

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

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

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par

➤ **M^{lle} SEDDIKI Rahma**

Intitulé

*Mise en œuvre d'applications de gestion d'une Smart-City basées sur les
technologies IoT/M2M*

Soutenu le : 29/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. ASBAI Nassim</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. AIDEL Salih</i>	<i>Professeur</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. BENDIB Sarra</i>	<i>MAB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022



Remerciement



Mes remerciements vont d'abord au Allah qui m'a doté d'intelligence, et m'a maintenu en santé pour mener à bien ces années d'étude.

*Je remercie **Monsieur AIDEL Salih**, professeur à l'université de BBA, d'abord pour l'aide qu'il m'a apporté durant toutes mes années de spécialité, et pour m'avoir gentiment accueilli et encadré. J'apprécie particulièrement sa disponibilité, son soutien moral et sa sympathie.*

*Je remercie **Monsieur ASBAI Nassim**, Maître de conférences à l'université BBA, pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury et pour avoir bien voulu lire cette thèse et faire part de ses remarques.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à **Madame BENDIB Sarra**, Maître assistant à l'université BBA, d'avoir acceptée d'examiner et de juger ce travail.*

*Je remercie également **Monsieur YESSAAD A**, responsable du laboratoire CAO, pour son aide.*

*Mes remerciements vont également à **M^{elle} BOUDECHICHE G**, responsable du laboratoire Traitement de Signal pour leur soutien moral.*

Au terme de ce travail, je remercie tous les membres de ma famille pour leur patience, aide et soutien moral tout au long de la réalisation de ce travail, et plus précisément à mon père qui est devenu un électronicien et un maquettiste après avoir été un chirurgien, ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien.

Enfin, je voudrais exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce projet dans les meilleures conditions

Dédicace

*À l'âme de mon professeur **BENNOUR**.*

*À mes parents qu'**ALLAH** les garde et leur procure santé,
bonheur et longue vie pour leur engagement entier à être à
mes côtés à chaque fois que j'ai besoin d'un soutien moral
et matériel.*

*À mon deuxième mama, ma soeur **Amani**.*

*À mon plus beau cadeau qu'une soeur puisse vous faire,
mon neveu **Oubey**.*

*À mon deuxième papa, mon grand frère **Fouad**.*

*À mon bras droit, mon frère **Belkacem**.*

*À mon cher petit frère **Abdou**.*

À toute ma famille

À tous mes amis...

Et tous ceux qui m'aiment...

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	
Résumé	
Table des figures	
Glossaire	
Introduction générale.....	1

Chapitre 01 : L'évolution de la technologie M2M -Du M2M vers l'IoT-

I.1	Introduction :	2
I.2	Présentation de la technologie M2M :	2
I.4	Normes et Architecture :	3
I.4.1	ETSI (European Telecommunications Standards Institute) :	3
I.4.2	3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) :	4
I.4.3	Architecture des réseaux de communication M2M :	5
I.4.3.1	Le domaine d'application M2M :	6
I.4.3.2	Le domaine réseau M2M :	6
I.4.3.3	Domaine périphérique M2M :	11
I.4.4	Architecture des réseaux de communication IoT :	11
I.4.4.1	Domaines d'application de l'Internet des objets :	14
I.4.4.2	La sécurité de l'Internet des objets :	16
I.5	Conclusion :	16

Chapitre 02 : La ville intelligente et l'intelligence connectée

II.1	Introduction :	17
II.2	Villes intelligentes :	17
II.2.1	Qu'est-ce qu'une ville intelligente ?	17
II.3	Les critères caractéristiques de la smart city :	18

II.3.1	Mobilité intelligente :	19
II.3.1.1	Les voitures électriques :	19
II.3.1.2	Gestion intelligente du trafic :	20
II.3.1.3	Stationnement intelligent :	21
II.3.2	Gouvernance intelligente :	22
II.3.3	Vivre intelligent :	23
II.3.3.1	La télésanté :	23
II.3.3.2	L'architecture :	24
<i>Confortabilité</i> :	24
II.3.4	Citoyen intelligent :	25
II.3.3.3	Éducation :	25
II.3.5	Economie intelligente :	26
II.3.5.1	L'industrie intelligente :	26
II.3.5.2	L'agriculture intelligente :	26
II.3.5.3	Le tourisme intelligent :	28
II.3.6	Environnement intelligent :	29
II.3.6.1	Ports intelligents :	29
II.3.6.2	Gestion de l'énergie :	30
II.3.6.3	Prévisions météorologiques :	31
II.4	Conclusion :	32

Chapitre 03 : Réalisation et implémentation

III.1	Introduction :	33
III.2	Présentation du projet :	33
III.3	Matériel utilisé :	33
III.3.1	Les cartes Arduino :	34
III.3.1.1	Arduino Uno :	34
III.3.1.2	Arduino Mega :	34
III.3.2	Les cartes ESP32 :	35
III.3.2.1	ESP32 WROOM :	35
III.3.2.2	ESP32 CAMERA :	36
III.3.3	Liste des capteurs :	36
III.3.3.1	Capteur Ultrason HC-SR04 :	36

III.3.3.2	Capteur Infra rouge :.....	36
III.3.3.3	Capteur de choc :.....	37
III.3.3.4	Le capteur de pluie :.....	37
III.3.3.5	Capteur de pression atmosphérique :.....	37
III.3.4	Les actionneurs :.....	37
III.3.4.1	Servomoteur :.....	37
III.3.4.2	Ecran LCD 1602 /I2C :.....	38
III.3.5	Autres composants :.....	38
III.3.5.1	Module Lora :.....	38
III.3.5.2	Buzzer :.....	38
III.3.5.3	Résistance électrique :.....	38
III.3.5.4	LED électrique :.....	39
III.3.5.5	La photorésistance LDR :.....	39
III.4	Logiciel utilisé :.....	39
III.4.1	AutoCad :.....	39
III.4.2	Rhinoceros 3d :.....	40
III.4.3	Arduino Ide :.....	40
III.4.4	Fritzing :.....	42
III.5	Test et réalisation :.....	42
III.5.1	Station météorologique :.....	42
III.5.2	Éclairage public intelligent :.....	47
III.5.3	Tracker solaire intelligent :.....	50
III.5.4	Système de contrôle intelligent des passages à niveau :.....	53
III.5.5	Stationnement intelligent :.....	56
III.5.6	Détecteur de séisme :.....	59
III.5.7	Détection d'objets et de visages :.....	62
III.6	Réalisation de la maquette :.....	64
III.7	Conclusion :.....	65
	Conclusion générale	66
	Bibliographie	

Résumé

Les villes intelligentes représentent une plateforme attrayante pour l'innovation, utilisent une variété de logiciels, d'interfaces utilisateur et de réseaux de communication aux côtés de l'Internet des objets (IdO) et la technologie M2M pour offrir des solutions connectées au public, et pour créer des organisations et des systèmes urbains plus efficaces qui peuvent améliorer la qualité de vie. Pour avoir un aperçu réel sur le fonctionnement et la gestion d'une smart citée nous avons réalisé une maquette électronique sur laquelle on a intégré plusieurs projets intelligents (le stationnement intelligent, le tracker solaire intelligent, l'éclairage public intelligent, etc.). Ce mémoire explore le concept de ville intelligente et propose un modèle de réalisation des projets basés sur les technologies M2M et l'IoT dans un contexte de ville intelligente.

Mots clés : M2M, IoT, Ville intelligente, smart, communication, Arduino, LPWAN, Lora, intelligence artificielle, Internet, capteur, Détection, Sécurité, Eclairage, météorologie.

ملخص

المدن الذكية هي منصة جذابة للابتكار، باستخدام مجموعة متنوعة من البرامج وواجهات المستخدم وشبكات الاتصال جنبًا إلى جنب مع إنترنت الأشياء (IoT) وتكنولوجيا M2M لتقديم حلول متصلة للجمهور، وإنشاء أنظمة ومؤسسات حضرية أكثر كفاءة يمكنها تحسين نوعية الحياة. للحصول على نظرة ثاقبة حقيقية حول تشغيل وإدارة نموذج ذكي تم الاستشهاد به، قمنا بعمل نموذج إلكتروني قمنا بدمج العديد من المشاريع الذكية (وقوف السيارات الذكية، ومنتجع الطاقة الشمسية الذكية، وإضاءة الشوارع الذكية، وما إلى ذلك). تستكشف هذه الأطروحة مفهوم المدينة الذكية وتقدم نموذجًا لتنفيذ المشاريع بناءً على تقنيات M2M و IoT في سياق المدينة الذكية.

الكلمات المفتاحية : من آلة الله، انترنت الأشياء، المدينة الذكية، ذكي، الاتصالات، أردوينو، لورا، الذكاء الاصطناعي، الإنترنت، المستشعر، الكشف، الأمن، الإضاءة، الأرصاد الجوية.

Abstract

Smart cities are a compelling platform for innovation, using a variety of software, user interfaces and communication networks alongside the Internet of Things (IoT) and M2M technology to deliver connected solutions to the public, and to create more efficient urban systems and organizations that can improve the quality of life. To get a real insight into the operation and management of a smart city we have made an electronic model on which we integrated several smart projects (smart parking, smart solar tracker, smart street lighting, etc.). This dissertation explores the concept of a smart city and proposes a model for carrying out projects based on M2M and IoT technologies in a smart city context.

Keywords: M2M, IoT, Smart City, smart, communication, Arduino, LPWAN, Lora, artificial intelligence, Internet, sensor, Detection, Security, Lighting, weather.

TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1. 1 : De la situation des « silos » existants vers un cadre applicatif standardisé générique</i>	<i>4</i>
<i>Figure 1. 2 : La structure du 3GPP</i>	<i>5</i>
<i>Figure 1. 3 : Architecture des réseaux M2M</i>	<i>6</i>
<i>Figure 1. 4 : Architecture hétérogène de 5G avec combinaison de Massive MIMO et de petites cellules</i>	<i>11</i>
<i>Figure 1. 5 : Le processus d'internet des objets</i>	<i>12</i>
<i>Figure 1. 6 : Les composants d'un modèle d'Internet des objets</i>	<i>14</i>
<i>Figure 1. 7 : Domaine d'application de l'IoT</i>	<i>16</i>
<i>Figure 2. 1 : Six critères principaux de la Ville intelligente</i>	<i>18</i>
<i>Figure 2. 2 : Voitures électriques, énergie solaire et propre Tesla</i>	<i>20</i>
<i>Figure 2. 3 : Systèmes de transport intelligents</i>	<i>20</i>
<i>Figure 2. 4 : Stationnement intelligent, ou smart parking</i>	<i>21</i>
<i>Figure 2. 5 : La téléconsultation</i>	<i>23</i>
<i>Figure 2. 6 : Fonctions de la domotique</i>	<i>24</i>
<i>Figure 2. 7 : L'enseignement à distance</i>	<i>25</i>
<i>Figure 2. 8 : L'agriculture intelligente</i>	<i>27</i>
<i>Figure 2. 9 : Agriculture de précision - Technologies et concepts clés</i>	<i>28</i>
<i>Figure 2. 10 : Ports intelligents</i>	<i>30</i>
<i>Figure 3. 1 : Fonctionnement d'une carte Arduino Uno</i>	<i>34</i>
<i>Figure 3. 2 : Fonctionnement d'une carte Arduino Mega</i>	<i>35</i>
<i>Figure 3. 3 : La carte ESP32 WROOM</i>	<i>35</i>
<i>Figure 3. 4 : La carte ESP32 CAM</i>	<i>36</i>

<i>Figure 3. 5 : Capteur ultrason HC-SR04</i>	<i>36</i>
<i>Figure 3. 6 : Capteur de proximité FC-51</i>	<i>36</i>
<i>Figure 3. 7 : Capteur de vibrations SW-420</i>	<i>37</i>
<i>Figure 3. 8 : Capteur de pluie</i>	<i>37</i>
<i>Figure 3. 9 : Capteur de pression atmosphérique (BMP280)</i>	<i>37</i>
<i>Figure 3. 10 : Servomoteur</i>	<i>37</i>
<i>Figure 3. 11 : Afficheur LCD interfacé avec I2C</i>	<i>38</i>
<i>Figure 3. 12 : Module Lora SX1276</i>	<i>38</i>
<i>Figure 3. 13 : Buzzer</i>	<i>38</i>
<i>Figure 3. 14 : Exemple des résistances</i>	<i>38</i>
<i>Figure 3. 16 : LED Rouge</i>	<i>39</i>
<i>Figure 3. 17 : Photorésistance</i>	<i>39</i>
<i>Figure 3. 18 : Logiciel AutoCad</i>	<i>39</i>
<i>Figure 3. 19 : Logiciel Rhinoceros</i>	<i>40</i>
<i>Figure 3. 20 : Interface du logiciel Arduino IDE</i>	<i>40</i>
<i>Figure 3. 21 : Interface du logiciel Fritzing</i>	<i>42</i>
<i>Figure 3. 22 : Organigramme du Station météorologique -Emetteur-</i>	<i>43</i>
<i>Figure 3. 23 : Organigramme du Station météorologique -Récepteur-</i>	<i>43</i>
<i>Figure 3. 24 : Schéma électrique du Station météorologique -Emetteur-</i>	<i>44</i>
<i>Figure 3. 25 : Schéma électrique du Station météorologique -Récepteur-</i>	<i>44</i>
<i>Figure 3. 26 : Réalisation pratique du Station météorologique -Emetteur-.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 3. 27 : Réalisation pratique du Station météorologique -Récepteur-.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 3. 28 : Résultat obtenu de la réalisation pratique du Station météorologique.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 3. 29 : Organigramme d'éclairage public intelligent.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 3. 30 : Schéma électrique d'éclairage public intelligent.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 3. 31 : Réalisation pratique d'éclairage public intelligent - sans obstacle-.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 3. 32 : Réalisation pratique d'éclairage public intelligent - avec obstacle-.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 3. 33 : Organigramme du tracker solaire intelligent.....</i>	<i>51</i>

<i>Figure 3. 34 : Schéma électrique du tracker solaire intelligent.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 3. 35 : Réalisation pratique du tracker solaire intelligent.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 3. 36 : Schéma explicatif du tracker solaire intelligent.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 3. 37 : Organigramme du contrôle intelligent des passages à niveau.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 3. 38 : Schéma électrique du contrôle intelligent des passages à niveau.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 3. 39 : Réalisation pratique du contrôle intelligent des passages à niveau.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 3. 40 : Organigramme du Smart Parking.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 3. 41 : Schéma électrique du Smart Parking.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 3. 42 : Réalisation pratique du Smart Parking.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 3. 43 : Réalisation pratique du Smart Parking -en marche-.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 3. 44 : Organigramme du détecteur de séisme.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 3. 45 : Schéma électrique du détecteur de séisme.....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 3. 46 : Réalisation pratique du détecteur de séisme.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 3. 47 : Réalisation pratique du détecteur de séisme -en marche-.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure 3. 48 : Organigramme de la détection d'objets et de visages.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 3. 49 : Schéma électrique de la détection d'objets et de visages.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 3. 50 : Réalisation pratique de la détection d'objets et de visages.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 3. 51 : Résultat obtenu de la réalisation pratique de la détection d'objets et de visages.....</i>	<i>63</i>

ADC Analog to Digital Converter

BLE Bluetooth Low Energy

BS Base Station

BT Base Transceiver

CAO Conception Assistée par Ordinateur

CEM Compatibilité Electromagnétique

CPU Central Processing Unit

DAC Digital to Analog Converter

DC Direct Current

DU Distributed Utility

EDGE Encouraging Diversity Growth and Equity

EPC Engineering Procurement and Construction Contract

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FC Field Cooling

FDD Frequency Division Duplex

GPIO General Purpose Input/Output

GPRS General Packet Radio Service

GPS Global Positioning System

GSM Global System for Mobile communication

GUI Graphical User Interface

IBM International Business Machines

IDE Integrated Drive Electronics

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT Internet of Things

IP Internet Protocol

IR Infrared Radiation

ITS Intelligent Transportation Systems

LCD Liquid Crystal Display

LDR Light Dependent Resistors

LED Light Emitting Diode

LPWA Low Power Wide Area

LTE Long Term Evolution

MAC Media Access Control

MCU Microcontroller Unit

MIMO Multiple Input Multiple Output

ONU Optical Network Unit

OSI Open Systems Interconnection

OTA Over the Air Programming

OTP One Time Password

OWA Outlook Web Access

PCG Project Coordination Group

PWM Pulse Width Modulation

RFID Radio Frequency Identification

SCL Semiconductor Complex Limited

SD Schottky diode

SDA State Designated Agency

SIG Special Interest Group

SMS Short Message Service

SPI Serial Peripheral Interface

SRAM Static Random Access Memory

TCP Transmission Control Protocol

TDD Time Division Duplex

TIC TEL Instrument Electronics Corp

TSG Technical Specification Groups

UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

URL Uniform Resource Locator

USB Universal Serial Bus

WBAN Wireless Body Area Network

WIFI Wireless Fidelity

WLAN Wireless Local Area Network

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans cette partie, nous introduisons le contexte de ce mémoire ainsi que ses objectifs que nous nous sommes fixés, complétés par l'organisation du manuscrit.

Depuis le développement des réseaux et des systèmes sans fil, le monde cherche à les adapter pour servir l'humanité et faciliter la vie quotidienne dans tous les domaines de la vie, des domaines les plus importants comme la sécurité et la santé, aux moins importants comme les loisirs et les divertissements, et cela sera fait après avoir connecté autant de choses que possible les uns aux autres dans ce qu'on appelle l'Internet des Objets " IoT ".

La cité intelligente est l'un des domaines d'application les plus importants de l'IoT, qui est essentiellement composée de bâtiments/maisons intelligents et de rues intelligentes, ce qui permet à ses résidents de suivre immédiatement tous les changements et d'intervenir efficacement, et ce dans différents domaines tels que la santé, l'environnement, l'énergie, la sécurité, les maisons et les bureaux intelligents, ainsi que la direction, l'industrie et les transports.

Après avoir déterminé la cité intelligente comme un domaine de recherche et d'étude, nous envisagerons de mettre en place un prototype des plusieurs projets interconnectés, qui ont pour objectif de réaliser une smart cité basé sur les technologies IoT et M2M. Ce travail est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre vise à définir les technologies « IoT » et « M2M ». Dans ce cadre, nous présentons d'abord le concept de base en décrivons leurs architectures et leurs normes, leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs domaines d'application et d'utilisations.

Le deuxième chapitre présente les aspects de conception et de mise en œuvre dans l'application des villes intelligentes qui sont activées par les réseaux de capteurs sans fil intelligents et d'autres technologies utiles à l'ère de l'IdO.

Le troisième chapitre représente les environnements de développement et les différents outils utilisés pour réalisation de notre projet.

Chapitre I

L'évolution de la technologie M2M -du M2M vers l'IoT-

Dans ce chapitre, on va aborder les notions de base sur les deux technologies l'Internet des objets et la technologie M2M, en décortiquant son architecture et les composants basiques qui le constituent avec les différentes applications associées, tout en citant les enjeux les plus marquants évoqués par ces concepts.

I.1 Introduction :

Le monde est séduit par le potentiel de l'Internet des objets (IoT), et pour une bonne raison. Mais la plupart des gens ne sont pas conscients que la communication entre les dispositifs comme des systèmes de machine à machine (M2M) n'est pas un phénomène nouveau. Cette technologie existe depuis plus d'un siècle et fait partie intégrante de la vie professionnelle et personnelle, elle a fait un énorme saut dans les solutions IoT d'aujourd'hui. L'évolution des solutions de machine à machine a été constante et stupéfiante à la fois.

I.2 Présentation de la technologie M2M :

La technologie de machine à machine (M2M) comme son nom l'indique, une technique de communication qui permet aux machines d'échanger de données ou une communication qui s'effectue entre deux machines directement entre elles sans aucune intervention humaine.

Les communications M2M peuvent impliquer un grand nombre d'appareils dans un large éventail de domaines d'application, formant ainsi ce qu'on appelle l'Internet des objets (IoT). Les systèmes cellulaires jouent un rôle important dans le succès du déploiement des communications M2M. En effet, les communications cellulaires mobiles présentent plusieurs avantages, comme une infrastructure standard globale, une connectivité rentable, une installation et une maintenance faciles, en particulier pour un déploiement à court terme des applications M2M. [1]

I.3 Présentation de la technologie IoT :

L'Internet des objets sera le résultat de l'interconnexion du monde physique et d'Internet au moyen de capteurs mémoires, etc. Grâce à de telles structures, le réseau lui-même devient à la fois calculateur universel, mémoire universelle et bibliothèque ouverte de toutes les applications ; en un mot, il devient le siège d'une nouvelle forme d'intelligence collective. [2]

Certains définissent l'Internet des objets comme des objets ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer. D'autres font l'hypothèse que l'IoT représente une révolution car il permet de connecter les gens et les objets n'importe où, n'importe quand, par n'importe qui. Ces définitions, qui mettent l'accent sur la dimension ubiquitaire de l'IoT, personnifient les objets en leur attribuant intelligence et capacité de communiquer. Elles ne reflètent pas encore la dimension concrète liée aux usages de l'IoT.

Techniquement, l'Internet des objets est une extension du système de nommage Internet et traduit une convergence des identifiants numériques au sens où il est possible d'identifier de manière unifiée des éléments d'information numérique (adresses URL de sites Web par exemple) et des éléments physiques (comme une palette dans un entrepôt, ou encore un mouton dans un cheptel). Mais l'identification est directe grâce à l'utilisation d'un système d'identification électronique (puces RFID, processeur et communication Bluetooth, etc.). Il n'y a pas besoin de saisir manuellement le code de l'objet. Le réseau s'étend jusqu'à lui et permet ainsi de créer une forme de passerelle entre les mondes physique et virtuel. [3]

I.4 Normes et Architecture :

I.4.1 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) :

Les efforts de normalisation, qui a ensuite été entreprise en parallèle par des organismes de normalisation situés dans d'autres régions de mondial, a conduit à la création d'un partenariat de normalisation plus mondial, appelé oneM2M, afin de converger vers une norme internationale M2M unique qui englobe les activités des organismes internationaux de normalisation concernant M2M constitue une étape majeure vers un cadre normalisé unifié pour l'écosystème M2M/IoT.

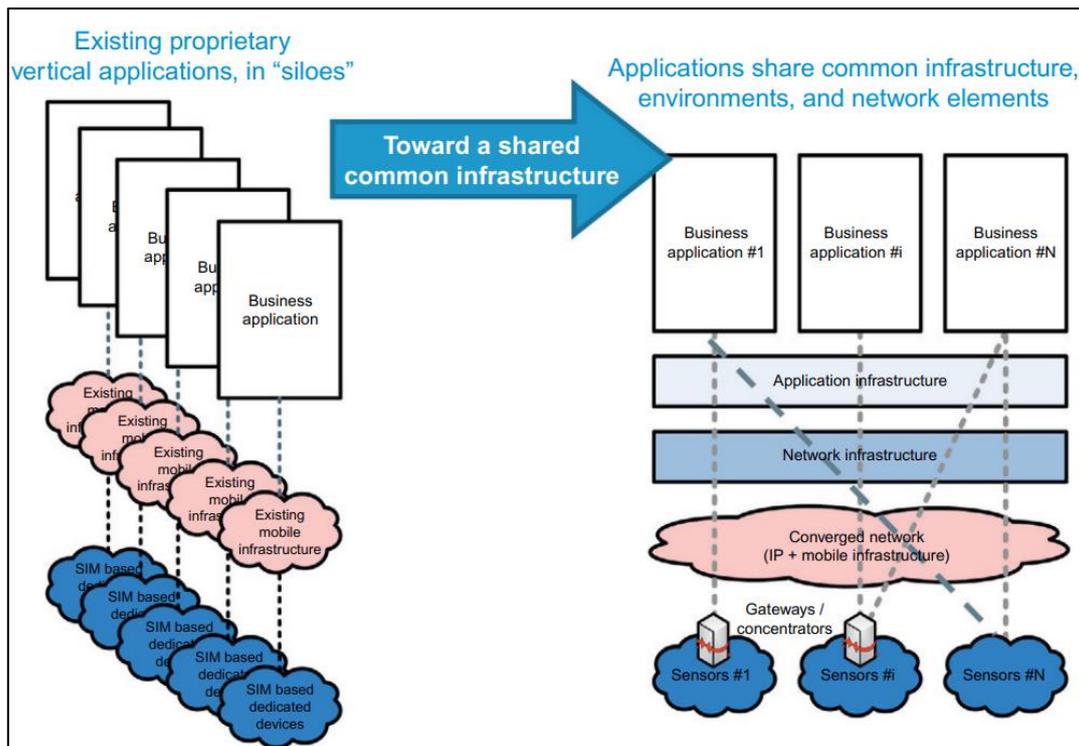


Figure 1.1 : De la situation des « silos » existants vers un cadre applicatif standardisé générique [4]

Pour permettre la communication entre un dispositif et n'importe lequel des dispositifs en réseau, il est nécessaire d'assurer l'interopérabilité. Cette dernière est garantie par le respect des normes définies par l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI), par l'entremise de oneM2M, c'est une initiative mondiale de normalisation qui couvre les exigences, l'architecture, les spécifications d'API, les solutions de sécurité et l'interopérabilité pour les technologies M2M et IoT.

1.4.2 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) :

Le 3GPP est un consortium créé en 1998 par l'European Telecommunications Standards institut e (ETSI). Le but du 3GPP est de définir des spécifications permettant l'interfonctionnement d'équipements de différents fabricants. Contrairement à ce que son nom suggère, la portée des activités du 3GPP ne se limite pas à la normalisation des systèmes 3G. Son rôle consiste à tenir à jour et à élaborer les spécifications du système :

- GSM/GPRS/EDGE ;
- UMTS (FDD et TDD) ;
- LTE, ainsi que celles du réseau central EPC.

