

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

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par

CISSE Mahamadou Djimé & ACHOUCHE Massinissa

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

**Conception d'un système de collecte et de
transmission sans fil des données météorologiques
d'une installation photovoltaïque**

Soutenu le 12/07/2023 devant le jury composé de :

Cherrat	Nidhal	MCB	UMBB	Président
Mouatsi	Abdelmalek	MCA	UMBB	Examineur
Kaouane	Mohamed	MCA	UMBB	Rapporteur

Année Universitaire : 2022/2023

Dédicace CISSE

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers Dieu pour m'avoir accordé la force et le courage nécessaires afin de mener à bien cette humble tâche.

A mes Parents, A toute ma famille,

A mes enseignants tous au long de mon cursus scolaire et universitaire,

*A une collègue d'exception **ABDI BOUCHRA***

A toute personne qui a eu l'énorme générosité d'accorder de son temps,

Partager un rire, son amour, un souvenir impérissable, Communiquer le gout et la force de vivre pleinement,

Toute ma gratitude.

Dédicace MASSI

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à ma tendre mère, mon cher père et à mes chères sœurs et à mes amis et tous les gens qui m'ont aidé à réaliser ce travail et qui témoigne de ma reconnaissance et ma gratitude pour leur soutien et leur compréhension durant mes études.

Et je remercie aussi ma future femme qui a été toujours là pour moi-même dans les moments les plus difficiles

Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'étude, nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de cette étape cruciale de notre parcours académique.

*En premier lieu, nous souhaitons rendre hommage à Monsieur **Kaouane Mohamed**, notre encadrant du côté de la FST. Sa disponibilité, ses précieuses directives et son souci du détail nous ont guidés tout au long de ce projet, nous permettant d'atteindre des sommets de qualité et d'excellence.*

Nous ne saurions oublier le rôle inestimable de nos familles et de nos amis, dont l'amour indéfectible et l'encouragement constant ont été des piliers essentiels de notre réussite académique. Leur soutien nous a portés et a illuminé notre parcours.

À tous nos enseignants de la FST, nous adressons nos remerciements les plus sincères. Ils nous ont transmis leur savoir avec passion et ont façonné notre formation, nous préparant ainsi au mieux pour les défis à venir.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers les membres du jury pour leur contribution à l'évaluation de ce travail. Votre expertise et votre temps précieux sont des éléments cruciaux de notre réussite, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Ce projet de fin d'étude a été un voyage mémorable et formateur, et nous savons que nous ne serions pas arrivés là où nous sommes sans le soutien et la guidance de toutes ces personnes exceptionnelles. Merci du fond du cœur pour avoir été à nos côtés tout au long de cette aventure.

Résumé

L'objet principal de notre projet de fin de cycle Master se résume dans l'exploitation des techniques de l'internet des objets IOT dans les applications photovoltaïques afin de collecter les données météorologiques provenant des capteurs, de les transférer via internet grâce au module WIFI esp8266 et de les afficher sur une interface d'un Site Web. Cette technique nous a permis d'avoir une bonne optimisation en termes d'efficacité et peut être utilisée pour contrôler les paramètres photovoltaïques en temps réels.

Les résultats obtenus à partir des essais expérimentaux valident le fonctionnement du système proposé dans les applications photovoltaïques.

Mots clé : Photovoltaïque, IOT, ESP8266, Serveur WEB, Suiveur solaire.

ملخص:

يتم تلخيص الهدف الرئيسي لمشروع نهاية الدورة للماجستير في استغلال تقنيات إنترنت الأشياء IOT في التطبيقات الكهروضوئية من أجل جمع بيانات الأرصاد الجوية من أجهزة الاستشعار ، ونقلها عبر الإنترنت بفضل وحدة WIFI esp8266 وعرضها على واجهة موقع ويب. سمحت لنا هذه التقنية بالحصول على تحسين جيد من حيث الكفاءة ويمكن استخدامها للتحكم في الإعدادات الكهروضوئية في الوقت الفعلي.

النتائج التي تم الحصول عليها من الاختبارات التجريبية تثبت صحة تشغيل النظام المقترح في التطبيقات الكهروضوئية.

الكلمات الرئيسية: الكهروضوئية ، IOT ، ESP8266 ، خادم الويب ، تعقب الطاقة الشمسية.

Abstract

The main object of our Master's end-of-cycle project is summarized in the exploitation of the techniques of the Internet of Things IOT in photovoltaic applications in order to collect meteorological data from the sensors, to transfer them via the Internet by the WIFI module esp8266 and display them on an interface of a Website. This technique allowed us to have a good optimization in terms of efficiency and can be used to control the photovoltaic parameters in real time.

The results obtained from the experimental tests validate the operation of the proposed system in photovoltaic applications.

Keywords: Photovoltaic, IOT, ESP8266, WEB server, Solar tracker.

Table des matières

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Introduction générale

Chapitre 1 : Généralités sur la technologie photovoltaïque

I.1	Introduction.....	2
I.2	Energies renouvelables.....	3
I.2.1	Définition.....	3
I.2.2	Importance des énergies renouvelables.....	3
I.2.2.1	Raisons économiques.....	3
I.2.2.2	Raisons environnementales.....	3
I.2.2.3	Raisons sociales.....	4
I.2.3	Formes d'énergies renouvelables.....	4
I.2.3.1	Énergie solaire.....	4
I.2.3.2	Énergie éolienne.....	4
I.2.3.3	Énergie hydraulique.....	5
I.2.3.4	Biomasse.....	6
I.2.3.5	Énergie géothermique.....	6
I.2.4	Avantages et défis des énergies renouvelables.....	7
I.2.4.1	Avantage.....	7
I.2.4.2	Défis liés aux énergies renouvelables.....	7
I.3	Energie solaire	8
I.3.1	Historique.....	8
I.3.2	Technologie solaire photovoltaïque.....	9
I.3.2.1	Conversion photovoltaïque.....	9
I.3.2.2	Les différentes technologies des cellules solaires	10
I.3.2.3	Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque.....	11
I.3.3	Caractéristiques.....	12
I.3.3.1	Caractéristique courant-tension.....	12
I.3.3.2	Influence de l'éclairement sur les caractéristiques électriques.....	13
I.3.3.3	Influence de la température sur les caractéristiques électriques.....	13

I.3.4	Stockage de l'énergie solaire photovoltaïque.....	14
I.3.5	Applications des systèmes photovoltaïques incluent.....	16
I.3.5.1	Applications résidentielles.....	16
I.3.5.2	Applications industrielles.....	16
I.3.5.3	Applications pour les régions isolées.....	16
I.3.6	Facteurs pouvant affecter la durabilité et l'efficacité des systèmes photovoltaïques	16
I.4	Conclusion	17

Chapitre 2 : Techniques d'optimisation d'énergie : Suiveur solaire & IOT

II.1.	Introduction.....	18
II.2.	Suiveurs solaires.....	18
II.2.1	Principe fondamentale des suiveurs solaires.....	18
II.2.2	Types de suiveurs solaires.....	19
II.2.2.1	Suiveurs passifs.....	19
II.2.2.2	Suiveurs actifs.....	20
II.2.3	Classification des suiveurs actifs.....	22
II.2.3.1	Suiveurs en boucle ouverte.....	22
II.2.3.2	Suiveurs en boucle fermée.....	23
II.2.3.3	La commande hybride	24
II.2.4	Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs	24
II.2.4.1	Moteurs linéaires	24
II.2.4.2	Machines tournantes	24
II.2.5	Méthode et techniques de poursuite.....	24
II.2.5.1	Méthode du capteur de lumière.....	25
II.2.5.2	La Méthode astronomique.....	25
II.2.6	L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes	25
II.3.	Notions sur l'Internet des Objets.....	27
II.3.1	Définition de l'Internet des Objets.....	27
II.3.1.1	Conceptuellement.....	27
II.3.1.2	Techniquement	27
II.3.1.3	Des propositions	27
II.3.2	Statistiques du marché mondial d'IOT	28
II.3.3	Caractéristiques fondamentales de l'IOT	29
II.3.4	Les composants de base d'un système d'IoT.....	30

II.3.4.1 Les sources d'énergie.....	30
II.3.4.2 Les capteurs	30
II.3.4.3 Les actionneurs.....	30
II.3.4.4 Le module de connectivité	31
II.3.4.5 Les microcontrôleurs	31
II.3.4.6 La carte d'essai	31
II.3.4.7 Les logiciels et les algorithmes	31
II.3.5 Les protocoles de communication d'IoT	32
II.3.5.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):.....	32
II.3.5.2 HTTP (Hypertext Transfer Protocol)	32
II.3.5.3 Bluetooth	33
II.3.6 Les domaines d'application d'IoT.....	34
II.3.7 Rôle que peut jouer l'IOT dans un système solaire	35
II.4. Conclusion	36
Chapitre 3 : Réalisation d'un système de transmission sans fils des données	
III.1. Introduction :.....	37
III.2. Description du système de transmission de données et ses composants :.....	37
III.2.1 Carte ESP8266 NodeMCU :.....	39
III.2.2 Capteur de température, de pression et d'altitude BMP280 :.....	40
III.2.3 Capteur de température et d'humidité DHT11 :.....	41
III.2.4 Capteur de courant ACS712 :.....	41
III.2.5 Capteur de lumière TEMT6000 :.....	42
III.2.6 Logiciel Arduino.....	43
III.2.7 Visual studio.....	45
III.3. Essais expérimentaux :.....	49
III.3.1 Essai expérimental avec le capteur DHT11.....	49
III.3.2 Essai expérimental avec le capteur BMP280.....	50
III.3.3 Essai expérimental du capteur d'éclairement (TEMT6000) :.....	52
III.3.4 Utilisation du capteur de courant ACS712.....	54
III.4. Conclusion :.....	56
Conclusion generale.....	58
Reference bibliographique.....	59
Annexe.....	60

Table des figures

Figure I.1. Les énergies renouvelables.....	2
Figure I.2. Energie éolienne.....	5
Figure I.3. Energie hydraulique.....	5
Figure I.4. Energie de biomasse.....	6
Figure I.5. Energie géothermique.....	7
Figure II.6. Conversion photovoltaïque.....	10
Figure I.7 courbe caractéristique courant-tension.....	13
Figure I.8. Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V.....	13
Figure I.9. Influence de la température sur la caractéristique I-V.....	14
Figure I.10 Batterie solaire.....	15
Figure I.11. Stockage à air comprimé.....	15
Figure I.12. Stockage d'hydrogène.....	16
Figure II.1. Orientation du panneau en fonction du soleil	18
Figure II.2. Suiveur solaire.....	19
Figure II.3. Les types de suiveurs solaire	19
Figure II.4. Suiveur passif.....	20
Figure II.5. Suiveur à axe vertical incliné	21
Figure II.6. Suiveur à axe horizontal	21
Figure II.7. Suiveur à deux axes	22
Figure II.8. Commande en boucle ouverte d'un suiveur PV.....	23
Figure II.9. Commande en boucle fermée d'un suiveur PV.....	24
Figure II.15. Comparaison entre un suiveur et un système fixe.....	26
Figure II.16. internet of things (IOT).....	28
Figure II.17. appareil connecté.....	29
Figure II.18. architecture des composants d'IOT.....	32
Figure II.19. Les protocoles de communication d'IoT.....	33
Figure II.20. IOT application.....	35
Figure III.1. Schéma synoptique	39
Figure III.2. Carte Nodemcu ESP8266.....	40
Figure III.3. Capteur BMP280.....	41
Figure III.4. DHT11.....	42
Figure III.5. Capteur ACS712.....	43
Figure III.6. TEMT6000.....	43
Figure III.7. Fenêtre principale de l'application Arduino.....	44
Figure III.8. Programme de mesure de la luminosité en temps réel.....	45

Figure III.9. Résultat de succès visualiser sur le moniteur série.....	46
Figure III.10. Programme du landing page sur Visual studio.....	47
Figure III.11. Page d'accueil (interface site web).....	48
Figure III.12. Code sur Visual studio du web design.....	48
Figure III.13. Code Javascript du graphique du site web.....	49
Figure III.14. Photo du prototype DHT11-ESP8266.....	50
Figure III.15. Photo du prototype BMP280-ESP8266.....	51
Figure III.16. Graphiques en temps réel des mesures (BMP280).....	52
Figure III.17. Photo du prototype TEMT6000-ESP8266.....	53
Figure III.18. Photo du prototype TEMT6000-ESP8266.....	53
Figure III.19. Graphique en temps réel de la valeur de luminosité (Temt6000) sur le serveur web...54	54
Figure III.20. Graphique en temps réel de la valeur de la lumière (Temt6000) sur le serveur web....54	54
Figure III.21. Photo du prototype ACS712-ESP8266.....	55
Figure III.22. Photo du prototype ACS712-ESP8266.....	55
Figure III.23. Graphique en temps réel de la valeur du courant (ACS712).....	56
Figure III.24. Graphique en temps réel de la valeur de la lumière (Temt6000).....	56

Table des tableaux

Tableau I.1. Comparaison des technologies de cellules solaires : Avantages et inconvénients.....	10
Tableau III.1 Caractéristique Arduino et ESP8266	40
Tableau III.2 Connexion broche DHT11 et ESP8266.....	49
Tableau III.3. Connexion broche BMP280 et ESP8266.....	51
Tableau III.4. Connexion broche TEMT6000 et ESP8266.....	53
Tableau III.5 Connexion broche ACS712 et ESP8266.....	55

Table des abreviations

Abréviation	Explication
Générateur PV	Générateur photovoltaïque
IRENA	International Renewable Energy Agency
ICC	Intensité de court-circuit
IOT	Internet of things
GCR	Ground coverage ratio
HCPV	High Concentration Photovoltaics
IDO	Internet desobjets
RFID	Radio Frequency IDentification
MQTT	Message Queing Telemetry Transport
CoAP	Constrained Application Protocol
LoRa	<i>long range</i>
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IA	Intelligence artificiel

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

La population mondiale connaît une croissance rapide, entraînant une demande croissante en énergie. Pour répondre à ces besoins, une production électrique accrue est nécessaire, ce qui conduit à une augmentation de la consommation de ressources. Cependant, les ressources traditionnelles telles que les combustibles fossiles sont limitées et épuisables. Par conséquent, il devient crucial d'explorer des sources d'énergie renouvelables qui ne sont pas épuisables. L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus fiables et les plus répandues. Elle englobe différents systèmes tels que les installations photovoltaïques autonomes et celles connectées au réseau électrique.

Cependant, malgré l'expansion croissante des systèmes de production d'énergie solaire photovoltaïque, des défis subsistent en raison de l'efficacité limitée et des performances variables de ces systèmes. Les conditions météorologiques changeantes, telles que les variations d'ensoleillement et de température ambiante, ainsi que les perturbations de charge, peuvent affecter la production d'énergie des panneaux solaires photovoltaïques. Cette instabilité entraîne une diminution de la productivité électrique et augmente les pertes d'énergie.

Pour surmonter ces défis, il est essentiel de développer des méthodes permettant de surveiller et d'optimiser les performances des systèmes photovoltaïques. C'est dans cette optique que notre projet de fin d'études prend place. Notre objectif est de proposer une solution efficace (d'acquérir les paramètres d'un panneau PV "monter sur un suiveur" en temps réel et à distance via une interface web) pour évaluer les performances des panneaux solaires photovoltaïques en vue de les améliorer face aux fluctuations des conditions environnementales. Et pour ce faire nous procéderons par la suivante :

Un premier chapitre dans lequel nous avons exploré les énergies renouvelables en mettant l'accent sur le photovoltaïque.

Ensuite, un deuxième chapitre dans lequel, nous avons parlé des techniques d'optimisation d'énergie telles que les suiveurs solaires et l'IoT.

Enfin un dernier troisième chapitre, nous avons présenté la conception et la mise en œuvre d'un système de transmission de données sans fil basé sur l'IoT.

Ce présent projet de fin d'étude se termine par une conclusion résumant les connaissances acquises à travers le projet réalisé.

Chapitre I

**Généralités sur les énergies
renouvelables**

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable qui est obtenue en convertissant directement l'énergie de la lumière du soleil en électricité. Cette conversion se fait à l'aide de cellules solaires, qui sont des dispositifs électroniques capables de générer un courant électrique lorsque de la lumière est incidente sur leur surface. Les cellules solaires sont généralement fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, et peuvent être assemblées en modules photovoltaïques pour former des panneaux solaires. Pour obtenir une puissance d'utilisation désirée, ces modules peuvent être également assemblés en série et en parallèle pour former un générateur PV. La puissance produite par le générateur PV dépend du niveau d'éclairement et de la température de jonction de la cellule.

Dans ce premier chapitre, nous décrivons quelques généralités et définitions sur les énergies renouvelables de façon générale et solaire en particulier.

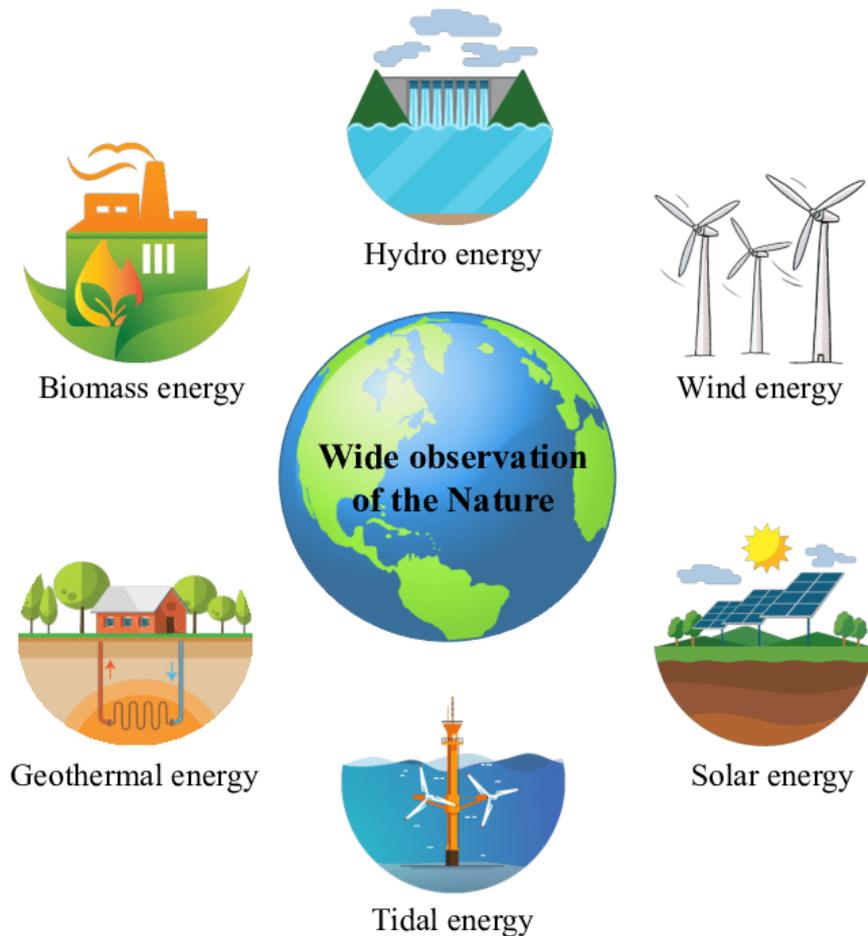


Figure I.1. Les énergies renouvelables

I.2 Energies renouvelables

I.2.1 Définition

L'énergie renouvelable est une forme d'énergie qui est générée à partir de sources naturelles qui sont régénérées en permanence, telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, géothermique, marine et de la biomasse. Contrairement aux combustibles fossiles¹, qui sont des sources d'énergie non renouvelables, les sources d'énergie renouvelables ne s'épuisent pas et ne contribuent pas à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre responsables du changement climatique. De plus, les technologies d'énergie renouvelable sont de plus en plus compétitives avec les technologies conventionnelles en termes de coût et de performance, ce qui en fait une option de plus en plus attractive pour répondre aux besoins énergétiques croissants du monde tout en préservant l'environnement.

