactions en temps réel. Pour les échanges de gros volumes, il faut privilégier les réseaux 3G et 4G, qui nécessitent le branchement de l'objet sur le secteur et l'utilisation d'une carte SIM.



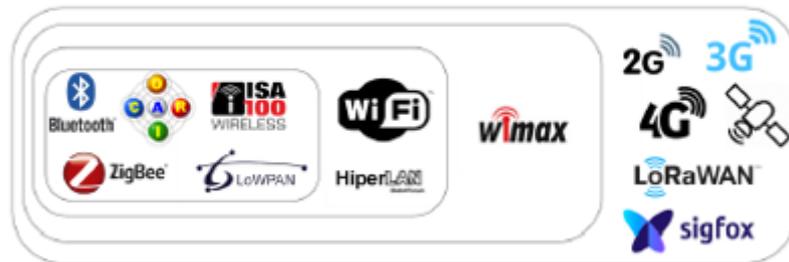
**Figure II.5** : Logo de LoRa [19]

LoRa est un réseau open source, la seule obligation est que le capteur soit équipé d'une puce, LoRa qui émet le signal alors capté par une antenne radio équipant une passerelle reliée à internet (les données sont ainsi mises à disposition sur une plateforme dans le cloud).

L'alliance LoRa, organisation créée par Semtech (propriétaire de la technologie) et regroupant plus de 500 entreprises, certifie les capteurs et les objets connectés fabriqués par ses membres [26].

### II.2.3. Classification des protocoles

Les protocoles de communication sont classifiés selon la portée, le débit, la consommation d'énergie.



**Figure II.6 :** Classification des protocoles de communication [27].



**Figure II.7 :** Comparaison des réseaux dans IoT [27].

#### II.2.4. Protocoles applicatifs

Est un ensemble de règles définissant le mode de communication entre deux applications informatiques. Ils se basent sur les protocoles de transport (TCP/UDP) pour établir dans un premier temps des routes et échanger les données selon l'ensemble des règles du protocole applicatif sélectionné. [28]

Les protocoles les plus utilisés sont :

- Protocoles de transfert web : web REST, COAP.
- Protocoles de messagerie : MQTT, XMPP et AMQ.
- Protocole réseau (Websocket)

### **II.2.4.1. Protocoles de transfert web**

- **Protocole Constrained Application Protocol (COAP) :** Est un protocole de couche D'application pour les applications IOT. Il définit un protocole de transfert Web Basé sur les fonctionnalités HTTP, est lié à UDP (et non TCP) par défaut qui le Rend plus approprié pour les applications IOT. En outre, CoAP modifie certaines fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IOT telles que la faible consommation d'énergie et le fonctionnement en présence de liens à perte et Bruyants.

CoAP a été conçu sur la base de REST qui représente un moyen plus Simple d'échanger des données entre les clients et les serveurs via HTTP. REST Peut être considéré comme un protocole de connexion qui repose sur L'architecture sans serveur apatriote. Il est utilisé dans les applications de réseaux Sociaux et mobiles et élimine l'ambiguïté en utilisant les méthodes HTTP get, post, put et delete. Il permet aux clients et aux serveurs d'exposer et de consommer Des services Web comme le protocole d'accès aux Objets simples (SOAP), mais de Manière plus simple en utilisant les identificateurs de ressources uniformes (URI). CoAP vise à permettre à de minuscules appareils à faible puissance, le calcul et Les capacités de communication ont utilisé les interactions RESTful. Avec CoAP, Les interactions entre services web de l'Internet des PC et de l'Internet des Objets Deviennent bien plus simples à réaliser une passerelle applicative assez légère Correspondance entre les commandes REST et CoAP se charge de l'adaptation d'un monde à l'autre [29] [30]

### **II.2.4.2. Protocoles de messagerie**

- **MQTT Message Queue Telemetry Transport :** Représente un protocole de messagerie idéal pour les communications IOT et M2M. Il vise à connecter des périphériques et des réseaux intégrés aux applications et au middleware. MQTT Utilise le modèle de publication souscription pour offrir une flexibilité de transition Et une simplicité d'implémentation. Il convient aux périphériques à ressources Limitées qui utilisent des liens peu fiables ou à faible bande passante. MQTT est Construit en haut du protocole TCP. Il se compose de trois composants, abonnés, éditeurs et courtiers. De nombreuses applications utilisent MQTT telles que les Soins de santé, la surveillance, le compteur d'énergie et la notification de Facebook. Par conséquent, le protocole MQTT permet d'acheminer les périphériques de petite taille à faible consommation et à faible mémoire dans des zones vulnérables et réseaux à faible bande passante [30].

- **XMPP (Protocole de messagerie et de présence extensible) :** est une Norme de messagerie instantanée IETF qui est utilisé pour les conversations Multipartis, les appels vocaux et vidéo et la télé présence. Il permet aux utilisateurs de communiquer entre eux en envoyant des messages instantanés sur Internet quel que soit le système d'exploitation qu'ils utilisent. XMPP permet aux applications de messagerie instantanée d'accéder à l'authentification, au contrôle d'accès, à la mesure de la confidentialité, au cryptage hop-by-hop et à la compatibilité avec d'autres protocoles.

Beaucoup de fonctionnalité XMPP en font un des protocoles Préfères par la plupart des applications de messageries instantanées et pertinentes Dans le cadre de l'IOT. Il fonctionne sur une variété de plateformes basées sur Internet de manière décentralisé. XMPP est sécurisé et permet d'ajouter de Nouvelles applications au-dessus des protocoles de base. [30]

- **AMQP (Message avancé Protocole de mise en file d'attente) :** est un protocole de couche d'application standard ouvert pour l'IOT se concentrant sur des Environnements axés sur les messages. Il requiert un protocole de transport sécurisé comme TCP pour échanger des messages. Il prend en charge une communication Fiable via des primitives de garantie de livraison de messages, en définissant un protocole au niveau du fil, les implémentations AMQP peuvent inter opérer entre elles. Les communications sont traitées par deux composants principaux :
  - Échanges et files d'attente de messages. Les échanges sont utilisés pour acheminer les messages vers les files d'attente appropriées.
  - Le routage entre les échanges et les files d'attente des messages repose sur certaines règles et conditions prédéfinies. Les messages peuvent être stockés dans les files d'attente, puis envoyés au récepteur par la suite. AMQP prend également en charge le modèle de communication publié. [30]

### **II.4.3. Protocole réseau (Websocket)**

Le protocole Websocket permet l'établissement d'un canal de communication full-duplex en une seule connexion TCP entre un client et un serveur. Les trois principales phases de la vie du canal sont : la phase de connexion appelé « Handshake » initié par le client, la phase d'échange bidirectionnel de messages, la phase de clôture du canal initié par l'une des deux parties.[28]

### **II.3. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons expliqué les différents protocoles de communication qui existent dans internet des objets notamment ceux avec une longue, moyenne et courte portée radio.

Dans le prochain chapitre nous allons définir les concepts de base des systèmes multi-agent.

# **Chapitre III**

**Systeme multi-agents**

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

L'agent est les systèmes multi-agents (SMA) est une technologie inspirée de la nature, elle appliquée dans beaucoup de domaines tel que les systèmes distribués, les interfaces homme machine, génie logiciel et les réseaux.

Les SMA s'intéressent à la résolution des problèmes complexes s'en basent sur la distribution de la connaissance et des compétences sur un ensemble d'entités autonomes. [31]

Dans ce chapitre nous allons définir les concepts d'agent et le système multi-agent puis, nous passons à présenter les caractéristiques et les types d'agent et le SMA.

### **III.2. Agent et Système Multi-Agents**

Un système multi-agents est un environnement, qui comporte un ensemble d'agents, capables d'interagir entre eux. En général, les interactions sont mises en œuvre par un transfert d'informations entre agents ou entre l'environnement et les agents, soit par perception, soit par communication.

#### **III.2.1. Agent**

Les agents sont donc les entités actives du système multi-agent. On entend par là que ce sont des entités autonomes (qui poursuivent leurs propres buts) qui peuvent prendre des décisions. [32]

##### **III.2.1.1. Définition d'agent**

Il existe plusieurs définitions d'un agent, mais la définition plus adoptée et plus complète d'un agent est celle de J. FERBER qui est la suivante [33] :

« On appelle agent une entité réelle ou virtuelle **plongée dans un environnement** sur lequel elle est :

- **Capable** d'agir
- Qui peut **communiquer** directement avec d'autres agents
- Qui est mue par un **ensemble de tendances** (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser)
- Qui possède des **ressources** propres,
- Qui est capable de **percevoir** (mais de manière limitée) son environnement.
- Qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (éventuellement aucune),

- Qui possède des **compétences** et offre des **services**
- Qui peut éventuellement **se reproduire**,
- Dont le **comportement** tend à satisfaire **ses objectifs**, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit. »