Le 3GPP est constitué d'un groupe de coordination appelé PCG (Project Coordination Group) et de différents groupes de spécification technique appelés TSG (Technical Specification Groups). Il convient de noter que le 3GPP n'est pas un organisme de normalisation en tant que tel. Il définit des spécifications techniques qui sont alors approuvées et publiées par des organismes de normalisation régionaux, spécifiques à un pays ou une région du monde. Les modifications aux spécifications approuvées par les groupes de travail sont associées à une version. Une version est un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes 3GPP dans une période de temps donnée et représente une étape importante dans l'évolution des systèmes.

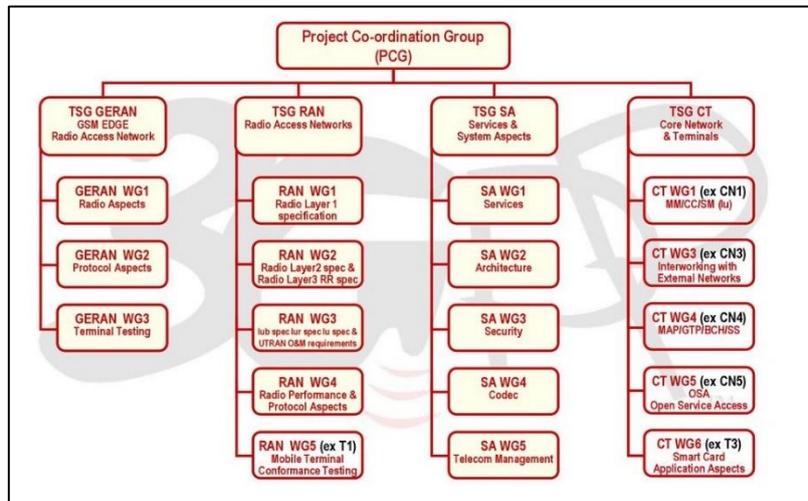


Figure 1. 2 : La structure du 3GPP

I.4.3 Architecture des réseaux de communication M2M :

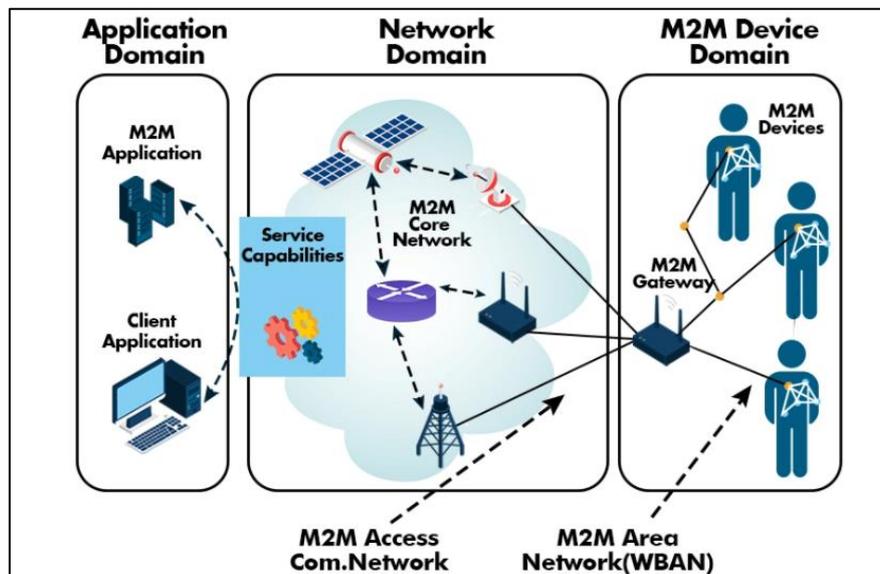


Figure 1. 3 : Architecture des réseaux M2M

I.4.3.1 Le domaine d'application M2M :

Comme son nom l'indique, le domaine d'application M2M offre des applications pour utiliser la technologie M2M de manière pratique. Les applications M2M seront basées sur les actifs infrastructurels (par exemple les facilitateurs d'accès) fournis par l'opérateur. [5]

I.4.3.2 Le domaine réseau M2M :

L'évolution rapide des systèmes de télécommunications notamment les systèmes de communications sans fil constaté fait appel à la fabrication de nouveaux dispositifs permettant d'améliorer la qualité des services. Pour standardiser cette évolution dans les systèmes de télécommunication sans fil et répondre à diverses applications de communication, des normes sont mises en place comme la norme GSM (the Global Systems for Mobile communication systems), la norme UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), la norme LTE (Long-Term Evolution) et la norme WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access). Toutes ces normes précédemment citées ont pour but de diminuer la latence dans la communication, d'augmenter le débit, de rendre meilleur le paramètre QoS (Quality of Service). [6]

Les protocoles à longue portée :

Le domaine réseau M2M agit comme un pont entre le domaine d'application M2M et le domaine de périphérique M2M. Grâce à cette évolution des systèmes de communications sans fil, il existe plusieurs types de réseaux sans fil destinés au M2M, nous trouvons :

- Le réseau GSM ;
- Le réseau UMTS ;
- Le réseau LTE ;
- Le réseau LTE-A.
- Le réseau WLAN ;
- Le réseau WIFI ;
- WIMAX ;
- Technologie LoRa/LoRaWAN.

Nous trouvons aussi le nouveau standard sans fil mondial, la 5G qui permet un nouveau type de réseau qui est conçu pour connecter pratiquement tout le monde et tous ensemble, y compris les machines, les objets et les appareils. Dont nous discuterons ci-dessous :

Le réseau 5G :

La « 5G » est une nouvelle génération de technologie de télécommunications sans fil, qui fait suite aux précédentes générations de la téléphonie mobile. Elle promet de révolutionner la façon dont le monde communique. Cette cinquième génération (5G) vise à augmenter la vitesse et la réactivité des réseaux sans fil. Avec elle, la transmission des données sur connexions haut débit sans fil pourrait atteindre, selon certaines estimations, une vitesse de 20Gbit/s, supérieure à celle des réseaux filaires, et une latence égale ou inférieure à 1ms pour les usages à boucle de retour en temps réel. La 5G, avec l'avantage de bande passante et sa technologie d'antenne avancée, ouvre aussi la voie à la croissance exponentielle des données transmises sur les systèmes sans fil. [7] Le réseau 5G est validé par l'ITU (International Télécommunication Union) et le consortium 3GPP (3rd Génération Partner hip Project). La mise en œuvre des normes devrait entrer officiellement en vigueur vers 2020. [10]

Architecture de Réseau Mobile 5G :

Les concepts 5G correspondent aux couches OSI (Open System Interconnected). Quatre couches de base sont utilisées dans 5G. Le tableau I.3 montre une comparaison entre les couches OSI et 5G. [12]

Tableau I.1 : Comparaison entre les couches OSI et 5G. [8,9]

Couche application	Application (services)
Couche présentation	
Couche session	Protocole de transport ouvert (OTP)
Couche de transport	
Couche réseau	Couche réseau supérieure
	Couche réseau inférieure
Couche liaison de données (MAC)	Architecture sans fil ouverte (OWA)
Couche physique	

A. Couches physiques / MAC : Les couches de contrôle d'accès physique et d'accès au support, à savoir la couche OSI 1 et la couche OSI 2, définissent la technologie sans fil et sont représentées sur le tableau I.3. Pour ces deux couches, les réseaux mobiles 5G seront probablement basés sur Open Wireless Architecture. [10]

- B. Couche réseau :** La couche 2 de 5G est subdivisée en couches supérieures et inférieures, comme le montre le tableau I.3 La couche réseau de la technologie 5G correspond à la couche OSI 3, qui est la couche réseau. La couche réseau sera IP (Internet Protocol), IP version 4 (IPv4) est largement répandue dans le monde. Il présente divers problèmes, tels qu'un espace d'adressage limité et aucune possibilité réelle de prise en charge de la qualité de service (QoS), ces problèmes sont résolus dans la version IPv6. [11]
- C. Couche protocole de transport ouvert (OTA) :** La couche protocole de transport ouvert est la troisième couche de la technologie 5G, qui correspond aux couches de transport et de session du modèle OSI. Les réseaux mobiles et sans fil diffèrent des réseaux câblés en ce qui concerne la couche de transport. Dans toutes les versions du protocole TCP (Transmission Control Protocol), il est supposé que la perte de paquets soit due à l'encombrement dans le réseau. Mais en raison d'un taux d'erreur binaire plus élevé dans l'interface radio, des pertes peuvent survenir dans la technologie sans fil. Par conséquent, des modifications TCP sont prévues pour les réseaux mobiles et sans fil, qui retransmettent les segments TCP endommagés uniquement sur la liaison sans fil. Pour les terminaux mobiles 5G, il conviendra de disposer d'une couche de transport pouvant être téléchargée et installée. Ces mobiles auront la possibilité de télécharger une version ciblée sur une technologie sans fil spécifique installée dans les stations de base (BS). C'est ce qu'on appelle un protocole de transport ouvert (OTP). [10]
- D. Couche application :** Cette couche est la dernière couche dans l'ordre des couches du modèle 5G et OSI. En ce qui concerne les applications, la demande ultime du terminal mobile 5G est de fournir une gestion intelligente de la qualité des services (QoS) sur une variété de réseaux. Aujourd'hui, les utilisateurs de téléphones mobiles sélectionnent manuellement l'interface sans fil pour un service Internet particulier sans avoir la possibilité d'utiliser l'historique QoS pour sélectionner la meilleure connexion sans fil pour un service donné. Le téléphone 5G offrira la possibilité de tester la qualité du service et de stocker les informations de mesure dans les bases de données d'informations du terminal mobile. [12]

Les technologies clés de la 5G :

La 5G reprend les technologies déjà utilisées avec la 4G LTE, mais se particularise sur plusieurs points très importants. Elle fait également appel à de nouvelles bandes de fréquences comme les ondes millimétriques permettant d'augmenter sensiblement le débit au détriment de la portée. En plus de cela, la 5G propose de nouvelles technologies nous citons l'utilisation du MIMO Massif.

Les ondes millimétriques :

L'utilisation de bandes millimétriques (en anglais mmWaves) constitue l'une des technologies de rupture de la 5G. Cette appellation correspond aux fréquences supérieures à 6 GHz qui n'ont encore jamais été prises en compte pour le déploiement des réseaux mobiles (fronthaul) pour des raisons de maturité technologique et de qualité de propagation. Pour répondre à l'incessante augmentation des débits et des volumes de données échangés, il est nécessaire d'utiliser de nouvelles bandes disposant de très larges canalisations (plus de 100 MHz par utilisateur). [13]

Les bandes millimétriques pourraient offrir de telles réserves de spectre et leur utilisation permettrait d'atteindre les débits de la 5G.

En contrepartie, leur utilisation impose le développement de toutes les technologies nécessaires, miniaturisées, à bas coût et avec une consommation énergétique compatible avec des terminaux portables (amplificateurs, codeurs, traitement de signal, antennes...). En particulier, à cause de la faible qualité de propagation des ondes millimétriques, chaque cellule aura une couverture réduite, ce qui nécessitera la mise en place de techniques de beamforming, décrites ci-dessous pour mieux focaliser l'énergie transmise par les antennes. [14]

Les micros- cellules :

Les petites cellules (en anglais Small cells) sont d'infimes stations de base de faible puissance qui peuvent être placées à moins de 100 m de distance pour couvrir de petites zones géographiques. Ces stations de base de faible puissance empêchent le signal de chuter dans les zones surpeuplées. Les Small cells sont très légères et petites ; ainsi, ils peuvent être placés n'importe où. Si nous utilisons des ondes millimétriques au lieu du spectre traditionnel inférieur à 6 GHz, la petite cellule peut devenir encore

plus petite et peut être installée dans des endroits minuscules. Les petites cellules joueront un rôle important dans la fourniture d'un haut débit et d'une latence ultra-faible pour la 5G. [15]

La technologie MIMO :

Cette technologie se caractérise par l'utilisation d'un nombre élevé de micro antennes « intelligentes », situées sur le même panneau (de 8 à 128 actuellement, mais le nombre augmentera avec l'utilisation de fréquences supérieures à 6 GHz).

L'intérêt d'utilisation du massive MIMO est :

- D'une part, cette technologie permet d'augmenter les débits, grâce au multiplexage spatiotemporel ;
- D'autre part, elle permet de focaliser l'énergie sur un terminal, pour améliorer son bilan de liaison, grâce à la formation de faisceau, ou beamforming. [13]

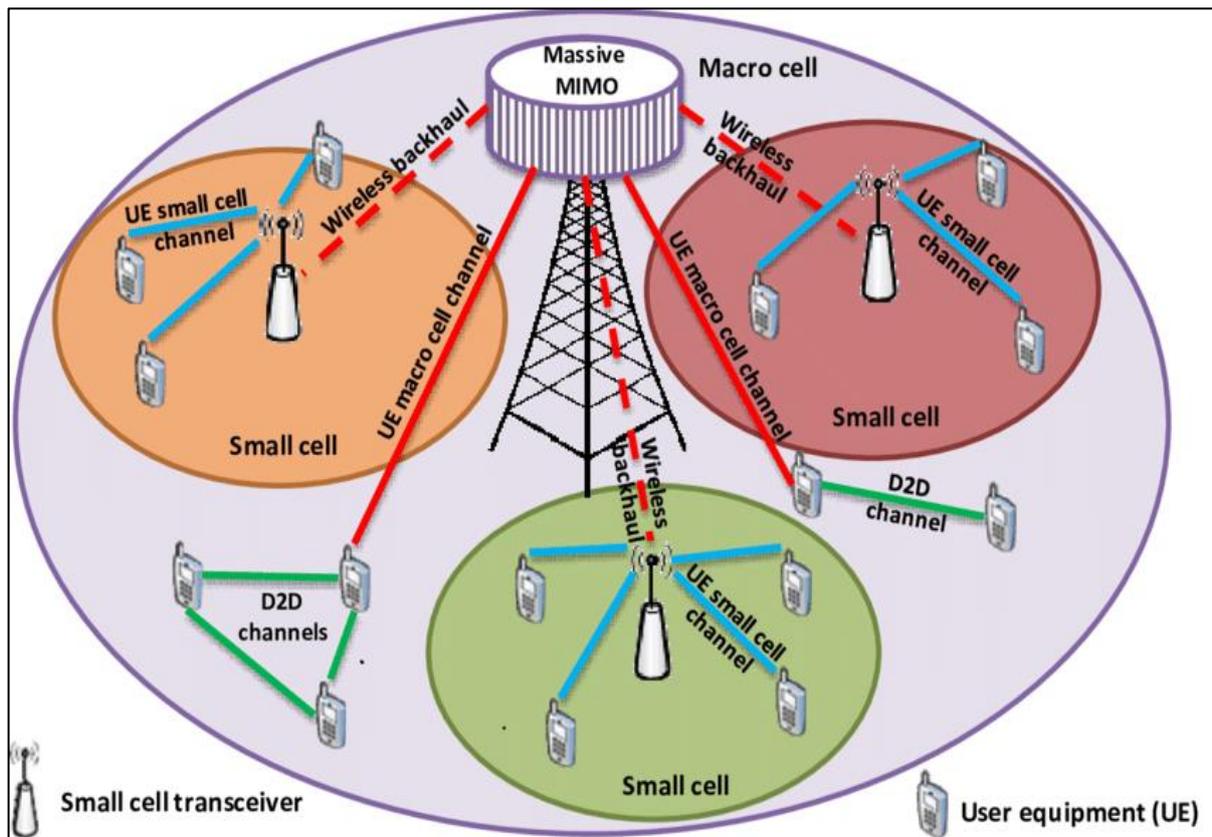


Figure 1. 4 : Architecture hétérogène de 5G avec combinaison de Massive MIMO et de petites cellules. [16]

I.4.3.3 Domaine périphérique M2M :

Le domaine de périphérique M2M contient tous les périphériques qui peuvent se connecter au réseau M2M facilement. Le domaine de périphérique peut également être appelé le réseau de zone M2M. Le domaine de périphérique M2M comprend des périphériques qui peuvent se connecter directement sur un réseau, des périphériques qui ne peuvent pas se connecter directement à un réseau et peuvent peut-être nécessiter une passerelle M2M et des périphériques propriétaires.

Les protocoles à courte portée :

Dans la famille des réseaux courte portée, on retrouve :

- WBAN/IEEE 802.15.6 ;
- Zigbee/IEEE 802.15.4 ;
- Bluetooth ;
- Z-Wave.

I.4.4 Architecture des réseaux de communication IoT :

Précisons le rôle des différents processus présentés sur ce schéma :

- **Capter** désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.
- **Concentrer** permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (e.g. WiFi) ou des dispositifs grand public.
- **Stocker** qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.
- Enfin, **présenter** indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir. [17]

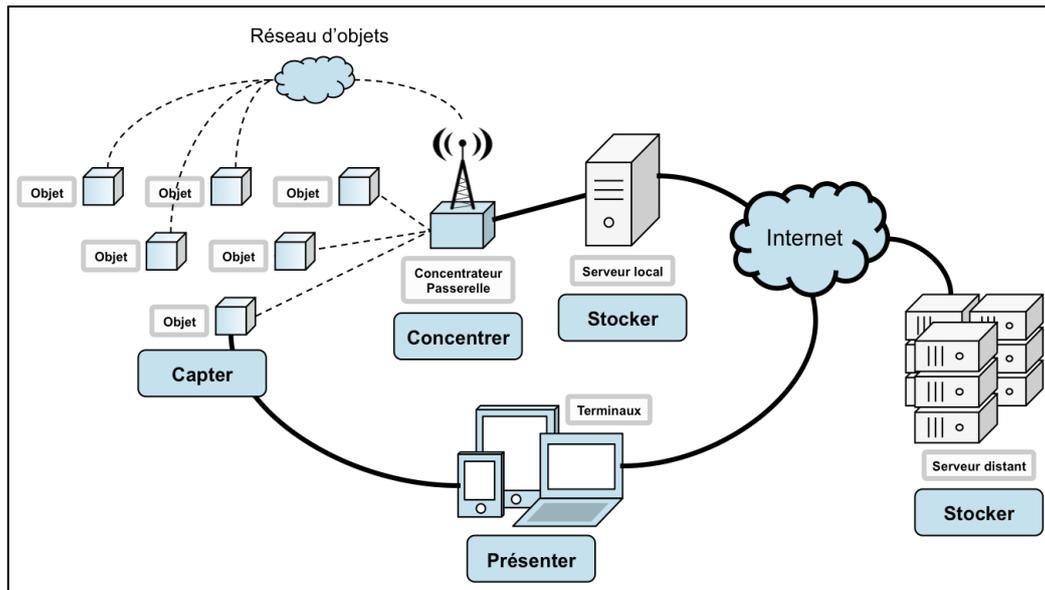


Figure 1. 5 : Le processus d'internet des objets. [17]

Deux autres processus n'apparaissent pas sur le schéma, car ils sont à la fois transverses et omniprésents :

- ◆ Le **traitement des données** est un processus qui peut intervenir à tous les niveaux de la chaîne, depuis la capture de l'information jusqu'à sa restitution. Une stratégie pertinente, et commune quand on parle d'Internet des objets, consiste à stocker l'information dans sa forme intégrale. On collecte de manière exhaustive, «big data», sans préjuger des traitements qu'on fera subir aux données. Cette stratégie est possible aujourd'hui grâce à des architectures distribuées type NoSQL, capables d'emmagasiner de grandes quantités d'information tout en offrant la possibilité de réaliser des traitements complexes en leur sein (Map/Reduce par exemple).
- ◆ La **transmission des données** est un processus qui intervient à tous les niveaux de la chaîne. [17]

D'autre manière, les composants d'un modèle d'Internet des objets sont trois couches:

La couche 1, collecter et actionner :

Cette couche se compose de :

- **Les capteurs** : ils détectent et répondent à un type d'entrée provenant de l'environnement physique en le convertissant en signaux numériques.

- **Les actionneurs** : ils exécutent des actions à des moments précis.
- **End-devices** : ils sont des petites cartes électroniques avec un microcontrôleur (μC) intégré qui a pour rôle de traiter les données venant du capteur et d'envoyer des commandes vers l'actionneur.

La couche 2, communiquer :

Cette couche comprend :

- **Les protocoles de communication.**
- **Passerelle** : pour relayer l'information entre les End-devices et l'Internet.

La couche 3, visualiser :

Cette couche comprend :

- **Les plateformes IoT Cloud** : conçues pour stocker et traiter des données volumineuses générées par les End-devices, et donnent la visualisation de ces données (tableau, graphe) pour les utilisateurs finaux.
- **L'application software** : fournit des interfaces graphiques (GUI) pour la surveillance et le contrôle des End-devices. [18]

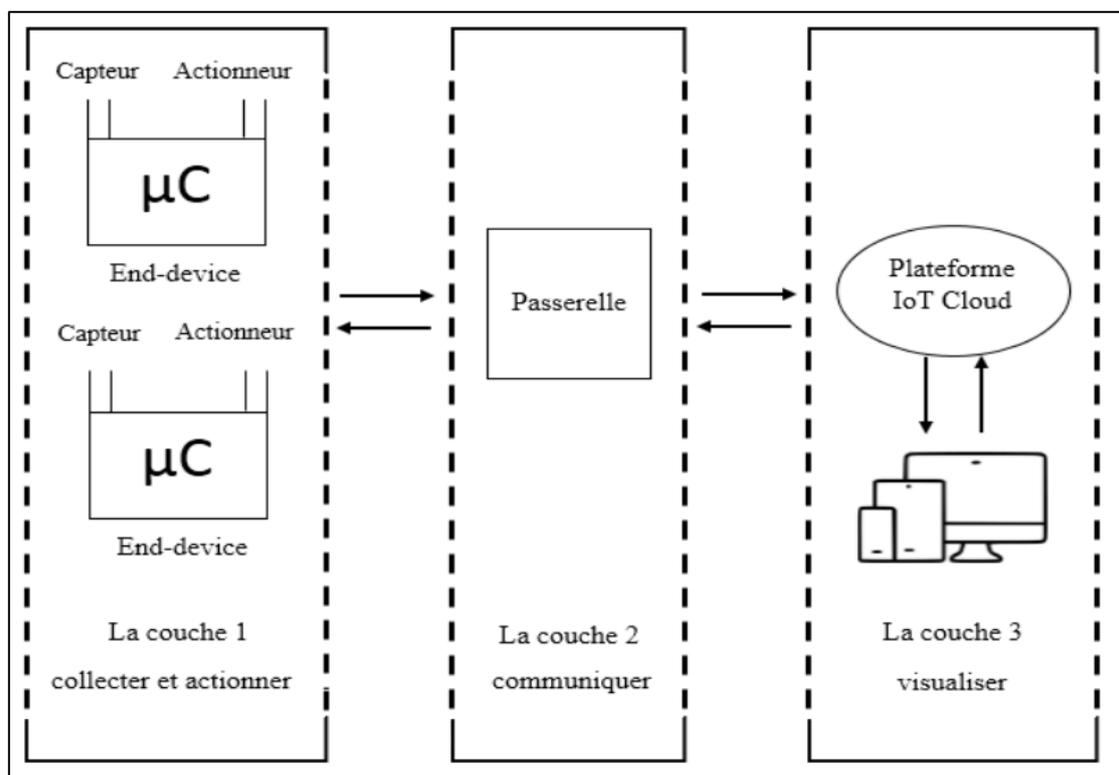


Figure 1. 6 : Les composants d'un modèle d'Internet des objets. [18]

I.4.4.1 Domaines d'application de l'Internet des objets :

L'Internet des Objets est utilisé dans divers secteurs tel que :

Ville intelligente :

Le terme villes intelligentes (Smart Cities) est utilisé pour désigner l'écosystème cyber ^[47]. Grâce à des services avancés, il est en effet possible d'optimiser l'utilisation des infrastructures physiques de la ville routière, le réseau électrique, etc.) et par conséquent, améliorer la qualité de la vie des citoyens.

La domotique :

C'est l'ensemble des techniques permettant de centraliser le contrôle des différents systèmes d'une habitation, son principe et de rendre une maison intelligente indépendante et qu'elle réfléchisse par elle-même et contrôle les différents équipements depuis une même interface (une tablette, smartphone). Tous ces principes sont possibles grâce à l'IoT qui permet de connecter les dispositifs de la maison à un réseau et de les piloter à distance, le champ d'application IoT s'étale pour toucher les villes. ^[19]

Agriculture intelligente :

Dans ce domaine, les réseaux de capteurs interconnectés à l'IdO peuvent être utilisés pour la supervision de l'environnement des cultures. ^[19] Ceci permettra une meilleure aide à la décision en agriculture, notamment pour optimiser l'eau d'irrigation, l'usage des intrants et la planification de travaux agricoles. Ces réseaux peuvent être aussi utilisés pour lutter contre la pollution de l'air, du sol et des eaux et améliorer la qualité de l'environnement en général.

Industrie intelligente :

Dans le domaine de l'industrie IoT permettra un suivi total des produits, de la chaîne de production jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnement, la lutte contre la contrefaçon, la fraude et les crimes économiques transfrontaliers.