I.2.2 Importance des énergies renouvelables

I.2.2.1 Raisons économiques

Ces dernières années, les coûts de production de nombreuses sources d'énergie renouvelables ont considérablement diminué, selon un rapport intitulé "Renewable Power Generation Costs in 2019" de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA). Un exemple de ceci est la diminution du coût de l'énergie solaire photovoltaïque et éolienne terrestre. En raison de cette augmentation de la compétitivité, les énergies renouvelables ont été plus largement utilisées et, par conséquent, davantage d'investissements, de croissance économique et d'emplois ont été créés dans le secteur de l'énergie propre. Ces avantages ont fait des énergies renouvelables une excellente option économique [1].

I.2.2.2 Raisons environnementales

Les énergies renouvelables présentent des avantages environnementaux significatifs par rapport aux combustibles fossiles. L'utilisation de sources d'énergie renouvelable réduit les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi à atténuer le changement climatique. Contrairement aux combustibles fossiles, les énergies renouvelables ne produisent pas de polluants atmosphériques nocifs tels que les particules fines et les oxydes d'azote, ce qui améliore la qualité de l'air et réduit les problèmes de santé associés [1]. De plus, les énergies

¹ Les combustibles fossiles sont des sources d'énergie qui proviennent de la décomposition d'organismes végétaux et animaux anciens enfouis dans la Terre depuis des millions d'années.

renouvelables utilisent des ressources naturelles illimitées ou facilement renouvelables, ce qui contribue à préserver les ressources non renouvelables.

I.2.2.3 Raisons sociales

Les énergies renouvelables apportent des avantages sociaux importants en termes d'accès à l'énergie équitable, de sécurité énergétique et de création d'emplois verts. Elles offrent une diversification des sources d'énergie et réduisent la dépendance aux combustibles fossiles importés [1]. Le déploiement des énergies renouvelables favorise le développement local en créant des opportunités d'emploi dans le secteur des énergies propres. Selon *l'Agence internationale de l'énergie*, le secteur des énergies renouvelables employait plus de 11 millions de personnes en 2018. Ces emplois couvrent une variété de compétences et contribuent à la construction de communautés durables et à la réduction de la pauvreté énergétique.

I.2.3 Formes d'énergies renouvelables

Les formes d'énergies renouvelables comprennent :

I.2.3.1 Énergie solaire

L'énergie solaire utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité. Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en électricité, tandis que les centrales solaires thermiques utilisent la chaleur solaire pour produire de la vapeur et générer de l'électricité.

I.2.3.2 Énergie éolienne

L'énergie éolienne exploite la force du vent pour faire tourner les éoliennes, qui génèrent de l'électricité. Les éoliennes sont installées dans des parcs éoliens terrestres ou marins, où le vent est plus fort et plus régulier.

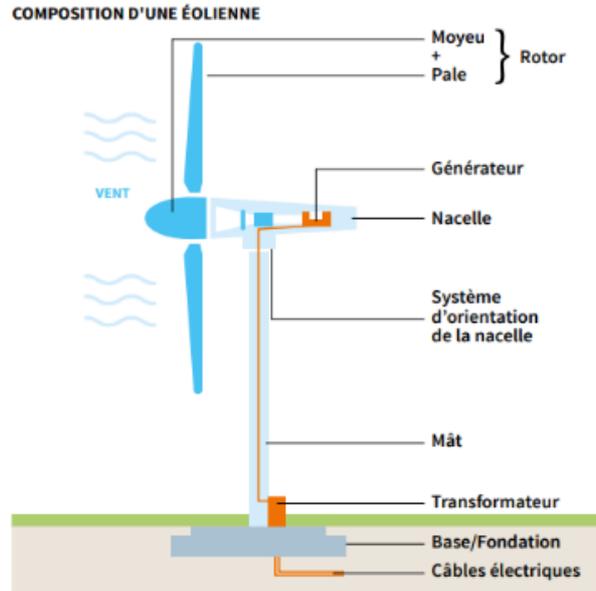


Figure I.2. Energie éolienne

I.2.3.3 Énergie hydraulique

L'énergie hydraulique utilise la force de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité. Elle peut être obtenue à partir de barrages hydroélectriques, où l'eau est stockée dans un réservoir et libérée à travers des turbines, ou à partir de turbines marines qui exploitent le mouvement des vagues et des marées.

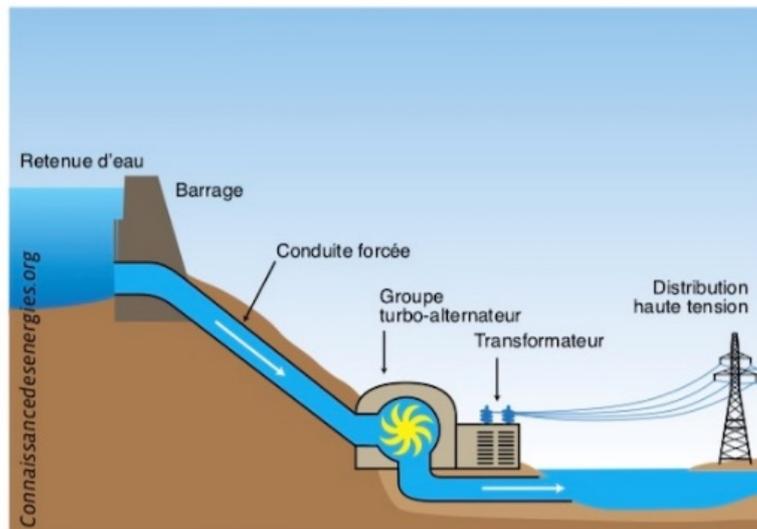


Figure I.3. Energie hydraulique

I.2.3.4 Biomasse

La biomasse utilise des matières organiques telles que les déchets agricoles, les résidus forestiers, les cultures énergétiques et le biogaz pour produire de la chaleur, de l'électricité ou des carburants. La biomasse est brûlée directement ou convertie en biogaz ou en biocarburants.

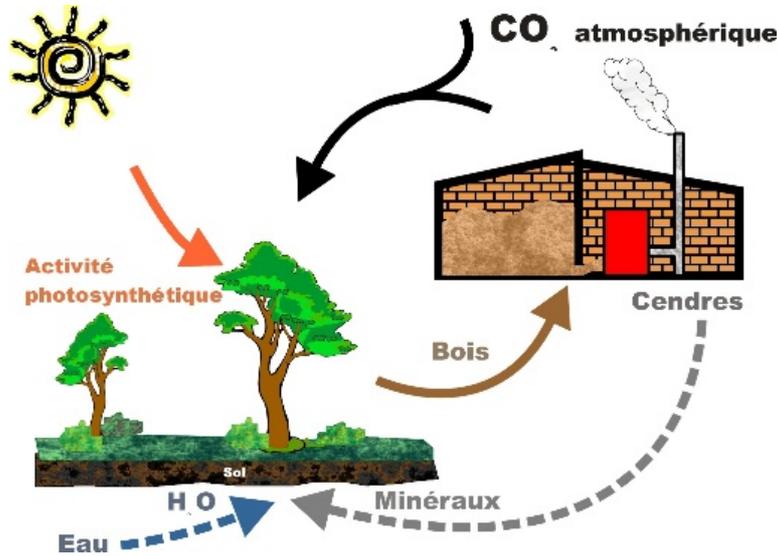


Figure I.4. Energie de biomasse

I.2.3.5 Énergie géothermique

L'énergie géothermique exploite la chaleur de la Terre pour produire de l'électricité ou de la chaleur. Elle utilise la chaleur provenant de réservoirs géothermiques souterrains ou de l'eau chaude présente dans les sources géothermales. Ces formes d'énergies renouvelables sont considérées comme durables car elles utilisent des ressources naturelles abondantes et inépuisables. Elles contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à améliorer la sécurité énergétique et à promouvoir la transition vers un système énergétique plus propre et plus durable. Mais pour autant l'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable.

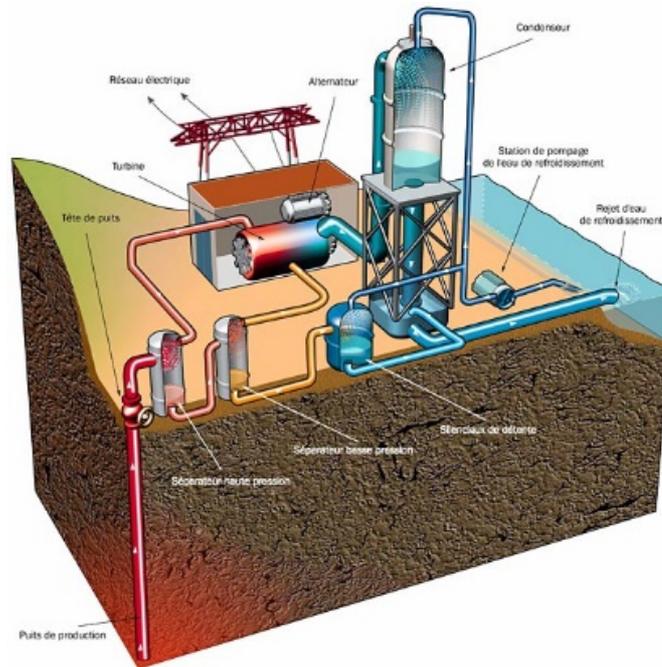


Figure I.5. Énergie géothermique

I.2.4 Avantages et défis des énergies renouvelables

I.2.4.1 Avantage

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Diminution de la dépendance aux combustibles fossiles
- Création d'emplois verts
- Développement local
- Durabilité à long terme [2]

I.2.4.2 Défis liés aux énergies renouvelables

- Intermittence² des sources
- Coûts de mise en œuvre
- Intégration dans les réseaux électriques
- Empreinte environnementale de certaines technologies [3]

² L'intermittence fait référence à la variation ou à l'irrégularité de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable, telles que les panneaux solaires photovoltaïques.

I.3 Énergie solaire

I.3.1 Historique

La conversion de la lumière en électricité est appelée phénomène photovoltaïque. Le mot "photovoltaïque" vient du grec "photo" qui signifie lumière et "volta" en l'honneur du physicien italien Alessandro Volta, qui a découvert la pile électrique en 1800. Cependant, c'est le physicien français Alexandre Edmond Becquerel qui a découvert la conversion de l'énergie lumineuse en électricité en 1839.

Les premières cellules solaires étaient utilisées dans les appareils photo pour mesurer le taux de lumière avant l'utilisation du silicium. Elles étaient à base de sélénium. Depuis les années 1950, les scientifiques ont travaillé sur l'amélioration des cellules solaires en utilisant principalement le silicium cristallin. Dans les années 1960, les applications pour les cellules solaires ont commencé à être utilisées pour la production d'électricité pour les satellites et les navires de guerre.

Dans les décennies suivantes, les cellules solaires ont continué à être améliorées avec des rendements de conversion de l'énergie solaire en électricité atteignant plus de 20% pour les cellules à base de silicium cristallin. Dans les années 1990 et 2000, les cellules solaires à couche mince sont apparues, offrant des avantages en termes de flexibilité, de légèreté et de coûts de production plus faibles.

Aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques sont de plus en plus utilisés dans les applications résidentielles, commerciales et industrielles, et sont intégrés dans les réseaux électriques pour contribuer à la production d'électricité à grande échelle. Les avancées technologiques continuent à stimuler le développement des systèmes photovoltaïques, ce qui les rend plus efficaces, plus rentables et plus durables.

Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque

- ❖ 1839 : découverte de l'effet photovoltaïque par Alexandre Edmond Becquerel. [2]
- ❖ 1883 : Charles Fritts réalise la première cellule solaire en sélénium, capable de convertir 1% de la lumière en électricité. [3]
- ❖ 1954 : Création de la première cellule solaire à base de silicium par des scientifiques américains.
- ❖ 1958 : Lancement du premier satellite alimenté par des cellules solaires, Vanguard I. [4]

- ❖ 1963 : Les cellules solaires commencent à être utilisées sur les toits des maisons et des bâtiments pour produire de l'électricité.
- ❖ 1970 : Les cellules solaires à haut rendement sont créées pour les satellites.
- ❖ 1980 : Les cellules solaires sont utilisées pour alimenter les télécommunications et les systèmes de navigation dans les régions isolées.
- ❖ 1990 : Les cellules solaires à couches minces commencent à être développées, offrant une alternative moins coûteuse aux cellules solaires en silicium cristallin.
- ❖ 2000 : Les installations photovoltaïques commerciales deviennent de plus en plus courantes dans le monde entier.
- ❖ 2016 : La production d'électricité à partir de sources renouvelables, y compris le solaire photovoltaïque, dépasse la production d'électricité à partir de combustibles fossiles dans le monde entier.

Ces dates montrent la progression de la technologie photovoltaïque, de sa découverte initiale en 1839 à sa croissance continue et sa présence de plus en plus importante dans notre société aujourd'hui.

I.3.2 Technologie solaire photovoltaïque

I.3.2.1 Conversion photovoltaïque

La conversion photovoltaïque est un processus qui permet de transformer directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Ce processus est basé sur l'effet photovoltaïque, qui est la propriété de certains matériaux semi-conducteurs à générer un courant électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Les cellules solaires photovoltaïques sont construites à partir de semi-conducteurs tels que le silicium, qui est le matériau le plus couramment utilisé.

Lorsque la lumière du soleil frappe une cellule solaire photovoltaïque, les photons de lumière sont absorbés par le semi-conducteur, provoquant la libération de charges électriques. Ces charges électriques sont ensuite séparées par la structure de la cellule et dirigées vers un circuit externe, où elles peuvent être utilisées pour alimenter des appareils électroniques ou stockées dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

Le rendement de conversion photovoltaïque dépend de nombreux facteurs, notamment de la qualité du matériau semi-conducteur, de la quantité et de la qualité de la lumière solaire qui frappe la cellule, ainsi que de la conception de la cellule elle-même. Cependant, les cellules

solaires photovoltaïques sont de plus en plus efficaces et rentables, ce qui les rend de plus en plus populaires pour la production d'électricité à partir de l'énergie solaire.

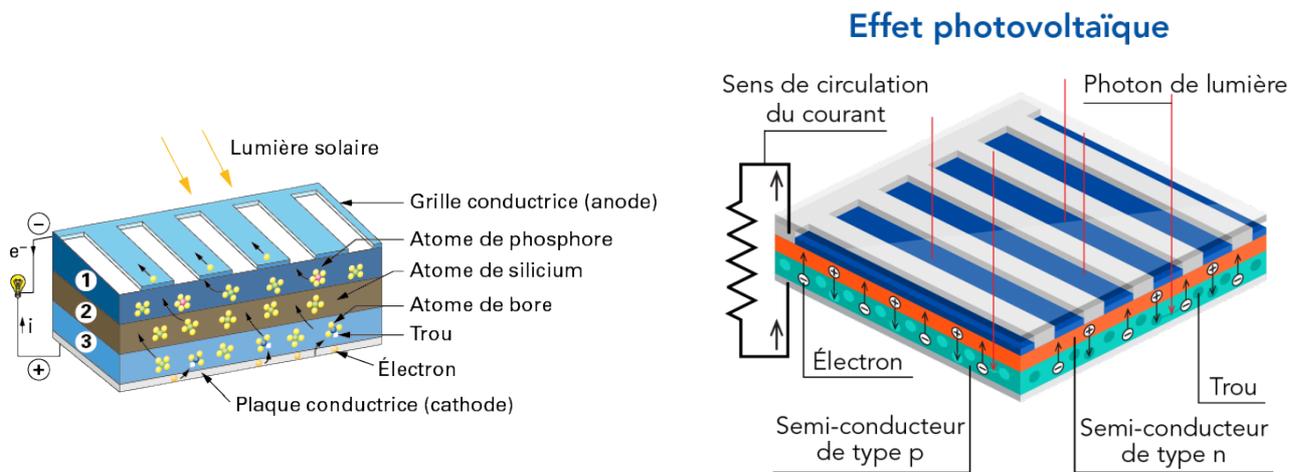


Figure II.6. Conversion photovoltaïque

I.3.2.2 Les différentes technologies des cellules solaires

Ils existent différents types de cellules solaires, les principaux sont :

❖ Les cellules solaires en silicium cristallin :

C'est la technologie de cellules solaires la plus courante et la plus mature. Elle est utilisée dans la plupart des panneaux solaires pour les applications résidentielles et commerciales. Les cellules solaires en silicium cristallin sont fabriquées à partir de tranches de silicium pur, coupées en fines lamelles, qui sont ensuite assemblées en modules solaires.

❖ Les cellules solaires à couche mince :

Elles sont fabriquées en déposant une fine couche de matériau photovoltaïque sur un substrat, tel que le verre ou le métal. Les cellules solaires à couche mince peuvent être plus légères et plus flexibles que les cellules solaires en silicium cristallin, ce qui les rend utiles pour certaines applications telles que les installations sur les toits de bâtiments courbes.

❖ Les cellules solaires organiques :

Elles sont fabriquées à partir de matériaux organiques, tels que des polymères, qui peuvent être imprimés sur des substrats souples. Bien que cette technologie soit encore en développement, elle offre un potentiel pour des applications telles que les revêtements de bâtiments et les dispositifs portables.

Tableau I.1. Comparaison des technologies de cellules solaires : Avantages et inconvénients

Technologie	Avantages	Inconvénients
Silicium cristallin	- Technologie mature et éprouvée avec un rendement élevé.	- Coût élevé dû aux processus de fabrication. - Fragile et susceptible aux dommages dus aux chocs. - Limité à une faible efficacité dans des conditions de faible luminosité ou de températures élevées.
Couches minces	- Coût de fabrication relativement faible. - Économie d'énergie en raison de la faible quantité de matière utilisée. - Flexibles et légères, ce qui les rend faciles à intégrer dans une variété d'applications.	- Rendement énergétique plus faible par rapport au silicium cristallin. - Certaines couches minces sont à base de matériaux toxiques. - Moins de stabilité à long terme et plus susceptibles aux effets de la dégradation naturelle.
Cellules organiques	- Coût de fabrication relativement faible. - Flexibles et légères, ce qui les rend faciles à intégrer dans une variété d'applications. - Processus de fabrication plus écologique.	- Rendement énergétique relativement faible par rapport aux autres technologies. - Faible stabilité à long terme en raison de la sensibilité à l'humidité et à l'oxygène.