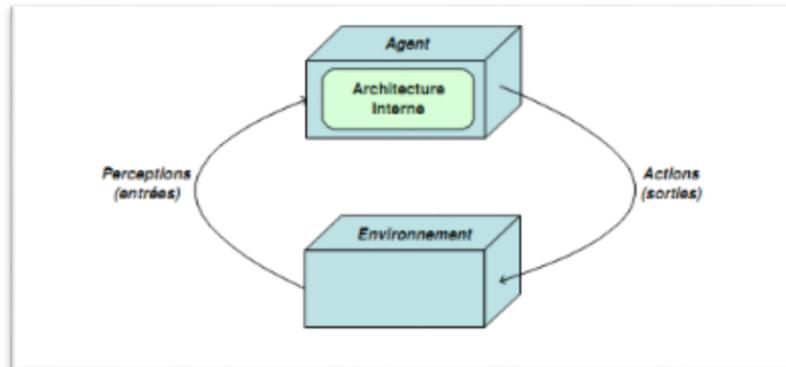


Figure III.1 : présentation classique d'un agent et son environnement [34]

### III.2.1.2. Propriétés d'agent

- **Autonome** : son comportement est fonction de ses perceptions qui agisse sur son état, et de sa représentation de l'environnement dans lequel il évolue. Aucun super contrôleur ne peut le piloter de l'extérieur [35].
- **Proactif** : il peut prendre des initiatives afin de satisfaire ses buts. Pour le faire, il n'est pas soumis à l'invocation d'une autre entité pour agir mais peut agir sur sa propre initiative [35].
- **Flexible** : caractérise un agent intelligent. Être flexible signifie que l'agent est capable de **percevoir** son environnement et **répondre** en temps voulu aux changements qui s'y produisent (**réactivité**), d'avoir un comportement dirigé par son but, d'être opportuniste et **capable** d'initiative quand c'est approprié (**proactivité**), et d'interagir, quand c'est approprié avec d'autres agents artificiels ou humains de manière à compléter leur résolution de problème et d'aider les autres dans leurs activités (**sociabilité**) [36].
- **Social** : il a la capacité d'interagir pour atteindre ses buts ou pour aider d'autres agents dans leurs activités [35].
- **Situé** : capacité à percevoir l'environnement au travers de métriques spatio-temporels dans lequel il peut agir de façon limitée [35].
- **Coopération** : les agents travaillent à la satisfaction d'un but commun, ou individuel.

- **Communication** : un agent communique d'une manière directe ou indirecte avec les autres agents par coopération ou par compétition, le but est de réaliser une tâche donnée.
  
- **Mobilité** : il y a deux types de mobilité :
  - **Mobilité relative** (ou par requêtes) : dans ce cas il n'y a pas un réel déplacement de l'agent, celui-ci lance une succession de requêtes à destination de différents serveurs.
  - **Mobilité réelle** (de l'agent) : le processus agent se déplace d'un serveur à un autre sur le réseau. Le code de l'objet ainsi que ses données sont transportés sur une nouvelle machine où il continue son exécution [37].

### III.2.1.3. Types d'agent

Il existe trois grandes familles d'agents : les agents réactifs, les agents cognitifs et les agents hybrides.

#### ➤ Agent réactif

Un agent réactif ne fait que réagir aux changements qui surviennent dans l'environnement. Autrement dit, un tel agent ne fait ni délibération ni planification, il se contente simplement d'acquiescer des perceptions et de réagir à celles-ci. Etant donné qu'il n'y a pratiquement pas de raisonnement, ces agents peuvent agir et réagir très rapidement [38].

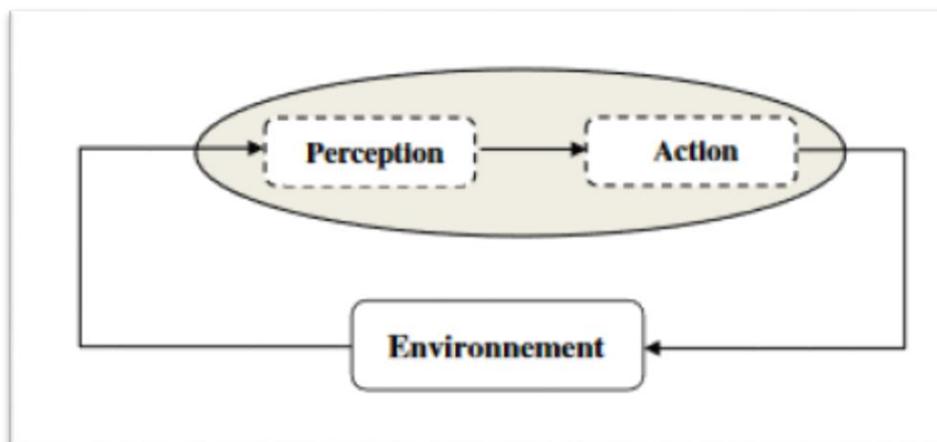


Figure III.2 : Agent réactif [38]

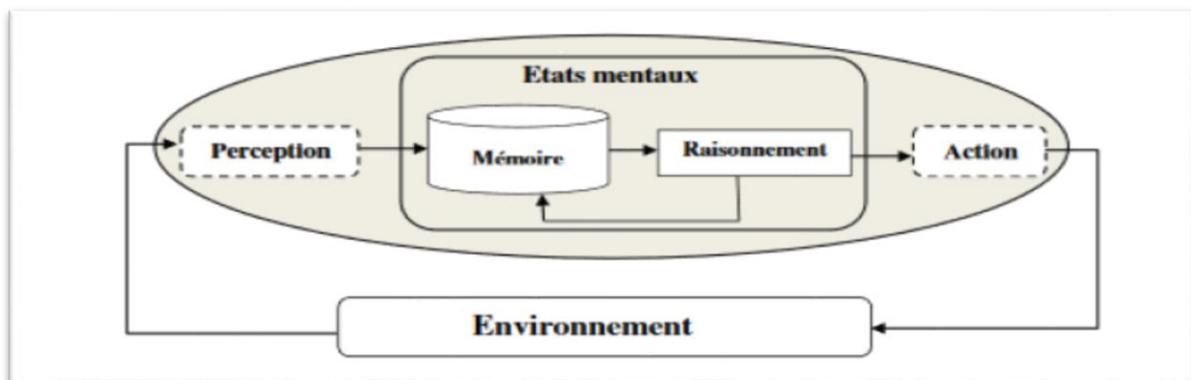
Cette figure montre les caractéristiques d'un agent réactif qui sont :

- Absence de la mémoire.

- Pas de représentation explicite.
- Prise de décision se focalise sur le fait du Stimulus/Réponse.
- Simplicité de mise en œuvre.

➤ **Agent cognitif**

Ces agents disposent des capacités fondamentales de perception, délibération et action, couplés à des concepts nouveaux de représentation et de régulation des processus comportementaux. [39]



**Figure III.3 :** Agent cognitif [38]

Ce type d'agent se caractérise par :

- Une représentation explicite de l'environnement et du monde auquel ils appartiennent.
- Planification de la réaction.
- Des informations et du savoir-faire qui se trouvent dans une base de connaissance.
- Présence d'une mémoire pour sauvegarder les états précédents

Agent réactif	Agent cognitif
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de représentation explicite</li> <li>- Pas de mémoire de son histoire</li> <li>- Comportement réflexe (Stimulus/Action)</li> <li>- Grand nombre d'agents</li> <li>- Communication principalement via l'environnement, et/ou au travers de signaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Représentation explicite de l'environnement</li> <li>- Peut tenir compte de son passé</li> <li>- Comportement avec décision délibérative</li> <li>- Petit nombre d'agent</li> <li>- Modèle de communication directe par message.</li> </ul>

**Tableau III.1:** Comparaison entre agent cognitif et agent réactif

➤ **Agent hybride**

Un agent hybride est un agent conçu en couches. Les couches inférieures assurent des comportements réactifs. Par contre, les couches supérieures sont responsables de capacités cognitives complexes comme les aspects sociaux. Bien entendu, les couches supérieures manipulent des connaissances alors que les couches inférieures manipulent directement des données. En conséquence, des couches intermédiaires sont responsables de transformer des données en connaissances [40].

Ce type d'agent se caractérise par :

- Combinaison des capacités d'agent réactif et d'agent cognitif.
- Adaptation du comportement en temps réel à l'évolution de l'environnement.
- Un agent est composé d'une architecture multicouche qui se base sur la hiérarchie de niveaux.
- Puisque différents composants peuvent fonctionner en même temps, la puissance de traitement peut être améliorée.

**III.2.2. Système Multi-Agents**

La section précédente a présenté des systèmes où il n'y avait qu'un seul agent mais, dans la plupart des situations réelles, l'agent n'est pas seul dans son environnement, il y a d'autres agents présents autour de lui. Il nous faut donc aborder des systèmes où plusieurs agents doivent interagir entre eux pour effectuer leurs tâches. De tels systèmes sont appelés « systèmes multi-agents ».

### III.2.2.1. Définition d'un SMA

Ce système compose d'un ensemble des agents travaillent pour résoudre un problème commun, les possibilités de chaque agent prises séparément ne permet pas de le résoudre. Chaque agent possède donc des connaissances et un savoir-faire limité, ce qui l'oblige à interagir avec d'autres pour mener à bien le projet commun. Les SMA mettent en œuvre des interactions complexes, comme la coopération, la coordination, la collaboration, la compétition, et la négociation [36] [39] :

- Il y a **coopération** lorsque les agents travaillent ensemble pour atteindre un but commun.
- La **coordination** consiste à organiser les activités liées à la résolution d'un problème de manière à éviter les interactions néfastes et à exploiter les interactions bénéfiques.
- La **collaboration** : Les agents du système partagent un même but de façon intermittente.
- La **compétition** : Les agents du système ont des buts incompatibles
- La **négociation** a pour objectif la gestion des conflits entre agents, c'est à dire qu'elle consiste à aboutir à un accord acceptable par l'ensemble des agents impliqués.

