



جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tébessi - Tébessa

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université Larbi Tébessi - Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Mathématiques et Informatique



كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة
FACULTÉ DES SCIENCES EXACTES
ET DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Option : Systèmes d'information

Thème

Présenté Par :

**Conception et Réalisation d'un Systèmes d'IoT
(Internet of Things) pour l'Economie de l'Energie
dans le Cadre d'une Cité Intelligente (Smart City).
Etude de cas : Utilisation d'une Plaque Solaire Intelligente pour
l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public.**

MAKHLouF Chaouki

Devant le jury :

Mr. Derdour Makhlouf	Pr	Université Larbi Tébessi	Président
Mr. Haouam M. Yassine	MCB	Université Larbi Tébessi	Examineur
Mme. Bourougaa Salima	MCB	Université Larbi Tébessi	Encadreur

Date de soutenance : .14/09/2020

Résumé

Internet est sans aucun doute devenu une grande source d'informations que nous partageons dans divers domaines de notre vie. Ces informations que nous partageons s'échangent sous la supervision des nouvelles technologies qui ont créé enfin de nouveaux domaines contribuant à améliorer les modes de vie des sociétés et des individus.

Ce sont les villes intelligentes (les Smart Cities), ce concept est parmi les domaines d'application de l'Internet des objets (IdO), il veille à améliorer le bien-être des citoyens grâce aux objets et infrastructures connectés numériquement.

Le projet qu'on vise à développer s'inscrit dans le domaine d'IoT pour l'économie de l'énergie dans le cadre des cités intelligentes, dont l'étude de cas : éclairage intelligent des espaces publics en utilisant des plaques solaires intelligentes. Cette solution prend en compte des valeurs transmises par des différents dispositifs installés dans l'endroit cible pour l'éclairage (capteur luminosité, capteur température et humidité, capteur de tension et capteur de mouvement), pour effectuer le traitement de ces données d'une façon intelligente afin de prendre des décisions adéquates et interventions dans le temps opportun.

Mot clés : Internet of Things, IoT, Smart City, Suiveur solaire, Eclairage intelligent, Plateforme d'IoT, Capteur, Raspberry Pi, Microsoft Azure Cloud.

Abstract

The Internet has undoubtedly become a great source of information that we share in various domains of our lives. This information that we share is exchanged under the supervision of new technologies which have finally created new domain that help to improve the lifestyles of societies and individuals.

These, are smart cities (Smart Cities), this concept is one of the application's domain of the Internet of Things (IoT), it ensures the improvement of the well-being of citizens through digitally connected objects and infrastructures.

The project we want to develop is in the domain of IoT for energy saving in the context of Smart Cities, including the uses case: smart lighting of public spaces using smart solar panels.

This solution takes into account the values transmitted by the different devices installed in the target location for lighting (brightness sensor, temperature and humidity sensor, voltage sensor and movement sensor), to process these data cleverly in order to make adequate decisions and timely interventions.

Keywords: Internet of Things, Smart City, Solaire tracker, Smart lighting, Platform of IoT, Sensor, Raspberry Pi, Microsoft Azure Cloud.

ملخص

أصبحت انترنات الأشياء دون أدنى شك مصدرا كبيرا للمعلومات التي نتبادلها في العديد من مجالات حياتنا. هذه المعلومات التي نتبادلها تسير تحت اشراف تكنولوجيا جديدة، خلقت أخيرا ميادين جديدة ساهمت في تحسين اساليب عيش المجتمعات و الأفراد.

هي المدن الذكية، هذا المفهوم الذي يعتبر إحدى ميادين تطبيق انترنات الأشياء التي تسهر على تحسين ظروف عيش المواطنين و ذلك بفصل الأشياء و المنشآت المتصلة رقميا.

المشروع الذي نحن بصدد تطويره مسجل ضمن ميدان انترنات الأشياء لأجل اقتصاد الطاقة و في اطار المدن الذكية، دراسة الحالة: الإضاءة الذكية للحدائق العامة بواسطة متعقب ذكي للشمس. هذا الحل يعتمد على القيم المأخوذة من مختلف الأجهزة المثبتة في مكان تواجد هدف الإضاءة (مستشعر الإضاءة، مستشعر الحركة، مستشعر الحرارة والرطوبة ومستشعر التيار). و القيام بطريقة ذكية بالعمليات على هذه المعطيات من أجل اتخاذ القرارات المناسبة و التدخل في الوقت المناسب.

Remercîments

Tout d'abord j'adresse ma gratitude sincère à notre Dieu

Tout puissant de m'avoir tous donné.

Je remercie mon encadreur Dr. BOUROUGAA Salima, pour m'avoir dirigé tout au long de mon travail, avec beaucoup d'efforts, de patience, d'expérience et précieux conseils.

Elle était toujours disponible malgré les charges et malgré les précautions prises contre la pandémie 2020.

J'exprime aussi mes vifs remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Merci à mon ami : Issam SEMMADI pour son assistance et soutien

Merci à tous

Chaouki MAKHLOUF

Dédicace

A :

Mes parents,

Ma chère femme, Mes enfants

Mes frères, Mes sœurs et Mes amis

Je les dédie ce modeste travail en signe :

d'Amour, d'Amitié et de Reconnaissance.

Chaouki MAKHLOUF

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
ملخص	iii
Remerciements.....	iv
Dédicace	v
Table des matières.....	vi
Liste des figures.....	x
Liste de tableaux.....	xiii
Introduction générale	
1- Contexte du travail.....	1
2- Problématiques et Objectifs.....	1
3- Description de la solution proposée.....	2
4- Structure de mémoire.....	3
Partie 1 : Etat de l’art	
Chapitre 1 : Internet des Objets et Villes intelligentes	
Introduction.....	4
I. Internet des Objets.....	5
I.1. Définition.....	5
I.2. Les composante d’IoT [1].....	6
I.2.1. Les objets (les capteurs).....	6
I.2.2. Le réseau.....	6
I.2.3. Les données.....	6
I.2.4. Les informations.....	6
I.2.5. Les applications d’exploitation.....	6
I.3. L’importance d’IoT.....	7
I.4. Les domaines d’application d’IoT.....	7
I.4.1. La santé (Smart Health).....	7
I.4.2. L’énergie.....	7
I.4.3. Le transport.....	8
I.4.4. L’industrie.....	8
I.4.5. Les villes intelligentes (Smart Cities).....	8
I.4.6. Le bien-être et le confort (domotique).....	8
I.5. La communication dans l’IoT.....	8
I.5.1. Technologie de communication.....	8
I.5.2. Protocoles de communication.....	11
I.5.3. Le protocole MQTT.....	12

I.6. Les Plateformes d'IoT	14
I.6.1. Définition	14
I.6.2. Composant d'une plateforme :	15
I.6.3. Différentes plateformes d'IoT	16
II Les objets connectés	18
II.1. Notion d'objet connecté.....	18
II.2. Exemples d'objet connecté	18
II.3. Etude détaillée des composants d'un objet connecté.....	20
II.3.1. Les microcontrôleurs	20
II.3.2. Les plaquettes d'essai sans soudure (BreadBoard).....	25
II.3.3. Les Shields.....	27
II.3.4. Les Capteurs	28
II.3.5. Les actionneurs	31
II.4. Quel objet connecté choisir ?	32
III. Les défis de l'IoT	33
III.1. Sécurité.....	33
III.2. Normes	33
III.3. Régulation	34
III.4. Autonomie.....	34
IV. Les villes intelligentes (Smart Cities).....	34
IV.1. Définition	34
IV.2. Les composants d'une ville intelligente.....	35
IV.2.1. Gouvernance intelligente.....	36
IV.2.2. Citoyen intelligent	36
IV.2.3. Économie intelligente.....	37
IV.2.4. Une mobilité intelligente	37
IV.2.5. Un environnement intelligent	37
IV.2.6. Un mode de vie intelligent	37
IV.3. Les forces de la ville intelligente	37
IV.3.1. Une ville efficace et leader	37
IV.3.2. Une ville stimulante où il fait bon vivre	37
IV.3.3. Une ville durable	37
IV.4. Les limites de la ville intelligente	38
IV.4.1. Un modèle vendu en l'absence de besoin	38
IV.4.2. Un renforcement des inégalités sociales	38
IV.5. Exemple de villes intelligentes	38
IV.5.1. Hambourg (Allemagne) : l'appel aux citoyens responsables	38

IV.5.2. Barcelone (Espagne) : une infrastructure de pointe	39
IV.5.3. Singapour : la reine des Smart Cities.....	39
IV.5.4. Oslo : la capitale Norvégienne connectée	40
Conclusion	41
Chapitre 2 : Les énergies renouvelables et les suiveurs solaires	
Introduction.....	42
I.Les énergies renouvelables	43
I.1. Les types d'énergie renouvelable	43
I.1.1. L'énergie solaire.....	43
I.1.2. L'énergie éolienne.....	45
I.1.3. L'énergie hydraulique	45
I.1.4. L'énergie biomasse	46
I.1.5. L'énergie géothermique	47
I.2. Avantage et inconvénient des énergies renouvelables [37]	48
II. Les suiveurs solaires	48
II.1. Première utilisation des suiveurs solaires	49
II.2. Avantages et inconvénients des suiveurs solaires	50
II.3. Caractéristiques des suiveurs solaires	51
II.4. Les types des suiveurs solaires	52
II.4.1. Les suiveurs passifs	52
II.4.2. Les suiveurs actifs	53
III. Eclairage intelligent des espaces publics	57
III.1. Les technologies mises en œuvre [56].....	58
Conclusion	60
Chapitre 3 : Les travaux connexes	
I. Etude comparative	62
Conclusion	73
Partie 2 : Contribution	
Chapitre 1 : Conception du système d'IoT pour l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes.	
Introduction.....	74
I.Problématiques.....	74
II Objectifs	75
III. Analyse des besoins système	75
III.1. Exigences fonctionnelles	75
III.2. Exigences non fonctionnelles	76
IV.Vision de la solution proposée	76

IV.1. Besoins en matériels.....	77
IV.2. Besoins en logiciels.....	78
V. Spécification des fonctionnalités du système.....	78
V.1. Identification des acteurs	78
Conclusion	79
Chapitre 2 : Réalisation du système d’IoT pour l’Eclairage Automatique d’un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes	
Introduction.....	80
I.Description des langages utilisés.....	80
II. Environnement et Plateforme de développement.....	81
III. Architecture générale de la solution	84
IV. Description de la réalisation physique de la solution.....	86
IV.1. Réalisation de l’objet connecté.....	88
IV.2. Portion de codes près de l’objet connecté.....	94
IV.3. Portion de codes près de simulateur	97
IV.4. Quelques interfaces pour les différentes applications du système	100
IV.5. La solution proposée VS Les autres	106
Conclusion	107
Chapitre 3 : Résultat et perspective	
Introduction.....	107
I. Démarrage du simulateur	108
II. Montant au Cloud	109
III. Descendant du Cloud.....	111
Perspectives.....	117
Conclusion générale	118
Bibliographie.....	119

Liste des figures

Figure 1. Une nouvelle dimension pour l’IoT	5
Figure 2. Composant de l’IoT	6
Figure 3. Exemple d’utilisation du protocole MQTT	13
Figure 4. Plateforme IoT	14
Figure 5. Les 08 composants d'une plateforme moderne	15
Figure 6. Les différentes plateformes d'IoT sur le marché	16
Figure 7. Présentation d'un capteur	28
Figure 8. Schéma des 06 leviers d'une ville intelligente	35
Figure 9. Smart City Wheel	36
Figure 10. Modèle d'un Héliostat	49
Figure 11. Caractéristiques P(V) suiveur.	50
Figure 12. Caractéristiques P(V) fixe.	50
Figure 13. Zomeworks Passive Solar Tracker – UTRK	52
Figure 14. Commande en boucle fermée d'un suiveur.	54
Figure 15. Commande en boucle ouverte d'un suiveur	54
Figure 16. Traqueur à un seul axe avec angle d'inclinaison de Latitude.	55
Figure 17. Traqueur à deux axes avec angle d'inclinaison de Latitude (Equatorial)	56
Figure 18. Traqueur à deux axes Azimut/Élévation.	57
Figure 19. Zomeworks Passive Solar Tracker – UTRK	63
Figure 20 : Suiveur solaire STR-21G Sun Trackers d'EKO	64
Figure 21 : Suiveur solaire d'Electro Mic	65
Figure 22 : Suiveur solaire de Tronik Adventure	66
Figure 23 : Suiveur solaire VITrox MY434	68
Figure 24 : Suiveur solaire Smartflower	69
Figure 25 : Suiveur solaire Sunny-Watt	70
Figure 26 : Suiveur solaire iTracker WL de Soltigua	71
Figure 27 : Logo C#	80
Figure 28 : Logo Javascript	80
Figure 29 : Logo Visual Studio	81
Figure 30 : Logo ASP .NET Core	81
Figure 31 : Logo Microsoft Azure	81
Figure 32 : Logo Azure Iot Hub	82

Figure 33 : Logo Signal R	82
Figure 34 : Logo : Azure Cosmos DB	83
Figure 35 : Logo Azure Active Directory	83
Figure 36 : Logo Fritzing	83
Figure 37 : Architecture générale de la solution	85
Figure 38 : Carte Raspberry Pi 3 B de la solution	86
Figure 39 : Fils de connexion GPIO	86
Figure 40 : Relais de la solution	86
Figure 41 : LED de la solution	87
Figure 42 : Breadboard de la solution	87
Figure 43 : Capteur de lumière de la solution	87
Figure 44 : Raspberry Pi : Rangée de broche GPIO [65]	89
Figure 45 : Branchement des servomoteurs	90
Figure 46 : Branchement du kit plaque solaire	91
Figure 47 : Branchement du Kit contrôle éclairage	92
Figure 48 : Branchement des capteurs de luminosités	93
Figure 49 : Lumière détectée LED éteint.	94
Figure 50 : Lumière non détectée, LED allumée	94
Figure 51 : Code C# pour associer N° GPIO au capteur	95
Figure 52 : Code C# pour paramétrer l'LDR et l'envoi d'un signal au relai	95
Figure 53 : Code C# pour paramétrer le capteur de mouvement	96
Figure 54 : Code C# pour envoyer un signal au Relai quand il y a mouvement	96
Figure 55 : Code C# pour préparer les servomoteurs	96
Figure 56 : Code C# pour tourner le servomoteur par un angle	97
Figure 57 : Code C# pour lire la charge de la batterie	97
Figure 58 : Code C# pour démarrer/arrêter le simulateur	98
Figure 59 : Fichier ressources utilisé par le simulateur	98
Figure 60 : Code C# pour paramétrer l'envoi du message au Cloud	99
Figure 61 : Code C# pour générer aléatoire des valeurs	99
Figure 62 : Code C# pour générer un fichier JSON	99
Figure 63 : Code C# pour envoyer le fichier JSON au Cloud	100
Figure 64 : Ecran « simulateur dans l'état lancé »	100
Figure 65 : Ecran d'accueil de Microsoft Azure Cloud	101
Figure 66 : Ecran : « Microsoft Azure Active Directory »	102

Figure 67 : Ecran : « Création d'un nouvel utilisateur »	103
Figure 68 : Ecran : « Liste des utilisateurs »	104
Figure 69 : Ecran : « Création du service IoT Hub »	104
Figure 70 : Ecran : « Ajout d'un Device à IoT Hub »	105
Figure 71 : Ecran : « Ajout d'un service Signal R »	105
Figure 72 : Ecran : « Service Cosmos DB »	106
Figure 73 : Ecran : « Lancement du simulateur »	108
Figure 74 : Ecran : « Surveillance des messages par IoT Hub »	109
Figure 75 : Ecran : « Surveillance des messages par Signal R »	110
Figure 76 : Ecran : « Surveillance du trafic par App Services »	111
Figure 77 : Ecran : « Charge consommée »	112
Figure 78 : Ecran : « Graphique pour Temp/Humid »	112
Figure 79 : Ecran : « Graphique pour la charge de la batterie »	113
Figure 80 : Ecran : « Graphique pour Elévation/Rotation de la plaque »	113
Figure 81 : Ecran : « Graphique pour la vitesse du vent »	114
Figure 82 : Ecran : « Liste des alertes »	114
Figure 83 : Ecran 1 : « Affichage du site Web sur un smartphone »	115
Figure 84 : Ecran 2 : « Affichage du site Web sur un smartphone »	116
Figure 85 : Ecran 3 : « Affichage du site Web sur un smartphone »	116

Liste de tableaux

Tableau 1. Tableau comparatif des types de réseaux de communication	10
Tableau 2. Tableau comparatif de quelques plateformes	17
Tableau 3. Tableau comparatif Arduino UNO / Raspberry Pi.....	25
Tableau 4 : Tableau comparatif des projets de suiveurs solaires réalisés	63
Tableau 5 : Liste des composants réels utilisés dans la solution.....	87

INTRODUCTION

GENERALE

1- Contexte du travail

C'est un hyper réseau qui a été formé par une transformation progressive d'Internet, il a été formé par une masse de connexions entre des acteurs, des concepts et des Artefacts, appelé « Internet of Things (IoT), Internet des Objets (IdO)», cette diversité et multitude de connexions, contenant des milliards d'objets et aussi d'êtres humains connectés et communicants d'une façon permanente sans avoir prendre ni le temps ni l'espace en considération et, cela pour répondre aux besoin, aux services, aux communications et aux informations pour l'utilisateur.

L'IoT est une révolution numérique qui n'a jamais cessé à se développer, elle concerne presque tous les domaines de vie, économiques, politiques et sociales et, aussi est une condition importante pour tendre vers un système intelligent et avoir une ville dite intelligente.

La ville intelligente (ou la ville interconnectée numériquement) est le plus important domaine d'application de l'IoT, ce concept attractif regroupe les décideurs de l'état ainsi que les industriels dans un atelier partagé pour le bénéfice des habitants où le numérique joue un rôle majeur.

L'économie de l'énergie en générale et l'électrique en particulier est parmi les objectifs de la ville intelligente, il est devenu primordial et un point portant un intérêt majeur pour tout le monde, que ce soit des institutions ou des individus, et pour cela, il va falloir faire recours à la technologie pour concevoir des systèmes intelligents basant sur l'installation des plaques solaires dans des jardins publics qui peuvent suivre le parcours du soleil afin de conserver plus d'énergie d'une part et, automatiser l'éclairage d'une autre part.

Ce système intelligent contrôle les plaques solaires en fonction du degré de la luminosité projetée et, cela suivant des algorithmes qui manipulent des valeurs fournis par des objets connectés, ces objets sont utilisés aussi pour l'éclairage automatique.

2- Problématiques et Objectifs

Le projet qu'on va réaliser navigue dans l'espace de la communauté 'IoT (Internet of Things)' et, précisément dans un de ses domaines 'les villes intelligentes (Smart Cities)'.

Avoir des jardins publics dans des divers endroits dans la ville est une nécessité vitale pour sa belle vue ainsi pour construire une société civilisée et modernisée et, pour cela, et pour

qu'elle mette en œuvre ces jardins, la tutelle se trouve malheureusement devant des difficultés à résoudre. Parmi ces difficultés :

- Les dépenses exagérées qui sont générées par la consommation de l'énergie utilisée pour l'éclairage drainent les ressources de la tutelle.
- Le gaspillage excessif de la consommation de l'énergie due à l'éclairage non raisonnable.
- Les coupures et les pannes du réseaux câblé causés par la surcharge et la consommation dite non raisonnable.

Et pour être face à ces problèmes, il est indispensable aux responsables des tutelles de faire recours à la nouvelle technologie mise en disposition dans ce domaine.

Notre projet essaye de mettre fin tous les problèmes rencontrés en concevant un système intelligent et automatique inscrit dans le domaine d'IoT, permet de :

- Libérer les tutelles des jardins publics de tout engagement de paiement de facture (généralement élevée) générée par l'exploitation de l'énergie.
- Exploiter l'énergie renouvelable (solaire) pour l'éclairage des jardins publics.
- Assurer un éclairage intelligent et permanent des jardins publics, tout en remédiant aux coupures et aux pannes des sources d'énergie câblées.
- Fournir aux tutelles d'une façon instantanée des informations relatives à la situation globale des jardins (Température, humidité, taux de consommation d'énergie)

3- Description de la solution proposée

La solution proposée consiste à réaliser un système qui permet de suivre le soleil tout au long de son parcours journalier. Le principe est basé sur des capteurs de luminosité fixés près d'une plaque solaire collectant le rayonnement solaire. Les capteurs mesurent la lumière projetée et les envoient à la carte contrôleur qui à son tour fait bouger -si nécessaire- les deux servomoteurs (Horizontal et Vertical) portant la plaque.

L'énergie produite durant le parcours est stockée dans une batterie rechargeable qui alimente à son tour l'éclairage public du jardin. Ce phénomène génère des données qui sont évidemment relatives à l'environnement où le site a été bien installé, et qui seront par la suite envoyées à une plateforme Cloud. Cette dernière avec ses services en nuage permet à surveiller tout ce système à distance et offre aux utilisateurs des statistiques importantes aidant à la décision.

4- Structure de mémoire

Ce mémoire est structuré comme suit :

Introduction générale

Partie 1 : Etat de l'art

Chapitre 1 : Internet des Objets et villes intelligentes

Chapitre 2 : Les énergies renouvelables et les suiveurs solaires.

Chapitre 3 : Les travaux connexes

Partie 2 : Contribution

Chapitre 1 : Conception du système d'IoT pour l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes.

Chapitre 2 : Réalisation du système d'IoT pour l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes

Chapitre 3 : Résultats et perspectives

Conclusion générale

PARTIE 1

Etat de l'art

CHAPITRE 1

Internet des Objets et Villes intelligentes

Introduction

Dès son apparition au milieu des années 1990, l'Internet a bouleversé notre quotidien, a modifié les rapports entre les individus, et les entreprises de tous les pays, en créant des nouveaux modes de communication entre eux, ainsi qu'elle a généré des communautés particulières dans différents domaines de notre vie (politique, économique, socioculturelle...).

Après, un nouveau scénario a été apparu, qui consiste à attribuer un identifiant unique pour tous les objets et les personnes, et il attribut aussi la capacité de transférer des données à travers un réseau sans aucune interférence entre homme-machine ou homme à homme. C'est la définition enfin de l'Internet des Objets (Internet of Things).

Ce chapitre est dédié à l'étude des systèmes basés sur la technologie d'IoT, comprendre ses caractéristiques, ses composants et ses spécificités, en prenant précisément un système IoT pour l'éclairage automatique des jardins publics utilisant des plaques solaires intelligentes.

I. Internet des Objets

Dans cette partie du chapitre, on va projeter la lumière sur le concept d'IoT et explorer tous ceux qui sont lui relatifs à sa mise en œuvre.

I.1. Définition

L'IoT est l'acronyme de l'Internet Of Things (Internet des Objets en français). Sa première apparition était en 1999. Également, l'IoT est un système capable de générer des données et les transmettre pour ses utilisateurs via des objets physiques qui peuvent se connecter à Internet. [1]

- Selon l'UIT¹, l'Internet des Objets est défini comme « *une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physique ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution* ». [1]
- De son côté, l'IEEE² définit l'IoT comme un « *réseau d'éléments chacun muni de capteurs qui sont connectés à Internet*».
- D'une autre façon, le CERP-IoT (*Cluster des projets européens de recherche sur l'Internet des objets*) définit l'Internet des objets comme : « *une infrastructure dynamique d'un réseau global. Ce réseau global a des capacités d'auto-configuration basée sur des standards et des protocoles de communication interopérables. Dans ce réseau, les objets physiques et virtuels ont des identités, des attributs physiques, des personnalités virtuelles et des interfaces intelligentes, et ils sont intégrés au réseau d'une façon transparente* ». [2]

D'après ces définitions, on détermine les deux axes de l'IoT : spatial et temporel qui permettent aux personnes de se connecter n'importe où et à n'importe quel moment.

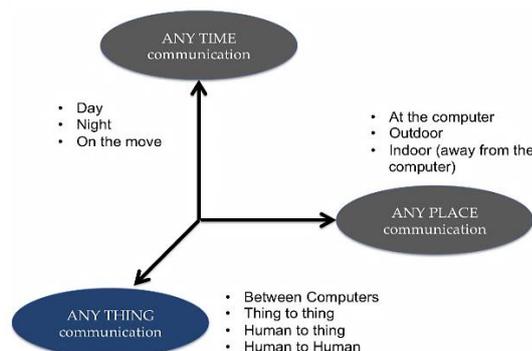


Figure 1. Une nouvelle dimension pour l'IoT [2]

¹ UIT : Union Internationale des Télécommunications

² IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

Au fil du temps, le terme IoT a évolué et il englobe à l’instant tout l’écosystème qui contient à son tour des fabricants de capteurs et microcontrôleurs, des éditeurs de logiciels, des opérateurs historiques ou nouveaux sur le marché, le terme englobe aussi un nombre énorme des objets connectés, Il pourrait y avoir plus de 21 milliards d’objets en 2020 connectés dans le monde (selon les spécialistes de Gartner - *Société mondiale de recherche et de conseil, fondée en 1979 en US*). [3]

I.2. Les composante d’IoT [1]

D’une façon pratique, un tel projet d’IoT s’articule sur cinq composantes, à savoir Les objets (les capteurs), Le réseau, Les données, Les informations et Les applications d’exploitation.



Figure 2. Composant de l’IoT [1]

I.2.1. Les objets (les capteurs)

Ce sont tous les équipements qui peuvent générer des données et transmettre des valeurs, ils sont passifs comme les capteurs, et actifs qui peuvent traiter les données et les transmettre.

I.2.2. Le réseau

Est l’anneau le plus important. Les objets doivent être installés dans une zone où il y a une couverture qui doit être alimenté en permanence par l’énergie.

I.2.3. Les données

Elles sont la source des valeurs, elles sont générées par les objets et stockées dans des BDDs pour une performante solution.

I.2.4. Les informations

Ce sont celles qu’on a déduit après le traitements et l’analyse des données bruts interceptées par les objets, il est préférable aussi de les enregistrer dans des BDDs.

I.2.5. Les applications d’exploitation

Ce sont les interfaces pour la visualisation des informations, on trouve les tableaux de bords, les Charts, les graphes, ...etc.

I.3. L'importance d'IoT

Créer de la valeur à partir des objets implantés un peu partout, est le travail à faire et l'obligation que les individus et les entreprises doivent leur donner une importance majeure, afin d'améliorer le mode de vie et de rester en compétition vis-à-vis au développement, divertissement, prestige, confort et, toute chose de valeur socioculturelle. Pratiquement, les applications sont infinies et concernent tous les secteurs. De l'automobile, à l'industrie, en passant par l'énergie et le secteur du commerce, l'IoT représente des opportunités quasi infinies pour les entreprises de différentes formes. L'Internet a ajouté aussi une valeur palpable à la stratégie d'IoT et, elle a enrichi l'exploitation de cette dernière, jusqu'à qu'elle soit très importante dans la vie quotidienne.

I.4. Les domaines d'application d'IoT

Selon [4], Il existe plusieurs domaines d'application assurés fonctionnellement par la stratégie d'IoT, et qui ont bénéficié de l'aspect intelligent de celle-ci, que ce soit dans l'industrie ou dans la vie quotidienne, parmi ces domaines :

I.4.1. La santé (Smart Health)

L'intégration de la solution IoT dans le domaine de la santé, permet de fournir en permanence et d'une façon instantanée toutes les informations sur la santé des patients, les accessoires (branchés ou transportables) qui maintiennent l'hospitalisation à temps et à domicile, la réduction de tomber dans les erreurs médicales, ces informations aussi participent à la perfection de la médecine préventive et au bien-être des personnes (surtout les âgés).

I.4.2. L'énergie

L'introduction de la solution IoT au cœur du domaine de l'énergie mènera certainement à son développement et à sa prospérité, et cela grâce aux nouvelles techniques et méthodes qui ont contribué à la réalisation de différents projets pour l'intérêt des institutions et les individus à la fois. Ces projets permettent de profiter pleinement de l'énergie renouvelable surtout l'énergie solaire qui a devenu avec la solution IoT un grand générateur d'électricité.

La solution IoT intégrée permet aussi de collecter instantanément toutes les informations liées au réseau énergétique commençant par sa mise en œuvre, son fonctionnement et finalement son contrôle et entretien mais cette fois-ci avec un usage intelligent.

I.4.3. Le transport

Le transport aussi a été révolutionné par la fusion de la stratégie d'IoT, le développement aujourd'hui dans ce domaine produit des divers systèmes qui contrôlent le trafic, la sécurité routière ainsi qu'ils veillent à donner tout indication de positionnement, pression, etc.

I.4.4. L'industrie

L'IoT a également envahi le monde d'industrie, il joue à l'amélioration de la productivité, garantie la crédibilité et la qualité des produits, optimiser la chaîne de production et la supervision permanente du matériel et équipement.

I.4.5. Les villes intelligentes (Smart Cities)

Vivre en confort et en sécurité dans la ville est le désir absolu de n'importe quel citoyen. Beaucoup de pays occidentaux ont opté à la solution IoT pour bâtir des villes contrôlées par des systèmes intelligents permettant de superviser tout le réseau (Gaz, eau, électricité, route, etc.), d'améliorer les conditions de sécurité du citoyen, et de mettre en œuvre des infrastructures durables pour le confort du citoyen, et tous ces systèmes sont développés avec un grand respect de l'environnement. [4]

I.4.6. Le bien-être et le confort (domotique)

La domotique est une vraie révolution dans la vie des utilisateurs, ensemble des techniques déployées dans l'habitation permettant de contrôler tous les systèmes de la maison, de tel sorte que la maison devienne intelligente, réfléchit et réagit d'une façon autonome. [4]

I.5. La communication dans l'IoT

La connectivité est l'anneau le plus important dans l'architecture d'IoT, elle permet d'assurer l'envoi et la réception des informations circulantes entre les objets connectés. Cela suppose donc la mise en place de réseau et protocole dédié. [3]

I.5.1. Technologie de communication

Les systèmes développés à base de la stratégie d'IoT ont fait recours à un certain nombre de réseaux, dont les caractéristiques sont essentiellement variées en débit et en portée. On distingue deux solutions comme étant des méthodes de transmission de données, [3], sont :

a) Réseaux filaires

Le plus connu est l'Ethernet, il est utilisé pour relier des ordinateurs et des équipements utilisant des câbles blindés assurant un débit élevé et une stabilité concurrentielle. On peut citer

encore : DSL (*Digital Subscriber Line*), ADSL (*Asymetric Digital Subscriber Line*), et en aussi les fibres optiques.

b) Réseaux sans fil

Ils sont plus couramment utilisés dans le domaine d'IoT, ils sont classés pratiquement en fonction de leur distance de communication, leur bande passante et de leur consommation énergétique. [5] On peut citer :

- **Les réseaux courte portée (LAN : *Low Area Network*)** : Cette famille de réseau a un principal problème qui est l'importante consommation énergétique, ils sont récapitulés ci-dessous : [5]

Wifi : La connectivité Wifi est la plus choisie par les développeurs, à cause de sa simplicité et, la grande quantité de données qu'elle peut transférer.

Les avantages : haut débit, distance jusqu'à 100m, transfert rapide, mise à jour facile et très répondu.



Les inconvénients : Energivore (Consommateur d'énergie). [5]

Z-wave : Très utilisé en domotique

Les avantages : utilisé dans des systèmes de réseau maillé, permettant d'établir une connexion de plusieurs appareils. Portée de 30m (en intérieur), moins énergivore, besoin de peu de puissance.



Les inconvénients : la mise en veille pour diminuer la consommation d'énergie, pas d'envoi de données en continu. [5]



Zigbee : Utilisé pour la domotique.

Les avantages : même avantage que Z-wave, plus de débit de données, moins couteux et facile à implémenter.

Les inconvénients : pour les appareils à pile ou batterie, il est à 10m de portée seulement. [5]

Bluetooth Low Energy (BLE) : Protocole à très basse consommation d'énergie, elle est 10 fois moins grande que le Bluetooth traditionnel.

Les avantages : peu énergivore, très répondu.



Les inconvénients : portée de 60m (même si plus que le Bluetooth 5), transfert limité de données.



Near-Field Communication (NFC) : Est dite sans contact, une technologie favorisant des interactions entre deux dispositifs électroniques dont la distance entre eux se calcule en centimètre.

Les avantages : communication simple.

Les inconvénients : très courte distance. [5]

- **Les réseaux langue portée (LPWAN : Low Power Wide Area Network) :** Ils permettant la communication des objets sur une longue distance, ils sont caractérisés par le volume faible d'information, la consommation très peu et une grande durée de vie. Deux grandes entreprises sont considérées comme les leaders du marché : *Sigfox* et *LoRa*. [5]

Sigfox : Opérateur français né en 2009 à Toulouse, a mis en place son réseau basé sur la technologie radio UNB (Ultra Narrow Band) de portée de 10 km en ville et de 30 à 50 km en campagne. [5]



LoRa Alliance : Ce réseau est basé sur le réseau LoRaWAN, un protocole de communication radio à très basse consommation et à bas débit, 5 km en ville et 45 km en campagne. Le réseau permet la communication des objets connectés, des Smart Cities et des application industrielles. [5]

Le tableau ci-dessous fait un petit comparatif entre les types de réseaux cités ci-dessus.

