

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
Filière : Télécommunications  
Spécialité : Réseaux de Télécommunications

Thème

Etude et réalisation d'un dispositif basé sur la radio logicielle pour  
les applications IoT et WoT

Présenté Par :

BENREZZAK FOUAD  
BELHADJ BENAMAR

Devant le jury composé de :

Mme. SLIMANE Zohra	MCA	CUBBAT	Président
Melle. Boutkhil Malika	MCB	CUBBAT	Examineur
Mr. Yagoub Reda	MAB	CUBBAT	Encadrant
Mr. Benaissa Mohamed	Pr	CUBBAT	Co-Encadrant

# DEDICACE

*Ce projet fin d'étude est dédié à mes chers parents et, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études .sans eux, je n'aurais certainement jamais fait d'études longues. Ce projet fin d'études représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace, et leurs efforts.*

*Sans oublié mes trois frères : Nassreddin, Zouheir, Mohammed, leurs encouragements et leurs conseils tout au long de ma carrière d'étudiant.*

*A mes chères amies : Issam, Ismail, Mohammed.*

*A toute la famille Benrezzak,*

*Et à notre encadreur : Mr. YAGOUB Réda pour son aide et son soutien tout au long de notre mémoire fin d'étude.*

*Enfin, à mon binôme Amar et sa famille.*

*Fouad*

# DEDICACE

*Je dédie ce mémoire A mes chers parents ma mère et mon père  
Pour leurs patience, leur amour leur soutien et leur  
encouragement.*

*A ma chère mère merci pour toute les sacrifices et merci d'être  
l'épaule sur lequel que je peux toujours compter.  
A mes chères tentes : leila, sihem, nedjet, yamena, houaria, soriya  
et mon oncle k̄adour qui m'ont encouragé toujours.*

*A ma sœur k̄outer.*

*A yacine alouache qui m'a bien orienté et ma motivé durant  
toutes ses année d'étude.*

*A touta fatiha merci pour tes encouragements et ton aide durant  
toute ses années.*

*A mes chers amis et collègues : imed, nadir, k̄halil, nabil, ali,  
Youssef.*

*Les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire  
ou de l'enseignement supérieur.*

*Finalement, à toute la famille belhadj.*

*Benamar*

# Remercîments

*Nous louons Allah, tout-puissant, de nous avoir donnée la volonté et la santé pour réaliser ce travail.*

*Nous remercions particulièrement l'encadreur **Mr. YAGOUB Réda**, pour sa disponibilité, ses conseils et pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long du projet.*

*On remercie aussi **Mr. Benaïssa Mohamed** notre Co-encadreur.*

*Nous remercîments à nos familles pour leurs soutiens aussi moraux que financier et pour leurs sacrifices tout au long de nos carrières d'étudiants.*

*Nos vifs remercîments aux membres de jurys de bien vouloir accepter dévaluer notre travail.*

*Nous ne pouvons pas terminer sans penser à tous ceux qui nous ont aidés, surtout nos enseignants du département de génie électrique du centre universitaire qui ont participé à notre formation ainsi que le personnel administratif.*

## RESUME

La croissance explosive des systèmes sans fil déployés pour les applications l'Internet des objets (Internet of Things, IoT) a révélé le problème de multi-protocoles, multi-standards de communications (interopérabilité).

Ce travail de fin d'étude consiste à étudier une solution pour le problème de l'interopérabilité entre les systèmes sans fil utilisés pour les applications IoT en utilisant la radio logicielle (software defined radio, SDR), et la réalisation d'un prototype d'une plateforme SDR-IoT qui inclut aussi la notion « web of things (WoT) ».

**Mots-Clés:** Internet of Things, IoT, Web of Things, WOT, SDR, Radio Logicielle.

## **ABSTRACT**

The explosive growth of wireless systems deployed for Internet of Things (IoT) applications has revealed the problem of multi-protocol, multi-standard communications (interoperability).

This end-of-study work consists of studying a solution for the problem of interoperability between wireless systems used for IoT applications using software defined radio (SDR), and the realization of a prototype of an SDR-IoT platform which also includes the notion of “web of things (WoT)”.

**Keywords:** Internet of Things, IoT, Web of Things, WoT, SDR, Software Radio

## المخلص

كشفت النمو الهائل للأنظمة اللاسلكية المنتشرة لتطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) عن مشكلة الاتصالات متعددة البروتوكولات والمعايير المتعددة (التوافق التشغيلي).

الهدف من هذا المشروع هو دراسة حل لمشكلة التوافق التشغيلي بين الأنظمة اللاسلكية المستخدمة لتطبيقات إنترنت الأشياء باستخدام الراديو المعرف برمجيا (SDR)، وتحقيق نموذج أولي لـ "منصة SDR-IoT والتي تتضمن أيضاً "ويب الأشياء (WoT) ".

**الكلمات المفتاحية:** إنترنت الأشياء، IoT، ويب الأشياء، WoT، SDR، الراديو المعرف برمجيا.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	i
REMECIMENTS .....	iii
RESUME.....	iv
TABLE DES MATIÈRES .....	vii
LISTES DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
ACRONYMES ET ABREVIATIONS .....	xi
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1

### Chapitre I : L'internet des objets et le web des objets

I.1 Introduction.....	3
I.2 L'Internet des objets .....	3
I.2.1 Définition.....	3
I.2.2 Architecture générale.....	5
I.2.3 Domaines d'application.....	7
I.3 Web des objets .....	7
I.3.1 Présentation .....	7
I.3.2 Définition.....	9
I.3.3 Architecture .....	9
I.4 Conclusion .....	11

### Chapitre II : La technologie de la radio logicielle

II.1 Introduction .....	13
II.2 Radio logicielle.....	13
II.2.1 Définition .....	13
II.2.2 Avantages de la radio logicielle .....	14
II.2.3 Radio logicielle idéale.....	14
II.2.4 radio logicielle restreinte.....	15
II.3 Plateformes radios logicielles.....	15
II.4 Conclusion .....	16



### **Chapitre III : Etude d'un dispositif SDR pour les applications IoT et WoT**

III.1 Introduction .....	18
III.2 Réseaux sans fil IoT et WoT .....	18
III.2.1 Bluetooth.....	18
III.2.2 ZigBee.....	18
III.2.3 Wi-Fi.....	18
III.2.4 Réseaux étendu à faible puissance.....	19
III.3 Plateforme SDR-IoT .....	19
III.3.1 Présentation.....	19
III.3.2 La plateforme SDR .....	20
III.3.2.1 Le rôle de la plateforme SDR .....	20
III.4 conclusion.....	22

### **Chapitre IV : Réalisation d'un prototype d'une plateforme SDR-IoT**

IV.1 Introduction.....	24
IV.2 Présentation des outils.....	24
IV.2.1 Arduino.....	24
IV.2.2 Module 433Mhz .....	25
IV.2.3 Raspberry Pi .....	26
IV.2.3 RTL-SDR dongle.....	28
IV.3 Réalisation de la plateforme SDR-IoT.....	29
IV.3.1 L'application web .....	32
IV.4 Conclusion .....	33
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	34
BIBLIOGRAPHIE .....	xiii

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> L'évolution des objets connecté au fils du temps.....	3
<b>Figure 2 :</b> Capteur de température et d'humidité connecté avec un smartphone via internet..	4
<b>Figure 3 :</b> Capteur de température et d'humidité connecté avec un smartphone via un réseau.....	4
<b>Figure 4 :</b> Architecture générale de l'internet des objets.....	5
<b>Figure 5 :</b> Internet des objets avec différentes protocoles de communication.....	8
<b>Figure 6 :</b> L'internet des objets et le Web des Objets.....	9
<b>Figure 7 :</b> la couche OSI et les protocoles de WoT.....	10
<b>Figure 8 :</b> architecture générale de WoT.....	11
<b>Figure 9 :</b> Radio logicielle et radio matérielle.....	13
<b>Figure 10 :</b> Architecture d'une radio logicielle idéale.....	14
<b>Figure 11 :</b> Architecture de la radio logiciel restreinte.....	15
<b>Figure 12 :</b> Passerelles basé sur la technologie SDR.....	19
<b>Figure 13 :</b> USRP E310.....	20
<b>Figure 14 :</b> Le rôle de la passerelle SDR.....	21
<b>Figure 15 :</b> L'architecture générale de la passerelle SDR dans un environnement d'objets connectés.....	21
<b>Figure 16 :</b> Carte Arduino uno.....	24
<b>Figure 17 :</b> Composant arduino uno.....	25
<b>Figure 18 :</b> Module émetteur 433Mhz.....	26
<b>Figure 19 :</b> Raspberry Pi 4 Modèle B.....	27
<b>Figure 20 :</b> Logo du système d'exploitation Raspbian et Windows IoT.....	27
<b>Figure 21 :</b> Le récepteur RTL-SDR.....	29
<b>Figure 22 :</b> L'architecture de la plateforme SDR-IoT.....	30
<b>Figure 23 :</b> La carte arduino avec le module 433mhz.....	30
<b>Figure 24 :</b> La carte raspberry pi avec le dongle RTL-SDR.....	31
<b>Figure 25 :</b> La Spectre reçue avec le logiciel SDR#.....	31
<b>Figure 26 :</b> l'extraction des données reçues.....	32
<b>Figure27 :</b> L'application Web.....	33

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Les étapes et les technologies pour la mise en place de l'IoT.....	6
<b>Tableau 2</b> : Différentes plateformes SDR.....	16

## ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

**IOT** : Internet Of Things

**RFID** : Radio-Identification

**WOT** : Web Of Things

**WSN** : Wireless Sensors Network

**PAN** : Personal Area Network

**Wi-Fi** : Wireless fidelity

**BLE** : Bluetooth Low Energy

**LoRa** : Long Range

**LPWAN** : Low Power Wide Area Network

**NBIOT** : Narrowband IoT

**RF** : Radio Frequency

**MEMS** : Microelectromechanical Systems

**NFC** : Near-field Communication

**CoAP** : Constrained Application Protocol

**MQTT** : Message Queuing Telemetry Transport

**REST** : Representational state transfer

**HTTP** : Hypertext Transfer Protocol

**LoWPAN** : Low power Wireless Personal Area Networks

**OSI** : Open Systems Interconnection

**JSON** : JavaScript Object Notation

**HTML** : Hypertext Markup Language

**TCP/IP** : Transmission Control Protocol/Internet Protocol

**CSS** : Cascading Style Sheets

**LNA** : Low Noise Amplifier

**CAN** : Convertisseur Analogique Numérique

**CNA** : Convertisseur Numérique Analogique

**DSP** : Digital Signal Processor

**AMP** : Accelerated Mobile Pages  
**SDR** : Software-Defined Radio  
**RL** : Radio Logiciel  
**USRP** : Universal Software Radio Peripheral  
**MIMO** : Multiple-Input Multiple-Output  
**RTL-SDR** : RealTek-Software Defined Radio  
**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers  
**SMTP** : Simple Mail Transfer Protocol  
**PDA** : Personal Digital Assistant  
**CATV** : Community Antenna Television  
**USB** : Universal Serial Bus  
**ICSP** : In Circuit Serial Programming  
**IDE** : Integrated Development Environment  
**PWN** : Pulse Width Modulation  
**ASK** : Amplitude-Shift Keying  
**SOC** : System On a Chip  
**DVB-T** : Digital video broadcast–terrestrial  
**UHF** : Ultra High Frequency  
**FM** : Frequency Modulation  
**RDS** : Radio Data System  
**VCC** : Voltage Common Collector  
**GND** : Ground

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis 2014, l'évolution de l'Internet des objets (Internet of Things, IoT) est rapide, le nombre d'objets connectés est supérieur au nombre d'humains connectés et il est prévu que 50 milliards d'objets seront connectés en 2020 [1]. Concrètement, les objets dans l'Internet des objets peuvent aller de simples appareils à des appareils ou machines plus élaborés, complexes et connectés sans fil tels que des systèmes de sécurité, des voitures ou une chaîne d'assemblage d'usine, jusqu'à un bâtiment ou même une ville. Une autre voie vers la flexibilité nécessaire pour prendre en charge de multiples normes en constante évolution pour les concepteurs de réseaux IoT avertis consiste à utiliser la technologie de radio définie par logiciel (SDR).