I.3.2.3 Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

Avantages :

- ✓ La production d'électricité solaire est propre et non toxique.
- ✓ Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables et durables.
- ✓ L'énergie solaire est idéale pour les sites urbains en raison de sa petite taille et de son fonctionnement silencieux.
- ✓ L'énergie solaire est disponible partout, dans les zones isolées comme dans les centres urbains.
- ✓ L'électricité solaire est produite localement et directement chez l'utilisateur.

- ✓ Les panneaux solaires peuvent être intégrés de manière esthétique à l'architecture des bâtiments.
- ✓ L'énergie solaire est fiable, durable, autonome et a un faible impact sur l'environnement.
- ✓ Les panneaux solaires peuvent être compétitifs en termes de coûts par rapport aux solutions conventionnelles pour les sites éloignés ou pour éviter les coûts de raccordement au réseau électrique public.
- ✓ Les coûts de fonctionnement des panneaux solaires sont très faibles car leur entretien est minimal et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- ✓ Les matériaux utilisés dans les panneaux solaires (silicium, verre, aluminium) résistent aux conditions météorologiques extrêmes.

Inconvénients :

- ✓ Coûts initiaux élevés : Le coût initial d'installation d'un système solaire photovoltaïque peut être élevé, même s'il a diminué ces dernières années.
- ✓ Dépendance à la météo : L'énergie solaire photovoltaïque dépend de l'ensoleillement, ce qui peut poser problème lors de périodes de faible luminosité ou la nuit.
- ✓ Besoin d'espace : Les panneaux solaires photovoltaïques nécessitent une certaine quantité d'espace pour être installés, ce qui peut être un problème dans les zones urbaines où l'espace est limité.
- ✓ Impact environnemental de la production : La production de panneaux solaires photovoltaïques peut avoir un impact environnemental important, notamment en raison de l'utilisation de métaux rares.
- ✓ Durée de vie limitée : Les panneaux solaires photovoltaïques ont une durée de vie limitée, en général entre 25 et 30 ans, après quoi ils doivent être remplacés.

I.3.3 Caractéristiques

I.3.3.1 Caractéristique courant-tension

Les systèmes photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en électricité grâce à des cellules solaires en silicium. Les caractéristiques courant-tension des systèmes photovoltaïques dépendent de facteurs tels que la température, l'irradiation solaire et la résistance de charge.

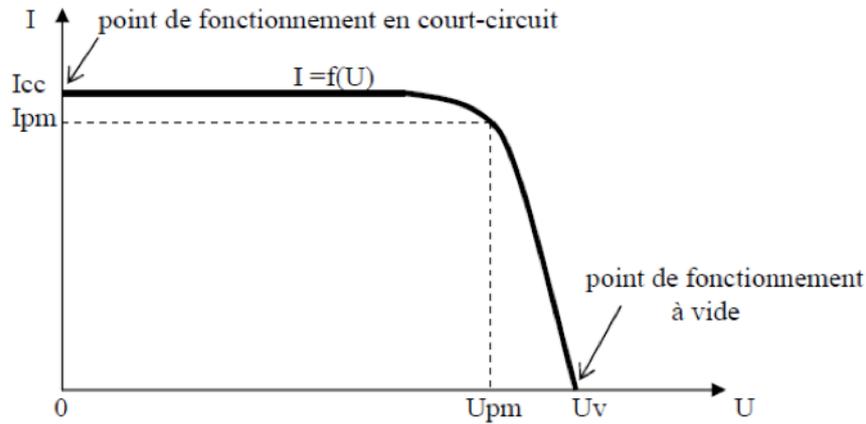


Figure I.7 courbe caractéristique courant-tension

I.3.3.2 Influence de l'éclairement sur les caractéristiques électriques

L'éclairement est un paramètre très important parce qu'il a un effet spécial sur le rendement électrique. D'après la figure (I-8), la caractéristique courant - tension d'un module photovoltaïque change avec l'éclairement pour une température donnée : quand l'éclairement augmente, la courbe se translate vers le haut et vers la droite. Le courant de court-circuit I_{sc} (ou I_{cc}) varie proportionnellement à l'éclairement. Dans un même temps, la tension de circuit ouvert V_{OC} ne varie que très peu [5].

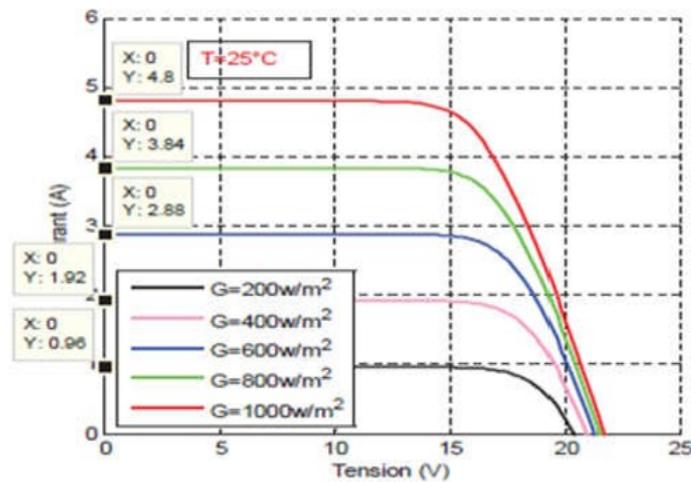


Figure I.8. Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V

I.3.3.3 Influence de la température sur les caractéristiques électriques

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules solaires puisqu'elles sont exposées au rayonnement solaire. La figure (I.9) montre l'influence de la température, sur la caractéristique $I(U)$ du module solaire lorsque la température varie.

On observe que l'augmentation de la température provoque une augmentation du courant de court-circuit (I_{cc}), on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente [5].

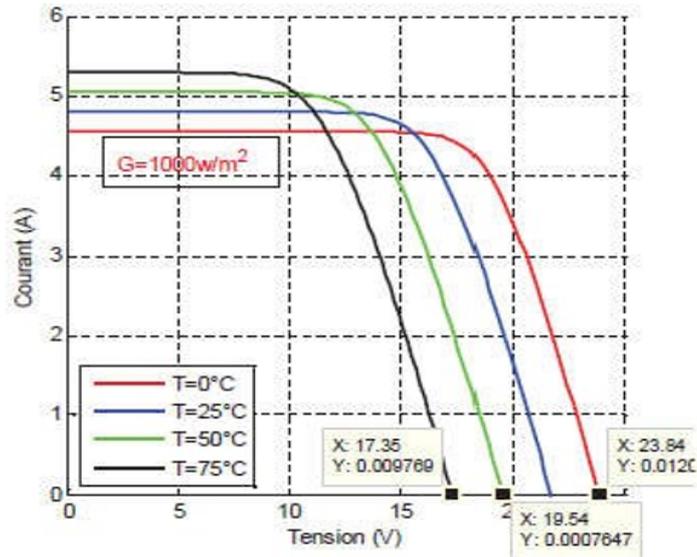


Figure I.9. Influence de la température sur la caractéristique I-V [7].

I.3.4 Stockage de l'énergie solaire photovoltaïque

Le stockage de l'énergie solaire photovoltaïque est un aspect crucial de l'adoption à grande échelle de cette technologie. En effet, contrairement aux sources d'énergie traditionnelles comme le pétrole, le gaz naturel et le charbon, l'énergie solaire est une source intermittente, qui n'est disponible que lorsque le soleil brille. Cela signifie que sans stockage, l'énergie solaire photovoltaïque ne peut être utilisée que lorsqu'elle est produite, ce qui limite son utilisation pratique.

Heureusement, il existe plusieurs options pour stocker l'énergie solaire photovoltaïque, et ces options sont en constante évolution grâce aux avancées technologiques. Les principales options de stockage comprennent les batteries, les systèmes de stockage d'air comprimé, les systèmes de stockage d'hydrogène et les réservoirs de chaleur.

Les **batteries** sont probablement l'option de stockage la plus courante pour l'énergie solaire photovoltaïque. Les batteries solaires sont souvent utilisées pour stocker l'énergie produite pendant la journée pour une utilisation ultérieure la nuit ou pendant les périodes nuageuses. Les batteries peuvent également être utilisées pour fournir de l'énergie de secours en cas de panne de courant.

Il existe plusieurs types de batteries pour le stockage d'énergie solaire photovoltaïque.

Les **batteries plomb-acide** sont les plus courantes, car elles sont relativement peu coûteuses et ont une longue durée de vie. Cependant, elles sont relativement lourdes et nécessitent une maintenance régulière.

Les **batteries lithium-ion** sont une alternative plus récente et plus légère, mais elles sont également plus coûteuses.

Les **systèmes de stockage d'air comprimé** sont une autre option pour le stockage de l'énergie



Figure I.10 Batterie solaire

solaire photovoltaïque. Ces systèmes utilisent l'énergie solaire pour comprimer l'air dans des réservoirs, qui peut ensuite être utilisé pour produire de l'électricité à la demande. Les systèmes de stockage d'air comprimé sont souvent utilisés dans les régions où les conditions sont favorables à la production d'énergie solaire mais où l'eau est rare et donc l'hydroélectricité est peu disponible.

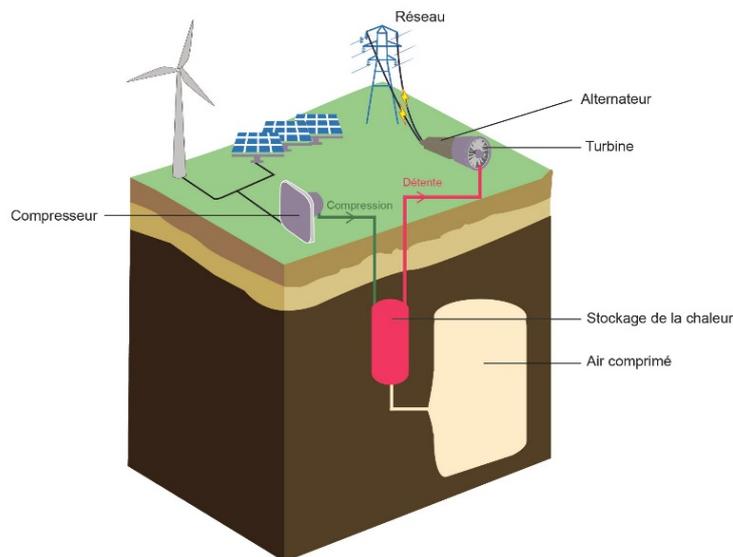


Figure I.11. Stockage à air comprimé

Les **systèmes de stockage d'hydrogène** sont une autre option pour le stockage de l'énergie solaire photovoltaïque. Dans ces systèmes, l'énergie solaire est utilisée pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, qui est ensuite stocké dans des réservoirs pour une utilisation ultérieure. Lorsque l'hydrogène est utilisé, il produit de l'électricité et de l'eau comme sous-produits. Cependant, les systèmes de stockage d'hydrogène sont coûteux et nécessitent un traitement et un stockage soigneux de l'hydrogène.

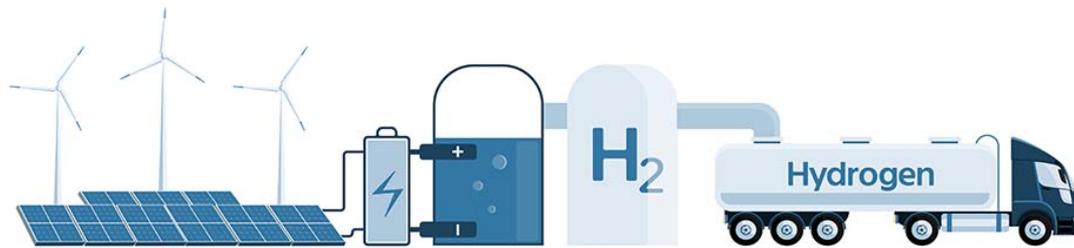


Figure I.12. Stockage d'hydrogène

I.3.5 Applications des systèmes photovoltaïques incluent

I.3.5.1 Applications résidentielles

Les systèmes photovoltaïques peuvent être utilisés pour produire de l'énergie pour les maisons.

I.3.5.2 Applications industrielles

Les systèmes photovoltaïques peuvent être utilisés pour la production d'énergie pour les usines et les grandes installations.

I.3.5.3 Applications pour les régions isolées

Les systèmes photovoltaïques peuvent également être utilisés pour produire de l'énergie dans les zones éloignées qui ne sont pas reliées au réseau électrique.

Les applications des systèmes photovoltaïques sont très diverses et peuvent être adaptées aux besoins spécifiques des utilisateurs.

I.3.6 Facteurs pouvant affecter la durabilité et l'efficacité des systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques sont conçus pour fonctionner pendant des décennies, mais différents facteurs peuvent affecter leur durabilité et leur efficacité. Voici quelques facteurs qui peuvent avoir un impact négatif sur les systèmes photovoltaïques :

Les conditions climatiques : les panneaux solaires peuvent être affectés par des températures extrêmes, des vents violents, des chutes de grêle ou de la neige. Les modules photovoltaïques doivent être conçus pour résister à ces conditions.

- **L'ombrage** : si une partie du système photovoltaïque est ombragée, cela peut réduire considérablement l'efficacité de tout le système.
- **L'accumulation de saleté et de poussière** : si les panneaux solaires ne sont pas nettoyés régulièrement, ils peuvent accumuler de la saleté et de la poussière qui réduiront l'efficacité du système.
- **Les perturbations électromagnétiques** : des sources de perturbations électromagnétiques, telles que les antennes de télécommunication, peuvent interférer avec le fonctionnement des onduleurs ou d'autres composants du système photovoltaïque.
- **La corrosion** : les composants en aluminium ou en acier inoxydable utilisés dans les systèmes photovoltaïques peuvent être affectés par la corrosion en raison de l'exposition à des conditions environnementales corrosives.
- **Les erreurs de conception ou d'installation** : des erreurs de conception ou d'installation peuvent affecter la performance et la durabilité du système.
- **Les surtensions** : les surtensions peuvent endommager les composants du système photovoltaïque, tels que les onduleurs, et réduire leur durée de vie.

En somme, pour assurer la durabilité et l'efficacité des systèmes photovoltaïques, il est important de prendre en compte ces facteurs et de prendre les mesures nécessaires pour les éviter ou les minimiser. Cela peut inclure des pratiques de maintenance régulières, la sélection de matériaux résistants aux intempéries et corrosifs, et la conception et l'installation professionnelle du système.

I.4 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, il est clair que les énergies renouvelables jouent un rôle crucial dans la transition énergétique mondiale. Parmi ces sources d'énergie durable, l'énergie solaire occupe une place prépondérante en raison de ses avantages significatifs. Cependant, malgré les avantages indéniables de l'énergie solaire photovoltaïque, il reste des défis à relever pour optimiser son efficacité et son rendement.

C'est dans cette optique que le chapitre suivant nous plongera au cœur des différentes solutions et technologies visant à améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques.

Chapitre II

**Techniques d'optimisation d'énergie :
Suiveur solaire & IOT**

II.1. Introduction :

Dans ce deuxième chapitre, nous aborderons les techniques d'optimisation d'énergie appliquées aux systèmes solaires, en mettant l'accent sur deux aspects clés : les suiveurs solaires et l'Internet des objets (IoT).

II.2. Suiveurs solaires :

Un suiveur solaire permet de maintenir une orientation optimale des panneaux par rapport aux rayons du soleil. Cette orientation optimale permet de maximiser la production d'électricité des panneaux photovoltaïques. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes.

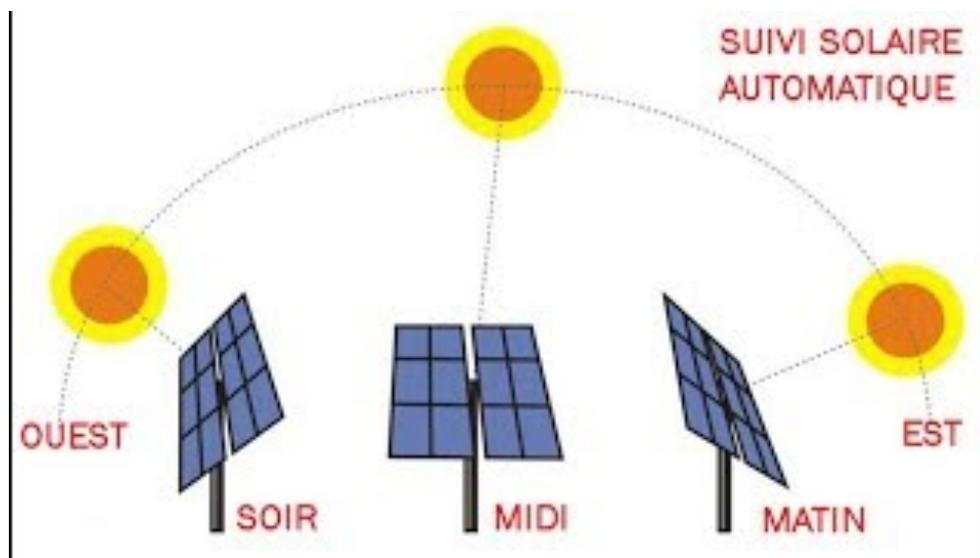


Figure II.1. Orientation du panneau en fonction du soleil

II.2.1 Principe fondamentale des suiveurs solaires

Le principe de base des suiveurs solaires consiste à orienter les panneaux solaires pour suivre la trajectoire du soleil dans le ciel. Les suiveurs solaires utilisent des capteurs pour détecter la position du soleil et ajustent l'angle d'inclinaison et l'azimut¹ des panneaux en conséquence. Cela permet d'augmenter l'efficacité énergétique des installations solaires en capturant plus d'énergie solaire tout au long de la journée. [11]

¹ Azimut : est la course du soleil d'est en ouest.

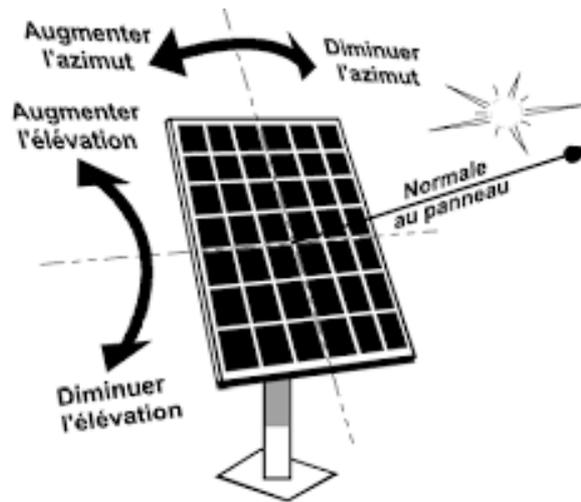


Figure II.2. Suiveur solaire

II.2.2 Types de suiveurs solaires

On distingue principalement deux grandes familles de suiveur solaire, comme le montre la figure II.3

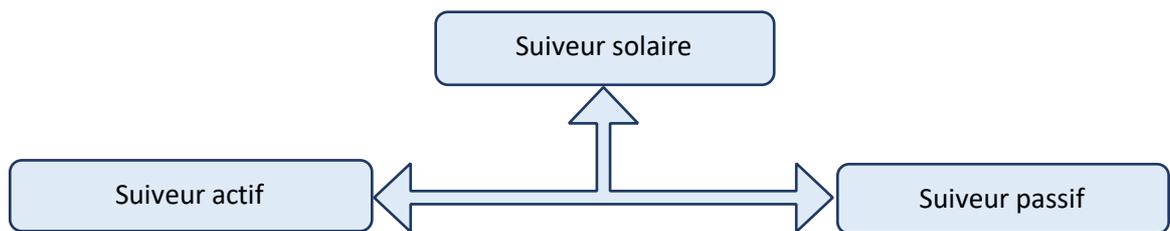


Figure II.3. Les types de suiveurs solaire [12].