Technologie	Courte portée			Moyenne portée			Longue portée	
	NFC	Bluetooth	Zigbee	Z-Wave	Wi-Fi	BLE	SigFox	LoRa
Portée moyenne (en intérieur)	<10 cm	10 m	10 m	50 m	50 m	50 m	>2km	>2km
Débit (Mbit/s)	1.10^{-3}	1.10^{-5}	1.10^{-2}	1.10^{-2}	1.10^2	1.10^{-3}	1.10^{-3}	1.10^{-3}
Autonomie	Mois	Jours	Années	Années	Jours	Mois	Années	Années
Fréquence	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz 868 MHz	868 MHz	2,4 GHz 5 GHz	2,4 GHz	868 MHz	868 MHz
Usages	Téléphonie Cartes de paiement	Périphériques informatiques et multimédia	Domotique	Navigation Internet Transferts conséquents de données	Périphériques informatiques et multimédia	Prévention d'incidents Collecte de données Gestion de réseaux		

Tableau 1. Tableau comparatif des types de réseaux de communication [6]

Ce tableau comparatif illustre les différents types de réseaux expliqués ci-haut avec leur usage. On a opté au réseau WiFi à cause de sa simplicité et la quantité de données qui peut les transférer.

c) Les réseaux cellulaires

Les technologies 3G/4G LTE sont les réseaux les plus utilisés dans le domaine d'IoT et, ils sont adoptés par plusieurs acteurs dans leurs vie personnelle et professionnelle, en attendant le futur réseau 5G pour améliorer le temps de latence et la consommation d'énergie. [7]

Long Term Evaluation for Machines (LTE-M): Ce réseau fonctionne dans des bandes de fréquence allouées aux opérateurs mobiles 4G.

Les avantages : très bonne couverture réseau, très bon support pour IoT, transfert de données important.

Les inconvénients : installation d'une carte SIM, prix d'abonnement, modem performant, énergivore. [7]



Narrow Band IIoT: Basé sur l'infrastructure de la 4G.

Les avantages : il pénètre à l'intérieur des bâtiments et en sous-sol, utilisé par exemple pour les compteurs d'eau.

Les inconvénients : débit limité à 150 kbits/s. [7]

I.5.2. Protocoles de communication

Le protocole de communication définit les règles et les procédures de communication des couches physiques et de liaison du modèle choisi. Les protocoles IoT assurent que les informations d'un appareil ou d'un capteur sont compréhensibles et claires par un autre. [8]

Ci-après, on va citer les différents protocoles qu'on puisse choisir dans le système IoT pour les différentes couches du modèle.

a) Couche Application : Selon [8], Cette couche est l'interface entre l'utilisateur et l'appareil. Les différents protocoles de cette couche sont :

- **AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*):** Permet à un large éventail de systèmes et d'applications de travailler ensemble, créant ainsi une messagerie normalisée à l'échelle industrielle.
- **CoAP (*Constrained Application Protocol*):** Protocole optimisé pour les bandes passantes et réseaux contraints, et conçu pour les appareils dont la capacité de connexion est limitée dans le cadre d'une communication machine à machine (*M2M*).
- **DDS (*Data Distribution Service*):** Protocole de communication pair à pair polyvalent qui fait tout, de l'exécution de petits appareils à la connexion de réseaux de hautes performances.
- **MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*):** Protocole de messagerie conçu pour une communication machine à machine légère, et principalement utilisé pour les connexions à faible bande passante vers des emplacements distants. MQTT est idéal

pour les petits appareils qui nécessitent une utilisation efficace de la bande passante et de la batterie.

b) Couche Transport : Selon [8], La couche Transport permet la communication et protège les données lorsqu'elles circulent entre les couches. On trouve :

- **TCP (*Transmission Control Protocol*) :** Protocole utilisé pour la majorité des connexions Internet. Il offre une communication d'hôte à hôte, en divisant de grands ensembles de données en paquets individuels, et en et réassemblant en fonction des besoins.
- **UDP (*User Datagram Protocol*) :** Protocole de communication qui permet la communication entre processus et s'exécute sur IP. UDP améliore les taux de transfert de données sur TCP.

c) Couche Réseau : Selon [8], La couche Réseau permet à des appareils individuels de communiquer avec le routeur. On trouve :

- **6LoWPAN :** Version moins puissante du protocole IPv6 qui réduit les délais de transmission.
- **IPv6 :** Cette récente mise à jour du protocole IP achemine le trafic sur Internet, et identifie et localise les appareils sur le réseau.

d) Couche Liaison de donnée : Selon [8], Cette couche transfère les données au sein de l'architecture système, en identifiant et en corrigeant les erreurs trouvées dans la couche physique. On trouve IEEE 802.15.4 qui est une norme radio relative aux connexions sans fil à faible consommation.

e) Couche Physique : Selon [8], la couche établit un canal de communication, permettant aux périphériques de se connecter dans un environnement spécifié. On trouve : Bluetooth (BLE), Ethernet, LTE, NFC, Wi-Fi, etc.

Dans ce qui suit, on va citer un peu de détail sur le protocole MQTT, car il est choisi dans la présente solution (le sujet de ce mémoire) :

I.5.3. Le protocole MQTT

Selon [9], MQTT est un protocole de messagerie ISO-ISO (IEC/PRF 20922) basé sur un modèle publish/subscribe. Il a été inventé par Andy Stanford-Clark (IBM) et Arlen Nipper (Arcom, maintenant Cirrus Link) en 1999. Il fonctionne au-dessus du protocole TCP/IP comme protocole de couche Application.

Ses caractéristiques le rendent idéal dans de nombreuses situations, surtout dans des environnements contraints tel que le M2M et l'IoT où le code réduit est requis et/ou la bande passante est cruciale. Parmi ces caractéristiques :

- Simple à mettre en œuvre,
- Livraison de données avec qualité de service,
- Léger et efficace avec la bande passante,
- Agnostique quant aux données,
- Maintenance des sessions.

Modèle publish/subscribe : Le modèle est un alternatif du modèle Client/Serveur. Le modèle fait la dissociation entre le client qui envoie le message (*publisher*) et celui qui le reçoit (*subscriber*). Il existe un troisième qui s'appelle le *broker*, ce dernier connaît les deux parties et, il filtre tous les messages entrants et les distribue.

- **Filtrage :** Est une des caractéristiques du modèle, le protocole fait un filtrage des messages selon :
 - ✓ **Le sujet (*topic*) :** il fait partie de chaque message. Le client s'abonne sur les sujets qui l'intéressent sur le broker. Il reçoit après les messages qui correspondent au sujet dans lesquels il s'est inscrit.
 - ✓ **Le contenu :** le filtrage basé sur le contenu, en fonction de règles spécifiques. Ce contenu doit être connu au préalable et ne peut être chiffré ou modifié facilement.
 - ✓ **Le type :** Dans les langages orientés objet, il est d'usage de filtrer en fonction du type ou de classe du message (événement).

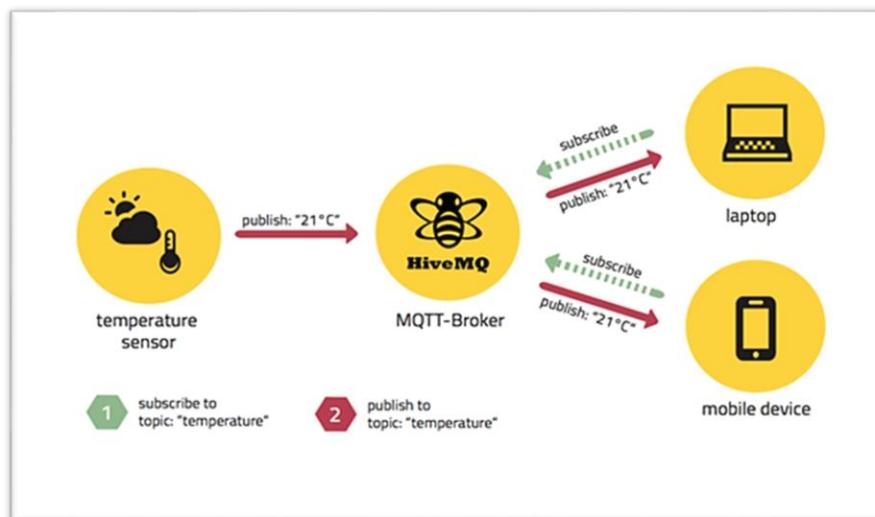


Figure 3. Exemple d'utilisation du protocole MQTT [10]

I.6. Les Plateformes d'IoT

Plus de 21 milliards d'objets connectés d'ici à 2020...

Sûrement, les entreprises n'ont pas d'autre choix que d'adopter la technologie de l'Internet des objets qui a une valeur effectivement incontestable. Et pour cette raison, elles se trouvent dans une poursuite vers une nouvelle économie dans laquelle les produits ne génèrent seulement un chiffre d'affaire, mais elle génère aussi des données très précieuses orientées vers le bien des entreprises. On parle alors de l'économie des données.

Et pour cela, les entreprises sont à l'obligation de dresser et élaborer leur stratégie dans ce domaine, surtout en ce qui concerne l'un de ses principaux composants, à savoir la plateforme IoT.

I.6.1. Définition

On peut définir une plateforme IoT comme l'ensemble de logiciels distribués sur des serveurs couplés à des BDDs et routeurs de message. Cet ensemble permettant de piloter les objets, de collecter, d'analyser les données envoyées, et de sécuriser les échanges de l'objet jusqu'au système d'information.

La plateforme réserve aux objets connectés des interfaces graphiques utilisateur (web) et des interfaces réservées aux systèmes tiers (API). [11]

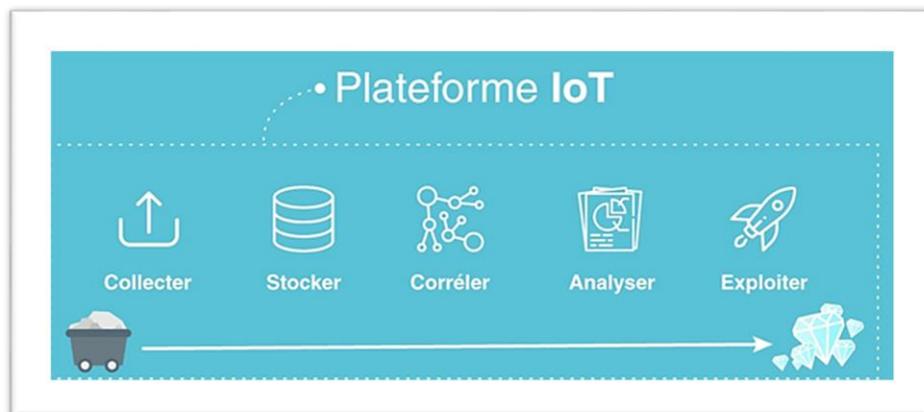


Figure 4. Plateforme IoT [11]

I.6.2. Composant d'une plateforme : Selon [12]

L'intérêt d'une plateforme IoT se base sur les composantes de son architecture présentée ci-après :

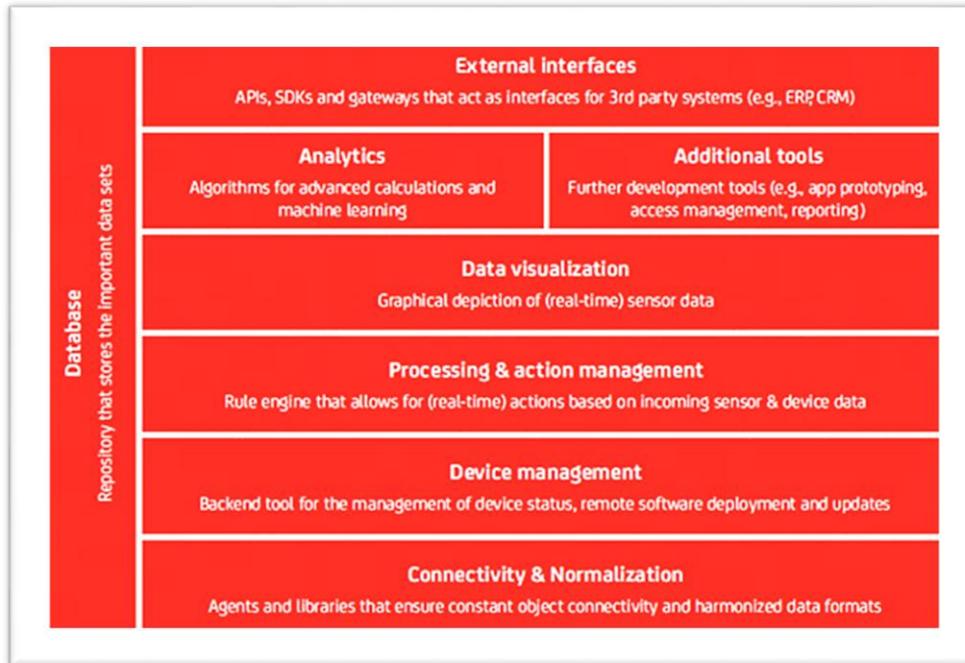


Figure 5. Les 08 composants d'une plateforme moderne

- ❖ **Connectivité et normalisation** : assure la transmission des données et l'interaction avec tous les devices, à l'aide des différents protocoles.
- ❖ **Gestion du matériel** : assure le bon fonctionnement de l'objets connecté et la mise à jour des softwares tournant sur le device ou sur les passerelles.
- ❖ **Base de données** : stockage des données du matériel et prise en compte des exigences pour des base de données (volume de données, diversité, véracité).
- ❖ **Gestion des actions et processus** : exécution des actions smart selon les données des capteurs utilisant des règles et des événements.
- ❖ **Analytics**: analyse prédictive des données pour sélectionner les valeurs les plus pertinentes..
- ❖ **Visualisation** : permettre à l'homme de d' interpréter les données grâce à des diagrammes et modèles.
- ❖ **Outils additionnels** : facilite le test pour les développeurs IoT et fournit aussi des IoT use cases pour la création des applications.
- ❖ **Interfaces externes**: permettre à l'application de s'integraer avec des systèmes tiers et d'autres plateformes IoT via des API, SDK et passerelles

I.6.3. Différentes plateformes d'IoT

Il existe un nombre important de plateformes d'IoT dans le marché,



Figure 6. Les différentes plateformes d'IoT sur le marché [9]

Dont les plus célèbres sont :

- ❖ Amazon Web Services IoT Platform.
- ❖ IBM WATSON.
- ❖ CISCO IoT CLOUD CONNECT.
- ❖ Microsoft Azure.
- ❖ Oracle Integrated Cloud.
- ❖ Kaa.

Et tant que chaque plateforme offre ses propres services et, elle participe à la course pour l'obtention de la grande part du marché, il peut être difficile de se faire une idée quant à la meilleure firme à sélectionner pour se lancer dans un projet IoT.

Cependant, on va lister quelques critères de choix principaux à prendre en compte ainsi que certaines métriques à évaluer lors de la décision :

- **Sécurité** : protéger des risques de hacking, garantir la confidentialité des données de bout en bout, proposer un cryptage fort des données, fournir un système d'authentification sécurisé, permettre la séparation des données dans l'écosystème commun.
- **Capacité de récupération des données** : type et nombre de protocoles de communication gérés par la plateforme (MQTT, CoAP...), types d'accès autorisés (LoRa, Sigfox ...)

- **Scalabilité** : nombre de capteurs pouvant fonctionner sur la plateforme, volume de données recevables, quantité de données stockables...
- **Utilisation des données** : interfaces, écrans et modules d'affichage des informations à disposition par défaut, modélisation et processus de provisioning des objets (capteurs), capacité à *bufferiser* les messages descendants...
- **Application** : langages de développement gérés et supportés par la plateforme, *hardwares* associés, facilité de création et de développement d'applications métiers, type et nombre d'API mises à disposition en standard pour diffuser les informations au sein du SI de l'entreprise.

Ces cinq critères sont essentiels pour le choix d'une plateforme tout en tenant compte au contexte, besoins et contraintes spécifiques de l'entreprise qui permettront de poser le doigt la plateforme adéquate. L'objectif étant d'assurer un équilibre stratégique, technique, économique et de gestion de projet.

Un tableau comparatif de quelques plateformes illustré dans la figure suivante :

Plateforme	Stockage de données	Intégration de services	Visualisation données	SDK, API	Gestion d'événement	Tarification	
Temboo	X	✓	X	✓	✓	49\$ par mois par app	
Carriots	✓	✓	X	✓	✓	2€ par mois par device (11min)	
Ubidots	✓	✓	✓	✓	✓	Gratuit pour moins de 5 devices	
AWS IoT	✓	✓	No but Elastic Search & Kibana	✓	✓	Gratuit 1an puis 5\$ par million de messages	
Microsoft Azure IoT	✓	✓	✓	✓	✓ with IoT hub	Essais gratuits – cout par service	
IBM IoT Watson	✓	✓	✓	✓	✓	Essai 1 mois gratuit	

Tableau 2. Tableau comparatif de quelques plateformes [12]

En étudiant les profils de chaque plateforme illustrée dans le tableau, on remarque qu'il y a deux plateformes en concurrence pour gagner la part du marché : Microsoft Azure et Amazon AWS, pourtant que les deux sont en développement jusqu'à présent, mais on a opté à celle d'Azure du géant Microsoft, cette plateforme offre une gamme de service Cloud permettant aux

utilisateurs de développer ou mettre à l'échelle de nouvelles applications ou exécuter des applications externes.

II. Les objets connectés

II.1. Notion d'objet connecté Selon [2]

L'objet connecté est un dispositif dont la vocation première n'est pas d'être un périphérique informatique ou une interface d'accès au Web, l'objet connecté peut être une voiture, une montre, un réfrigérateur, ...etc.

L'intégration d'une connexion Internet à un objet connecté permet de l'enrichir en termes de fonctionnalité, et d'interaction avec son environnement.

L'objet connecté possède plusieurs contraintes telles que la mémoire, la bande passante ou la consommation d'énergie, etc. il a une capacité de recevoir, de transmettre des données avec des logiciels.

II.2. Exemples d'objet connecté [13]

On a préféré dans ce qui suit de montrer quelques exemples d'objets connectés de différents domaines d'application cités ci-haut :



Caméra connectée

Elle permet de garder un œil ouvert dans la maison toute la journée, signaler quoi que ce soit d'inhabituel se passe lorsqu'on est loins. Elle envoie des alerts grâce à une application installée sur un smartphone ou une tablette. Elle est considérée aussi comme objet veilleuse pour bébé.

Thermostat connecté

Cet objet domotique permet de préserver la consommation de l'énergie dans la maison, elle est programmée selon nos préférences afin de contrôler la climatisation et le système de chauffage.





Le Parrot Flower Power

Cet objet permet d'envoyer des notifications concernant l'état des plantes (humidité du sol, température, luminosité, présence d'engrais dans le sol). Ces informations aident à intervenir au moment opportun afin de garder la bonne santé des plantes.

Bracelet santé connecté

Ce bracelet donne accès à une flotte de statistiques concernant l'activité physique (fitness, cardio, course à pied, vélo, etc). Elle suit en continu le déplacement en comptant les pas effectués, les distance parcourus, les étages montés et, même enregistre les séances d'entraînement.



Système de suivi du sommeil

Il suit le cycle de sommeil en observant les mouvements corporels, les cycles respiratoires et le rythme cardiaque. Il analyse aussi les niveaux sonores et lumineux ambiants tout au long de la nuit pour aider à déterminer les facteurs faisant des effets négatifs sur la qualité du sommeil.



Smart Baby Monitor

Il permet une surveillance audio et vidéo à distance du bébé comme un éventuel pleur. Le plus intéressant de cet objet est de permettre aux parents d'interagir avec leurs bébés en les parlant depuis le téléphone.

La brosse à dents

Cette brosse à dents connectée permet de suivre en temps réel la qualité de brossage (pression, zone oubliée...) mais aussi le temps consacré grâce à un compteur. Et durant le brossage, un bulletin d'infos vous sera proposé pour vous distraire, ainsi que des conseils dentaires.



La balance de cuisine

En interaction avec une application Wellness Coach, elle pourra calculer les valeurs nutritives de chaque aliment pesé, et permettra de suivre les apports énergétiques quotidiens.



La serrure

Grâce à cet objet connecté, on peut entrer chez nous sans clé et de manière sécurisée, juste avec un smartphone, une télécommande, un lecteur d'empreinte digitale ou un code. Elle est dotée de différentes alarmes qui peuvent être envoyées au smartphone en cas d'incendie ou de cambriolage



II.3. Etude détaillée des composants d'un objet connecté

Tout objet connecté embarque en générale un micro-processeur qui fait toutes les tâches locales et, même il communique avec d'autres services qui peuvent être des serveurs ou autre objet comme un smartphone. Pratiquement, l'objet connecté embarque différentes composantes citées ci-après :

II.3.1. Les microcontrôleurs [14]

Ils se présentent sous la forme d'un circuit intégré qui a une structure similaire au système à base microprocesseur (microordinateur). Ce système rassemblant des éléments qui sont tous intégrés dans un seul circuit est appelé *System On Chip* (système sur une puce).

Le microcontrôleur se compose de quatre éléments dont à chacun de ces éléments a une fonction bien précise :

- Un **microprocesseur** qui va prendre en charge la partie traitement des informations et envoyer des ordres. C'est donc lui qui va exécuter le programme embarqué dans le microcontrôleur.
- Une **mémoire de données (RAM)** dans laquelle seront placées les données temporaires nécessaires aux calculs. Elle est donc la mémoire de travail qui est donc volatile.

- Une **mémoire programmable (ROM)**, qui va contenir les instructions du programme pilotant l'application à laquelle le microcontrôleur est dédié. Il existe différents types de mémoires programmables que l'on utilisera selon l'application (**EEPROM, OTPROM, UVPPROM**).
- La dernière partie correspond aux ressources auxiliaires. Celles-ci sont généralement :
 - Ports d'entrées/sorties parallèle et série.
 - Des Timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.
 - Des convertisseurs A/N pour traiter les signaux analogiques.

1. Les différents modèles de microcontrôleur

Plusieurs types de carte à microcontrôleur existent dans le marché, toutes ces cartes embarquent toutes les parties composantes qui sont citées auparavant. On va citer ci-après les deux très répons modèles : Arduino et Raspberry Pi.

✓ Carte Arduino [15]

Est une carte électronique programmable dotée d'un processeur et une mémoire sur laquelle on peut broncher des capteurs de température, d'humidité, de vibration ou de lumière, une caméra, des boutons, des potentiomètres de réglage... Aussi, elle contient des connecteurs pour broncher des LED, des moteurs, des relais, des afficheurs, un écran...

Plusieurs versions de cartes d'Arduino existent sur le marché, elles se diffèrent selon les caractéristiques (la puissance, l'énergie...), ainsi que les besoins du projet à réaliser.



Arduino UNO

- version: **UNO Rev. 3**
- Alimentation:
 - via port USB ou
 - 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
- Microprocesseur: ATmega328
- Mémoire flash: 32 kB
- Mémoire SRAM: 2 kB
- Mémoire EEPROM: 1 kB
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM
- 6 entrées analogiques 10 bits
- Intensité par E/S: 40 mA
- Cadencement: 16 MHz
- Bus série, I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche USB B
- Dimensions: 74 x 53 x 15 mm
- Version d'origine fabriquée en Italie

Arduino LEONARDO

- Alimentation:
 - via port USB ou
 - 7 à 12 V sur connecteur alim
- Microprocesseur: ATmega32u4
- Mémoire flash: 32 kB
- Mémoire SRAM: 2,5 kB
- Mémoire EEPROM: 1 kB
- Broches d'E/S dont 6 PWM
- 6 entrées analogiques 10 bits
- Intensité par E/S: 40 mA
- Cadencement: 16 MHz
- Bus série, I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche USB B
- Dimensions: 70 x 54 x 15 mm
- Fabriquée en Italie



Arduino MEGA 2560

- Alimentation:
 - via port USB ou
 - 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm
- Microprocesseur: ATmega2560
- Mémoire flash: 256 kB
- Mémoire SRAM: 8 kB
- Mémoire EEPROM: 4 kB
- 54 broches d'E/S dont 14 PWM
- 16 entrées analogiques 10 bits
- 3 ports série
- Intensité par E/S: 40 mA
- Cadencement: 16 MHz
- Bus série, I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche USB B
- Dimensions: 107 x 53 x 15 mm
- Fabriquée en Italie



✓ Carte Raspberry Pi [16]

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur à processeur ARM³ conçu par des professeurs du département informatique de l'université de Cambridge. Cet ordinateur de la taille d'une carte de crédit fonctionnant également avec le système d'exploitation Microsoft Windows : **Windows 10 IoT Core** et celui de **Google, Android Pi**.

Différents modèles de cette carte sont présentés ci-après : [15]

³ ARM : Architecture plus simple que d'autres familles de processeurs d'une faible consommation électrique

Raspberry Pi Zero WH



- Alimentation à prévoir: 5 Vcc via adaptateur USB
- Puissance maxi: 180 mA (adaptateur secteur 1 A recommandé en fonction des périphériques raccordés)
- CPU: ARM1176JZF-S
ARM11 1 GHz
- GPU: Broadcom VideoCore IV
- WiFi: 2,4 GHz, 802.11n (Broadcom BCM43438)
- Bluetooth 4.1 (Broadcom BCM43438)
- Mémoire: 512 MB LPDDR2 (partagé avec le GPU)
- Interfaces:
 - 1 x port micro-USB 2.0
 - bus: SPI, I2C, série, I2S
 - support pour cartes micro-SD
 - sortie audio: mini-HDMI
 - sortie vidéo: mini-HDMI
 - connecteur mini-CSI
- Dimensions: 65 x 31 x 13 mm
- Poids: 12 g

Raspberry Pi 3 B+

- Alimentation à prévoir: 5 Vcc/maxi 2,5 A via prise micro-USB
- CPU: ARM Cortex-A53 quatre coeurs 1,4 GHz
- Wi-Fi: Dual-band 2,4 et 5 GHz, 802.11b/g/n/ac (Broadcom BCM43438)
- Bluetooth 4.2 (Broadcom BCM43438)
- Mémoire: 1 GB LPDDR2
- Ethernet 10/100/1000: jusqu'à 300 Mbps
- 4 ports USB 2.0
- Port ethernet 10/100 base T: RJ45
- Bus: SPI, I2C, série
- Support pour cartes micro-SD
- Sorties
 - HDMI avec gestion du audio: 5.1
 - Jack 3,5 mm en stéréo
- Sorties vidéo: HDMI
- Dimensions: 86 x 54 x 17 mm
- Poids: 50 g



Raspberry Pi 4 B – 2GB



- Alimentation à prévoir: 5 Vcc/maxi 3 A via prise USB Type C
- CPU: ARM Cortex-A72 quatre coeurs 1,5 GHz
- Wi-Fi: Dual-band 2,4 et 5 GHz, 802.11b/g/n/ac (Broadcom BCM43438)
- Bluetooth 5 compatible BLE (Broadcom BCM43438)
- Mémoire: 2 GB LPDDR4
- Circuit vidéo: VideoCore VI à 500 MHz
- 2 ports USB 2.0
- 2 ports USB 3.0
- Port Ethernet Gigabit: RJ45
- Bus: SPI, I2C, série
- Support pour cartes micro-SD
- Sorties audio:
 - 2 x micro-HDMI avec gestion du 5.1
 - Jack 3,5 mm en stéréo (partagé avec vidéo)
- Sorties vidéos:
 - 2 x micro-HDMI (4K @ 60 fps maxi)
 - Jack 3,5 mm (partagé avec audio)
- Interface CSI pour caméra
- Interface DSI pour écran
- Dimensions: 88 x 58 x 17 mm
- Poids: 46 g

2. Quelle carte microcontrôleur choisir ? [17]

Quelques points à prendre en considération lors du choix d'un microcontrôleur pour un projet, ils sont catégorisés en technique et en commercial :

- La disponibilité sur le marché.
- La portée du prix.
- La vitesse maximale et la quantité du RAM et ROM.
- Le nombre et les types de broches d'E/S.
- La consommation raisonnable de l'énergie.
- La facilité de son programmation.

Et reste la première considération à garder à l'esprit lors du choix est les exigences fondamentales du type de projet à réaliser.

Le tableau suivant montre des points comparatifs entre les deux cartes citées en haut :

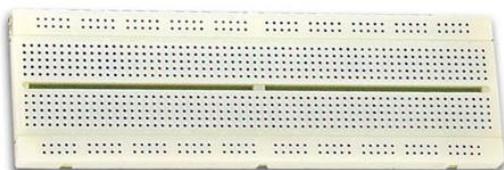
NOM DE LA CARTE	ARDUINO UNO	RASPBERRY PI (MODEL B)
Origine	Interaction Design Institute d'Ivrea (Italie)	Université de Cambridge
Organisation en charge des spécifications	Arduino.cc	Raspberry Pi Foundation (fondation de droit anglais)
Naissance	2005 (fabrication en Italie par Smart Projets)	2008 (accord de fabrication avec RS Components et Farnell/Element 14 en 2011)
Prix	30\$	Moins de 40\$
Taille	45,43x32,34mm	85,60x53,98mm
Processeur	ATmega328 8 bits d'Atmel à 16MHz	BCM2835 de Broadcom basé sur un ARM11 à 700MHz GPU intégrée (Video Core 4 de Broadcom)
Mémoires	2 Ko Ram, 1 Ko Eeprom	512 Mo SDRAM
Mémoire Flash	32 Ko	Sur carte SD
Tension d'entrée	7V - 12V	5V
Consommation	42mA (0,5W)	700mA (3,5W)
Ethernet	Non	10/100 Ethernet
USB	Non	2 USB 2.0
Sorties vidéo	Non	Composite et HDMI
Développement	Langage de programmation Arduino	Langages Scratch, Squeak

Tableau 3. Tableau comparatif Arduino UNO / Raspberry Pi

II.3.2. Les plaquettes d'essai sans soudure (BreadBoard) [18]

La planche de montage expérimental est un outil essentiel pour l'électronique. Ce dispositif permet de réaliser le prototype d'un circuit électronique et de le tester.

Il existe différents formats et différentes tailles de BreadBoard. Voici quelques-unes : [19]



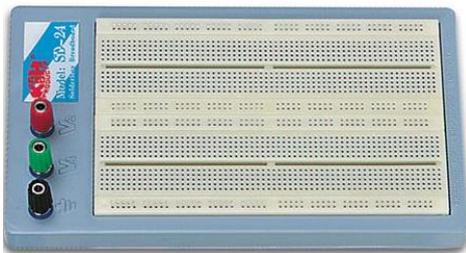
Caractéristiques

- Module de base : deux barres de 5 x 64 connecteurs séparées par un canal de 7.62mm
- Barres bus : 4 barres de 25 connecteurs réparties sur 4 lignes

Spécifications

- Matériau :
 - Revêtement extérieur en ABS
 - Connexions : alliage d'argent et nickel
- Module de base : 1

- Barres bus : 2
 - Trous : 840
 - Nombre de CI de 14 pattes : 9
 - Borne de connexion : 0
 - Dimensions : 168 x 55 x 10 mm
- Poids : 95 g

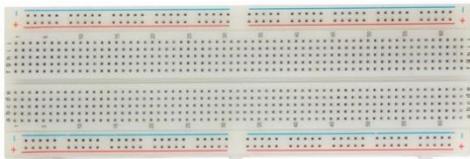


Caractéristiques

- Module de base : deux barres de 5 x 64 connecteurs séparées par un canal de 7.62mm
- Barres bus : 4 barres de 25 connecteurs réparties sur 4 lignes

Spécifications

- Matériau :
 - Revêtement extérieur en ABS
 - Connexions : alliage d'argent et nickel
- Module de base : 2
- Barres bus : 4
- Trous : 1680
- Nombre de CI de 14 pattes : 18
- Borne de connexion : 3
- Dimensions : 220 x 127 x 18.5 mm
- Poids : 292 g



Caractéristiques

- Module de base : deux colonnes de 5 x 63 bornes
- Module de bus : 2 bus de 50 bornes connectées réparties sur 2 lignes

Spécifications

- Tension : max. 30 V
 - Courant : max. 3 A
 - Matériau :
 - Revêtement extérieur en ABS
 - Ressorts de contact : acier inoxydable
 - Module de base : 1
 - Module de bus : 2
 - Points de connexion : 830
 - Nombre de CI de 14 pattes : 9
 - Bornes de connexion : 0
 - Dimensions : 165.5 x 56.5 x 8.5 mm
- Poids : 74 g

II.3.3. Les Shields

Dans sa définition, un Shield est considéré comme un bouclier que l'on connecte directement au microcontrôleur afin d'ajouter une fonctionnalité sans soudure au circuit.

Il existe plusieurs shields sur le marché de l'électronique, on peut citer quelques exemples dans ceux qui suivent : [20]

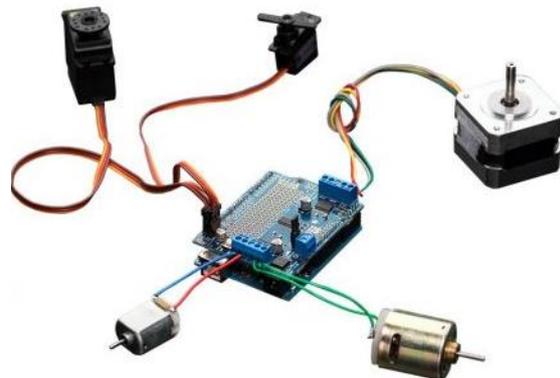


Shield LCD RGB - 2 pins - AFFICHAGE NEGATIF + Keypad

- Dimensions: 53.3mm x 81.3mm
- Fourni avec un afficheur 16 caractères/ligne, 2 lignes, rétro-éclairage RGB (RVB), affichage négatif.