Santé intelligente :

Dans le domaine de la santé l'IdO assurera le suivi des signes clinique des patients par la mise en place des réseaux personnels et capteurs médicaux qui surveillent les constantes biologiques, telles que la température corporelle, la pression artérielle et l'activité respiratoire. [19] D'autres capteurs portables (accéléromètres, gyroscopes, etc.) ou fixes seront utilisés pour recueillir les données permettant de surveiller les activités des patients dans leur milieu de vie. Ceci permettra ainsi de faciliter la télésurveillance des patients à domiciles et apporter des solutions pour l'autonomie des personnes à mobilité réduite.

L'environnement (environnement) :

Dans ce domaine, un rôle clé est joué par la capacité de détecter de manière repartie et autogérer les phénomènes naturels, vent, hauteur des rivières...etc. Ajoutant à cela l'intégration transparente de ces données hétérogènes. [19]

Sécurité de surveillance :

La sécurité de surveillance est devenue une nécessité pour les bâtiments d'entreprise, les centres commerciaux, les usines, les parkings et autres lieux publics. Tout en préservant la vie privée des utilisateurs. [19] Il existe plusieurs capteurs utilisés pour la surveillance par exemple il y a des capteurs ambiants qui peuvent être utilisés pour surveiller la présence des produits chimiques dangereux, des captures de surveillance du comportement des personnes pour détecter la présence des personnes qui agissent de manières suspectes.



Figure 1. 7 : Domaine d'application de l'IoT. [19]

I.4.4.2 La sécurité de l'Internet des objets :

- **La protection de la technologie** : concerne la sécurité des données, des communications et des infrastructures réseaux et leurs fonctionnalités.
- **La protection des personnes** : concerne la protection de la vie privée des usagers pour éviter des litiges causés éventuellement par l'IoT.
- **La protection des systèmes interconnectés** : hébergeant les objets de l'IoT, concerne la protection des objets eux-mêmes livrés à ces systèmes et les processus qu'ils contrôleront. [21]

I.5 Conclusion :

La technologie M2M et l'Internet des Objets sont une évolution qui permet une amélioration considérable de notre mode de vie et la façon dont les objets intelligents dans notre entourage interagissent entre eux. Tout au long de ce chapitre, on a vu les notions de base sur ces deux technologies, on a illustré et détaillé ses architectures, on a donné quelques domaines d'applications. Dans le chapitre qui suit nous expliquons le principe d'une ville intelligente.

Chapitre II

La ville intelligente et l'intelligence connectée

L'un des thèmes les plus importants des systèmes IoT, les Smart Cities qui ont émergé pour relever intelligemment les défis majeurs de notre vie quotidienne. Ces défis peuvent varier du coût et de l'efficacité énergétique à la disponibilité et à la qualité du service. Ce chapitre se concentre sur les aspects de conception et de mise en œuvre dans l'application des villes intelligentes qui sont activées par les réseaux de capteurs sans fil intelligents et d'autres technologies utiles à l'ère de l'IdO.

II.1 Introduction :

Selon la Commission européenne, une smart city désigne « un endroit dans lequel les services et les réseaux existants deviennent plus efficaces. Ceci implique le recours à des technologies de communication et à des outils numériques pour le bénéfice des citoyens et des entreprises ». Ainsi, pour qu'une ville devienne smart, il faut disposer et diffuser de nouvelles solutions technologiques. D'ailleurs, ce dernier permet d'atteindre un niveau de développement élevé en milieu urbain ainsi qu'une qualité de vie améliorée pour les citoyens.

Pour recueillir en temps réel des données, les smart cities utilisent l'IoT. Afin de concrétiser la perspective d'une connexion de millions d'appareils, il est nécessaire de veiller à ce que les normes IoT assurent à la fois la polyvalence et l'évolutivité. [22]

II.2 Villes intelligentes :

II.2.1 Qu'est-ce qu'une ville intelligente ?

Il n'existe pas de définition unique du concept de « ville intelligente ». Toutefois, une ville intelligente est un ensemble de solutions technologiques visant à optimiser les zones urbaines grâce au traitement et à l'analyse de données.

Une ville devient « intelligente » lorsqu'elle peut combiner et centraliser les données et les processus technologiques pour optimiser le fonctionnement de tous ses services pour un développement économique durable, la résilience et la qualité de vie. Ainsi, le terme « ville intelligente » est utilisé pour les villes qui développent les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité des services urbains. Par conséquent, les villes intelligentes devraient être capables de gérer des infrastructures connectées, adaptables, durables et plus efficaces, en s'automatisant pour améliorer la qualité de vie des citoyens, tout en respectant l'environnement.

II.3 Les critères caractéristiques de la smart city :

Selon Rudolf Giffinger, expert en recherche analytique sur le développement urbain et régional à l'université technologique de Vienne, les villes intelligentes peuvent être classées d'après six critères principaux, liés aux théories régionales et néoclassiques de la croissance et du développement urbain et respectivement fondés sur les théories de la compétitivité régionale, l'économie des transports et des technologies de l'information et de la communication, les ressources naturelles, les capitaux humains et sociaux, la qualité de vie et la participation des citoyens à la vie démocratique de la ville. Alors, afin de pouvoir évaluer et classer les villes selon leur niveau d'intelligence : Économie intelligente, Citoyen intelligent, Gouvernance intelligente, Mobilité intelligente, Environnement intelligent, Vivre intelligent. [22]

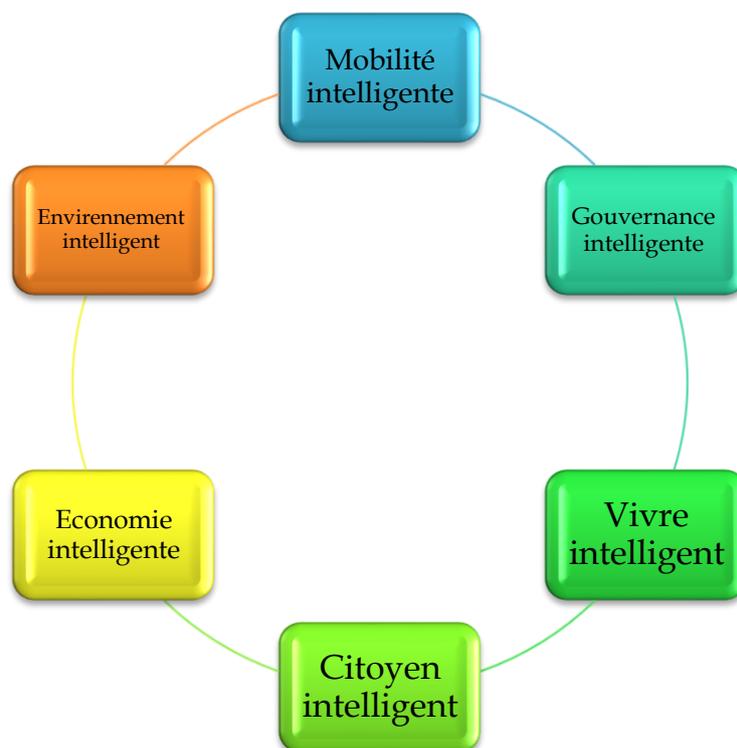


Figure 2. 1 : Six critères principaux de la Ville intelligente

II.3.1 Mobilité intelligente :

Le transport a été l'un des premiers secteurs à intégrer des dispositifs numériques pour mieux gérer les flux dans la ville. Mobilité intelligente est définie comme « l'application des TIC aux transports. Les technologies utilisées varient et permettent de gérer des équipements (afficheurs dynamiques, radars), de communiquer sans fil, de localiser des produits ou des voyageurs (GPS, et Radio Frequency Identification RFID) ou encore d'enregistrer des données (capteurs, caméras). Elle regroupe des acteurs de secteurs très différents : les transports (de personnes ou de biens), le numérique (TIC), l'industrie (constructeurs, équipementiers), l'énergie ou encore l'environnement ». [23]

Une mobilité intelligente permet de réduire l'empreinte environnementale, écologique, et optimiser l'utilisation de l'espace urbain et elle permet aussi aux citoyens d'optimiser son temps, éviter des déplacements inutiles, accéder à l'information de transports publics et diminuer la contamination.

Des exemples de cette mobilité intelligente sont :

II.3.1.1 Les voitures électriques :

La voiture électrique a été souvent considérée comme une technologie pleine d'avenir et qui donne des espérances pour mettre fin à cette pollution alarmante de l'atmosphère due au secteur de transport routier, capable de prendre une importante part de marché, mais qui n'y est pas arrivée. Cet échec s'explique principalement par la concurrence, disposant d'une technologie bien établie : le moteur à explosion, qui a profité des économies d'échelle, du faible coût du carburant et des subsides.

Conçues pour lutter efficacement contre la pollution, les véhicules électriques sont, malheureusement, freinés par leurs coûts élevés, leur autonomie limitée qui dépend de la capacité des batteries, le manque d'investissements et d'autres problèmes critiques qui handicapent cette invention. L'idée du véhicule électrique n'est pas récente et pourtant sa structure interne n'est pas figée. Plusieurs solutions sont actuellement en développement. La recherche dans le domaine des batteries est importante et donne lieu à de nombreux prototypes. [24]



Figure 2. 2 : Voitures électriques, énergie solaire et propre | Tesla [25]

II.3.1.2 Gestion intelligente du trafic :

La gestion du trafic routier s'inscrit dans le domaine des systèmes de transport intelligents (STI) (*en anglais Intelligent Transportation Systems (ITS)*) désignent les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication au domaine des transports. On les dit "Intelligents" parce que leur développement repose sur des fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif. On trouve les STI dans plusieurs champs d'activité : dans l'optimisation de l'utilisation des infrastructures de transport, dans l'amélioration de la sécurité (notamment de la sécurité routière) et de la sûreté ainsi que dans le développement des services.

L'utilisation des STI s'intègre aussi dans un contexte de développement durable : ces nouveaux systèmes concourent à la maîtrise de la mobilité en favorisant entre autres le report de la voiture vers des modes plus respectueux de l'environnement. Ils font l'objet d'une compétition économique serrée au niveau mondial. [27]

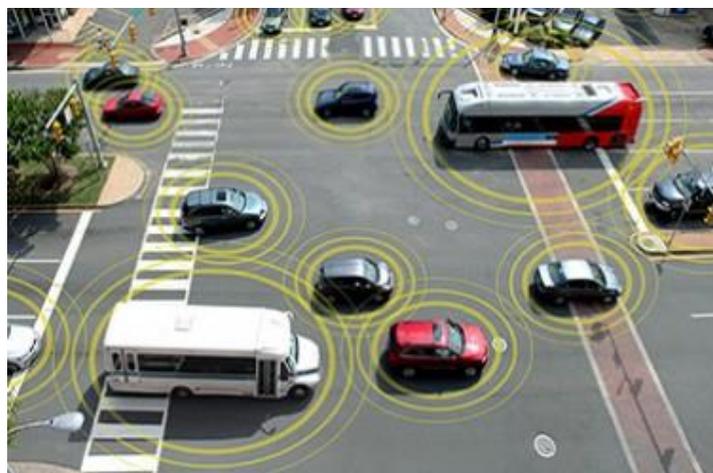


Figure 2. 3 : Systèmes de transport intelligents [27]

II.3.1.3 Stationnement intelligent :

Le stationnement intelligent, ou smart parking est une application de technologies moderne qui permet d'éliminer de beaucoup besoins en peu de temps, et ceci est limité à la facilité de circulation et à la sécurité routière, aux places de réservation et aux différents moyens de paiement avec amélioration et la rapidité se faisant.

Le principe consiste à équiper chaque place de stationnement d'un capteur intelligent capable de détecter la présence d'un véhicule et d'informer en temps réel que la place est libre ou occupée. Le capteur est complètement autonome et ne nécessite donc aucune infrastructure à proximité, ce qui réduit les coûts d'investissement et surtout de maintenance. Il s'installe directement dans la chaussée, au centre de chaque place de stationnement, en moins de 10 minutes. [28]

Parmi ces technologies, vous pouvez réserver et payer de différentes façons, de manière intelligente et parmi ces méthodes, cartes à puce (smart cards), cartes sans contact, cartes de crédit/débit...etc. ces technologies rendent le stationnement plus attrayant et populaire, encourageant le développement et le paiement.

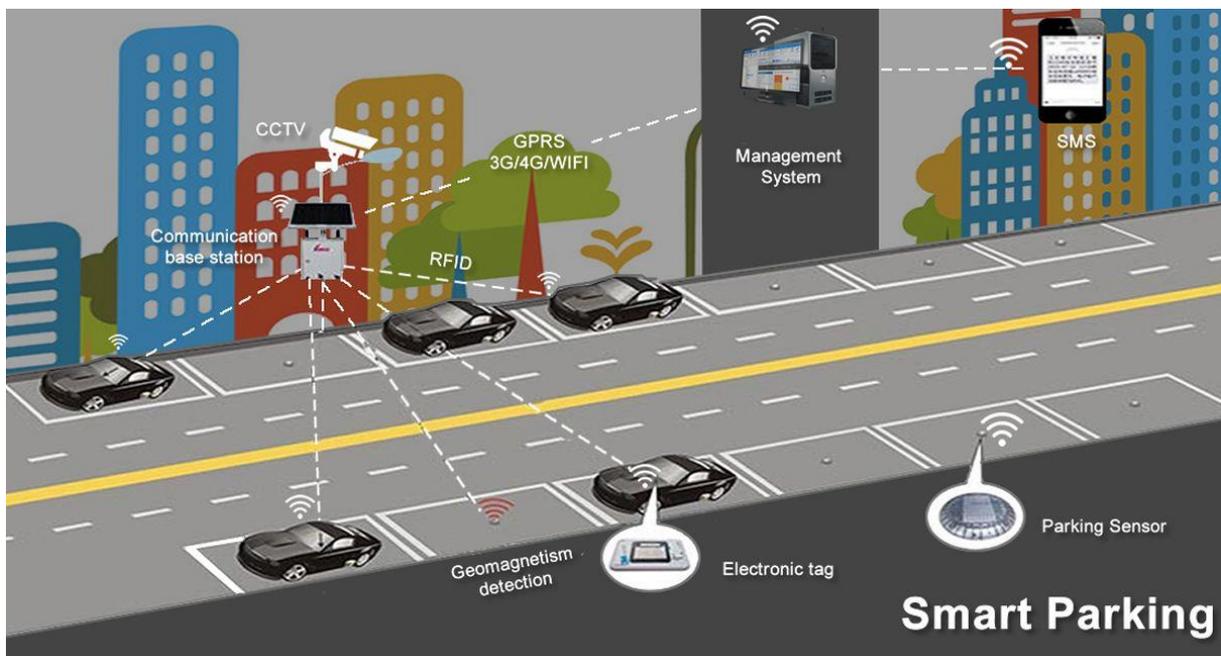


Figure 2. 4 : Stationnement intelligent, ou smart parking [29]

II.3.2 Gouvernance intelligente :

Le concept de gouvernance est défini par l'Organisation des Nations Unies [ONU] (2012), comme l'exercice d'une autorité économique, politique et administrative pour gérer les affaires d'un pays (ou d'une ville) à tous les niveaux - les mécanismes, les processus et les institutions à travers lesquelles les citoyens et les groupes articulent leurs intérêts, exercent leurs droits légaux, rencontrent leurs obligations et arbitrent leurs différences. [30]

La transformation des territoires en villes intelligentes pose de nombreuses questions en matière de gouvernance et sur la place des différents acteurs de l'espace public. A l'heure de l'implantation du numérique dans tous les aspects de la vie quotidienne, l'Etat et les collectivités territoriales doivent adapter leur gouvernance aux nouvelles attentes des citoyens. [31]

C'est pour cela, la gouvernance doit devenir collaborative, plus connectée et plus transparente en utilisant les outils technologiques. La gouvernance intelligente est définie comme une « gouvernance qui repose sur la bonne gestion de la multiplicité d'informations recueillies à travers l'utilisation des TIC. Elle fait appel à une plus grande transparence et une plus grande ouverture envers les citoyens. Les municipalités doivent numériser l'ensemble de leurs services en les intégrant au sein d'une plate-forme en ligne ouverte au public, la démarche « Open Data » est l'un des volets majeurs d'une gouvernance intelligente » L'Institute de la Smart City définit la gouvernance intelligente comme suit « La dimension gouvernance intelligente correspond aux services et aux interactions qui lient et intègrent les organisations publiques, privées, civiles et européennes afin que la ville fonctionne plus efficacement ». [32]

L'objectif de la gouvernance intelligente est de remettre le citoyen au cœur de la cité, il est nécessaire d'être à l'écoute de ses besoins, de développer une communication efficace vers l'ensemble des administrés, et d'encourager la participation citoyenne en développant une e-gouvernance pour la prise de décision participative. En outre, rendre accessible l'information institutionnelle en ligne et promouvoir l'ouverture et la mise à disposition de l'information complète participe à

l'objectif de transparence défendu par la gouvernance intelligente. [31] Et permettre de sortir des politiques de silo pour aller vers une réelle transversalité avec un retour du citoyen au cœur de la ville.

II.3.3 Vivre intelligent :

II.3.3.1 La télésanté :

La télésanté est actuellement sous le feu des projecteurs en raison de la pandémie de COVID-19. Les médecins et les infirmières doivent faire face aux blessures et aux maladies habituelles en plus de COVID-19. En plus, ils doivent le faire à distance dans de nombreux cas.

La technologie 5G est nécessaire pour mieux répondre aux quantités d'informations de télésanté générées. Elle est en train de devenir un **agent de changement en médecine préventive** grâce à son impact sur les appareils portables. Elle permet des volumes de données plus élevés et des taux de transmission de données plus rapides lors du traitement des informations de santé. Cette technologie changera la façon dont les soins de santé préventifs sont pratiqués.

Dans le cadre de la pandémie actuelle, il est devenu inévitable que la technologie soit continuellement exploitée pour :

- La recherche des contacts;
- La surveillance de la température ;
- La réduction de la propagation des virus. [21]



Figure 2. 5 : La téléconsultation [33]

II.3.3.2 L'architecture :

Qu'est-ce qu'une maison intelligente ?

Les maisons intelligentes présentent un scénario complexe avec de nombreuses situations et applications possibles. Les anciennes technologies cellulaires peuvent rester dominantes pendant plusieurs années. Toutefois, les connexions filaires ne sont pas pratiques à installer. Dans de tels cas, la 5G devient disponible, elle intègre naturellement l'infrastructure des maisons intelligentes.

Ainsi, les immeubles dotés de capteurs de température pour mesurer la consommation de chaleur reposent sur la connectivité Wi-Fi. Cette dernière peut se révéler inégale et vulnérable aux cybermenaces. [21]

Exemples des maisons intelligentes :

A l'origine, la domotique avait donc pour but d'automatiser sa maison : ouverture et fermeture automatiques des volets, ouverture du portail électrique, gestion du chauffage, gestion de l'éclairage, etc.

Ainsi avant l'ère des SMARTPHONES, il était par exemple possible d'activer son chauffage à distance en passant un coup de téléphone à sa maison, ou encore en lui envoyant un SMS. C'était tout à fait réalisable. Seulement une telle installation était relativement compliquée à mettre en place et, il faut bien l'avouer, couteuse. Pourtant, ce domaine a énormément évolué et il existe de nombreuses solutions simples à mettre en place et tout à fait abordables pour le grand public. [34]



Figure 2. 6 : Fonctions de la domotique. [35]

Confortabilité :

Dans les secteurs public et privé, la pandémie a entraîné une augmentation massive des travailleurs à distance et une demande de technologies interactives hautes performances. Cependant, les gens ont rencontré des obstacles technologiques pour travailler à distance :

- Services Wi-Fi imprévisibles ;
- Vitesses de téléchargement lentes ;
- Appels vidéo de mauvaise qualité.

Ces problèmes ont rendu difficile l'interaction en ligne avec des collègues, des clients et des partenaires commerciaux. "La 5G sera **100 fois plus rapide et 5 fois plus réactive** que les réseaux d'aujourd'hui", selon la Consumer Technology Association. Ce saut technologique présente une opportunité pour la 5G de moderniser le travail à distance. Au cours des cinq prochaines années, la 5G permettra à la main - d'œuvre de se répartir davantage. Vous pouvez être n'importe où et avoir accès à une bande passante illimitée. [21]

II.3.4 Citoyen intelligent :

II.3.3.3 Éducation :

Dans le secteur de l'éducation, les fermetures d'écoles dues à la pandémie ont perturbé les pratiques d'enseignement traditionnelles. Cela a accru la demande de services vidéo, numériques et multimédia. Les experts en éducation affirment que le remplacement de l'enseignement traditionnel en classe par des alternatives numériques peut **augmenter la rétention jusqu'à 60 %** et rendre l'enseignement plus efficace en permettant aux enseignants de se concentrer sur la prestation des cours, tout en permettant aux étudiants de travailler à leur propre rythme. [21]

Les nouvelles technologies offrent des possibilités **d'améliorer l'expérience d'apprentissage**. En effet, elles facilitent l'accès aux services Internet et à large bande, aux salles de classe virtuelles, aux vidéoconférences. En outre, elles permettent d'utiliser des applications d'apprentissage dans le cloud et de transférer des fichiers volumineux. Grâce à une collaboration public-privé pour développer des solutions 5G, les étudiants peuvent bénéficier d'une nouvelle génération d'apprentissage en ligne immersif et engageant.



Figure 2. 7 : L'enseignement à distance. [36]

II.3.5 Economie intelligente :

Le concept de l'économie intelligente est très large puisqu'il représente la dimension économique dans la smart city. Face à l'intégration des technologies du futur dans l'industrie, à l'avènement de plateformes numériques, et à la révolution industrielle induite par l'IoT, de nouveaux besoins et de nouvelles attentes se sont inévitablement créés dans les mentalités des consommateurs. [37]

II.3.5.1 L'industrie intelligente :

L'Internet industriel des objets (IIoT), qui est à la base de la Smart Factory, fournit une connectivité pour les usines intelligentes, les machines, l'infrastructure industrielle, les systèmes de gestion, et plus encore, afin de rationaliser les opérations commerciales, de créer des auto-optimisations des équipements et des installations industrielles. Un certain nombre de défis liés à la gestion de l'équipement et des ressources, à la sécurité et à la sûreté des personnes, peuvent être relevés grâce à des solutions IIoT innovantes.

Elle représente un domaine d'application en croissance rapide de réseaux étendus de faible puissance (LPWA) comme LoRaWAN, en raison de ses capacités de puissance exceptionnellement faibles parfaitement adaptées au monde de l'automatisation industrielle, permettant des services innovants pour améliorer l'efficacité, la fiabilité et la disponibilité des procédés et des produits industriels. [38]

II.3.5.2 L'agriculture intelligente :

L'Internet des objets a fourni non seulement un moyen de mieux mesurer et contrôler les facteurs de croissance, comme l'irrigation et les engrais, sur une ferme, mais il va changer la façon dont nous voyons l'agriculture dans son ensemble.

Qu'est-ce qu'une ferme intelligente ?

L'agriculture intelligente est un concept émergent qui fait référence à la gestion des fermes à l'aide de technologies de l'information et de la communication modernes pour augmenter la quantité et la qualité des produits tout en optimisant le travail humain requis.

Parmi les technologies disponibles pour les agriculteurs actuels figurent :

- ◆ **Capteurs** : sol, eau, lumière, humidité, gestion de la température ;
- ◆ **Logiciels** : solutions logicielles spécialisées qui ciblent des types de fermes précis ou qui utilisent des plateformes IdO sans analyse de cas ;
- ◆ **Connectivité** : cellulaire, LoRa, etc. ;
- ◆ **Emplacement** : GPS, satellite, etc. ;
- ◆ **Robotique** : tracteurs autonomes, installations de traitement, etc.
- ◆ **Analyse de données** : solutions d'analyse autonomes, pipelines de données pour les solutions en aval, etc.

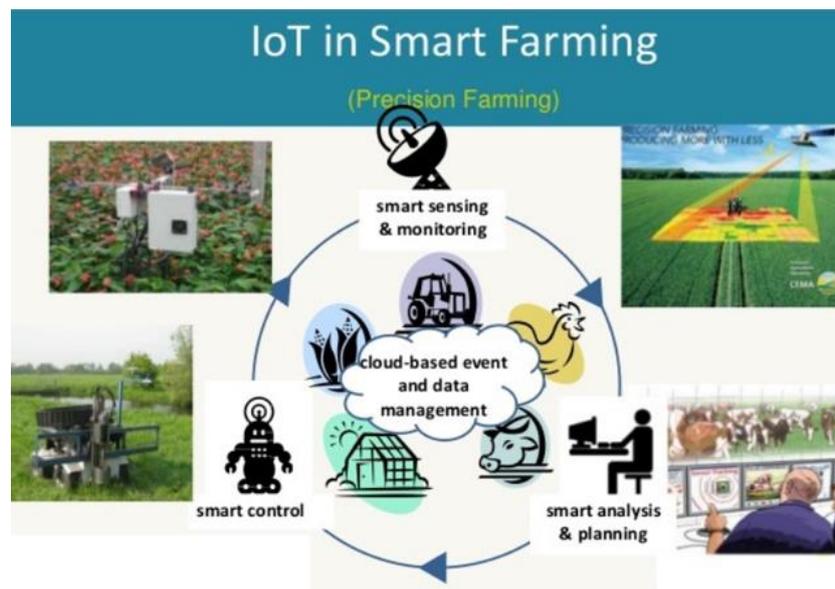


Figure 2. 8 : L'agriculture intelligente. [39]

Solutions d'agriculture intelligente :

Que ce soit les grandes entreprises de semences qui pratiquent généralement l'agriculture contractuelle où les agriculteurs, la plupart aimeraient surveiller les fermes à distance. Les solutions agricoles intelligentes permettraient aux utilisateurs de surveiller et de contrôler leur équipement d'irrigation, de gérer les fermes plus efficacement en termes d'utilisation des ressources comme les engrais, les semences et l'eau, et de surveiller les conditions agricoles en temps réel. Cela aidera les agriculteurs à détecter les incohérences, à réduire les défis opérationnels et à être plus rentables. L'agriculture de précision utilise des technologies comme les capteurs, le GPS, le SIG et les drones pour mesurer la variabilité spatiale, communiquer les conditions agricoles, planifier l'irrigation et la récolte, et ainsi éliminer l'intervention humaine dans une large mesure.