II.2.2.1 Suiveurs passifs

Ce type contient deux tubes de cuivre remplis de liquides chimiques installés sur les côtes Est et Ouest du panneau photovoltaïque. Leur exposition au soleil entraîne l'évaporation des liquides. Le liquide évaporé occupe un volume interne plus important ce qui entraîne le mouvement du liquide partie vers l'ombré. [12]

Ainsi, le mouvement photovoltaïque est contrôlé par celui-ci pétrir pour équilibrer et ajuster.

Ce type de suiveur ne consomme pas d'énergie pour le repositionnement du panneau.

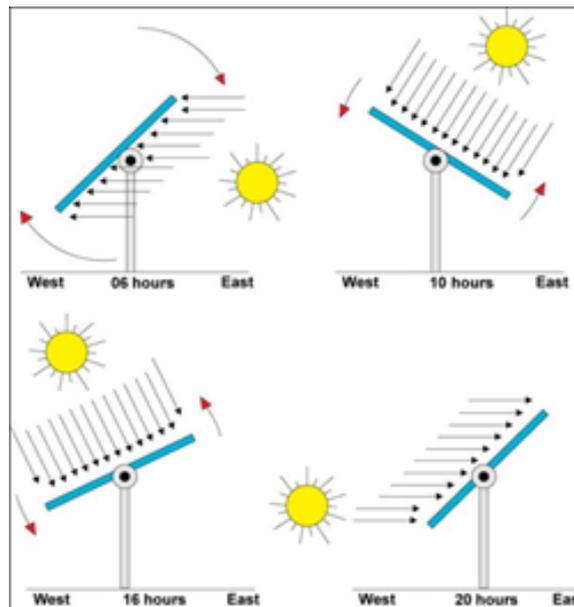


Figure II.4. Suiveur passif

II.2.2.2 Suiveurs actifs

Ce type de suiveur représente une meilleure précision en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface du suiveur à travers des systèmes automatisés. Cette catégorie de suiveurs possède plusieurs types :

II.2.2.2.1 Suiveurs mono-axe

Ce type de suiveurs possède un seul degré de liberté et ils sont utilisés pour permettre une orientation dans une seule direction. Le trajet que suit cet axe en azimut de l'Est vers l'Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Pour recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année il faut placer le panneau PV selon l'angle le plus adéquat. Il est placé selon la latitude² du lieu où est disposé le panneau PV. [14]

II.2.2.2.2 Suiveurs à axe vertical incliné

Ce type de suiveurs n'apporte que très peu de gain par rapport aux systèmes fixes. Il est plus intéressant d'utiliser les suiveurs à axe vertical qu'à axe horizontal surtout dans les régions aux latitudes élevées. [14]

²Latitude est une mesure de la position d'un point sur Terre par rapport à l'équateur.

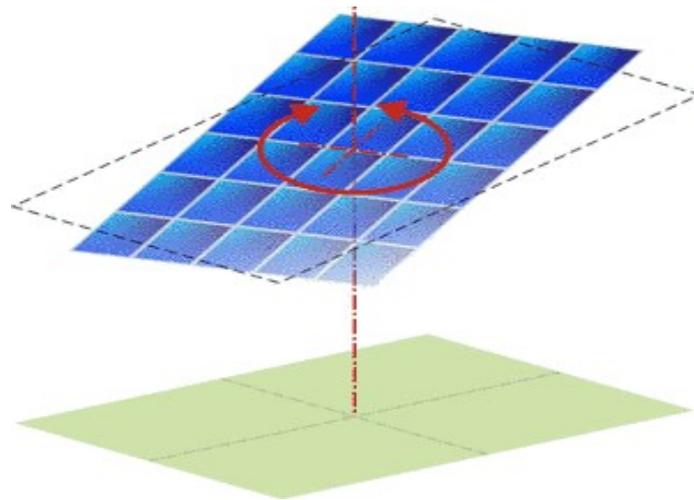


Figure II.5. Suiveur à axe vertical incliné [12].

II.2.2.3 Suiveurs à axe horizontal

Ce type de suiveur permet un gain d'environ 20% pour un **GCR**³ (*Ground Coverage Ratio*) de 25%. Il est souvent moins imposant que les suiveurs à 2 axes, moins coûteux et permet d'installer plus de puissance sur un terrain donné comparé aux 2 axes.

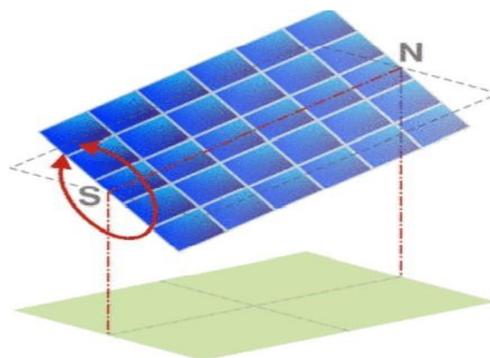


Figure II.6. Suiveur à axe horizontal [12].

II.2.2.4 Suiveurs double axe

Contrairement aux précédents, ce suiveur solaire possède deux axes ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée. Ainsi, le capteur reste constamment orienté vers le soleil. Ces types de suiveur sont très imposant et fournissent de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe.

³ Le GCR représente la proportion de surface au sol occupée par les panneaux solaires par rapport à la surface totale disponible.

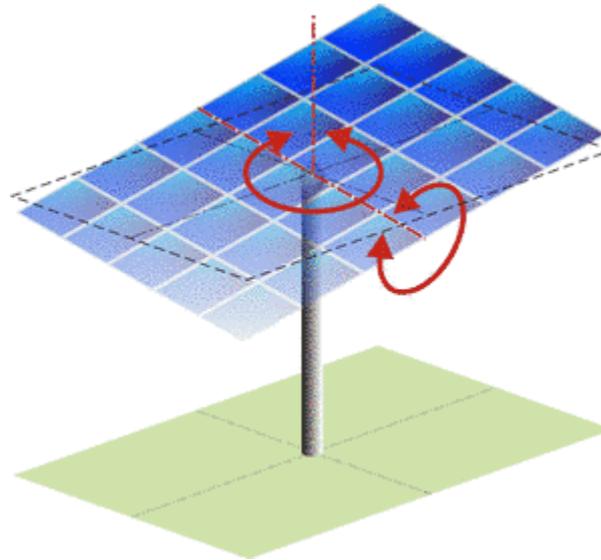


Figure II.7. Suiveur à deux axes [12].

II.2.3 Classification des suiveurs actifs

Les suiveurs solaires actifs sont conçus pour suivre le mouvement du soleil en ajustant constamment la position des panneaux solaires. Ils sont classés en deux catégories principales : les suiveurs en boucle ouverte et les suiveurs en boucle fermée. Cette classification se réfère à la manière dont les informations de suivi solaire sont traitées et utilisées pour ajuster les panneaux solaires.

II.2.3.1 Suiveurs en boucle ouverte

Les suiveurs en boucle ouverte sont des systèmes de suivi solaire relativement simples et économiques. Ils fonctionnent en utilisant des données prédéfinies, telles que la position du soleil à différents moments de la journée, pour ajuster les panneaux solaires. Ces systèmes ne disposent pas de capteurs de suivi en temps réel pour détecter la position actuelle du soleil.

Le fonctionnement des suiveurs en boucle ouverte est basé sur des calculs préétablis, généralement effectués à l'aide de modèles mathématiques. Ces calculs prennent en compte les coordonnées géographiques et la date pour déterminer la position prévue du soleil à tout moment donné. Les panneaux solaires sont ensuite réglés en fonction de ces prévisions.

Les suiveurs en boucle ouverte sont souvent utilisés dans des applications où une précision élevée n'est pas nécessaire. Par exemple, dans les installations solaires résidentielles ou dans les petits systèmes autonomes, où les variations saisonnières et les ajustements manuels périodiques peuvent suffire. [14]

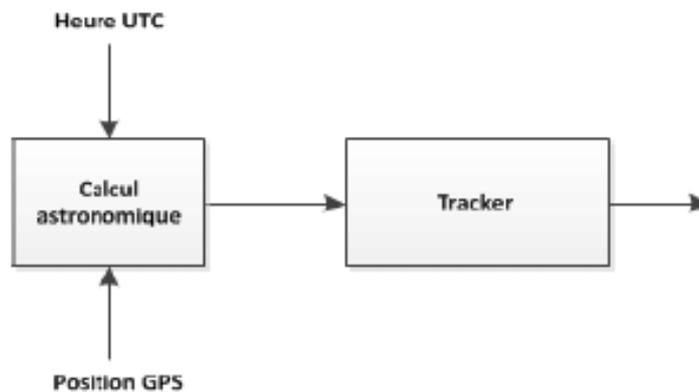


Figure II.8. Commande en boucle ouverte d'un suiveur [9].

II.2.3.2 Suiveurs en boucle fermée

On dit la commande en boucle fermée la commande qui basée sur la mesure de poursuite réel en but de contrôler les actionneurs du suiveur qui fournit par les capteurs d'énergie solaire, dans la boucle fermée, le retour c'est une puissance instantanée produit par le module, mais pas d'une erreur de poursuite.

Malgré les avantages de ce type, l'arrêt du suiveur est provoqué par la panne du capteur ou bien au moment d'ombre (passage du nuage) ça veut dire l'arrêt de la production.

La figure de représentation d'une commande en boucle fermée d'un suiveur solaire PV comprend les éléments suivants :

Le processus : Il s'agit du mouvement du soleil et de la position des panneaux solaires par rapport à celui-ci. Le processus est continu et évolue constamment au fil du temps.

La mesure : Les capteurs intégrés au système mesurent en temps réel la position réelle du soleil par rapport aux panneaux solaires. Ces capteurs peuvent être des capteurs de lumière ou des capteurs de position angulaire.

La consigne : La consigne représente la position souhaitée des panneaux solaires par rapport au soleil. Elle est généralement définie en fonction de la trajectoire solaire optimale pour maximiser la production d'énergie solaire.

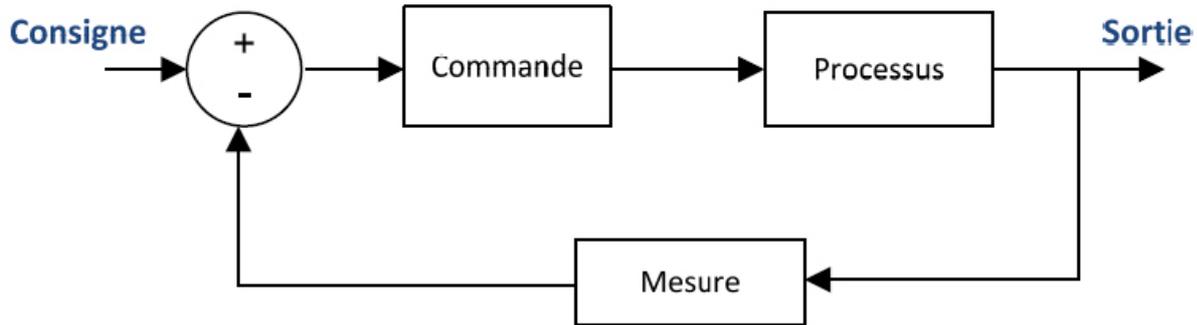


Figure II.9. Commande en boucle fermée d'un suiveur PV

La commande : Le système de contrôle compare la mesure de la position réelle du soleil avec la consigne. En fonction de cet écart, la commande génère un signal de commande qui ajuste la position des panneaux solaires. [9].

II.2.3.3 La commande hybride :

C'est une combinaison entre les calculs de la position référence propose par la boucle ouverte et la donnée de retour propose par la boucle fermée, la première commande fait basée sur un simple switch entre les deux boucles, et le basculement d'une commande à l'autre est déclenché à partir d'un seuil d'erreur de position défini selon module HCPV⁴.

II.2.4 Les moteurs utilisés comme actionneurs dans les suiveurs : [15]

Les moteurs électriques sont utilisés pour assurer le mouvement mécanique des PV. Il existe deux types de moteurs qui sont utilisés

II.2.4.1 Moteurs linéaires :

II.2.4.2 Machines tournantes :

- Machines à courant continu
- Les moteurs « brushless »
- Machine à courant alternatif :
- Moteurs pas à pas

II.2.5 Méthode et techniques de poursuite

La technologie des systèmes de suivi varie actuellement d'un concepteur à l'autre. Il existe deux méthodes principales de suivi :

⁴ HCPV (High Concentration Photovoltaics) est une technologie solaire qui utilise une concentration élevée de lumière solaire pour améliorer l'efficacité des cellules photovoltaïques.

II.2.5.1 Méthode du capteur de lumière

Cette méthode s'appuie sur des photorésistances et des capteurs lumière pour déterminer la position du soleil à tout moment, permettant un suivi instantané et déterminant la direction optimale du panneau.

Ce type de technologie est suivi indépendamment de la zone dans laquelle le système sera suite.

II.2.5.2 La Méthode astronomique

Cette méthode repose sur le calcul de la position du soleil en se basant sur les équations géométriques et astronomiques prédéfinies. Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, l'attitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure.

II.2.6 L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes :

L'utilisation de panneaux solaires mobiles, tels que les suiveurs solaires, présente plusieurs avantages par rapport aux panneaux solaires fixes. Ces avantages se traduisent par une amélioration significative du rendement global des installations solaires. Voici quelques-uns des intérêts des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes : [16]

- Maximisation de l'exposition solaire
- Augmentation de la production d'énergie
- Réduction des pertes d'énergie
- Adaptabilité aux saisons et aux latitudes
- Utilisation plus efficace de l'espace
- Amortissement du coût supplémentaire

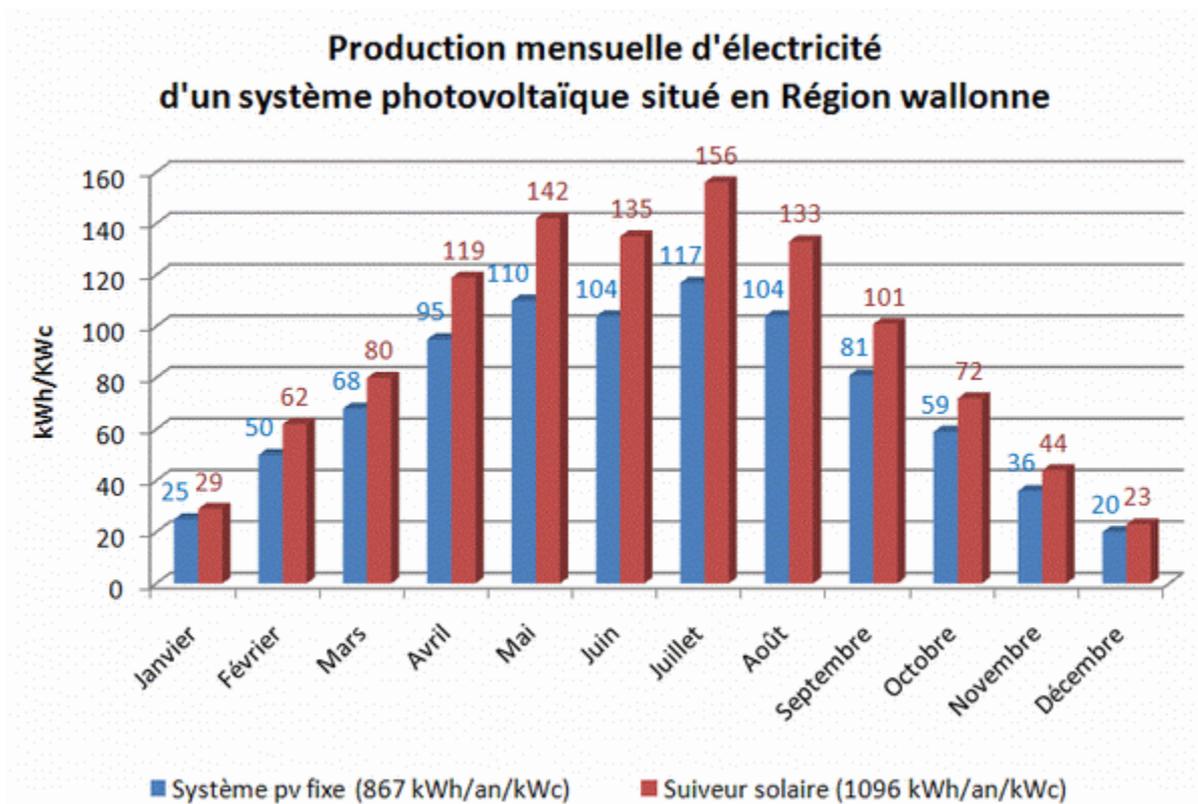


Figure II.10. Comparaison entre un suiveur et un système

Après une étude détaillée des suiveurs solaires et de leur rôle dans l'optimisation de l'énergie solaire photovoltaïque, nous sommes arrivés à la conclusion que ces dispositifs offrent une solution prometteuse pour améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques. Et cela est en prenant en compte juste, le facteur lumière.

Cependant, lorsqu'il s'agit de maximiser l'efficacité des panneaux solaires, il est essentiel de prendre en compte d'autres facteurs en plus de la simple luminosité solaire ou de l'éclairement sur le panneau. C'est là qu'intervient un autre élément crucial : l'Internet des objets (IoT).

II.3. Notions sur l'Internet des Objets

II.3.1 Définition de l'Internet des Objets

II.3.1.1 Conceptuellement

L'Internet des objets encore appelé l'Internet of things (IOT) est un concept qui fait référence à la connexion des objets du quotidien à Internet, permettant ainsi de les contrôler, de les surveiller et de les gérer à distance. Le concept repose sur l'idée que chaque objet physique peut être équipé d'un dispositif de communication (tel qu'un capteur ou une puce RFID) qui lui permet de communiquer avec d'autres objets ou avec des ordinateurs via Internet. Grâce à cette connectivité, les objets peuvent échanger des données et prendre des décisions autonomes en fonction des informations qu'ils reçoivent.

II.3.1.2 Techniquement :

Techniquement, l'IOT repose sur une architecture de réseau qui permet aux objets de communiquer entre eux et avec Internet. Cette architecture peut comprendre des réseaux de capteurs sans fil, des réseaux de communication à longue portée (tels que la 5G ou le LoRa), ainsi que des systèmes de stockage et de traitement des données. Les dispositifs IOT utilisent également des protocoles de communication standardisés (tels que MQTT ou CoAP) pour faciliter l'échange de données entre les objets et les serveurs.