Shield de contrôle moteur

- Dimensions (assemblé) : 70mm x 55mm x 10mm



Carte d'extension Funduino Shield Joystick pour Arduino

- Un joystick 2 axes
- 4 gros boutons couleur (A B C D)
- 2 petits boutons poussoirs
- Interface de communication sans fil nRF24L01
- Interface de communication sans fil Bluetooth
- Interface pour écran LCD Nokia 5110
- Interface bus I2C

Shield GPS

- Modèle FZ0039
- Avec interface pour carte mémoire micro SD
- Antenne active avec une haute sensibilité
- Temps très rapide de première fixation de signal à de faible taux de signaux
- Interface UART
- Temp. de fonctionnement de -40 à 85°C
- Taille de la carte 56 x 54 mm
- Poids 45 g.
- Tension de fonctionnement digital 3.3V, 5V



II.3.4. Les Capteurs [21]

Un capteur est un transducteur capable de transformer une grandeur physique observée (luminosité, humidité, température, mouvement...) en une autre grandeur généralement électrique (tension, courant, fréquence, niveaux logiques, nombre binaire...) utilisable par l'homme ou par le biais d'un instrument approprié. Le but étant de faire évoluer le système aux caractéristiques de l'environnement extérieur.

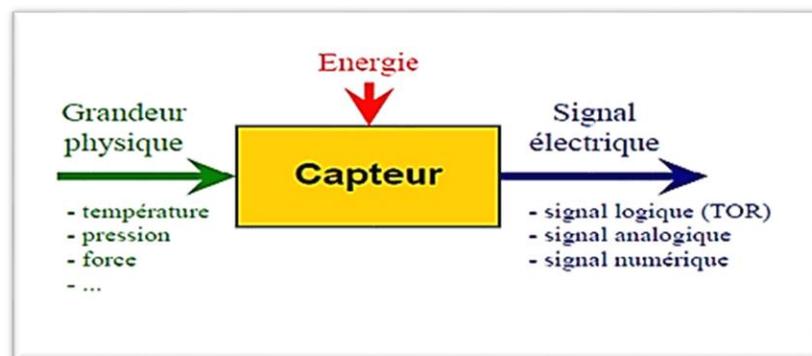


Figure 7. Présentation d'un capteur [22]

Les capteurs sont classés selon deux critères : [23]

- En fonction de la grandeur mesurée ; on parle de capteurs de position, de température, de vitesse, de force, de pression etc.
- En fonction du caractère de l'information délivrée ; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques :
 - Capteurs logiques (TOR) : la sortie est un état logique que l'on note 1 ou 0. On peut les nommer dans ce cas : les détecteurs.
 - Capteurs analogiques : La sortie est une grandeur électrique dont la valeur est une fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur.

- Capteurs numériques : La sortie est une séquence d'états logiques qui, en se suivant, forment un nombre. On peut les appeler : les codeurs. Exemple : lecteur code-barre.

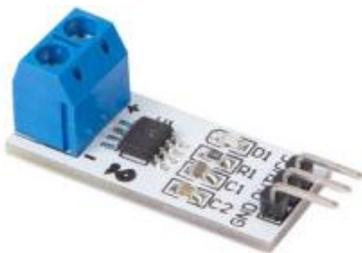
- **Caractéristiques des capteurs** [23]

Les capteurs sont caractérisés selon différents critères :

- **Sensibilité** : représente la variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- **Rapidité** : est le temps de réponse du capteur, elle exprime l'aptitude à suivre dans le temps des variations de la grandeur à mesurer.
- **Précision de mesure** : aptitude à donner des indications proches de la valeur vraie.
- **Résolution** : plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- **Linéarité** : représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.
- **Etendu de mesure** : L'étendue de mesure est la différence entre la limite supérieure et la limite inférieure de la grandeur mesurable par un capteur.
- **Fidélité** : aptitude à donner dans les conditions d'emploi fixées pour des réponses très voisines lors de l'application répétée d'un même signal d'entrée.

- **Exemples de capteur**

Le développement technologique du domaine électronique a vraiment contribué à l'évolution remarquable du domaine IoT et, cela en produisant une multitude de capteurs de différent modèle et différente utilisation. On a cité dans ce qui suit quelques exemples : [15]

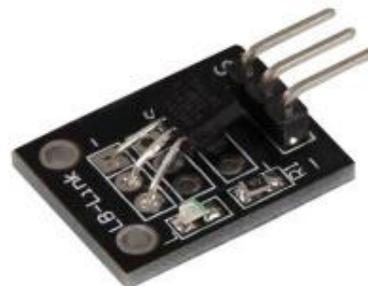


Capteur de courant

- Alimentation: 5 Vcc
- Plage de mesure: -20 A à +20 A en AC ou DC
- Sensibilité: 100 mV/A
- Dimensions: 31 x 13 x 1 mm

Capteur de température

- Alimentation: 5 Vcc
- Plage de mesure: -55 °C à +125 °C
- Précision: 9 à 12 bits
- Interface: digitale
- Dimensions: 30 x 20 x 8 mm



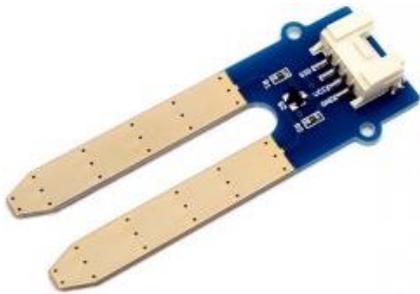


Capteur de lumière ambiante

- Alimentation à prévoir: 3 à 5,5 Vcc
- Plage de mesure: 0 à 800 Lux
- Sortie: 0 à 3,6 V (sous 5 Vcc)
- T° de service: -40 à +80 °C
- Dimensions: 30 x 22 x 7 mm

Détecteur de bruit

- Alimentation: 3,3 à 5 Vcc
- Consommation: 4 à 8 mA
- Dimensions: 20 x 40 mm



Capteur d'humidité

- Alimentation: 3,3 ou 5 Vcc
- Consommation: 35 mA maxi
- Dimensions: 60 x 20 x 13 mm

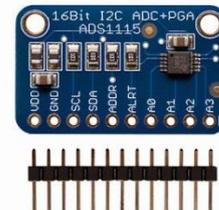
Capteur de mouvement

- Tension de fonctionnement : 4,5 à 20 V CC.
- Temps de retard : 0,5-200 S (réglable)
- Dimensions : 32 x 24mm.
- Capteur d'angle : angle cône < 100 °.
- Taille de l'objectif capteur : diamètre : 23 mm.



Convertisseur Analogique Digital

- Tension d'alimentation : 2.0V à 5.5V.
- Mode de tir unique : S'éteint automatiquement.
- Quatre entrées asymétriques ou deux entrées différentielles (ADS1115).
- Comparateur programmable: ADS1114 et ADS1115.
- Température de fonctionnement: -40 à 140



II.3.5. Les actionneurs [24]

Est un objet qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail, modifie le comportement ou l'état d'un système. Il est en quelque sorte l'inverse du capteur. Il transforme par exemple :

- Lumière à partir d'un courant électrique (lampe...).
- Sons à partir d'un courant électrique (vibreur, avertisseur sonore...).
- Champ magnétique à partir d'un courant électrique (électro aimant).
- Rayonnement infra-rouge à partir d'un courant.
- Chaleur à partir d'un courant électrique (résistance chauffante).
- Mouvement à partir d'un courant électrique (moteur électrique).
- Mouvement à partir d'un fluide sous pression (cas d'un vérin pneumatique ou hydraulique).

On peut classer les actionneurs selon les critères :

- Energie utilisé : mécanique, hydraulique, électrique, combustible, pneumatique.
- Phénomène physique utilisable : chaleur, froid, son, lumière, mouvement, freinage.

Quelques exemples d'actionneurs sont illustrés ci-après : [25]



Servo Moteur

- Poids : 9g.
- Dimension : 22.2 x 11.8 x 31 mm
- Vitesse de rotation : 0.1 s pour 60°
- Tension d'alimentation : 4.8 V (~5V)

Module de relais 12V

- Tension: 12V
- Courant statique: 5.5mA
- Courant de travail: 42mA
- Tension de déclenchement: 0-4V
- Courant de déclenchement: 3mA



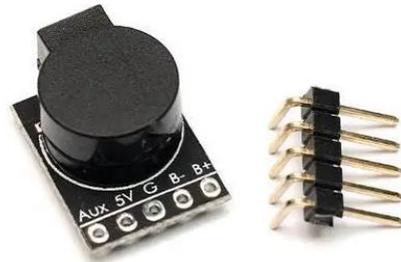


Matrice de LED

- Tension de fonctionnement: DC4 ~ 23V (port micro-usb par défaut)
- Dimensions: 93 * 36 * 10mm
- Plage d'affichage de la tension: 4.0 ~ 23V

Ronfleur à haute voix

- Plage de tension de travail: 4.5-5.2V DC
- Courant: 1W Max.
- Sortie Sonore: 90dB Max.
- Taille: 18x13x8mm
- Poids: 2g



On termine par d'autres composants qu'on a utilisé dans la réalisation du projet :



Plaque solaire PV

- Voltage : 1 V
- Courant : 200 mA
- Connexion : fils
- Longueur du câble : 20cm.
- Dimensions : 46 x 40 x 2 mm
- Poids : 9 g à des fins éducatives

II.4. Quel objet connecté choisir ? [26]

Selon Gertner, plus de 50 milliards d'objets connectés seront en circulation dans le monde, ce nombre énorme mérite d'être testé, mais il est difficile de les comparer entre eux car ils proposent des fonctions différentes ; certains sont parfois hybrides.

Et pour bien choisir un objet connecté, on peut citer quelques points clés, sont :

- **Ergonomie**

L'objet est-il bien adapté à son usage ? Sa conception correspond-t-elle à sa promesse et à l'endroit où il va être entreposé ? C'est ce qu'on évalue.

- **Commodité d'emploi**

Les objets connectés sont des objets pilotables à distance, auxquels on ajoute une connectivité. Destinés à une cible grand public, leur succès passe par la simplicité, un élément primordial.

- **Application**

L'objet connecté étant indissociable de son application, il convient de noter la richesse et la pertinence de cette dernière en fonction de l'orientation de chaque appareil (objet de surveillance, station météo, lampe, bonnet...).

- **Procédures de Tests**

Les procédures s'adaptent en fonction des promesses. On évalue la facilité d'installation, la prise en main et on réalise les tests en situation afin de voir comment l'objet connecté interagit entre nous et notre environnement.

C'est vraiment la valeur d'usage qui prime. La facilité d'installation, d'utilisation, la finition, l'utilité, etc. sera aussi étudiée.

Avant de terminer avec les capteurs, il est nécessaire de lister les capteurs utilisés dans la solution proposée :

- Capteurs de lumière pour mesurer le rayonnement solaire.
- Capteur de courant pour mesurer la charge de la batterie.
- Capteur de mouvements pour détecter les éventuels mouvements.
- Capteur de température et humidité pour mesurer la température et l'humidité.
- Module Relai connecté à une LED.
- Servomoteur pour orienter la plaque.

III. Les défis de l'IoT [27]

Avec le développement du marché d'IoT, ainsi que la croissance du potentiel d'objets connectés, différents types de défis à relever avant de pouvoir exploiter tout ce potentiel. Parmi ces défis :

III.1. Sécurité

La sécurité est un pilier essentiel de l'Internet et elle est considérée essentiellement comme le défi le plus important pour l'IoT. L'accroissement du nombre d'objets connectés accroît en résultat la possibilité d'en profiter des failles de sécurité, tout comme les objets mal conçus, qui peuvent exposer les données des utilisateurs au piratage.

III.2. Normes

L'absence de la normalisation a un impact plus important que la simple limitation du potentiel des objets IoT. Dans l'absence de ces normes, les produits créés sont parfois des fonctionnellement perturbant sur Internet. La nécessité d'une normalisation des outils, méthodes et interfaces de configuration, sera essentielle à l'avenir.

III.3. Régulation

Beaucoup de questions réglementaires et juridiques entourant l'IoT, toutes ces questions nécessitent une réaction approfondie car elles concernent la confidentialité de la vie privée des usagers..

III.4. Autonomie

Pour que ce potentiel d'objets connectés restent en service durant la durée de vie attendue du projet IoT, les fabricants et les développeurs doivent penser à trouver un moyen très pratique pour générer de l'électricité et assurer une autonomie suffisante.

IV. Les villes intelligentes (Smart Cities)

Ces dernières années, nombreux pays ont connu une explosion démographique qui a créé de nouvelles problématiques dans la gestion urbaine, surtout dans les villes où il existe un nombre important de population. Toutes ces problématiques conduisent à une dégradation énorme de l'environnement. [28].

Dans ce contexte, il est primordial qu'on repense profondément à améliorer les techniques d'accès aux ressources, améliorer les réseaux du transport, la gestion de l'énergie, etc. En général, rendre les villes intelligentes et durables.

IV.1. Définition

Plusieurs définitions ont été retenues des articles scientifiques expliquant le concept de la ville intelligente, cette variété de définitions est relative à la diversité de domaines touchés par la ville intelligente. [29]

La première définition de la ville intelligente est de Peter Richner (EMPA⁴) qui explique le concept de ville intelligente : « *Une Smart City offre à ses habitants une qualité de vie élevée avec une consommation de ressources minimale grâce à une combinaison intelligente des infrastructures (transport, énergie, communication, etc.) à différents niveaux hiérarchiques (bâtiment, quartier, ville). Dans ce contexte « intelligent » ne signifie pas automatiquement. Pour une performance similaire, les mécanismes passifs ou autorégulés sont préférables aux approches fondées sur une régulation active* ». [30]

Selon Manon Bril « *Les smart cities sont des espaces urbains qui utilisent les données issues de capteurs ainsi que les nouvelles technologies, pour mieux consommer leurs ressources, faire*

⁴ Institut de recherche interdisciplinaire du Domaine ETH (ETH Domain), l'EMPA, Laboratoire fédéral suisse de science et technologie des matériaux, mène des recherches de pointe sur les matériaux et la technologie.

des économies d'énergie, répondre plus efficacement à nos besoins, renforcer la sécurité et mieux gérer leur territoire à court terme ». [31]

La commission de l'UIT-IT⁵ a approuvé en octobre 2015 la définition du terme de « ville intelligente et durable », ou Smart City : [30]

« Une ville intelligente et durable est une ville novatrice qui utilise les technologies de l'information et de la communication (TIC) et d'autres moyens pour améliorer la qualité de vie, l'efficacité de la gestion urbaine et des services urbains ainsi que la compétitivité tout en respectant les besoins des générations actuelles et futures dans les domaines économique, social, environnemental et culturel. ».

Une autre catégorie utilisée par Winter (en 2011) pour clarifier le concept de la ville intelligente : « La ville intelligente est un centre d'enseignement supérieur, des individus mieux éduqués et une main-d'œuvre qualifiée. Les villes intelligentes agissent comme des aimants pour les personnes et les travailleurs créatifs, ce qui permet la création d'un cercle vertueux qui les rend plus intelligents. Par conséquent, une ville intelligente a de multiples opportunités d'exploiter son potentiel humain et de promouvoir une vie créative ». [30]

La ville intelligente est un nouveau concept de développement urbain. Il s'agit d'améliorer le bien-être des citoyens à l'aide de nouvelles technologies basées sur des objets et services, et couvre notamment : infrastructures publiques (mobilier urbain, domotique, etc.), réseaux (eau, électricité, gaz, télécoms) ; transports (publics, routes et voitures, etc.). [32]

IV.2. Les composants d'une ville intelligente

Pour devenir une ville intelligente, Rudolf Giffinger⁶ a présenté un modèle de six leviers présentés ci-dessous :



Figure 8. Schéma des 06 leviers d'une ville intelligente [33]

⁵ Union internationale des télécommunications (CCITT, « Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique »).

⁶ Expert en recherche analytique du développement urbain et régional de l'université technologique de Vienne.

La suivante figure a été élaborée par Boyd Cohen⁷, nommée la « smart city wheel », présente les six dimensions pour devenir une ville intelligente



Figure 9. Smart City Wheel [34]

Le modèle de ville intelligente de Giffinger et celui de Cohen se ressemblent sensiblement. Les deux modèles intègrent six dimensions pour devenir une ville intelligente : [35]

IV.2.1. Gouvernance intelligente

Les nouvelles technologies permettent de réduire la distance entre les décideurs, les acteurs publics ainsi que les citoyens. La gouvernance à cet âge numérique devrait interagir directement avec les citoyens grâce à diverses interfaces d'accès instantanés. [35]

IV.2.2. Citoyen intelligent

Le citoyen est une partie prenante très importante. Sa participation aux débats publics est requise, c'est la question de son ouverture d'esprit, de sa créativité, de la qualité d'interaction sociale. [35]

⁷ Chercheur, professeur et expert en stratégies urbaines et climatiques. Il est également spécialisé dans le domaine des villes intelligentes.

IV.2.3. Économie intelligente

Elle se mesure à travers des facteurs comme l'innovation, l'esprit d'entreprise, la productivité, la flexibilité du marché du travail ou encore l'ouverture sur le marché national et international. [35]

IV.2.4. Une mobilité intelligente

Giffinger met l'accent sur l'accès local et distant à la ville, avec des infrastructures connectées, exploitant les technologies de l'information et les systèmes de transports modernes, durables et sûrs. [35]

IV.2.5. Un environnement intelligent

La ville intelligente veille à offrir un environnement de qualité (espaces verts, qualité de l'air), gérer de façon durable ses ressources et le protéger. [35]

IV.2.6. Un mode de vie intelligent

Il regroupe des facteurs liés à la qualité de vie : culture, santé, sécurité, habitat, éducation, tourisme, cohésion sociale, etc. [35]

IV.3. Les forces de la ville intelligente

Selon [29], construire une ville intelligente consiste à apporter un lot de promesse afin de répondre aux défis que rencontrent les villes modernes, dans ce sens, trois grandes promesses sont citées ci-après :

IV.3.1. Une ville efficace et leader

Il est également question de leadership technologique, là où la ville utilise intelligemment les données pour mieux fournir des services essentiels, et souligne la transparence et l'innovation pour une identité civique moderne. [29]

IV.3.2. Une ville stimulante où il fait bon vivre

L'objectif de la ville intelligente est à améliorer la qualité de vie, de la gouvernance, du développement urbain, etc. Avec les nouvelles technologies de l'information, la ville regroupe des citoyens plus intelligents qui à leur tour adopteront des comportements plus intelligents. [29]

IV.3.3. Une ville durable

La ville intelligente favorise à éliminer les mauvais comportements humains, elle permet aux habitants d'avoir des comportements plus favorables à l'environnement. [29]

Toutefois, si les promesses de la ville intelligente sont nombreuses, celles-ci présentent également un certain nombre de limites à détailler.

IV.4. Les limites de la ville intelligente [29]

Les limites actuellement recensées au sein des écrits scientifiques sont plus nombreuses que les forces. On peut citer.

IV.4.1. Un modèle vendu en l'absence de besoin

Souvent, la ville intelligente est une solution vendue par les promoteurs, elle est basée sur la loi de l'offre et la demande, et ce fait est l'un des problèmes qui conduit à des solutions « smart city » déconnectées du contexte social dans lequel elles s'inscrivent. [29]

IV.4.2. Un renforcement des inégalités sociales

L'inégalité sociale est un risque que peut la ville intelligente le comporter en elle, ça veut dire que le développement est fondé sur certains quartiers limités et sur certains secteurs de gouvernance. [29]

IV.5. Exemple de villes intelligentes

Dans ce qui suit, on va citer des exemples des villes intelligentes qui sont les plus smart du monde :

IV.5.1. Hambourg (Allemagne) : l'appel aux citoyens responsables [36]

Le port d'Hambourg a pour ambition de devenir le premier « port intelligent » au monde. Le port a affranchit d'un de ses problèmes majeurs : les embouteillages sur les quais. La ville dispose également de capteurs dans les parkings informant les conducteurs de camions, via une tablette, de l'heure d'arrivée de leur livraison et leur permet de voir si un emplacement est libre pour charger la marchandise.



IV.5.2. Barcelone (Espagne) : une infrastructure de pointe [36]

Barcelone est une cité intelligente et avant-gardiste. La ville a créé l'Urban Lab, un laboratoire d'expérimentation à destination des entreprises, leur permettant de tester un projet sur le terrain avec l'appui des services de la ville.

Très connectée, la ville s'est dotée de capteurs pour gérer les éclairages, les espaces verts et les feux de signalisation. Outre la collecte de déchets intelligente afin d'optimiser les déplacements, la mobilité et la circulation occupent le devant de la scène des préoccupations.



IV.5.3. Singapour : la reine des Smart Cities [36]

Dans une ville où 85% des habitants possèdent un smart-phone, Singapour a lancé un programme Smart nation pour répondre aux enjeux de mobilité, de gestion de l'énergie et d'innovation verte. La ville accueille ainsi le CleanTechPark, qui regroupe des industries vertes et des bâtiments écologiques.

En termes de mobilité, l'objectif est de réduire au maximum l'usage de la voiture : gratuité des transports sur certaines tranches horaires, modulation des tarifs des péages en fonction de la circulation, véhicules autonomes et partage de véhicules électriques.

Pour sensibiliser les citoyens aux économies d'énergie, les factures d'électricité et de gaz mentionnent



les consommations moyennes du quartier afin de permettre de « se situer » par rapport aux autres.

IV.5.4. Oslo : la capitale Norvégienne connectée [36]

A Oslo, l'accent est mis sur l'éclairage intelligent : 10 000 lampadaires ont été équipés de capteurs permettant d'ajuster la luminosité en fonction des saisons et des besoins en éclairage. L'objectif étant de réduire les consommations d'électricité de 70%.

L'exemple norvégien a inspiré d'autres villes d'Europe qui ont adopté le projet e-street : 11 pays s'engagent pour réduire leurs consommations électriques grâce aux lampadaires connectés.



Conclusion

Différents acteurs économiques ont été mobilisés au sein de partenariats publics-privés, déployant les nouvelles technologies de l'information, et courant derrière le paradigme de la ville intelligente pour optimiser tous les aspects de la vie quotidienne et résoudre les problèmes urbains auxquels sont confrontés les gouvernements locaux.

Le sujet de la ville intelligente devient très reconnu pour leurs avantages innombrables. Il représente un investissement pour l'avenir, un synonyme d'efficacité, de développement durable et de qualité de vie. Il mobilise actuellement tout type de ville (moyenne et petite) pour faire face au déluge des données et à la multiplication des vendeurs d'objets connectés du monde.

Et comme le projet en question est inscrit dans le domaine d'IoT et dans le cadre des villes intelligentes, on a cité dans ce chapitre les points essentiels pour sa conception, commençant par les objets connectés (Microcontrôleur, Capteur, Shield), les types et les protocoles de leurs connexions (MQTT) et les plateformes utilisées (Microsoft Azure).

CHAPITRE 2

Les énergies renouvelables et les suiveurs solaires

Introduction

Aujourd'hui, plusieurs pays dans le monde travaillent en compétition pour se développer et gagner la place du leader, ils exploitent ses efforts pour économiser leur consommation abusive de leurs ressources limitées et intégrer de l'énergie renouvelable dans leurs différents secteurs.

Avec la révolution progressive de la technologie de l'information, et notamment les techniques et les méthodes développées dans le domaine des villes intelligentes, l'intégration de l'énergie renouvelable devient le projet d'aujourd'hui et le souci de tout pays riche en ce genre d'énergie.

Dans ce contexte et durant les dernières années, beaucoup de travaux exploitant pleinement des ressources de la nature ont été créés dans différents pays du monde.

On va citer dans ce chapitre des différents projets des cinq types d'énergie renouvelable, ensuite on va parler sur les différentes Les suiveurs solaires conçues sur le marché et les différentes techniques pour récolter de l'énergie solaire

I. Les énergies renouvelables

A l'échelle humaine, les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources théoriquement illimitées, inépuisables et disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées. Leur caractéristique commune est de ne pas produire les émissions polluantes (ou peu), et ainsi d'aider à diminuer les effets de serre et le réchauffement climatique.

Les énergies renouvelables sont également désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres ». Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies des entreprises en matière de développement durable. [37]

I.1. Les types d'énergie renouvelable

À l'origine de toutes les énergies renouvelables que l'humanité exploite aujourd'hui, il n'y a que deux grandes sources : le Soleil et la Terre. Toutefois, les spécialistes aiment à classer ces énergies en cinq grands types qui présentent chacun leurs spécificités.

I.1.1. L'énergie solaire

On appelle énergie solaire, l'énergie que l'on peut tirer du rayonnement du Soleil, on distingue deux types d'énergie :

L'énergie solaire photovoltaïque qui correspond à l'électricité produite par des cellules dites photovoltaïques. Ces cellules reçoivent la lumière du Soleil et sont capables d'en transformer une partie en électricité.

L'énergie solaire thermique : le rayonnement solaire est employé pour chauffer un fluide. De l'eau, par exemple, comme dans certains chauffe-eau domestiques. Lorsqu'un système de concentration (un jeu de miroirs) y est ajouté, le Soleil peut chauffer le fluide jusqu'à quelque 1.000 °C et la technologie devient exploitable, par exemple, pour la génération d'électricité. [38]

Les top plus grands projets solaire au monde



Cette installation est visible depuis l'espace par les satellites géostationnaires.



Olmedilla de Alarcón

L'Espagne décroche la première place. **Olmedilla de Alarcón** abrite le plus grand parc photovoltaïque du monde avec ses **160 000 panneaux solaires**. En une journée bien ensoleillée, ceux-ci produisent **60 mégawatts d'électricité**.

Les panneaux utilisés sont plats et **composés de silicone** ce qui les rend plus lourds et surtout plus chers. [39]

Parc solaire Topaz Solar Farm, en Californie.

A été achevée en décembre 2018. Il est le premier parc solaire aux Etats-Unis avec une capacité totale dépassant **500 MW**. Il est situé dans la plaine de Carrizo, plus précisément dans le comté de San Luis Obispo. Sa construction a pris 2 ans. L'installation couvre 9,5 miles carrés de terrain et a coûté 2,5 milliards de dollars. Le projet devrait générer des retombées économiques s'élevant à 417 millions de dollars. [40]

Projet d'énergie solaire Crescent Dunes, Nevada.

Est un projet d'énergie solaire thermique d'une capacité installée de 110 mégawatts et 1,1 gigawattheures de stockage d'énergie situé près de Tonopah, à environ 310 km au nord-ouest de Las Vegas. Crescent Dunes était la première usine d'énergie solaire concentrée (CSP) avec une tour centrale de réception et une technologie avancée de stockage d'énergie au sel fondu. [41]



I.1.2. L'énergie éolienne

Les éoliennes ou les moulins à vent. elles produisent de l'énergie à partir du déplacement des masses d'air dont elles exploitent l'énergie cinétique du vent.

Les éoliennes peuvent être installées sur une terre ferme, elles sont les plus simples à imaginer. Même si les espaces qui peuvent leur être réservés pourraient rapidement venir à manquer. Et les plus efficaces pourraient être des éoliennes installées en mer. [38]

Les top plus grands projets éoliennes



Eolienne Nordex sur le site Hausbay-Bickenbach (Allemagne)

Est la plus haute éolienne terrestre du monde... Au sud-ouest de l'Allemagne, sur un terrain à cheval entre Hausbay et Bickenbach, la machine du turbinier allemand Nordex a produit 9 GWh au cours de sa première année de fonctionnement.

Installée fin juin 2016, cette éolienne de 3,3 MW est dotée d'une tour de 164 mètres, pour une hauteur totale de presque 230 mètres. « Le volume d'électricité généré prouve, en particulier dans les régions ayant de faibles vitesses moyennes de vent, ... [42]



Le parc éolien au Royaume-Uni

Le parc éolien sera situé 89km de la côte Yorkshire et les 300 turbines auront une puissance plus de 1.8GW. Ce parc va répondre aux besoins énergétiques annuels de 1.6 millions de maisons. Il s'agit d'un grand investissement de 6 b.£ qui va créer 1.960 emplois liés à la construction et 580 emplois permanents. Les turbines devraient commencer à fonctionner en 2020. [43]

I.1.3. L'énergie hydraulique

Le terme d'énergie hydraulique désigne l'énergie cinétique de l'eau (fleuves et rivières, barrages, courants marins, marées). Une catégorie d'énergies moins soumise aux conditions météorologiques, mais qui reste réservée à une production d'envergure. [38]

Les top projets hydrauliques

Le barrage des Trois Gorges

Le célèbre barrage des Trois Gorges en Chine ne fait plus uniquement couler de l'encre.

Depuis 2007, il atteint une productivité de 14,1 gigawatts surclassant pour la première fois les 14 gigawatts du barrage hydraulique Itaipu à la frontière Brésil-Paraguay.

En 2010, ce barrage chinois devrait produire 18 gigawatts d'électricité soit autant que 18 centrales nucléaires. La construction de cet édifice a coûté la modique somme de 26 milliards de dollars. [39]



La ferme hydraulique Aguçadoura

Trois gigantesques serpents de mer de 150 mètres de long évoluent au large des côtes du Portugal.

Elaborés par la firme écossaise Pelamis Wave Power, ces trois engins se décomposent en quatre segments reliés entre eux par des joints leur conférant une bonne flexibilité.

Chaque joint est équipé de quatre rames qui pompent l'énergie de la houle au gré des mouvements. Cela envoie de l'huile dans des accumulateurs sous pression. L'huile continue son chemin et arrive au moteur hydraulique pour le faire fonctionner.

Chaque Pelamis produit 750 kilowatts de courant ce qui fait pour les trois, un total de 2,25 mégawatts. [39]

I.1.4. L'énergie biomasse

L'énergie biomasse est issue de la combustion de matériaux dont l'origine est biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques). L'énergie biomasse comprend :

Le bois, le Biogaz et les biocarburants. [38]

Les top projets biomasses



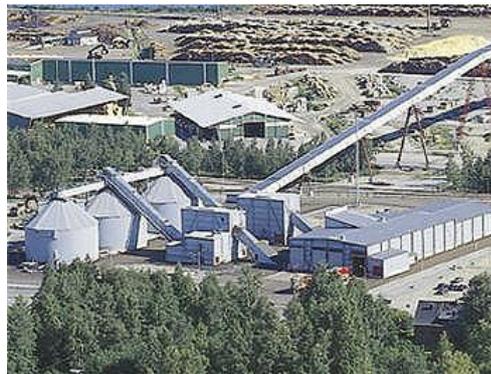
La centrale biomasse de Gardanne

Est une centrale thermique située sur les communes de Meyreuil et Gardanne, dans le bassin houiller de Provence dans le département des Bouches-du-Rhône. Elle fonctionne au charbon et à la biomasse. Elle possède 2 unités en fonctionnement, l'unité 5 de 595 MW fonctionnant au charbon et l'unité 4 de 150 MW fonctionnant à la biomasse pour une puissance installée de 745 MW. En 2017, la production d'électricité fut de 1,38 TWh, 1,2 TWh grâce au charbon et 186 GWh grâce au bois. [44]

La centrale biomasse de la Finlande

Les Finlandais ont su tirer le meilleur des matières organiques comme les écorces d'arbres, les branchages et la tourbe. En d'autres termes, la biomasse alimente l'usine de combustion la plus grosse au monde : Oy Alholmens Kraft.

Ces composés organiques sont brûlés dans une immense chaudière permettant ainsi de produire un rendement maximal de 240 mégawatts d'électricité. [39]



I.1.5. L'énergie géothermique

Cette énergie est issue de la chaleur émise par la Terre et stockée dans le sous-sol. Selon la ressource et la technologie mise en œuvre, les calories sont exploitées directement ou converties en électricité. [37]



La centrale islandaise de Krafla

Inaugurée en 1977, la centrale géothermique de Krafla ne cesse depuis de fournir de l'électricité à la population islandaise, avec une production annuelle de 500 GWh (chiffre de l'opérateur Landsvirkjun). Pour ce faire, 18 puits récupèrent de l'eau chauffée dans les entrailles de la Terre, qui se transforme partiellement en vapeur lors de sa remontée puis de son cheminement vers les deux turbines de 30 MW du site. [45]

I.2. **Avantage et inconvénient des énergies renouvelables [37]**

De manière générale, les énergies renouvelables sont plus propres que les énergies fossiles et fissiles actuellement exploitées dans le monde entier. Elles sont plus écologiques, disponibles en masse autour du globe et sont « gratuites » une fois les installations de production rentabilisées.

Mais aussi les énergies renouvelables cachent certains problèmes, à savoir :

- **Elles ne remplacent pas les autres sources d'énergies** : que ce soit le soleil, l'éolien ou même les énergies marines produisent une seule énergie : l'électricité qui n'est pas la seule énergie qu'on consomme (presque 25% dans certains pays), on consomme aussi le pétrole notamment pour certains processus industriels, pour le transport routier et aérien, et il est pour l'instant impossible de le remplacer par l'électricité.
- **Elles ne sont pas propres à 100%** : en effet si les panneaux solaires et les éoliennes permettent de produire de l'électricité sans émettre le CO₂, le processus de ses productions consomme du pétrole et de l'énergie, et donc on produit le CO₂.
- **Le problème de l'intermittence** : les énergies renouvelables sont parfois critiquées par leur faible efficacité énergétique par rapport aux autres, elles sont caractérisées par une disponibilité plus aléatoire : par exemple, le solaire et l'éolien ne produisent pas en permanence de l'électricité.
- Les énergies renouvelables sont aussi parfois critiquées par l'impact environnemental de la production de ses infrastructures, les éoliennes et les panneaux solaires dépendent de grandes quantités de ressources finies pour être construites. [37]

II. **Les suiveurs solaires**

Les plaques solaires sont généralement placées d'une façon fixe en élévation et en orientation et, cela selon les coordonnées du site où ils sont installés et les conditions d'ensoleillement dans cet endroit.