La technologie radio logicielle offre un support pour plusieurs standards et interfaces de communication radio. Cette technologie peut contribuer au développement rapide des systèmes IoT et Wot en offrant un grand degré de flexibilité. Elle peut aussi jouer un rôle important dans les applications IoT et Wot qui consiste à connecter les objets en extérieur (longue distance de communication plusieurs km), tel que : les systèmes de gestion du trafic, les systèmes de surveillance de l'éclairage public, etc.

L'objectif principal de ce mémoire est d'analyser l'opportunité d'utiliser SDR comme une passerelle pour les applications IoT et implémenter une passerelle basée sur SDR capable de communiquer avec des applications IoT.

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré dans une première partie à une vue générale sur l'Internet des objets ses domaines d'application, la seconde partie nous avons présenté le Web des objets et ses avantages qui représente une étape intéressante dans l'évolution de l'Internet des objets.

Le deuxième chapitre, présente la technologie de la radio logicielle sa partie matérielle, sa partie logicielle, son architecture et son principe de fonctionnement.

Ensuite dans le troisième chapitre qui présente une étude générale sur la possibilité d'utilisation de la technologie de la radio logicielle avec les systèmes et les applications IoT.

Enfin dans le quatrième chapitre qui lui présente une réalisation d'un prototype d'un système SDR-IoT basé sur le récepteur RTL-SDR combiné avec la carte Raspberry Pi, une carte Arduino Uno, et module de transmission 433MHz.

# **Chapitre I :**

# **L'internet des**

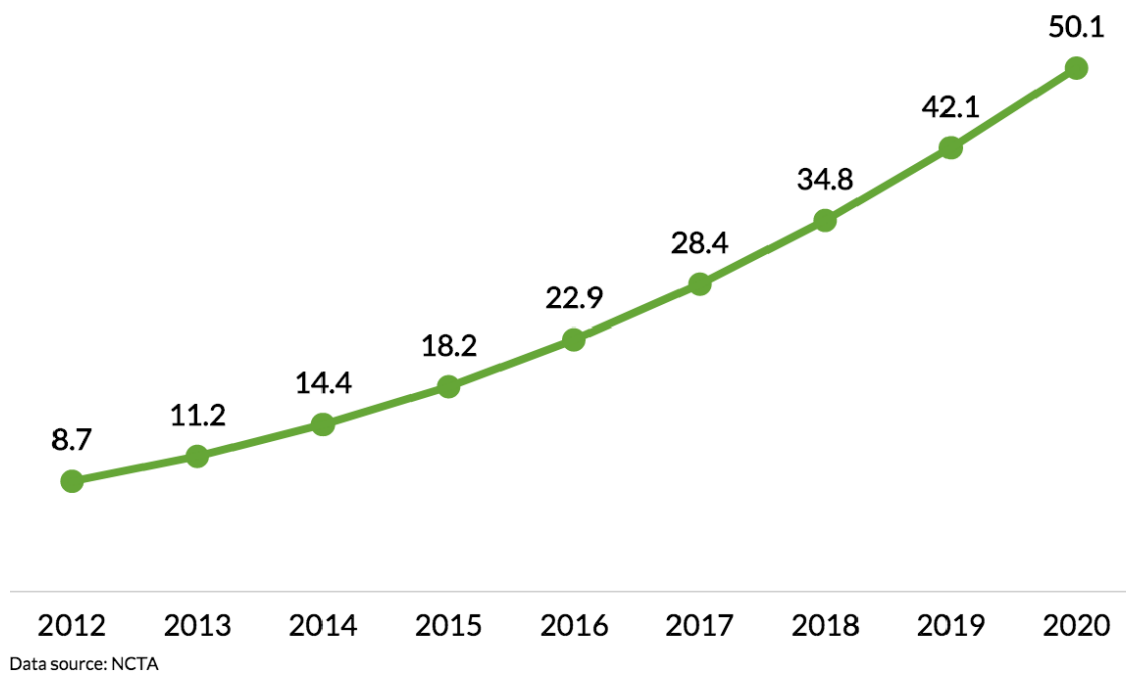
# **objets et le web**

# **des objets**

## I.1 Introduction

Le concept l'Internet des objets (Internet of things - IoT) a été inventé par un membre de la communauté de développement de La radio-identification (Radio Frequency Identification - RFID) en 1999, et il est récemment devenu plus pertinent avec le monde pratique, principalement en raison de la croissance des appareils mobiles, des systèmes embarqués, du cloud computing et L'analyse des données [2].

L'Internet des objets (Iot) est en quelque sorte une voie d'accès à un monde avec l'informatique et les réseaux omniprésents. Elle vise à rendre différentes tâches plus faciles pour les utilisateurs et fournir d'autres tâches, telles que la surveillance des différents phénomènes qui nous entourent [3], Au fils du temps Les limites et les problèmes des approches existantes de l'IoT qui ne privilégient pas un protocole de couche Application ouvert, universel et simple pour les appareils. , l'arrivé de la notion Web des objets(WoT) a contribué dans l'évolution de l'IoT et a résolu des problèmes d'incompatibilité au niveau de la couche d'application.



**Figure 1** : L'évolution des objets connecté au fils du temps.

Dans ce chapitre nous présentons le concept de l'IoT, son architecture et les domaines d'applications, par la suite nous expliquons le principe du Web des objets.

## I.2 L'Internet des objets

### I.2.1 Définition

L'Internet des objets (IOT) est un réseau d'objets physiques où l'internet n'est pas seulement un réseau d'ordinateurs, mais il est devenu un réseau d'appareils de tous types et de toutes tailles, véhicules, téléphones intelligents, appareils électroménagers, jouets, appareils photo, instruments médicaux et systèmes industriels, animaux, personnes, bâtiments, tous connecté, toutes les informations de communication et de partage basées sur les protocoles



stipulés afin de réaliser des réorganisations intelligentes, le positionnement, le traçage, la sécurité et le contrôle et même la surveillance en ligne en temps réel, etc. [4].

L'IoT est un système d'objets physiques connectés qui sont équipées avec un ou plusieurs des éléments suivants [5] :

- Interfaces de communication (filaire ou sans fil)
- Capteurs (température, lumière, mouvement, etc.)
- Processeur ou Micro-Processeur (pour exécuter des programmes)
- Actionneurs (moteurs, etc.)

Un objet physique connecté peut interagir avec le monde physique de manière indépendante sans intervention humaine. Il possède plusieurs contraintes telles que la mémoire, la bande passante ou la consommation d'énergie, etc. Il doit être adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence, une capacité de recevoir, de transmettre des données avec des logiciels grâce aux capteurs embarqués [6]. Le but de l'Internet des objets est de permettre aux objets d'être connectés à tout moment et qui utilisent idéalement n'importe quel chemin, réseau et n'importe quel service.

Les figure 2 et 4 montre un exemple simple d'un capteur de température qui doit être relié à un automate ou une carte de communication afin de traiter son signal et de le transmettre à travers un réseau.



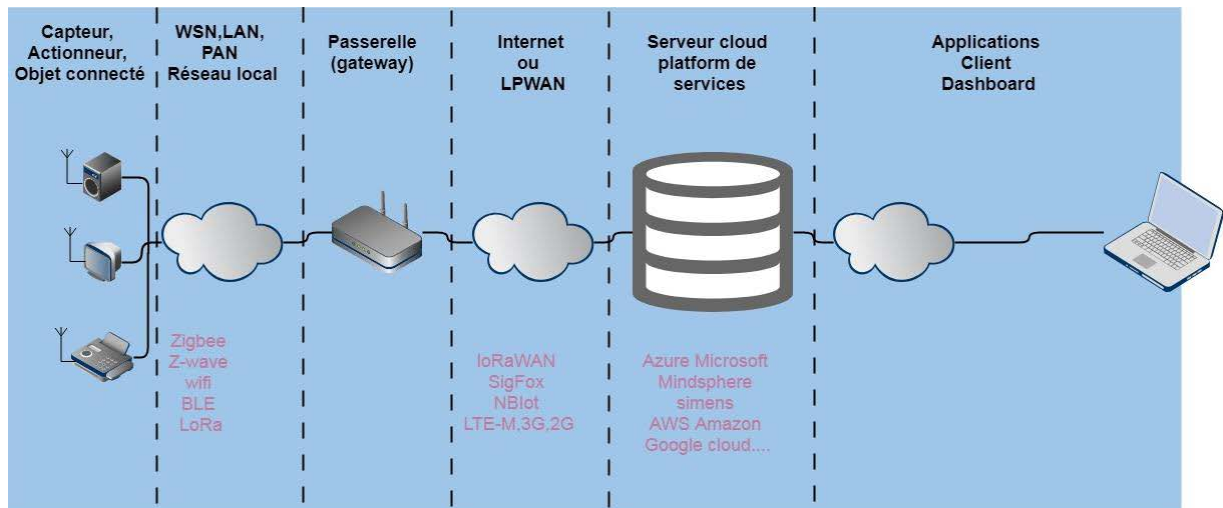
**Figure 2 :** Capteur de température et d'humidité connecté avec un smartphone via internet [7].



**Figure 3 :** Capteur de température et d'humidité connecté avec un smartphone via un réseau locale [7].

## I.2.2 Architecture générale

L'architecture d'un système IoT est constituée de plusieurs niveaux qui communiquent entre eux pour relier le monde des objets physiques connectés au monde virtuel des réseaux et du Cloud. Tous les projets n'adoptent pas une architecture formellement identique, néanmoins il est possible de schématiser les éléments principaux [8]. La figure 4 montre l'architecture générale d'un système IoT.



**Figure 4** : Architecture générale de l'internet des objets [8].

- **Les d'objets connectés** : Les d'objets connectés sont au coeur de l'IoT, mais il est important de pouvoir connecter l'ensemble de ces objets, les faire échanger des informations et interagir, au sein d'un même environnement. La mise en place de l'IoT passe par les étapes suivantes : l'identification, l'installation de capteurs, la connexion des objets entre eux, l'intégration et la connexion à un réseau. Le Tableau 1 présente les étapes et les protocoles éventuels [6].

Identifier	Capter	Connecter	Intégrer	Mettre en réseau
Rendre possible l'identification de chaque élément connecté.	Mise en place de dispositifs nous rapprochant du monde réel. Les fonctions de base des objets (le capteur de température pour le thermomètre par exemple).	Etablir une connexion entre tous les objets afin qu'ils puissent dialoguer et s'échanger des données.	Disposer d'un moyen de communication rattachant les objets au monde virtuel.	Relier les objets et leurs données au monde informatique via un réseau (Internet par exemple).
IPv4, IPv6, 6LoWPAN	MEMS, RF MEMS	SigFox, LoRa	RFID, NFC, Bluetooth, Bluetooth LE, ZigBee, WiFi, Réseaux cellulaires	CoAP, MQTT, REST HTTP

**Tableau 1:** Les étapes et les technologies pour la mise en place de l'IoT [6].

- **Un réseau :** qui va permettre de connecter les objets en transmettant des messages, ce réseau peut être filaire ou sans-fil court (Wifi, Bluetooth,...) ou longue portée, mobile (2G, 3G...) ou bas débit (LoraWan, Sigfox,...).
- **Passerelle (Gateway) :** la passerelle permet de récupérer les informations des capteurs provenant des différents objets connectés.
- **Cloud:** Serveurs informatiques accessibles sur Internet et récupérant les informations provenant des capteurs depuis les passerelles, pour les stocker dans des bases de Données.

- **Une application** : l'application IoT est une plateforme logicielle qui permet de collecter les données et superviser la flotte d'objets. La plateforme collecte les données, surveille, et contrôle les objets connectés. La plateforme IoT communique avec différentes plateformes de services qui délivrent un service digital à l'utilisateur final restituant les données collectées des objets, permettant des actions de pilotage et apportant une couche d'intelligence (alertes, conseils) [8].

### I.2.3 Domaines d'application

Les domaines d'application des concepts et technologies de l'Internet des Objets sont nombreux parmi lesquels les plus avancés sont la ville intelligente (Smart City), l'usine du future (Industry 4.0), le e-santé (Smart Health et Assistant Living) [8].