Dans l'agriculture de précision basée sur les capteurs, les données des capteurs peuvent être partagées avec les parties prenantes soit via le serveur local ou le cloud, en fonction de la fiabilité du réseau de communication et de la connectivité Internet. Ces données sont accessibles via des téléphones intelligents, et des applications conviviales peuvent être utilisées pour les représenter dans un format simple et clair. Toutefois, pour encourager les fournisseurs d'adoption, il se peut qu'ils aient à travailler sur le coût d'achat initial élevé. [40]

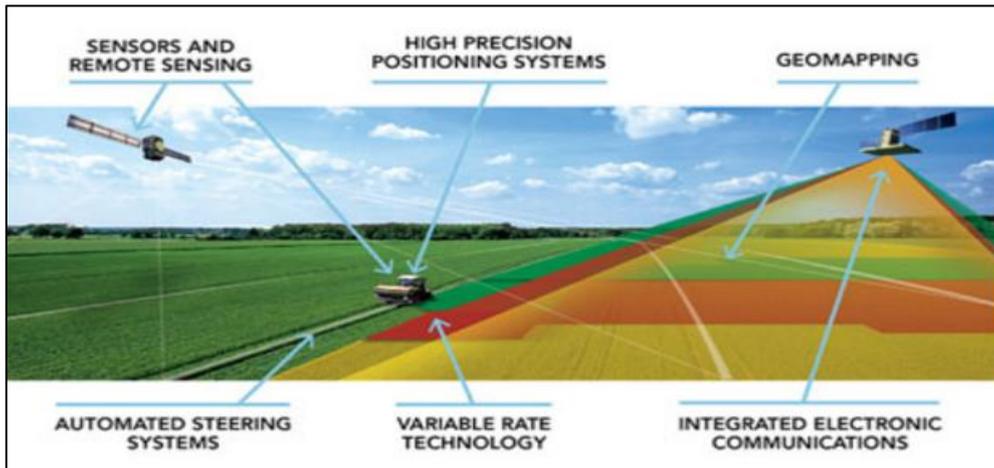


Figure 2. 9 : Agriculture de précision - Technologies et concepts clés [40]

II.3.5.3 Le tourisme intelligent :

Le tourisme est l'une des composantes majeures de la croissance économique des collectivités du monde entier. Une exigence clé du tourisme a été d'attirer de plus en plus de touristes de différentes parties du monde. Le tourisme intelligent fait référence à l'application des technologies de l'information et de la communication, pour développer des outils et des approches innovants pour améliorer le tourisme.

Le tourisme intelligent repose sur des technologies de base telles que les TIC, la communication mobile, le cloud computing, l'intelligence artificielle et la réalité virtuelle. Il soutient les efforts intégrés dans une destination pour trouver des moyens innovants de collecter et d'utiliser des données dérivées de l'infrastructure physique, de la connectivité sociale et des sources organisationnelles, et des utilisateurs en combinaison avec des technologies de pointe pour augmenter l'efficacité, la durabilité, les expériences. [41]

Destinations touristiques intelligentes :

Toute destination peut être une destination touristique intelligente si elle se compose des éléments suivants :

- **Intelligence douce** : Comprend les collaborations, l'innovation et le leadership ; [43]
- **Intelligence dure** : Fait référence à toutes les technologies et infrastructures ; [43]

Cependant, la disponibilité de l'un des éléments ci-dessus ne constitue pas une destination intelligente. Cela dépend de la disponibilité de *hardsmartness* qui permet l'amélioration du capital humain et des décisions intelligentes basées sur l'application de la technologie et de l'infrastructure.

Le tourisme intelligent requiert les attributs suivants :

- ◆ Environnements technologiques embarqués ;
- ◆ Processus réactifs aux niveaux micro et macro ;
- ◆ Appareils de l'utilisateur final ;
- ◆ Parties prenantes qui utilisent activement les plateformes intelligentes.

II.3.6 Environnement intelligent :

L'environnement intelligent est les solutions intelligentes pour l'environnement consistant en des systèmes intelligents pour gérer la qualité de l'environnement, l'irrigation, les déchets, le photovoltaïque, l'éclairage, la station météorologique et l'approvisionnement en eau. Son objectif est d'améliorer l'efficacité énergétique et la qualité de l'environnement dans les villes.

II.3.6.1 Ports intelligents :

Les ports font partie de systèmes de transport de plus en plus étendus et de chaînes d'approvisionnement avec une logistique de plus en plus complexe. Ils sont actuellement dans une position unique pour exploiter le potentiel de la haute technologie et ainsi améliorer leur compétitivité. Ils peuvent collecter des données du monde entier, pour obtenir des informations sur le trafic maritime et les conditions les plus appropriées pour le chargement et le déchargement des marchandises. Grâce à ce type d'action, il est possible d'établir des temps exacts pour la mise en circulation des

conteneurs et de mesurer les forces impliquées dans le trajet afin de répartir plus efficacement les charges.

En outre, les navires entrants et sortants peuvent être gérés de façon continue et transparente, définir avec précision la capacité des conteneurs sur chaque navire et prévenir la perte de marchandises avec le suivi automatique. [44]

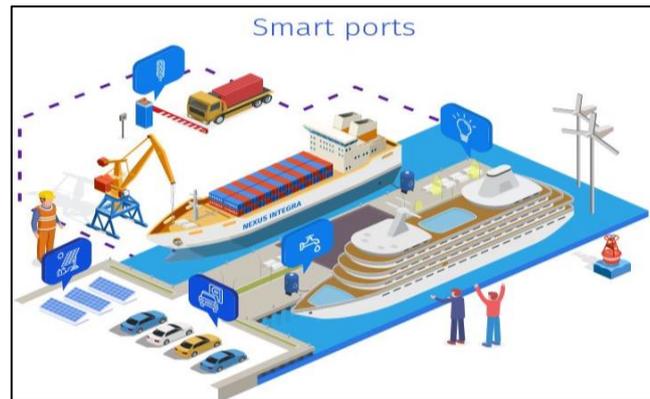


Figure 2. 10 : Ports intelligents [44]

II.3.6.2 Gestion de l'énergie :

Un réseau électrique intelligent (Smart grid – SG) comprend des composants de production, de transport, de distribution et de consommation d'électricité hétérogènes et distribués. Il s'agit de la prochaine génération de réseau électrique en mesure de gérer la demande en électricité (consommation/production/distribution) de manière durable, fiable et économique en tenant compte de la pénétration des énergies renouvelables (solaire, éolien, etc.).

Par conséquent, un réseau intelligent SG inclut également une couche intelligente qui analyse les données fournies par les consommateurs ainsi que celles qui sont recueillies du côté production afin d'optimiser la consommation et la production en fonction des conditions météorologiques, du profil et des habitudes du consommateur. En outre, ce système peut améliorer l'utilisation de l'énergie verte grâce à la pénétration des énergies renouvelables et à la réponse à la demande.

Un réseau intelligent SG présente plusieurs problèmes et défis de recherche qui doivent être résolus pour améliorer l'efficacité énergétique des producteurs d'énergie traditionnelle/renouvelable grâce à la participation des utilisateurs, pour faciliter la pénétration (intégration) des systèmes d'énergie renouvelable distribués/centralisés dans les réseaux électriques afin de réduire la charge de pointe par l'utilisation de stratégies efficaces de réponse à la demande, équilibrer et optimiser la production ainsi que la consommation, renforcer la protection du réseau et la cybersécurité, etc. [45]

II.3.6.3 Prévisions météorologiques :

Les systèmes de surveillance du climat se sont améliorés dans de nombreux domaines en raison de la croissance rapide de la technologie et de la révolution technologique concurrentielle. Les changements climatiques et la surveillance environnementale ont récemment suscité beaucoup d'attention. L'homme désire être informé sur les conditions météorologiques les plus récentes de n'importe quel endroit. Étant donné que le monde évolue à un rythme si rapide, les stations de surveillance météorologique devraient faire de même. [46]

De nombreux systèmes urbains sont régulièrement influencés par les conditions météorologiques, des systèmes allant de l'énergie et de l'eau, à l'assainissement, aux transports, aux soins de santé, aux parcs et aux loisirs, aux services de police et ainsi de suite. Ajoutez les événements météorologiques extrêmes, et la liste s'allonge pour inclure la prévision, la préparation et l'intervention en cas d'événement ou de catastrophe.

Bon nombre d'entre elles, y compris la gestion des catastrophes, font l'objet d'innovations dans les villes intelligentes. Il n'est donc pas surprenant qu'en cherchant à améliorer et à optimiser ces systèmes, les villes intelligentes commencent à comprendre le lien entre la météo et bon nombre de leurs objectifs. Un certain nombre de fournisseurs (par exemple, IBM, Schneider Electric, et d'autres) offrent maintenant des services axés sur les données météorologiques axés spécifiquement sur les intérêts des villes intelligentes.

Par exemple :

- Dans le domaine de l'énergie, la prévision de la demande, le rendement en énergie renouvelable et les pannes liées aux tempêtes, pour permettre la configuration et la gestion du réseau, y compris la gestion de la demande et de l'intervention ;
- Avec les systèmes d'eau, la prévision de la demande, la gestion des activités d'irrigation et le contrôle de tâches telles que le vieillissement et le mélange de l'eau, le dosage chimique et le traitement des eaux usées ;

- Dans le domaine des transports, des contrôles adaptatifs de la circulation et de l'acheminement, des estimations du temps de conduite, de l'élimination et de la gestion du parc de véhicules et de la sécurité routière ;
- En gestion de l'environnement, prévision de la pollution atmosphérique (ozone, particules, NoX) et de la pollution de l'eau ;
- Prévision et gestion des perturbations, par exemple de la pluie ou de la neige et à l'autre extrémité de la fourchette, prévision des phénomènes météorologiques violents qui entraînent des risques et des dommages.

II.4 Conclusion :

A travers ce chapitre, nous constatons qu'une ville intelligente est le résultat d'une création des systèmes connectés intelligents pour des zones urbaines offre de nombreux avantages aux citoyens, non seulement pour améliorer la qualité de vie, mais aussi pour assurer la durabilité et la meilleure utilisation possible des ressources, il est impératif d'avoir les six critères principaux de Rudolf Giffinger ainsi que l'utilisation des technologies de l'information et de communication dans ses infrastructures, services et mode de vie des citoyens pour répondre aux besoins de sa population, mais aussi pour améliorer la qualité de vie. En effet, la transformation numérique d'une ville doit permettre de répondre au désir de résider au sein d'une ville intelligente, propre et dynamique, qui devient éco responsable et permet un enrichissement financier grâce à une meilleure gestion des coûts et des ressources. Comme, nous affirmons qu'il y a une forte relation entre la ville intelligente et la ville durable par l'exploitation de l'intelligence artificielle, pour la durabilité de la ville et le bien de ses habitants.

Chapitre III

Réalisation et implémentation

Dans ce dernier chapitre nous allons mettre au point un prototype d'une cité intelligente interconnectée. Pour être plus précis, nous allons implanter sept projets intelligents dans une maquette qui sont : le stationnement intelligent, le tracker solaire intelligent, l'éclairage public intelligent, le détecteur de séisme, le système de contrôle intelligent des passages à niveau, la détection d'objets et de visages, la station météorologique.

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous exposerons le processus de réalisation d'une cité intelligente. Au premier lieu, nous allons présenter le matériel nécessaire à la conception de notre projet, puis nous expliquerons les différents capteurs et composants qui seront utilisés ainsi que leur mode de fonctionnement, ensuite nous allons procéder au branchement qui sera placé dans la maquette, aussi nous allons présenter tout logiciel utilisé pour la réalisation soit de programmation ou de réalisation de la maquette. Enfin nous allons présenter la maquette après avoir installé toutes les fournitures électroniques et techniques.

III.2 Présentation du projet :

La conception de notre projet est l'une des étapes les plus importantes pour l'analyse des composants et données de la réalisation, elle vise à faire une étude complète qui donne l'image finale de la réalisation de notre cité intelligente, donc elle nous a permis ensuite de visualiser, décider et de diviser la réalisation en sept projets complémentaires dont nous citons :

- Stationnement intelligent ;
- Tracker solaire intelligent ;
- Eclairage public intelligent ;
- Détecteur de séisme ;
- Système de contrôle intelligent des passages à niveau ;
- Détection d'objets et de visages ;
- Station météorologique.

III.3 Matériel utilisé :

Dans cette partie, nous allons décrire le matériel utilisé et leur fonction dans le système. Nous devons considérer beaucoup de facteurs pour faire les meilleurs choix des matériaux. Grâce à cette partie de notre projet nous avons augmenté nos connaissances dans les différents aspects de l'électronique.

III.3.1 Les cartes Arduino :

III.3.1.1 Arduino Uno :

Une carte Arduino est une petite carte électronique (5,33 cm x 6,85 cm) équipée d'un microcontrôleur, le microcontrôleur permet à partir d'évènements détectés par des capteurs, de commander les actionneurs, la carte Arduino est donc une interface programmable. [47]

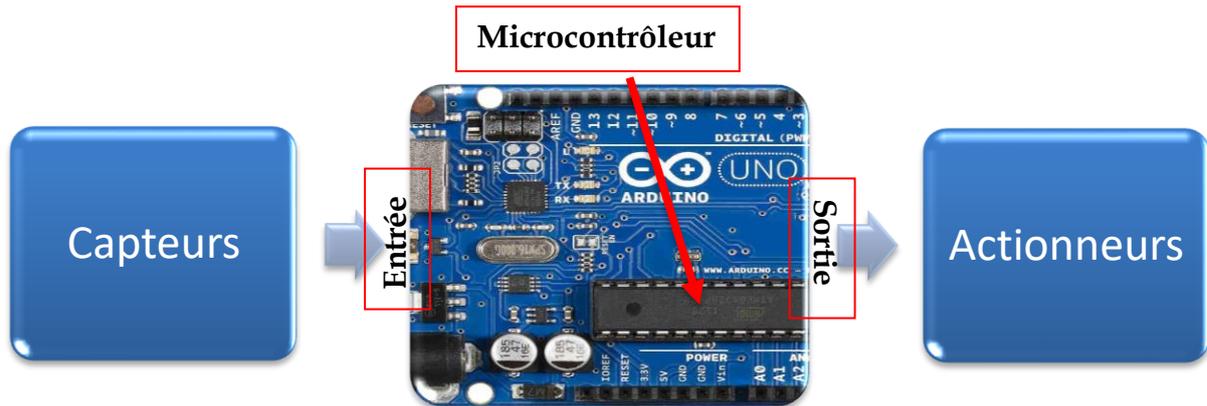


Figure 3. 1 : Fonctionnement d'une carte Arduino Uno.

Remarque : Le signe (~) sur les connecteurs 3, 5, 6, 9, 10 et 11, signifie la PWM ou la PWM est l'acronyme anglais de "Pulse Width Modulation" traduit par "modulation de largeur d'impulsions" qui est une technique utilisée pour contrôler la puissance envoyée à un périphérique. Nous l'utiliserons pour contrôler la quantité d'énergie alimentant le moteur et par conséquent sa vitesse de rotation.

III.3.1.2 Arduino Mega :

En fait, il n'y a pas de différence entre Arduino Uno et mega que l'Arduino mega a environ 50 pins numériques, normalement dans Uno il y aura une broche Rx et une broche TX (Totalemment 2 broches de communication, en outre mega a 3 broches Rx et 3 TX, 1 broche SDA et 1 broches SCL qui font beaucoup de fonctionnalités supplémentaires. Ce dernier dispose des mêmes connecteurs USB et DC 2.5mm que la UNO, et les shields (extensions venant s'ajouter au-dessus de votre carte) compatibles avec la UNO sont compatibles avec le méga.

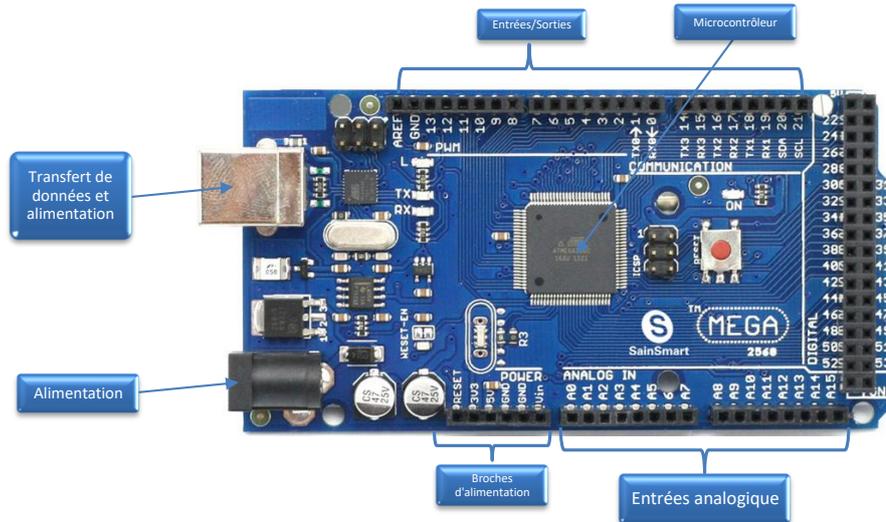


Figure 3. 2 : Fonctionnement d'une carte Arduino Mega.

III.3.2 Les cartes ESP32 :

III.3.2.1 ESP32 WROOM :

ESP32-WROOM-32 est un module MCU (Wi-Fi, BT, BLE) puissant et générique qui cible une grande variété d'applications, allant des réseaux de capteurs à faible puissance aux tâches les plus exigeantes, telles que l'encodage vocal, le streaming musical et le décodage MP3.

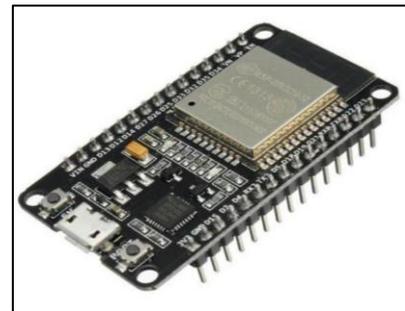


Figure 3. 3 : La carte ESP32 WROOM.

Au cœur de ce module se trouve la puce ESP32-D0WDQ6*. La puce embarquée est conçue pour être évolutive et adaptative. Elle comporte deux cœurs de CPU qui peuvent être contrôlés individuellement, et la fréquence d'horloge du CPU est réglable de 80 MHz à 240 MHz. La puce dispose également d'un coprocesseur à faible consommation qui peut être utilisé à la place du CPU pour économiser de l'énergie lors de l'exécution de tâches ne nécessitant pas une grande puissance de calcul, comme la surveillance des périphériques. L'ESP32 intègre un riche ensemble de périphériques, allant des capteurs tactiles capacitifs aux capteurs de Hall, en passant par l'interface de carte SD, Ethernet, SPI haute vitesse, UART, I²S et I²C. [48]

III.3.2.2 ESP32 CAMERA :

Le module ESP32 CAMER est développé par AI-Thinker. Le contrôleur est basé sur un processeur 32 bits et dispose d'une puce combinée Wi-Fi + Bluetooth/BLE. Il a un intégré 520 Ko SRAM avec un externe 4M PSRAM. Ses broches GPIO ont le soutien comme UART, SPI, I2C, PWM, ADC, et DAC. La caméra se connecte à la carte ESP32 CAM à l'aide d'un connecteur 24 broches plaqué or. La carte prend en charge une carte SD allant jusqu'à 4 Go. La carte SD stocke les images de capture.

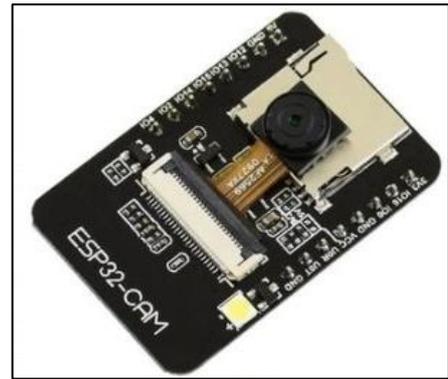


Figure 3. 4 : La carte ESP32 CAM.

III.3.3 Liste des capteurs :

III.3.3.1 Capteur Ultrason HC-SR04 :

Le HC-SR04 est un capteur qui utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact (une distance entre 3 cm et 3 m), avec des mesures de haute précision et stables. Son fonctionnement n'est pas influencé par la lumière du soleil ou des matériaux sombres, bien que des matériaux comme les vêtements puissent être difficiles à détecter. [49]

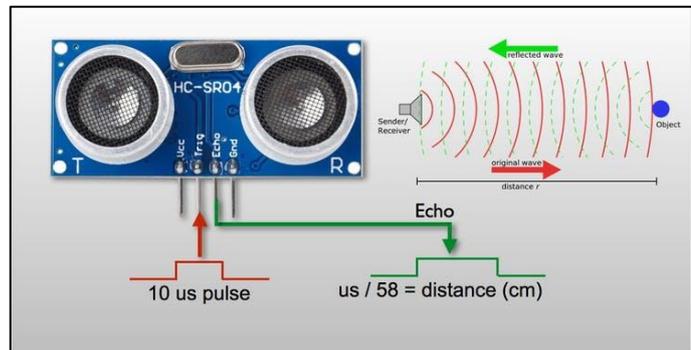


Figure 3. 5 : Capteur ultrason HC-SR04.

III.3.3.2 Capteur Infra rouge :

Le capteur de proximité FC-51 est composé d'une diode infrarouge (émetteur) et d'une photodiode (récepteur), suivant la distance à laquelle se trouve l'obstacle, le récepteur recevra plus ou moins de lumière infra-rouge réfléchi. [50]



Figure 3. 6 : Capteur de proximité FC-51.

III.3.3.3 Capteur de choc :

Le capteur de choc (KY-002 ou SW-420) est utilisé pour détecter la présence de vibrations externes sur le module et est utilisé pour créer des alarmes domestiques. [51]

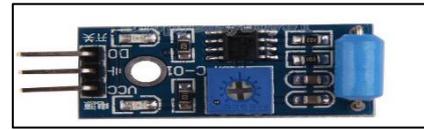


Figure 3. 7 : Capteur de vibrations SW-420.

III.3.3.4 Le capteur de pluie :

Ce capteur utilise deux matériaux de hautes qualités sur une plaque de 5,5 x 4,0 cm², protégé contre les oxydations tout en optimisant la conductivité, la durée de vie ainsi que les performances. La sortie du comparateur délivre un courant de plus de 15mA dont le seuil est ajustable via un potentiomètre. [52]



Figure 3. 8 : Capteur de pluie.

III.3.3.5 Capteur de pression atmosphérique :

Ce module est un capteur de pression atmosphérique absolue. Ce capteur est logé dans un boîtier extrêmement compact. Il est basé sur la technologie éprouvée de capteur de pression piézorésistif de Bosch, offrant une haute précision et une haute linéarité, ainsi qu'une stabilité à long terme et une haute robustesse CEM. [53]

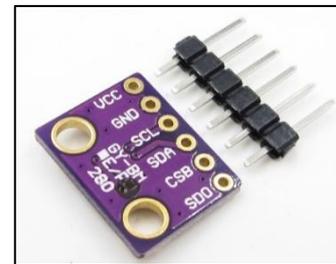


Figure 3. 9 : Capteur de pression atmosphérique

III.3.4 Les actionneurs :

III.3.4.1 Servomoteur :

Les servomoteurs sont des moteurs un peu particuliers, qui peuvent tourner avec une liberté d'environ 180° et garder de manière relativement précise l'angle de rotation que l'on souhaite obtenir. [54]



Figure 3. 10 : Servomoteur.

III.3.4.2 Ecran LCD 1602 /I2C :

LCD est l'abréviation anglaise de "Liquid Crystal Display" qui signifie : afficheur à cristaux liquides. Il possède un écran permettant l'affichage de 32 caractères (16x2), c'est-à-dire deux lignes de 16 caractères. Il contient 16 pins dont chacune a un rôle particulier. ^[55] En réalité l'écran LCD I2C est un écran LCD normal. Il utilise juste un circuit à souder qui lui permet de fonctionner avec l'interface I2C.



Figure 3.11 : Afficheur LCD interfacé avec I2C.

III.3.5 Autres composants :

III.3.5.1 Module Lora :

Le module LoRa se compose de 16 broches, de ces six broches sont des broches GPIO, et quatre sont des broches de terre. Ce module LoRa fonctionne à 3.3V, avec une antenne à ressort en zone ouverte de 915MHz/868MHz.



Figure 3.12 : Module Lora SX1276.

III.3.5.2 Buzzer :

Le buzzer est un transducteur (convertit l'énergie électrique en énergie mécanique) qui est constitué essentiellement d'une lamelle réagissant à l'effet piézoélectrique. Dans l'univers Arduino, le buzzer est principalement utilisé pour émettre un son. ^[56]



Figure 3.13 : Buzzer.

III.3.5.3 Résistance électrique :

Les résistances sont des composants électriques dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance. Elles sont disponibles avec différentes valeurs de résistance, mesurées en ohms (Ω). ^[57]



Figure 3.14 : Exemple des résistances.