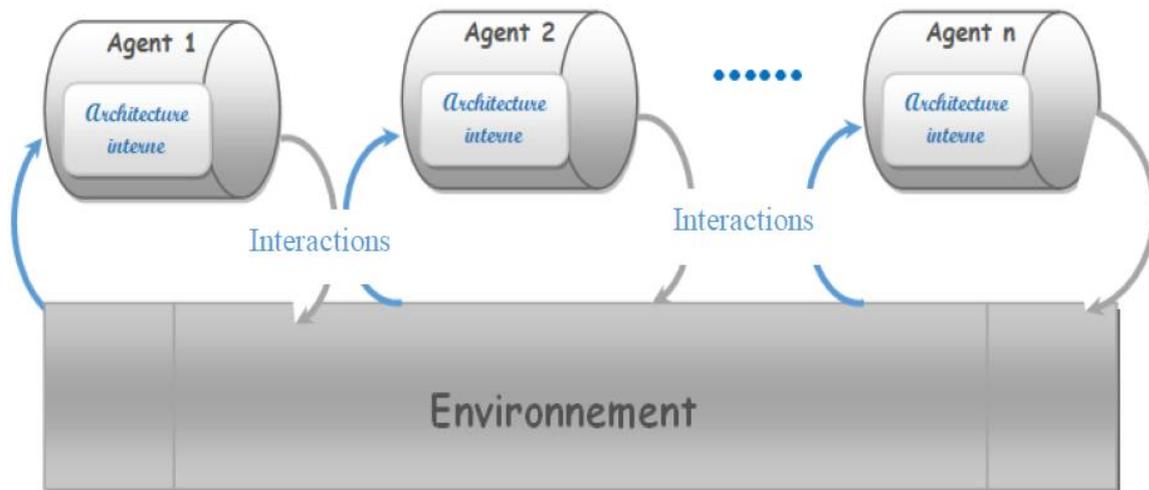


Figure III.4 : Présentation schématique d'un système multi-agent.

### III.2.2.2. L'environnement d'un SMA

L'environnement est un élément important dans le système multi-agents. C'est grâce à lui que les agents peuvent coexister et interagir. L'environnement doit pouvoir être perçu par les agents et ces derniers doivent pouvoir agir dessus et interagir au travers. Avec celle des comportements individuels, la spécification de l'environnement permet de définir la dynamique d'un SMA [38].

### 1) Type d'environnement

Selon le point de vue que l'on adopte, on peut identifier différents types d'environnements :

- **Point de vue du système multi-agents** : l'environnement correspond à l'ensemble des entités extérieures au système.
- **Point de vue de l'agent** : l'environnement est tout ce qui est extérieur à lui-même.
- **Point de vue du concepteur** : il peut correspondre à l'état du système, ou représenter l'ensemble des outils permettant de simuler, de visualiser et d'évaluer le SMA.

### 2) Propriétés d'environnement

L'environnement possède certaines propriétés :

- **Accessible ou inaccessible** : un agent a accès à l'état complet de l'environnement ou non.
- **Déterministe ou indéterministe** : le changement de l'état de l'environnement est uniquement déterminé par l'état courant et les actions des agents ou non.
- **Statique ou dynamique** : l'environnement peut changer quand l'agent est en action (réflexion) ou non.
- **Discret ou continu** : le nombre de perceptions et d'actions est limité ou pas.

### III.2.2.3. Caractéristiques d'un SMA

Un SMA possède la plupart des caractéristiques suivantes :

- **Distribution** : le système est décomposable l'élément de base étant l'agent.
- **Décentralisation** : les agents sont indépendants, il n'y a pas de décisions centrales valables pour tout le système.
- **Autonomie** : un agent est en activité permanente et prend ses propres décisions en fonction de ses objectifs et de ses connaissances.
- **Echange de connaissances** : les agents sont capables de communiquer entre eux, selon des langages plus ou moins élaborés.
- **Interaction** : les agents ont une influence localement sur le comportement des autres agents.
- **Organisation** : les interactions créent des relations entre les agents, et le réseau de ces relations forme une organisation qui peut évoluer au cours du temps [38].

### III.2.2.4. Notions importantes dans SMA

- **Adaptation** : un système multi-agents adaptatif est donc défini comme un SMA qui est capable de changer son comportement en cours de fonctionnement pour l'ajuster dans un environnement dynamique, soit pour réaliser la tâche pour laquelle il a été conçu, soit pour

améliorer sa fonction ou ses performances. Il est caractérisé par le fait d'être plongé dans un environnement dynamique, de réaliser une tâche (fonction) et d'être composé d'agents en interaction [41].

- **Emergence** : la notion d'émergence peut être définie de manière intuitive comme une propriété macroscopique d'un système qui ne peut pas être inféré à partir de son fonctionnement microscopique. Cette notion est étudiée depuis fort longtemps dans les disciplines telles que la philosophie, la physique, la thermodynamique... [41].
- **Auto organisation** : il existe plusieurs définitions d'auto-organisation nous allons citer quelque'une :
  - Motif ou fonction du niveau global d'un système (SMA) qui émerge suite aux interactions entre composants de plus bas niveau (agents).
  - Transformation autonome de la topologie d'un système (exp : connexions réseau) par ses composants résultant du fonctionnement de ce réseau.
  - Processus par lequel un système change son organisation interne pour s'adapter aux changements de ses buts et de l'environnement sans contrôle externe explicite. L'auto-organisation résulte souvent en un comportement émergent désirable ou non.
  - Le système doit pouvoir s'adapter à son environnement [42].

### **III.2.2.5. Domaines d'application des SMA**

Les différentes applications des Systèmes Multi-Agents relèvent de plusieurs domaines :

- La résolution de problèmes par émergence : Faire émerger une solution à un problème complexe à partir de comportements simples tel que la gestion des réseaux de télécommunication, système de transport.
- Le contrôle de systèmes complexes : Les systèmes multi-agents sont aussi utilisés pour le contrôle ou le pilotage d'outils ou de composants immergés dans un environnement dynamique, telles les chaînes de production ou encore les robots tel que les robots automates mobiles.
- La simulation des systèmes complexes : C'est là que les caractéristiques d'autonomie, de proactivité, des agents interviennent. Elle est utilisée pour pouvoir jouer sur des paramètres difficilement modifiables, voir non modifiables, dans les cas réels pour observer leurs influences, tel que la simulation individu-centrée.
- Le travail collaboratif assisté par ordinateur : Comme les agents assistants, agents médiateurs.

- La télématique (internet) : Comme les agents “ intelligents“, agents d’interface.
- Les Systèmes multi-capteurs.
- Les jeux vidéo (intelligence des caractères).

Parmi les domaines d’application des SMA :

- Télécommunication, système de transport, réseaux : Systèmes hétérogènes et ouverts
- Travail collaboratif assisté par ordinateur : Agents assistants, agents médiateurs
- Robotique : Robots automates mobiles
- Télématique (internet) : Agent “ intelligents“, agents d’interface.
- Simulation de systèmes complexes : Simulation individu-centrée
- Systèmes multi-capteurs
- Les jeux vidéo (intelligence des caractères) [37].

### **III.3. Avantages**

Ils possèdent les avantages traditionnels de la résolution distribuée et concurrente de problèmes :

- **La modularité** : Permet de rendre la programmation plus simple. Elle permet de plus aux SMA d’être facilement extensibles, parce qu’il est plus facile d’ajouter de nouveaux agents à un SMA que d’ajouter de nouvelles capacités à un système monolithique.
- **La vitesse** : Est principalement due au parallélisme, car plusieurs agents peuvent travailler en même temps pour la résolution d’un même problème.
- **La fiabilité** : Peut être également atteinte, dans la mesure où le contrôle et les responsabilités étant partagés entre les différents agents, le système peut tolérer la défaillance d’un ou de plusieurs agents. Si une seule entité contrôle le tout, alors une seule défaillance de cette entité fera en sorte que tout le système tombera en panne [43].

### **III.4. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu les notions agent et système multi-agents, nous avons vu qu’un système multi-agents est un ensemble d’entités autonomes nommées « agents » qui évoluent dans un environnement commun. L’ensemble d’agents interagissent dans un environnement en se basant sur des propriétés comme la coopération, l’autonomie et l’intelligence.

Certains domaines requièrent l’utilisation de plusieurs entités séparées ou distantes, par conséquent, les systèmes multi-agents sont très bien adaptés à ce type de situations. A cet égard nous avons aussi cité quelques domaines d’application tel que les systèmes distribués, interfaces homme/machine et les réseaux.

Dans notre travail, les SMA vont nous être utile surtout pour l'utilisation et la mise en œuvre d'un scénario IoT cas d'une maison intelligente, dans un simulateur connu pour ces performances dans le la simulation basée Agents. Dans le prochain chapitre nous allons détailler le scénario et la simulation.