Le concept de ville intelligente prône une ville connectée, où des capteurs connectés à internet collectent des informations en temps réel afin de permettre un meilleur suivi, analyse et compréhension des flux urbains et des conditions ambiantes telles que le trafic, l'occupation des parkings afin de créer des services aux usagers et aux gestionnaires permettant des économies d'énergie et offrant plus de sécurité et confort dans la ville.

L'industrie connectée via le déploiement de capteurs et objets industriels connectés, devra permettre une meilleure connaissance des systèmes industriels et entraîner une plus grande productivité via une maintenance préventive plus efficace par exemple, et une plus grande réactivité ainsi que la réduction des coûts.

Dans le domaine de la santé, les capteurs connectés permettent un meilleur suivi des personnes médical au quotidien. On peut ainsi envisager la prévention de nombreux accidents médicaux, et la réduction du délai d'attente des secours en cas d'urgence.

La montre connectée participe ainsi à suivre les progrès des sportifs ou des activités quotidiennes en embarquant un capteur de rythme cardiaque, de comptage de pas. L'assistance aux personnes handicapées ou âgées dans leur vie quotidienne, à domicile est un grand enjeu de e-santé.

## I.3 Web des objets

### I.3.1 Présentation

Aujourd'hui, les entreprises et l'industrie dépendent d'applications basées sur l'architecture Web et sur l'interopérabilité des services Web. Ce paradigme est un objectif supplémentaire de l'IoT et la recherche dans ce sens est appelée Web des objets (Web of Things - WoT). Alors que l'IoT fournit le réseau et les protocoles de communication nécessaires pour accéder aux objets du monde réel, une tendance de recherche parallèle et récente évalue le Web comme une plate-forme pour créer des applications qui intègrent des objets du monde réel sur l'internet. La propagation d'internet fournit l'infrastructure de réseau pour l'utilisation des objets du monde réel, tandis que la recherche dans le WoT fournit la couche d'application et de service pour que les choses du monde réel interagissent via le protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol) [9].

Les limites de l'internet des objets deviennent visibles dès que l'on souhaite intégrer des appareils de différents fabricants dans une seule application ou un seul système comme le

montre la figure 5, Nous avons besoin d'une seule application universelle au niveau de la couche d'application pour que les appareils et les applications se communiquent.



**Figure 5 :** Internet des objets avec différentes protocoles de communication [5].

### I.3.2 Définition

Dans le Web des Objets (WoT), l'infrastructure du World Wide Web est utilisée pour créer des applications pour les objets connectés. La réutilisation des protocoles Web est très facile et disponible et populaires, mieux d'inventer un autre protocole à partir de zéro.

Cette approche va éliminer efficacement la limite «Chaque objet a son propre application et chaque application a son propre modèle » et ça va nous permettre d'utiliser et contrôler et géré les objets connecté d'une manière centralisée et efficace, sans avoir à utiliser une variété d'applications et d'outils cloisonnés comme le montre la figure 6.

L'approche générale après l'utilisation du WoT est d'intégrer des appareils de différents fabricants dans une seule application ou un seul système [9].

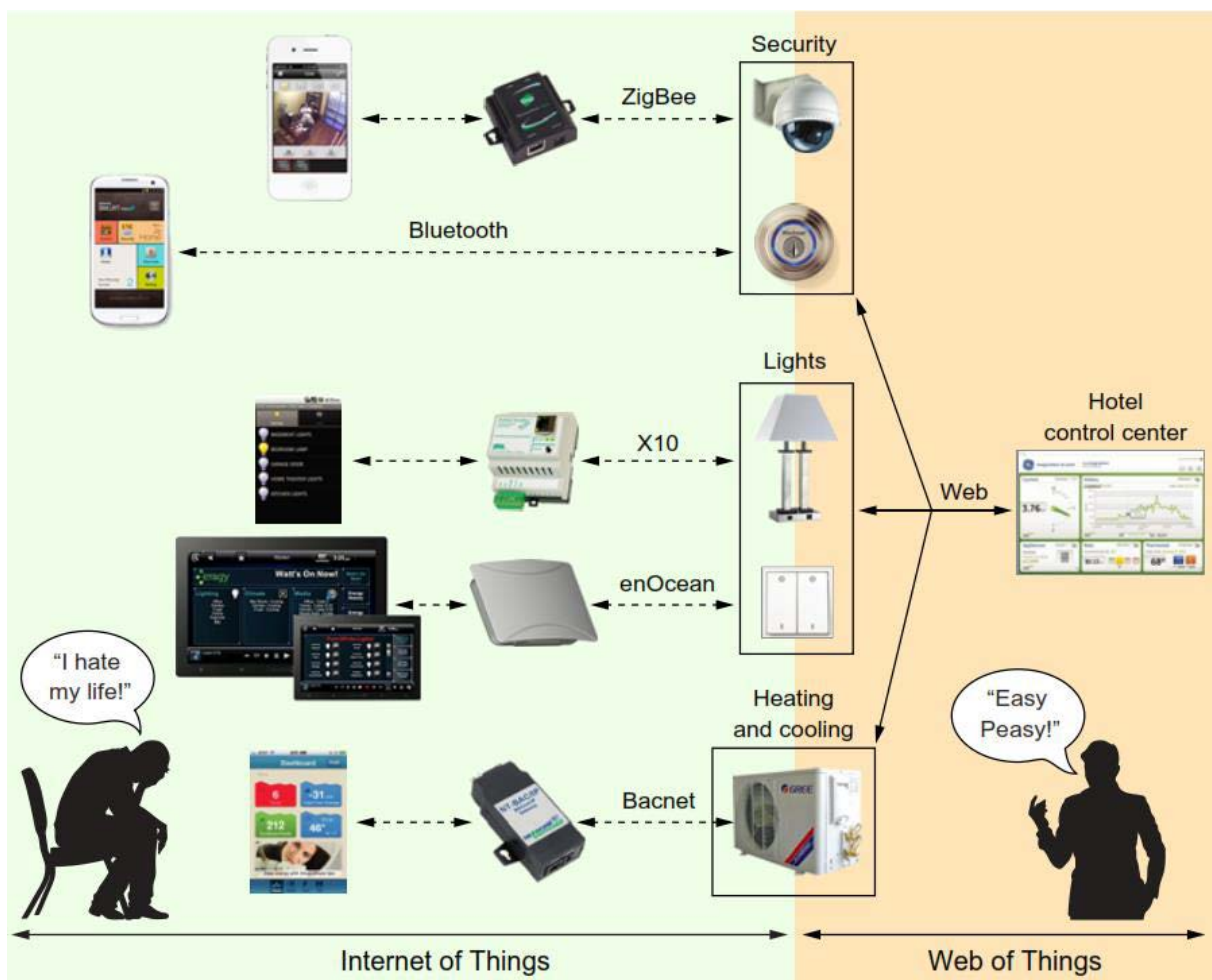


Figure 6 : L'internet des objets et le Web des Objets [4].

### I.3.3 Architecture

Le Web des objets utilise des normes Web pour échanger des données entre les appareils, il n'implique rien sur la façon dont les appareils doivent être physiquement connectés les uns aux autres, il ne concerne que la couche OSI (Open Systems Interconnection) la plus élevée

(couche 7), qui gère les applications, les services et les données. L'utilisation d'un niveau d'abstraction aussi élevé permet de connecter des données et des services à partir de nombreux appareils, quels que soient les protocoles de transport réels qu'ils utilisent [5].

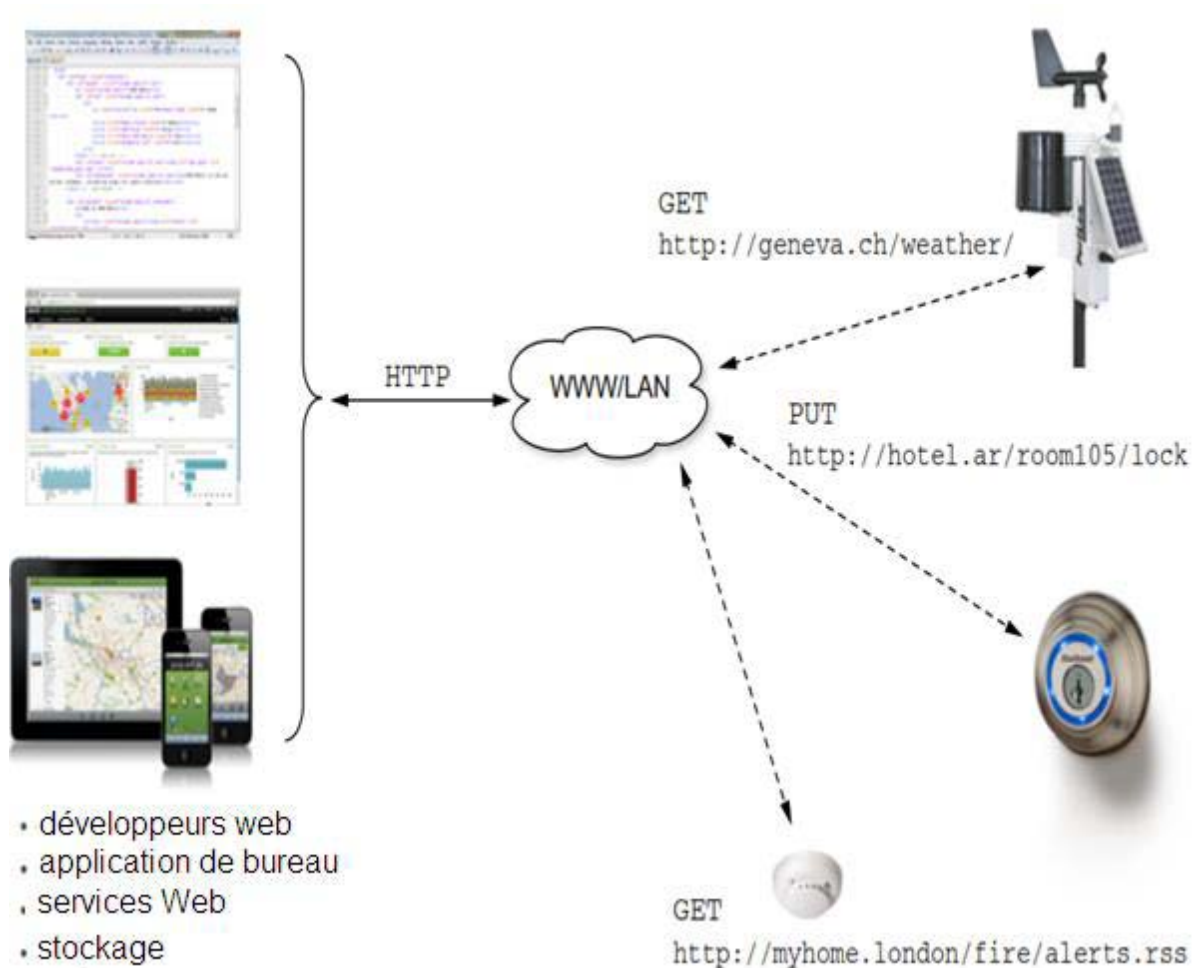


**Figure 7** : la couche OSI et les protocoles de WoT.

L'utilisation de HTTP et d'autres normes ou outils Web pour interagir avec appareils embarqués est devenu possible grâce aux serveurs Web intégrés récents avec des fonctionnalités avancées peuvent être implémentés avec seulement 8 Ko de mémoire et aussi Grâce à des optimisations TCP / HTTP efficaces entre les couches, ils peuvent fonctionner sur des petits systèmes embarqués ou même sur des cartes à puce. De plus, grâce aux développements massifs de la communauté JavaScript, il est devenu de plus en plus facile de transférer une grande partie de la charge de travail des appareils vers les applications clientes et même vers le cloud [5].

Dans le Web des Objets, les appareils et leurs services sont entièrement intégrés au Web car ils utilisent les mêmes normes et techniques que les sites Web traditionnels. Cela signifie que nous pouvons écrire des applications qui interagissent avec des périphériques intégrés de la même manière que nous interagissons avec tout autre service Web qui utilise le Web API (interface de programmation d'application) pour un serveur Web ou un navigateur Web [6].