III.3.5.4 LED électrique :

Les LED sont des diodes lumineuses qui laissent passer le courant dans un seul sens lors de la polarisation directe ; de l'anode vers la cathode. Bloque le courant lorsqu'il vient du sens inverse.

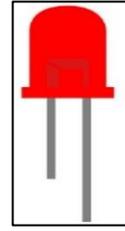
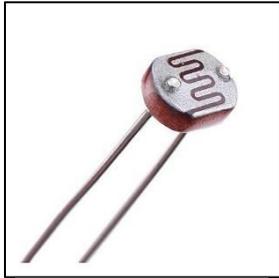


Figure 3. 16 : LED Rouge.

III.3.5.5 La photorésistance LDR :



Il s'agit d'une résistance qui varie selon l'intensité lumineuse, en d'autres termes plus la lumière est élevée plus la résistance diminue et vice versa. La photorésistance est un composant électronique transducteur par conséquent peu précis, qui est préférable de l'utiliser en tant que détecteur plutôt qu'élément de mesure. Il est constitué de matériau photoconducteur et d'électrodes. [58]

III.4 Logiciel utilisé :

III.4.1 AutoCad :

AutoCAD est une application logicielle pour la conception et le dessin assistés par ordinateur. Le logiciel prend en charge les formats 2D et 3D. Le logiciel est développé et vendu par Autodesk. Nous avons utilisé ce programme pour dessiner le plan de masse et les façades de notre smart city et leurs blocs, comme le montre la figure suivante :

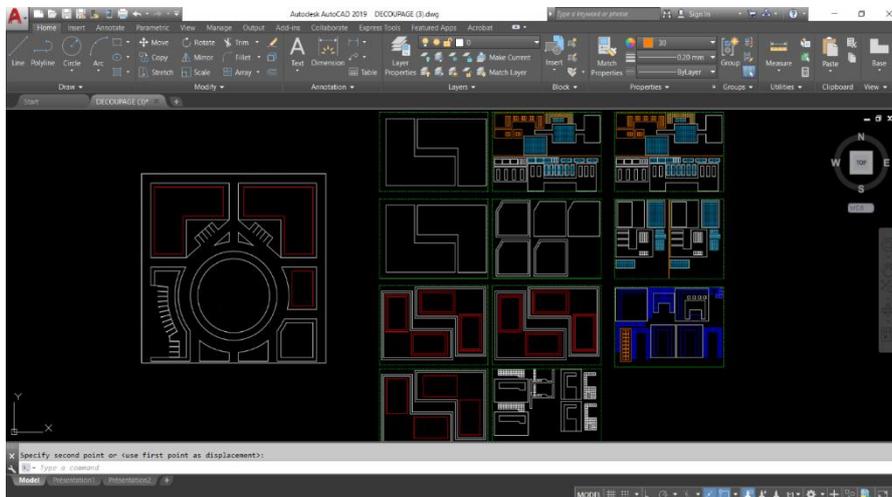


Figure 3. 18 : Logiciel AutoCad.

III.4.2 Rhinoceros 3d :

Rhinoceros 3D est un logiciel de CAO avec une multitude d'outils de modélisation 3D complexes, qui vous permettent de créer des formes inimaginables avec une grande précision et des détails, que ce soit à partir d'un dessin, d'un croquis ou même d'un scan 3D, il est basé sur la modélisation libre à l'aide de NURBS. Rhino vous permet de travailler à partir de courbes ou de formules mathématiques capables de décrire avec précision une forme 3D. Nous avons utilisé ce programme pour graver le chemin du tram sur une planche de 1x1 m, et aussi pour couper la base des bâtiments, comme le montre la figure suivante :

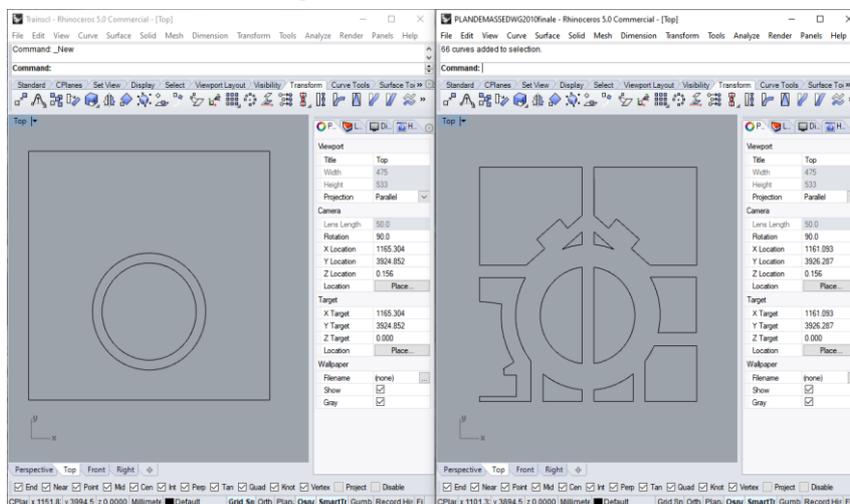


Figure 3. 19 : Logiciel Rhinoceros.

III.4.3 Arduino Ide :

Le logiciel Arduino IDE fonctionne sur Windows, Mac et Linux. C'est grâce à ce logiciel que nous allons créer, tester et envoyer les programmes sur l'Arduino. Ce logiciel a une simple interface composée de quatre principaux blocs. [87]

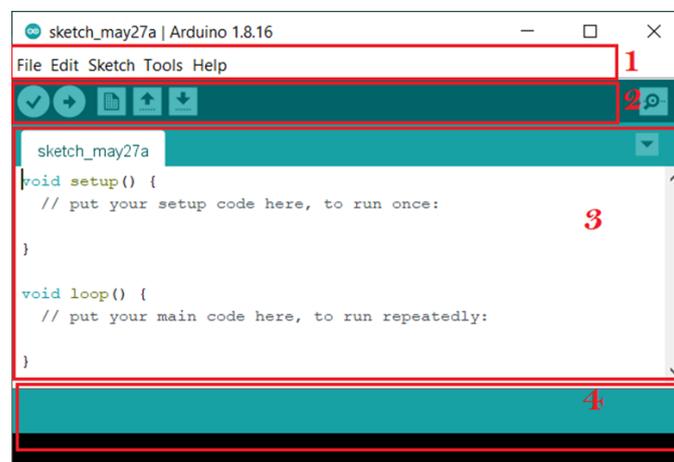


Figure 3. 20 : Interface du logiciel Arduino IDE.

1. Menu : Le menu comprend :

- Fichier : pour créer, sauvegarder en spécifiant la destination, et d'appeler un programme ;
- Edition : Pour couper, copier, coller, supprimer, sélectionner, etc.
- Croquis : regroupe les fichiers réalisés ;
- Outils : pour spécifier le type de la carte, le port série, formater, recharger et réparer l'encodage, graver la séquence d'initialisation, de la carte branchée sur l'ordinateur.

2. Les boutons :



- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme ;
 - Bouton 2 : Charge (téléverser) le programme dans la carte Arduino ;
 - Bouton 3 : Cree un nouveau fichier ;
 - Bouton 4 : Ouvre un fichier ;
 - Bouton 5 : Enregistre le fichier ;
 - Bouton 6 : Ouvre le moniteur série.
3. Fenêtre de Programmation : C'est l'éditeur où s'écrit le programme, chaque logiciel obéit à quelques notions pour pouvoir bien structurer le programme afin de le compiler et éviter les erreurs de syntaxe et autres.
4. Barre des erreurs : La barre des erreurs affiche les erreurs faites au cours du programme, comme l'oubli d'un point-virgule, le manque d'une accolade ou toute autre erreur dans les instructions.

III.4.4 Fritzing :

On a utilisé ce logiciel juste pour le montage de notre circuit électronique.

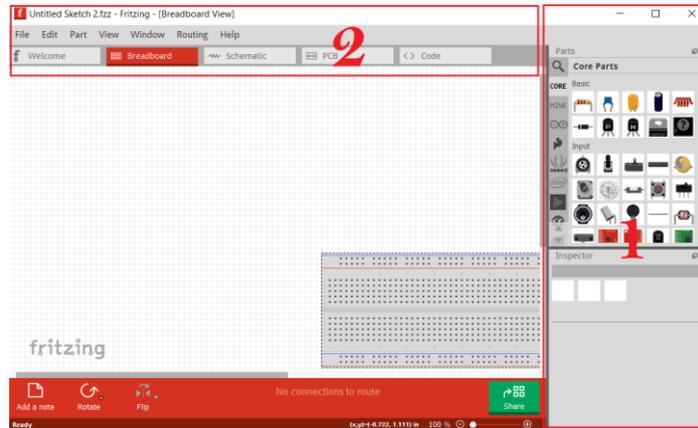


Figure 3. 21 : Interface du logiciel Fritzing.

D'après la figure *Figure 3. 21*, le logiciel Fritzing où elle est composée de 2 parties :

- ❖ La première partie : Liste des composants ;
- ❖ La deuxième partie : Barre d'outils composé de :
 - ✓ Platine d'essai ;
 - ✓ Vue schématique.

III.5 Test et réalisation :

III.5.1 Station météorologique :

▪ Matériels utilisés :

✚ Emetteur :

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
BMP280	2
Détecteur de pluie	1
Module Lora	1
Lipo Batterie	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

✚ Récepteur :

Nom des composants	Quantité
ESP32	1
Module Lora	1
Lipo Batterie	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

▪ **Algorithme proposé :**

✚ **Emetteur :**

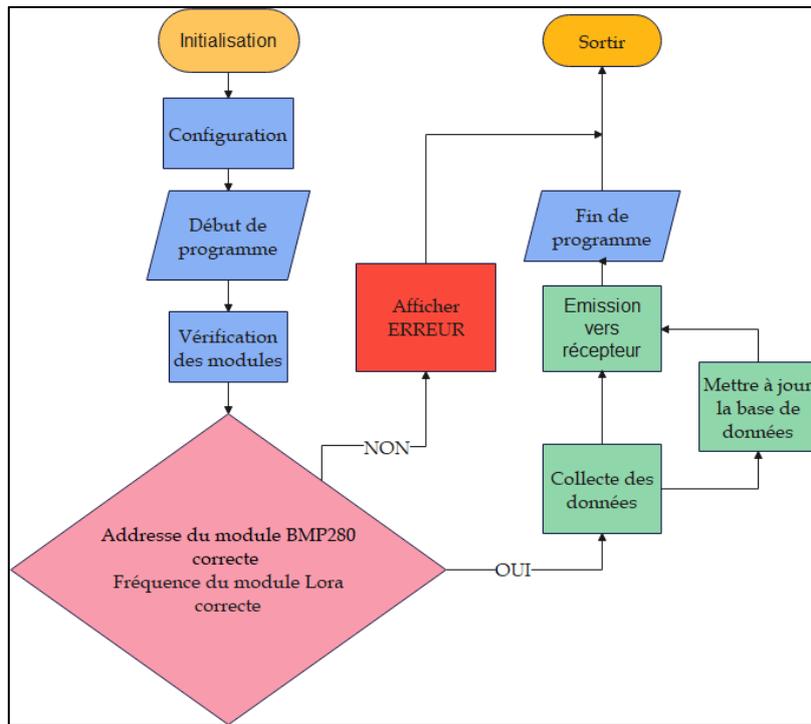


Figure 3. 22 : Organigramme du Station météorologique -Emetteur-.

✚ **Récepteur :**

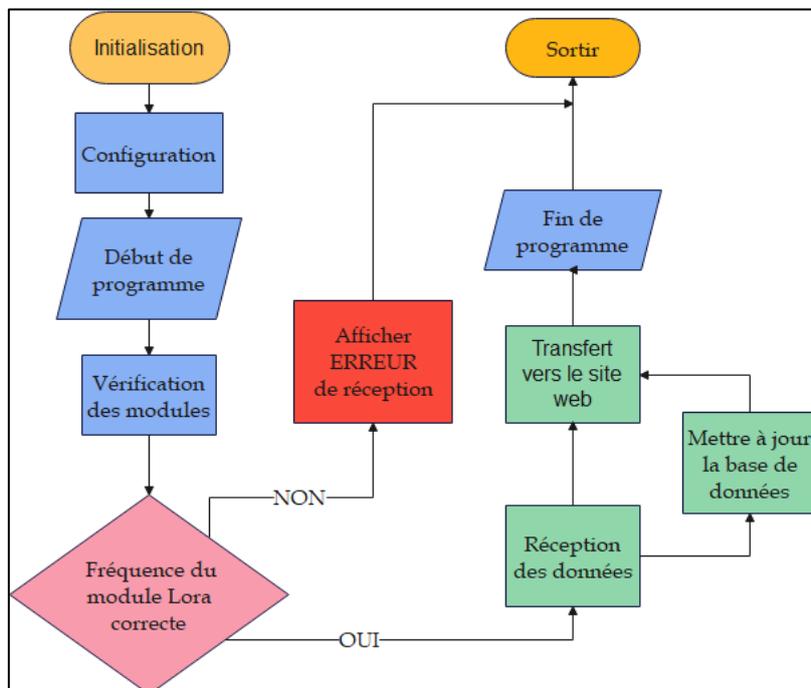


Figure 3. 23 : Organigramme du Station météorologique -Récepteur-.

▪ Schéma électrique :

✚ Emetteur :

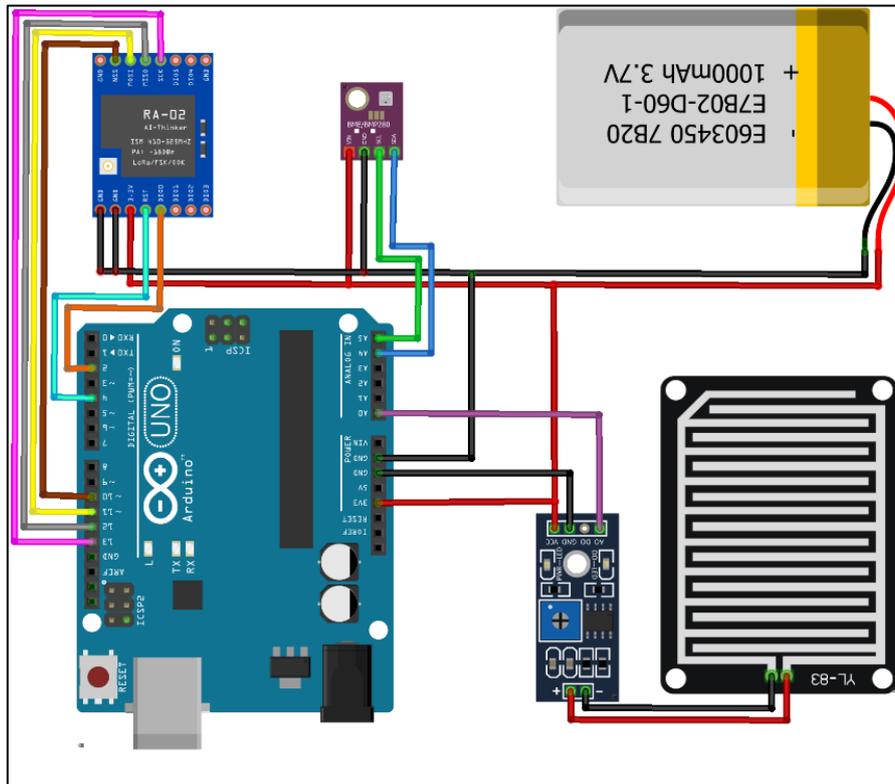


Figure 3. 24 : Schéma électrique du Station météorologique -Emetteur-.

✚ Récepteur :

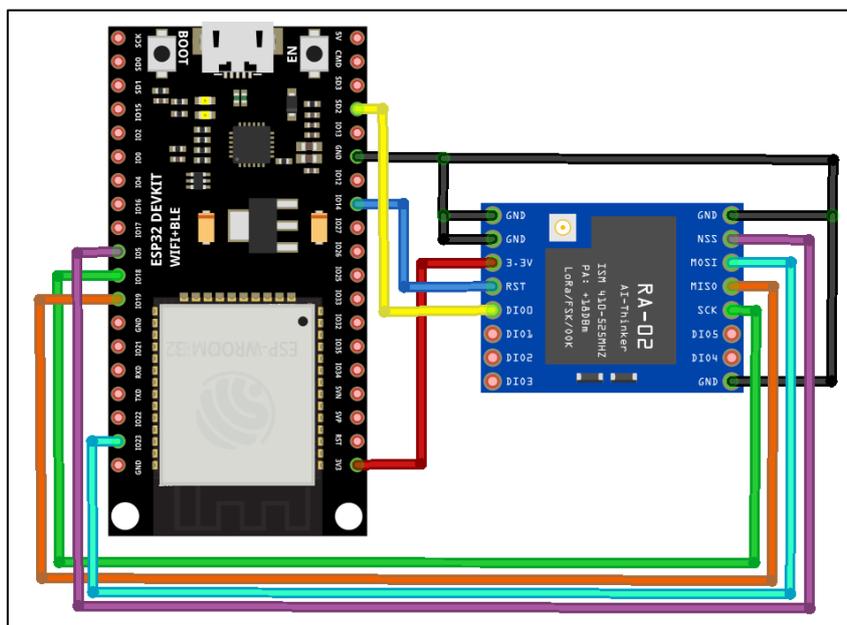


Figure 3. 25 : Schéma électrique du Station météorologique -Récepteur-.

▪ **Résultats pratiques :**

✚ **Emetteur :**

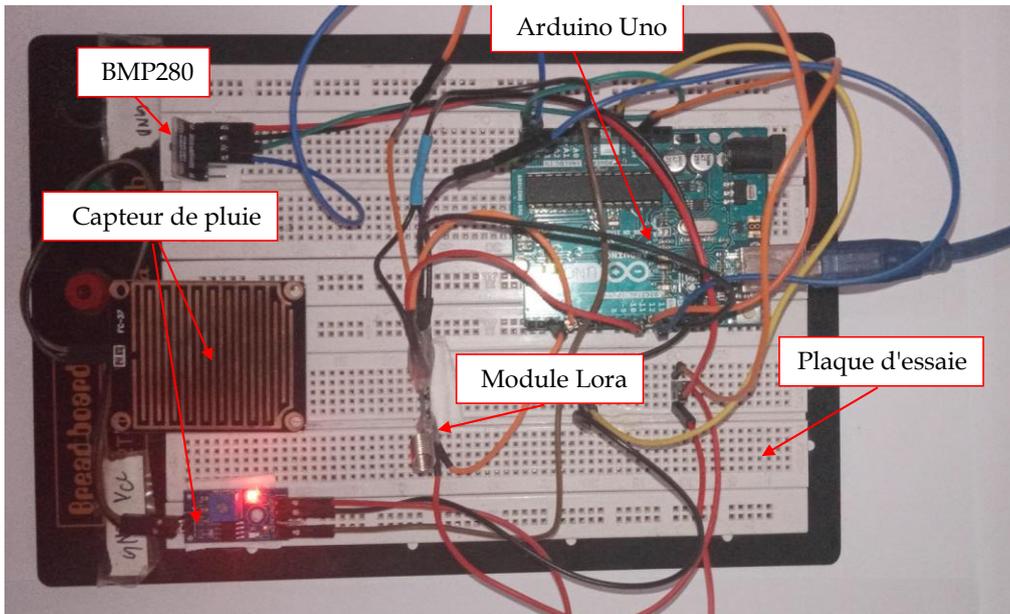


Figure 3. 26 : Réalisation pratique du Station météorologique -Emetteur-.

✚ **Récepteur :**

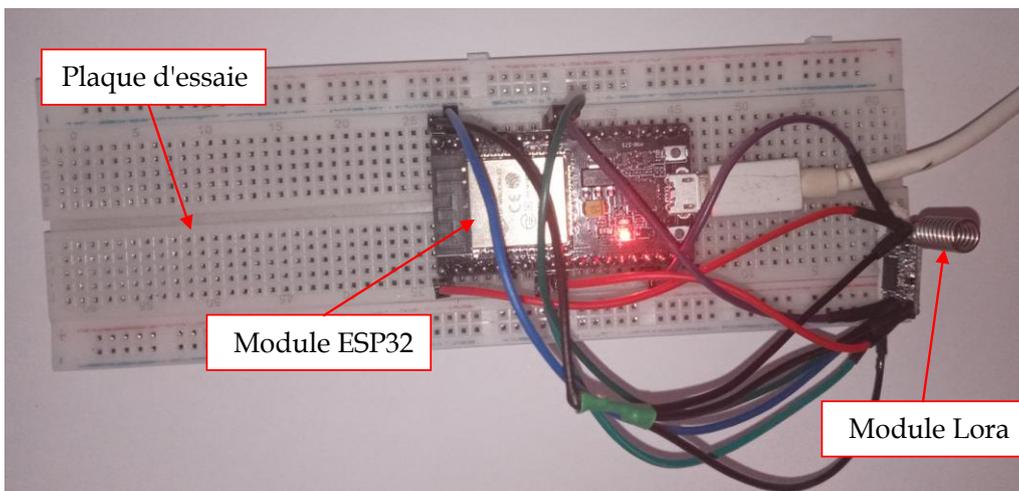


Figure 3. 27 : Réalisation pratique du Station météorologique -Récepteur-.

✚ Résultat :

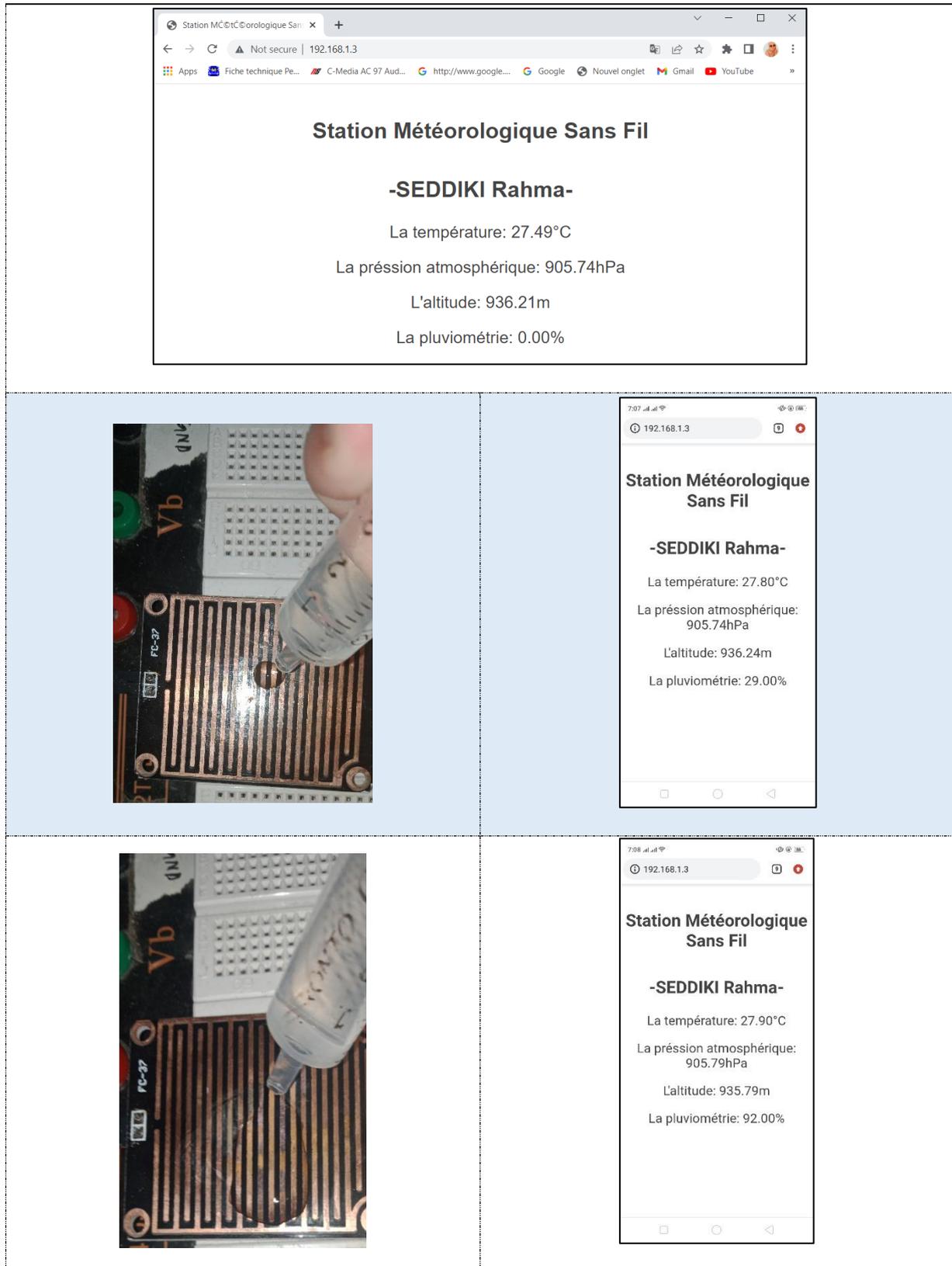


Figure 3. 28 : Résultat obtenu de la réalisation pratique du Station météorologique.

Remarque : Les résultats peuvent être vus sur le téléphone ou sur l'ordinateur.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Dans ce projet, nous avons appris à construire une station météorologique sans fil basée sur la technologie LoRa en utilisant Arduino et ESP32 Wifi Module. Nous avons utilisé le capteur de pression barométrique BME280 avec un capteur de pluie.
- ✓ Fondamentalement, cette station météorologique peut surveiller les paramètres d'environnement comme la température, la pression, l'altitude et la pluie.
- ✓ L'utilisation du module LoRa nous a permis de surveiller les données à partir de quelques mètres de distance (jusqu'à 900 m).
- ✓ La passerelle est faite en utilisant un module Lora avec un module ESP32 Wifi. Le récepteur recueille les données de l'expéditeur ou du nœud de capteur et les télécharge sur le serveur.
- ✓ Les données reçues peuvent être observées sur WebServer. En utilisant l'IP locale de la carte ESP32.