Plusieurs idées et techniques sont développées, afin d'améliorer le rendement de la plaque, elles ajoutent à la plaque des mécanismes de rotation contrôlés par différentes méthodes et algorithmes. Ils s'appellent : les suiveurs solaires « Solar Trackers ». Ces systèmes peuvent augmenter la puissance de sortie estimée de 30% à 60 % par rapport aux systèmes fixes. [46]

II.1. Première utilisation des suiveurs solaires

La première utilisation des suiveurs solaires remonte vers les années 1750, elle a été basée sur le principe de l'Héliostat⁸, le principe est de capter un faisceau lumineux solaire pour le renvoyer dans une direction fixe malgré le mouvement du soleil. Ce principe est de compenser le mouvement de rotation de la terre par un mécanisme d'horlogerie. [47]



Figure 10. Modèle d'un Héliostat

En pratique, un système de poursuite du soleil a été réalisé et expérimenté au Laboratoire de physique des semi-conducteurs de l'université de Béchar. Après avoir comparé les résultats de la mesure de la radiation incidente avec les quantités d'énergie produite en mode de poursuite d'une part et en mode fixe d'autre part, dans les conditions de leur fonctionnement sur un site représentatif des conditions prévalant dans le Sud- ouest algérien, ils ont discuté les résultats en élaborant les deux figures suivantes : [48]

⁸ Un héliostat (de *helios*, mot grec signifiant Soleil) est un dispositif permettant de suivre la course du Soleil, généralement pour orienter toute la journée les rayons solaires vers un point ou une petite surface fixe, à l'aide de miroirs.

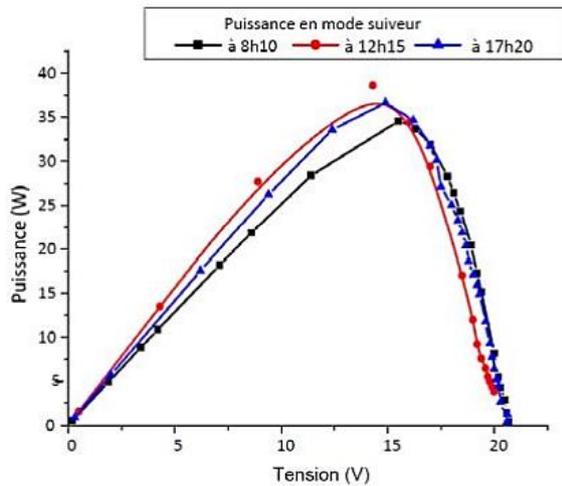


Figure 11. Caractéristiques P(V) suiveur.

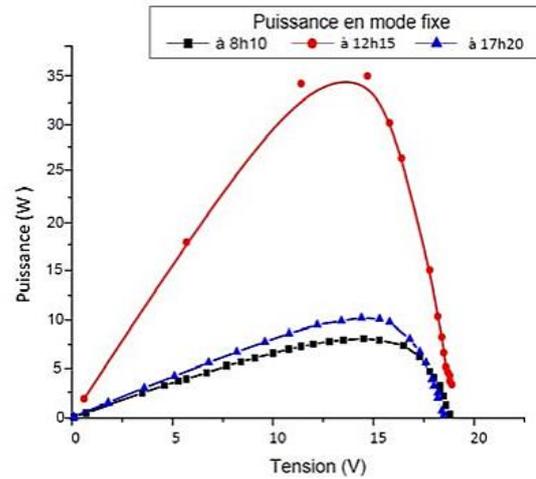


Figure 12. Caractéristiques P(V) fixe.

L'expérimentation du mode poursuite montre qu'il en résulte un gain en rendement moyenné sur la durée du jour de l'ordre de 27%, valeur concordant avec les gains de 24 à 27 %.

II.2. Avantages et inconvénients des suiveurs solaires

Avant de décrire en détail les différents types des suiveurs solaires existes actuellement sur le marché, on va citer quelques avantages et inconvénients d'implémenter ces types de systèmes.

Avantages [49]

- Les trackers produisent plus d'électricité que leurs homologues fixes en raison de l'augmentation de l'exposition directe aux rayons solaires.
- Il existe de nombreux types de suiveurs solaires, qui peuvent tous être parfaitement adaptés à un chantier unique.
- Les trackers solaires produisent plus d'électricité dans à peu près la même quantité d'espace nécessaire pour les systèmes à inclinaison fixe, ce qui les rend idéaux pour optimiser l'utilisation du sol.
- L'utilisation d'un système de suivi permet de maximiser les gains d'énergie pendant les périodes de pointe.
- Les progrès technologiques et la fiabilité de l'électronique et de la mécanique ont considérablement réduit les problèmes de maintenance à long terme des systèmes de suivi.

Inconvénients [49]

- Les suiveurs solaires sont légèrement plus chers que leurs homologues fixes, en raison de la technologie plus complexe et des pièces mobiles nécessaires à leur fonctionnement.
- Même avec les progrès en matière de fiabilité, la maintenance nécessite généralement plus de maintenance qu'un rack fixe traditionnel, bien que la qualité du suiveur solaire puisse jouer un rôle dans la quantité et la fréquence de cette maintenance.
- Les trackers sont un système plus complexe qu'un traqueur fixe. Cela signifie généralement que davantage de préparation du site est nécessaire.
- En ce qui concerne le financement de projets, ces systèmes sont plus complexes et sont donc considérés comme présentant un risque plus élevé du point de vue d'un financier.
- Les suiveurs solaires sont généralement conçus pour les climats avec peu ou pas de neige, ce qui en fait une solution plus viable dans les climats plus chauds.
- Les systèmes de suivi fixes offrent une plus grande adaptabilité sur le terrain que les systèmes de suivi à axe unique. Les systèmes fixes peuvent généralement accueillir jusqu'à 20% de pentes dans la direction est / ouest, tandis que les systèmes de suivi offrent généralement moins de pente, généralement autour de 10% dans la direction nord / sud.

II.3. Caractéristiques des suiveurs solaires

La présence d'un traqueur (suiveur) solaire n'est pas indispensable pour l'opération d'un panneau solaire, mais sans lui, les performances sont réduites. Bien que les suiveurs solaires puissent augmenter le gain d'énergie des panneaux solaires photovoltaïques, certains problèmes dans leur installation sont envisagés tels que le coût, la fiabilité, la consommation d'énergie, l'entretien et les performances doivent être pris en considération. [50]

Tous les systèmes de suivi ont tout / partie des caractéristiques suivantes : [50]

- Structure à colonne unique ou de type console parallèle.
- Un ou deux moteurs en mouvement.
- Dispositif de détection de lumière.
- Alimentation en énergie autonome ou auxiliaire.
- Lumière suiveuse ou en déplaçant selon le calendrier.
- Mouvement des vérins continu ou pas à pas.
- Suivi assuré toute l'année / toute l'année sauf l'hiver.

- Réglage de l'orientation avec / sans réglage de l'angle d'inclinaison.
- Le coût de l'installation et de l'entretiens.

II.4. Les types des suiveurs solaires

Plusieurs méthodes de suivi du soleil ont été étudiées et évalué pour conserver les panneaux solaires, les concentrateurs solaires⁹, les télescopes ou d'autres systèmes solaires perpendiculaires au faisceau solaire. Les systèmes de suivi du soleil sont généralement classés en deux catégories, à savoir : passif (mécanique) et trackers (électriques) actifs.

II.4.1. Les suiveurs passifs

L'idée principale des suiveurs solaires passifs est basée sur la technologie de 'solaire passive'¹⁰ inventée par **Steve Baer** (né en 1938 à Los Angeles), fondateur et exploitant de Zomeworks¹¹, Inc., d'Albuquerque, Nouveau-Mexique, (1974). [51]



Figure 13. Zomeworks Passive Solar Tracker – UTRK [52]

• Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de ce type des suiveurs solaires est basé sur l'expansion thermique d'une matière (généralement Fréon). Habituellement, ce type de suiveur est composé de deux actionneurs qui fonctionnent l'un contre l'autre. Les forces non équilibrées produites de l'éclairage différentiel de ces actionneurs, sont utilisées pour orienter l'appareil jusqu'à le rétablissement de l'éclairage des actionneurs et l'équilibrage des forces. [50]

⁹ Sont des systèmes de miroirs aliénés. Ils concentrent tout le rayonnement solaire en un seul point.

¹⁰ Dans **la conception de bâtiments solaires passifs**, les fenêtres, les murs et les sols sont conçus pour collecter, stocker, réfléchir et distribuer l'énergie solaire sous forme de chaleur en hiver et rejeter la chaleur solaire en été. C'est ce qu'on appelle la conception **solaire passive**.

¹¹ Le terme **Zome** est utilisé dans plusieurs sens apparentés. Un Zome au sens originel est un bâtiment aux géométries inhabituelles.

- Avantages

- Ce type des suiveurs est moins complexe par rapport au suiveur actif, il fonctionne à faible efficacité et, il cesse de fonctionner à basses températures.
- Ce système est livré principalement assemblé, ce qui rend l'installation simple.
- D'après son architecture simple et le principe de fonctionnement claire, ce système est de très peu d'entretien et d'une longue durée de vie (la durée de garantie est plus longue). [50]

- Inconvénients

- Il commence chaque jour à pointer dans la mauvaise direction face à l'ouest, tout en perdant de vue du soleil, le système tente de se repositionner vers l'est et prend du temps ça, ce qui affecte sur son efficacité.
- Ces systèmes ne consomment pas de l'énergie, mais ils sont moins précis et, nécessitent une intervention manuelle pour optimiser la direction nord-sud selon la saison, car le système n'est pas conçu de manière à axe double.
- Et bien qu'il soit souvent moins cher, il n'est pas encore largement accepté par les consommateurs. [53].

II.4.2. Les suiveurs actifs

Ce type de suiveur utilise des éléments électromécaniques qui emploient des commandes électriques ou hydrauliques pour effectuer le suivi solaire. Trois grandes catégories de stratégies peuvent se dégager pour la même raison, la troisième hybride étant une combinaison des deux premières, dites stratégie en boucle ouverte et en boucle fermée. [54]

• Commande en boucle fermée

Dans ce type, un signal de commande différentiel se produit par illumination différentielle des capteurs électro-optiques (photodiode¹²), ce signal est utilisé pour entraîner le moteur et pour orienter l'appareil dans une direction où l'éclairage des capteurs électro-optiques devient égal et équilibré. [50]

En effet, cette stratégie consiste à orienter les trackers suivant la position du tracker le mieux orienté, en partant de n'importe quelle position.

¹² Est un composant électronique ayant la capacité de capter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

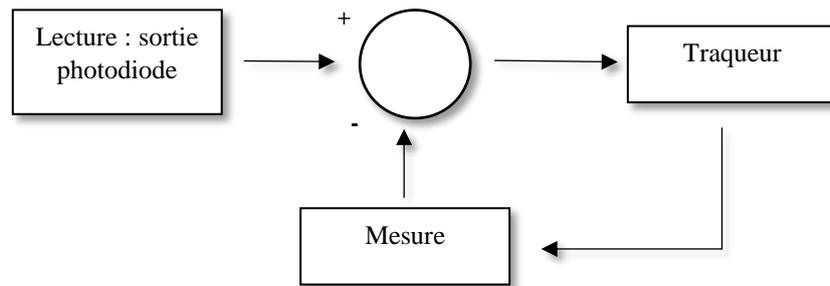


Figure 14. Commande en boucle fermée d'un suiveur.

- **Commande en boucle ouverte**

Cette commande est basée uniquement sur des calculs astronomiques de la position du soleil, elle génère les consignes de la trajectoire pour le suiveur à partir de l'heure UTC¹³ et les coordonnées GPS¹⁴ d'un site. La commande est plus sensible aux erreurs de modélisation. [54]

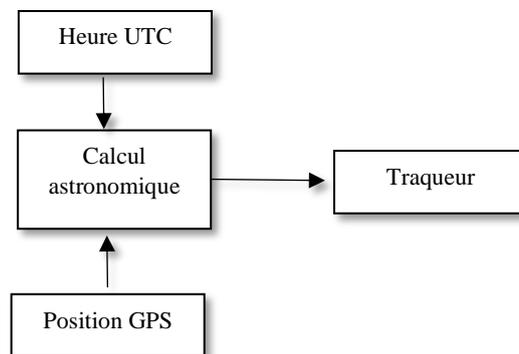


Figure 15. Commande en boucle ouverte d'un suiveur

- **Les types de traqueurs en boucle ouverte**

En raison de leur importance et leur utilisation la plus large, les traqueurs en boucle ouverte sont classés en trois types, à savoir : traqueur à un axe, traqueur équatorial et traqueur Azimut/Élévation. [55]

¹³ Universel Temps Coordonné : une échelle de temps adoptée comme base du temps civil international par la majorité des pays du globe.

¹⁴ Global Positioning System, les coordonnées GPS : latitude, longitude et l'altitude.

Traqueur à un seul axe de suivi

Ce type de traqueur dispose d'un seul degré de liberté qui lui permet de tourner autour d'un seul axe. Le plan de ce type est incliné à un angle de latitude¹⁵ du site dirigé en plein sud. Reste l'angle de suivi égale à l'angle horaire.

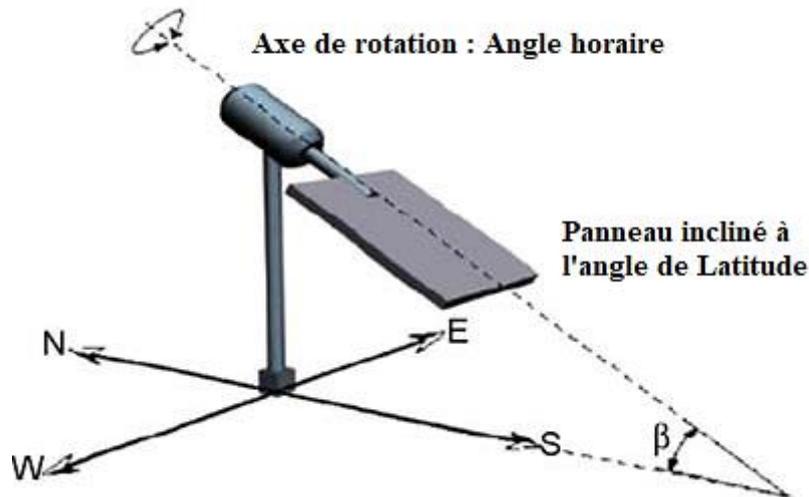


Figure 16. Traqueur à un seul axe avec angle d'inclinaison de Latitude. [50]

Avantages

Par rapport aux traqueurs à deux axes, ces types de traqueurs portent des avantages :

- Généralement, le coût est inférieur.
- Fiabilité supérieure.
- Durée de vie plus longue. [46]

Inconvénients

Ce type de traqueur portent des inconvénients remarquables par rapport aux traqueurs à deux axes :

- Peu d'énergie produite durant l'ensoleillement.
- Technologie moins avancée.

¹⁵ Est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre, au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence.

Traqueur à deux axes de suivi

Ce type de traqueur dispose de deux degrés de liberté grâce auxquelles les rayons solaires sont parfaitement perpendiculaires à la plaque solaire et en temps réel, déterminant en revanche une plus grande complexité de construction. On distingue deux types de suiveurs :

Traqueur équatorial

Dans ce type de traqueur, le panneau est incliné premièrement par l'angle de latitude, l'angle de suivi de cet axe tourne avec un angle égal à l'angle horaire. Le deuxième axe permet à la plaque de tourner très lentement d'un l'angle de déclinaison ajustée un ou plusieurs fois par la saison. [54]

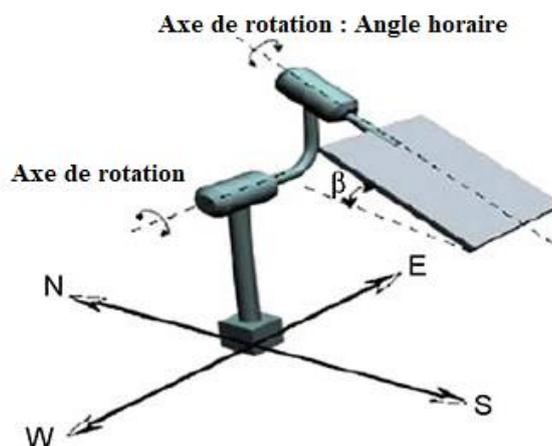


Figure 17. Traqueur à deux axes avec angle d'inclinaison de Latitude (Equatorial) [50]

Avantages

Ce type de traqueur a des avantages considérables :

- Plus grande flexibilité, permettant de produire plus d'énergie dans les journées les plus ensoleillées.
- Plus haut degré de précision dans le pointage directionnel. [46]

Inconvénients

Ce type de traqueur portent des inconvénients remarquables par rapport aux traqueurs à deux axes :

- Peu d'énergie produite durant l'ensoleillement.
- Technologie moins avancée. [46]

Traqueur Azimut/Elévation

L'idée consiste à faire la rotation de l'axe autour de Zenith¹⁶ avec un angle de rotation égal à l'angle d'Azimut¹⁷. Tandis que l'autre axe est parallèle à la surface de la terre et tourne avec un angle de rotation égale à l'angle d'altitude.

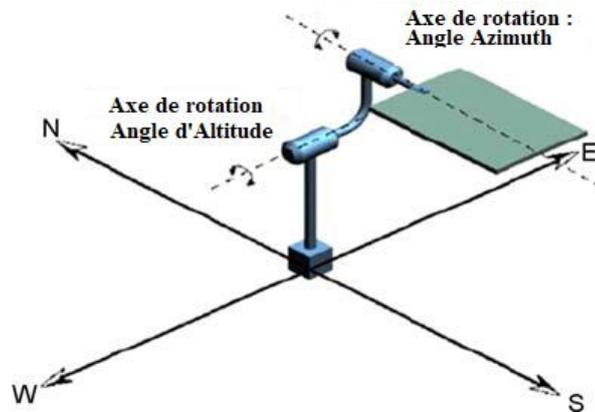


Figure 18. Traqueur à deux axes Azimut/Elévation. [50]

Commande hybride

Cette commande utilise les deux commandes citées (en boucle ouverte et en boucle fermée), elle combine le calcul de la position de référence proposée par « la boucle ouverte » et, la donnée de retour générée ou proposée par « la boucle fermée ». [55]

III. Eclairage intelligent des espaces publics

L'éclairage public est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et des places, il permet aux usagers de la voie publique de circuler en toute sécurité et un confort aussi élevé que possible, et de rendre aisé la perception et la localisation des contours de la route et des obstacles éventuels. Il assure aux piétons la visibilité distincte des bordures de trottoirs, des véhicules et des obstacles.

Avec le développement de l'éclairage public et du mobilier urbain intelligents, la technologie se met au service des citoyens pour améliorer leur quotidien, mais également au service de la collectivité pour réaliser des économies d'énergie et réduire les coûts liés au déploiement et à l'entretien des installations. [56]

¹⁶ Est le point de la sphère céleste situé directement au-dessus d'un observateur.

¹⁷ Est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence.

III.1. Les technologies mises en œuvre [56]

Aujourd'hui, plusieurs techniques sont développées pour rendre l'éclairage public intelligent à savoir :

Le dimming : cette technologie consiste à abaisser le flux lumineux des lampes en réduisant la tension d'alimentation aux heures de faible fréquentation pour réaliser des économies d'énergie.



Belgique : Grace-Hollogne

Depuis le mois de février 2013, un système d'éclairage public intelligent est expérimenté dans la zone d'activité économique de la commune de Grâce-Hollogne, en Wallonie. Baptisé Gestion de l'éclairage public des parcs d'activité, durable et intelligent, ce système de gestion et de contrôle de l'éclairage public est capable de s'adapter au trafic, qu'il soit piéton, cycliste ou routier.

Les luminaires sont équipés de diodes électroluminescentes (LED) et de capteurs de mouvement et de présence. Ces capteurs permettent de détecter la présence d'un usager et d'en identifier le type en fonction de sa vitesse.

La télégestion : la gestion globale de l'éclairage public est assurée par un centre de contrôle duquel des informations sont transférées à chaque point lumineux de manière à commander leur allumage, extinction ou « dimming » de manière individuelle ou groupée.

Allemagne : Lemgo

A Lemgo, dans le Nord-Ouest de l'Allemagne, pour des raisons d'économies d'énergie, les réverbères publics s'éteignent dès 21 heures. Mais pour des raisons de sécurité et pour répondre aux besoins des habitants, un système a été mis en place qui permet d'éclairer les rues en fonction des besoins des habitants. Créé en 2006, le projet Dial4Light (appelez pour allumer) donne la possibilité aux citoyens de déclencher l'éclairage de leur rue à l'aide de leur téléphone.



La télémaintenance : généralement complémentaire de la télégestion, permet de transférer les informations de chaque point lumineux vers le centre de contrôle, en particulier pour en connaître les dysfonctionnements, planifier et contrôler le remplacement sur le fondement de leur nombre d'heures de fonctionnement réel.

- **À Londres dans le quartier de Westminster**, des lampadaires intelligents sont en cours de déploiement depuis le début de l'année 2013. Le remplacement des 14 000 lampadaires du quartier devrait durer 4 ans et coûter 3,75 millions d'euros. Ces nouveaux lampadaires sont contrôlés à l'aide d'une tablette et permettent ainsi à la municipalité d'ajuster l'intensité de la lumière et de connaître les besoins d'éclairage et les pannes éventuelles en temps réel et d'agir rapidement si nécessaire.

Les capteurs de mouvement : les lampadaires sont équipés de détecteurs de mouvement, ce qui leur permet de s'allumer uniquement lorsqu'il y a du passage et donc de faire des économies d'énergie.

- **Au Norvège : Oslo**

La ville d'Oslo a remplacé ses lampadaires présents sur son territoire par des nouveaux intelligents qui sont capables d'ajuster le niveau de la lumière en fonction des besoins précis, estimés à un moment donné, dans les rues et les parcs de la ville, ainsi que dans de grandes entreprises. Les besoins sont déterminés grâce à différentes informations celles :

- Provenant de l'horloge astronomique : quand le soir tombe ou que le jour se lève, on allume ou on éteint progressivement ;
- Provenant des capteurs de luminosité qui peuvent mesurer le niveau d'éclairement des surfaces ;
- Issue des appareils de mesure du trafic qui transmettent des données sur l'encombrement des routes, les vitesses des véhicules. Elles permettent alors d'améliorer l'éclairage dans les périodes de pointe de trafic.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a abordé ce qu'on a vu important en termes d'énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, qui a de nombreux projets mis en œuvre à des fins d'exploitation par des institutions et des particuliers.

Car ces projets ont varié et évolué au fil des années avec le développement de la technologies innovantes dans tous les domaines de la vie quotidienne.

Dans ce chapitre, on a présenté l'un de ces projets, à savoir le "suiveur solaire", où on a détaillé ses types et les différentes techniques utilisées dans son fonctionnement, ainsi qu'on a rapidement passé par des différentes techniques mises en œuvre pour l'éclairage des jardins publics.

On a réservé le chapitre suivant pour faire une comparaison constructive de quelques projets réalisés dans ce contexte dans l'objectifs de réaliser mon propre projet.

CHAPITRE 3

Les travaux connexes

Introduction

A travers le monde et durant les dernières années, plusieurs institutions spécialisées à la construction des systèmes suiveurs du soleil ont créé une diversité de produits en déployant les différentes techniques développées dans ce domaine.

Ces constructeurs et grâce au développement que les firmes de fabrication des composants électroniques ont connu durant des années, ils ont injecté progressivement dans le marché industriel et le marché public une armée des objets connectés qui ont pour chacun sa propre technicité utilisée pour son fonctionnement, ses interactions avec le monde extérieur, la méthode de transmettre les données ainsi que l'architecture globale de sa conception.

Dans ce contexte, on a consacré ce chapitre pour donner une étude comparative des suiveurs solaires – l'objet connecté de notre projet - créés et creusés dans le marché industriel et public, et on a mis quelques critères que l'on trouve importants pour les évaluer, et cela dans l'objectif de mettre en œuvre et en valeur notre solution proposée.

I. Etude comparative

Afin d'achever cette étude, on a sélectionné des critères que l'on trouve très pratique et qui caractérisent un objet connecté durable fonctionnant en toute sûreté. Le récapitulatif de cette étude est présenté dans le tableau suivant qui illustre quelques suiveurs solaires conçus suivant les techniques expliquées auparavant, ainsi qu'un comparatif des caractéristiques.

	Suiveur passif	Suiveur actif				
		Boucle fermée				Boucle ouverte
Créateur	Zomeworks	STR - EKO	Electro Mic	Tronik Aventure	VITrox MY434	Smart flower energy Technology
Pays	Etats-Unis	France	France	France	Malaisie	Autriche
Année	1990	2014	2017	2017	2016	2010
GPS	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui
Capteurs	Non	Oui	Oui	Capteur	Oui	Oui
Connecté	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Système d'orientation	Expansion thermique de matière	Circuit électronique discret ¹⁸			Caméra + Arduino	Horlogerie
Alimentation	Aucune alimentation	< 10 W	/	/	/	2.31 kWc ¹⁹
Axe	1	1 / 2	1	1	2	Double
Précision	+ / - 10°	0.01°	/	/	/	/
Energie produite	/	/	/	/	/	3400-6200 kWh/a
Stockage d'énergie	Oui	Non pris en charge				4.6 kWh
Gestion de données	Non pris en charge					
Utilisation	Domestique et industrie	Domestique et industrie	Petit appareil		Domestique	Domestique et industrie

¹⁸ Le circuit discret est composé par un circuit électronique qui comporte plusieurs composants discrets

¹⁹ kWc : Kilowatt crête = puissance dans les conditions standards d'ensoleillement (1000W/m²), température de (25°) et de standardisation du spectre de la lumière (AM 1,5).

	Suiveur actif	
	Boucle ouverte	
Créateur	Sunny-Watt	iTracker WL Soltiga
Pays	France	Italie
Année	2017	2007
GPS	Non	Non
Capteurs	Oui	Non
Connecté	Oui	Oui
Système d'orientation	Horlogerie	
Alimentation	/	Auto alimenté
Axe	2	1
Précision	1°	1.5°
Energie produite	/	/
Stockage d'énergie	Non	Non
Gestion de données	Oui	Oui
Utilisation	Domestique et industrie	

Tableau 4 : Tableau comparatif des projets de suiveurs solaires réalisés

- **Système Zomeworks**

Le principe de fonctionnement de ce système est basé sur l'expansion thermique d'une matière (généralement Fréon). Habituellement, ce type de suiveur est composé de deux actionneurs qui fonctionnent l'un contre l'autre. Les forces non équilibrées produites de l'éclairage différentiel de ces actionneurs, sont utilisées pour orienter l'appareil jusqu'à le rétablissement de l'éclairage des actionneurs et l'équilibrage des forces. [14]



Figure 19. Zomeworks Passive Solar Tracker – UTRK

- Avantages

Pourtant qu'il est un ancien suiveur, mais il a des avantages, à savoir :

- ✓ Il n'a pas besoin d'aucune source énergétique pour son fonctionnement.
- ✓ A une simple architecture à sa construction et à son entretien.
- ✓ L'installation du système est très simple car il est livré assemblé.

- Inconvénients

- ✓ Il commence chaque jour à pointer dans la mauvaise direction face à l'ouest, tout en perdant de vue du soleil, le système tente de se repositionner vers l'est et prend du temps ça, ce qui affecte sur son efficacité.
- ✓ Ces systèmes ne consomment pas de l'énergie, mais ils sont moins précis et, nécessitent une intervention manuelle pour optimiser la direction nord-sud selon la saison, car le système n'est pas conçu de manière à axe double.
- ✓ Et bien qu'il soit souvent moins cher, il n'est pas encore largement accepté par les consommateurs. [53].

• Système SunTracker STR EKO

Le fonctionnement de ce système est basé sur des capteurs de mesure de rayonnement solaire, grâce à son module intégré comportant une carte électronique imprimée, le système fait bouger le panneau solaire à l'aide d'un moteur d'un seul axe à la position correcte d'une précision de 0.01° . Le système possède aussi un récepteur GPS pour la configuration du module et pour offrir des fonctionnalités améliorées.

Le phénomène du suivi fonctionne d'une manière continue du lever au coucher du soleil.

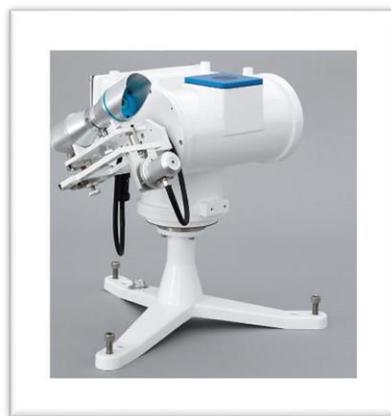


Figure 20 : Suiveur solaire STR-21G Sun Trackers d'EKO [57]

- Avantages

- ✓ Pourtant qu'il fonctionne à un seul axe mais la précision de pointage est parfaite.
- ✓ Le fonctionnement du système consomme peu d'énergie en lui comparant par d'autre.
- ✓ Le suiveur n'est pas plus grand pour occuper plus d'espace ni plus de difficulté pour l'installer.
- ✓ Son utilisation est très bénéfique en domestique.

- Inconvénients

- ✓ Le système produit de l'énergie pour une consommation immédiate, il ne prend pas en charge le stockage.
- ✓ Il n'a aucune connexion avec le réseau Internet, ni avec d'autre type,
- ✓ Pas moyen de le surveiller à distance, même avoir des données utiles pour les partager.
- ✓ Il n'a pas une large distribution sur le marché industriel.

• Système Electro Mic

Ce système qui fonctionne en boucle fermé, basé sur les données interceptées par les capteurs de luminosité sous forme des signaux envoyés à une carte des composantes électroniques, cette carte actionne le moteur pour orienter en un seul axe la plaque solaire à l'endroit adéquat.

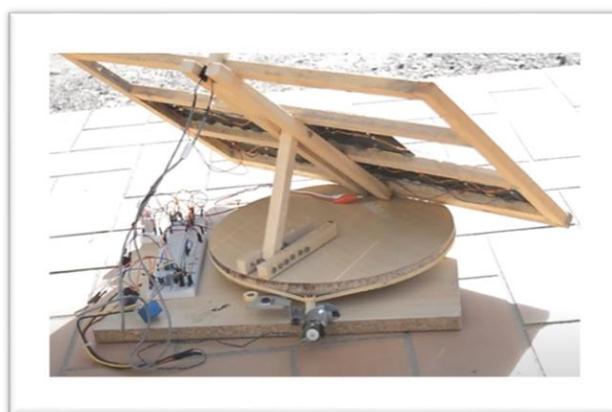


Figure 21 : Suiveur solaire d'Electro Mic

- Avantages

- ✓ Le fonctionnement du système consomme peu d'énergie en lui comparant par d'autre.
- ✓ Son architecture est simple, il ne demande pas beaucoup du matériel pour le construire ou l'installer.
- ✓ Il est utile pour les petits appareils comme les smartphones et les ventilateurs.
- ✓ Pourtant qu'il n'est pas commercialisable, mais il n'est pas couteux pour l'avoir.

- Inconvénients

- ✓ Le système n'a pas une large utilisation.

- ✓ Il est considéré comme un projet de maison, il n'a aucun grand bénéfice.
- ✓ Le système fonctionne avec un seul axe, ce qui diminue la précision de pointage.
- ✓ Le module qui tourne la plaque est plus simple, donc il n'est pas basé aux calculs pour son fonctionnement, et a une grande probabilité de tomber en panne surtout dans les conditions atmosphériques dures.
- ✓ Il n'a aucune connexion avec le réseau Internet, ni avec d'autre type,
- ✓ Pas moyen de le surveiller à distance, même avoir des données utiles pour les partager.
- ✓ Le système produit de l'énergie pour une consommation immédiate, il ne prend pas en charge le stockage.

- **Système Tronik Aventure**

Ce système qui fonctionne en boucle fermé, basé sur les données interceptées par les capteurs de luminosité sous forme des signaux envoyés à une carte des composantes électroniques, cette carte actionne le moteur pour orienter en un seul axe la plaque solaire à l'endroit adéquat.



Figure 22 : Suiveur solaire de Tronik Aventure

- **Avantages**

- ✓ Le fonctionnement du système consomme peu d'énergie en lui comparant par d'autre.
- ✓ Son architecture est simple, il ne demande pas beaucoup du matériel pour le construire ou l'installer.
- ✓ Il est utile pour les petits appareils comme les smartphones et les ventilateurs.
- ✓ Pourtant qu'il n'est pas commercialisable, mais il n'est pas couteux pour l'avoir.

- Inconvénients

- ✓ Le système n'a pas une large utilisation, il est considéré comme un projet de maison, il n'a aucun grand bénéfice.
- ✓ Le système fonctionne avec un seul axe, ce qui diminue la précision de pointage.
- ✓ Le module qui tourne la plaque est plus simple, donc il n'est pas basé aux calculs pour son fonctionnement, et a une grande probabilité de tomber en panne surtout dans les conditions atmosphériques dures.
- ✓ Il n'a aucune connexion avec le réseau Internet, ni avec d'autre type,
- ✓ Pas moyen de le surveiller à distance, même avoir des données utiles pour les partager.
- ✓ Le système produit de l'énergie pour une consommation immédiate, il ne prend pas en charge le stockage.

• Système VITrox MY434

Le fonctionnement de ce système est partiellement différent au précédent. Le processus de suivi commence par une capture d'image du soleil à l'aide d'une caméra installé avec le système, l'image ensuite est envoyée en couleur à un algorithme installé dans un laptop qui fait un traitement complexe à l'objet, ce traitement consiste à :

- Convertir l'image RGB20 en format HSV21.
- Extraire les valeurs du plan résultat.
- Binariser l'image pour supprimer les pixels libres.
- Déterminer le contour pour calculer les coordonnées du centre du soleil.
- Ajouter des marques pour indiquer le décalage du soleil à partir du centre.