II.3.1.3 Des propositions :

Il existe plusieurs propositions pour définir l'Internet des objets, notamment :

- Le Forum économique mondial définit l'IOT comme "l'interconnexion numérique des objets physiques à l'aide de technologies telles que les capteurs, les réseaux et les applications, permettant ainsi de recueillir et d'échanger des données".
- Selon l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), l'IOT est "un réseau de dispositifs physiques interconnectés, capables de collecter et d'échanger des données".
- Le Conseil de l'Union européenne définit l'IOT comme "un système de communication entre les objets physiques et les systèmes d'information, permettant la collecte, le stockage et l'analyse des données afin de créer de la valeur ajoutée pour les utilisateurs".

En résumé, l'Internet des objets est un concept qui décrit la connectivité des objets physiques à Internet, permettant ainsi la collecte et l'échange de données pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la qualité de vie des utilisateurs.

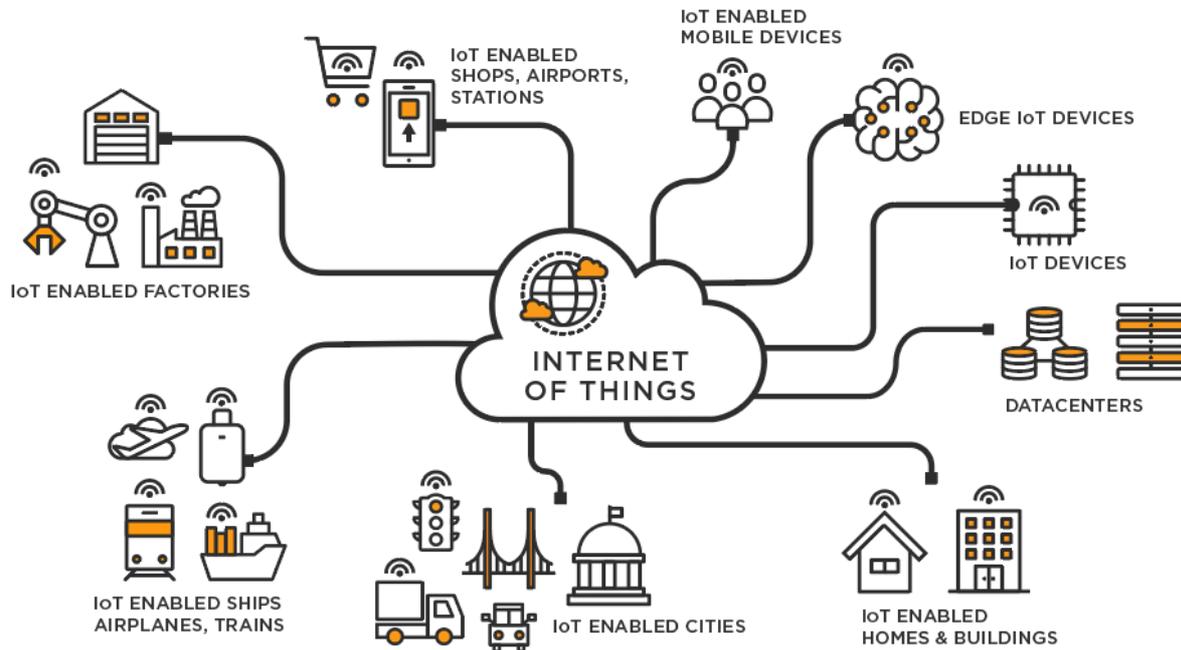


Figure II.11. internet of things (IOT)

II.3.2 Statistiques du marché mondial d'IOT :

- Selon les rapports de marché, le marché mondial de l'IoT devrait connaître une croissance significative dans les années à venir. Voici quelques statistiques clés sur le marché de l'IoT :
- Selon Statista, le nombre d'appareils IoT connectés dans le monde devrait atteindre 30,9 milliards en 2025.
- Selon un rapport de ResearchAndMarkets, le marché de l'IoT dans l'industrie manufacturière devrait croître à un taux annuel composé de 28,4% entre 2020 et 2025.

[17]

Ces statistiques indiquent une forte croissance du marché de l'IoT dans différents secteurs, ce qui témoigne de l'importance croissante de l'IoT dans notre vie quotidienne et dans le monde des affaires.

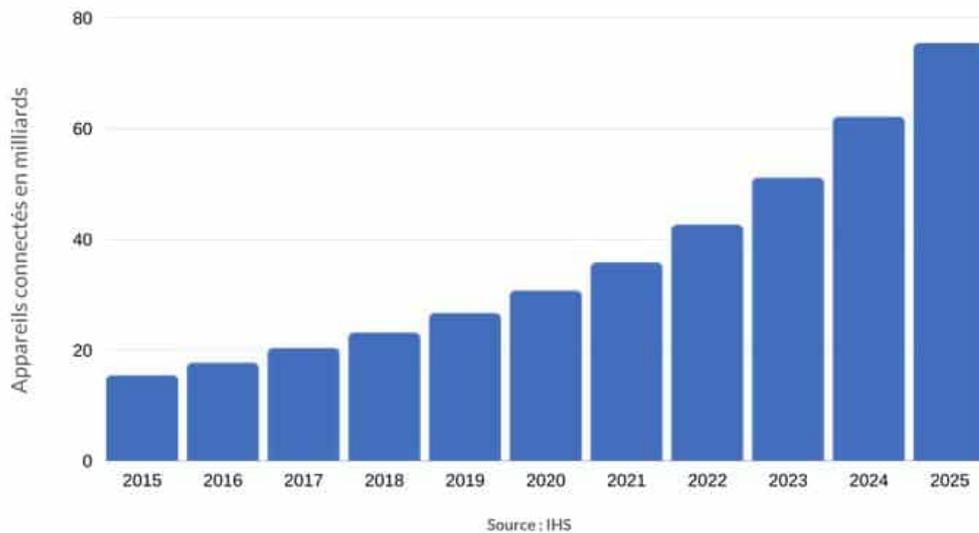


Figure II.12. appareil connecté

II.3.3 Caractéristiques fondamentales de l'IOT :

L'IoT (Internet des Objets) est un système interconnecté d'objets physiques qui sont intégrés à Internet pour permettre la collecte et l'échange de données. Les caractéristiques fondamentales de l'IoT sont les suivantes :

➤ **Interconnectivité :**

L'IoT est caractérisé par la capacité de connecter des milliards d'objets, tels que des capteurs, des appareils ménagers, des voitures, des équipements de santé, des machines industrielles et des infrastructures urbaines, en un réseau global. Cette interconnectivité permet aux objets de communiquer entre eux et avec des serveurs à distance pour échanger des données et effectuer des actions.

➤ **Services liés aux objets :**

L'IoT offre des services et des fonctionnalités en temps réel pour les utilisateurs à travers les objets connectés. Par exemple, les services de domotique permettent de contrôler les équipements de la maison à distance, les services de santé offrent un suivi des patients à distance et les services de sécurité permettent de surveiller les installations à distance.

➤ **Hétérogénéité :**

L'IoT est caractérisé par la diversité des objets connectés qui varient en termes de capacités, de technologies et de protocoles de communication. Cette hétérogénéité nécessite une architecture flexible pour assurer une interopérabilité entre les objets et une gestion efficace du réseau.

➤ **Changements dynamiques :**

Les objets connectés peuvent être ajoutés ou retirés du réseau à tout moment, ce qui nécessite une infrastructure de réseau dynamique pour permettre une évolutivité et une flexibilité optimales.

➤ **Très grande échelle :**

L'IoT est caractérisé par la possibilité de connecter des milliards d'objets à travers le monde, ce qui nécessite une infrastructure de réseau robuste et scalable pour garantir une communication fiable et efficace. [18]

En somme, l'IoT représente une technologie en constante évolution qui offre une multitude de possibilités pour de nombreuses applications, mais qui nécessite une architecture de réseau flexible, robuste et scalable pour garantir une interopérabilité⁵ et une gestion efficace des objets connectés à grande échelle.

II.3.4 Les composants de base d'un système d'IoT

II.3.4.1 Les sources d'énergie

Les sources d'énergie sont essentielles pour les objets connectés car elles leur fournissent l'énergie nécessaire pour fonctionner. Les principales sources d'énergie pour l'IoT sont les batteries, les panneaux solaires, les piles à combustible et les capteurs d'énergie cinétique.

II.3.4.2 Les capteurs :

Les capteurs sont des composants clés de l'IoT, qui permettent aux objets connectés de collecter des données sur leur environnement. Les capteurs peuvent être utilisés pour surveiller l'environnement, détecter les changements ou les mouvements, mesurer les niveaux de pollution, etc. Les données collectées par les capteurs sont ensuite transmises à un microcontrôleur pour être analysées et traitées.

II.3.4.3 Les actionneurs

Les actionneurs sont des composants qui permettent aux objets connectés d'interagir avec leur environnement. Les actionneurs les plus courants pour l'IoT sont les moteurs, les vannes, les relais etc.... Les moteurs peuvent être utilisés pour faire tourner des objets, les vannes pour contrôler le débit de fluides, les relais pour activer ou désactiver des circuits électriques. Les actionneurs sont contrôlés par un microcontrôleur, qui reçoit des données des capteurs et prend des décisions en conséquence.

⁵ L'interopérabilité permet aux dispositifs IoT de partager et d'échanger des données, des commandes et des informations de manière cohérente et sans friction.

II.3.4.4 Le module de connectivité :

Le module de connectivité est le composant qui permet aux objets connectés de communiquer avec d'autres appareils ou avec le cloud.

II.3.4.5 Les microcontrôleurs :

Les microcontrôleurs sont le cerveau des objets connectés, responsables de la collecte, du traitement et du contrôle des données. Ils peuvent être programmés pour effectuer diverses tâches en fonction des besoins, y compris la gestion de l'énergie pour une consommation optimisée et une durée de vie prolongée de la batterie. Ils permettent également la communication avec d'autres appareils ou avec le cloud en étant intégrés à des modules de connectivité.

II.3.4.6 La carte d'essai :

La carte d'essai est un outil important pour les développeurs IoT, car elle permet de tester et de prototyper des circuits électroniques avant de les intégrer dans un produit final.

II.3.4.7 Les logiciels et les algorithmes :

Les logiciels et les algorithmes sont nécessaires pour traiter les données collectées par les capteurs et pour contrôler les actionneurs en fonction des décisions prises par le microcontrôleur. Les logiciels peuvent être développés pour fonctionner sur le microcontrôleur lui-même ou sur le cloud, selon les besoins de l'application. [20]

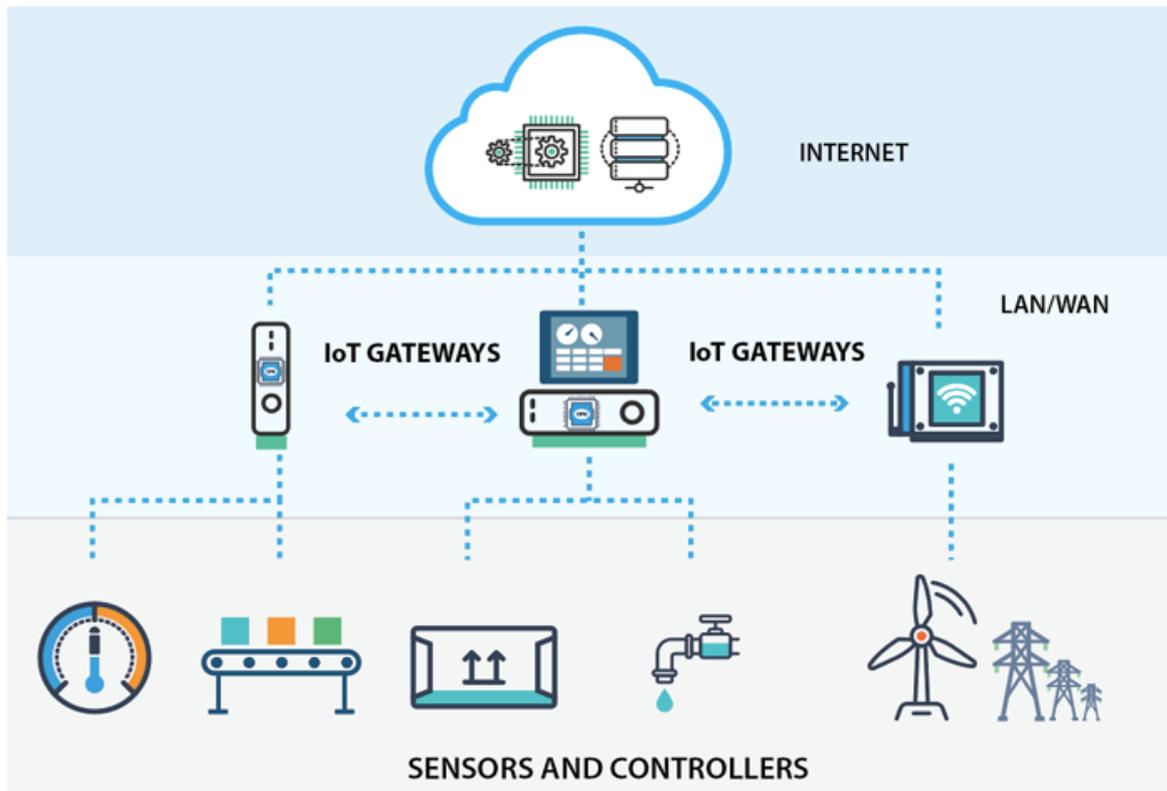


Figure II.13. architecture des composants d'IOT

II.3.5 Les protocoles de communication d'IoT :

L'Internet des objets (IoT) est un réseau de dispositifs physiques, tels que des capteurs, des appareils, des véhicules, etc., qui sont connectés à Internet et qui peuvent échanger des données. Pour permettre ces échanges de données, des protocoles de communication spécifiques sont nécessaires. Voici quelques-uns des protocoles de communication couramment utilisés dans l'IoT [21]

II.3.5.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):

MQTT est un protocole de messagerie légère conçu pour les communications machine-à-machine (M2M) dans l'IoT. Il utilise une architecture publish/subscribe, où les appareils publient des messages sur un serveur central, qui les transmet ensuite à tous les abonnés intéressés par ces messages. Il est efficace pour les communications avec des appareils à faible consommation d'énergie et à faible bande passante. MQTT est utilisé dans de nombreux cas d'utilisation de l'IoT, tels que la surveillance de l'énergie, la gestion de la ville intelligente, la télémétrie, et bien plus encore.

II.3.5.2 HTTP (Hypertext Transfer Protocol) :

Bien que le HTTP ne soit pas spécifiquement conçu pour l'IoT, il est souvent utilisé pour les communications entre appareils IoT et les services cloud. HTTP est un protocole de

communication Web qui utilise un modèle de requête/réponse et peut être utilisé sur des réseaux IPv4 et IPv6. Il est couramment utilisé dans les applications de l'IoT liées à la gestion de la santé, aux systèmes de suivi des actifs, à la gestion de la chaîne d'approvisionnement et aux services de maintenance.

II.3.5.3 Bluetooth :

Bluetooth est une technologie sans fil à courte portée utilisée pour les communications entre appareils IoT. Il est couramment utilisé dans les applications domestiques et de bureau, telles que les capteurs d'ouverture de porte, les capteurs de température et les systèmes d'éclairage intelligents. Bluetooth utilise une architecture maître/esclave⁶, où le maître coordonne les communications entre les différents appareils esclaves.

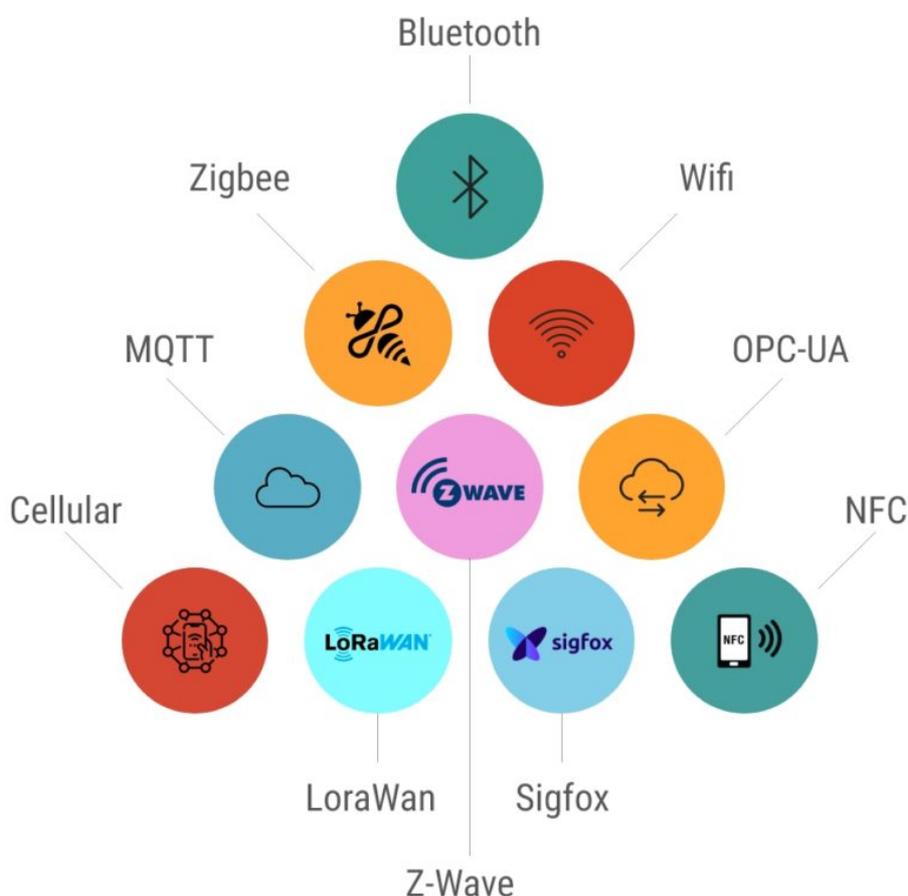


Figure II.14. Les protocoles de communication d'IoT

⁶ Dans une architecture maître/esclave, il y a un appareil maître qui assume un rôle central et coordonne les communications avec plusieurs appareils esclaves.

II.3.6 Les domaines d'application d'IoT

L'Internet des objets (IoT) est une technologie en constante évolution qui trouve de plus en plus d'applications dans différents secteurs. Voici une liste non exhaustive des domaines d'application de l'IoT :

➤ **Domotique :**

L'IoT est largement utilisé dans les maisons intelligentes pour contrôler l'éclairage, les appareils électroménagers, les systèmes de sécurité, les thermostats, etc. Les capteurs et les actionneurs intelligents permettent de surveiller et de contrôler les différents aspects de la maison à distance.