# **Chapitre IV**

## **Scénario et simulation**

## **IV.1. Introduction**

De nos jours, la simulation connaît un essor considérable, et ce grâce à l'intérêt que présente les modèles informatiques des systèmes simulés. Elle consiste essentiellement à modéliser un système quelconque, en offrant une représentation de toutes les entités de ce système, leurs comportements propres et ainsi leurs interactions. Et grâce aux progrès réalisés dans le domaine du développement et de techniques de programmation, il devient possible de réaliser un simulateur pour un environnement de programmation donnée [44].

Avant de commencer la réalisation d'un projet, il faut choisir les outils nécessaires pour son implémentation. Ainsi pour la réalisation de notre travail nous avons choisi le simulateur NetLogo.

Dans ce chapitre nous allons définir notre scénario d'une maison intelligente et décrire le processus de la réalisation de notre simulation. Ceci en spécifiant notre environnement de développement NetLogo.

## **IV.2. Scénario**

### **IV.2.1. Description scenario**

Supposons que l'agent Alex possède une maison intelligente, et travaille à 30 kilomètres de son lieu de résidence. Alex se réveille tous les jours à 7h00 du matin, sa maison se réveille avec lui qui veut dire : les agents radiateurs sont activé selon la température du climat, la lumière capte la présence des gens automatiquement et s'allume quand la personne entre à la chambre, avant qu'il parte au travail sa cafetière lui prépare son café pendant qu'il prend sa douche qui était déjà prête (l'eau et les serviettes sont chaudes).

Avant qu'il sort de la maison on active l'alarme et les portes se verrouille automatiquement les fenêtres se referment aussi et si un intrus s'approche de la maison la caméra le détecte et envoie un signal vers le téléphone de propriétaire de la maison.

Le soir Alex rentre à sa maison le garage capte sa voiture, dès qu'elle s'approche la porte s'ouvre automatiquement puis il gare sa voiture, et la porte du garage se referme.

En entrant au salon la télévision détecte la présence d'Alex et s'allume.



### **IV.3.1. Définition**

La simulation est l'étude du comportement dynamique d'un système, grâce un modèle que l'on fait évoluer dans le temps en fonction de règles bien définies, à des fins de prédication. De là on peut dire que le terme de simulation pourrait être caractérisé par les mots clefs suivants [44] :

- Un élément fondamental qui est **le modèle**.
- Le modèle est **manipulé** (sur ordinateur) cette manipulation **fournissant des solutions**
- Les solutions trouvées sont **celles du modèle et non du système modélisé**
- Son but est de **choisir** parmi les solutions celle qui **semble être la meilleure**.

### **IV.3.2. Simulation à base d'agent**

La simulation multi-agents (ou simulation orientée agent) utilise les agents pour représenter les entités ou les agrégats du phénomène étudié. Elle permet notamment de se focaliser sur l'émergence de caractéristiques globales à partir d'actions et d'interactions locales entre les agents [45].

Elle consiste à concevoir, construire et modéliser un système complexe constitué d'entités individualisées disposant d'un certain degré d'autonomie et interagissant les unes avec les autres.

Une telle approche est proposée, aujourd'hui, à la fois pour la résolution de problèmes en intelligence artificielle et pour la représentation de processus en économie, écologie, géographie, ou physique, elle est de plus en plus utilisée pour représenter des systèmes dynamiques.

La simulation à base d'agents (SBA) a pour but de reproduire la dynamique d'un système en modélisant les entités par des agents, dont le comportement et les interactions ont été définis.

### **IV.3.3. Domaines d'application de simulation orientée agent**

Les simulations multi-agents sont largement utilisées dans de nombreux domaines comme notamment :

- Simulations d'écosystèmes et de gestion de ressources naturelles : dont la problématique est de tenter d'étudier et de résoudre les problèmes liés à l'accès et à l'utilisation des ressources naturelles et renouvelable.
- Simulations urbaines : dont le but est l'étude et la compréhension de l'évolution des cités et de l'impact de leur aménagement sur l'environnement et les flux de populations.
- Simulations en transport : dont l'objectif est d'aider à la compréhension des flux urbains dans une agglomération.
- Simulations de mouvement de foules : qui permettent l'étude de la dynamique des comportements lors de la concentration d'un nombre important de personnes dans un espace restreint [49].

#### **IV.4. Choix NetLogo**

Il existe plusieurs simulateurs de réseau tels que : **python, Cisco, NetLogo...**etc. Parmi ceux, nous avons opté pour la plateforme NetLogo pour l'implémentation de notre système maison intelligente.

Ce logiciel possède le premier avantage d'être conçu en JAVA (langage orienté objet), ce qui le rend portable sur n'importe quelle machine. D'autre part, il utilise une extension du langage LOGO ce qui permet à un utilisateur non informaticien de développer des programmes sans connaissance des langages informatiques classiques.

En outre il est relativement simple à manipuler et possède des outils intégrés permettant un traitement aisé des résultats comme les illustrations graphiques. Mais l'avantage principal de ce langage c'est qu'il permet la modélisation d'un système complexe composé d'un nombre infini d'agents autonomes situés dans un environnement statique ou dynamique, et fonctionnant en parallèle. Ainsi il permet la simulation des interactions entre entités. Finalement on peut dire que NetLogo permet la modélisation des comportements des entités autonomes au niveau micro et le comportement émergent au niveau macro.



**Figure IV.2** : Logo de NetLogo

##### **IV.4.1. Présentation Netlogo**

NetLogo a été créé par Uri Wilensky au Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (CCL) en 1999, puis à l'Université Tufts dans la région de Boston. Il est né de StarLogoT, qui a été écrit par Wilensky en 1997 [45].

NetLogo est un langage de programmation multi-agents basé sur le langage de programmation Logo. Dans sa version actuelle, il est distribué en open source. Il a été conçu et développé dès le

départ pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes évoluant dans le temps. NetLogo a été utilisé pour modéliser et simuler divers systèmes complexes dans divers domaines tels que l'économie, la biologie, la physique, la chimie, la psychologie, la dynamique des systèmes et de nombreuses autres sciences naturelles et sociales [46].



Figure IV.3 : Lancement du simulateur NetLogo v 6.0.4.

Voici les éléments qui nous permettent de créer un programme dans Netlogo :

➤ **Les agents**

NetLogo connaît quatre types d'agents : des tortues, des patches, des liens et l'observateur (observer).

- Les **tortues** ("turtles") sont les éléments principaux, sont les agents qui peuvent se déplacer dans le monde.
- Le **monde** ("world") est à deux dimensions et est divisé en une grille de patches qui sont des éléments discrétisés de l'environnement. Chaque **patch** est un morceau de « sol » carré sur lequel les tortues peuvent se déplacer.
- Les **liens** ("links") sont des agents qui relient deux tortues.
- L'**observateur** ("observer") n'a pas de position déterminée – vous pouvez l'imaginer regardant d'en haut le monde des tortues et des patches. Cet observateur est considéré comme contrôleur central du monde virtuel. Il permet de gérer les programmes et de passer des commandes spécifiques aux tortues et aux patches.

➤ **Les variables** : Emplacement pour stocker des valeurs, telles que des nombres ou du texte. Il existe trois types de variables :

- **Variables globales** : une variable globale est accessible par tous les agents. Il doit être déclaré avant toutes les procédures. Exemple :

```
globals [  
  max_energy ;; énergie maximale  
  total_sim_time ;; le temps de simulation total  
]
```

- **Variables d'agent** : chaque tortue et chaque patch a son propre ensemble de variables, nommée variable d'agent. La valeur d'une variable d'agent peut varier d'un agent à l'autre. Exemple :

```
Turtles-own [  
Name  
]
```

- **Variables locales** : Une variable est définie et accessible uniquement à l'intérieur d'une procédure. Exemple :

```
To permuter [ val1 val2 ]  
let tmp val1 ;; déclaration de la variable local 'tmp' qui reçoit la valeur 'val1'  
set val1 val2  
set val2 tmp  
end
```

- **Variables d'agent prédéfinies** : mise à part les variables que les utilisateurs peuvent déclarer selon leur besoin, les agents possèdent des variables prédéfinies :

Pour les tortues :

color ;; couleur	size ;; taille
heading ;; orientation en degrés	label ;; nom
xcor ;; coordonnée le long de l'axe x	shape ;; forme
ycor ;; coordonnée le long de l'axe y	who ;; identifiant

Pour les Patches :

pcolor ;; couleur	pxcor ;; l'axe x
plabel ;; nom	pycor ;; l'axe y

➤ **Les procédures et les fonctions**

- **Les procédures** (Commands) : une procédure est un bloc d'instructions qui définit l'action à mener par les agents et elle ne retourne pas de valeur.

Déclaration :

```
to < nom_procedure > [<parametre1> <parametre2> . . . ]  
<Instructions>  
End
```

Appel : <nom\_procedure> <argument1> <argument2>

- **Les fonctions (Reporters)** : Ensemble d'instructions pour calculer et retourner une valeur. La valeur est indiquée avec le mot-clé "rapport" (équivalent à "return" dans d'autres langages).

Déclaration :

To-report <nom\_fonction> [<parametre1> <parametre2> . . .]

<Instructions>

Report <valeur>

End

Appel : <nom\_fonction> <argument1> <argument2>

- **Asks** : demander à un ou plusieurs agents (tortues, patches, liens) d'exécuter des commandes.