Cela signifie que nous pouvons commencer à interagir avec un objet via des navigateurs Web et explorer le Web des objets comme nous faisons sur le Web (via des liens vers d'autres objets liés). Les données en temps réel collectées à partir de capteurs distribués peuvent ensuite être facilement récupérées, traitées et affichées sur des pages Web à l'aide de HTML, CSS et JavaScript. La figure 8 montre architecture générale du WoT et son principe de fonctionnement.



**Figure 8 :** architecture générale de WoT.

#### I.4 Conclusion

Avec l'évolution rapide du monde de l'IoT et la diversité des technologies utilisées dans l'Internet des objets (IOT), telles que les protocoles et les modèles de données. Les utilisateurs des réseaux IoT sont de plus en plus confrontés à des coûts d'intégration et de maintenance élevée dans les projets IOT.

Le Web of Things (WOT) tient la promesse de contrer la fragmentation de l'internet des objets en définissant une couche d'abstraction basée sur le web pour les plateformes, dispositifs, passerelles et services existants. En complétant les normes existantes, il améliore l'interopérabilité, réduisant ainsi les risques pour les investisseurs et les clients. Cela permettra également la croissance rapide de marchés ouverts pour les appareils et les services.

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude générale sur l'internet des objets (IOT), sa définition, l'architecture et leurs domaines d'application et le Web des Objets qui représente une prochaine étape intéressante dans l'évolution de l'IOT.



# **Chapitre II :**

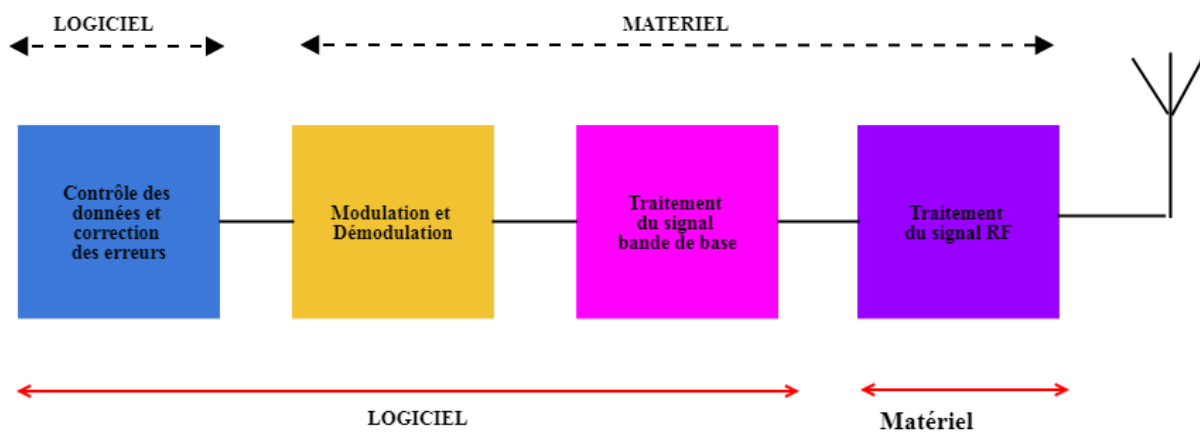
# **La technologie de**

# **la radio logicielle**

## II.1 Introduction

La radio matérielle utilise des composants physiques difficiles à modifier, par conséquent, cette nature statique donne aux radios matérielles plusieurs limitations. Premièrement, les architectures classiques sont difficiles à modifier et leurs fonctionnalités ne peuvent pas supporter de modifications matérielles (reconfiguration par échange de composant) et ne peuvent supporter qu'un certain nombre de standards. Deuxièmement, les configurations matérielles pour chaque technologie radio peuvent utiliser une quantité importante d'espace, surtout si une configuration particulière nécessite plusieurs technologies radio différentes [10].

L'avancement de la technologie numérique a permis de remplacer une partie analogique des systèmes radio par une composante numérique et logicielle. Un système radio logicielle est divisé en deux parties : une partie responsable sur le traitement analogique du signal et une partie responsable sur le traitement numérique du signal. La figure 9 représente la répartition des opérations réalisées dans la partie analogique et la partie numérique [11].



**Figure 9 :** Radio logicielle et radio matérielle.

## II.2 Radio logicielle

### II.2.1 Définition

C'est grâce aux travaux de Joseph Mitola que le terme Radio logicielle est apparu en 1991 pour définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable [12]. Le principe de la radio logicielle est d'obtenir qu'un même système matériel soit capable d'exécuter plusieurs fonctions radios différentes. C'est une radio dans laquelle les fonctions typiques de l'interface radio généralement réalisées en matériel, telles que la fréquence porteuse, la largeur de bande du signal, la modulation et l'accès au réseau sont réalisés sous forme logicielle. Sa flexibilité lui permet de s'adapter à un large spectre de réseaux, protocoles et technique radio communication et de répondre au besoin croissant de performance et d'interopérabilité entre différents systèmes. Elle fait partie de la tendance globale des circuits électroniques à migrer du "tout transistor" vers le "tout logiciel" [13].

Une radio logicielle met en œuvre deux notions fondamentales :

- **La plate-forme** : l'ensemble des matériels radios et des systèmes de traitement qui hébergent une ou plusieurs formes d'onde.
- **La forme d'onde** : l'ensemble des transformations algorithmiques appliquées à l'information pour la convertir en signal radio. Une forme d'onde est entièrement logicielle et définit les caractéristiques du signal RF, dont la fréquence, la modulation et le format [14].

## II.2.2 Avantages de la radio logicielle

- Une partie matérielle réduite.
- Performance élevée grâce au traitement numérique du signal.
- L'implémentation par software de différents types de modulations et standards dans un seul équipement hardware.
- Mise à jour logicielle et maintenance du firmware des équipements facile.
- Réduction du coût et le temps de développement [11] [14].

## II.2.3 Radio logicielle idéale

Une radio logiciel idéal a comme principe, que toutes fonctions de la radio sont programmables. Cela signifie que l'implémentation n'est pas dépendante du matériel sur lequel elle exécutée. Cependant, de nombreux obstacles ne permettent pas aujourd'hui d'envisager une telle approche surtout au niveau de la partie analogique et les convertisseurs analogique numérique et numérique analogique.

Une radio logicielle idéale se compose d'une ou plusieurs antennes pour capter le signal radioélectrique, d'un filtrage RF composé d'un filtre large bande – soit un amplificateur faible bruit (LNA – Low Noise Amplifier) en réception – soit un amplificateur de puissance en émission, d'un filtre bande utile, d'un convertisseur analogique/numérique (CAN) large bande pour le circuit de réception – ou d'un convertisseur numérique/analogique (CNA) pour le circuit d'émission, et d'un processeur de traitement numérique du signal (PTS, ou Digital Signal Processor en anglais) pour extraire les informations utiles (sélection du canal, démodulation, décodage, etc.), ou pour les mettre en forme (modulation, codage, etc.). La figure 10 présente l'architecture de la radio logicielle idéale [14].

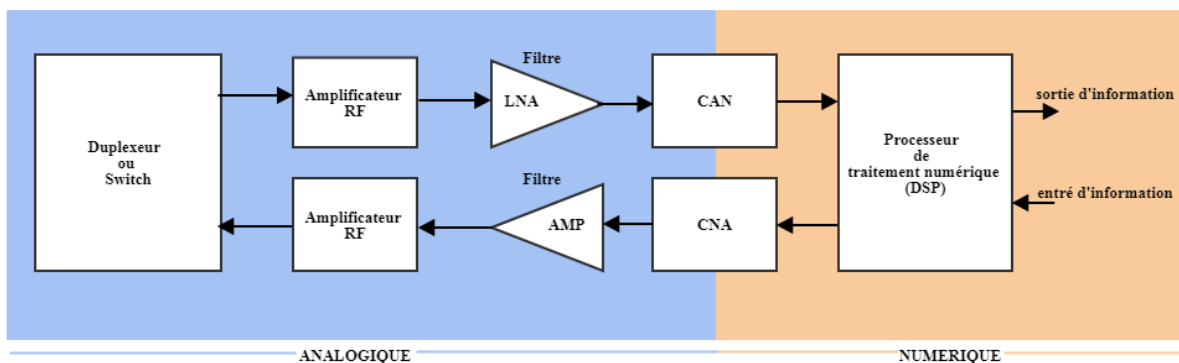
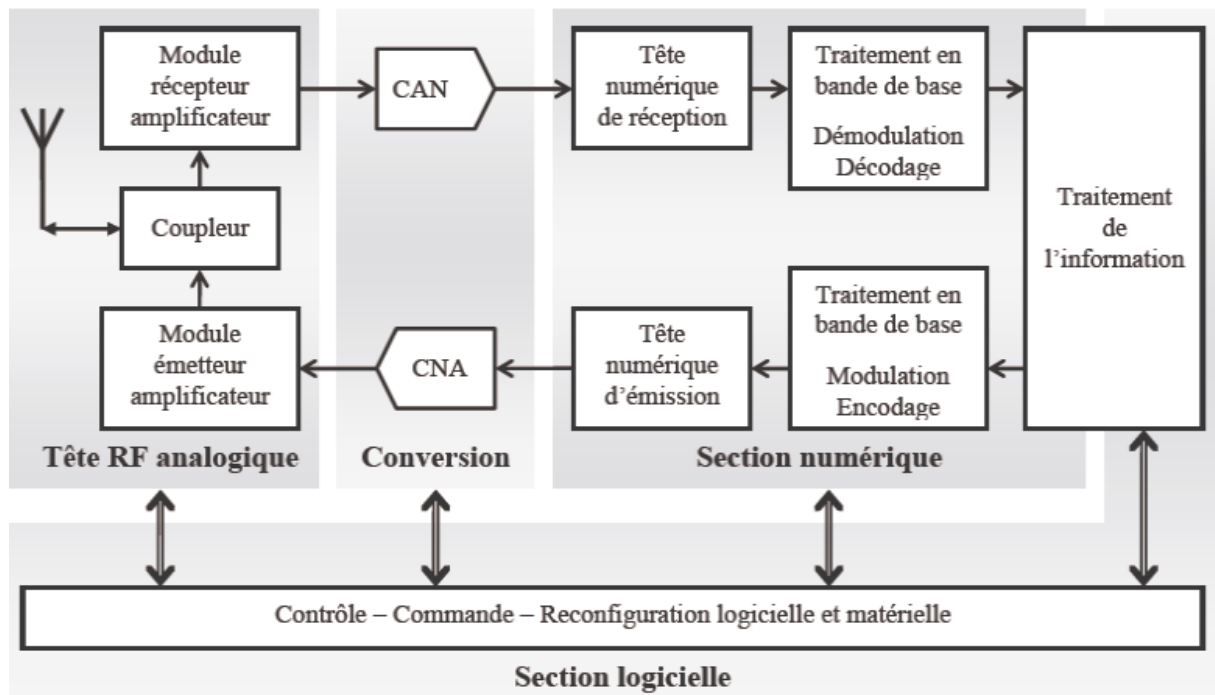


Figure 10 : Architecture d'une radio logicielle idéale.

## II.2.4 Radio logicielle restreinte

La version réalisable de la radio logicielle est La radio logicielle restreinte (ou en anglais SDR – Software Defined Radio). La chaîne de traitement de la radio logicielle restreinte contient une partie analogique qui vise à être totalement éliminée et une partie numérique. La numérisation se rapproche donc de plus en plus de l'antenne afin de converger vers la RL idéale. Ainsi, les circuits spécialisés (figés à la conception) sont remplacés par des circuits numériques programmables permettant l'exécution d'applications logicielles [15].



**Figure 11** : Architecture de la radio logicielle restreinte [16].

Une radio logicielle restreinte se compose de :

- une tête radio fréquence (RF) analogique configurable composée des filtres, coupleurs, mélangeurs, oscillateurs locaux à fréquence intermédiaire, amplificateurs de puissance.
- un étage de conversion analogique/numérique (CAN) et numérique/analogique (CNA).
- une section numérique programmable assurant le traitement numérique en bande de base.
- une section logicielle assurant le contrôle, la commande et la configuration logicielle des différents étages [14] [17].