A la fin, les nouvelles coordonnées sont envoyées à une carte Arduino pour commander les deux moteurs afin d'orienter la plaque solaire à la destination exacte.

²⁰ RGB : format basé sur les trois couleurs essentielles R : Red, G : Green, B : Blue.

²¹ HSV : Représentation alternative du modèle RGB. HSV pour (Teinte, Saturation, Valeur)



Figure 23 : Suiveur solaire VITrox MY434

- **Avantages**

- ✓ Un système fonctionnant à double axe, il permet de donner une précision de pointage plus exacte.
- ✓ L'utilisation de la caméra offre au système le pouvoir de suivre le soleil d'une façon permanente.
- ✓ Le mécanisme est contrôlé par une carte Arduino et un programme développé en C++, ce qui rend le contrôle plus intelligent.

- **Inconvénients**

- ✓ Le projet consomme plus d'équipement qui sont généralement coûteux (laptop et caméra).
- ✓ Le mécanisme compte sur la performance de la caméra et l'exactitude de l'algorithme développé.
- ✓ Il compte aussi sur les performances du laptop qui doit faire un traitement sur l'image qui est généralement plus lent.
- ✓ Pas moyen de le surveiller à distance, même avoir des données utiles pour les partager.
- ✓ Le système produit de l'énergie pour une consommation immédiate, il ne prend pas en charge le stockage.

- **Système Smartflower**

Le mécanisme de suivi de ce système est basé sur les calculs astronomiques. Il est équipé d'un module GPS qui offre les informations de la date, l'heure et les coordonnées GPS de l'endroit où il est installé au système d'horlogerie qui calcule la position exacte du soleil, et enfin oriente la fleure vers la position exacte.



Figure 24 : Suiveur solaire Smartflower

- **Avantages**

- ✓ Un système fonctionnant à double axe il permet de donner une précision de pointage plus exacte.
- ✓ Son look et sa manière de fonctionnement sont très élégant, il représente un facteur pertinent dans le marché commercial.
- ✓ Le système a une large utilisation surtout dans l'industrie. Le produit est attiré aussi par les individus.
- ✓ Le système prend en charge le stockage de l'énergie produite.

- **Inconvénients**

- ✓ Il n'a aucune connexion avec le réseau Internet, ni avec d'autre type,
- ✓ Pas moyen de le surveiller à distance, même avoir des données utiles pour les partager.
- ✓ Son installation est complexe.
- ✓ Il est plus cher.
- ✓ Il occupe de l'espace à son installation même en hauteur.
- ✓ Son déplacement est difficile et gênant.

- **Système Suny-Watt**

Le mécanisme de suivi est basé d'une part sur le calcul astronomique et la date & heure du site, et d'autre part sur le calcul de l'orientation de la structure en utilisant un magnétomètre²²/accéléromètre²³. Il suffit alors d'asservir les moteurs pour faire coïncider l'orientation de la structure pour que son plan soit constamment perpendiculaire aux rayonnements solaires.

Après, le système utilise le réseau de téléphonie mobile pour le contrôle à distance, ainsi que le réseau Bluetooth pour le contrôle via une application installée dans un smartphone.

Le support de stockage des données utilisé par le système est une carte SD installée près d'une carte Arduino.



Figure 25 : Suiveur solaire Sunny-Watt

- Avantages

- ✓ Un système fonctionnant à double axe, il permet de donner une précision de pointage plus exacte.
- ✓ Le mécanisme est contrôlé par une carte Arduino et un programme développé en C++, ce qui rend le contrôle plus intelligent.
- ✓ Installation simple et moins coûteuse.
- ✓ Plusieurs fonctionnalités sont ajoutées au système pour le rendre plus intéressant à l'avoir.
- ✓ Le système prend en charge la sauvegarde des données pour garder l'historique de fonctionnement
- ✓ Il prend en charge aussi le contrôle à distance afin de pouvoir contrôler ou prendre une décision pareille.

²² Magnétomètre : est un appareil qui sert à mesurer selon les cas l'intensité ou la direction d'un champ magnétique.

²³ Un accéléromètre est un capteur fixé à un mobile ou tout autre objet, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier.

- Inconvénients

- ✓ Le système produit de l'énergie pour une consommation immédiate, il ne prend pas en charge le stockage.
- ✓ Le système a besoin de couverture réseau pour contrôler à distance la plaque et intervient pour l'éventuelle panne.
- ✓ Le stockage des données sur une carte SD n'est plus entièrement professionnel.
- ✓ Les données GPS sont introduits manuellement dans un script et téléversé dans la carte Arduino.

• Système iTracker WL de Soltigua

Le mécanisme de suivi de ce système est basé sur les calculs astronomiques. Il est équipé d'un système d'horlogerie qui calcule la position exacte du soleil suivant les coordonnées de l'endroit où il est installé, tout le calcul se fait dans un module où il y a une carte électronique discrète qui envoie finalement le signal au mécanisme d'orientation à un seul axe pour orienter la plaque à la position adéquate.

Le système prend en charge un flux d'information optimale à distance via un réseau sans fil de longue portée (250m).



Figure 26 : Suiveur solaire iTracker WL de Soltigua

- Avantages

- ✓ Le système est facile à l'installer.
- ✓ Le système prend en charge la communication à distance pour certaines informations.
- ✓ Le système réserve un panneau pour sa propre alimentation en électricité.
- ✓ Le système stocke l'énergie réservée à son alimentation dans une batterie rechargeable, donc il n'a pas besoin d'être alimenté par d'autre source.

- **Inconvénients**

- ✓ La surveillance à distance est aménagée uniquement sur l'état des plaques.
- ✓ Aucun contrôle à distance, et aucune d'autre information relative à l'intégralité du système est diffusée.
- ✓ L'intervention pour éventuelle panne se fait uniquement sur place.

Conclusion

Enfin, on a donné une étude comparative présentée dans le tableau ci-haut de quelques projets de réalisation des suiveurs solaires, ainsi qu'on a défini leur principe de fonctionnement et les techniques utilisées.

Malgré ces différentes techniques déployées et les différentes manières d'utiliser ces suiveurs, il en reste pour chacun des conceptions une panoplie d'avantages et inconvénients qu'on a aussi les mettre en gras dans l'objectif de mettre en valeur ce qu'on a proposé comme une solution des problématiques décrites plus haut.

PARTIE 2

CONTRIBUTION

CHAPITRE 1

Conception du système d'IoT pour l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes.

Introduction

L'exploitation de l'énergie renouvelable -notamment l'énergie solaire- par plusieurs techniques et méthode dans l'objectif d'assurer un éclairage **intelligent** des espaces publics, est évidemment une empreinte parmi les empreintes qui prouve l'existence d'une ville intelligente.

Dans ce contexte, et en se basant sur l'étude menée dans le chapitre précédent qui s'est fini par une discussion des travaux réalisés, on a entamé le développement d'un système d'IoT pour l'éclairage automatique d'un jardin public, en utilisant des plaques solaires intelligentes qui peuvent suivre le soleil tout au long de son parcours.

Pour ce faire, on va démarrer par la conception du système, ensuite la réalisation et en se termine par son déploiement et cela, tout en mettre en œuvre les composants d'un système IoT détaillés plus haut (les objets connectés, les protocoles de communication et les plateformes).

Ce chapitre mettre en évidence la première phase du développement, d'où on va analyser les exigences fonctionnelles et non-fonctionnelles ainsi que la désignation du matériel nécessaire pour la mise en œuvre d'un tel système. Ainsi, un aperçu sur le fonctionnement global du système en décrivant le « quoi » réaliser.

I. Problématiques

L'existence des jardins publics est un signe du développement civil de la société ainsi qu'il donne une bonne appréciation pour la ville et le bien-être de ses habitants.

Pour la mise en œuvre de ces jardins, ils devront effectivement être alimenté de l'énergie électrique d'une façon permanente afin d'assurer un éclairage durant la prestation, pour cette raison la tutelle se trouve alors devant des difficultés à résoudre :

- Les dépenses exagérées qui sont générées par la consommation de l'énergie électrique utilisé pour l'éclairage drainent les ressources de la tutelle.
- L'éclairage non raisonnable des jardins publics gaspille exessivement la consommation de l'énergie, et génère en résultat des factures imaginaires.
- Les coupures et les pannes du réseaux électrique câblé causés par la surcharge et la consommation non raisonnable génèrent des dépenses supplémentaires.

La résolution de tous ces problématiques conduit la tutelle de faire recours à la nouvelle technologie et aux techniques modernes dans ce domaine.

II. Objectifs

Le projet qu'on va développer traite les problématiques déjà cités, et cela en créant un système inscrit dans le domaine d'IoT pour assurer un éclairage intelligent dans les jardins publics utilisant des plaques photovoltaïques avec des suiveurs solaires collectant de l'énergie solaire. Il assure :

- 1- Libérer les tutelles des jardins publics de tout engagement de paiement de facture (généralement élevée) générée par l'exploitation de l'énergie.
- 2- Exploiter l'énergie renouvelable (solaire) pour l'éclairage des jardins publics.
- 3- Assurer un éclairage intelligent et permanent des jardins publics, tout en remédiant aux coupures et aux pannes des sources d'énergie câblées.
- 4- Fournir aux tutelles d'une façon instantanée des informations relatives à la situation globale des jardins (Taux de fréquentation du public, température, humidité, taux de consommation d'énergie).

III. Analyse des besoins système

III.1. Exigences fonctionnelles

Sont les exigences qui définissent les fonctions du système à développer, elles répondent à la question : quoi faire le système ?

Alors, le système qu'on va développer dans ce mémoire capable d'assurer les fonctionnalités suivantes :

- Acquérir les grandeurs²⁴ physique provenant des capteurs installés.
- Analyse des grandeurs et génération des données.
- Actionner les moteurs suivant les données générées.
- Envoi les données à la plate-forme pour consultation.
- Générer des alertes instantanées pour faire des interventions.
- Stocker l'énergie produite dans des batteries rechargeables.
- Rédiger l'exès de la charge vers le réseau public.
- Générer des visualisations pour les données interceptées.
- Eclairage du jardin.

²⁴ Grandeur : toute propriété de la science de la nature qui peut être mesurée ou calculée.

III.2. Exigences non fonctionnelles

Définissent les propriétés désirées que le système doit posséder et qui assurent le bon fonctionnement du système. Elles sont :

- Gestion des comptes utilisateurs.
- Assurance de l'authentification des différents utilisateurs du système.
- Création d'une interface compatible pour les smartphones, tablettes et PCs.
- Création d'un système compatible avec tout système d'exploitation.

IV. Vision de la solution proposée

On peut diviser la solution en deux grandes parties qui se déroulent en collaboration pour le bon fonctionnement du système.

- **La première partie**

Elle s'exécute d'une façon machinale, elle est résumée en interaction d'un programme avec des valeurs interceptées par des capteurs. Elle est expliquée comme suit :

Le programme installé à la carte Raspberry intercepte les grandeurs relevant des capteurs connectés au système qui sont : la luminosité, la température, humidité, la charge de la batterie et le mouvement. Selon la configuration du programme, le processus se lance périodiquement après un temps pour effectuer trois processus, à savoir :

- **Le suivie du soleil**

Le système repose sur quatre capteurs de luminosité, pour chacun d'eux une valeur correspond à son état (*Low* pour ombré et *High* pour lumineux), ces valeurs sont envoyées à la carte pour que le programme puisse déterminer l'endroit ombré. Il détermine en résultat quel servomoteur que devrait le bouger en premier temps.

Ce processus se répète jusqu'à l'interception des quatre valeurs qui vau *High*.

- **Le rechargement de la batterie**

La plaque et, durant son orientation, transmet l'énergie générée aux batteries rechargeables (4 batteries connectés en série), qui alimentent à son tour les lampes fixées aux poteaux.

Un capteur de charge connecté à la carte envoie une information relative à la sommation des charges des batteries, le programme détermine si les batteries sont en pleine charge ou non. En résultat, et dans un seul cas, si les batteries sont en pleine charge, la carte Raspberry envoie un signal au relais pour orienter la surcharge au réseau électrique public pour un autre usage.

- L'éclairage de l'espace public

Ce processus se déclenche évidemment dans une période où il n'y avait pas de lumière : soit la matinée dont la lumière du jour est très faible, soit dans la nuit.

Dans ces deux cas-là, tous les détecteurs de luminosité envoient la valeur Low à la carte Raspberry, cette dernière ne réagit pas sauf si le capteur de mouvement envoie un signal informant qu'il y avait un objet sollicitant certainement la lumière. Dans ce cas la carte envoie le signal au relais pour allumer les lampes.

• La deuxième partie

Cette partie commence après que la carte transmet les données de l'environnement sous forme d'un objet JSON en utilisant le protocole QTT. Le message est transmis au service IoT Hub créé dans l'Azure Cloud, ce service identifie la carte transmettant le message et génère automatiquement des statistiques à propos, le service peut aussi identifier les pannes éventuellement produites des capteurs.

Un service aussi travaille en veille dans le Cloud qui s'appelle Cosmos DB, il intervient pour enregistrer ces messages dans une structure pour pouvoir les consulter ultérieurement ou faire des visualisations avec. Effectivement, et à l'aide d'un service qui s'appelle Signal R, le message redirigé d'une façon instantané vers un site Web hébergé dans le même endroit (Cloud). Les scripts Java dans ce site utilisent ce message pour afficher aux utilisateurs des interfaces à savoir : des courbes, graphes, tableaux, ... selon la conception du site déployé, pour prendre connaissance de l'environnement d'une part et, d'une autre part pour prendre des décisions pareilles.

Une telle solution nécessite des composants matériels et logiciels suivants :

IV.1. Besoins en matériels

- Carte Raspberry Pi avec son alimentation USB.
- Carte SD Classe 10 (16 GO).
- Carte d'essai (Bread-Board).
- Fils de connexion.
- Résistances.
- Lampe LED.
- Batterie rechargeable.
- Convertisseur ADC.
- Deux servomoteurs avec des supports.

- Une plaque photovoltaïque.
- Capteurs (4 LDRs, mouvement, tension, température et humidité).
- Shield de contrôle des moteurs.
- Relai pour contrôler la lampe.
- Capteur de tension.
- Relai pour contrôler le courant généré.
- Un point d'accès WiFi.

IV.2. Besoins en logiciels

- Visual Studio (IDE).
- Langage C#.
- Windows 10 IoT Core Dashboard.
- Plateforme Microsoft Azure.
- Protocole de communication (MQTT).
- Java Script.
- JSON.
- Fritzing.

V. Spécification des fonctionnalités du système

V.1. Identification des acteurs

Les acteurs principaux du système sont :

- **Utilisateur** : il représente un technicien du site, il a des restrictions d'accès au système qui se limite par la consultation des données.
- **Administrateur** : Son rôle est de gérer le système. Il possède tous les privilèges d'accès. Il a la possibilité d'utiliser toutes les fonctionnalités du système. Il représente, par exemple, le propriétaire du champ étudié.

Les acteurs secondaires sont :

- **Objet connecté** : est la source de données du système, son rôle est d'exécuter des actions et d'envoyer les données en fonction de la manière dont il a été créé.
- **Plateforme IoT** : est une source ou destination de données. Principalement, un service de la plateforme sera utilisé pour le stockage distant des données.

Conclusion

On a procédé à concevoir dans ce chapitre notre solution en présentant essentiellement une vision générale pour le fonctionnement et le comportement de notre futur système.

Le chapitre aussi a cité les différents matériels contribuant à construire l'objet connecté qui présente la partie Hardware du futur système, ainsi il a présenté sa partie Software en définissant l'environnement du développement et les différents outils et langages de programmation sollicités.

Il en reste enfin que la réalisation et faire un prototype du futur système en assemblant ces composants électroniques et donnant soigneusement l'interaction avec le codage. Et ça c'est l'objectif du chapitre suivant.

CHAPITRE 2

Réalisation du système d'IoT pour l'Eclairage Automatique d'un Jardin Public, en utilisant, des plaques solaires intelligentes.

Introduction

La phase de réalisation du projet est la phase successeur de la phase conception. Cette dernière a été consacré à donner des explications détaillées sur le projet commençant par les objectifs à prévoir et finir par notre vision à la solution proposée. Cette vision a résumé le déroulement des processus exécutés par le système.

Et dans l'objectif de réaliser ce système, on a utilisé des logiciels de développements que supporte l'environnement de l'application et des outils intervenants pour le bon fonctionnement.

Dans ce chapitre, une illustration explique brièvement ces outils et pourquoi on l'a fait recours, ainsi une architecture générale de la solution.

I. Description des langages utilisés

Cette section, on va présenter les langages de programmations qui sont nécessaires à la réalisation du projet.

C# (C Sharp)

C# est un langage de programmation orientée objet très populaire développé par Microsoft, il est fortement typé, dérivé de C et de C++, ressemblant au langage Java. Il est utilisé pour développer différents types d'applications et sites Web sous la plateforme .NET. [58]

On a utilisé ce langage pour développer les applications web, ainsi que le programme installé sur la carte Raspberry qui fait interagir avec les capteurs et actionner les moteurs.

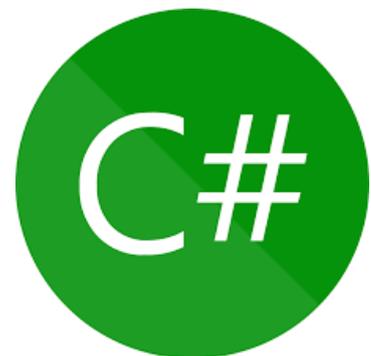


Figure 27 : Logo C#

Java Script

Est un langage de script léger, orienté objet, principalement connu comme le langage de script des pages web. Mais il est aussi utilisé dans de nombreux environnements extérieurs aux navigateurs web tels que Node.js.

JS est un langage à objets utilisant le concept de prototype, disposant d'un typage faible et dynamique qui permet de programmer suivant plusieurs paradigmes de programmation : tel que l'orientée objet. [59]



Figure 28 : Logo Javascript

On a utilisé le JS pour utiliser les données interceptées par l'environnement et en les présentant sur le site Web dans des graphiques : courbes, tableaux, charts, ...etc.

II. Environnement et Plateforme de développement

On va présenter dans ce qui suit, l'environnement du développement ainsi que les plateformes utilisées quant à la réalisation du projet, aussi les différents services intervenants.

- **Visual Studio**

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE), qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. [60]



Figure 29 : Logo Visual Studio

On a choisi de l'utiliser à cause de ses fonctionnalités et la plus large utilisation ainsi qu'il nous permet de développer notre projet avec le langage C#.

- **ASP .Net Core**

ASP.NET Core est une version multiplateforme de .NET pour la création de sites Web, de services et différent type d'applications.

Avec l'option de Cross-Plateformes, les applications créés sous .NET Core peuvent fonctionner sur un très grand nombre de plateformes : mobile, desktop, tablettes, Web et Cloud de iOS, Linux, Android et autre. [61]



Figure 30 : Logo ASP .NET Core

Grâce à cette option, on a opté à travailler sous cette plateforme.

- **Microsoft Azure Cloud**

Est un vaste ensemble de services informatiques en nuage en constante expansion qui sont disponibles pour les entreprises, les développeurs et toute personne souhaitant créer une application ou exécuter une entreprise sur Internet sans avoir à installer et à gérer du matériel ou logiciel serveur.



Figure 31 : Logo Microsoft Azure

Microsoft Azure est la collection complète de Microsoft d'alternatives basées sur le cloud au matériel et aux services

physiques. [62]

Avec ses différents services puissants surtout qui gèrent les Devices exploitées dans le domaine d'IoT, on a choisi de travailler avec en inscrivant à Microsoft d'abord, ensuite, on a créé des instances des services concernés et qui sont cités dans la partie suivante.

La liste illustrée ci-après présentent tous les services inscrits à la plateforme Microsoft Azure Cloud, et qui sont utilisés pour le projet :

- **Azure IoT Hub**

IoT Hub est un service géré, hébergé dans le cloud, qui agit comme un hub de messages central pour la communication bidirectionnelle entre l'application IoT et les appareils qu'elle gère. Il peut créer des solutions IoT avec des communications fiables et sécurisées entre des millions d'appareils IoT et un backend de solution hébergée dans le cloud.

Il prend en charge les communications à la fois de l'appareil vers le cloud et vice-versa, il prend en charge aussi plusieurs modèles de messagerie tels que la télémétrie d'appareil à cloud. [63]

On a bien sûr opté à cette solution grâce aux avantages tirés de ce service notamment la surveillance qui permet à maintenir l'intégrité de la solution en suivant les événements tels que la création d'appareil, les pannes d'appareils et les connexions d'appareils.

- **Azure Signal R**

Azure SignalR Service simplifie le processus d'ajout de fonctionnalités Web en temps réel aux applications via HTTP. Cette fonctionnalité en temps réel permet au service de pousser les mises à jour de contenu vers les clients connectés. Par conséquent, les clients sont mis à jour sans qu'il soit nécessaire d'interroger le serveur ou d'envoyer de nouvelles requêtes HTTP pour les mises à jour. [64]

On a utilisé ce service pour profiter pleinement de ces fonctionnalités en temps réel que l'on peut l'ajouter au site Web pour les mises à jour des données interceptées d'une façon instantané.



Figure 32 : Logo Azure Iot Hub



Figure 33 : Logo Signal R

- **Azure Cosmos DB**

Azure Cosmos DB est le service de base de données multi modèle distribué à l'échelle mondiale de Microsoft. Cosmos DB permet de mettre à l'échelle de manière élastique et indépendante le débit et le stockage dans n'importe quel nombre de régions Azure dans le monde.



Azure Cosmos DB

Figure 34 : Logo : Azure Cosmos DB

On peut faire évoluer le débit et le stockage de manière élastique et profiter d'un accès rapide aux données à un chiffre en milliseconde à l'aide de votre API préférée, notamment : SQL, MongoDB.

- **Azure Active Directory**

Azure Active Directory (Azure AD) est le service de gestion des identités et des accès basés sur le cloud de Microsoft, qui aide les utilisateurs à se connecter et à accéder aux ressources internes telles que les applications Cloud développés pour sa propre entreprise.



Azure Active Directory

Figure 35 : Logo Azure Active Directory

On a utilisé ce service pour gérer l'accès des utilisateurs uniquement au site Web.

Pour l'objectif de faire une maquette de modélisation physique de la solution, on a utilisé le logiciel suivant :

- **Fritzing**

Est un logiciel libre de conception de circuit imprimé²⁵ qui permet de concevoir de façon entièrement graphique le circuit et d'en imprimer le typon²⁶.

L'utilisation de ce logiciel facilite la conception du projet, il offre une vision en macro pour l'architecture prévue du projet, il contrôle aussi durant la conception le montage qui ne respecte les lois et les techniques électroniques.



Figure 36 : Logo Fritzing

²⁵ En général, est une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe.

²⁶ Le typon est un masque, composé d'une feuille transparente, sur laquelle est imprimé un motif, dans une encre opaque.

- **Les protocoles de communication**

On a utilisé le protocole MQTT pour assurer le transfert des messages relatives aux données interceptées par l'objet connecté à la plateforme Azure Cloud, l'explication de ce protocole et ses caractéristiques sont présentés dans le chapitre 1, (voir la 12).

III. Architecture générale de la solution

Suivant la section précédente qui a illustré les outils de développement utilisés et intervenant pour développer la solution, il est important maintenant de schématiser l'architecture générale de la solution où on va expliquer le fonctionnement du système dès l'interception des grandeurs de l'environnement jusqu'à la visualisation des informations déduites. La figure suivante le montre :

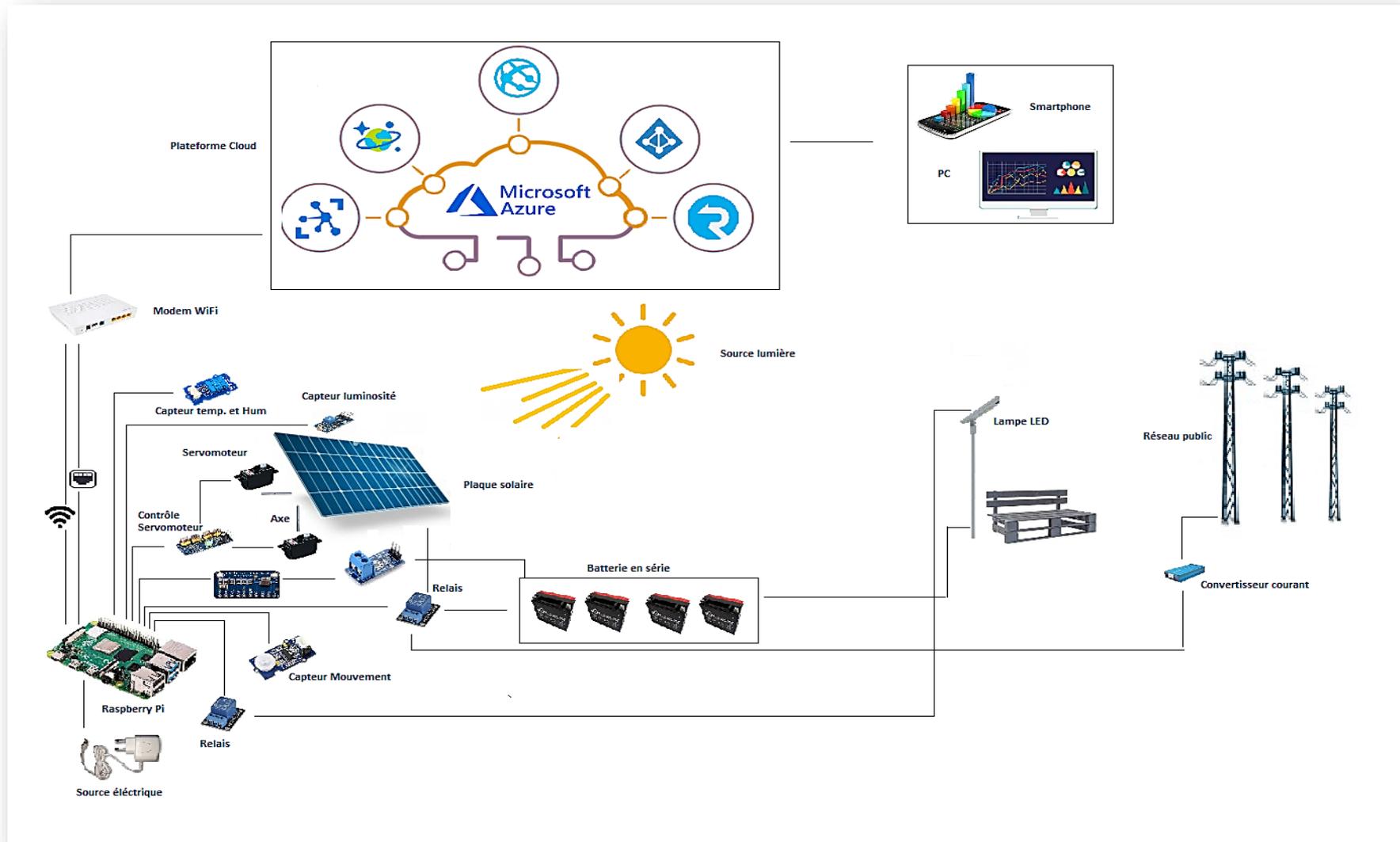
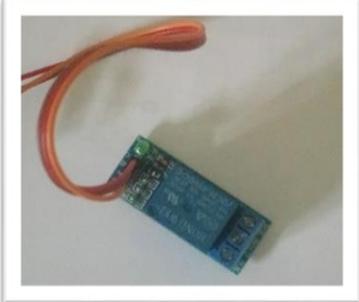


Figure 37 : Architecture générale de la solution

IV. Description de la réalisation physique de la solution

L'objet connecté de la solution et par définition se compose de différentes composantes électroniques qui assurent l'interaction avec l'environnement et mesurent les grandeurs qui seront envoyées par la suite au Cloud. On a utilisé :

- **Les capteurs** : on a utilisé les capteurs suivants :

 <p>Figure 38 : Carte Raspberry Pi 3 B de la solution</p>	 <p>Figure 39 : Fils de connexion GPIO</p>	 <p>Figure 40 : Relais de la solution</p>
Raspberry Pi 3 B	Fil de connexion	Relais
<ul style="list-style-type: none"> • Processeur Quad-Core ARM Broadcom BCM2837 64 bits à 1,2 GHz • 1 Go de RAM • LAN sans fil et Bluetooth Low Energy (BLE) à bord • 100 base Ethernet • GPIO étendu 40 broches • 4 ports USB 2 • Sortie stéréo 4 pôles et port vidéo composite • HDMI pleine taille • Port de caméra CSI pour connecter une caméra. • Port d'affichage DSI pour un écran tactile • Port Micro SD pour charger système d'exploitation et stocker des données • Alimentation 5 volt via Micro-B USB ou GPUI header. • Poids de 45g. • Dimension en mm : 85,60 × 53,98 × 17. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cable de 40 cm, coloré Rainbow. • Haute performance, léger, facile à utiliser, très pratique et difficile à casser. • Facile à transporter et à ranger. • Réutilisable. • A une large utilisation. • Deux types recommandés à la solution : <ul style="list-style-type: none"> - Female to Female. - Female to Male 	<ul style="list-style-type: none"> • Relais 5V • Charge maximale : <ul style="list-style-type: none"> - AC : 250V/10A - DC : 30V/10A. • Voltage du travail : 5V • Dimension en mm : 50 x 26 x 18. • Diamètre boulons de montage : 3,1mm.
Rôle dans l'objet connecté		
<p>Son rôle dans le système est primordial, elle rassemble tous les capteurs participants au fonctionnement du système, ainsi qu'elle fait tous les calculs et les tests grâce au programme installé là dans et envoie les messages au</p>	<p>Il est utilisé dans le système pour assurer la connexion entre la carte Raspberry et le Breadboard d'une part, et d'une autre part, il relie le composant au Breadboard.</p>	<p>Il joue un rôle important dans la solution, il est considéré comme un interrupteur pour activer la lampe, et aussi pour orienter la surcharge d'énergie au réseau public.</p>

Cloud.		
Nombre d'article		
01	Selon l'architecture	02

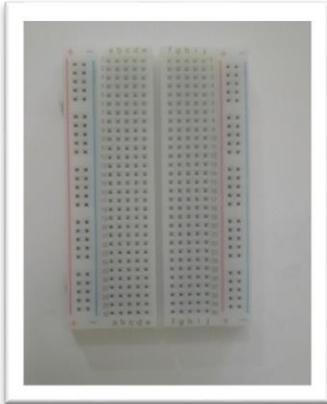
 <p>Figure 41 : LED de la solution</p>	 <p>Figure 42 : Breadboard de la solution</p>	 <p>Figure 43 : Capteur de lumière de la solution</p>
Lampe LED	BreadBoard	Capteur luminosité
<p>LED super lumineuses de 3mm. Incroyablement lumineuses pour une utilisation du projets éclairages, phares, projecteurs, éclairage de voiture, modèles. Tension : 3,3V - 3,6V Typique : 3,4V Courant : 18 mA</p>	<p>Et une planche sans soudure. Il comporte 2 bus électriques, 10 colonnes et 30 lignes, soit un total de 400 points liés. Cette planche à pain demi-taille est idéale pour les petits projets. Il a une double bande standard au milieu et deux rails d'alimentation des deux côtés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensions en mm : 84 x 56 x9,5 • 400 points de liaison avec quatre lignes de bus communes indépendantes. • Trous carrés • Matière plastique • Accepte une variété de tailles de fil. • Complètement réutilisable et sans danger pour la personne et l'environnement. 	<p>Module de taille 30x15mm, il possède :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potentiomètre qui permet d'ajuster le seuil de déclenchement en fonction du niveau de lumière. • LDR (Light Dependant Resistor) est la résistance. • Consommation d'énergie : 3.3V. Tension de fonctionnement 3.3V-5V. Le format de sortie : sortie de commutation numérique (0 et 1)
Rôle dans l'objet connecté		
Elle est utilisée dans la solution comme une lampe installée dans le jardin	Elle est utilisée pour nous permet de brancher sans soudure les composants de la solution avec les fils GPIO.	Ils sont installés au-dessus du panneau pour la détection permanente de la lumière.
Nombre d'article		
01	01	04

Tableau 5 : Liste des composants réels utilisés dans la solution

D'autres composants qu'on a fait recours pour la réalisation de de la solution sont listés ci-dessous :

- 1 capteur de tension pour mesurer la charge de la batterie (voir la page 29).
- 1 capteur de mouvements pour détecter les éventuels mouvements (voir la page 30).
- 1 capteur de température et humidité pour mesurer la température et l'humidité du site (voir la page 29).
- **Plaque solaire** : on a utilisé une seule plaques solaire photovoltaïque pour collecter le rayonnement solaire (voir la page 32).
- **Les servomoteurs** : on a utilisé 02 servomoteurs pour orienter la plaque solaire en horizontal et en verticale (voir la page 31).
- **Shield** de contrôle des servomoteurs : on a connecté à la carte un seul Shield pour contrôler l'action des moteurs (voir la page 27).
- **Convertisseur ADC** : on l'a utilisé pour convertir le signal analogique en une valeur numérique supportée par la carte Raspberry Pi (voir la page 30).

IV.1. Réalisation de l'objet connecté

Dans un premier temps, il est à noter que la carte contrôleur Raspberry Pi est la composante la plus indispensable dans le projet, l'image suivante présente la partie où on trouve les broches (PIN) soudés dans la carte, permettant la connexion avec toute composante externe de la carte.

Chaque PIN a deux numéros, le premier est son ordre sur la carte tandis que le deuxième est son code utilisé dans le développement, il s'appelle GPIO²⁷.