**Syntaxe** : ask turtles [<commands> ] ;; demander à toutes les tortues

ask turtle <id> [<commands> ] ;; demander à une tortue

Exemple : ask turtles [set color red] ;; demander à toutes les tortues à devenir rouge

- **Agent set** : définit un sous ensemble d'agents.

**Syntaxe** : <agentset> with [<condition> ] ;; sous ensemble d'agents selon la condition

<agentset> in-radius <distance> ;; sous-ensemble d'agents situés à une distance de l'appelant

Exemple 1 : turtles with [color red] ;; créer un sous ensemble de tortues en rouge

Exemple 2 : turtles in radius 3 ;; sélectionner les tortues à moins de 3 pas de l'appelant

- **Breeds** : breed ou race, un ensemble d'agents dont le type ou l'espèce est autre que les tortues.

Déclaration des Breeds :

**Syntaxe** : breed [<breeds> <breed>]

La première valeur est le pluriel de la race et la deuxième valeur est le singulier de la race.

Exemple : breed [chats chat ] ;; déclaration d'agent de type ou race chats

Remarque : Breed (race) est une variable de la tortue.

Exemple : Demander à la tortue numéro 5 de permuter vers la race chien si elle est de race chat :

ask turtle 5 [ if (breed = chat) [set breed = chien] ] [18].

#### **IV.4.2. Interface de Netlogo**

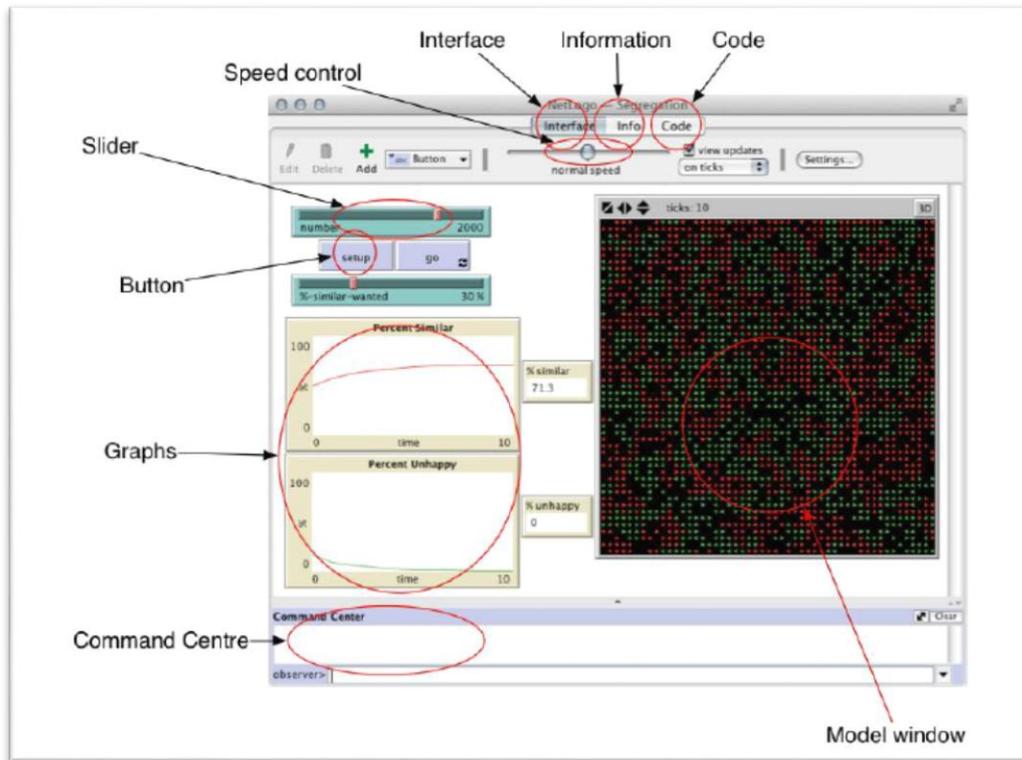
L'interface graphique de Netlogo comporte trois onglets :

**Interface** : visionneuse et outils d'interface utilisateur pour la simulation.

**Info** : informations textuelles sur le modèle simulé.

**Code** : code source NetLogo du modèle simulé.

La figure ci-dessous montre les différents composants de l'interface Netlogo :



**Figure IV.4** : Composants de la fenêtre Netlogo [47]

Explication du fonctionnement de chaque composant de la fenêtre ci-dessus :

- **Button** : permettant d'exécuter des procédures.
- **Slider** : Entrée qui permet à l'utilisateur de modifier les valeurs des variables.
- **Speed contrôle** : régler la vitesse d'exécution.
- **Interface** : l'onglet interface affiche la présente interface.
- **Info** : l'onglet info contient une interface contenant des informations fournis par l'utilisateur à propos du modèle simulé.
- **Code** : l'onglet code affiche une interface contenant une zone où l'utilisateur peut écrire le code en langage Netlogo.
- **Graphs** : consiste en une Présentation graphique des données résultantes de la simulation.
- **Command Center** : Permet à l'utilisateur de taper des commandes à exécuter par les agents.

- **Model window** : Un panneau qui affiche le déroulement de la simulation.

## IV.5. Définition des agents

Notre scénario de la maison intelligente contient plusieurs agents qui interagissent entre eux et l'environnement pour effectuer leurs tâches.

Dans ce qui suit, nous montrerons pour chaque agent ses propres tâches :

- **Agent personne** : C'est l'agent principal de notre simulation car la maison fonctionne selon son besoin.

Procédure\_eclairage

### Début

Vérification de la présence de la personne

**Si** choix = porte 1

La personne entre dans la pièce 1 et la lumière s'active automatiquement.

choix = porte 2

La personne entre dans la pièce 2 et la lumière s'active aussi automatiquement.

choix = porte 3

La personne entre dans la pièce 3 et la lumière s'active aussi automatiquement.

choix = porte 4

La personne entre dans la pièce 4 et la lumière s'active aussi automatiquement.

**sinon** toutes les lumières s'éteint.

### Fin.

- **Agent radiateurs** : Les radiateurs s'allument selon la température.

Procédure\_chuaffage

### Début

Vérification de la température

**Si** température  $\leq$  15 et choix = radiateur alors

Allume les radiateurs et change leurs couleurs en rouge

**sinon**

Affiche un message d'erreur.

**Fin.**

- **Agent climatiseurs** : Le climatiseur s'active aussi selon la température.

Procédure\_climatisation

**Début**

Vérification de la température

**Si** température > 30 et choix = climatiseur alors

Le climatiseur s'allume

**sinon**

affiche un message d'erreur.

**Fin.**

- **Agent fenêtres** : Les fenêtres s'ouvrent selon la température.

Procédure\_fenêtre

**Début**

Vérification de la température

**Si**  $15 < \text{température} < 30$  et choix = fenêtres alors

Les fenêtres s'ouvrent en changeant leur direction

**sinon**

Affiche un message d'erreur.

**Fin.**

- **Agent camera** : La caméra détecte si un intrus s'approche vers la maison et envoie un signal vers le téléphone de l'utilisateur.

Procédure\_sécurisation

**Début**

**Si** la distance entre l'intrus et la maison < 5 alors

La caméra envoie un message vers le téléphone de l'utilisateur pour l'informer.

**Si** Les fenêtres sont ouvertes alors

Ils se referment automatiquement.

**FinSi.**

**Fin.**

- **Agent garage** : Le garage détecte la voiture du propriétaire de la maison des quelle s'approche de sa porte et il l'ouvre automatiquement.

Procédure\_garer

**Début**

**Si** la distance entre le garage et la voiture < 5 alors

La porte de garage s'ouvre et la personne gare sa voiture et se referme dès que la voiture sera à l'intérieur du garage.

**FinSi.**

**Fin.**

## IV.6. Propriétés des agents

Scenario contient plusieurs d'agents qui nous allons définir dans le tableau suivant :

Images-agents	Nom-agents	Propriétaires d'agents dans NetLogo
	Personnes	Breed [personnes personne] Set shape "person";;forme personne Set size 2 ;; taille Set color grey;;une color Gris Set xcor 9 set ycor -2 ;; la position Set heading -90 ;; la direction
		Breed [radiateurs rad] set color white

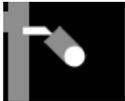
	Radiateurs	set shape "radiateur" set xcor -10 set ycor 19 set heading 180
	Chauffe de bain	Breed [chauffe chauff] set color white set shape "cylinder" set size 3 set xcor -2 set ycor 19
	Fenêtres	Breed [fenêtres fenetre] set shape "line03" set size 5 set color 22 ;; couleur marron set xcor -20 set ycor 0 set heading 90
	Voiture	Breed voiture [voitures voiture] set shape "car" set size 4 set color yellow set xcor 18 set ycor 18 set heading 270
	Garage	Breed [garages garage] set shape "garage" set size 15 set xcor 4 set ycor 18 set heading 360
	Camera de surveillance	Breed [camera cam] set shape "came" set size 7 set color grey set xcor 3 set ycor 12 set heading 360
	Climatiseur	Breed [climatiseur clim] set size 8 set shape "climat" set xcor -2 set ycor 6 set color white set heading 90
	Telephone	Breed [telephones telephone] set size 4 set shape "phone"

Tableau IV.3 : propriétés de chaque agent

## IV.7. Présentation de notre simulation

### IV.7.1. Description des interfaces de notre scénario

L'interface de notre application englobe un ensemble d'options à partir desquelles on peut accéder à notre système.