- **Santé :** L'IoT est largement utilisé dans le domaine de la santé pour développer des applications de télémédecine, de suivi des patients à distance et de dispositifs médicaux connectés, permettant ainsi une surveillance continue de la santé, la collecte de données en temps réel et une meilleure prise en charge des patients.
- **Industrie :** L'IoT est utilisé dans l'industrie pour surveiller les processus de production, la qualité des produits et les équipements ainsi que les machines, les pièces et les matériaux, afin d'optimiser la production et de réduire les coûts.
- **Agriculture :** L'IoT est utilisé en agriculture pour surveiller les conditions environnementales et les cultures, optimisant ainsi la production et réduisant les coûts grâce à la surveillance de la qualité du sol, de l'humidité, de la température et d'autres facteurs.
- **Transport :** Dans le domaine du transport, l'IoT joue un rôle crucial en permettant la surveillance des performances des véhicules, de la consommation de carburant, des niveaux de pollution et des conditions de conduite.
- **E-Commerce :** L'application de l'IoT dans le secteur du commerce électronique permet une expérience d'achat connectée et personnalisée, offrant des fonctionnalités avancées telles que le suivi en temps réel, la gestion des stocks automatisée et la recommandation intelligente des produits.
- **Sécurité :** L'IoT est utilisé dans la sécurité pour surveiller les bâtiments, les infrastructures et les zones sensibles.

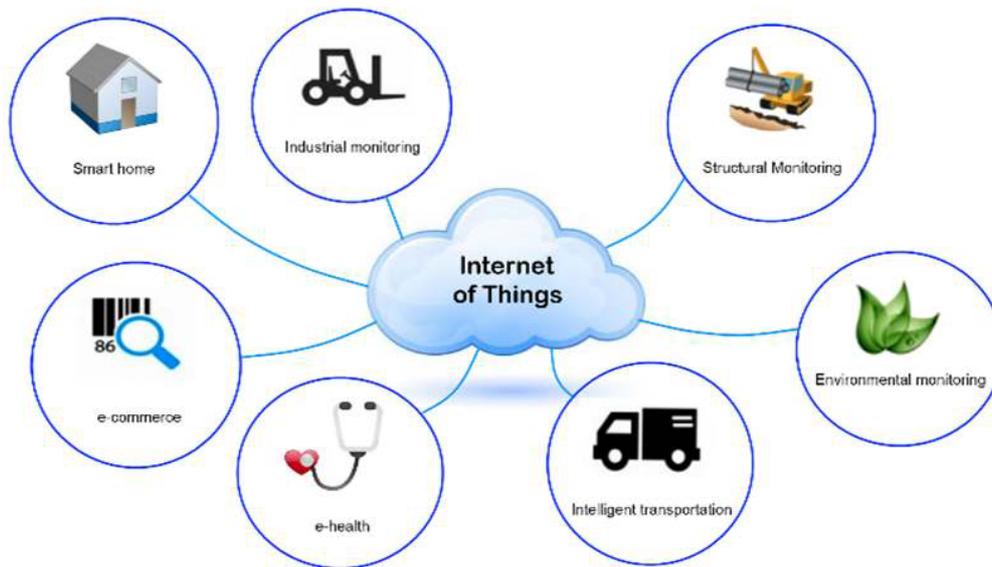


Figure II.15. IOT application

II.3.7 Rôle que peut jouer l'IOT dans un système solaire :

L'IOT peut jouer divers rôles pour la récolte maximale d'énergie et la performance des systèmes photovoltaïques, les principaux sont : [21]

- **Collecte de données en temps réel :** L'IoT permet la collecte de données en temps réel à partir des panneaux solaires, des onduleurs, des capteurs environnementaux et d'autres composants du système solaire. Ces données incluent la production d'énergie solaire, les niveaux de rayonnement solaire, la température, les performances des équipements, etc. Cette collecte de données en temps réel offre une visibilité complète sur le fonctionnement du système solaire.
- **Surveillance et maintenance proactive :** L'IoT permet une surveillance continue des performances du système solaire. Les données collectées peuvent être analysées pour détecter les problèmes potentiels, les dégradations des performances ou les pannes imminentes. Cela permet une maintenance proactive, réduisant les temps d'arrêt et optimisant la disponibilité du système.
- **Surveillance à distance et contrôle intelligent :** L'IoT permet un contrôle à distance des systèmes solaires, offrant la possibilité de surveiller et de contrôler les performances et les paramètres du système via des applications mobiles ou des interfaces web. Cela facilite la gestion et l'optimisation du système solaire à distance, offrant une flexibilité et une commodité accrues aux propriétaires ou aux gestionnaires de système.

Grâce à ces fonctionnalités avancées, l'IoT contribue à améliorer l'efficacité, les performances et la durabilité des systèmes solaires.

- **L'analyse des données collectées** au fil du temps permet de suivre l'évolution et la dégradation des panneaux solaires. Les variations de performance peuvent être détectées grâce à la surveillance continue des données de courant et des paramètres météorologiques. Ces informations sont essentielles pour évaluer l'efficacité des panneaux solaires sur une période prolongée et pour prendre des mesures correctives en cas de dégradation.

II.4. Conclusion :

L'IoT et les suiveurs solaires forment une alliance puissante qui ouvre de nouvelles possibilités pour une efficacité optimale et une performance accrue des installations solaires. Ensemble, ces technologies permettent de maximiser la capture de l'énergie solaire, d'optimiser l'orientation des panneaux solaires et d'améliorer la gestion énergétique globale.

Dans le chapitre suivant, nous allons mettre en évidence les résultats de notre réalisation d'une solution qui nous permettra non seulement de surveiller en temps réel les performances du système solaire, mais également de suivre la dégradation du panneau solaire dans le temps, en analysant les données recueillies sur une période prolongée. Ce qui nous permettra de prendre des mesures préventives ou correctives pour maximiser son efficacité et prolonger sa durée de vie. Cette fonctionnalité de suivi de la dégradation du panneau solaire constitue un avantage clé de notre solution basée sur l'IoT, offrant ainsi une gestion proactive et une optimisation continue du système solaire.

Chapitre III

**Réalisation d'un système de transmission
sans fil des données (IOT)**

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous aborderons en détail la réalisation de notre système basé sur l'internet des objets (IoT) dédié à la météorologie photovoltaïque pour le cas d'un suiveur solaire. Notre objectif principal est de collecter des données météorologiques à travers des capteurs puis les envoyer au serveur-web en temps réel, telles que la luminosité, la température, l'humidité etc ..., afin qu'elles puissent être analysées pour des fins d'optimisation.

III.2. Description du système de transmission de données et ses composants :

Le schéma synoptique qui suit montre une vue d'ensemble claire et concise de nos principales informations et connexions.

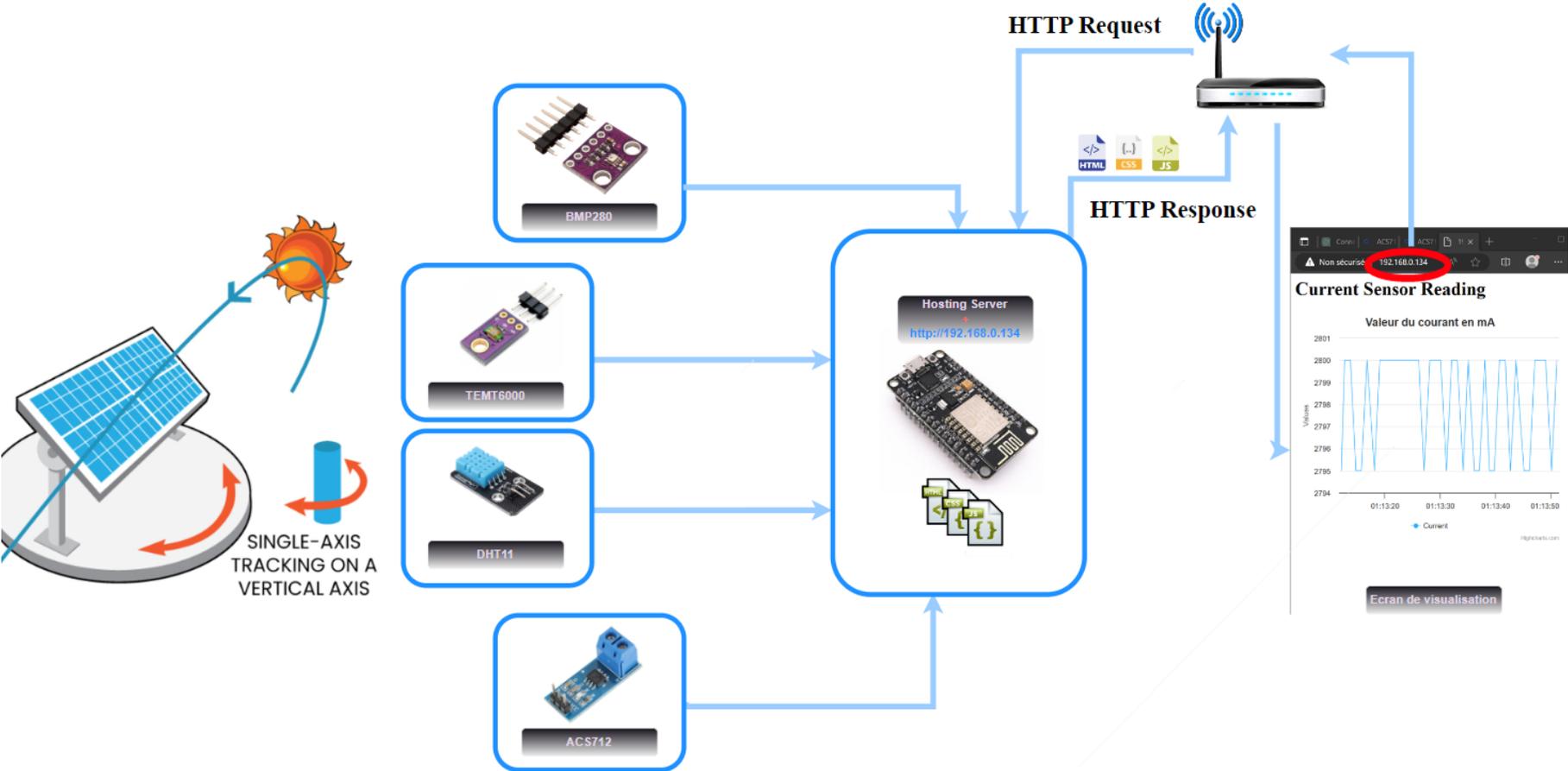


Figure III.1. Schéma synoptique du système

III.2.1 Carte ESP8266 NodeMCU :

L'ESP8266 est une micropuce Wi-Fi à faible coût, dotée d'un logiciel réseau TCP/IP intégré et d'une capacité de microcontrôleur, produite par *Espressif Systems* à Shanghai, en Chine.

La puce a été popularisée dans la communauté anglo-saxon des passionnés d'électronique, les amateurs et les développeurs IoT en raison de son abordabilité et de sa facilité d'utilisation en août 2014 via le module ESP-01. Elle dispose d'un processeur RISC 32 bits avec une vitesse d'horloge de 80 MHz, de 64 Ko de RAM d'instructions et de 96 Ko de RAM de données. Elle possède également un convertisseur analogique-numérique (CAN) 10 bits intégré et plusieurs broches GPIO, ce qui la rend adaptée à une large gamme de projets.

Il peut être connecté à une carte microcontrôleur, telle qu'une Arduino ou une Raspberry Pi, et utilisé pour ajouter une connectivité sans fil au projet. Il peut également être utilisé en tant que microcontrôleur autonome, où il exécute un firmware personnalisé pour effectuer diverses tâches.

Remplacé par des modèles plus récents, tels que l'ESP32, qui offrent plus de fonctionnalités, de meilleures performances et une consommation d'énergie améliorée. L'ESP8266 est toujours largement utilisé et reste un choix populaire pour de nombreux projets en raison de son faible coût et de sa simplicité.

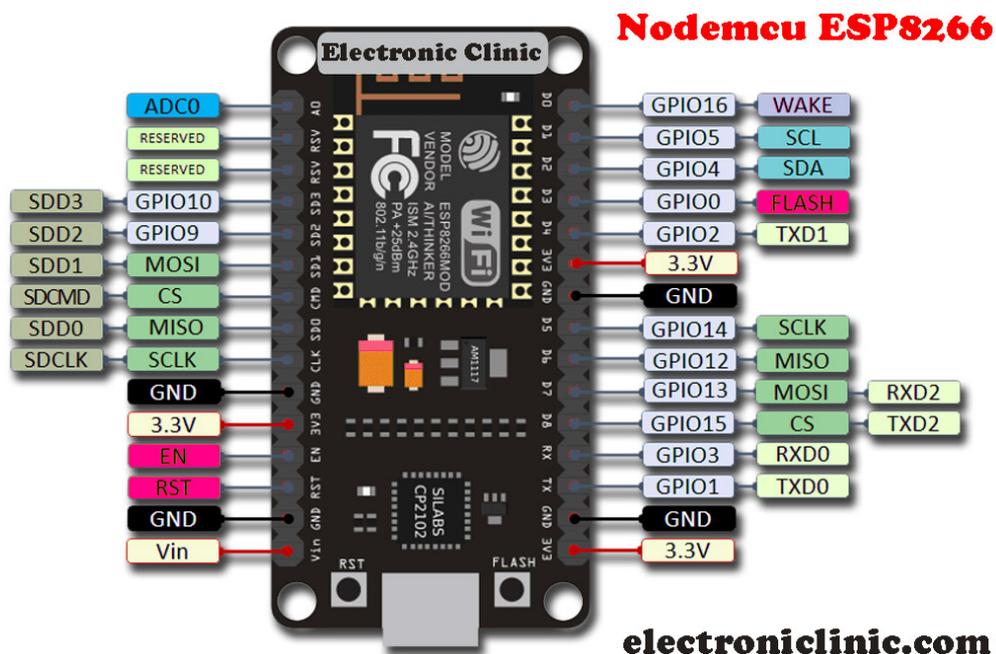


Figure III.1 Carte Nodemcu ESP8266

Le tableau ci-dessous représente les caractéristiques de l'ESP8266.

Tableau III.1 Caractéristique Arduino et ESP8266

Caractéristiques	ESP8266
Microcontrôleur	ESP8266
Architecture	Xtensa (Tensilica)
Vitesse d'horloge	80 MHz (max)
Mémoire Flash	4 MB (max)
Mémoire SRAM	80 KB
Interface série	2 x UART
Interface I2C	Oui
Interface SPI	Oui
Connectivité Wi-Fi	Intégrée
GPIO (broches E/S)	17
PWM	6
ADC	1 canal (10 bits)
Alimentation	3.3V
Programmation	Arduino, micro-python, LUA

III.2.2 Capteur de température, de pression et d'altitude BMP280 :

Le BMP280 est un capteur de pression atmosphérique et de température développé par Bosch Sensortec. Compact et précis qui peut mesurer la pression atmosphérique avec une résolution élevée et fournir des données de température et d'altitude. Le BMP280 utilise la technologie de capteur piezo-résistif pour détecter les variations de pression atmosphérique, ce qui en fait un choix populaire pour les applications de mesure de pression et de météorologie.

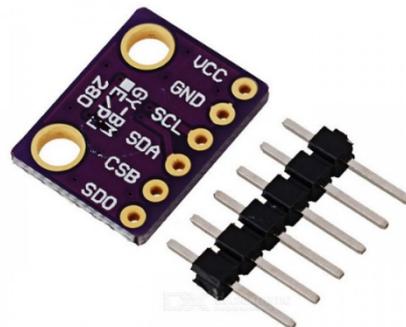


Figure III.2 Capteur BMP280

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines tels que la météo, la navigation GPS, les drones, etc. Le BMP280 est compatible avec de nombreux microcontrôleurs et peut être facilement intégré dans des systèmes électroniques.

III.2.3 Capteur de température et d'humidité DHT11 :

Le DHT11 est un capteur d'humidité et de température. Il est compact et abordable, largement utilisé dans les projets électroniques et l'Internet des objets (IoT).

Pour mesurer l'humidité (dans une plage de 20% à 90% avec une précision d'environ $\pm 5\%$), le DHT11 utilise un élément capacitif relative de l'air et un thermistor pour mesurer la température ambiante (dans une plage de 0 à 50 degrés Celsius avec une précision d'environ ± 2 degrés Celsius).

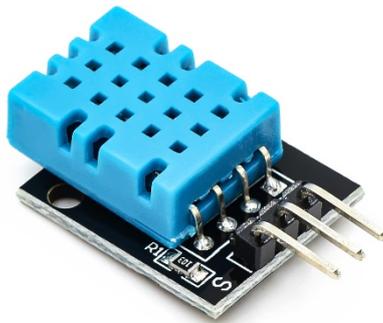


Figure III.3. DHT11

Ce capteur est couramment utilisé dans des applications telles que la surveillance environnementale, le contrôle de l'humidité, les systèmes de climatisation, les stations météorologiques personnelles et autres projets nécessitant des mesures de température et d'humidité.

III.2.4 Capteur de courant ACS712 :

Le capteur ACS712 est un capteur de courant à effet Hall linéaire largement utilisé pour mesurer le courant électrique dans divers projets électroniques. Il est capable de mesurer des courants continus et alternatifs avec précision.

Le capteur ACS712 utilise le principe de l'effet Hall pour détecter le champ magnétique généré par le courant qui le traverse. Il convertit ensuite cette mesure en une tension proportionnelle au courant mesuré.

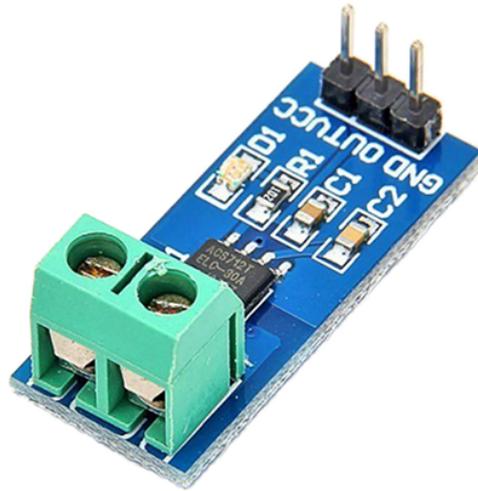


Figure III.4. Capteur ACS712

III.2.5 Capteur de lumière TEMT6000 :

Le capteur TEMT6000 est un capteur de lumière ambiante utilisé pour détecter et mesurer la luminosité environnante. Il est également connu sous le nom de phototransistor. Ce capteur utilise un phototransistor comme élément sensible à la lumière.

Le phototransistor du TEMT6000 réagit aux variations de lumière en modifiant son courant de collecteur. Plus la luminosité ambiante est élevée, plus le courant de collecteur est élevé, et inversement. Cette relation linéaire permet d'obtenir des mesures précises de la luminosité.



Figure III.5. TEMT6000

Le capteur TEMT6000 est souvent utilisé en combinaison avec des microcontrôleurs tels que l'ESP8266 pour obtenir des informations précises sur l'intensité lumineuse ambiante. Il est largement utilisé dans des applications telles que l'éclairage intelligent, les systèmes de surveillance environnementale et d'autres systèmes automatisés.

III.2.6 Logiciel Arduino

Le logiciel Arduino est un environnement de développement intégré (IDE) basé sur le langage de programmation C++. Il permet d'écrire des programmes appelés "croquis" pour les cartes Arduino. L'IDE offre une interface graphique conviviale pour écrire, compiler et téléverser les croquis sur les cartes Arduino. Les croquis sont exécutés de manière séquentielle, en utilisant des fonctions spécifiques comme `setup()` et `loop()`. Le logiciel Arduino simplifie la programmation en fournissant des bibliothèques prêtes à l'emploi pour interagir avec le matériel. Il offre également des fonctionnalités telles que la vérification syntaxique, la coloration syntaxique et la suggestion automatique. En résumé, le logiciel Arduino facilite la programmation des cartes Arduino en fournissant un environnement simplifié et convivial pour écrire des croquis et interagir avec le matériel.