²⁷ GPIO : General-Purpose Input/Output : Entrée/Sortie à Usage Général

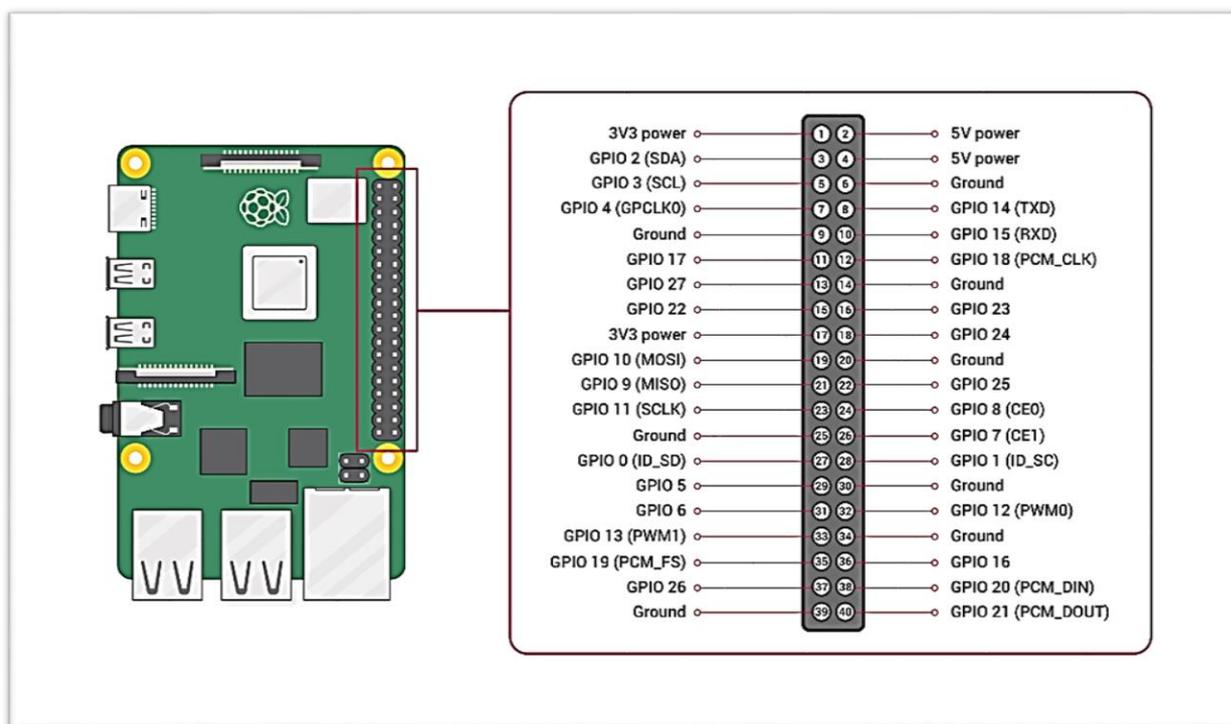


Figure 44: Raspberry Pi : Rangée de broche GPIO [65]

Dans cette partie, on a procédé à afficher des captures d'écran pour expliquer comment peut-on construire l'objet connecté, ces schémas sont construits par le logiciel *Fritzing*.

Branchement des servomoteurs : cette étape consiste à :

1. Connecter les 02 servomoteurs au Shield (circuit en bleu).
2. Connecter le Shield par une source électrique.
3. Connecter le Shield au Breadboard.
4. Connecter la carte Raspberry au Breadboard.

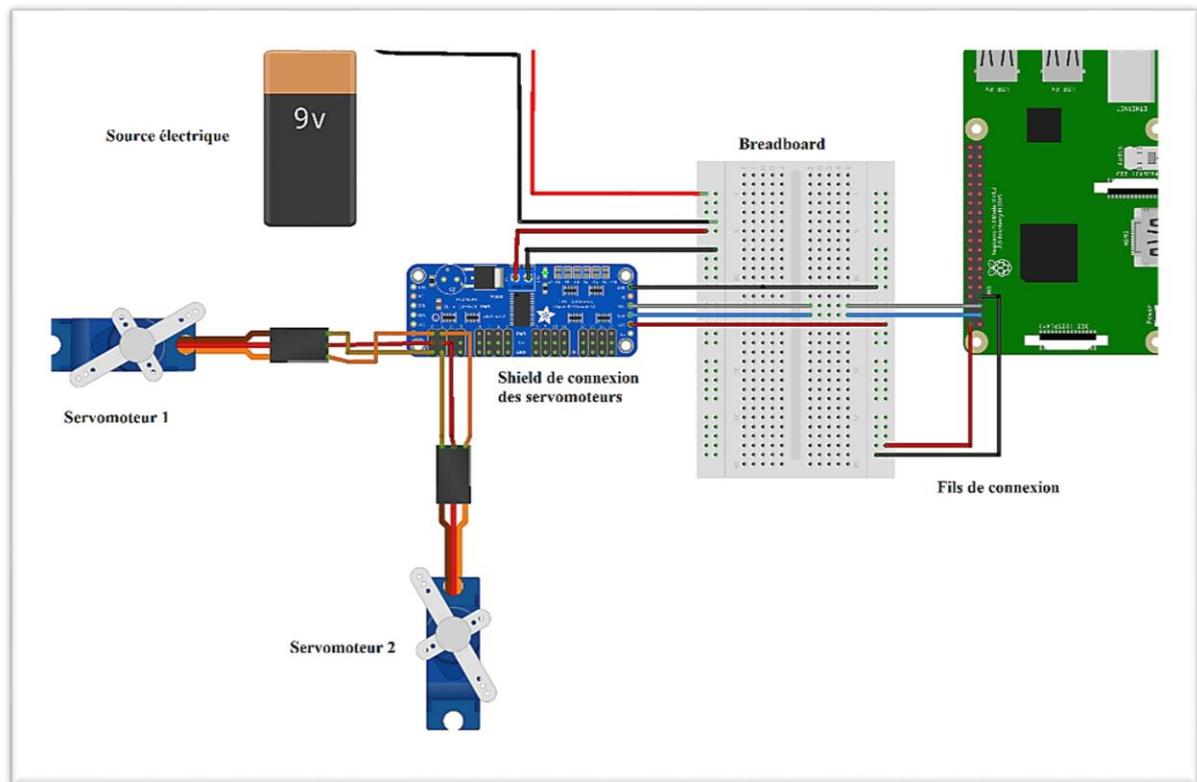


Figure 45 : Branchement des servomoteurs

Branchement du kit plaque solaire : dans cette étape, on :

1. Connecter la carte Raspberry au Breadboard.
2. Connecter le capteur de tension au Breadboard et série de batteries rechargeables.
3. Connecter le convertisseur ADC au Breadboard.

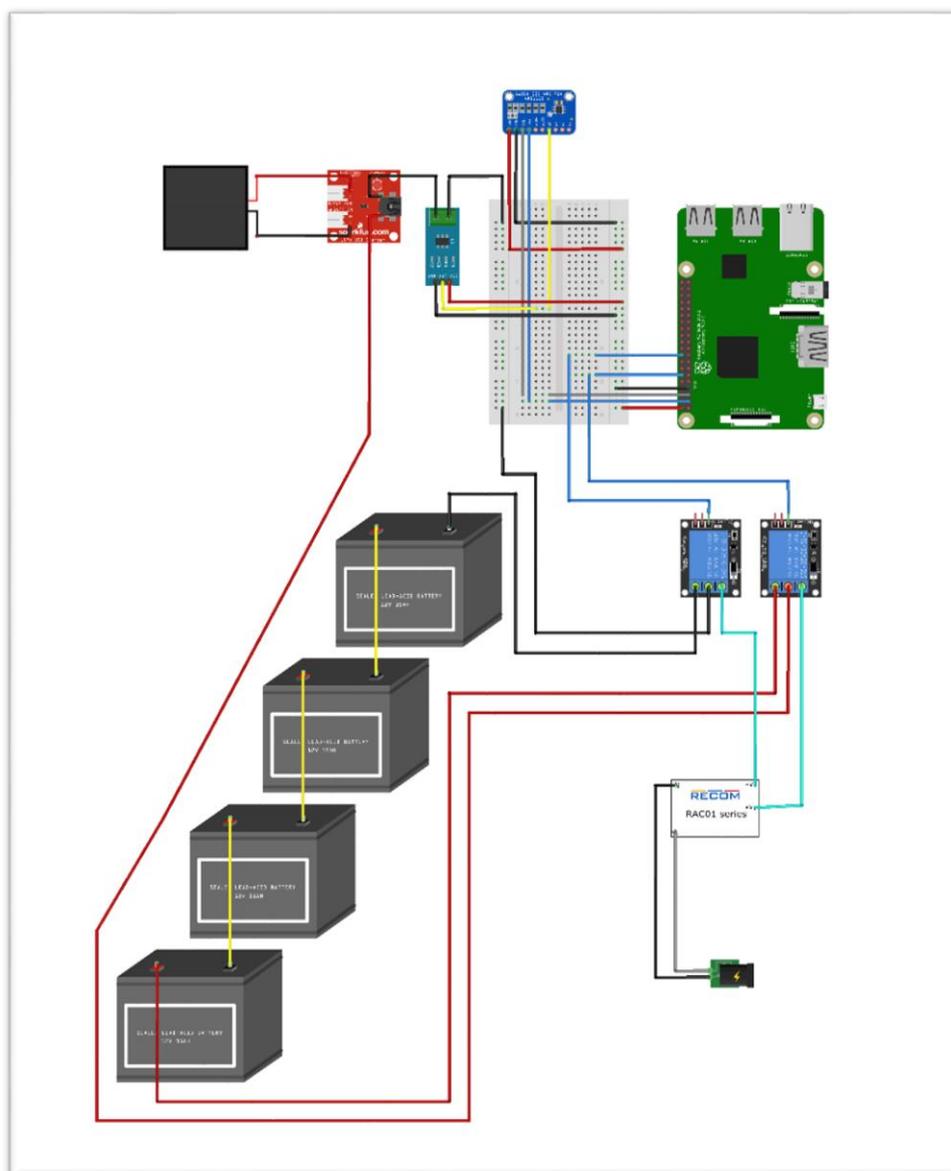


Figure 46 : Branchement du kit plaque solaire

Branchement du Kit contrôle éclairage : consiste à :

1. Connecter la carte au Breadboard.
2. Connecter le capteur de mouvement au Breadboard.
3. Connecter le Relai au Breadboard et à la série des batterie.
4. Connecter la lampe LED à la série des batteries.

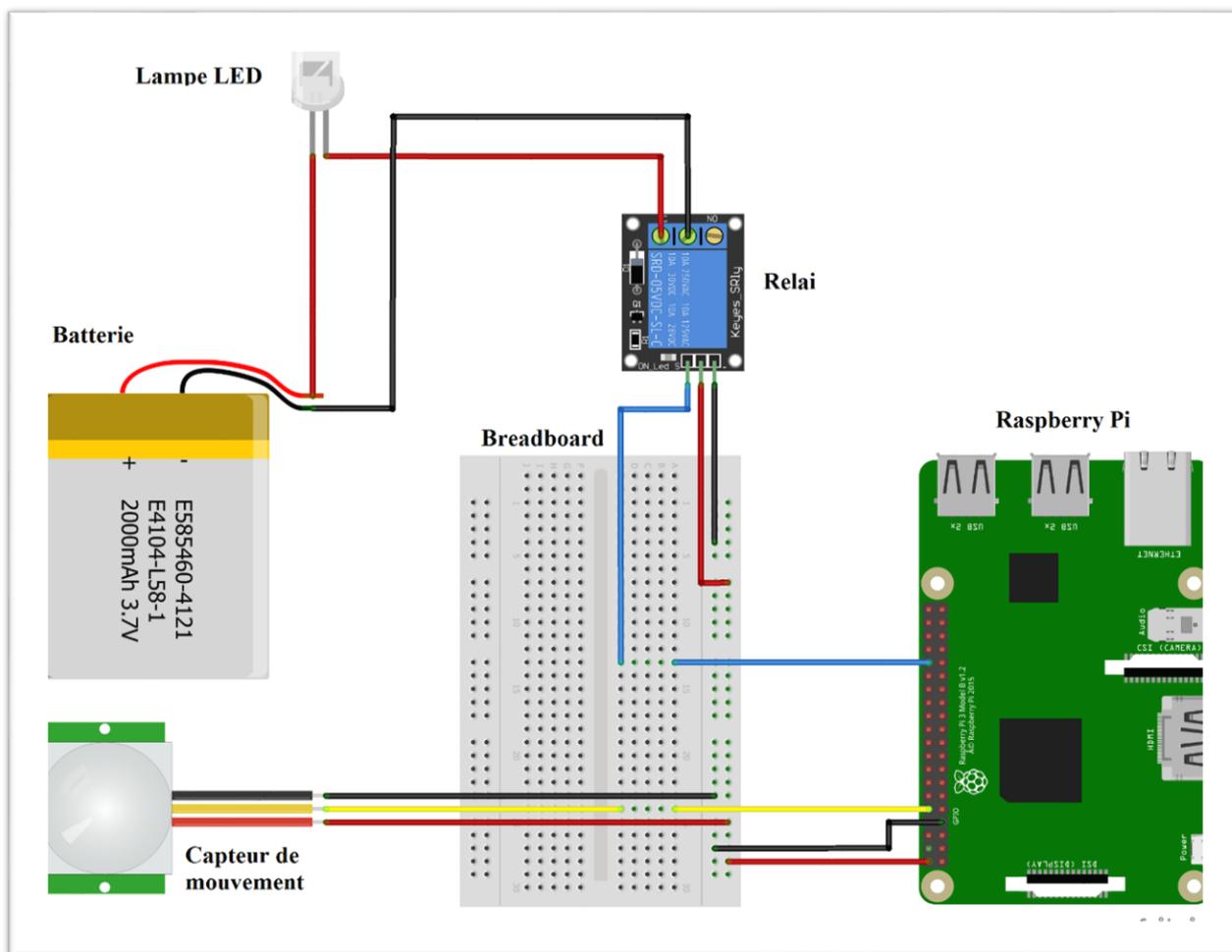


Figure 47 : Branchement du Kit contrôle éclairage

Branchement des capteurs de luminosités : l'opération consiste à brancher les 04 capteurs de luminosités avec le branchement des servomoteurs illustré ci-haut

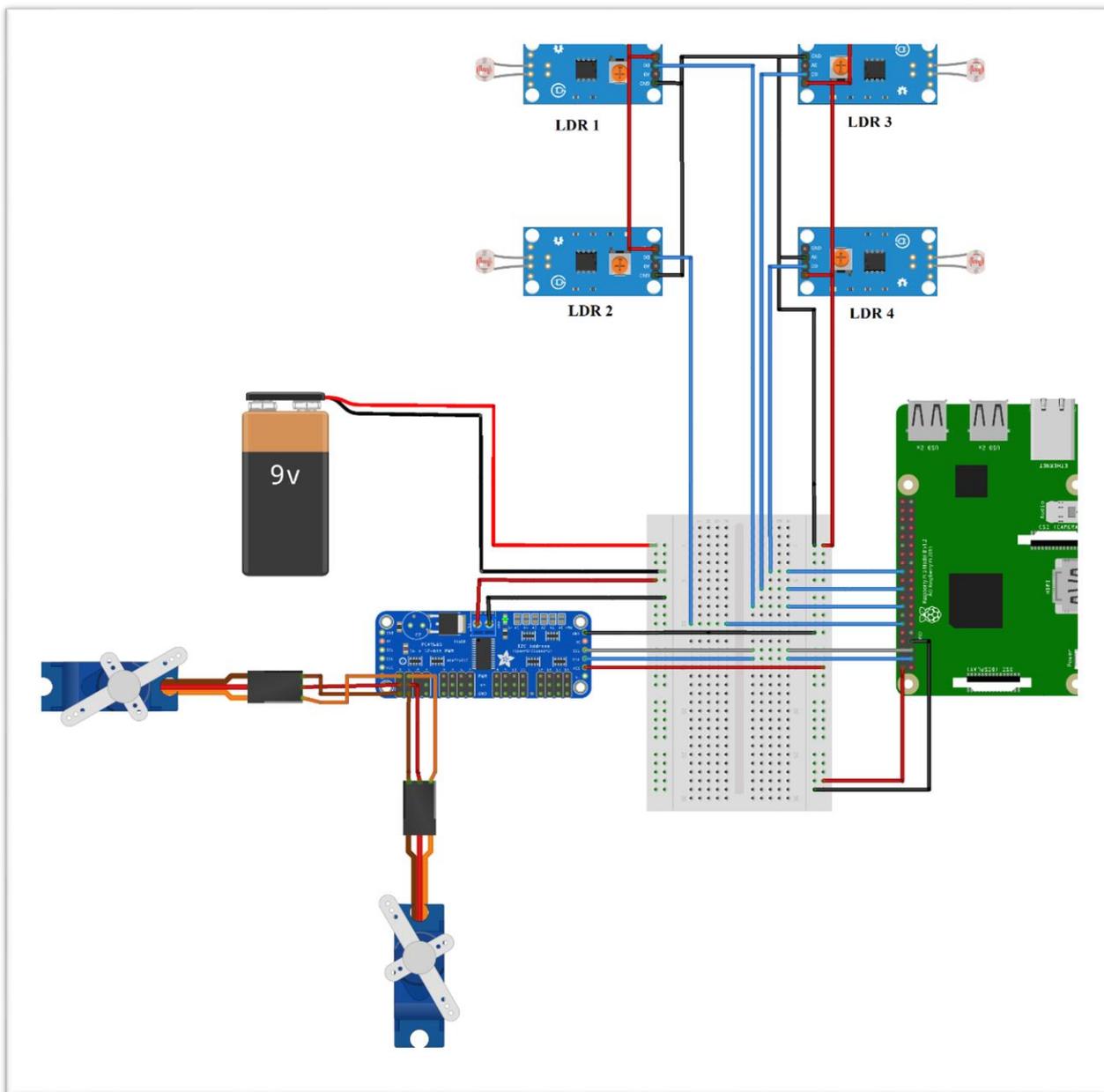


Figure 48 : Branchement des capteurs de luminosités

Après avoir faire le montage de l'objet connecté qui présente la partie Hardware du système, et avant de passer à sa partie Software, on va montrer dans les deux images suivantes une partie de notre objet connecté responsable à l'allumage du LED en fonction de la lumière détectée.

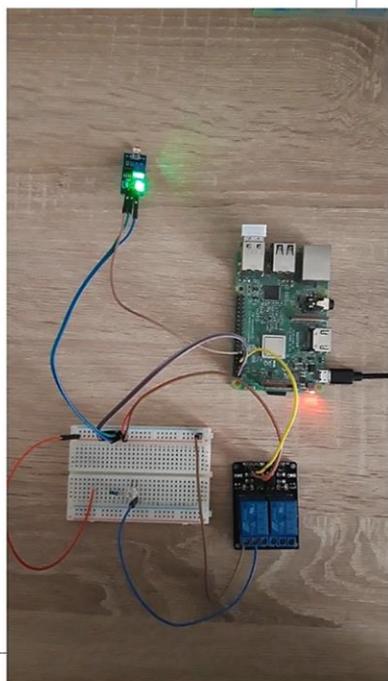


Figure 49 : Lumière détectée LED éteint.

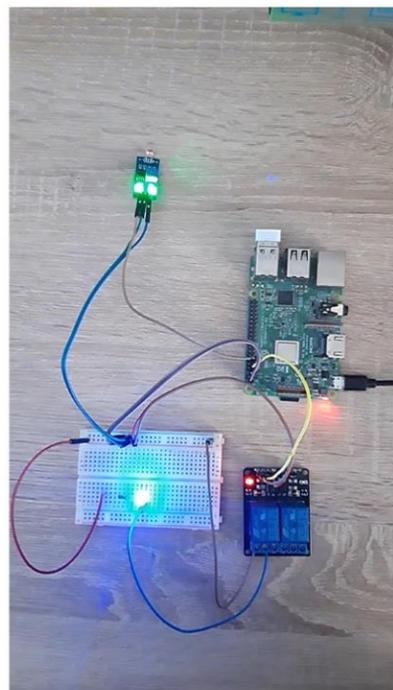


Figure 50 : Lumière non détectée, LED allumée

Dans ce qui se suit des copies écrans présentant des différentes portions de codes qui représentant en intégral la partie Software du système.

IV.2. Portion de codes près de l'objet connecté

Portion de code C# pour associer les codes GPIO au capteur et au relai, ainsi l'initialisation de la carte contrôleur.

```

using Windows.Devices.Gpio; //Bibliothèque de classe contient les fonctions du Device
using Windows.UI.Xaml.Controls;

namespace RelaisLDRLight
{
    /// <summary>
    /// An empty page that can be used on its own or navigated to within a Frame.
    /// </summary>
    public sealed partial class MainPage : Page
    {
        // RELAIS ON GPIO 4
        private const int RELAIS_PIN = 4;
        private GpioPin pinRelais;

        // LDR ON GPIO 17
        private const int LDR_PIN = 17;
        private GpioPin pinLDR;

        public MainPage()
        {
            this.InitializeComponent();
            // Gpio Initialization
            InitGPIO();
        }

        private void InitGPIO() // Initialisation de la carte si elle est
        {
            GpioController gpio = GpioController.Default;

            // Show an error if there is no GPIO controller
            if (gpio == null)
            {
                return;
            }
        }
    }
}

```

Définition des codes PIN pour LDR et le Relai

Figure 51 : Code C# pour associer N° GPIO au capteur

Portion de code C# pour l'envoi d'un signal au relai suivant l'état du capteur de luminosité

```

pinLDR.DebounceTimeout = new TimeSpan(0, 0, 0, 0, 50);

```

Définition du délai en milliseconde pour la prochaine détection de la lumière

```

private void PinLDR_ValueChanged(GpioPin sender, GpioPinValueChangedEventArgs args)
{
    if (sender.Read() == GpioPinValue.Low)
    {
        System.Diagnostics.Debug.WriteLine("***** LIGHT ON *****");
        // RELAIS ON
        pinRelais.Write(GpioPinValue.High);
    }
    else
    {
        System.Diagnostics.Debug.WriteLine("***** LIGHT OFF *****");
        // RELAIS OFF
        pinRelais.Write(GpioPinValue.Low);
    }
}

```

Si LDR envoie la valeur Low (veut dire qu'il y n'a pas de lumière) >> envoi un signal au

Traitement du cas contraire

Figure 52 : Code C# pour paramétrer l'LDR et l'envoi d'un signal au relai

Portion de code C# pour travailler avec le capteur de mouvement

```
// *** PIR Settings ***                               Paramétrage du capteur
//Open the GPIO port for PIR motion sensor
pinPIR = gpio.OpenPin(PIR_PIN);
                                                    Délai d'un 50ms pour la prochain détection du mouvement

pinPIR.DebounceTimeout = new TimeSpan(0, 0, 0, 0, 50);
pinPIR.SetDriveMode(GpioPinDriveMode.Input);
                                                    Définir le Pin comme un Pin d'entrée
```

Figure 53 : Code C# pour paramétrer le capteur de mouvement

```
private void PinPIR_ValueChanged(GpioPin sender, GpioPinValueChangedEventArgs args)
{
    if (args.Edge == GpioPinEdge.RisingEdge)
    {
        System.Diagnostics.Debug.WriteLine("Motion Detected, Light On!");
        // Relais/Light On
        pinRelais.Write(GpioPinValue.Low);
    }
    else
    {
        System.Diagnostics.Debug.WriteLine("No Motion Detected, Light Off!");
        // Relais/Light Off
        pinRelais.Write(GpioPinValue.High);
    }
}
```

Figure 54 : Code C# pour envoyer un signal au Relai quand il y a mouvement

Portion de code C# pour le contrôle des deux servomoteurs

```
private void HorizAxis_ValueChanged(object sender, RangeBaseValueChangedEventArgs e)
{
    System.Diagnostics.Debug.WriteLine($"Horizontal Axis: {HorizAxis.Value.ToString()}");

    // Move Horizontal Servo
    TurnServoPin(0, (double)HorizAxis.Value);
}

private void VertAxis_ValueChanged(object sender, RangeBaseValueChangedEventArgs e)
{
    System.Diagnostics.Debug.WriteLine($"Vertical Axis: {VertAxis.Value.ToString()}");

    // Move Vertical Servo
    TurnServoPin(1, (double)VertAxis.Value);
}
```

Figure 55 : Code C# pour préparer les servomoteurs

```
private void TurnServoPin(int pinNumber, double angle)
{
    try
    {
        var ticks = Convert.ToUInt16(120 + (2.45 * angle));

        if (ticks > 606)
        {
            // Exception log
            System.Diagnostics.Debug.WriteLine($"ticks {ticks} greater than {602} aka 180 degrees");
        }
        else
        {
            // Log
            System.Diagnostics.Debug.WriteLine($"SetPin({pinNumber},{ticks},false) i.e. angle {angle}")

            // Move the Servo
            pca9685.SetPin(pinNumber, ticks, false);
        }
    }
    catch (Exception)
    {
        throw;
    }
}
```

Figure 56 : Code C# pour tourner le servomoteur par un angle

Portion de C# qui lit la charge de la batterie

```
public async void ReadAI()
{
    ADS1115 adc = new ADS1115(AddressSetting.GND, InputMultiplexeConfig.AIN0, PgaConfig.FS6144, DataRate.SPS860);
    await adc.InitializeAsync();

    while (true)
    {
        short raw = adc.ReadRaw();
        double vol = adc.RawToVoltage(raw);

        System.Diagnostics.Debug.WriteLine($"Raw Data : {raw} => {vol} V");

        await System.Threading.Tasks.Task.Delay(500);
    }
}
```

Figure 57 : Code C# pour lire la charge de la batterie

IV.3. Portion de codes près de simulateur

Pour faire un test de bon fonctionnement de l'application notamment dans la part de « Device au Cloud », on a développé un simulateur qui génère une valeur aléatoire de gradeur entre sa valeur Min et Max, ces derniers sont enregistrés dans un fichier de ressource dans l'application :

- Démarrage de simulateur

```
private void Button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SensorData.Items.Add(" " + DateTime.Now + " > ***** SIMULATOR STARTED ***");
    SensorData.Items.Add("");
    isStart = true;
    SendDeviceToCloudMessagesAsync();
}

private void Button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    isStart = false;
    SensorData.Items.Add("");
    SensorData.Items.Add(" " + DateTime.Now + " > ***** SIMULATOR STOPED ****");
}

private void Button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    SensorData.Items.Clear();
}
```

Figure 58 : Code C# pour démarrer/arrêter le simulateur

- Fichier ressources utilisé

Name	Value
ConnectionString	HostName=SmartCity-IoTHub.azure-devices.net;DeviceId=SmartCityRPi;SharedAccessKey=J3111E
minBatCharge	0
minHumidity	0
minPanelElevation	0
minPanelRotation	0
minPowerConsum	0
minTemperature	-10
minWindDirection	0
minWindSpeed	0
randBatCharge	5
randHumidity	80
randPanelElevation	90
randPanelRotation	180
randPowerConsum	120
randTemperature	55
randWindDirection	180
randWindSpeed	150
SendDataDelay	2000

Figure 59 : Fichier ressources utilisé par le simulateur

- Préparation de l'envoi des valeurs précédentes au Cloud (Iot Hub) en définissant le protocole choisi (MQTT).

```
public Simulator()
{
    InitializeComponent();

    try
    {
        // Connect to the IoT hub using the MQTT protocol
        simulatedDeviceClient = DeviceClient.CreateFromConnectionString(resources.GetString("ConnectionString"), TransportType.Mqtt);
    }
    catch (Exception)
    {
        System.Diagnostics.Debug.WriteLine("Error connecting to Azure IoT Hub");
    }
}
```

Figure 60 : Code C# pour paramétrer l'envoi du message au Cloud

- Génération des valeurs aléatoires

```
private void GenerateRandomValues()
{
    // Temperatur: Min -10°C + Rand 55°C
    double currentTemperature = minTemperature + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randTemperature"));
    // Humidity: Min 60% + Rand 20%
    double currentHumidity = minHumidity + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randHumidity"));
    // Battery charge: Min 0vs + Rand 5v
    double currentBatCharge = minBatCharge + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randBatCharge"));
    // Power Consumption: Min 0w/h + Rand 120w/h
    double currentPowerConsumption = minPowerConsumption + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randPowerConsumption"));
    // Elevation: Min 0° + Rand 90°
    double currentPanelElevation = minPanelElevation + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randPanelElevation"));
    // Rotation: Min 0° + Rand 180°
}
```

Figure 61 : Code C# pour générer aléatoire des valeurs

Création du fichier JSON à partir des valeurs générées :

```
// Wind Direction: Min 0° + Rand 180°
double currentWindDirection = minWindDirection + rand.NextDouble() * Convert.ToDouble(resources.GetString("randWindDirection"));

// Create JSON message
var telemetryDataPoint = new TelemetryDataPoint()
{
    temperature = currentTemperature,
    humidity = currentHumidity,
    batchcharge = currentBatCharge,
    powerconsumption = currentPowerConsumption,
    panelelevation = Math.Round(currentPanelElevation),
    panelrotation = Math.Round(currentPanelRotation),
    windspeed = Math.Round(currentWindSpeed),
    winddirection = Math.Round(currentWindDirection),
};

var jsonString = JsonConvert.SerializeObject(telemetryDataPoint);
simulatedDeviceClient.SendAsync(jsonString, DateTime.UtcNow);
```

Figure 62 : Code C# pour générer un fichier JSON

Envoie le fichier JSON au Cloud

```
var messageString = JsonConvert.SerializeObject(telemetryDataPoint);
var message = new Microsoft.Azure.Devices.Client.Message(Encoding.ASCII.GetBytes(messageString));
// Send the telemetry message
await simulatedDeviceClient.SendEventAsync(message);
// Debug
```

Figure 63 : Code C# pour envoyer le fichier JSON au Cloud

IV.4. Quelques interfaces pour les différentes applications du système

Dans ce qui suit une série des copies écran des différentes applications contribuant au bon fonctionnement du système.

- **Le simulateur**

Les données générées sont affichées dans la fenêtre suivante.

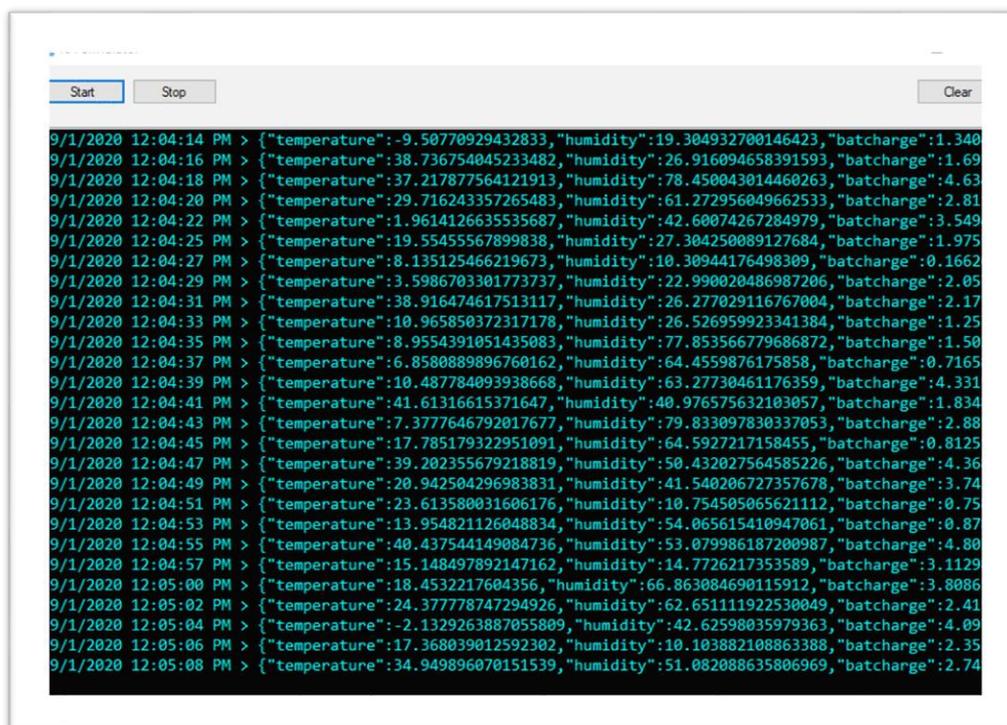


Figure 64 : Ecran « simulateur dans l'état lancé »

- **La plateforme Microsoft Azure Cloud**

Dans la partie qui suit, un ensemble des figures correspondent aux interfaces des services Cloud y compris la page d'accueil du Microsoft Azure :

Page d'accueil : affiche les services les plus recommandés et une liste des ressources récemment utilisées.