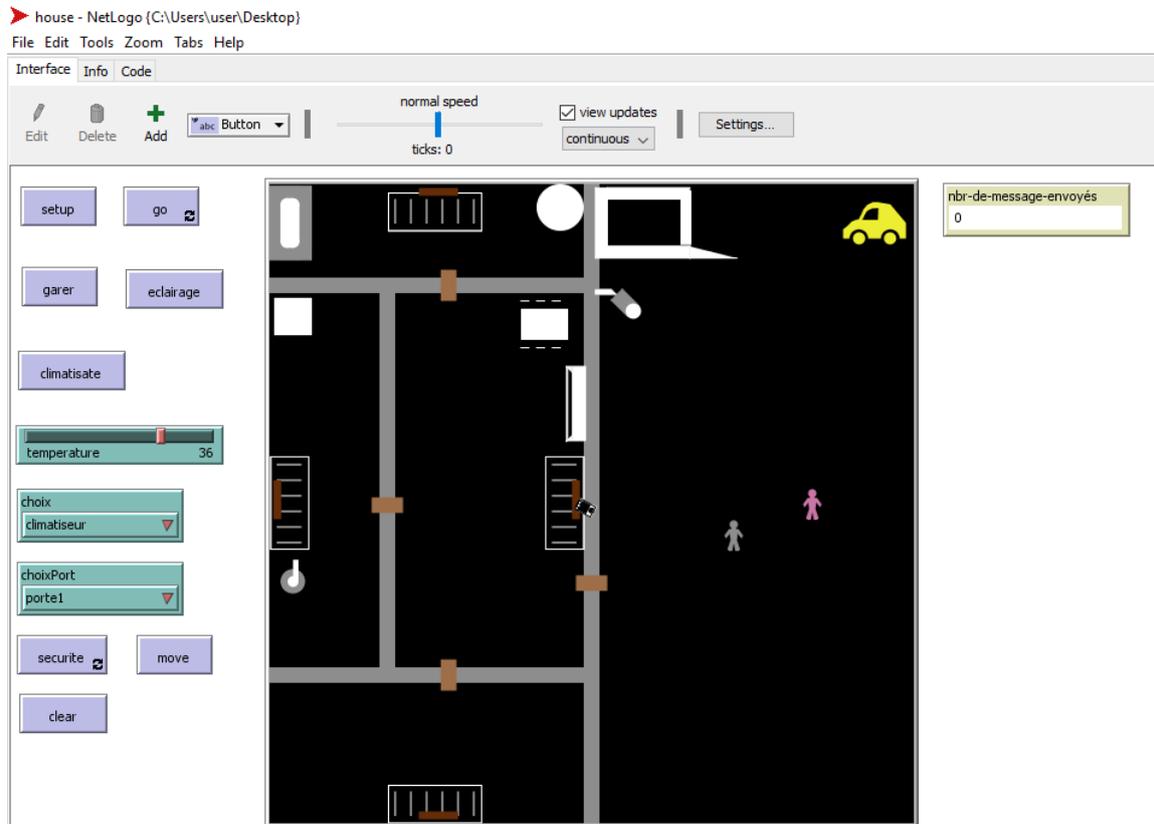


Figure IV.5. Interface de simulation

Interface de simulation (Figure IV.5) elle comporte un ensemble de boutons, des sliders, des Choosers, un monotor et le panneau affichant le déroulement de la simulation (actions et déplacements des agents dans leur environnement).

#### IV.7.1.1. Boutons

Chaque bouton, une procédure écrite dans la partie code lui est affecté. L'exécution de ces procédures désigne les actions des agents.

- **Setup** : bouton qui exécute la procédure **to setup**, et qui permet de créer les agents (Figure IV.5).
- **Garer** : bouton qui exécute la procédure **to garer**, qui permet d'ouvrir la porte de garage, garer la voiture, referme la porte et incrémente le nombre message envoyé et affiche

un message « stop » dès qu'elle est dans sa propre place, comme la figure IV.6 suivantes le montre.

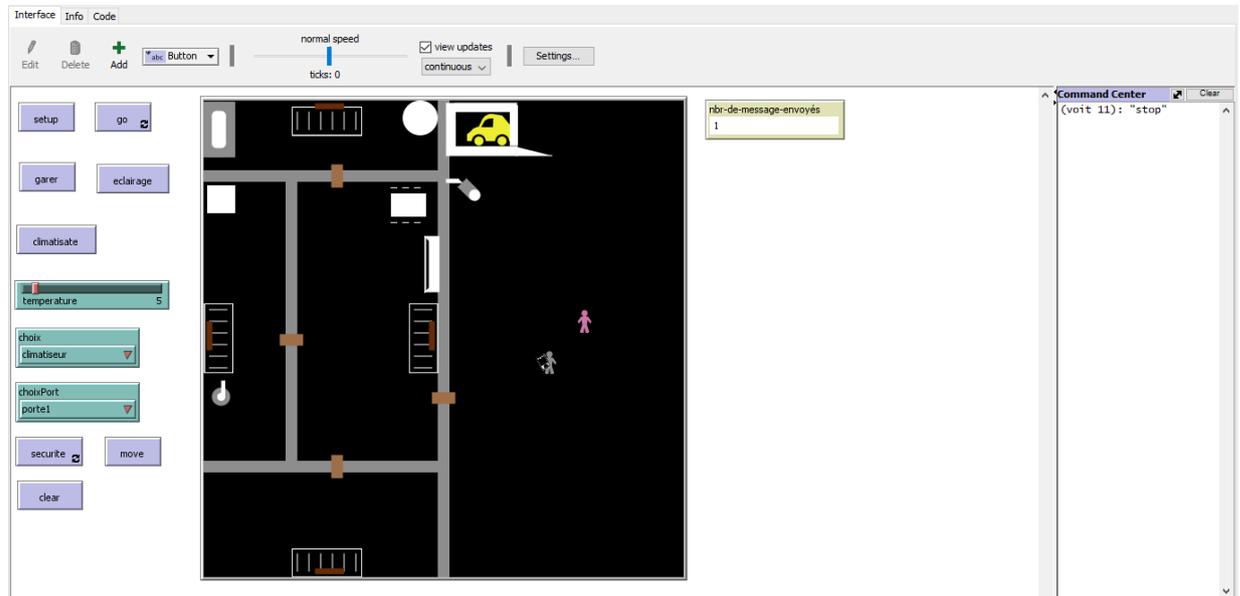


Figure IV.6. Présentation du fonctionnement de bouton « garer »

- **Aération** : bouton qui exécute la procédure **to aération** qui permet d'activer le climatiseur si la température est supérieure à 35, comme la figure IV.7 ci-dessous présente.

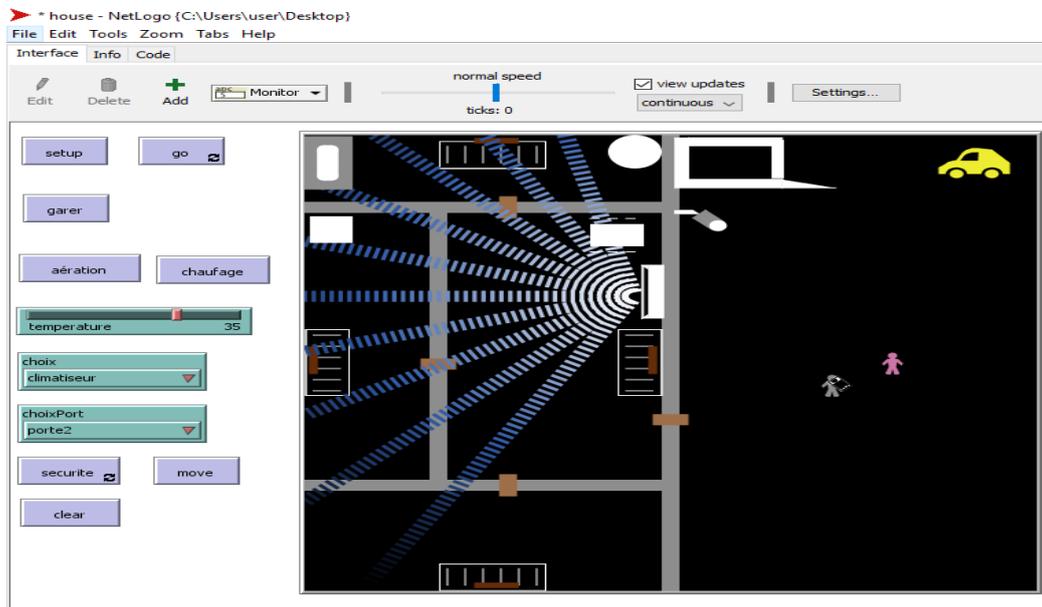


Figure IV.7. Présentation de fonctionnement le bouton aération

Si la température entre [15,30[ les fenêtres s'ouvrent et un message « les fenêtres sont ouverte » sera affiché (voir la figure IV.8).