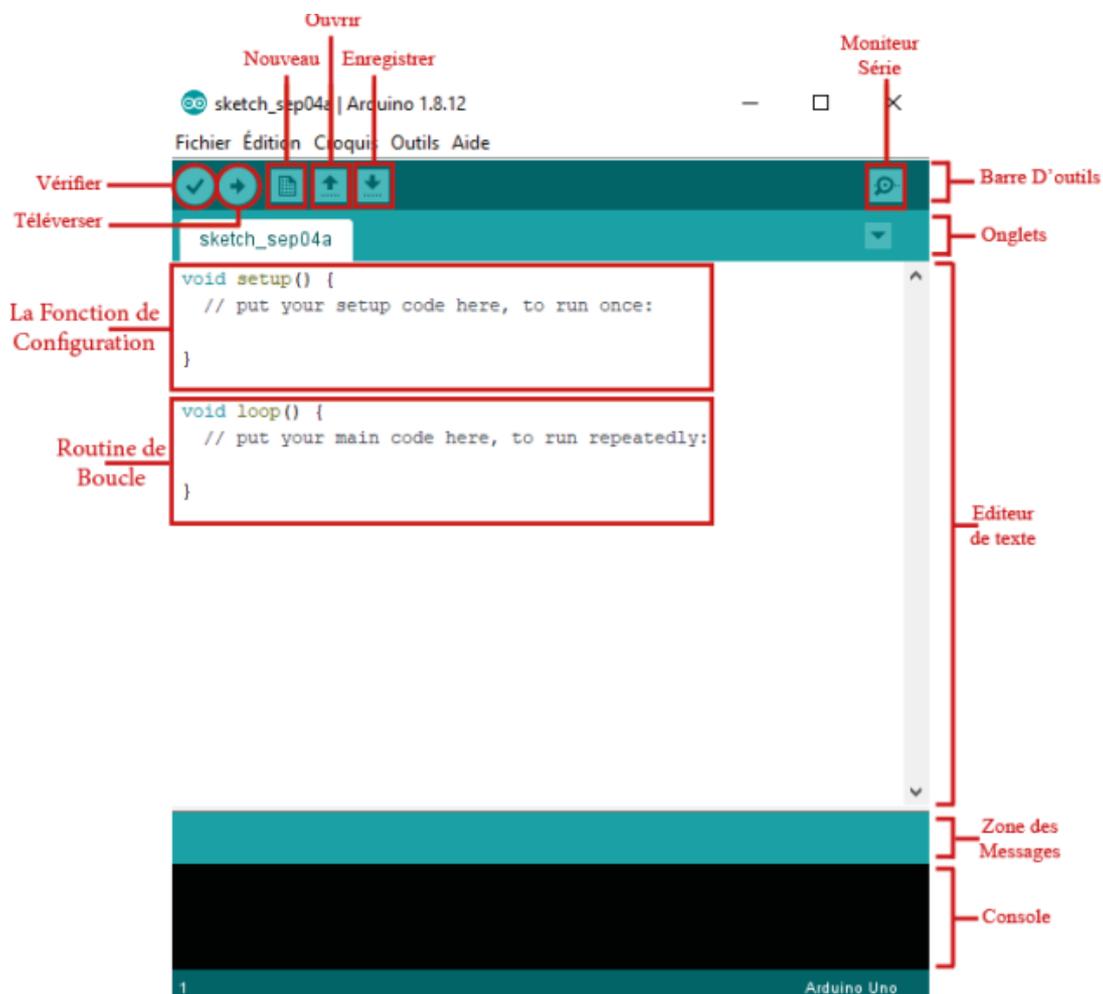
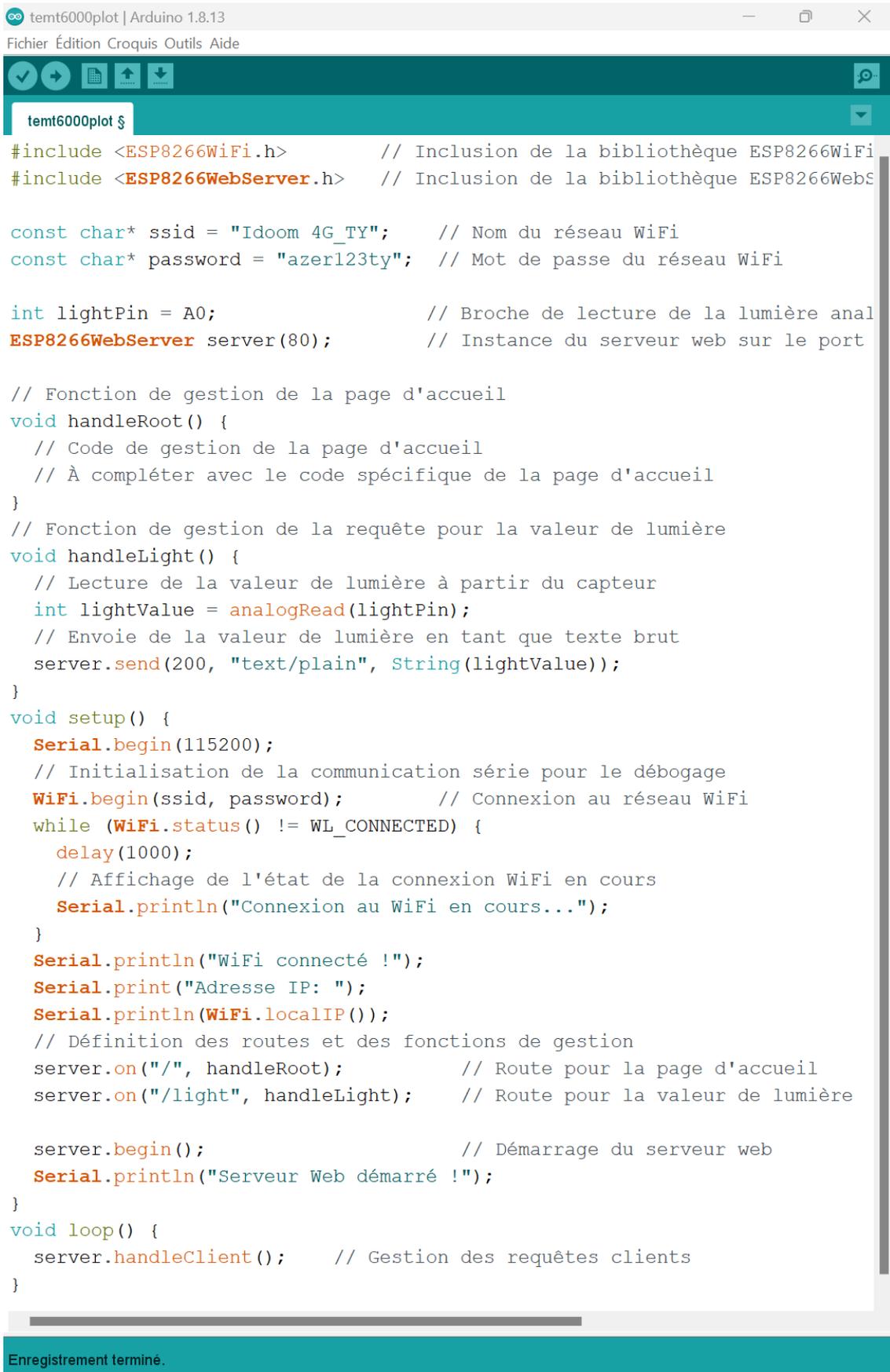


Figure III.6. Fenêtre principale de l'application Arduino



```
temt6000plot | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide

temt6000plot $
#include <ESP8266WiFi.h>          // Inclusion de la bibliothèque ESP8266WiFi
#include <ESP8266WebServer.h>     // Inclusion de la bibliothèque ESP8266WebS

const char* ssid = "Idoom 4G_TY"; // Nom du réseau WiFi
const char* password = "azer123ty"; // Mot de passe du réseau WiFi

int lightPin = A0;                // Broche de lecture de la lumière anal
ESP8266WebServer server(80);      // Instance du serveur web sur le port

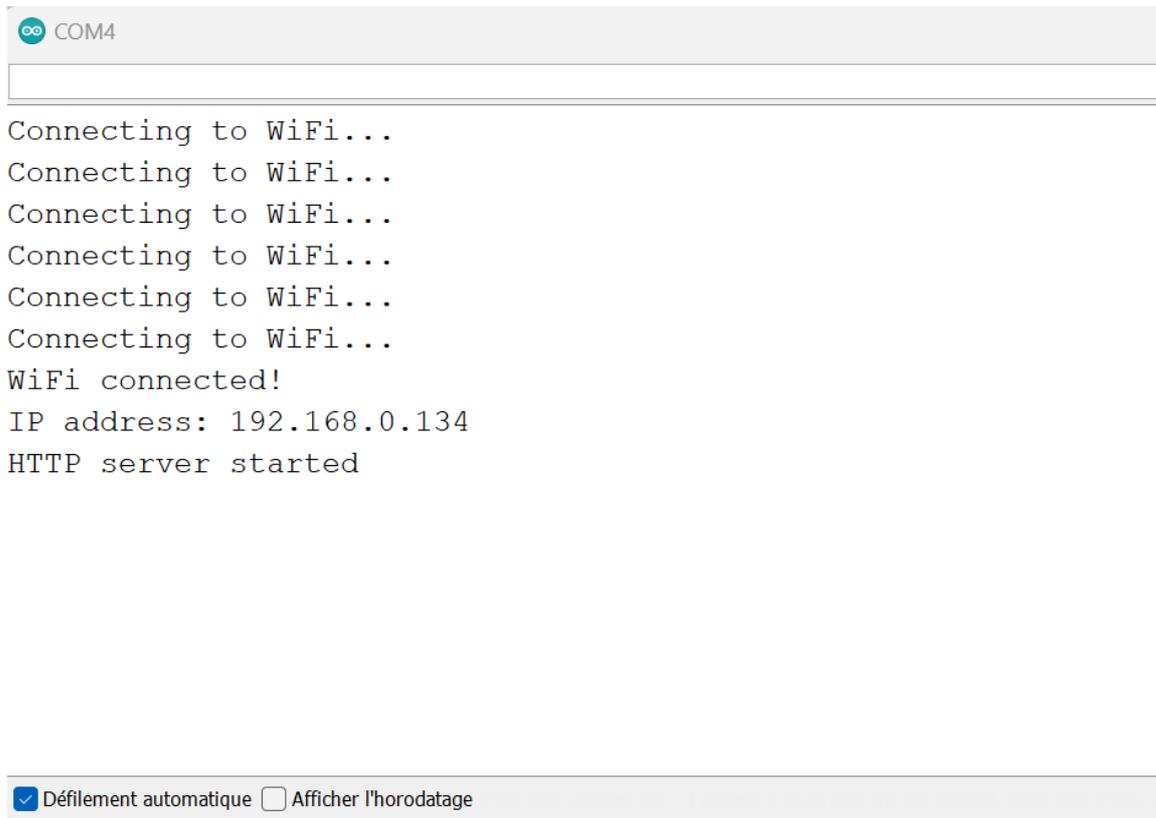
// Fonction de gestion de la page d'accueil
void handleRoot() {
  // Code de gestion de la page d'accueil
  // À compléter avec le code spécifique de la page d'accueil
}
// Fonction de gestion de la requête pour la valeur de lumière
void handleLight() {
  // Lecture de la valeur de lumière à partir du capteur
  int lightValue = analogRead(lightPin);
  // Envoie de la valeur de lumière en tant que texte brut
  server.send(200, "text/plain", String(lightValue));
}
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // Initialisation de la communication série pour le débogage
  WiFi.begin(ssid, password); // Connexion au réseau WiFi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    // Affichage de l'état de la connexion WiFi en cours
    Serial.println("Connexion au WiFi en cours...");
  }
  Serial.println("WiFi connecté !");
  Serial.print("Adresse IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  // Définition des routes et des fonctions de gestion
  server.on("/", handleRoot); // Route pour la page d'accueil
  server.on("/light", handleLight); // Route pour la valeur de lumière

  server.begin(); // Démarrage du serveur web
  Serial.println("Serveur Web démarré !");
}
void loop() {
  server.handleClient(); // Gestion des requêtes clients
}
```

Enregistrement terminé.

Figure III.7. Programme de mesure de la luminosité en temps réel

La figure ci-dessous représente le résultat lu sur le moniteur série de l'application Arduino.



```
COM4  
Connecting to WiFi...  
WiFi connected!  
IP address: 192.168.0.134  
HTTP server started
```

Défilement automatique Afficher l'horodatage

Figure III.8. Résultat de succès visualiser sur le moniteur série

III.2.7 Visual studio

Visual Studio est un environnement de développement intégré (IDE) créé par Microsoft. Il prend en charge plusieurs langages de programmation et offre des fonctionnalités d'édition, de débogage et de développement avancées. L'interface utilisateur est conviviale et personnalisable. Il permet de développer des applications multiplateformes pour différentes plateformes telles que Windows, Android, iOS, web et cloud. Visual Studio s'intègre à d'autres outils et services pour faciliter le développement et est disponible en différentes éditions, dont la version gratuite appelée Visual Studio Community.

Est le suivant le code de notre page d'accueil de site web et son interface. Lorsque vous entrez dans le lien du site web dans le logiciel Chrome (ou équivalent), vous verrez la page d'accueil des capteurs avec le titre "Page d'accueil des capteurs" et les boutons correspondant au lien de visualisation du graphe de chaque capteurs chaque capteur (BMP280, TEMT6000, DHT11, AC712).

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Page d'accueil des capteurs</title>
  <style>
    body {
      font-family: Arial, sans-serif;
      text-align: center;
      background-color: #f2f2f2;
      background-image: url('UMBB.png');
      background-size: auto 30%;
      background-position: top left;
      background-repeat: no-repeat;
      padding-top: 100px;
    }
    h1 {
      color: #333;
    }
    .button {
      display: inline-block;
      padding: 10px 20px;
      font-size: 18px;
      background-color: #4CAF50;
      color: #fff;
      text-decoration: none;
      margin: 10px;
      border-radius: 4px;
    }
    .footer {
      font-size: 12px;
      margin-top: 50px;
      color: #999;
    }
  </style>
</head>
<body>
  <h1>Page d'accueil des capteurs</h1>
  <a href="http://192.168.0.134/bmp280.html" class="button">Capteur BMP280</a>
  <a href="http://192.168.0.134/temt6000.html" class="button">Capteur TEMT6000</a>
  <a href="http://192.168.0.134/dht11.html" class="button">Capteur DHT11</a>
  <a href="http://192.168.0.134/ac712.html" class="button">Capteur AC712</a>

  <div class="footer">
    <p>Made by CISSE et MASSY</p>
    <p>Merci Mr Kaoune</p>
  </div>
</body>
</html>

```

Figure III.9. Programme du landing page sur Visual studio

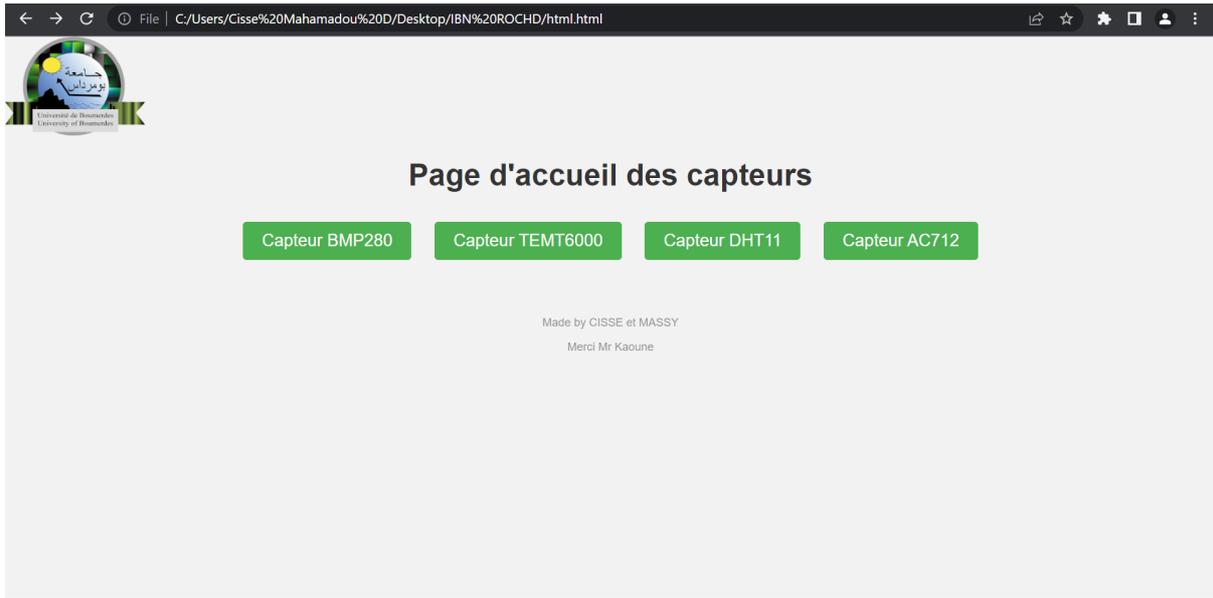


Figure III.10. Page d'accueil (interface site web)

La figure suivante est l'exemple qu'on a utilisé pour la page du capteur TEMENT6000, il s'agit du code HTML et CSS.