## II.3 Plateformes radio logicielle

Récemment, des progrès considérables ont été réalisés dans la recherche et le développement de la radio logicielle. La disponibilité de plates-formes sans fil programmables permettant aux chercheurs de créer des radios logicielles, telles que Universal Software Radio Peripheral (USRP), d'Ettus Research LLC et autres plateformes commerciales actuellement largement disponibles. Certaines de ces plateformes sont conçues uniquement pour la réception.

Elles peuvent être à bas prix (environ 2000 DZD), comme pour la clé RTL-SDR (Realtek Software Defined Radio). D'autres sont conçues pour l'émission et la réception avec des prix qui dépassent généralement les 40000 DZD [18].

Nom	Fréquence Minimale. (MHz)	Fréquence Maximale (MHz)	Bande Passante (MHz)	Résolution du Convertisseur (Bits)	Transmission	Prix (DZD)
<b>RTL-SDR</b>	24	1766	3.2	8	Non	~2000
<b>Airspy mini</b>	24	1750	6	12	Non	~ 14000
<b>SDRPlay RSP1A</b>	0.001	2000	10	14	Non	~2700
<b>Funcube Pro+</b>	0.15	2050	0.192	16	Non	~27000
<b>HackRF One</b>	1	6000	20	8	Oui	~40000
<b>BladeRF</b>	300	3800	28	12	Oui	~56000-88000
<b>USRP B200/B210</b>	70	6000	56	12	Oui	~260000-220000-
<b>MatchStiq</b>	3800	300	28	12	Oui	~600000

**Tableau 2:** Différentes plateformes SDR [18].

## II.4 Conclusion

La radio logicielle facilite l'exploitation de nouvelles techniques dans les communications sans fil allant des antennes intelligentes à la gestion de l'alimentation adaptative et au traitement avancé du signal numérique. La radio logicielle augmente la souplesse sous la forme d'une évolutivité améliorée, d'une personnalisation et d'une adaptabilité dynamique. Cela à son tour facilite le remplacement du matériel dédié par du matériel à usage général.

**Chapitre III:  
Etude d'un  
dispositif SDR  
pour les  
applications IoT et  
WoT**

### III.1 Introduction

La variété des normes de communication actuellement utilisées dans la transmission des données dans le monde de l'IoT. Une plateforme SDR peut être une solution parfaite pour un seul appareil reconfigurable qui va prendre le rôle d'une passerelle pour différentes technologies de communication sans fil.

L'objectif principal de ce chapitre est de définir les technologies sans fil et leurs défis pour connectivité des appareils IoT et par la suite d'analyser l'opportunité d'utiliser le SDR comme passerelle capable de communiquer avec les objets connectés, la passerelle est reconfigurable pour l'utilisation des protocoles sans fil.

### III.2 Réseaux sans fil

Différentes technologies de communication sans fil peuvent être utilisées pour interconnecter l'unité SDR avec les objets (les capteurs, les actionneurs). Parmi eux on peut citer :

#### III.2.1 Bluetooth

Cette technologie connaît une présence de plus en plus omniprésente, notamment dans les smartphones, tablettes, ordinateurs portables, casques, etc.

- **Bluetooth classique** : Il offre un débit et une bande passante suffisamment élevés, ce qui le rend approprié pour les applications de flux de données (par exemple audio), Cependant, il a plusieurs limitations dont un nombre limité de nœuds dans un réseau [19].
- **Bluetooth Low Energy (BLE)** : Il est également connu sous le nom de Bluetooth smart et il est conçu et amélioré pour les applications IoT à courte portée, à faible bande passante et à faible latence comparé au Bluetooth classique, le Bluetooth Low Energy est destiné à fournir une consommation d'énergie et des coûts considérablement réduits tout en maintenant une portée de communication similaire [19].
- **Bluetooth 5.0 (BT v5)** : Il augmente la portée et double la vitesse des connexions à faible consommation d'énergie tout en augmentant la capacité des émissions [19].

#### III.2.2 ZigBee

Une technologie sans fil, peu coûteuse et de faible puissance qui peut prendre en charge différentes topologies de réseau (par exemple, maillage, étoile, arbre). Il offre une large plage de transmission, en fonction de la puissance de sortie. Bien que ZigBee se soit installé dans certaines applications industrielles et réseaux de capteur, il fait face à certaines barrières commerciales, en particulier avec l'émergence d'alternatives attrayantes comme le BLE qui fournit une bande passante plus élevée à une consommation d'énergie inférieure [19].

#### III.2.3 Wi-Fi

Wi-Fi (IEEE 802.11 b / g / n) : Les principaux avantages sont la bande passante élevée, et sa forte consommation d'énergie le rend impropre à l'ultra-faible consommation des appareils IoT. Le Wi-Fi à faible puissance (802.11 ah) ou HaLow par rapport au Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n), il est destiné à étendre la portée de transmission avec moins de débit et à réduire la consommation d'énergie pour les applications IoT. De plus, il subira moins d'interférences avec les réseaux sans fil existants car il utilise une bande de fréquences différente (0,9 GHz) [19].

### III.2.4 Réseau étendu à faible puissance

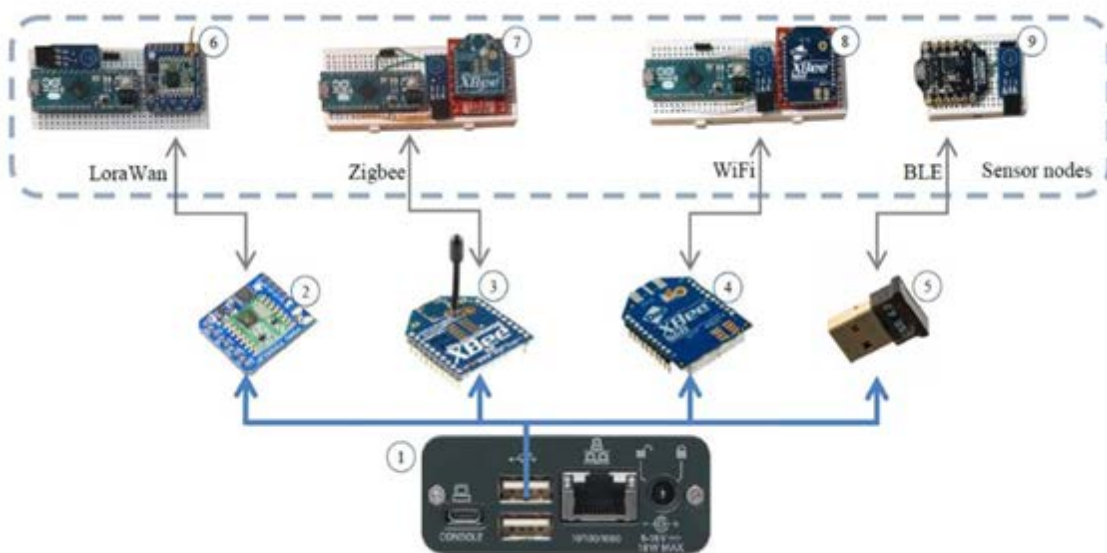
Réseau étendu à faible puissance (Low Power Wide Area Network ou LPWAN) est un type de réseau adapté aux applications à faible consommation d'énergie avec une transmission de très longue portée. Il prend en charge jusqu'à 10 km de distance entre les nœuds d'extrémité et la passerelle. Cependant, cela se fait au prix de très bas débit de données (<1 Kbps). Les principales technologies de LPWAN comprennent SigFox, LoRaWAN et Weightless, qui fonctionnent dans des bandes sous-GHz. Chacune de ces technologies de communication a ses avantages et inconvénients, le choix d'une technologie de transmission dépend principalement aux exigences d'application (bande passante, portée...etc.) [19].

## III.3 Plateforme SDR-IoT

### III.3.1 Présentation

Le SDR peut contribuer au développement rapide des systèmes IoT en offrant un degré plus élevé de flexibilité dans la conception d'interface sans fil au niveau de passerelle capable de prendre en charge plusieurs technologies de communication, Les passerelles équipés de modules SDR peuvent basculer dynamiquement entre les protocoles et communiquer à n'importe quelle fréquence, bande passante, modulation, puissance de transmission et débit de données souhaitables en chargeant simplement le logiciel approprié, et peuvent être également intégrer des technologies de détection du spectre, ils peuvent ainsi agir comme passerelles ou routeurs de périphérie entre différents types de réseaux [20].

Cette Flexibilité facilite la coexistence de divers systèmes sans fil dans une bande de fréquences, la figure 12 montre l'utilité le principe de cette solution.



**Figure 12** : Passerelles basé sur la technologie SDR [20].



### III.3.2 La plateforme SDR

Il existe de nombreux dispositifs SDR sur le marché, allant d'unités coûteuses, comme celles de l'USRP à des unités peu coûteuses, comme les clés RTL-SDR. Ces clés sont utilisées en tant que des récepteurs des signaux radios dont la gamme de fréquences est de 24 MHz à 1766 MHz [20] [21].

Ce n'est pas une tâche facile de choisir l'unité SDR qui pourrait répondre à tous les besoins d'un certain projet mai après avoir analysé plusieurs projet , nous proposons d'utiliser USRP E310 livré avec un émetteur-récepteur 2x2 MIMO AD9361 capable de couvrir plusieurs bandes d'intérêt (70 MHz - 6 GHz) avec un processeur ARM double cœur. Ce module peut rapidement prototyper et déployer des conceptions pour des différentes applications [22].

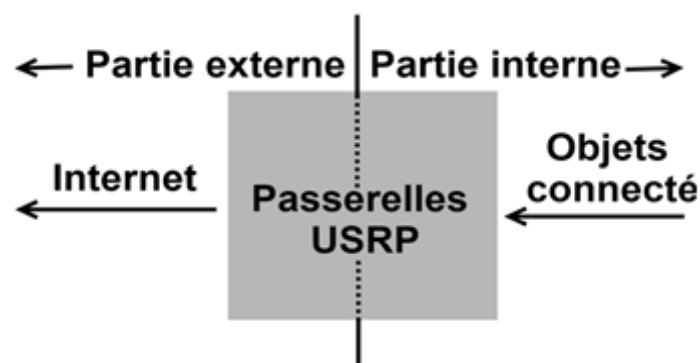


**Figure 13 :** USRP E310.

Ce module USRP a été utilisé dans plusieurs projet [20 21 23] ce qui prouve son efficacité il répond à toutes les exigences de notre étude, consommation d'énergie raisonnable, gamme de fréquences très importante pour prendre en charge de nombreuses interfaces radio...etc.

#### III.3.2.1 le rôle de la plateforme SDR

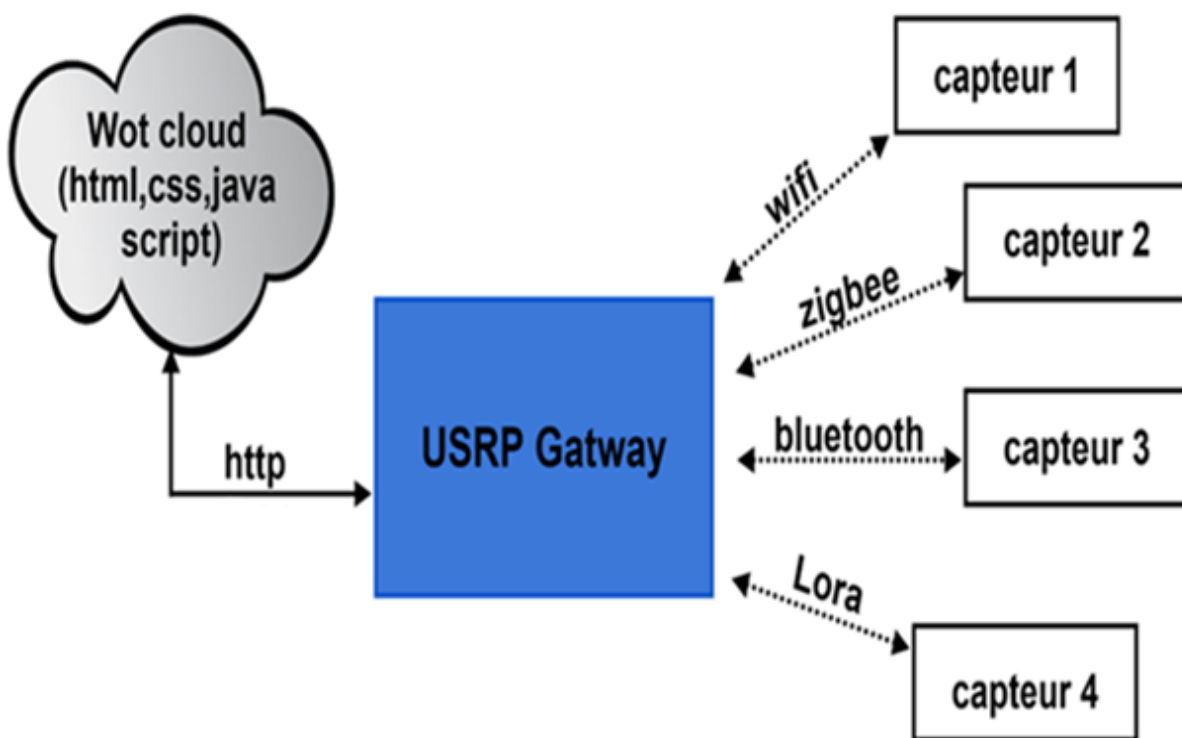
La plateforme SDR joue le rôle d'une passerelle, elle permet de connecter et relié le monde intérieur (capteurs, actionneurs) avec le monde extérieur (internet) comme le montre la figure 14.