Figure IV.8. Présentation d'ouverture des fenêtres

- **Chauffage** : un bouton qui déroule la procédure **to chauffage** qui allume les radiateurs de la maison (figure voir IV.9)

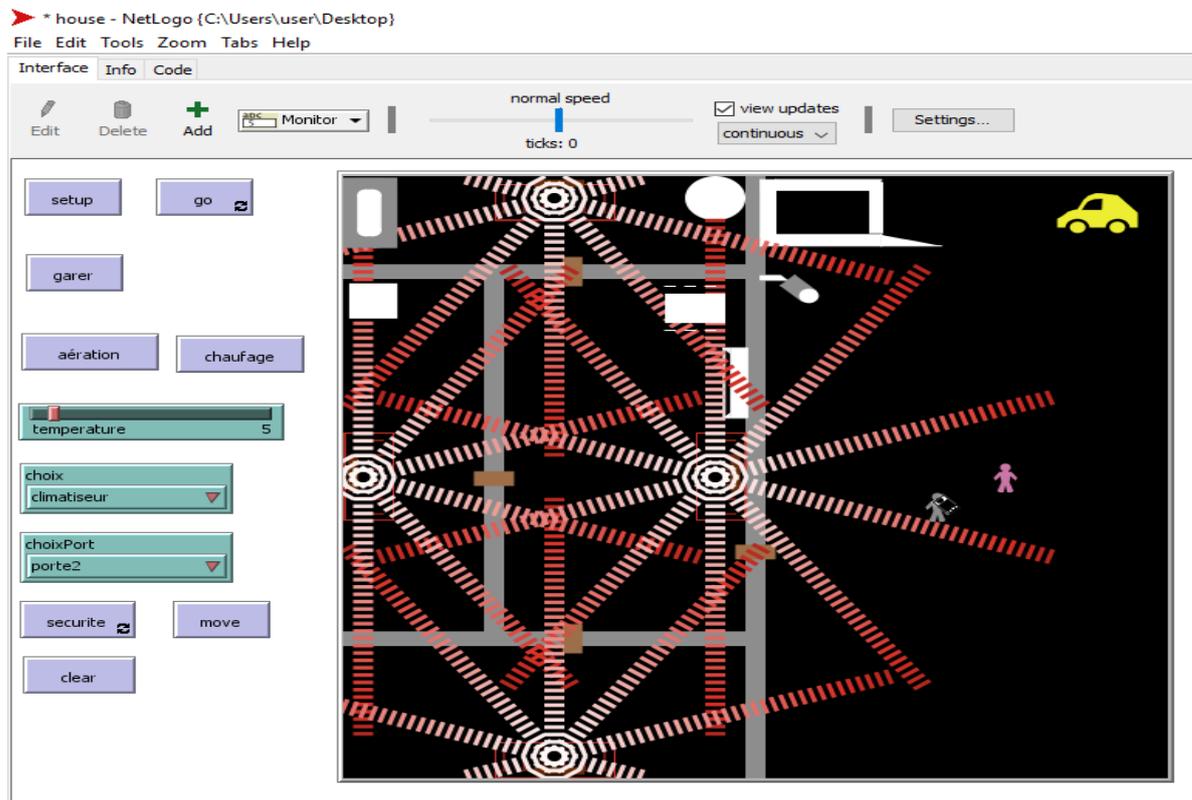
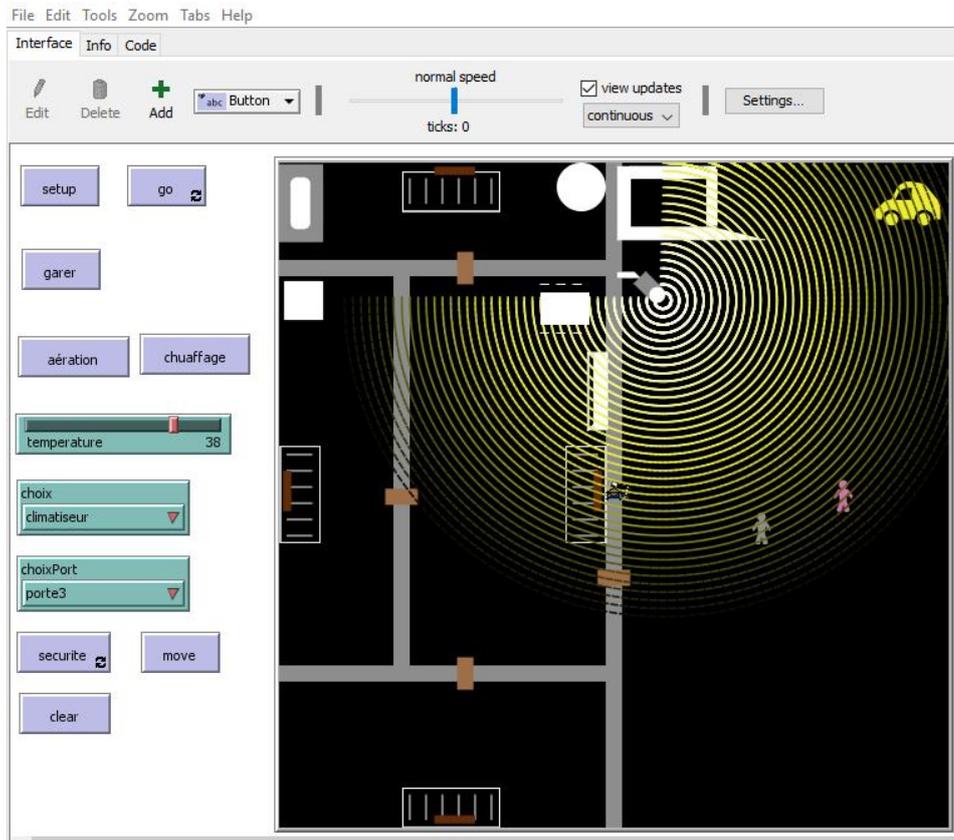


Figure IV.9. Présentation de fonctionnement de bouton chauffage

- **Sécurité** : déroule la procédure **to securite** qui détecte la proche d'un intrus vers la maison et envoie un message ou téléphone du propriétaire de la maison pour le prévenir (voir Figure IV.10)



FigureIV.10 : présentation de bouton « securite »

- **Move** : qui fonctionne selon deux procédures to move, elle permet le déplacement selon le choix de propriétaire de la maison (porte1, porte ...). La deuxième procédure qui est l'éclairage qui détecte la présence des personnes dans les chambres et allume la lumière. (Voir la figure IV.11)



Figure IV.11 : Présentation bouton « move »

## IV.8. Discussion

Nous pouvons dire que NetLogo est plus simple vu que son monde est composé d'agents qui peuvent exécutés des instructions, (il y a quatre types d'agents dans le NetLogo : les tortues (qui peuvent être mobiles), les patches, les liens et l'observateur), Ce qui le rend plus facile a utilisé grâce à la non-nécessité de connaissance préalable du son langage de programmation.

De plus par son comportement multi-agents, NetLogo permet d'obtenir des résultats plus proches de la réalité que les outils de simulation utilisés jusqu'à présent. La courte courbe d'apprentissage de l'environnement de NetLogo et son langage font que cet outil peut être utilisé dans des cours d'introduction ou de perfectionnement et avec cet outil on peut simuler plusieurs types de réseaux sans fil.

## **IV.9. Conclusion**

La simulation est une étape primordiale pour les chercheurs, et le choix d'un simulateur et de phénomène à simuler repose sur le but que nous voulons atteindre.

Dans ce chapitre nous avons expliqué et présenté la description de notre scénario d'une maison intelligente et son implémentation dans simulateur multi Agent NetLogo, ainsi que les différents paramètres, les agents. Notre choix a été fixé sur NetLogo essentiellement à cause de sa rapidité d'apprentissage et son environnement graphique simple.

# Conclusion générale

L'Internet des Objets est une évolution majeure dans le domaine de la technologie d'information (Information Technology (IT)) qui domine et règne de plus en plus sur le marché des systèmes informatiques et cela est dû à sa présence dans divers domaines tels que la santé, le transport, les maisons intelligentes...etc.

L'IdO ouvre des champs nouveaux à explorer pour les sciences de l'information et de la communication. Les objets intelligents, qui sont considéré comme la plateforme de base de l'IoT utilisent des technologies de communications sans fil afin de se connecter et de communiquer les uns avec les autres, Ces objets ont la capacité de rassembler, analyser, traiter, générer et échanger des informations afin de fournir des services avancés.

En utilisant le simulateur NETLOGO, nous avons constaté une certaine facilité et une simplicité dans son utilisation et sa manipulation par rapport aux simulateurs réseaux traditionnels, notamment la facilité d'apprentissage de son langage de programmation ainsi que la simplicité d'usage de son interface graphique et de surfer entre ses composants. Pour son utilisation, NETLOGO permet de modéliser et de simuler toutes sortes de systèmes complexes évoluant dans le temps par les comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités (agents) autonomes, dynamiques et auto-organisées.

L'objectif de ce mémoire était d'adapter ce simulateur multi-agents (NetLogo) qu'est une plateforme de simulation dans divers domaines et le rendre utilisable dans les scénarios IoT vu qu'il est possible de les modéliser sous forme d'un système multi-agents.