III.5.2 Éclairage public intelligent :

▪ **Matériels utilisés :**

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
Capteur Infrarouge	5
LED	5
LDR	1
Résistance	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

▪ **Algorithme proposé :**

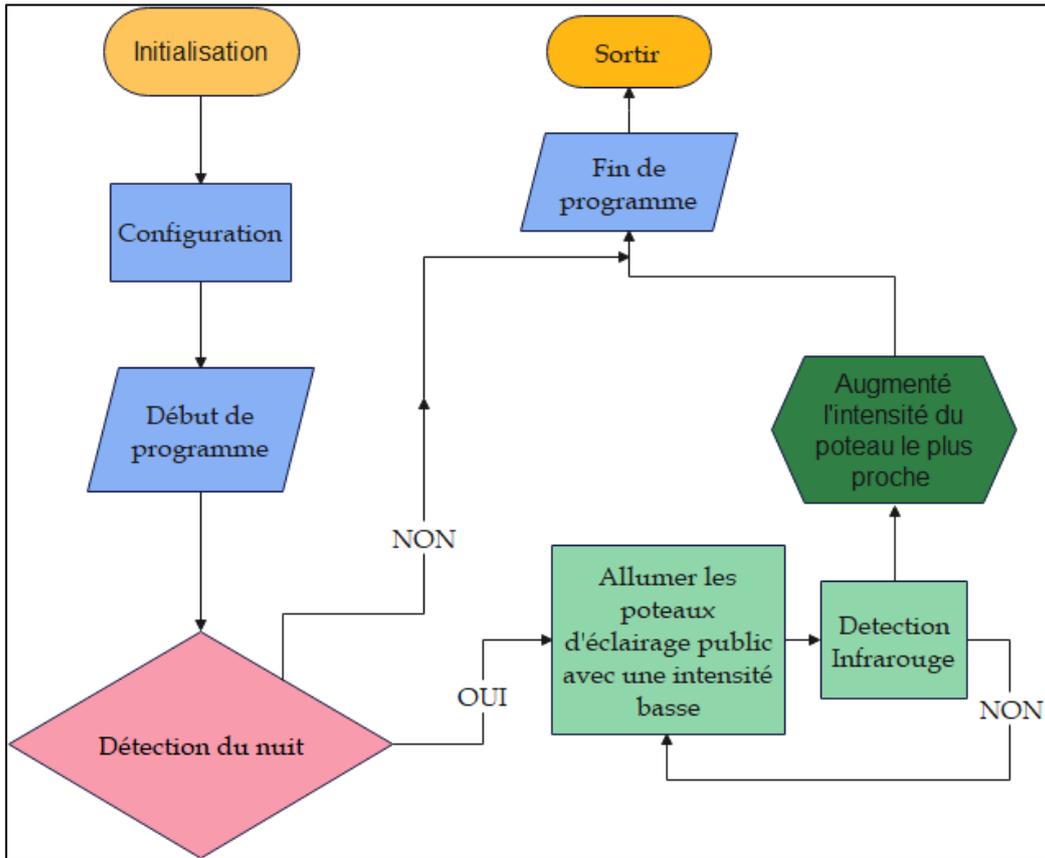


Figure 3. 29 : Organigramme d'éclairage public intelligent.

▪ **Schéma électrique :**

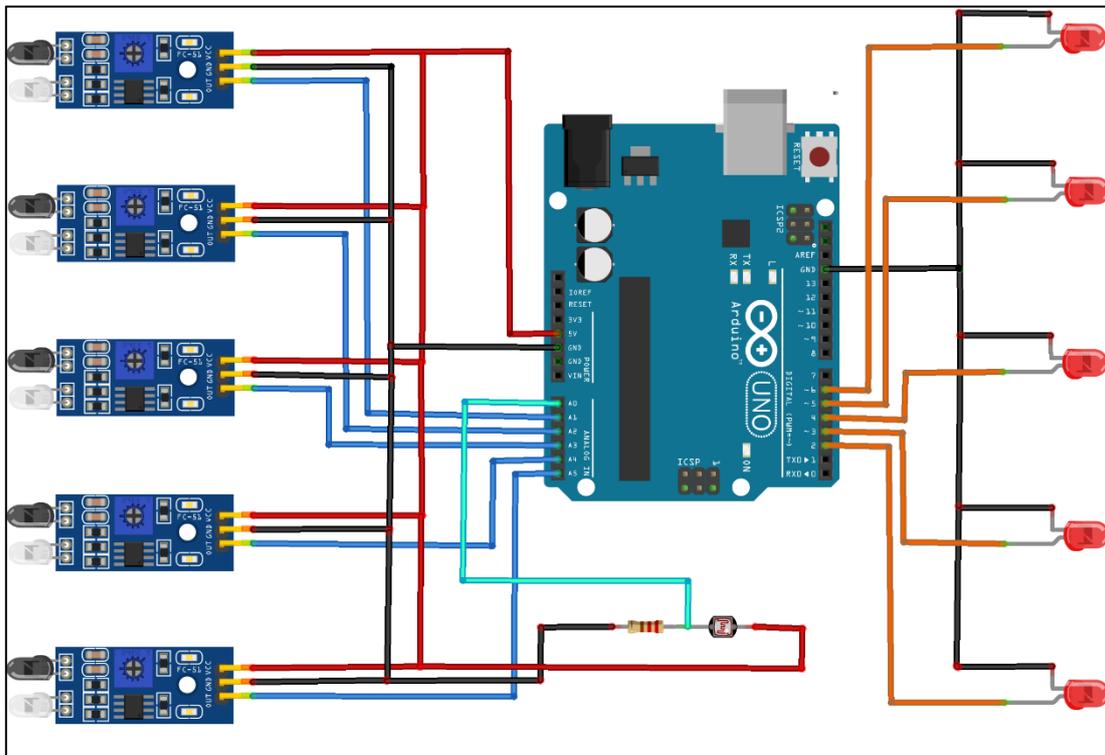


Figure 3. 30 : Schéma électrique d'éclairage public intelligent.

▪ Résultats pratiques :

✚ Mode nuit sans obstacle :

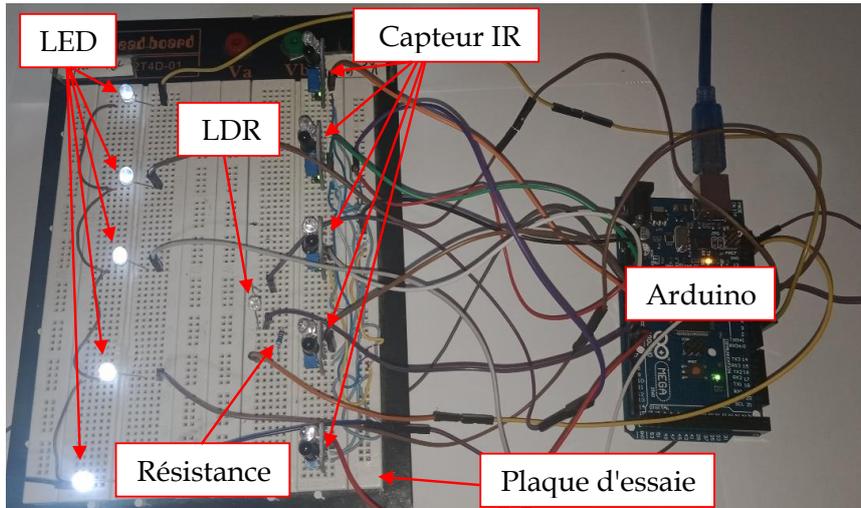


Figure 3. 31 : Réalisation pratique d'éclairage public intelligent - sans obstacle-.

✚ Mode nuit avec obstacle :

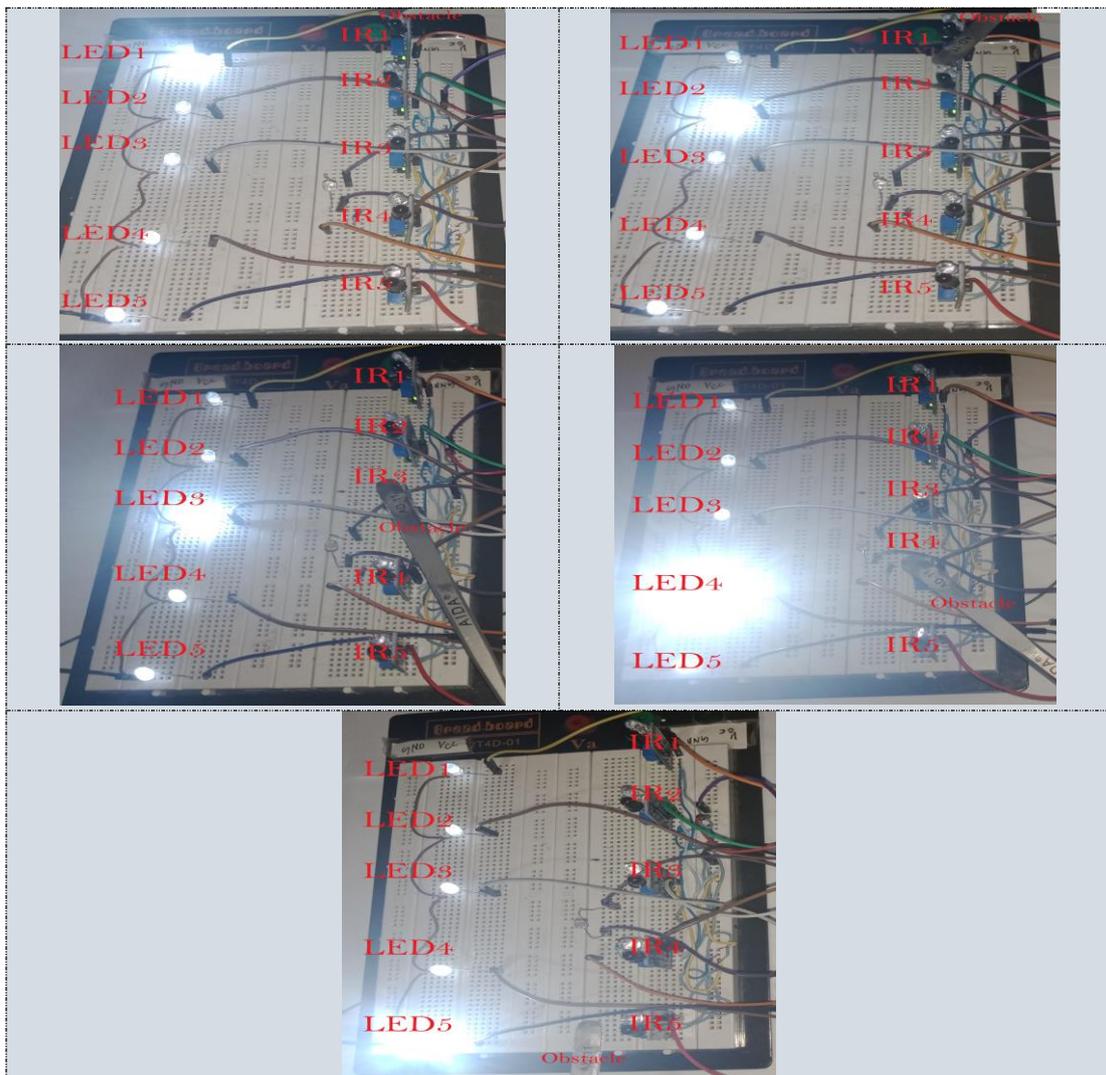


Figure 3. 32 : Réalisation pratique d'éclairage public intelligent - avec obstacle-.

- **Commentaire :**

- ✓ Ce projet porte sur l'éclairage public intelligent, ce dernier s'allume pendant que la personne le traverse ;
- ✓ Nous utilisons ici 5 capteurs IR qui détectent la position de la personne, chaque capteur IR contrôle une LED ;
- ✓ Lorsque quelqu'un passe par un capteur IR particulier, il détecte sa position et donne son signal à la carte Arduino et il va allumer la LED la plus proche ;
- ✓ Si nous appliquons cette idée et que nous l'appliquons dans notre société, cela nous aidera à économiser suffisamment d'électricité et d'argent.

III.5.3 Tracker solaire intelligent :

- **Matériels utilisés :**

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
Panneau Solaire 5V	1
Servomoteur	1
LDR	2
Résistance	2
Module Step-up boost	1
Module chargeur de batterie Lipo	1
Lipo batterie	1
On/Off switch	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

▪ **Algorithme proposé :**

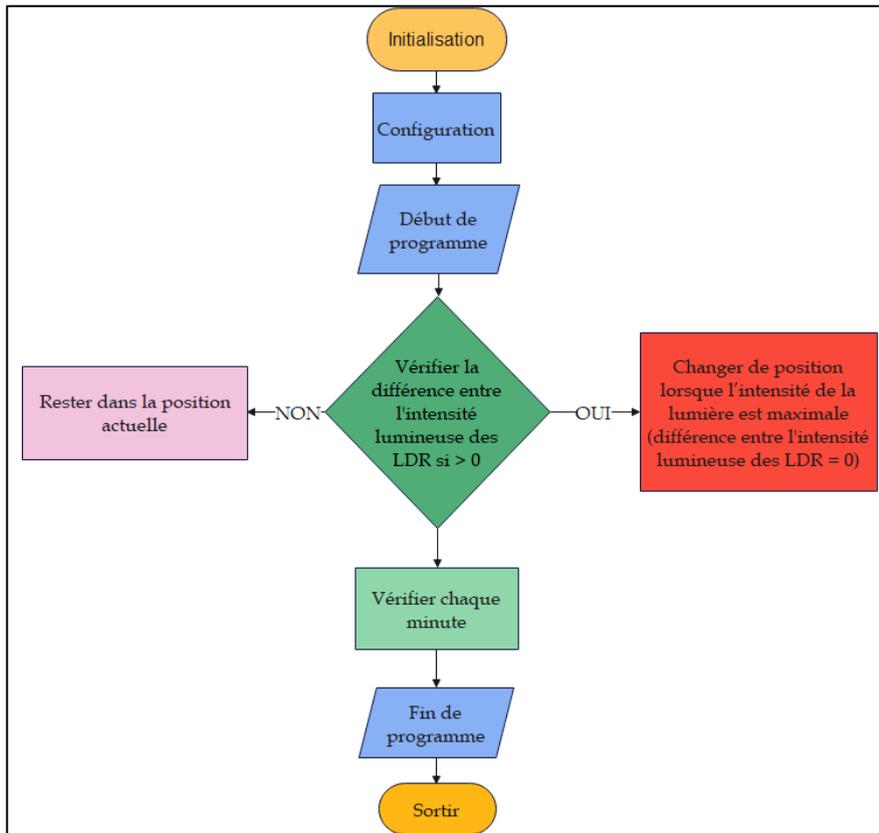


Figure 3. 33 : Organigramme du tracker solaire intelligent.

▪ **Schéma électrique :**

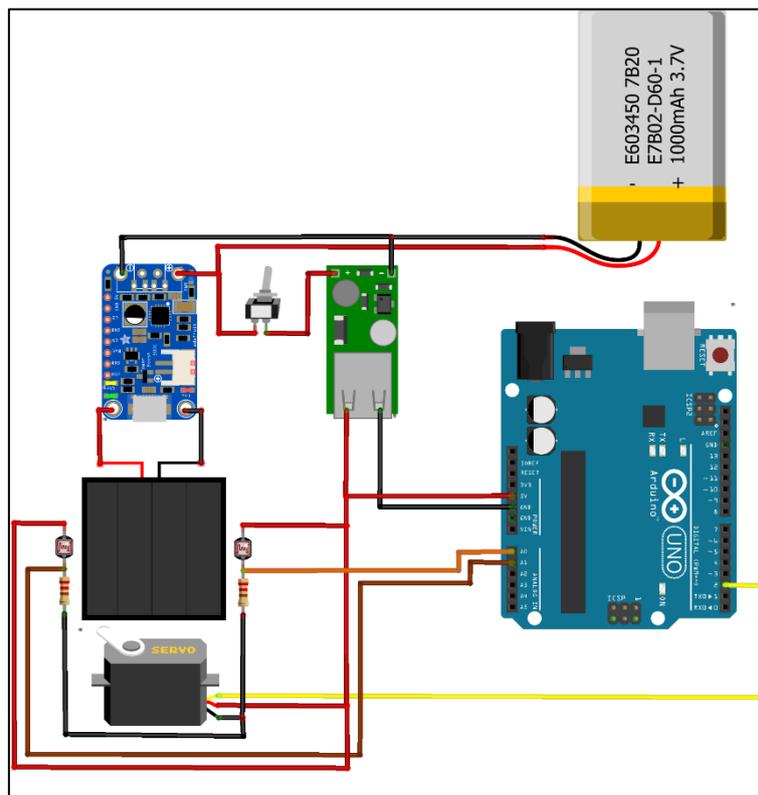


Figure 3. 34 : Schéma électrique du tracker solaire intelligent.

▪ Résultats pratiques :

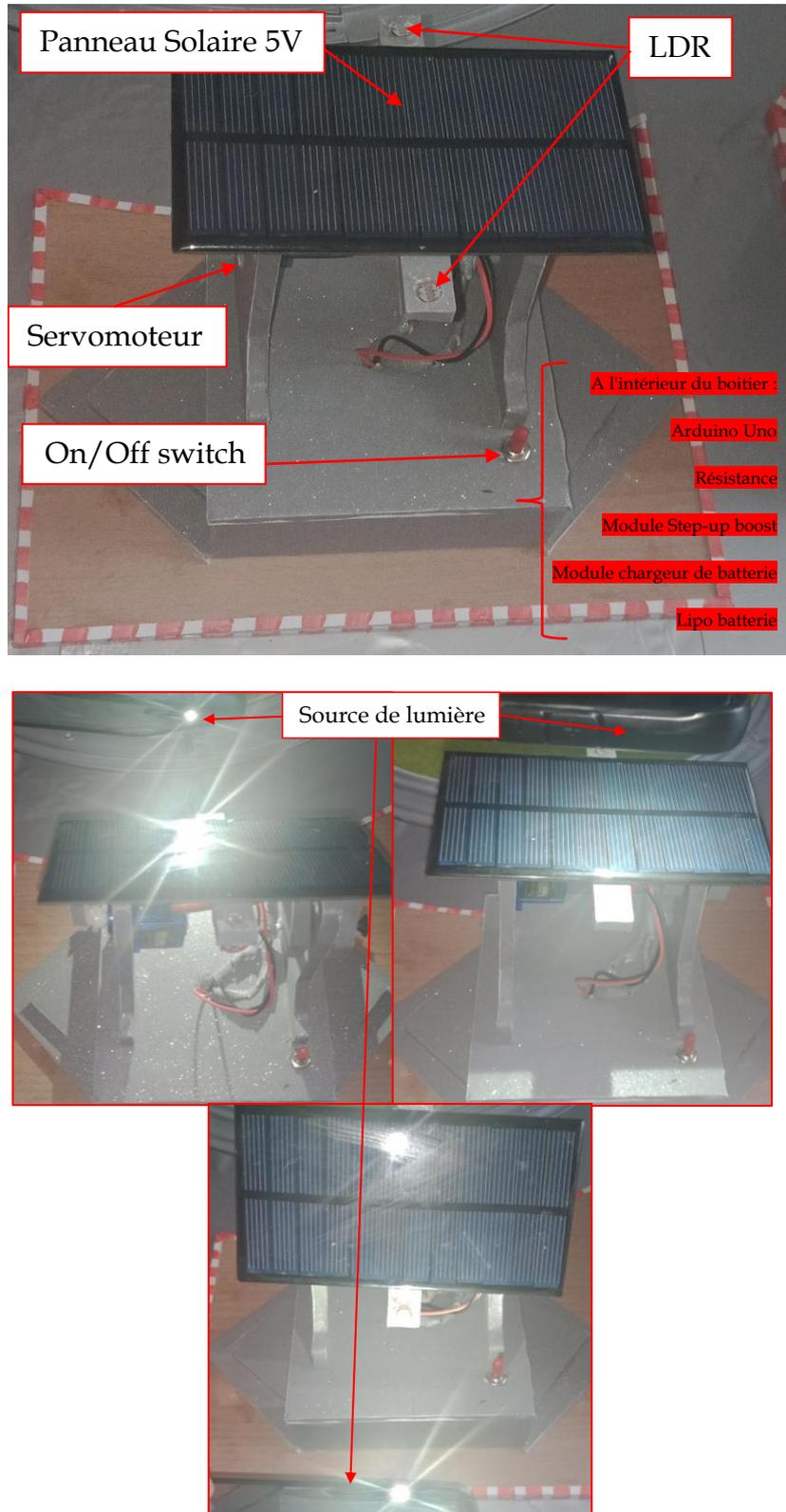


Figure 3. 35 : Réalisation pratique du tracker solaire intelligent.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Le panneau solaire est fixé sur une structure qui se déplace en fonction de la position du soleil ;
- ✓ Les LDRs sont utilisés comme capteurs de lumière principaux, un servomoteur est fixé à la structure qui tient le panneau solaire ;
- ✓ Les LDRs détectent la quantité de lumière solaire qui tombe sur eux, deux LDRs sont divisés en est et ouest ;
- ✓ Pour le suivi est-ouest, les valeurs analogiques du LDR supérieur et du LDR inférieur sont comparées et si l'ensemble supérieur du LDR reçoit plus de lumière, le servo se déplacera dans cette direction. Si les LDR inférieurs reçoivent plus de lumière, le servo se déplace dans cette direction.

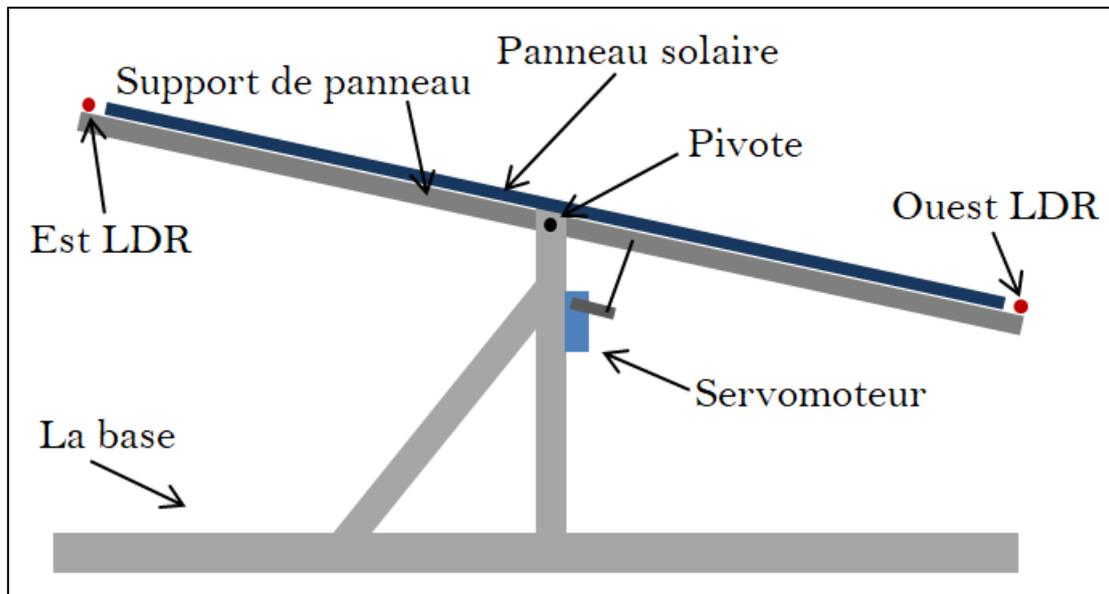


Figure 3. 36 : Schéma explicatif du tracker solaire intelligent.

III.5.4 Système de contrôle intelligent des passages à niveau :

▪ **Matériels utilisés :**

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
Capteur sonore HC-SR04	1
Servomoteur	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

▪ **Algorithme proposé :**

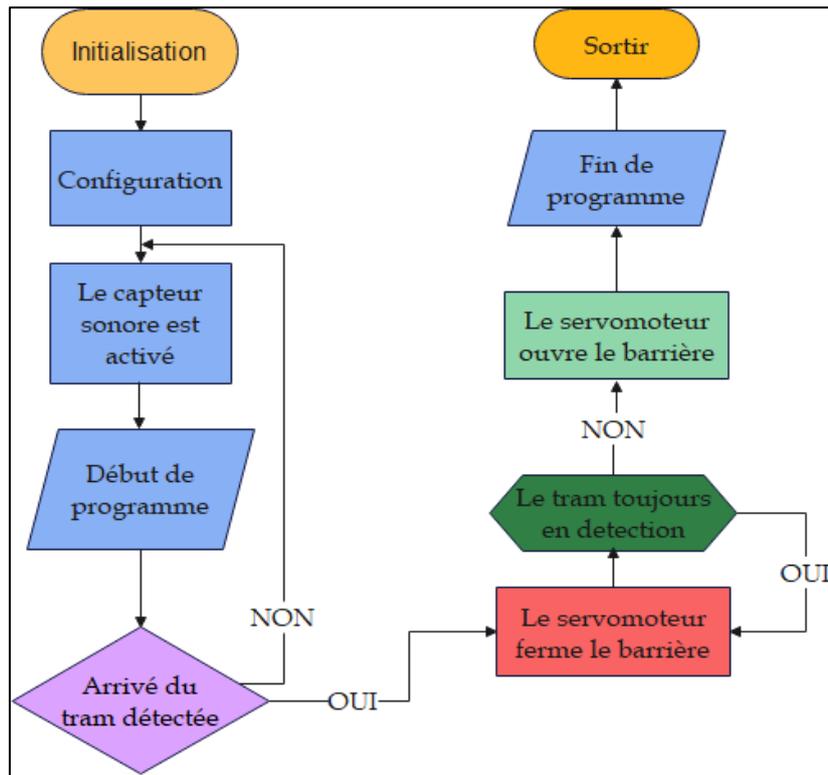


Figure 3. 37 : Organigramme du contrôle intelligent des passages à niveau.