**Figure 14 :** Le rôle de la passerelle SDR.

La passerelle reçoit les signaux de différents types d'objets connectés (Capteurs température, capteurs humidité, pression, gaz, etc.), qui utilisent des normes de communication telles que Bluetooth (basées sur IEEE 802.15.1), Bluetooth low energy et ZigBee (IEEE 802.15.4), le WiFi (IEEE 802.11), les signaux sont démodulés pour récupérer les données [24].

Les données extraites sont envoyées par internet en utilisant l'un des protocoles Internet, HTTP, SMTP ou MQTT. Cela signifie que nous pouvons commencer à interagir avec les dispositifs IoT (l'objet connecté) via des navigateurs Web et explorer le « Web of Things », Les données collectées à partir des objets distribués peuvent ensuite être facilement récupérées, traitées et affichées sur des pages Web à l'aide de HTML, CSS, JavaScript et l'un des langages de programmation web(back-end), finalement on peut créer une application Web unique qui combine les données des différents types d'objets connectés [5].



**Figure 15 :** L'architecture générale de la passerelle SDR dans un environnement d'objets connectés.

La passerelle SDR possède de nombreuses fonctionnalités et elle est capable de remplir de nombreuses tâches différentes :

- Peut aider différents appareils à travailler sur diverses interfaces radios et protocoles pour interagir entre eux.
- Peut être utilisé pour surveiller divers paramètres d'un système en surveillant les capteurs sans fil travaillant sur différents protocoles.
- Peut être utilisé comme dispositif intermédiaire entre l'unité de contrôle / surveillance (assistant personnel numérique, assistant personnel intelligent ou personnelle digital assistant (PDA), Smartphones, PC de table, PC, etc.) et autres appareils faisant partie de

réseaux interne (un dispositif IoT) en cachant la complexité du réseau et en même temps fournissant une très simple conviviale interface pour les utilisateurs.

- Peut être utilisé pour obtenir des données du monde extérieur comme le Câble télévision (CATV) ou téléphone et pour distribuer des signaux à travers toute la partie interne.

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

L'approche théorique présentée et le système proposé dans ce chapitre pourraient être très utile pour les applications de l'IoT, en utilisant une plateforme SDR comme passerelle pour les applications de l'IoT et WoT, le coût et les dimensions physiques seront réduits, l'évolutivité est atteint, et la flexibilité est assurée.

# **Chapitre IV :**

## **Réalisation d'un prototype d'une plateforme SDR- IoT**

## IV.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de réaliser un prototype de système SDR-IoT qui peut être utilisé dans plusieurs domaines (industrie, agricole, etc.). Premièrement, nous allons présenter les outils utilisés pour l'émission (Arduino uno, Module 433Mhz) et pour la réception (RTL-SDR, Raspberry Pi). Ensuite nous allons présenter l'implémentation du système.

## IV.2 Présentation des outils

### IV.2.1 Arduino

Arduino a été introduit en 2005 en Italie par Massimo Banzi comme un moyen pour les non-ingénieurs d'avoir accès à un outil simple et peu coûteux pour créer des projets de matériel [25]. Arduino est une plateforme de développement de projets électroniques se décline sous plusieurs types. Les cartes Arduino possèdent des caractéristiques différentes mais ont un grand nombre d'interfaces en commun. Ces interfaces sont généralement un ensemble de broches utilisables comme entrée et sortie, gérés par un microcontrôleur programmable.

La force de ces cartes est d'ouvrir l'accès au « physical computing » de manière plus simple que ce qui était proposé avec la programmation classique d'un microcontrôleur. On appelle physical computing la création de systèmes physiquement interactifs par le biais de capteurs et d'actionneurs à l'aide de logiciels.

L'environnement de développement ou IDE (Integrated Development Environment) de la carte Arduino fonctionne sur les principaux systèmes (Windows, Macintosh et Linux), le langage se base sur le C et le C++ et fournit plusieurs fonctions simples d'utilisation pour gérer les broches d'entrées et de sorties. Le fichier de programmation Arduino est envoyé directement dans la mémoire du microcontrôleur depuis le PC vers l'Arduino à travers l'USB. [26]

Dans notre projet nous avons utilisé l'Arduino uno (Figure 16), l'une des cartes Arduino les plus populaires. En raison de son extrême popularité, l'Arduino Uno dispose d'une tonne de tutoriels de projets et de forums sur le web qui peuvent vous aider à démarrer.



Figure 16: Carte Arduino uno.

La carte Arduino uno est une carte à microcontrôleur de type ATmega328. Elle se dispose de [27] :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'un port USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- d'un bouton de réinitialisation (reset).

La figure 17 représente les composants de la carte arduino uno.

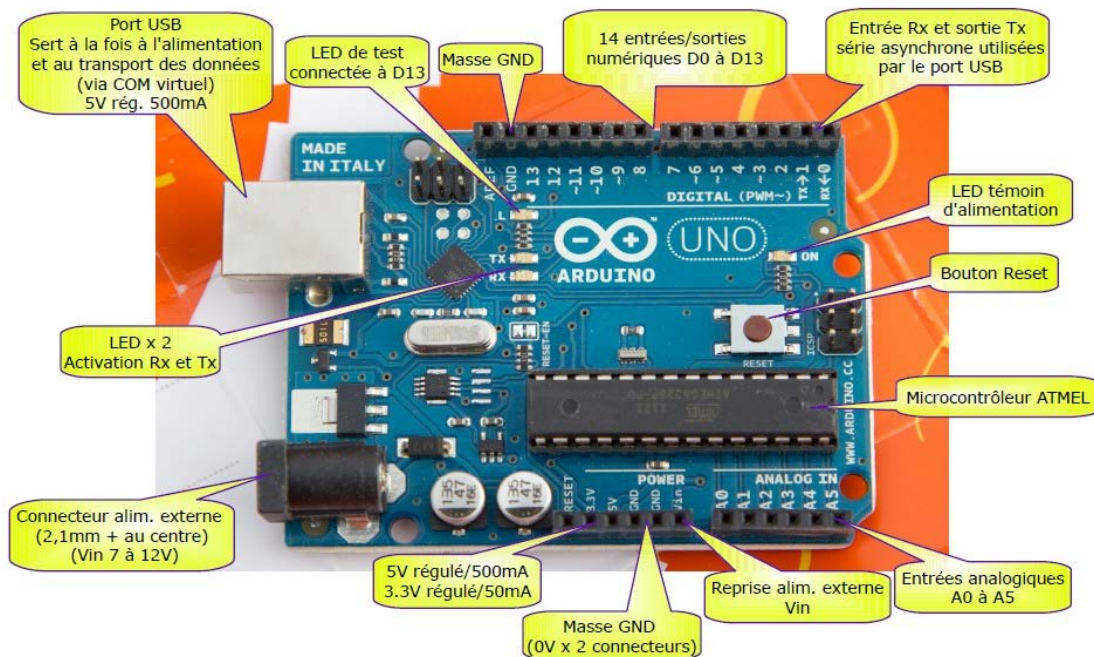


Figure 17: Composant arduino uno [28].

#### IV.2.2 Module 433Mhz

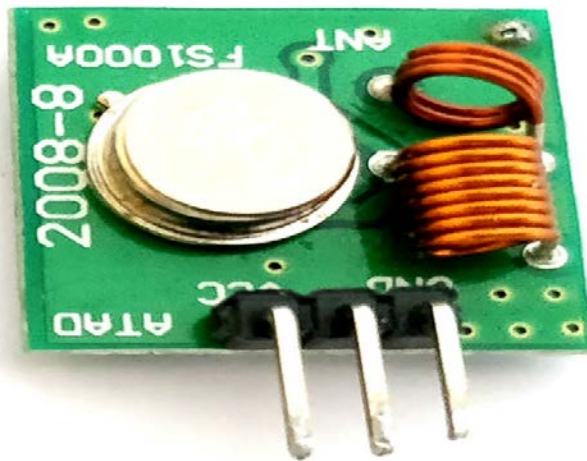
Le module sans fil 433 MHz est l'un des modules à faible cout, avec une antenne appropriée et une alimentation électrique, il peut atteindre jusqu'à 100 mètres en théorie. Mais pratiquement, nous pouvons à peine obtenir environ 30 à 35 mètres dans des conditions de test normales.

Pour la transmission l'émission est effectué dans la fréquence 433Mhz et il utilise la modulation ASK (Amplitude shift keying) avec un débit de 10kbs, il est facile de le utiliser avec les microcontrôleurs. L'inconvénient de ce module c'est qu'il est très sensible au bruit [29].

Le module lui-même ne peut pas fonctionner seul car il nécessite une sorte de codage avant d'être émetteur et de décodage après réception, il doit donc être utilisé avec un codeur ou un décodeur ou avec n'importe quel microcontrôleur aux deux extrémités [29].

Ce module (Figure 18) est utilisé dans plusieurs applications sans fils parmi lesquelles on peut citer :

- les system d'automatisation des maisons.
- Transmettre des données série pour une courte distance.
- Système de sécurité automobile (verrouiller les automobiles à distance).
- Communication à courte distance.



**Figure 18:** Module émetteur 433Mhz.

### IV.2.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi est le nom d'une série d'ordinateurs mono carte fabriqués par la Fondation raspberry Pi, une organisation caritative britannique qui vise à éduquer les gens à l'informatique et à faciliter l'accès à l'enseignement de l'informatique [30].

Le Raspberry Pi est un ordinateur à bas prix, de la taille d'une carte de crédit, qui se branche sur un écran d'ordinateur ou de télévision et utilise un clavier et une souris standard. Il est capable de faire tout ce que l'on attend d'un ordinateur standard, de la navigation sur Internet et de la vidéo haute définition à la création de tableurs, au traitement de texte et les jeux [31].

De plus, le Raspberry Pi a la capacité d'interagir avec le monde extérieur et a été utilisé dans un large éventail de projets. Partout dans le monde, les gens utilisent Raspberry Pi pour acquérir des compétences en programmation, construire des projets matériels, faire de la domotique, et même les utiliser dans des applications industrielles. La figure 19 représente la Raspberry pi Pi 4 Modèle B.

La pièce centrale du Raspberry Pi est le SOC (System On a Chip). Ce circuit contient tous les composants nécessaires au fonctionnement d'un ordinateur à savoir :

- Le processeur.
- La mémoire.
- Le processeur graphique.