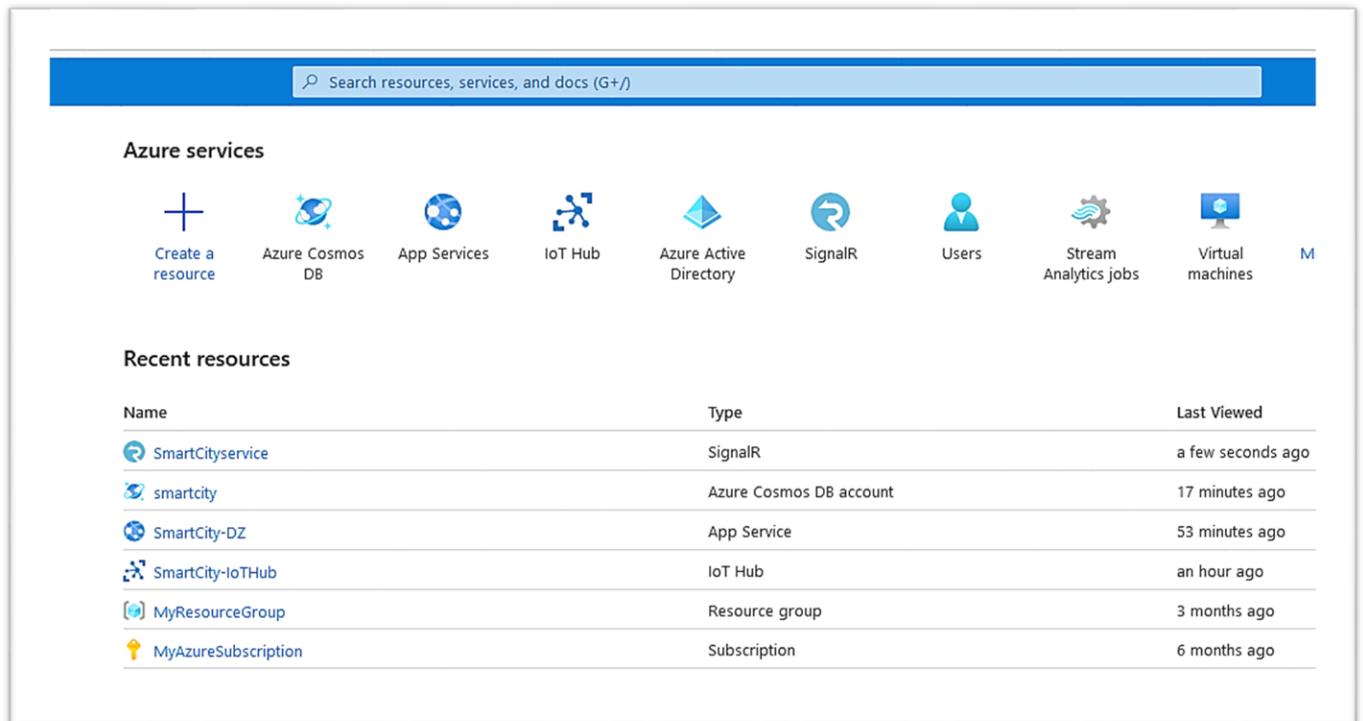


Figure 65 : Ecran d'accueil de Microsoft Azure Cloud

Service d'Active Directory : pour la gestion d'identité, des groupes, des user, ...etc.

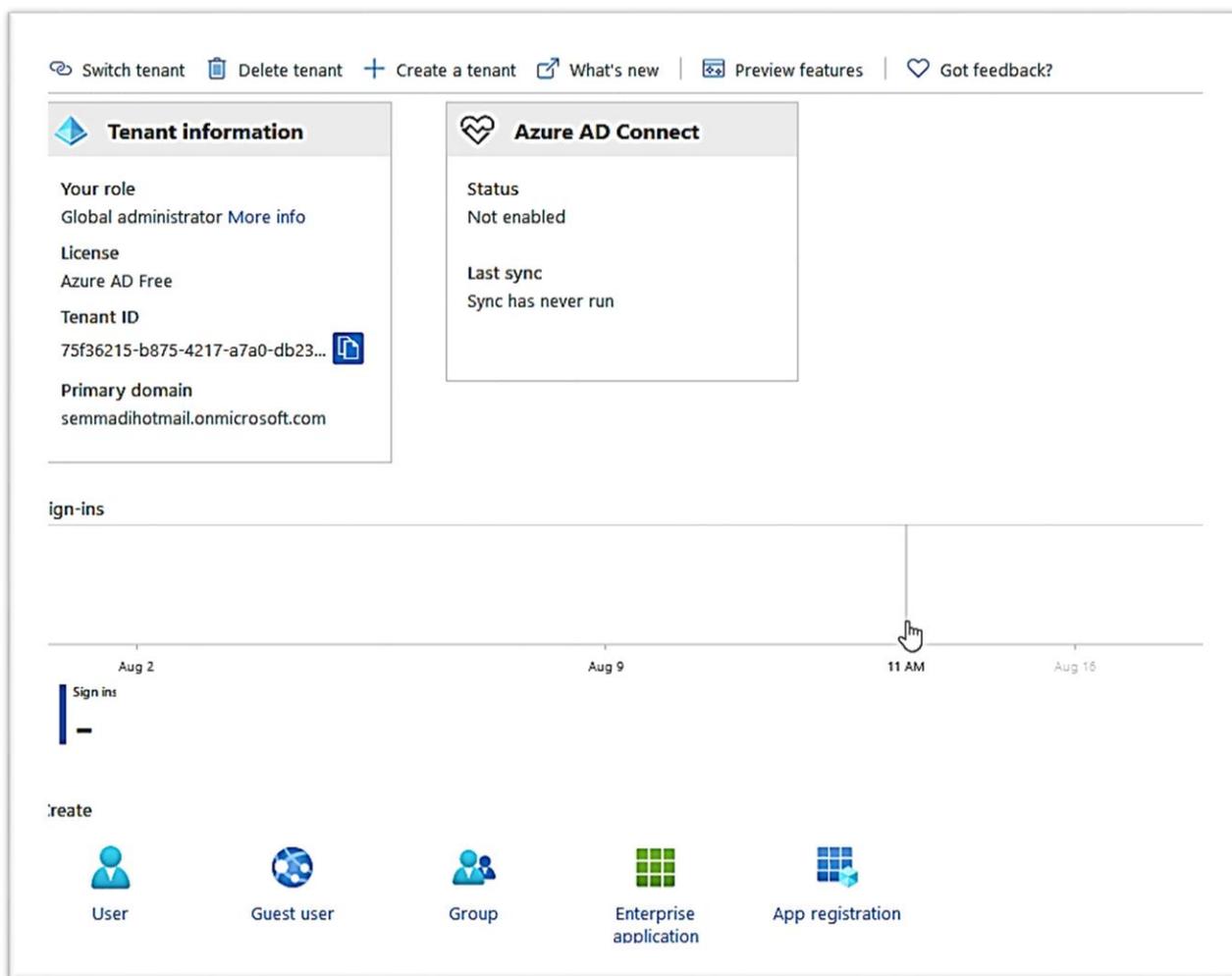


Figure 66 : Ecran : « Microsoft Azure Active Directory »

Création d'un nouvel utilisateur

New user
standardverzeichnis

♥ Got feedback?

Create user

Create a new user in your organization. This user will have a user name like `alice@semmadihotmail.onmicrosoft.com`.
[I want to create users in bulk](#)

Invite user

Invite a new guest user to collaborate with your organization. The user will be emailed an invitation they can accept in order to begin collaborating.
[I want to invite guest users in bulk](#)

[help me decide](#)

identity

user name * ⓘ ✓ @
The domain name I need isn't shown here

name * ⓘ ✓

first name

last name

password

Auto-generate password
 Let me create the password

initial password

Show Password

Figure 67 : Ecran : « Création d'un nouvel utilisateur »

Liste des utilisateurs

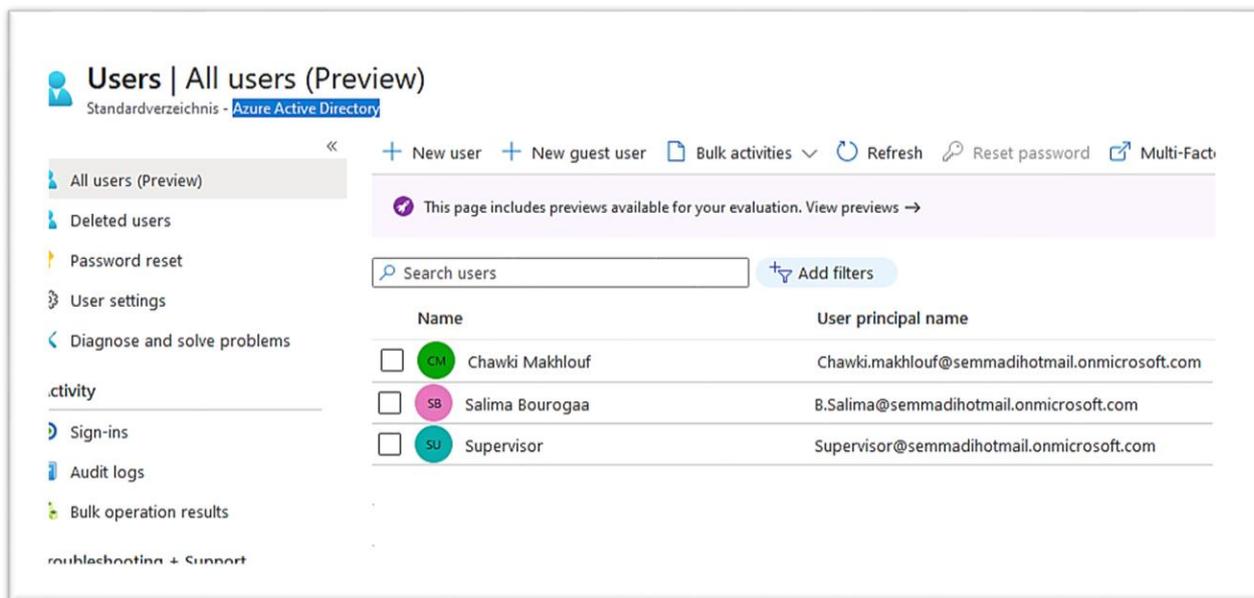


Figure 68 : Ecran : « Liste des utilisateurs »

Service Azure IoT Hub : pour la gestion de l'objet connecté de l'application

Création du service pour l'application : la valeur du champ Subscription regorge toutes les informations liées aux paramètres d'enregistrement du propriétaire de compte.

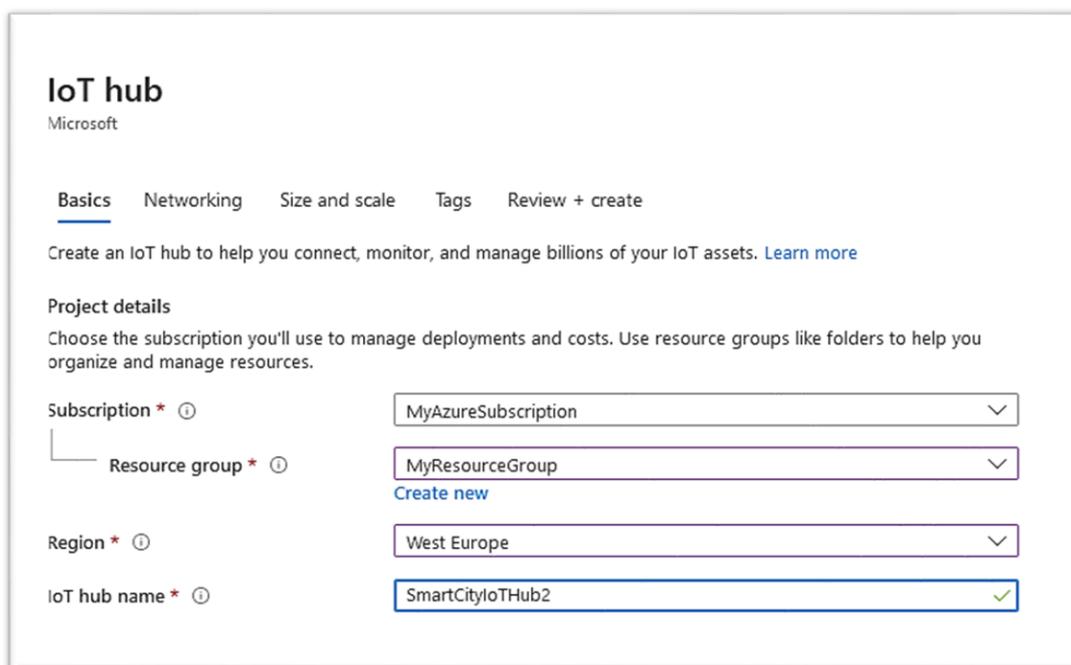
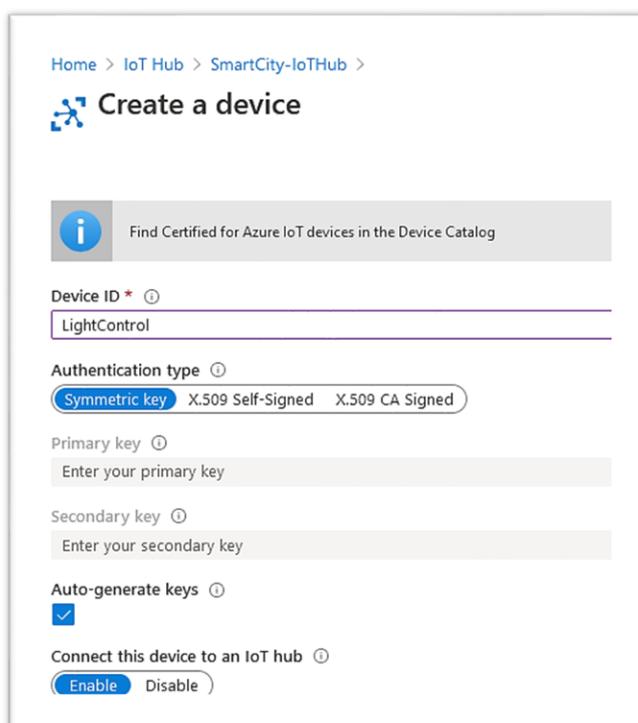


Figure 69 : Ecran : « Création du service IoT Hub »

Ajouter un appareil dans IoT Hub

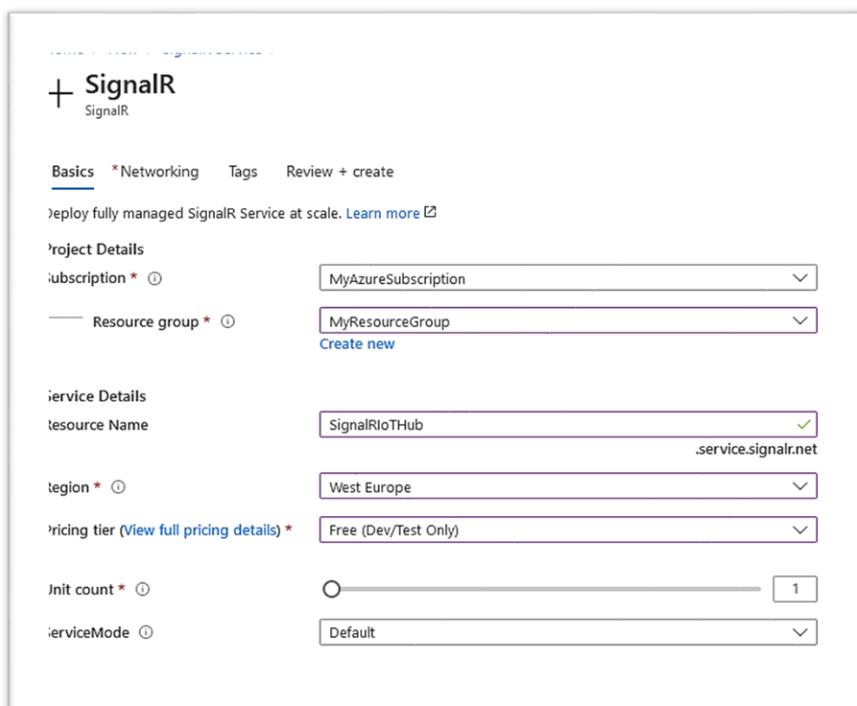


The screenshot shows the 'Create a device' page in the Azure IoT Hub portal. The breadcrumb navigation is 'Home > IoT Hub > SmartCity-IoTHub >'. The page title is 'Create a device'. Below the title, there is a grey box with an information icon and the text 'Find Certified for Azure IoT devices in the Device Catalog'. The form contains the following fields and options:

- Device ID ***: A text input field containing 'LightControl'.
- Authentication type**: Three radio buttons: 'Symmetric key' (selected), 'X.509 Self-Signed', and 'X.509 CA Signed'.
- Primary key**: A text input field with the placeholder 'Enter your primary key'.
- Secondary key**: A text input field with the placeholder 'Enter your secondary key'.
- Auto-generate keys**: A checked checkbox.
- Connect this device to an IoT hub**: Two radio buttons: 'Enable' (selected) and 'Disable'.

Figure 70 : Ecran : « Ajout d'un Device à IoTHub »

Service Azure Signal R : pour ajouter les fonctionnalités en temps réel au site Web



The screenshot shows the 'Add SignalR' page in the Azure portal. The page title is '+ SignalR' with the SignalR logo. Below the title, there are tabs for 'Basics', '*Networking', 'Tags', and 'Review + create'. The 'Basics' tab is selected. The page contains the following fields and options:

- Project Details**
 - Subscription ***: A dropdown menu with 'MyAzureSubscription' selected.
 - Resource group ***: A dropdown menu with 'MyResourceGroup' selected. Below it is a 'Create new' link.
- Service Details**
 - Resource Name**: A text input field containing 'SignalRIoTHub'. To the right, there is a '.service.signalr.net' suffix and a checkmark.
 - Region ***: A dropdown menu with 'West Europe' selected.
 - Pricing tier (View full pricing details) ***: A dropdown menu with 'Free (Dev/Test Only)' selected.
 - Unit count ***: A slider control with a value of '1'.
 - Service Mode**: A dropdown menu with 'Default' selected.

Figure 71 : « Ecran : Ajout d'un service Signal R »

Service Azure Cosmos DB : pour le stockage des messages transmis par l'objet connecté et la gestion des données

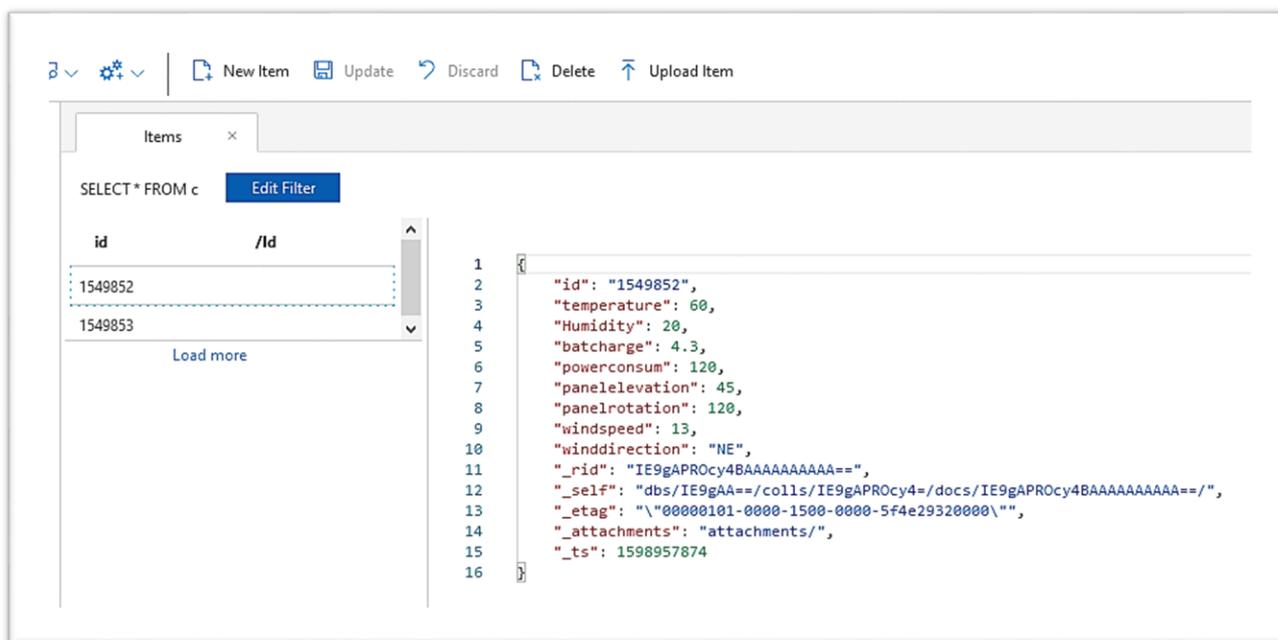


Figure 72 : Ecran : « Service Cosmos DB »

IV.5. La solution proposée VS Les autres

En comparant la technique utilisée dans notre solution avec les autres utilisées dans les projets cités auparavant (voir page 62), on peut dire que la solution porte plus d'avantage sur les volets qu'on les trouve essentiels :

- **Volet suivie du soleil**

La technique de suivi de la solution dépend des données provenant des 04 capteurs de luminosité au lieu de 02 dans certaine solution, cette technique donne des degrés de précision mieux que les calculs astronomiques qui peuvent tomber dans l'erreur, la technique astronomique déployée dans quelques projets utilisent des paramètres introduits manuellement. La technique choisie est mieux aussi que d'autre qui est basée sur le phénomène de l'expansion de la matière, parce que cette matière doit être toujours disponible sur le marché et dans un état non expiré, elle est sensible aussi au climat.

- **Volet stockage de l'énergie**

La solution prend en charge l'excès de la production de l'énergie électrique, et elle est bénéfique tant qu'elle transmet cette énergie au réseaux public.

- **Volet Manipulation des données**

En la comparant avec celles qui prennent en charge la manipulation des données interceptées via des réseaux de communications, la solution proposée héberge les données dans la plateforme Cloud, et bonifie de tous ses services qui rends la solution plus performante et contrôlable à distance.

- **Volet circuit utilisé**

La solution proposée utilise la carte Raspberry Pi, elle est mieux que les solutions (presque tous) qui utilisent un circuit discret, l'inconvénient de ce type de circuits réside à son dépannage, et il n'est pas extensible, le concepteur doit penser à l'architecture dès le début avant de rassembler sa carte. Cette carte manque toujours de l'intelligence, elle n'est pas conçue pour exécuter des programmes pour son fonctionnement.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a mis en évidence les détails relatifs à la conception du projet dont on a essayé de présenter les grandes parties essentielles pour l'implémentation avec un maximum de ressources et concepts liés au développement.

Il est maintenant le temps de mettre sous tension notre système, et examiner séparément tous ces processus commençant par le lancement du simulateur jusqu'à visualisation des états de sortie.

CHAPITRE 3

Résultat et perspective

Introduction

Après avoir éclairé d'une façon détaillée la conception de la solution proposée dans l'objectif de maximiser l'exploitation de l'énergie renouvelable (solaire dans notre cas) afin d'éclairer intelligemment les espaces publics en utilisant les techniques développées dans le domaine d'IoT.

On a essayé de réaliser un prototype de la solution qui consiste à suivre le soleil durant son parcours utilisant un suiveur solaire à double axes et en boucle fermée basé sur des capteurs et une carte nano-ordinateur (Raspberry Pi).

Et comme la réalisation du prototype a été synchronisé avec l'apparence de la pandémie 2020, on n'a pas pu collecter tous le matériel constituant l'objet connecté. Pour cela on a procédé à développer un simulateur qui remplacent le comportement de l'objet connecté.

I. Démarrage du simulateur

Après le démarrage du simulateur et après la génération des valeurs présentant l'environnement, le simulateur les affiche dans une fenêtre présentée par la figure suivante et les envoie au Cloud.

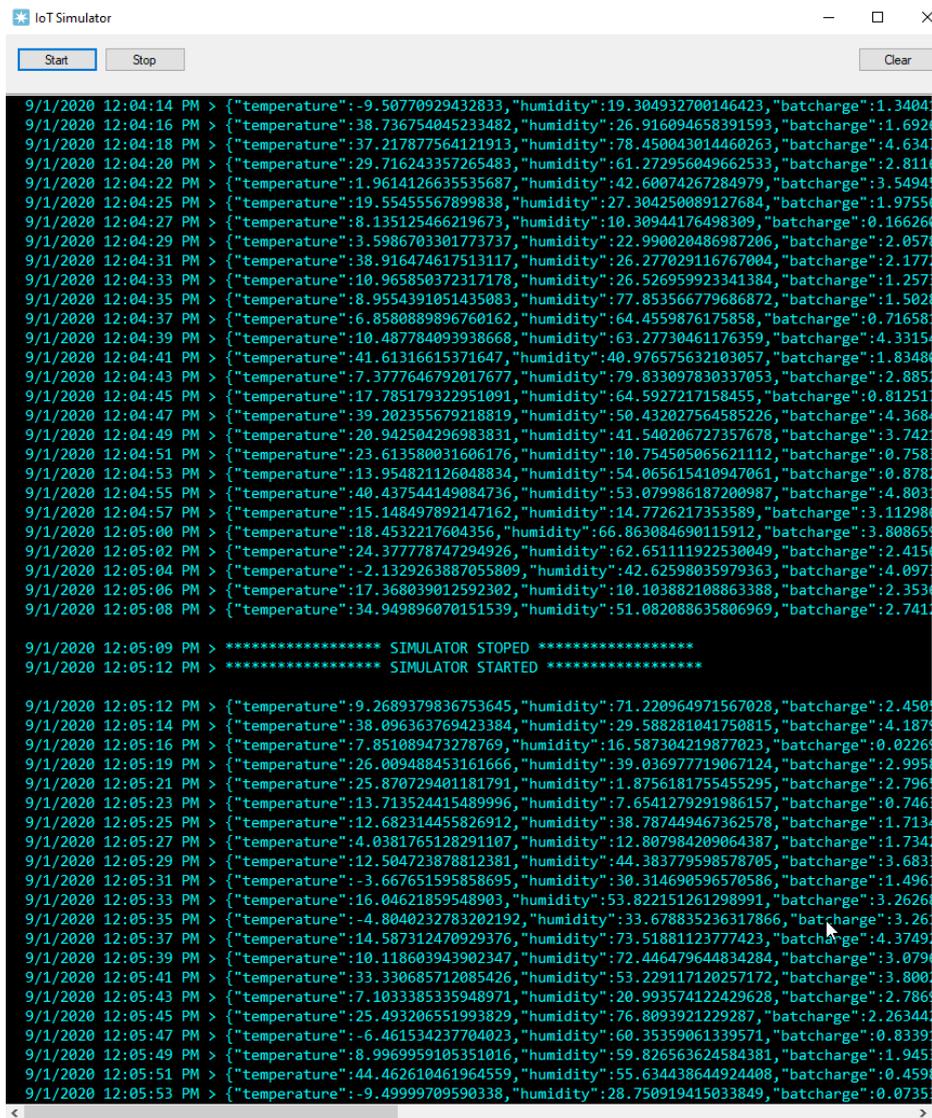


Figure 73 : Ecran : « Lancement du simulateur »

II. Montant au Cloud

Dans le cloud, et allant au service IoT Hub, ce dernier affiche la quantité de messages reçu par le Device tout en affichant son état. L'écran suivant l'illustre :

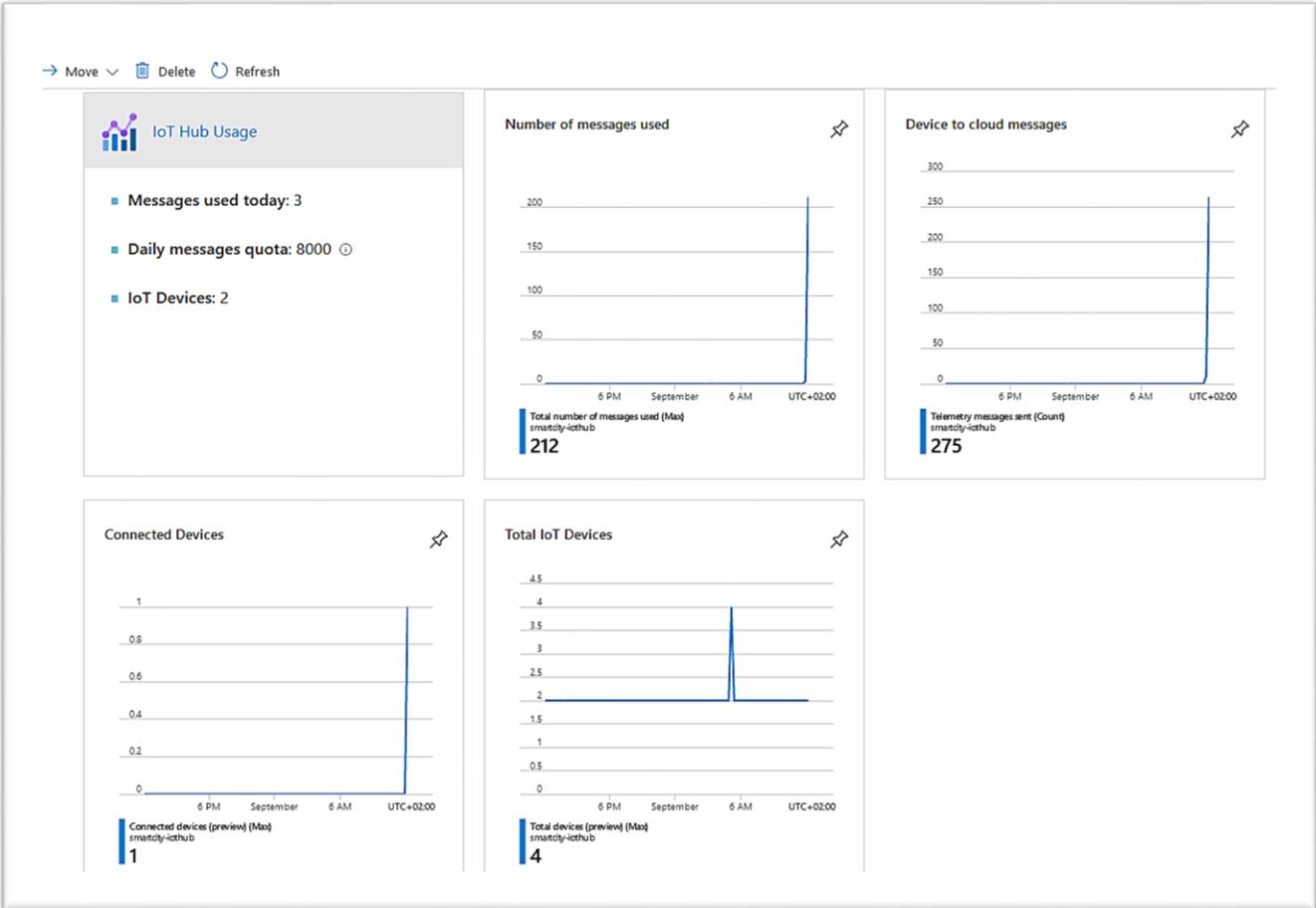
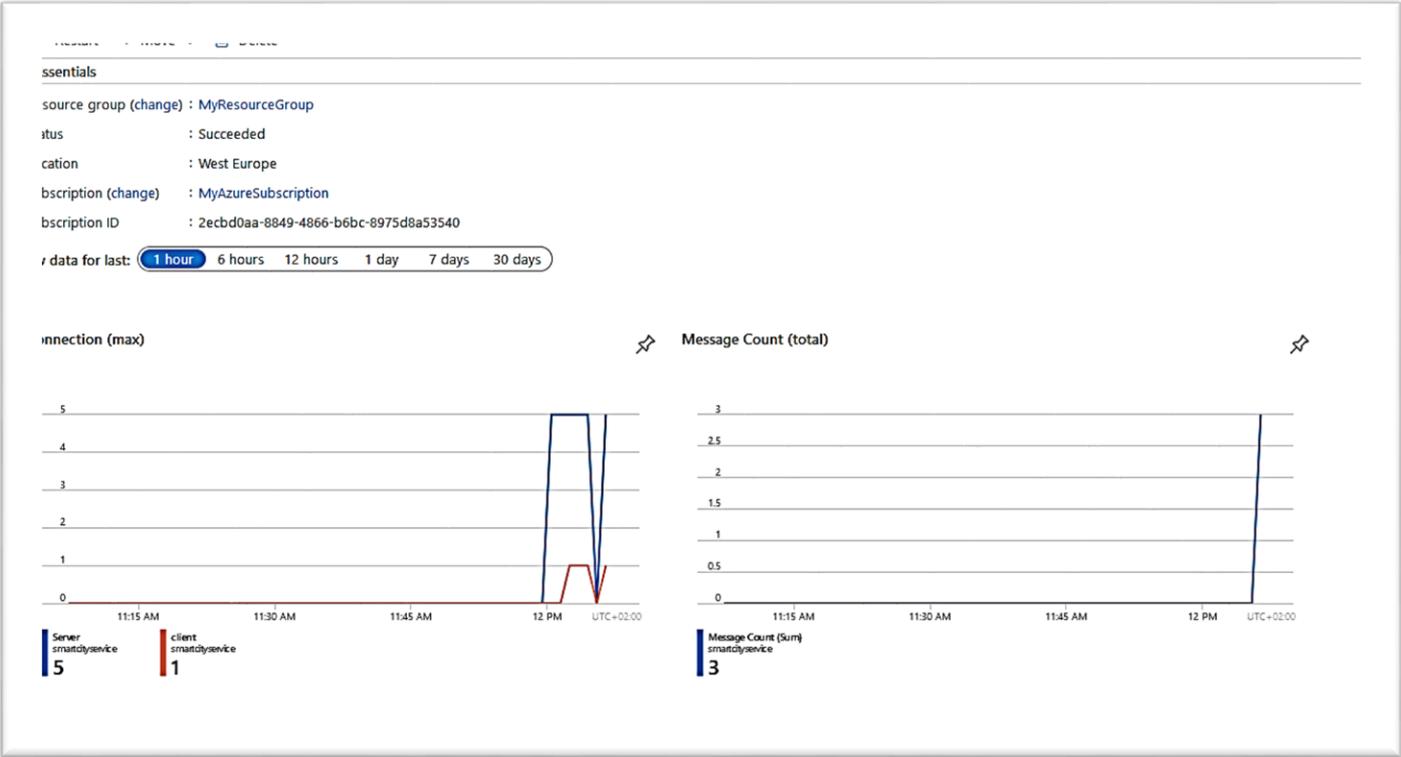


Figure 74 : Ecran : « Surveillance des messages par IoT Hub »

Le service Signal R intervient pour l'envoi des messages au site Web, il affiche des



statistiques relatives :

Figure 75 : Ecran : « Surveillance des messages par Signal R »

Du côté serveur de l'application, le service Azure App Services affiche pour l'administrateur des statistiques relatives à la quantité de Data en navette.