Après toute cette étude nous avons pu approfondir nos connaissances dans le domaine du réseau sans fil, voir la relation entre les SMA et IoT, apprendre à utiliser NetLogo. En guise de perspectives nous souhaitons rajouter un module dans Netlogo ou bien des Agents, dédiés spécialement au domaine d IoT.

# Bibliographie

- [1] B. Christophe, M. Boussard, M. Lu, A. Pastor, and V. Toubiana, "The web of things vision: Things as a service and interaction patterns," Bell Labs Technical Journal (John Wiley & Sons, Inc.), 2011.
- [2] P.-J. Benghozi, S. Bureau, F. Massit-Folléa, C. Waroquiers, and S. Davidson, L'internet des objets : quels enjeux pour l'Europe, Éd. De la Maison des sciences de l'homme éd., 2009.
- [3] M. Weill and M. Souissi, "L'Internet des objets : concept ou réalité ?" dans Réalités industrielles, ESKA, Éd., Les Annales des Mines. ESKA, 2010.
- [4] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," Future Generation Computer Systems. 29, no.7,pp. 1645-1660, 2013.
- [5] <https://blog.octo.com/modeles-architectures-internet-des-objets/>
- [6] D.Evans, L'Internet des objets Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde. Livre blanc Cisco Internet Business Solutions Group IBSG, 2011.
- [7] <http://rfid.comprendrechoisir.com/comprendre/systeme-rfid>.
- [8] M.Han and H. Zhang, "Business intelligence architecture based on internet of things " Journal of Theoretical & Applied Information Technology, vol. 50, no. 1, pp. 90-95, 2013.
- [9] J.A. Stankovic, "Wireless sensor networks," IEEE Computer Society, vol. 41, no. 10, pp. 92-95, 2008.
- [10] N. Daniel, R. Marcel, and K. Daniel, Livre blanc Machine To Machine enjeux et perspectives: Orange Business Services, Syntec informatique, Fing, 2006, 40 p.
- [11] H. Ben Hadji, "Les fondamentaux de l'IoT, "vol.1,2020.
- [12] <http://fr.slideshare.net/mobile/mousski/9-linternet-des-objets>.
- [13] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash. Internet

of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4) :2347–2376, 2015.

[14] P. Benghazi, S. Bureau, and F. Massit-Folea. L'internet des objets. Quels enjeux Pour les européens ? 2008.

[15] S. MENSEH „“ internet des chose un examen sur les protocoles de passrelle de Connectivité sémantiques interepebilité“

[16] P. Ouadah, " Modélisation et vérification formelle d'un protocole CoAP pour l'internet des objets," Mémoire fin de cycle, Université Mohamed Boudiaf De M'sila, p 30-31,2019.

[17] T. Salman "A paper written under the guidance of Prof. Raj Jain,"Networking Protocols and Standards for Internet of Things, p 20

[18] <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>

[19]<https://blog.integral-system.fr/comment-choisir-le-bon-protocole-pour-son-reseau-dequipements-iot/>

[20]<https://www.domotique-info.fr/technologies-domotique/zigbee/>

[21] <https://www.memoireonline.com>

[22]<https://www.igen.fr/domotique/2019/12/domotique-z-wave-va-souvrir-sous-la-pression-de-connected-home-over-ip-111991>

[23] <https://www.memoireonline.com>

[24]<https://blog.integral-system.fr/comment-choisir-le-bon-protocole-pour-son-reseau-dequipements-iot/>

[25]<https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1181267-les-reseaux-iot/#confirmation>

[26]<https://www.atys-concept.com/blog-de-la-performance/articles-cybersecurite-et-reseaux/m2m-iot-lora-mqtt-comment-profiter-simplement-des-objets-connectes/>

- [27] M.Hammi "sécurisation de l'internet des objets ," Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay , 2019.
- [28] <https://blog.engineering.publicissapient.fr>
- [29] S. Feng, J. Cerles, H. Dalmas, T. D'o-Khac, and B. Paulin. Sécurité des objets Connectés. Institut national des hautes études de la sécurité et de la justice,2014.
- [30] R. ACHOUR, N. Makhloufi, Authentification dans l'internet des objets. Université A/MIRA de Bejaia, 2017.
- [31] N. Bakhta, A. Adla, U. Oran, M. T. Laskri, and U. Annaba, "Thèse de doctorat en Informatique Présentée par : Modèle multi-agents pour la conception de systèmes d ' aide à la décision collective."
- [32] J. Siebert, "Approche multi-agent pour la multi-modélisation et le couplage de simulations : application à l ' étude des influences entre le fonctionnement des réseaux ambiants et le comportement de leurs utilisateurs To cite this version : HAL Id : tel-01746208 soutenance et mis à disposition de l ' ensemble de la Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr," 2018.
- [33] J. FERBER « les systèmes multi-agents, vers une intelligence artificiel », InterEditions, 1995
- [34] TW. Baudouin, « Modélisation des systèmes d'élevage et simulation multi-agents d'une épidémie animale en milieu rurale, » Mémoire de Master, Université de YAOUNDE I, 2011.
- [35] R. COURDER, « Systèmes Multi-Agents, » chez support du cours : Partie2 Agents et Systèmes Multi-Agents, Université de la Réunion, p. 1–58.
- [36] N. BOUKHECHEM, « Routage dans les réseaux mobile Ad hoc par approche à base d'agents », Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en informatique, Université de Constantine, Promotion 2007-2008.
- [37] S. CHOUHA, S. ZEROUALA, « Adaptation de protocole de routage AODV dans un réseau de robots », projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en informatique, université de Batna, 2010.
- [38] K. BENHAMZA, « Conception d'un système multi -agents adaptatif pour la résolution de problème, » Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Université de Badji Mokhtar-Annaba, 2016.

- [39] D. David, « Théorie des SMA », M1 STIC, 2010.
- [40] T. Marir, « Les Systèmes Multi-Agents », Université de Oum El Bouaghi 2017.
- [41] MP. GLEIZES, « Vers la résolution de problèmes par émergence, » habilitation à diriger des recherches de l'Université Paul Sabatier, 2004.
- [42] C. BERNON, « Émergence fonctionnelle par auto-organisation dans les systèmes artificiels, » Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, 2007
- [43] <http://www.damas.ift.ulaval.ca/~coursMAS/ComplementsH10/Agents-SMA.pdf>
- [44] B. BELATTAR, « Simulation et modélisation des systèmes, » support de cours, Université de Batna, 2000.
- [45] T. PARIS&L. CIARLETTA&V. CHEVRIER, « Co-simulation à base d'outils multi-agents : un cas d'étude avec NetLogo, » 26èmes Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents, France, 2018.
- [46] A. KUMAR, S.K. KAUSHIK, R. SHARMA, & P. RAJ, « Simulators for wireless networks: A comparative study ». International Conference on Computing Sciences, 2012.
- [47] [https://www.geog.leeds.ac.uk/courses/level3/geog3150/practicals/practical1/2\\_basics.php](https://www.geog.leeds.ac.uk/courses/level3/geog3150/practicals/practical1/2_basics.php)
- [48] L. NIAR, « Analyse Graphique pour la surveillance dans ce réseau de capteurs sans fil (RCSF) Simulateur : OMNet++, » Mémoire de Magister, Spécialité : Informatique, Université d'Oran, 2012.
- [49] S.FOURNIER, «Intégration de la dimension spatiale au sein d'un modèle multi-agents à base de rôles pour la simulation : Application à la navigation maritime,» pour obtenir le grade de Docteur, Université de Rennes 1, 2005.

# Résumé

L'Internet des objets est une révolution technologique de l'information et de la communication,

Il décrit un monde composé d'équipements intelligents organisés en réseaux pouvant être connectés entre eux mais aussi avec l'environnement extérieur. Cette évolution technologique génère de nouvelles formes de communication entre les objets du monde réel qui sont capable de percevoir et de partager des information précises.

L'interconnexion et l'échange des informations entre les objets connectés se fait grâce à des protocoles et des technologies (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa...).

L'IdO trouve sa place dans de nombreux secteurs et domaines, dans ce projet nous avons réalisé un scénario d'une maison intelligentes et nous l'avons simulé grâce au simulateur NetLogo qui est un outil de simulation multi-agents facile à utiliser et il demande peu de temps pour apprendre son fonctionnement.

Notre travail est porté sur l'adaptation de ce simulateur et le rendre utilisable dans les scénarios IoT vu qu'il est possible de les modéliser sous forme d'un système multi-agents.

**Mots clés :** internet des objets, protocoles, Multi-agents, Simulateur, NetLogo.

# Abstract

The Internet of Things is a technological revolution in information and communication, it describes a world made up of intelligents equipments organized in networks that can be connected to each other but also to the external environment. This technological evolution generates new forms of communication between real world objects that are able to perceive and share precise information.

The interconnection and exchange of information between connected objects is done using protocols and technologies (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, etc.).

The IoT finds its place in many sectors and fields, in this project we realized a scenario of a smart house and we simulated it thanks to the NetLogo simulator which is an easy-to-use multi-agent simulation tool and it takes little time to learn how to operate.

Our work is focused on adapting this simulator and making it usable in IoT scenarios since it is possible to model them as a multi-agent system.

**Keywords:** internet of things, protocols, Multi-agents, Simulator, NetLogo.