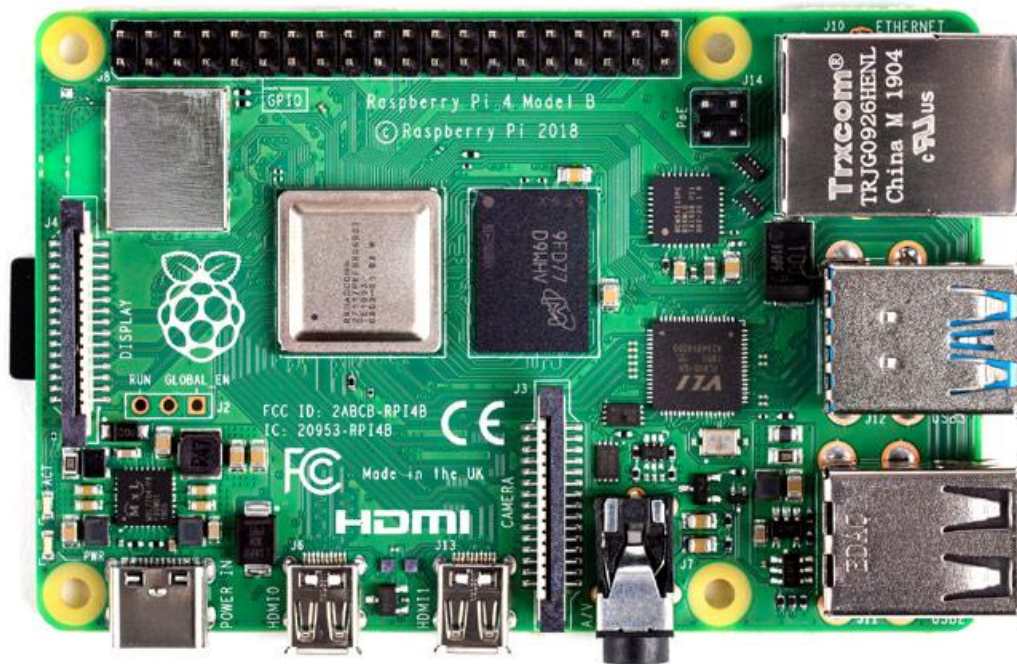


Figure 19 : Raspberry Pi 4 Modèle B.

La plupart des systèmes qui fonctionnent sur Raspberry Pi sont des versions du système d'exploitation Linux, parce que Linux est open source, les développeurs peuvent l'adopter pour des buts spécifiques. La distribution recommandée est Raspbian, c'est un système d'exploitation libre basé sur Debian optimisé pour le matériel Raspberry Pi. Cependant Raspbian fournit plus qu'un simple système d'exploitation : il est livré avec plus de 35.000 paquets, des logiciels précompilés qui nous facilitent le développement soft. Il y a autre système d'exploitation créé par Microsoft spécialement pour le domaine des IoT Windows 10 IoT Core qui peut être installé sur notre carte Raspberry Pi B+ [32].



Figure 20 : Logo du système d'exploitation Raspbian et Windows IoT.



#### IV.2.4 RTL-SDR dongle

Les origines du RTL-SDR proviennent des dongles de tuner DVB-T qui étaient basés sur le chipset RTL2832U. Grâce aux efforts combinés d'Anti Palosaari, Eric Fry et Osmocom (en particulier Steve Markgraf), il a été constaté que les données I / Q brutes sur le chipset RTL2832U étaient accessibles directement, ce qui a permis au tuner DVB-T d'être converti en un SDR à large bande via un pilote logiciel personnalisé.

Le RTL-SDR est un module de stick USB à faible coût qui peut utiliser comme pour recevoir des signaux radio, il est capable de recevoir tous les signaux dans la gamme où leur tuner fonctionne généralement entre 24MHz jusqu'à 1.75Ghz avec la possibilité de régler la fréquence de réception [33].

La plage de fréquence du RTL-SDR des cinq tuners les plus courants sont [34] :

- Elonics E4000 : 52 – 2200 MHz avec un trou de 1100 MHz à 1250 MHz.
- Rafael Micro R820T ou R820T2 : 24 – 1766 MHz – sans trou.
- Fitipower FC0013 : 22 – 1100 MHz
- Fitipower FC0012 : 22 – 948.6 MHz
- FCI FC2580 : 146 – 308 MHz et 438 – 924 MHz (avec trou).

Parmi les applications de SDR-RTL peut citer [35] :

- Écoute de la radio amateur VHF.
- Réception de capteurs de température sans fil.
- Utilisation RTL-SDR comme un simple analyseur de spectre.
- L'écoute des radios FM, et le décodage des informations RDS.
- L'écoute de la Radio internationale à ondes courtes.
- Décodage non cryptés des transmissions vocales numériques.
- L'écoute des conversations non cryptées des ambulances, des pompiers...

Dans notre cas nous avons utilisé la clé RTL-SDR R820T (Figure 21), car il est le plus recommandé et il est l'un des plus répandus et donc le moins cher et offre une meilleure sensibilité, il peut recevoir tous les signaux dans la plage des fréquences allant de 24MHz à 1766MHz, avec une antenne omnidirectionnelle.



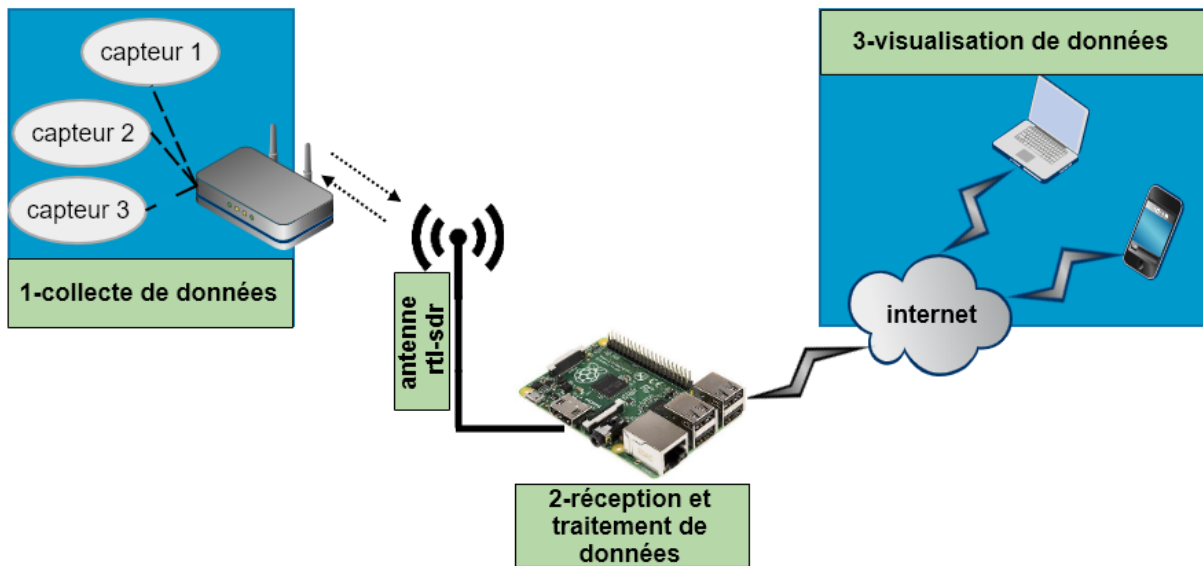
**Figure 21** : Le récepteur RTL-SDR.

### IV.3 Réalisation de la plateforme SDR-IoT

La plateforme se compose de trois sections principales, une section réponsable sur la collection de données avec un ou plusieurs capteurs qui collectent et envoient en temps réelle les données, dans notre prototype on a utilisé un capteur d'humidité et de température.

la deuxième section est la réception et le traitement de données avec le récepteur RTL-SDR et la carte Raspberry Pi, cette section qui est la passerelles radio logiciel qui dois recevoir et traiter les données de tous types de signaux radio et les stocker dans la base de données.

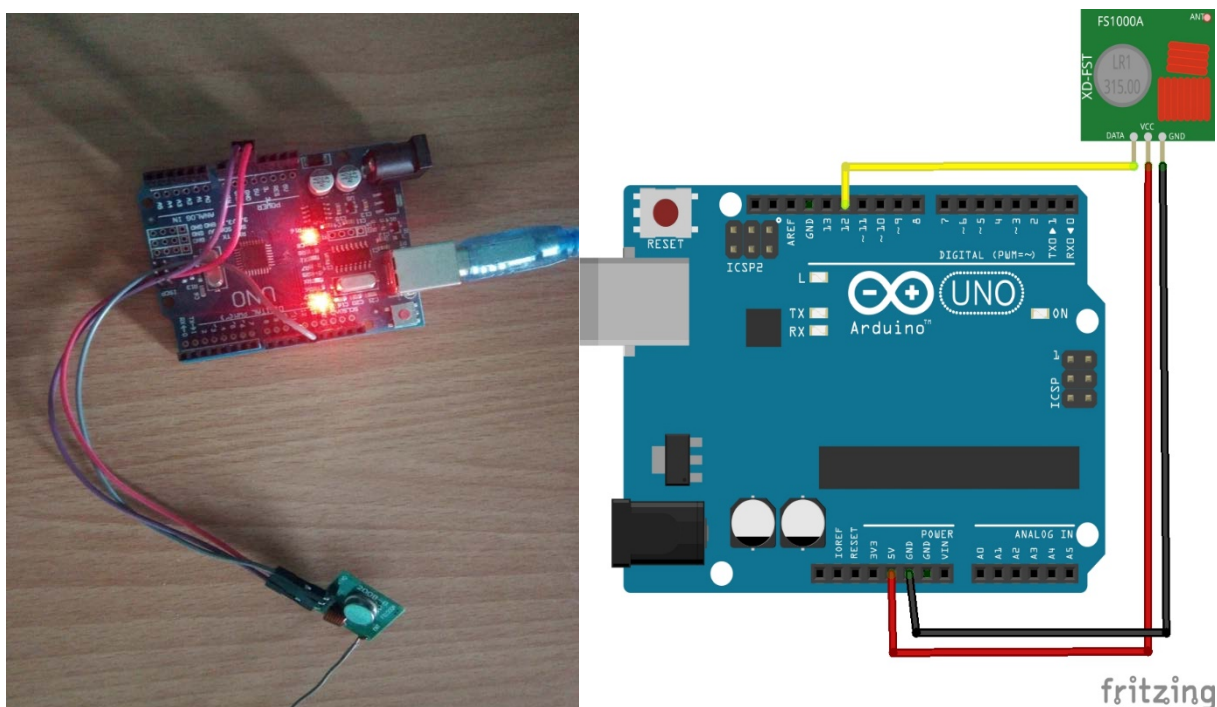
La troisième section est la visualisation des données captés par les capteurs à travers une application mobile ou un site web. La figure 22 montre le schéma global de la plateforme SDR-IoT.



**Figure 22 :** L'architecture de la plateforme SDR-IoT.

La figure 23 montre l'implémentation de notre module émetteur 433mhz avec la carte arduino uno cette dernière envoie un signal de type ASK sur la fréquence 433mhz.

Le câblage de l'émetteur est assez simple. Il ne comporte que trois connexions. La broche VCC à la broche 5V et le GND avec le GND de la carte arduino. La broche Data doit être connectée avec l'une des entrées numériques de la carte arduino.



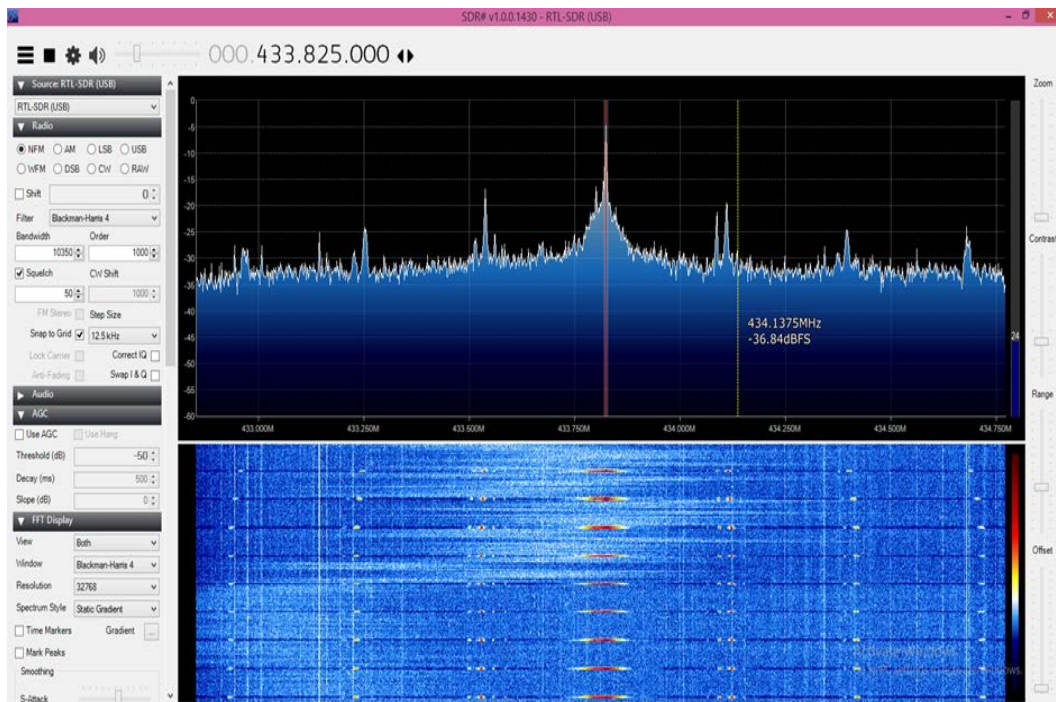
**Figure 23 :** La carte arduino avec le module 433mhz.