▪ **Schéma électrique :**

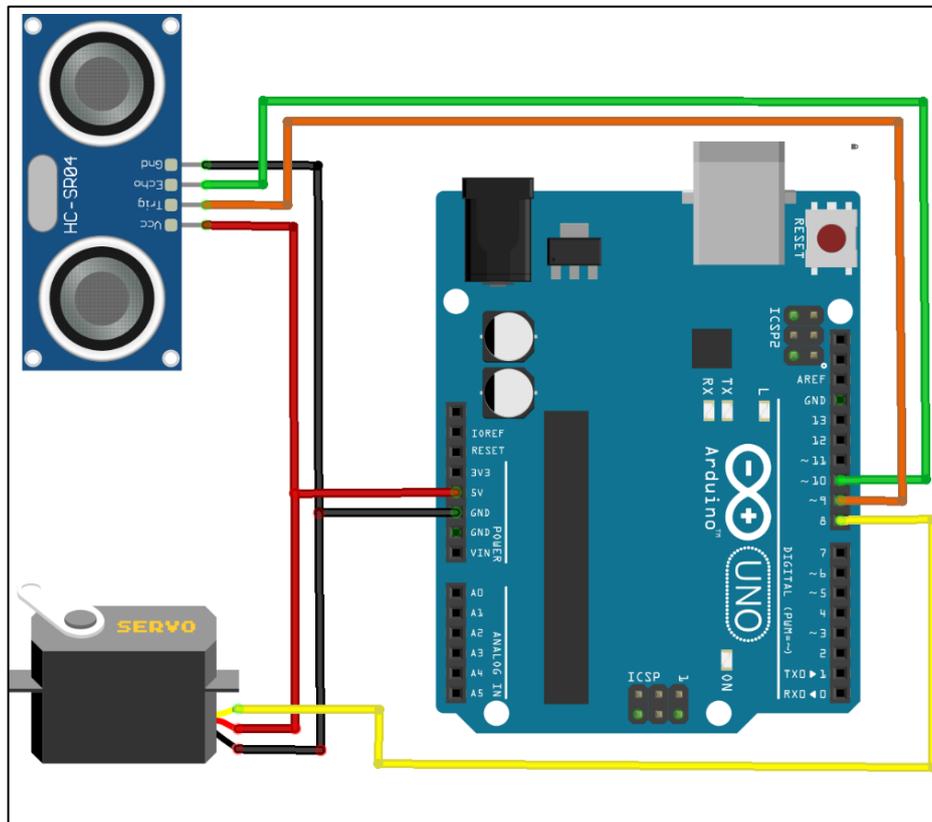


Figure 3. 38 : Schéma électrique du contrôle intelligent des passages à niveau.

▪ **Résultats pratiques :**

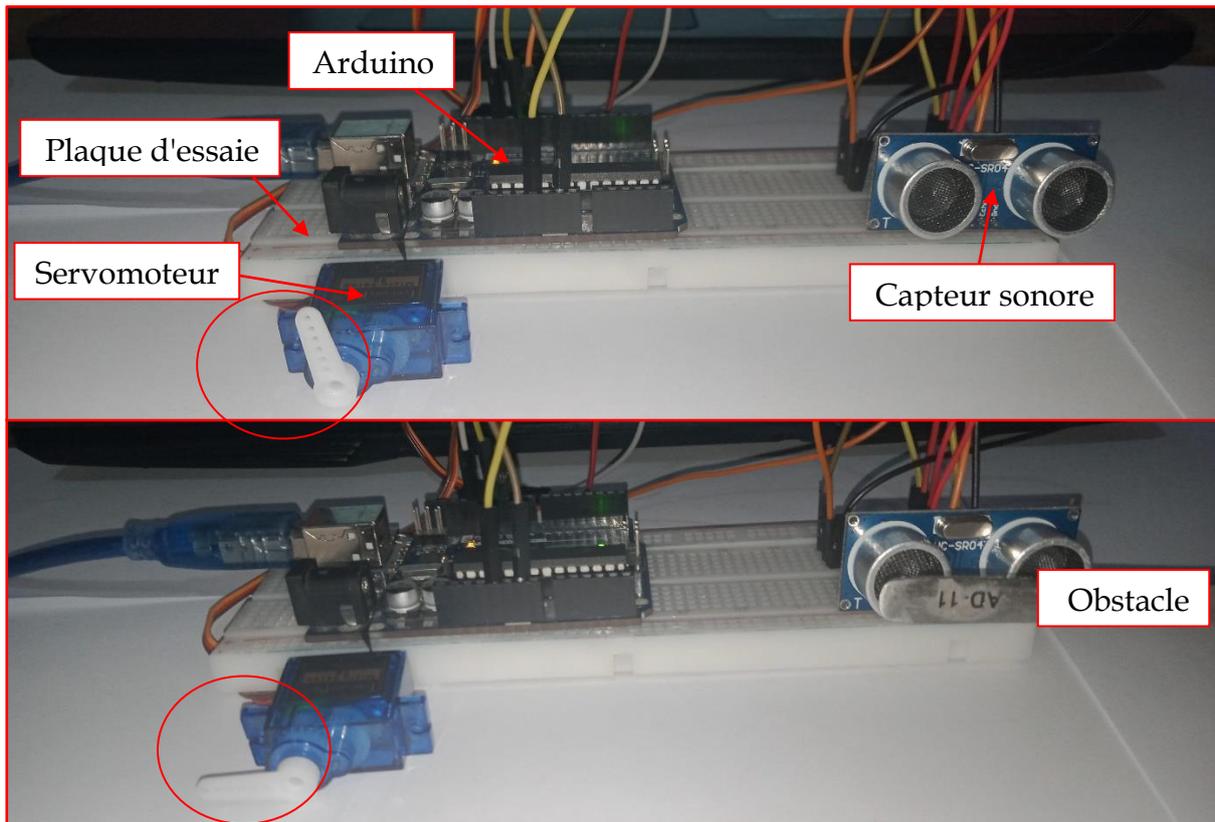


Figure 3. 39 : Réalisation pratique du contrôle intelligent des passages à niveau.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Ce projet consiste à un capteur à ultrasons utilisés aux deux extrémités pour vérifier l'arrivée et le départ du train. La distance à laquelle le capteur à ultrasons est placés est correctement sélectionnée afin que les portes ferment dans le temps ;
- ✓ Lorsque le train approche du capteur à ultrasons, il détecte le train et le servo qui est une réplique des barrières automatiques dans notre projet se fermera ou s'ouvrira en fonction de l'état ;
- ✓ À une extrémité, si un obstacle est détecté, la condition de présence du train sera ACTIVÉE, les barrières seront FERMÉES ;
- ✓ En recevant de nouveau l'état initial, les barrières seront OUVERTES.

III.5.5 Stationnement intelligent :

- Matériels utilisés :

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
Capteur Infrarouge	2
Servomoteur	1
16 2 LCD avec module I2C	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

- Algorithme proposé :

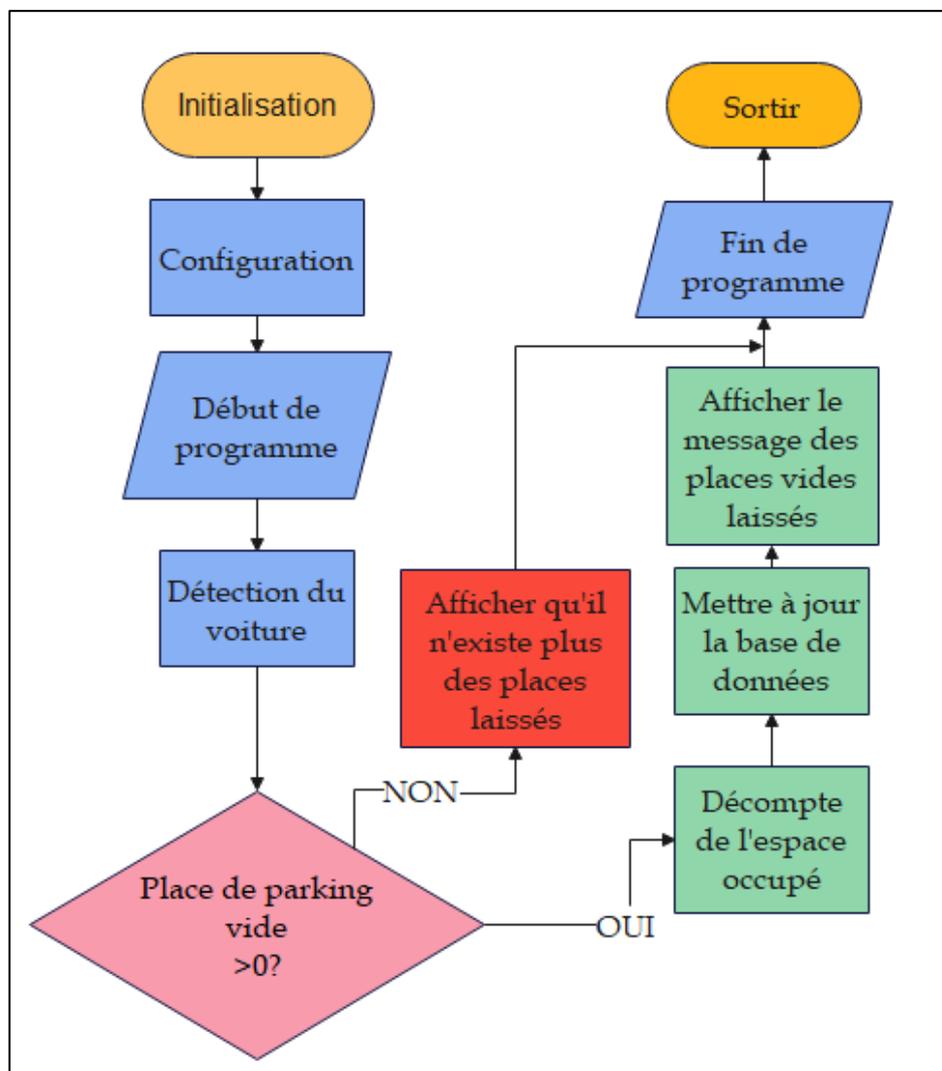


Figure 3. 40 : Organigramme du Smart Parking.

▪ Schéma électrique :

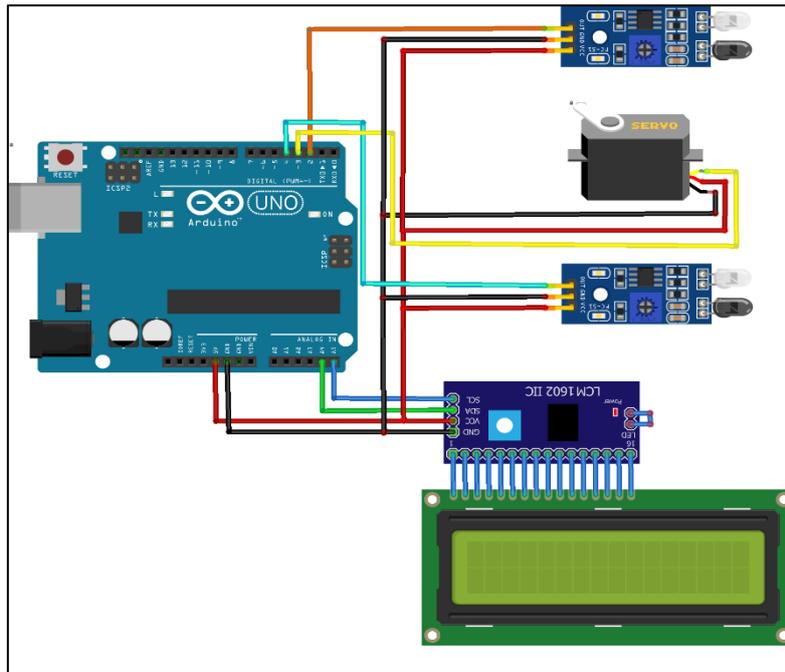


Figure 3. 41 : Schéma électrique du Smart Parking.

▪ Résultats pratiques :

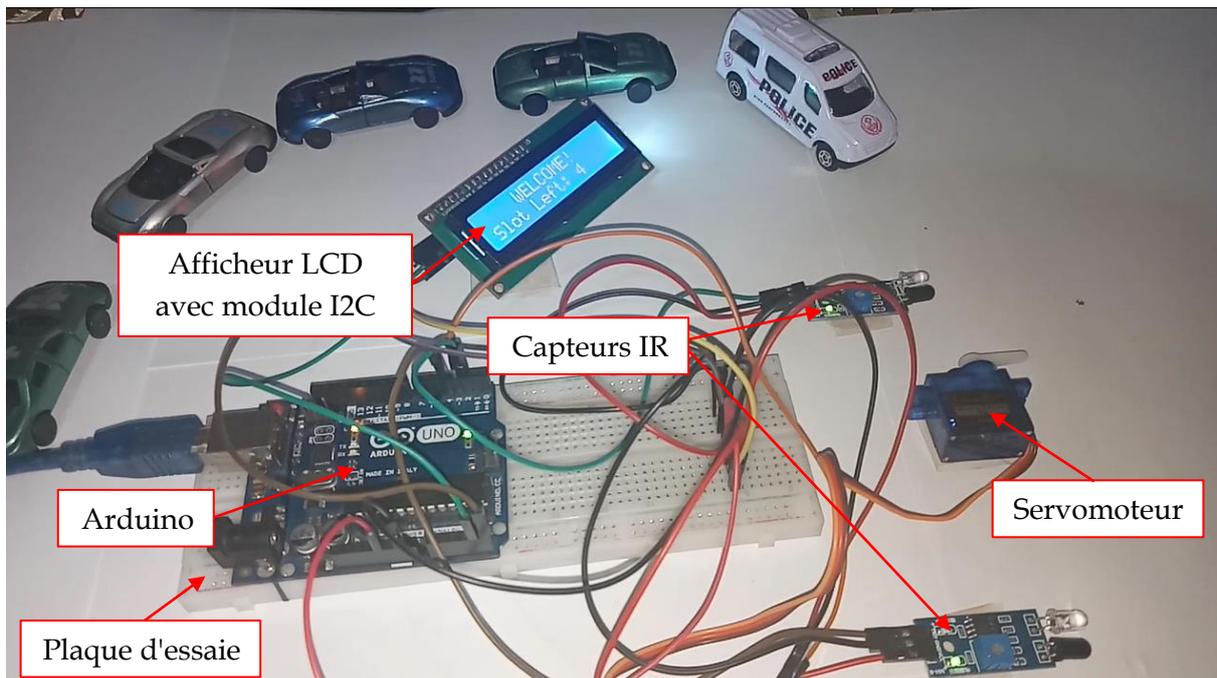


Figure 3. 42 : Réalisation pratique du Smart Parking.

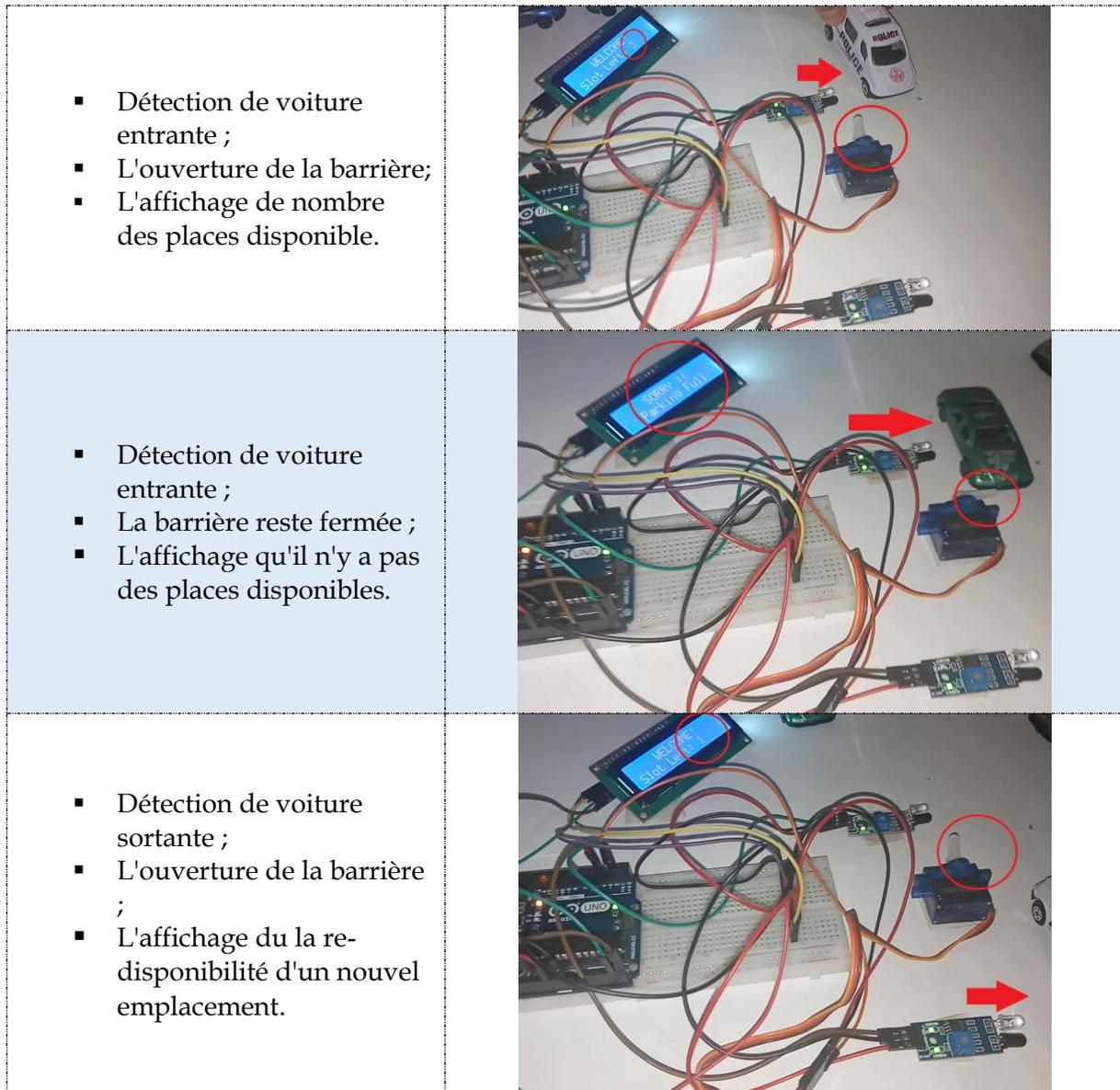


Figure 3. 43 : Réalisation pratique du Smart Parking -en marche-.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Ce projet de système de stationnement intelligent comprend Arduino, deux capteurs IR, un servomoteur et un écran LCD ;
- ✓ Deux capteurs infrarouges sont utilisés aux portes d'entrée et de sortie pour détecter l'entrée et la sortie des véhicules dans l'aire de stationnement ;
- ✓ Le servomoteur est placé à la porte d'entrée et de sortie qui est utilisée pour ouvrir et fermer les portes. En outre, un écran LCD est placé à l'entrée, qui est utilisé pour montrer la disponibilité des places de stationnement dans l'aire de stationnement ;

- ✓ Lorsqu'un véhicule arrive à la porte de l'aire de stationnement, l'écran affiche continuellement le nombre de cases vides. S'il y a des fentes vides, le système ouvre la porte d'entrée par le servomoteur. Après avoir entré la voiture dans la zone de stationnement, quand il occupera une fente, puis l'affichage montre que cette fente est pleine ;
- ✓ S'il n'y a pas de créneau de stationnement vide, le système affiche tous les créneaux pleins et n'ouvre pas la porte.

III.5.6 Détecteur de séisme :

- **Matériels utilisés :**

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
Capteur de choc	1
Buzzer	1
LED	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

- **Algorithme proposé :**

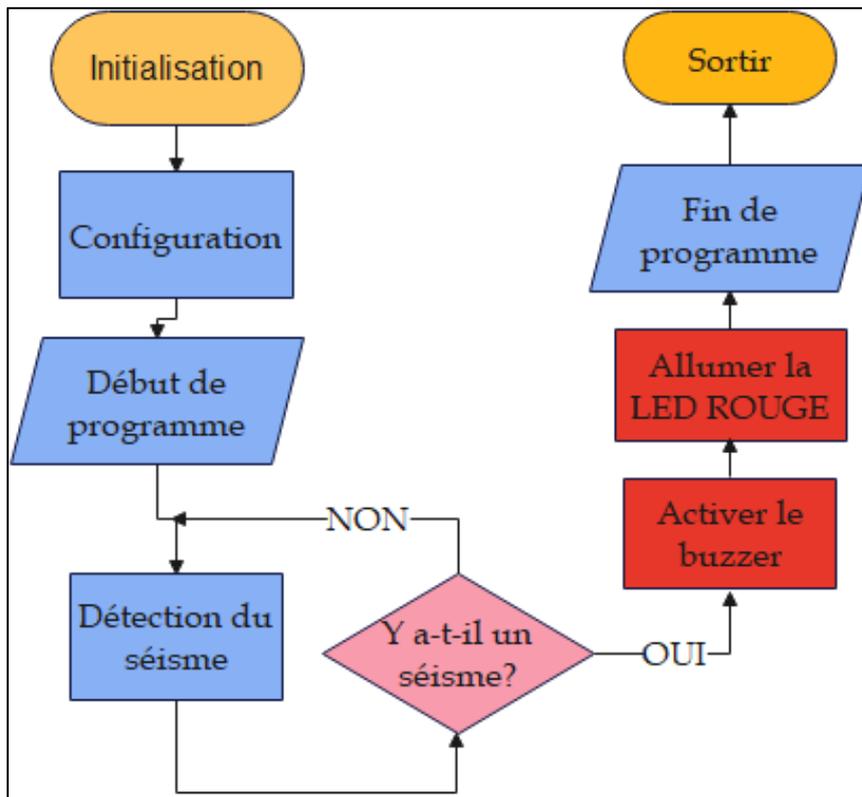


Figure 3. 44 : Organigramme du détecteur de séisme.

- **Schéma électrique :**

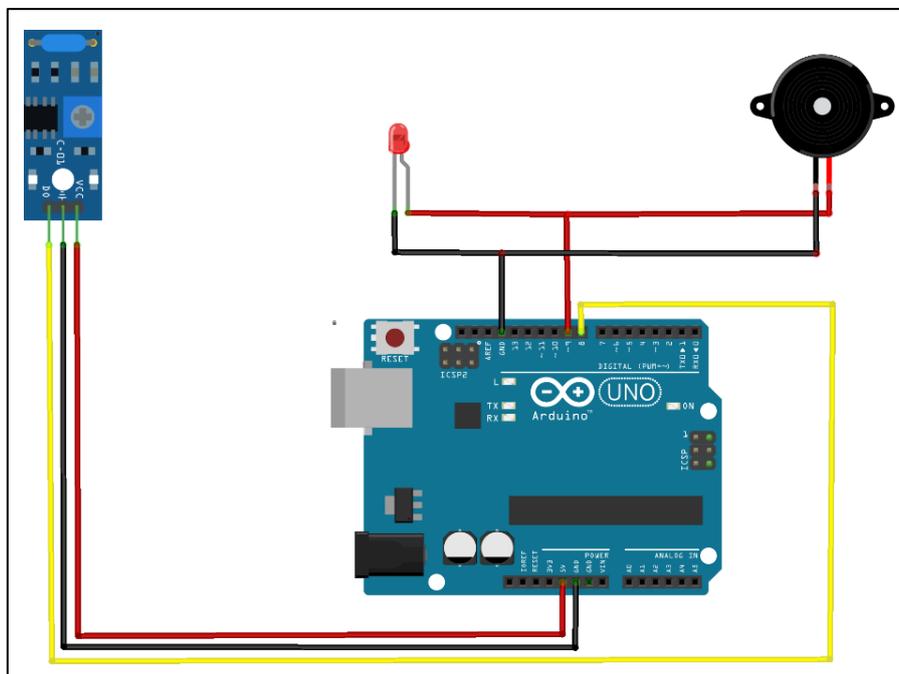


Figure 3. 45 : Schéma électrique du détecteur de séisme.