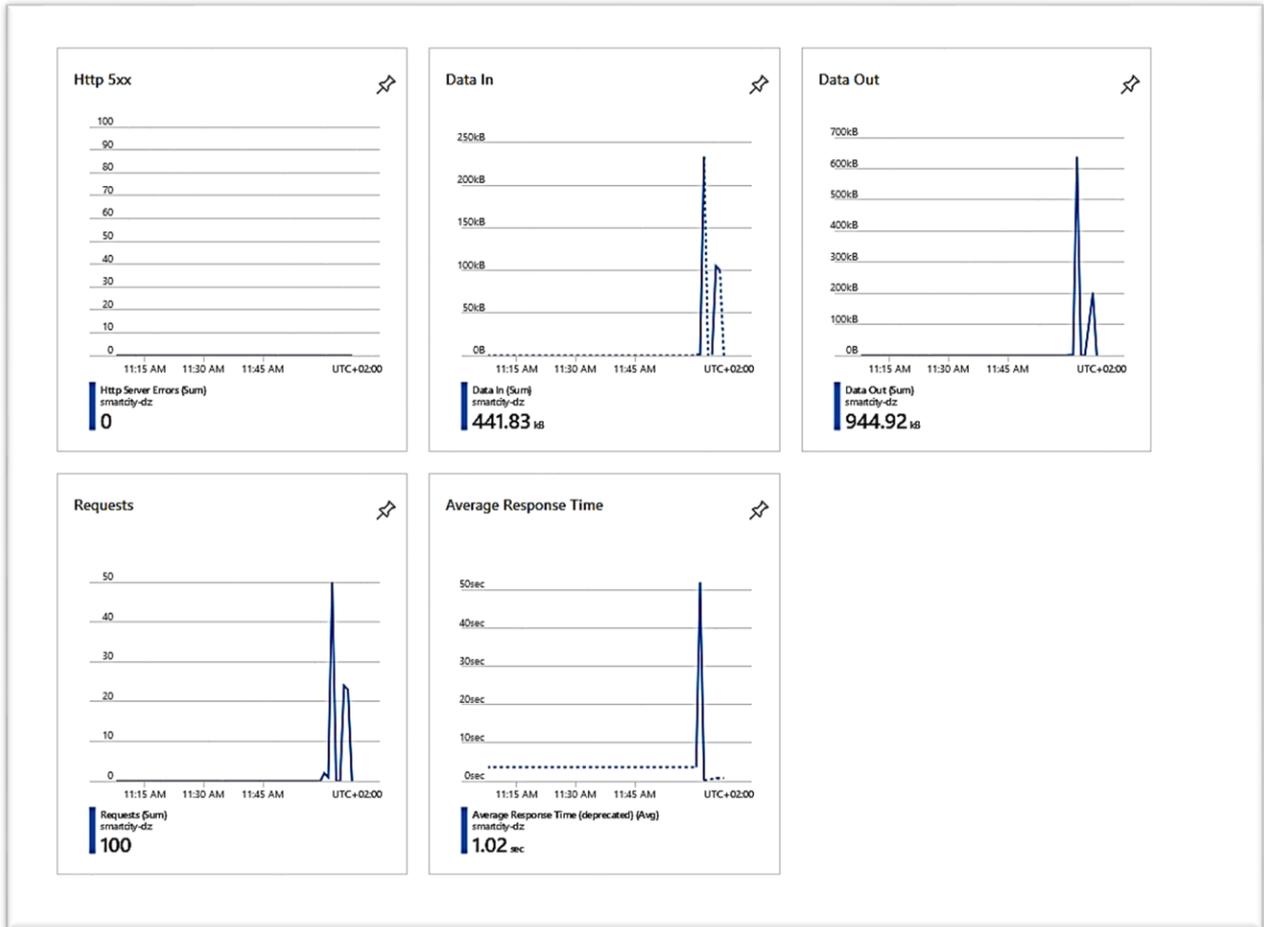


Figure 76 : Ecran : « Surveillance du trafic par App Services »

III. Descendant du Cloud

Du côté client, une présentation graphique est affichée dans un site Web d'un comportement responsif.

Après avoir introduire l'Url : <https://www.smartcity-dz.azurewebsites.net>, et taper les informations d'authentification, un écran s'affiche présente les valeurs de l'environnement envoyé par le simulateur qui est distant.

Les valeurs de la charge consommée



Figure 77 : Ecran : « Charge consommée »

Les valeurs de la température et l'humidité

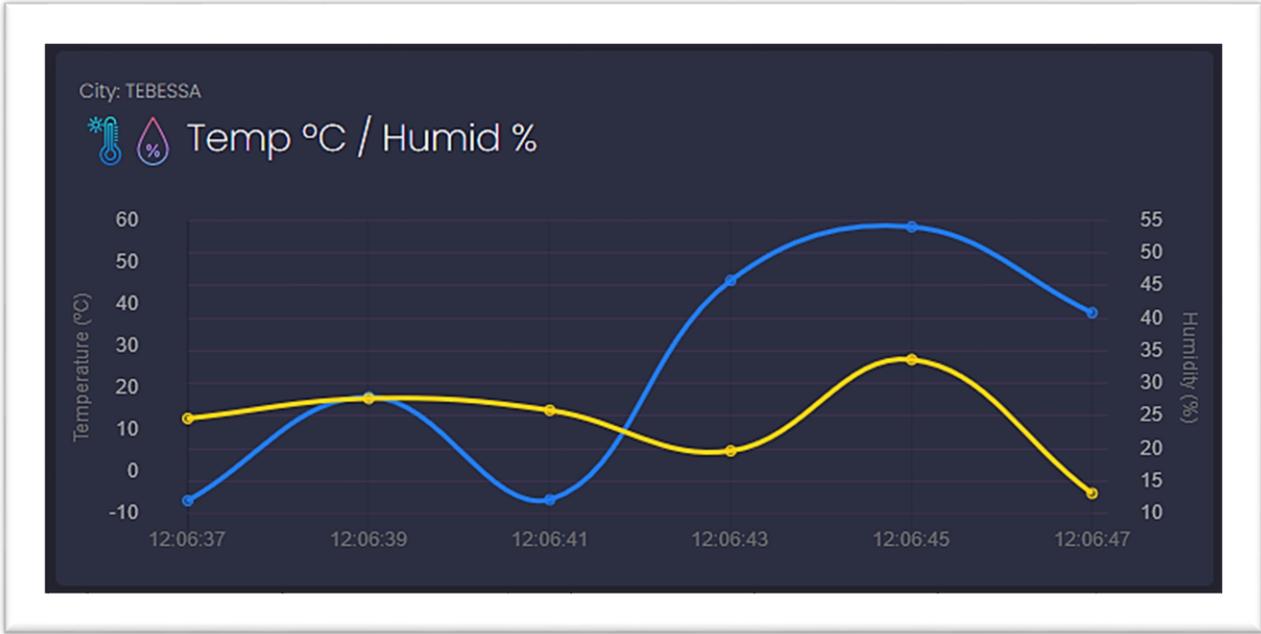


Figure 78 : Ecran : « Graphique pour Temp/Humid »

La charge de la batterie

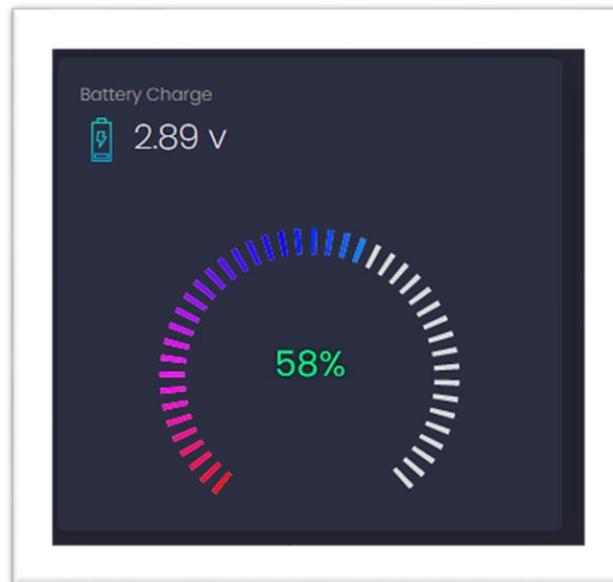


Figure 79 : Ecran : « Graphique pour la charge de la batterie »

Les degrés d'élévation et rotation du panneau

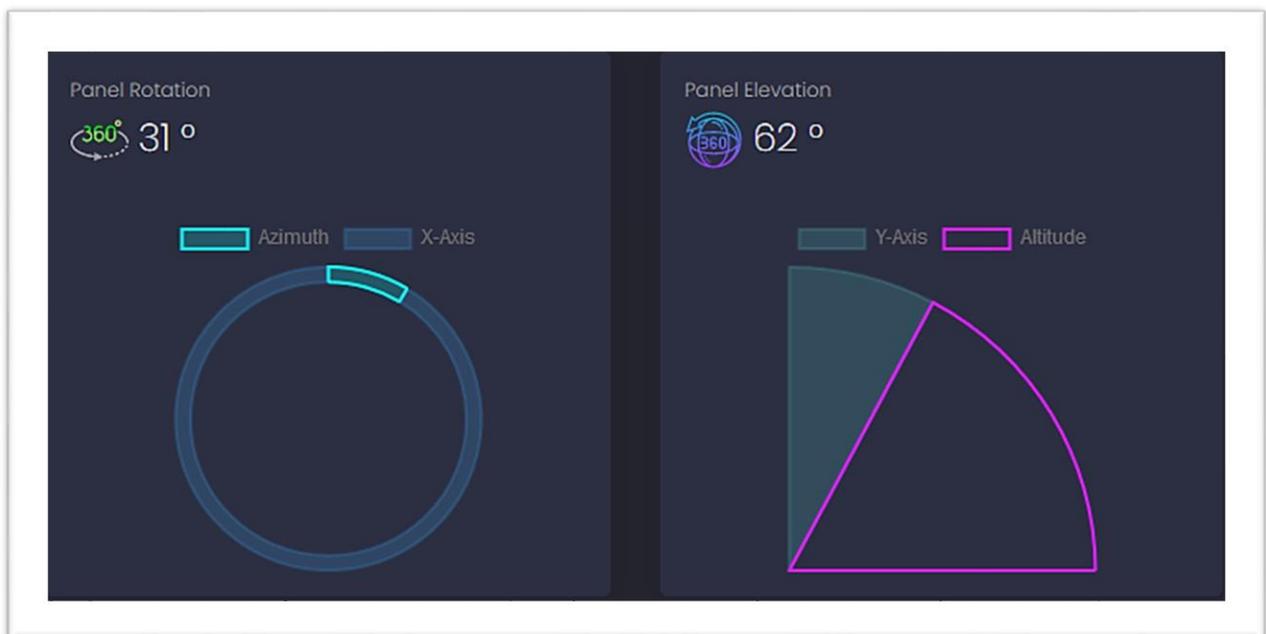


Figure 80 : Ecran : « Graphique pour Elévation/Rotation de la plaque »

La valeur de la vitesse et la direction (flèche verte) du vent



Figure 81 : Ecran : « Graphique pour la vitesse du vent »

Le site Web affiche aussi des alertes :

The screenshot shows a dark-themed interface with the title 'ALERTS' and a bell icon. Below the title is a table with two columns: 'DESCRIPTION' and 'TIME STAMP'. The table lists several alerts related to low humidity, low temperature, and low battery levels.

DESCRIPTION	TIME STAMP
Low Humidity 9.89 % Detected low humidity	01 Sep, 12:06:26
Low Humidity 0.97 % Detected low humidity	01 Sep, 12:06:22
Low Temperature -3.82 °C Detected low temperature. Please check the Solar Panels surfaces and clean it	01 Sep, 12:06:22
Low Battery Level 0.53 v Detected low battery charge. Please check the battery or provide a replacement	01 Sep, 12:06:18
Low Battery Level 0.26 v Detected low battery charge. Please check the battery or provide a replacement	01 Sep, 12:06:16
Low Temperature -9.81 °C Detected low temperature. Please check the Solar Panels surfaces and clean it	01 Sep, 12:06:12

Figure 82 : Ecran : Liste des alertes

Si on ouvre le site Web sur un smartphone, il apparaîtra comme ceci :

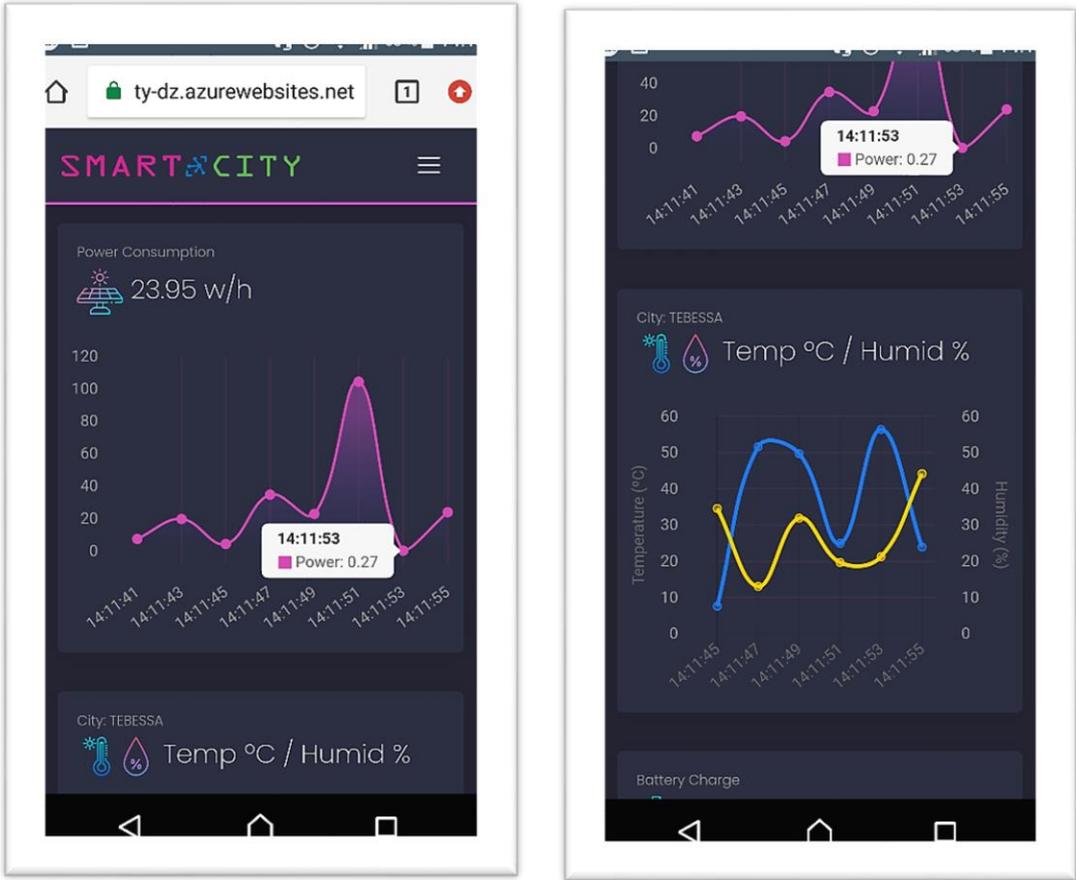


Figure 83 : Ecran 1 : « Affichage du site Web sur un smartphone »

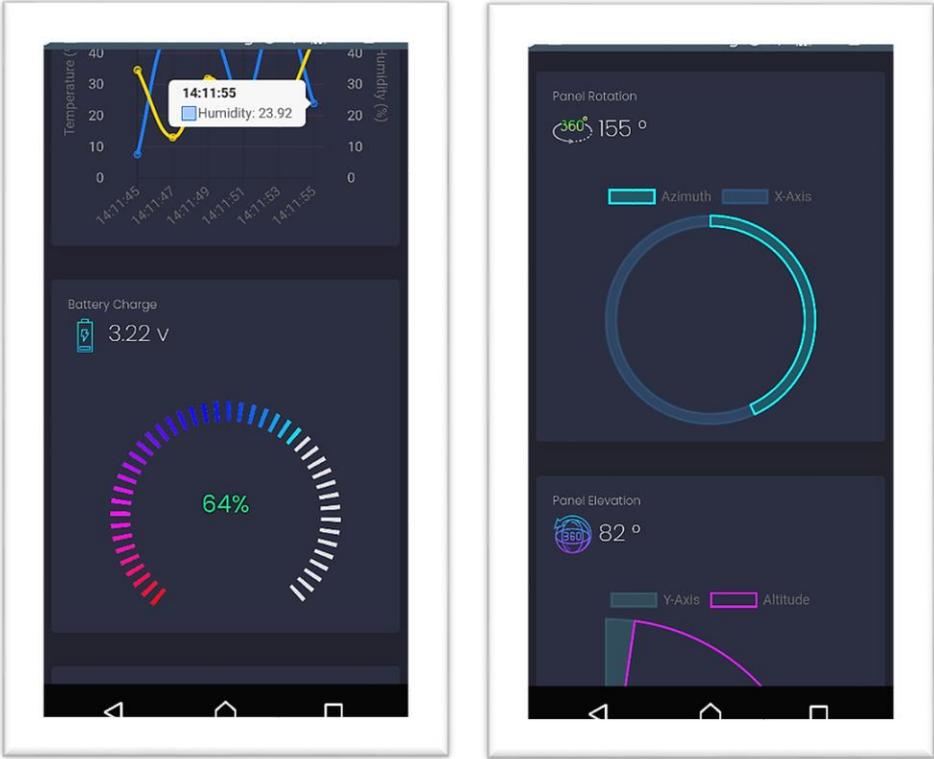


Figure 84 : Ecran 2 : « Affichage du site Web sur un smartphone »

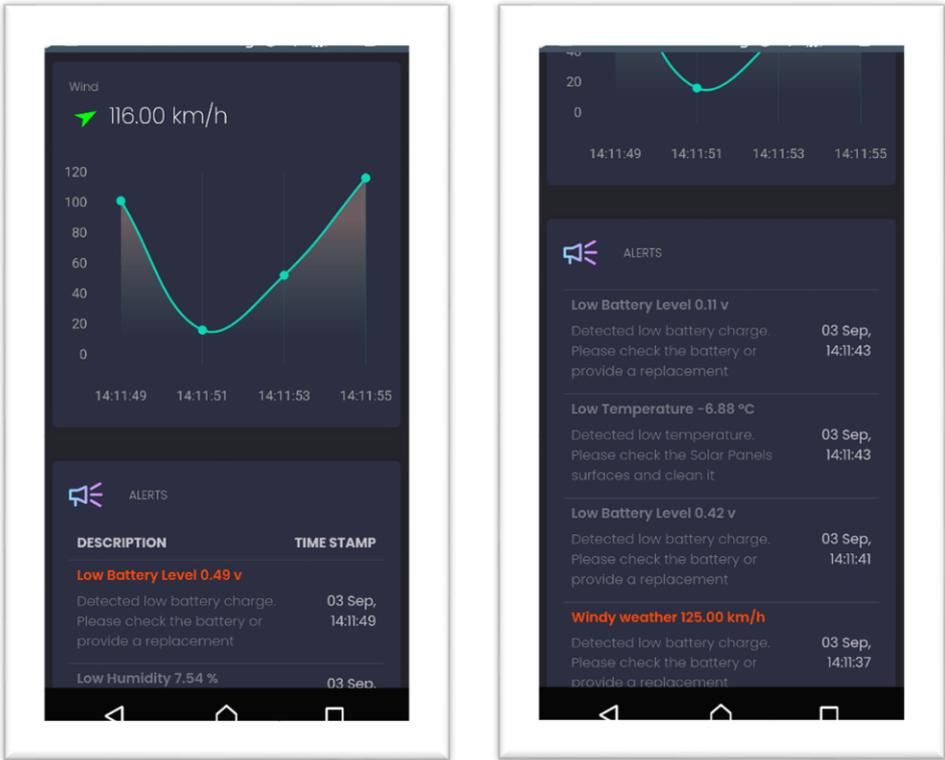


Figure 85 : Ecran 3 : « Affichage du site Web sur un smartphone »

Perspectives

Avant de mettre fin à ce mémoire, il est nécessaire de penser à d'autres fonctionnalités améliorées pour les déployer dans la solution afin de répondre aux exigences les plus pertinentes du grand public ainsi que les institutions, et aussi pour tirer beaucoup d'avantage et bénéfice.

L'idée générale, est d'ajouter à la solution les fonctionnalités permettant de :

Mettre en réseau tous les appareils installés dans les jardins afin de partager les informations relatives à leurs environnements, et cela en profitant pleinement des services et des mises à jour de la plateforme Microsoft Azure Cloud, cette fonctionnalité permet d'avoir une idée sure :

- Les sites qui sont défaillants et qui ont besoin d'intervention immédiate.
- Dépanner sur demande ou d'une façon automatique les autres sites demandeurs de l'énergie électrique produite.

Rendre le système capable de surveiller la foule et calculer le taux de fréquentation pour chaque site afin de prendre des décisions opportunes.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

La grande importance de l'exploitation des énergies renouvelables a ouvert une course rapide à de nombreuses institutions et particuliers pour développer des projets visant à se libérer de tout usage de l'énergie épuisante. Ces projets ont donné une priorité particulière à la préservation de l'environnement ainsi qu'à la réduction des charges et des dépenses énormes afin de parvenir au progrès et à la prospérité.

Dans ce contexte, la progression remarquable de la technologie d'information a injecté dans le marché des multitudes techniques et approches contribuant à développer des systèmes permettant de maximiser la récolte du rayonnement solaire produisant de l'énergie, et cela, en suivant le soleil tout au long de son parcours.

Dans ce mémoire, on a proposé un système pour le même objectif, on a utilisé pour son fonctionnement les techniques proposées par l'IoT et déployées dans le domaine des villes intelligentes. On a fait aussi recours à certains nombres d'outils pour développer toutes ses interactions avec l'environnement, ainsi qu'avec la plateforme Cloud pour des bénéfiques fonctionnalités.

Le système n'a pas oublié de garantir l'éclairage intelligent des espaces verts, l'idée consiste à exploiter l'énergie produite pour l'alimentation de l'éclairage d'une façon intelligente basée sur la luminosité du site et les mouvements détectés. Il a pris en charge aussi le stockage de l'énergie et même son excès.

Le système a pris contact avec ses utilisateurs et même avec la tutelle pour fournir des interfaces graphiques présentant des informations précieuses qui aident à prendre des décisions ou des interventions.

Durant sa réalisation, on a frappé la porte du marché des composants électroniques constituant notre objet connecté, on a pu les rassembler dans un prototype et les programmer avec des outils plus développés.

Enfin, et avant de conclure le mémoire, on a pensé à d'autres fonctionnalités qu'on puisse les développer dans le système, on a laissé ça pour d'autre personne voulant se développer dans le domaine de l'IoT.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] [En ligne]. Available: <https://www.digora.com/fr/blog/definition-iot-et-strategie-iot>. [Accès le 15 06 2020].
- [2] I. Saleh, «Internet des Objets (IdO) : Concepts, Enjeux, Défis et Perspective,» *Research Gate*, p. 4, février 2018.
- [3] «www.digora.com,» 01 2017. [En ligne]. Available: https://www.digora.com/fr/download/5672/digora-internet-des-objets-final_0.pdf. [Accès le 15 06 2020].
- [4] «accueil-thematique,» [En ligne]. Available: <http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Pages/secteurs-applicatifs/iot/accueil-thematique.aspx>. [Accès le 26 06 2020].
- [5] «11 protocoles à connaître pour l'Internet des objets (IoT),» 20 04 2015. [En ligne]. Available: <https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about-fr>. [Accès le 11 05 2020].
- [6] [En ligne]. Available: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=objets-connectes-technologies>. [Accès le 12 05 2020].
- [7] «IoT cellulaire,» [En ligne]. Available: <https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/iot-cellulaire>. [Accès le 11 05 2020].
- [8] Microsoft, «Technologies et protocoles IoT,» [En ligne]. Available: <https://azure.microsoft.com/fr-fr/overview/internet-of-things-iot/iot-technology-protocols/>. [Accès le 02 06 2020].
- [9] «Protocole MQTT,» [En ligne]. Available: https://iot.goffinet.org/iot_protocole_mqtt.html. [Accès le 03 05 2020].
- [10] [En ligne]. Available: <https://www.cadlog.fr/2017/11/23/introduction-aux-protocoles-pour-lidoi-ido-industriel/>. [Accès le 22 06 2020].
- [11] «plateforme-iot-comment-choisir,» [En ligne]. Available: <https://www.digora.com/fr/blog/plateforme-iot-comment-choisir>. [Accès le 15 06 2020].
- [12] «VT2016_IoT_cloud_platforms,» [En ligne]. Available:

- https://air.imag.fr/index.php/VT2016_IoT_cloud_platforms. [Accès le 30 05 2020].
- [13] [En ligne]. Available: <https://www.elle.fr/Deco/Pratique/Amenagement/Domotique-maison>. [Accès le 19 05 2020].
- [14] «MicrocontrôleurWhat,» [En ligne]. Available: <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/robotique/chapitres/MicrocontrôleurWhat.htm>. [Accès le 21 05 2020].
- [15] [En ligne]. Available: <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>. [Accès le 15 06 2020].
- [16] «Raspberry_Pi,» [En ligne]. Available: <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-uno-12420.htm>. [Accès le 21 06 2020].
- [17] «comparaison-arduino-raspberry-pi_23,» [En ligne]. Available: http://rasberryaumaoc.blogspot.com/2014/06/comparaison-arduino-raspberry-pi_23.html. [Accès le 21 06 2020].
- [18] «Breadboard,» [En ligne]. Available: <http://www.zpag.net/Electroniques/Breadboard/Breadboard.htm>. [Accès le 29 06 2020].
- [19] [En ligne]. Available: <https://www.velleman.eu/products/view/?id=437412>. [Accès le 29 06 2020].
- [20] [En ligne]. Available: <https://shop.mchobby.be/fr/shields-arduino/40-shield-lcd-rgb-2-pins-affichage-negative-3232100000407-adafruit.html>. [Accès le 29 06 2020].
- [21] [En ligne]. Available: <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/maths/astuce/tous-niveaux-7/tpe-2010-physique.html>. [Accès le 29 06 2020].
- [22] [En ligne]. Available: <http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs1/index.html?Introduction.html>. [Accès le 06 05 2020].
- [23] «Capteur#Type_de_sortie,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur#Type_de_sortie. [Accès le 28 06 2020].
- [24] «Actionneur,» [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Actionneur>. [Accès le 22 05 2020].

- [25] [En ligne]. Available: https://fr.banggood.com/3pcs-1-Channel-12V-Relay-Module-with-Optocoupler-Isolation-Relay-High-Level-Trigger-p-1444332.html?cur_warehouse=CN. [Accès le 19 05 2020].
- [26] [En ligne]. Available: <https://www.lesnumeriques.com/objet-connecte/objets-connectes-tests-inclassables-a1979.html>. [Accès le 21 05 2020].
- [27] [En ligne]. Available: <https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/8-defis-a-relever-en-matiere-dinternet-des-objets-en-2018-et-dans-le-futur-130050>. [Accès le 25 05 2020].
- [28] «smartcities,» [En ligne]. Available: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=smartcities>. [Accès le 29 06 2020].
- [29] S. B. e. J. Diaz, «LA VILLE INTELLIGENTE Origine, définitions, forces et limites d'une expression polysémique,» ISBN, Montréal (Québec), janvier 2017.
- [30] B. Souofiène, Mémoire fin d'étude : Conception et Réalisation d'un système d'IoT pour l'économie de l'eau dans le cadre d'une cité intelligente. Etude de cas : Arrosage automatique des espaces verts, Oum El Bouaghi, juin 2018.
- [31] M. BRIL, 01 12 2018. [En ligne]. Available: <https://sms.hypotheses.org/8615>. [Accès le 25 06 2020].
- [32] «smart-city,» [En ligne]. Available: <https://www.cnil.fr/fr/definition/smart-city>. [Accès le 15 05 2020].
- [33] «Les Smart cities,» [En ligne]. Available: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=smartcities&action=imprimer>. [Accès le 24 06 2020].
- [34] [En ligne]. Available: <https://medium.com/iomob/blockchain-cities-and-the-smart-cities-wheel-9f65c2f32c36>. [Accès le 23 06 2020].
- [35] H. Lardier, «À quoi ressemble une ville « intelligente » ?,» 27 01 2020. [En ligne]. Available: <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/tendances/territoires/a-quoi-ressemble-une-ville-intelligente/>. [Accès le 29 06 2020].
- [36] L. M. d. I. C. CulturElle, «Le Top 10 des « smart cities »,» 21 07 2015. [En ligne]. Available: <https://www.leparisien.fr/international/le-top-10-des-smart-cities-21-07->

- 2015-4922951.php. [Accès le 28 06 2020].
- [37] «Énergies renouvelables : définition, exemples, avantages et limites,» 21 11 2019. [En ligne]. Available: <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>. [Accès le 22 07 2020].
- [38] «Quels sont les cinq types d'énergies renouvelables ?,» 27 06 2020. [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-sont-cinq-types-energies-renouvelables-4134/>. [Accès le 21 07 2020].
- [39] [En ligne]. Available: <https://www.linternaute.com/science/environnement/1148106-les-10-plus-gros-projets-d-energie-100-naturelle/1148113-station-photovoltaique>. [Accès le 15 07 2020].
- [40] 13 09 2018. [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Ferme_solaire_Topaz. [Accès le 14 07 2020].
- [41] «Projet d'énergie solaire Crescent Dunes,» [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Crescent_Dunes_Solar_Energy_Project. [Accès le 14 07 2020].
- [42] C. Chazal, «Pendant ses 12 premiers mois, la plus haute éolienne du monde a produit 9 GWh,» 01 08 2017. [En ligne]. Available: <https://www.greenunivers.com/2017/08/pendant-12-premiers-mois-plus-haute-eolienne-monde-a-produit-9-gwh-166446/>. [Accès le 11 08 2020].
- [43] P. KONDILY, «Le plus grand parc éolien offshore du monde a été approuvé au Royaume-Uni,» 26 08 2016. [En ligne]. Available: <http://blog.bio-ressources.com/2016/08/26/plus-grand-parc-eolien-offshore-monde-a-ete-approuve-royaume-uni/>. [Accès le 05 08 2020].
- [44] «Centrale thermique de Provence,» 13 05 2020. [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_thermique_de_Provence. [Accès le 12 08 2020].
- [45] F. Quentin Manguit, «Géothermie : en Islande, une centrale exploite la chaleur du magma,» 28 01 2014. [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-geothermie-islande-centrale-exploite-chaleur-magma-51898/>. [Accès le 11 08 2020].

- [46] A. Taheem, «Solar Tracker: A Review,» *Advanced Research in Alternative Energy, Environment and Ecology*, vol. 6, n° %13, pp. 34-50, 2019.
- [47] «Héliostat de Silbermann,» [En ligne]. Available: <https://www.polytechnique.edu/patrimoine/pages.php?notice=000000114&collections=instruments>. [Accès le 11 07 2020].
- [48] Rebhi.M'hamed, «Performances de la poursuite solaire à deux axes dans un système photovoltaïque Application dans le Sud-ouest algérien,» *ResearchGate*, vol. 04, Août 20117 .
- [49] «Avantages et inconvénients d'un système de suivi solaire,» 21 06 2019. [En ligne]. Available: <http://www.dsnsolar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-a-solar-tracker-36655330.html>. [Accès le 11 07 2020].
- [50] H. Mousazadeh, «A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar system output,» *ELSEVIER*, p. 7, 2009.
- [51] Wikipédia, 03 06 2020. [En ligne]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Steve_Baer#:~:text=Steve%20Baer%20\(born%201938\)%20is,popularize%20the%20use%20of%20Zomes..](https://en.wikipedia.org/wiki/Steve_Baer#:~:text=Steve%20Baer%20(born%201938)%20is,popularize%20the%20use%20of%20Zomes..) [Accès le 09 07 2020].
- [52] «Zomeworks Passive Solar Tracker- UTRK,» [En ligne]. Available: <https://www.capsells.com/products/zomeworks-passive-solar-tracker-utrk.html>. [Accès le 09 07 2020].
- [53] P. R. Holambe, «Motorless solar tracking system,» *ResearchGate*, Octobre 2015.
- [54] S. BOUJENANE, «Tracker solaire à deux axes,» Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2016. [En ligne]. Available: https://www.memoireonline.com/03/20/11730/m_Tracker-solaire-a-deux-axes12.html. [Accès le 15 07 2020].
- [55] B. Mohamed, Mémoire fin d'étude : Conception et réalisation d'un système de suiveur solaire pour des systèmes photovoltaïques, Oran: Université des Sciences et de la Technologie, 2011.
- [56] «L'éclairage public et le mobilier urbain intelligents,» [En ligne]. Available: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=eclairage-mobilier->

intelligents&action=imprimer. [Accès le 22 07 2020].

[57] [En ligne]. Available: <http://www.cea-tech.fr/cea-tech/Pages/secteurs-applicatifs/iot/accueil-thematique.aspx>. [Accès le 22 06 2020].

[58] «comparatif-plateforme-iot,» [En ligne]. Available: <https://rtone.fr/comparatif-plateforme-iot/>. [Accès le 12 05 2020].