A la réception utilisé le dongle RTL-SDR combiné avec la raspberry pi model B comme le montre la figure 24. Le dongle RTL-SDR reçoit le signal RF sur la fréquence 433MHz, ce signal RF sera transposé en fréquence intermédiaire, en suite la conversion analogique numérique du signal sera effectuée, à la fin, ce signal numérique sera envoyé à la carte raspberry Pi pour la démodulation et la récupération des données.



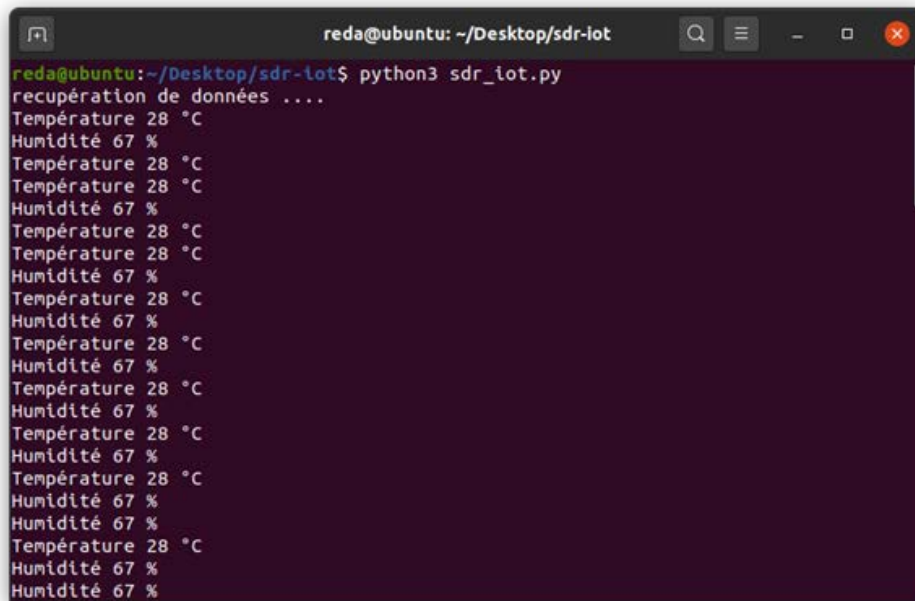
**Figure 24 :** La carte raspberry pi avec le dongle RTL-SDR.

Pour visualiser notre signal reçue, nous avons utilisé le logiciel SDR# qui nous permet d'effectuer un analyse spectrale. La figure 25 montre le spectre et le spectrogramme signal reçu sur la fréquence 433,825 Mhz. Le décalage du signal due l'imperfection aux matérielle.



**Figure 25 :** Spectre reçue avec le logiciel SDR#.

La figure 26 montre l'extraction des données en temps réel, dans ce cas les données sont la température et l'humidité.



```
reda@ubuntu: ~/Desktop/sdr-iot
reda@ubuntu:~/Desktop/sdr-iot$ python3 sdr_iot.py
recupération de données ....
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
Température 28 °C
Humidité 67 %
```

**Figure 26 :** l'extraction des données reçues.

### IV.3.1 L'application web

La dernière étape c'est l'envoi des données au serveur web pour les affichés dans un site web en temps réel. Pour gérer une grande quantité d'appareils et de données, nous aurons besoin d'une plate-forme beaucoup plus puissante et évolutive pour stocker et traiter les données l'intégration d'une base de données en nuage (cloud database) est très important, afin que l'application web peut affichés les données en temps réel.

Dans notre prototype nous avons utilisé Cloud Firestore de google. Cloud Firestore est une base de données flexible et évolutive pour le développement mobile, Web et serveur [36].

L'utilisateur ou le gérant peut voir les données en temps réel avec un smartphone ou une tablette ou un pc.



**Figure 27** : L'application Web.

#### **IV.4 Conclusion**

Le SDR est utilisée conjointement avec les protocoles Internet à des fins de surveillance, tout en assurant l'interopérabilité via les protocoles d'Internet des objets (IoT) standard. En outre, la solution résout certains problèmes résolus traditionnellement par SDR tels que le coût, les dimensions physiques, la modularité et l'évolutivité.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Les domaines d'applications potentielles du concept d'IoT sont très variés. Les attentes sont nombreuses et variées : amélioration et diversification des services, surveillance et sécurité, maintenance à distance, contrôle de procédés ou d'infrastructures ...etc.

L'utilisation de radio logicielle dans les domaines de l'IoT on est en plein essor, Cette technologie possède des avantages économiques significatifs : permet l'interopérabilité entre différents appareils fonctionnant sur différents protocoles et fréquences elle permet aussi de réaliser rapidement et à moindre coût les développements nécessaires au support de nombreux protocoles existants.

Ce projet de fin d'étude a porté sur l'étude et la réalisation d'une plateforme SDR-IoT pour les applications IoT et WoT. Pour cela, nous avons introduit le concept l'internet des objets et web des objets. Ensuite nous avons présenté la technologie de la radio logicielle (SDR).

Nous avons fait Une étude sur l'opportunité d'utiliser le SDR comme passerelle capable de communiquer avec les objets connectés, et nous avons proposé un prototype d'un système SDR-IoT en utilisant une carte arduino uno et un module 433Mhz pour l'émission, et pour la réception le récepteur RTL-SDR et une carte raspberry Pi. Ce système sert à la surveillance et peut être utilisé dans plusieurs domaines (industrie, agricole, etc.).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Khaldoun AL AGHA, Daniel ETIEMBLE, “Introduction à l’Internet des Objets.” Université Paris Sud – Paris Saclay, 2018
- [2] Prashant M. Adhao, Rahul B. Mapari, Disponible ici : <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1702061.pdf> (Consulté le 27/07/2020).
- [3] Chaouchi, Hakima, ed. “The Internet of Things: connecting objects to the web”. John Wiley & Sons, (2013).
- [4] Patel, Keyur K., and Sunil M. Patel. "Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges." International journal of engineering science and computing 6, no. 5 (2016).
- [5] Guinard, Dominique, and Vlad Trifa. “Building the web of things.” Shelter Island: Manning (2016).
- [6] Saleh, Imad. “Internet des Objets (IdO): Concepts, enjeux, défis et perspectives.” Revue Internet des objets 2, no. 10.21494 (2018).
- [7] capteur d’humidité et de température, Disponible ici : <https://www.eboow.com/capteurs-sondes/416-bbw200-capteur-d-humidite-et-de-temperature--3492548163793.html> (Consulté le 27/07/2020)
- [8] Bajic, Eddy. “Localisation et identification de ressources industrielles par l’Internet des objets.” (2018).
- [9] Mathew, Sujith Samuel, Yacine Atif, Quan Z. Sheng, and Zakaria Maamar. "The web of things-challenges and enabling technologies." In Internet of things and inter-cooperative computational technologies for collective intelligence, pp. 1-23. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [10] Tribble, Alan C. "The software defined radio: Fact and fiction." In 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 5-8. IEEE, 2008.
- [11] Christian BARTHOD, “Radio Logicielle”, (2014).
- [12] Mitola, Joseph. "The software radio architecture." IEEE Communications magazine 33, no. 5 (1995): 26-38.
- [13] Benmammar, Badr, and Asma Amraoui. "Radio resource allocation and dynamic spectrum access." ISTE, (2013).
- [14] Nicolas, Michaël. "Radio logicielle : analyse d’architectures matérielles et outils informatiques.» (2011).
- [15] Laurent Alaus. Architecture Reconfigurable pour un Equipement Radio Multistandard. Computer Science. Université Rennes 1, 2010.



- [16] Barrandon, Ludovic. "Synthèse architecturale analogique/numérique appliquée aux systèmes sur puce dans un contexte radio logicielle." PhD diss, (2005).
- [17] Yoshida, Hiroshi, Syoji Otaka, Takayuki Kato, and Hiroshi Tsurumi. "A software defined radio receiver using the direct conversion principle: implementation and evaluation." In 11th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2000. Proceedings (Cat. No. 00TH8525), vol. 2, pp. 1044-1048. IEEE, 2000.
- [18] YAGOUB Réda. "Développement d'un procédé SDR hybride pour différentes générations de Télécommunications mobiles." Thèse doctorat lmd. , (2018).
- [19] Samie, Farzad, Lars Bauer, and Jörg Henkel. "IoT technologies for embedded computing: A survey." International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ ISSS). IEEE, (2016).
- [20] Gavrilă, Cristinel, et al. "SDR-based gateway for IoT and M2M applications." Baltic URSI Symposium (URSI). IEEE, (2018).
- [21] Chávez-Santiago, Raúl, et al. "Applications of software-defined radio (SDR) technology in hospital environments." 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, (2013).
- [22] USRP E310, Disponible ici : <https://www.ettus.com/all-products/e310/> (Consulté le 27/07/2020).
- [23] Szalontai, Levente, and Lelia Festila. "USING SOFTWARE DEFINED RADIO AND COGNITIVE RADIO TECHNOLOGIES IN SMART HOME ENVIRONMENTS." Acta Technica Napocensis 51, (2010).
- [24] Jaloudi, Samer. "A bridge between legacy wireless communication systems and internet of things." Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI) 7.2 (2019): 279-288.
- [25] Arduino, Disponible ici : <https://www.makerspaces.com/arduino-uno-tutorial-beginners/> (Consulté le 27/07/2020).
- [26] Ivan Dal Pio Luogo. "Conception d'un système d'intelligence ambiante à l'aide de cartes Arduino" .Technologies Émergentes [cs.ET], dumas-01365118, (2015).
- [27] Erik Bartman. "Le grand livre d'arduino", 2eme Edition, Eyrolles, (2015).
- [28] Découverte de la carte à microcontrôleur ARDUINO UNO, Disponible ici : [http://www.lycee-ferry-versailles.fr/ee-tsi/12\\_arduino/html/p2.html](http://www.lycee-ferry-versailles.fr/ee-tsi/12_arduino/html/p2.html) (consulté le 27/05/2020).
- [29] 433 MHz RF Transmitter Module, Disponible ici : <https://components101.com/433-mhz-rf-transmitter-module> (consulté le 27/07/2020).
- [30] What is a Raspberry Pi?, Disponible ici : <https://opensource.com/resources/raspberry-pi> (consulté le 27/07/2020).
- [31] What is a Raspberry Pi?, Disponible ici: <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi>(consulté le 27/07/2020).

- [32] Yasser Ben Aissia et Ghassene Chaieb. "Gateway d'un système de monitoring d'un malade à un serveur d'urgence". Master's thesis, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, (2015).
- [33] ABOUT RTL-SDR, Disponible ici : <https://www.rtl-sdr.com/about-rtl-sdr> (consulté le 27/07/2020).
- [34] Frenkiel, Richard. "A brief history of mobile communications "IEEE Vehicular Technology Society News 49.2: (2002).
- [35] Laufer, Carl. "The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio ", CreateSpace Independent Publishing Platform, (2015).
- [36] Firestore, Disponible ici: <https://firebase.google.com/docs/firestore> (consulté le 27/07/2020).