▪ **Résultats pratiques :**

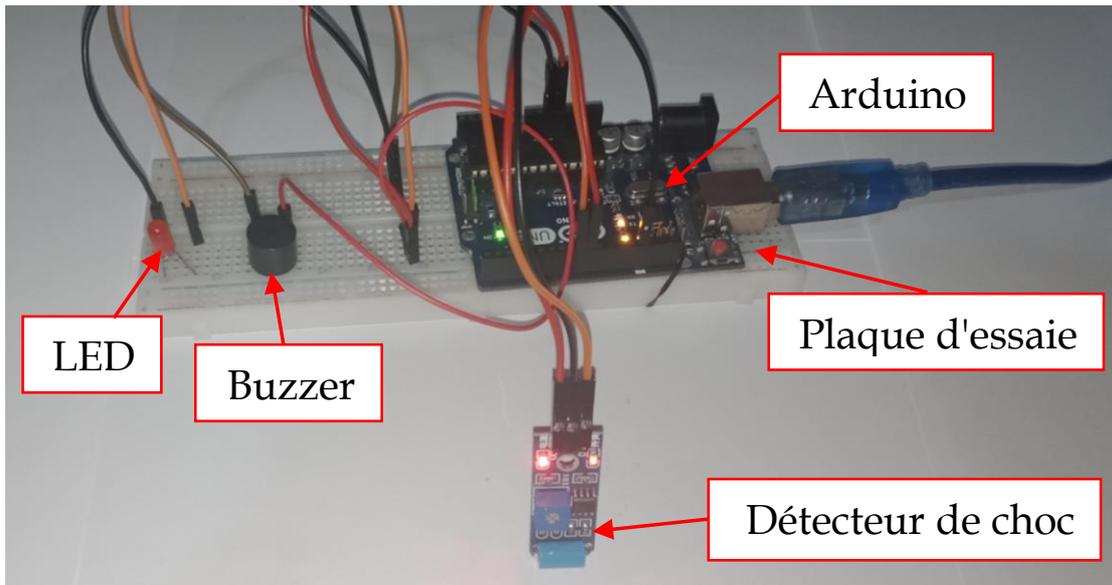


Figure 3. 46 : Réalisation pratique du détecteur de séisme.

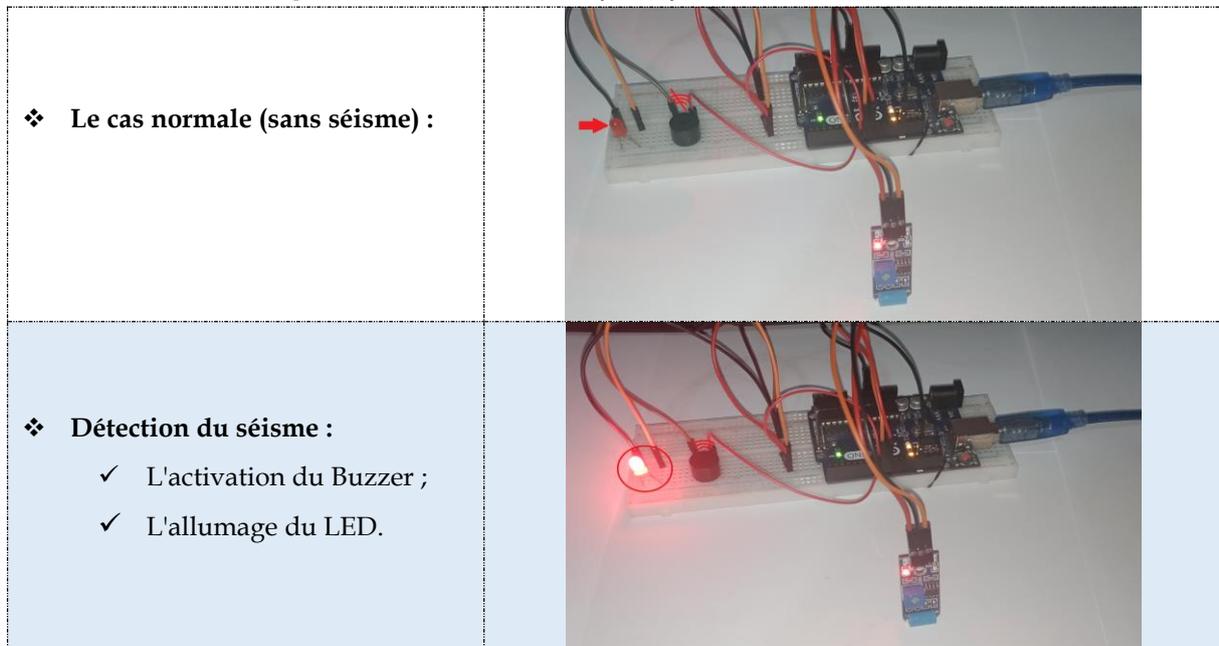


Figure 3. 47 : Réalisation pratique du détecteur de séisme -en marche-.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Dans ce projet, nous avons fait un simple dispositif de surveillance des séismes ;
- ✓ Nous avons connecté et contrôlé le module de capteur de choc, puis nous avons utilisé la LED comme notre sortie déclenchée et buzzer comme alarme ;
- ✓ Lorsque le capteur détecte une vibration, la LED s'allume et le buzzer émet une alarme sonore.

III.5.7 Détection d'objets et de visages :

- **Matériels utilisés :**

Nom des composants	Quantité
Arduino Uno	1
ESP32 Cam	1
Fils de raccordement	//
Cable USB pour le chargement du code	1

- **Algorithme proposé :**

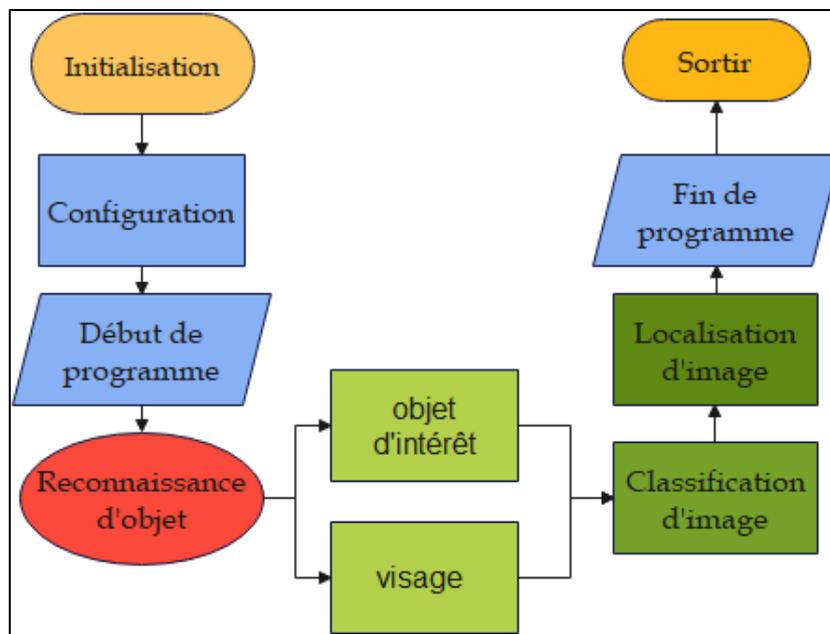


Figure 3. 48 : Organigramme de la détection d'objets et de visages.

- **Schéma électrique :**

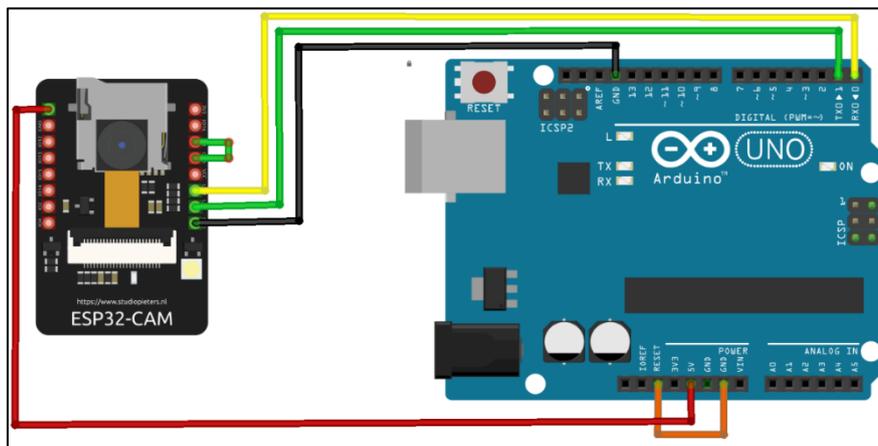


Figure 3. 49 : Schéma électrique de la détection d'objets et de visages.

▪ **Résultats pratiques :**

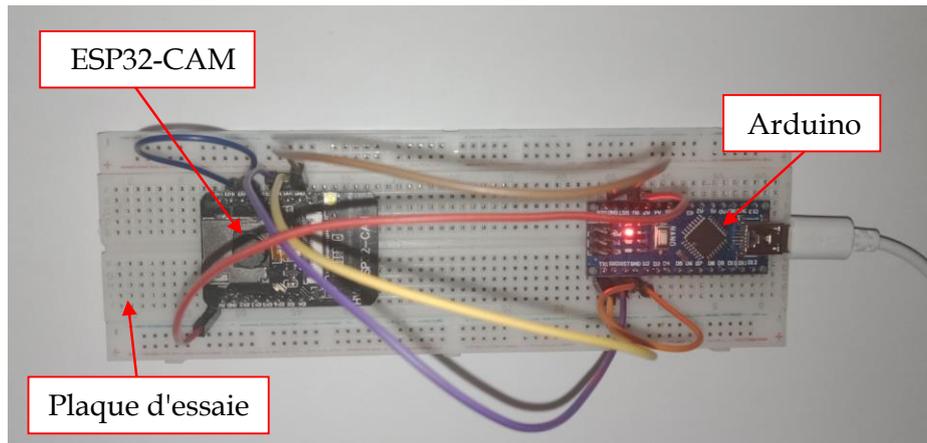


Figure 3. 50 : Réalisation pratique de la détection d'objets et de visages.

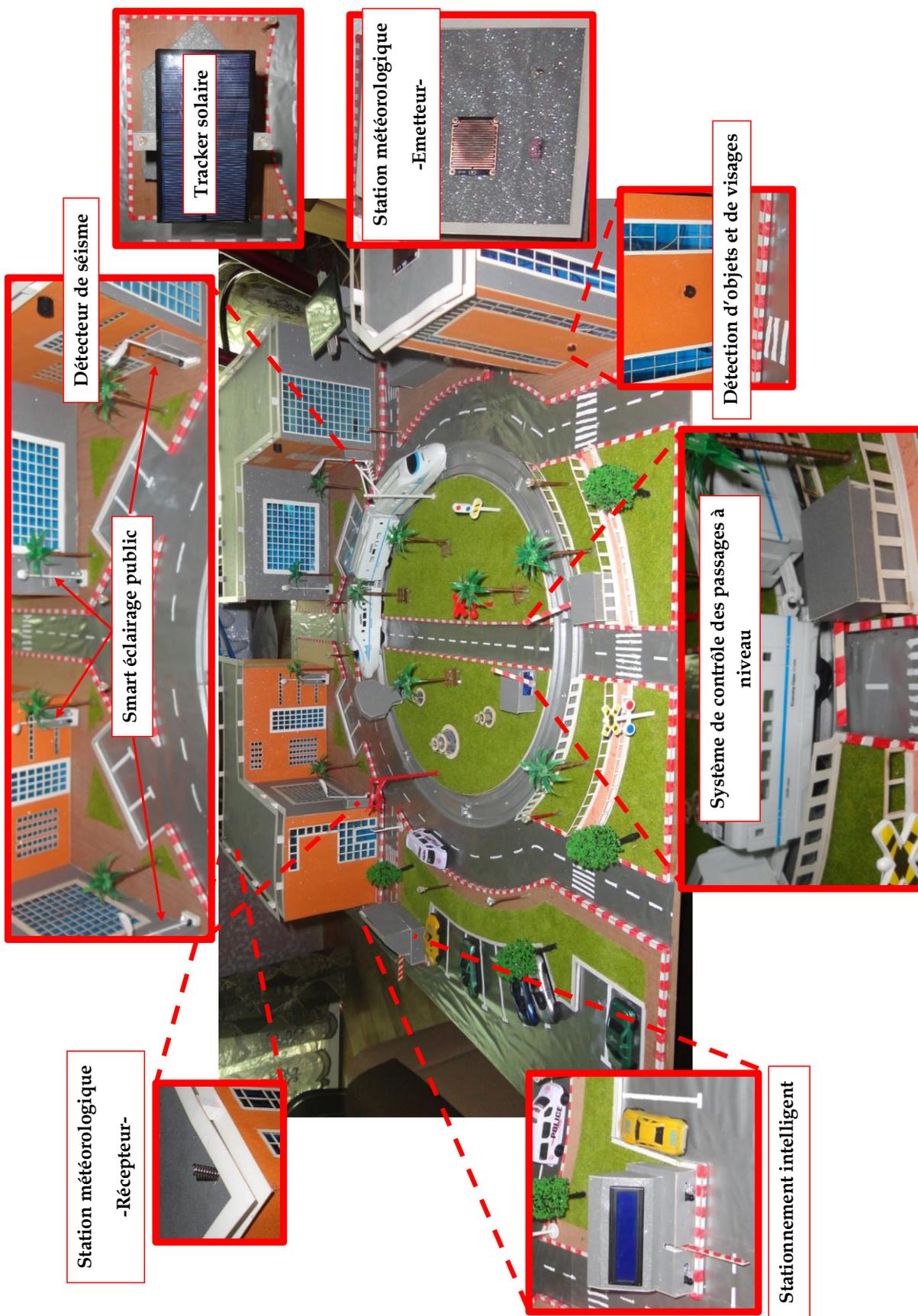


Figure 3. 51 : Résultat obtenu de la réalisation pratique de la détection d'objets et de visages.

▪ **Commentaire :**

- ✓ Ce projet introduit le thème de la détection et de l'identification d'objets basée sur ESP32 CAM avec OpenCV ;
- ✓ OpenCV est une bibliothèque de traitement d'images ouverte qui est très largement utilisée ;
- ✓ Pour la détection d'objets, nous avons utilisé la bibliothèque cvlib. La bibliothèque utilise un modèle d'IA préformé sur l'ensemble de données COCO pour détecter les objets. Le nom du modèle préformé est YOLOv3 ;
- ✓ Nous avons configuré l'IDE Arduino pour le module de caméra ESP32 ;
- ✓ Nous avons téléchargé le firmware puis nous avons travaillé sur la partie détection et identification des objets ;
- ✓ Le script de détection d'objet est écrit dans le langage de programmation python.

III.6 Réalisation de la maquette :



III.7 Conclusion :

Comme dernier chapitre, nous avons présenté ce qu'est la cité intelligente qui est devenu un domaine prometteur de la recherche une fois que le monde progresse vers la vision des systèmes intelligents, en décrivant leurs caractéristiques ainsi que leurs applications qui font de ce réseau l'un des plus complexes, nécessitant plus d'attention.

D'autre part de ce chapitre, Nous avons simulé un scénario composé de sept projets intelligents intégrés dans une maquette qui sont : le stationnement intelligent, le tracker solaire, l'éclairage public, le détecteur de séisme, le système de contrôle des passages à niveau, la détection d'objets et de visages, une station météorologique avec une transmission sans fil à distance considérable grâce à les nouveau protocole LoRaWAN qui sont plus efficaces par rapport aux d'autres réseaux sans fil notamment sur la couverture du réseau et la consommation d'énergie.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le sujet de la Smart cité est une problématique qui revient souvent dans les projets de recherche tout au long de la dernière décennie, puisqu'il s'agit d'un concept tendance dans le domaine de la technologie, À travers ce modeste projet, une cité intelligente a été réalisée avec succès en utilisant les technologies IoT et M2M. Dans un premier temps nous avons donné un aperçu général sur ces technologies afin de mieux comprendre les enjeux, y compris le principe de fonctionnement, les domaines d'application ainsi que les architectures et les normes de ces systèmes, notre projet était constitué :

- ✓ **Stationnement intelligent ;**
- ✓ **Tracker solaire intelligent ;**
- ✓ **Eclairage public intelligent ;**
- ✓ **Détecteur de séisme ;**
- ✓ **Système de contrôle intelligent des passages à niveau ;**
- ✓ **Détection d'objets et de visages ;**
- ✓ **Station météorologique.**

En guise de perspective, nous pouvons bien sûr aller plus loin dans ce projet, en intégrant l'intelligence artificielle, par exemple, les dispositifs de surveillance permettant d'identifier les lieux des accidents de la route et de contrôler l'éclairage public pour mettre en rouge le poteau le plus proche de l'accident pour faciliter la tâche des pompiers. Ou par des catastrophes environnementales, nous pouvons développer notre détecteur sismique en le rendant capable de contrôler le gaz et l'électricité et de les couper pendant le tremblement de terre, afin d'éviter les explosions de la fuite de gaz.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Fayeze Ghavimi, Hsiao-Hwa Chen, IEEE, « *M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks : Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications* »
- [2] François Baccelli, « *Les réseaux de communication du futur* », 2010 .
- [3] Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau, Françoise Massit-Folléa, « *L'internet des objets Quels enjeux pour l'Europe* », Maison des sciences de l'homme, 2015.
- [4] Carles AntonHaro, Mischa Dohler, « *Machine-to-machine (M2M) Communications* »
- [5] Niraj Pandey, « *Machine-to-Machine Communication (M2M)* », janvier 2016.
- [6] Diatta, Djitiningo Thierry Joel, Université du Québec à Rimouski, « *Conception d'amplificateurs de puissance large bande fonctionnant dans la nouvelle bande n78 pour le standard 5G* », 2020.
- [7] Artiza-Network-LTE Tutorial, « *E-UTRAN Architecture* », Novembre 2017.
- [8] Lamiaa F. Ibrahim, Hesham A. Salman, Zaki F. Taha, Nadine Akkari, Ghadah Aldabbagh, Omayma Bamasak, « *A survey on heterogeneous mobile networks planning in indoor dense areas* ».
- [9] Edward M. Roche, Benjamin H. Dickens-Jr. Walker Townes « *La prochaine génération de téléphonie mobile (5G) et ses implications (Infrastructure,Réglementation)*»
- [10] A. Gohil, H. Modi, S. K. Patel, « *5G Technology Of Mobile Communication : A Survey* », Conférence Internationale Sur Les Systèmes Intelligents Et Le Traitement Du Signal 2013.
- [11] FEI Hu, « *Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective* », 5 avril 2016.
- [12] E.Hossain, M. Asti, H. Tabassum, A. Abdel Nasser « *Evolution towards 5g Multi-Tier Cellular Wireless Networks: An Interference Management Perspective* » IEEE Wireless Communications Conférence 17 Feb 2014.
- [13] Arcep, « *Les enjeux de la 5G* », Publier le 24 août 2018 .
- [14] S. Talwar. D. Choudhury, K. Dimou, E. Aryafar, B. Bangerter And K. Stewart, «*Enabling technologies and architectures for 5G wireless* », 2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014).
- [15] S. Zhang, « *An Overview of Network Slicing for 5G* », Wireless Communications, 2017.

- [16] Taras Maksymyuk, Juraj Gazda, Oleh Yaremko, Denys Nevinskiy, « *Deep Learning Based Massive MIMO Beamforming for 5G Mobile Network* », September 2018, DOI :10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525802
- [17] Guillaume Plouin, Nicolas Colomer, « *Modèles d'architectures de l'Internet des Objets*», <https://blog.octo.com/modeles-architectures-internet-des-objets/>, le 13/09/2011.
- [18] NOUALI Ibrahim Yassine, Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunications, « *Conception et réalisation d'un prototype IoT pour la surveillance à distance d'un lieu via une application Web* », 24/06/2018
- [19] ATOUMI.M Y, BENSADI. S, « *Approche évolutionnaire pour la composition de services sensible à la QoS dans l'Internet des Objets à large échelle* », Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, Université de Bejaia, Algérie, 2018.
- [20] CHALLAL. Y « *Sécurité de l'internet des objets : vers une approche cognitive et systémique* », HDR, juin 2012, UTC.
- [21] Par Kevunie R « *Dossier complet sur la 5G au service de la smart city* », <https://www.objetconnecte.com/5g-smart-city-dossier-complet/>, décembre 2021.
- [22] Verhaeren E, « *Les Villes Tentaculaires* », Bruxelles, Paris, 1912.
- [23] Le **Congrès ATEC ITS France 2015**, Beffroi de Montrouge, 27-28 janvier.
- [24] Sabrina Zaouzaou, Sabrina Meziani Sabrina, A Charikh, « *Etude et simulation des convertisseurs statiques existant dans un véhicule électrique* », Présenté pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT, Université Abderrahmane Mira, 2017.
- [25] Site officiel d'entreprise TESLA, <https://www.tesla.com/>
- [26] Systèmes de transport intelligents, Wikipedia, http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transport_intelligent
- [27] PUBLIÉ LE 13/05/2014 | MIS À JOUR LE 29/09/2015 Par SHAHINEZ BENABED <https://www.lagazettedescommunes.com/233952/comment-integrer-les-systemes-de-transport-intelligents-a-lexistant/>
- [28] ATEC ITS France, « *Les rencontres de la mobilité intelligente* », 2016.
- [29] SAVE TIME, SPACE AND FUEL WITH SMART PARKING SOLUTION, <https://www.trafiksol.com/blog/save-time-space-and-fuel-with-smart-parking-solution/>, 22 août 2018.
- [30] **Dieuzeide**, Marie ; **Coulée**, Clara. « *Smart cities : quelles sont les principales menaces* », Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, **2018**.
- [31] *L'OID*, 2017. « *La performance énergétique et environnementale des bâtiments tertiaires* ».

- [32] Jonathan, Desdemoustier Nathalie Crutzen, Rudolf Giffinger, « *Municipalities understanding of the Smart City concept : An exploratory analysis in Belgium* ».
- [33] « *Programme offert en ligne pour les professionnels de la santé* », <https://www.umoncton.ca/telesante/fr>
- [34] M. Bourezak, S. Chetibi, « *Conception et réalisation d'un système de pilotage d'une installation domotique à distance (IoT) à base d'Arduino* », Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, Électronique des Systèmes Embarqués, Université de Jijel, 2019.
- [35] « *Domotique : tout comprendre aux protocoles pour la maison connectée* », https://www.frandroid.com/produits-android/maison-connectee/821399_domotique-tout-comprendre-aux-protocoles-pour-la-maison-connectee, 02 janvier 2021.
- [36] Maxppp / Cristiano Minichiello, « *Une élève suit un cours à distance devant son ordinateur* », <https://www.franceinter.fr/societe/retour-de-l-enseignement-a-distance-on-sait-quels-outils-fonctionnent-on-a-l-experience>
- [37] Le Mouvement des entreprises de France (**Medef**), 2017.
- [38] MARION BAGNIS, BRICE BAROIS. « *La smart city, une ville intelligente* », octobre 2017.
- [39] « *Smart Farming* », <https://www.agrotechnomarket.com>
- [40] « *IoT Steps Up Smart Farming and Precision Agriculture*, INDUSTRY TRENDS », <https://www.arcweb.com/blog/iot-steps-smart-farming-precision-agriculture>, FEBRUARY 13, 2018.
- [41] « *Outils de tourisme intelligents : relier la technologie aux ressources touristiques d'une ville* », https://stringfixer.com/fr/Smart_tourism
- [42] Gretzel, Ulrike; Sigala, Marianne, Xiang, Zheng, Koo, Chulmo « *Tourisme intelligent : fondements et évolutions* » . Marchés électroniques, Aout 2015.
- [43] Gretzel, Ulrike; Zhong, Lina ; Koo, Chulmo « *Application du tourisme intelligent aux villes* » . Journal international des villes touristiques, Mai 2016.
- [44] « *Smart Environments for Smart Cities: How do they work?* », <https://nexusintegra.io/smart-city-environments/#:~:text=Smart%20Environment%3A%20Smart%20solutions%20for,of%20the%20environment%20in%20cities.>
- [45] « *Intelligence artificielle et gestion intelligente de l'énergie* », mars 2020.
- [46] IEEE Xplore, 21-22 Jan 2022, International Conference for Advancement in Technology (ICONAT).

- [47] Mr. BOULARES, A., MLE. MNTAMBO, M. « *Etude de la commande et simulation des circuits d'un pendule inversé* ». Mémoire de Master en Génie Electrique. Université Mohamed Bougera-Boumerdes. Juin 2017.
- [48] Fiche de données ESP32 - WROOM - 32.
- [49] Lucien Bachelard, « *HC-SR04 - Module de détection aux ultrasons -Utilisation avec Picaxe* », 2015.
- [50] <https://binarytech-dz.com/produit/capteurs-robotique/capteurs/capteurs-infrarouge/capteur-de-proximite-infrarouge-fc-51/>
- [51] <https://arduino-france.site/capteur-vibration/#:~:text=Le%20capteur%20de%20vibrations%20Arduino,pour%20cr%C3%A9er%20des%20alarmes%20domestiques.>
- [52] <https://www.kzenjoy.net/2016/capteur-de-pluie-arduino/>
- [53] [https://www.digikey.fr/fr/product-highlight/b/bosch-sensortec/bmp280-barometricpressure-sensor\(25/04/2019\)](https://www.digikey.fr/fr/product-highlight/b/bosch-sensortec/bmp280-barometricpressure-sensor(25/04/2019))
- [54] <https://www.carnetdumaker.net/articles/controler-un-servomoteur-avec-une-carte-arduino-genuino/>
- [55] <https://openclassrooms.com/fr/courses/3290206-perfectionnez-vous-dans-la-programmation-arduino/3342221-programmez-un-ecran-lcd>
- [56] Ashraf Anwar, Sultan Aljahdali, « *A Smart Stick for Assisting Blind People* », Taif University, May.-June. 2017.
- [57] Becky Stewart, « *À l'aventure avec ARDUINO Dès 10 ans* », 2015, SaintGermain.
- [58] SLIMANE OTSMANE Kadda, MANSOUR Ahmed. « *Conception et réalisation d'un système d'accès intelligent pour la domotique à base d'Arduino* ». », Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, université BELHADJ Bouchaib, soutenu 2018/2019