```
1 <!DOCTYPE HTML>
2 <html>
3
4 <head>
5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
6   <script src="https://code.highcharts.com/highcharts.js"></script>
7   <style>
8     body {
9       min-width: 310px;
10      max-width: 800px;
11      height: 400px;
12      margin: 0 auto;
13    }
14
15    h2 {
16      font-family: Arial;
17      font-size: 2.5rem;
18      text-align: center;
19    }
20  </style>
21 </head>
22
23 <body>
24   <h2>Capteur de lumière TEMENT6000</h2>
25   <div id="chart-light" class="container"></div>
26 </body>
```

Figure III.11. Code sur Visual studio du web design

Le code JavaScript qui recueille les données collectées en les transformant en graphes est la suivantes (cas du TEMENT6000)

```

JS script.js > [0] chart
1  var chart = new Highcharts.Chart({
2    chart: { renderTo: 'chart-light' },
3    // Création d'un graphique Highcharts et spécification de l'élément HTML où il sera rendu (id="
4
5    title: { text: 'Valeur de lumière' },
6    // Titre du graphique
7
8    series: [{
9      showInLegend: false,
10     data: []
11   }],
12   // Création d'une série de données vide pour le graphique
13
14   plotOptions: {
15     line: {
16       animation: false,
17       dataLabels: { enabled: true }
18     },
19     series: { color: '#f9a602' }
20   },
21   // Options de tracé du graphique : pas d'animation, affichage des étiquettes de données, couleur
22
23   xAxis: {
24     type: 'datetime',
25     dateTimeLabelFormats: { second: '%H:%M:%S' }
26   },
27   // Configuration de l'axe des abscisses en tant que type "datetime" avec le format d'étiquette
28
29   yAxis: {
30     title: { text: 'Valeur de lumière' }
31   },
32   // Configuration de l'axe des ordonnées avec un titre
33
34   credits: { enabled: false }
35   // Désactivation de la mention de crédits Highcharts dans le coin inférieur droit
36 });
37
38 setInterval(function () {
39   // Fonction exécutée à intervalles réguliers
40
41   var xhttp = new XMLHttpRequest();
42   // Création d'un nouvel objet XMLHttpRequest pour effectuer des requêtes HTTP asynchrones
43
44   xhttp.onreadystatechange = function () {
45     if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
46       // Vérification de l'état et du statut de la requête
47
48       var x = (new Date()).getTime(),
49           y = parseFloat(this.responseText);
50       // Obtention de la date et de la valeur de lumière à partir de la réponse HTTP
51
52       if (chart.series[0].data.length > 40) {
53         chart.series[0].addPoint([x, y], true, true, true);
54         // Ajout d'un point de données au graphique avec défilement
55       } else {
56         chart.series[0].addPoint([x, y], true, false, true);
57         // Ajout d'un point de données au graphique sans défilement
58       }
59     }
60   };
61
62   xhttp.open("GET", "/light", true);
63   // Configuration de la requête HTTP GET vers "/light" (la fonction handleLight() sera appelée)
64
65   xhttp.send();
66   // Envoi de la requête HTTP asynchrone
67 }, 1000);
68 // Exécution de la fonction à intervalles de 1000 millisecondes (1 seconde)

```

Figure III.12. Code Javascript du graphique du site

III.1. Essais expérimentaux :

III.3.1 Essai expérimental avec le capteur DHT11

Le tableau ci-dessous représente les connexions entre les broches DHT11 et ESP8266 :

Tableau III.2 Connexion du DHT11 à la carte ESP8266

ESP8266	DHT11
3V3	VCC
GND	GND
D4	DATA

La vue générale du branchement du capteur DHT11 est donnée par le prototype suivant :

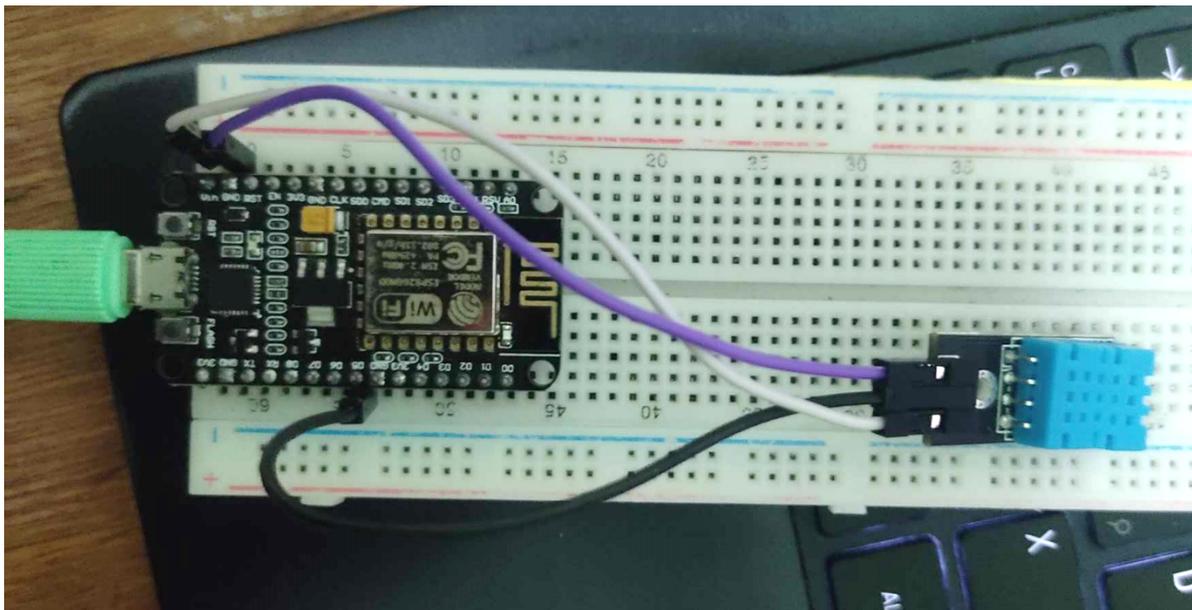


Figure III.13. Photo du prototype DHT11-ESP8266

Le graphe ci-dessous représente les résultats obtenus à partir du capteur DHT11 connecté à notre ESP8266. Ce graphe illustre la mesure de la valeur de l'humidité collectée par le capteur, qui sont ensuite transmises via un serveur web distant.

III.3.2 Essai expérimental avec le capteur BMP280

Le tableau ci-dessous représente les connexions entre les broches BMP280 et ESP8266 :

Tableau III.3. Connexion du BMP280 à la carte ESP8266

ESP8266	BMP280
3V3	VCC
GND	GND
D1	SDA
D2	SCL

La vue générale du branchement du capteur BMP280 est donnée par le prototype suivant :

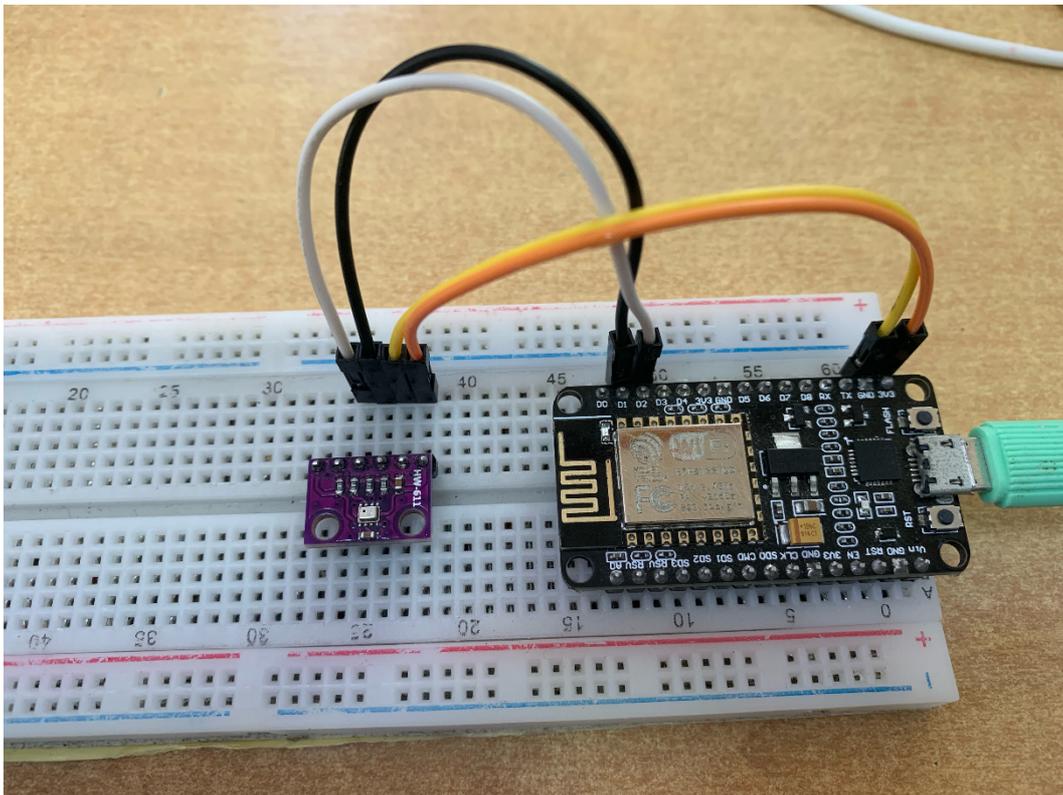


Figure III.14. Photo du prototype BMP280-ESP8266

Les graphes ci-dessous représente les résultats obtenus à partir du capteur BMP280 connecté à notre ESP8266. Ces graphes illustrent les mesures de température de pression atmosphérique et d'altitude collectées par le capteur, qui sont ensuite transmises via un serveur web distant.

Valeurs du capteur BMP280

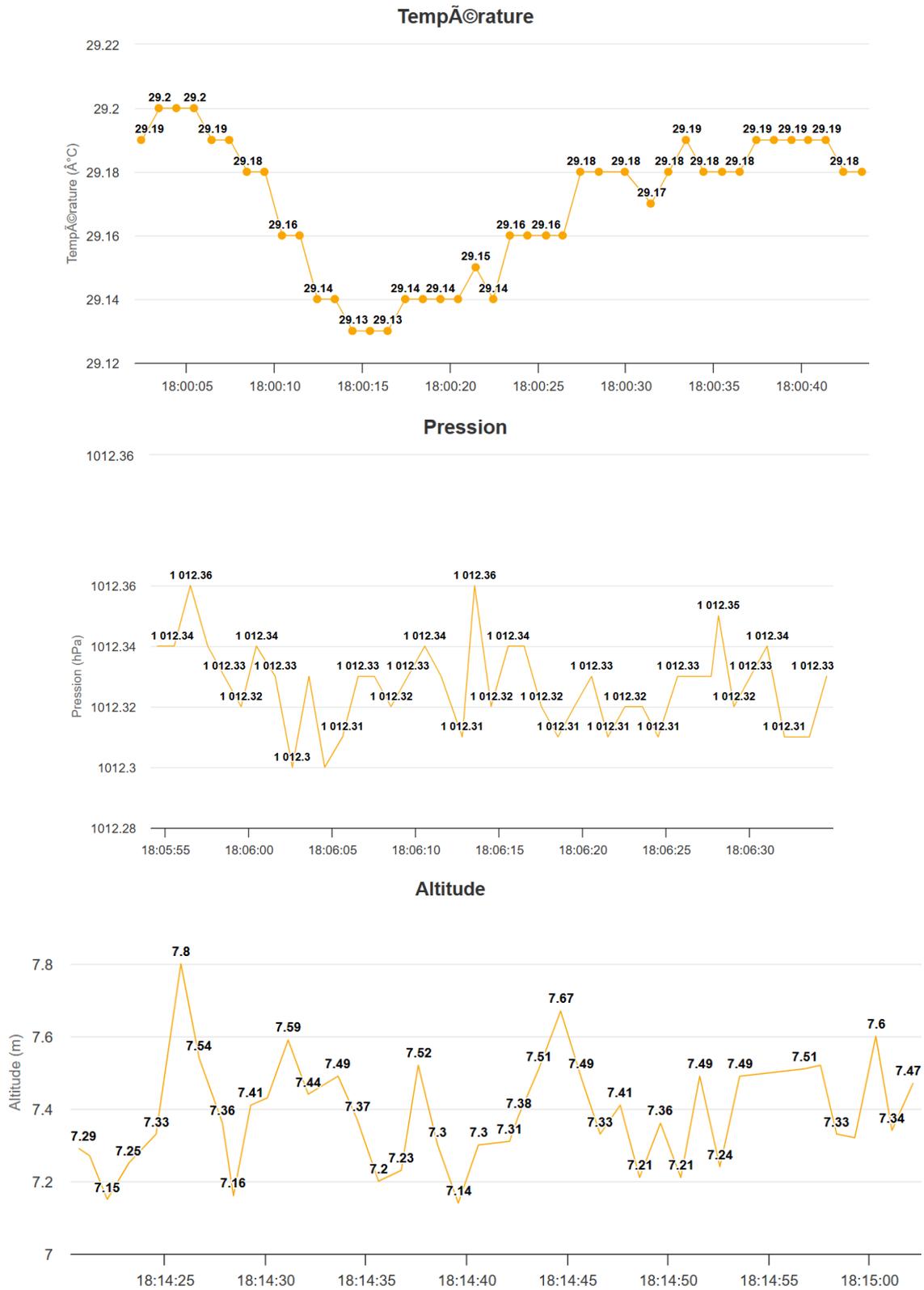


Figure III.15. Graphiques en temps réel des mesures (BMP280)

III.3.3 Essai expérimental du capteur d'éclairement (TEMT6000) :

Le tableau ci-dessous représente les connexions entre les broches TEMT6000 et ESP8266 :

Tableau III.4. Connexion du TEMT6000 à la carte ESP8266

ESP8266	TEMT6000
3V3	VCC
GND	GND
A0	Sortie

La vue générale du branchement du capteur BMP280 est donnée par le prototype suivant :

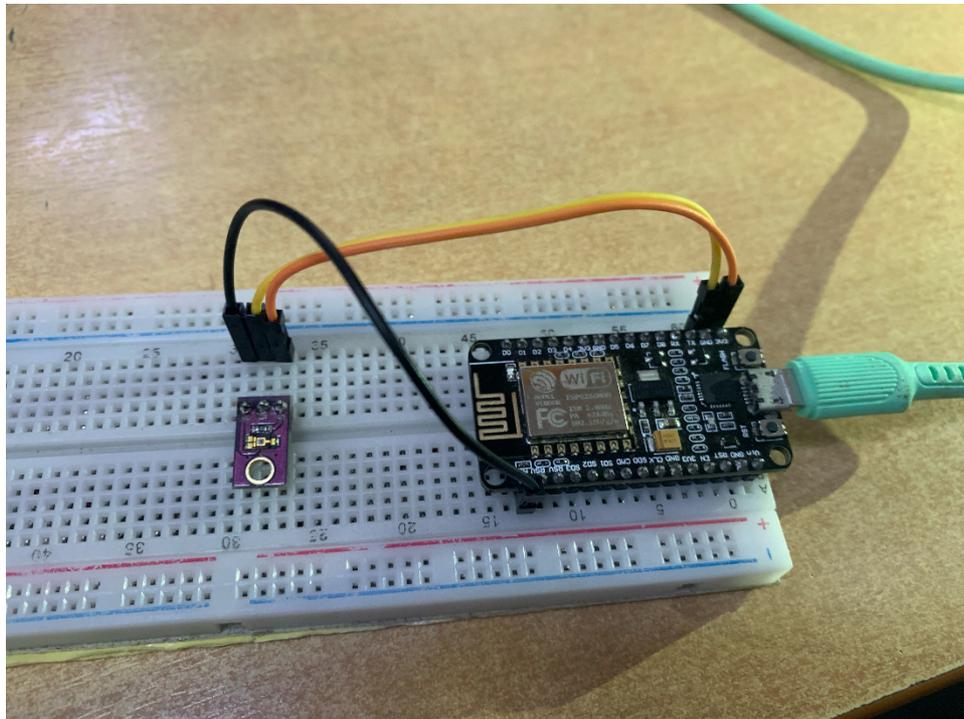


Figure III.16. Photo du prototype TEMT6000-ESP8266

Le graphique ci-dessous représente les résultats obtenus à partir du capteur TEMT6000 connecté à la carte ESP8266. Ce graphe illustre la mesure de la valeur de luminosité collectée par le capteur, qui est ensuite transmise via un serveur web distant.

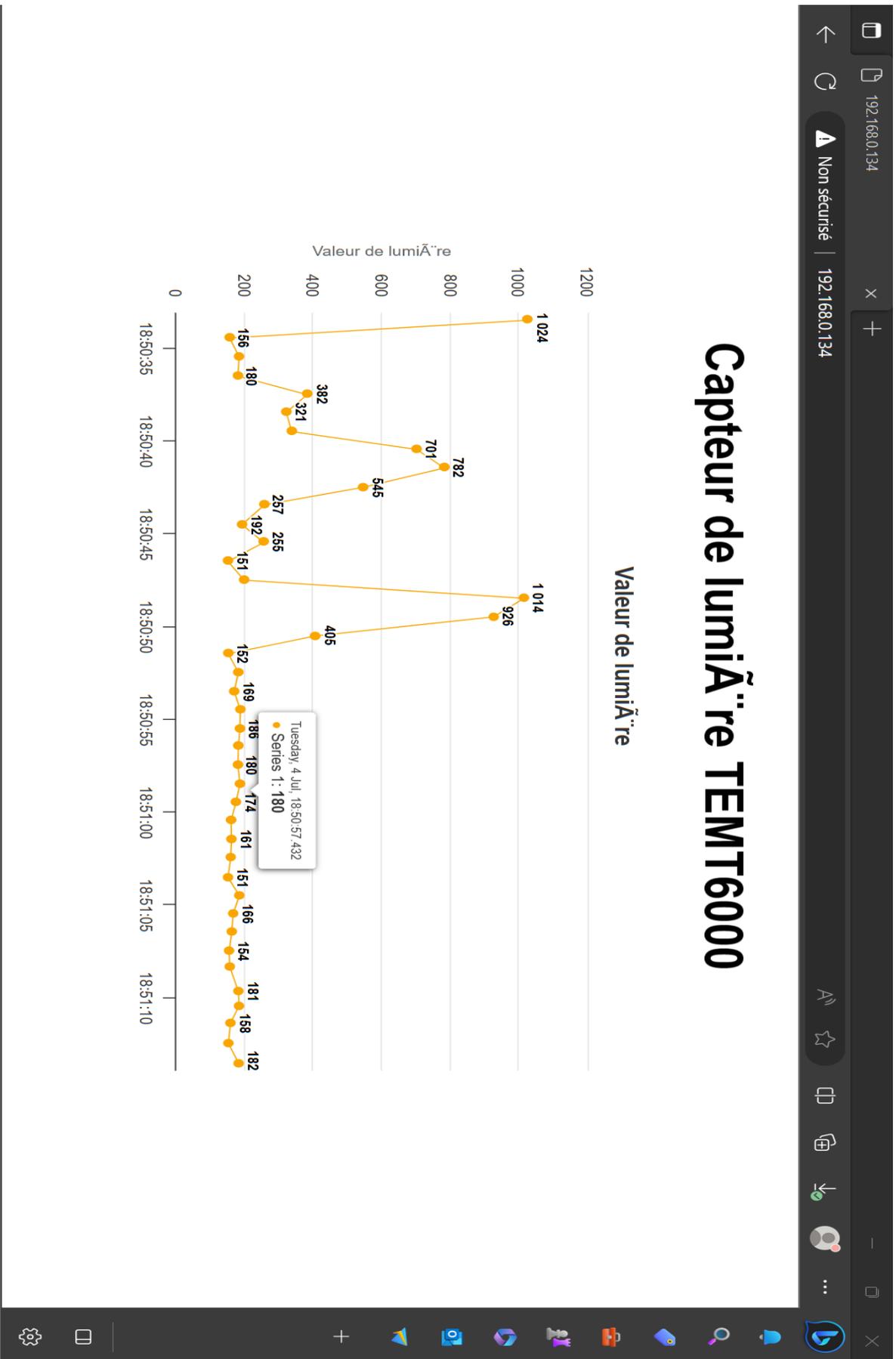


Figure III.20. Graphique en temps réel de la valeur de luminosité (Temt6000) sur le serveur

III.3.4 Utilisation du capteur de courant ACS712

Le tableau ci-dessous représente les connexions entre les broches ACS712 et ESP8266 :

Tableau III.5 Connexion de l'ACS712 à la carte ESP8266

ESP8266	ACS712
3V3	VCC
GND	GND
A0	Sortie analogique

La vue générale du branchement du capteur BMP280 est donnée par le prototype suivant :

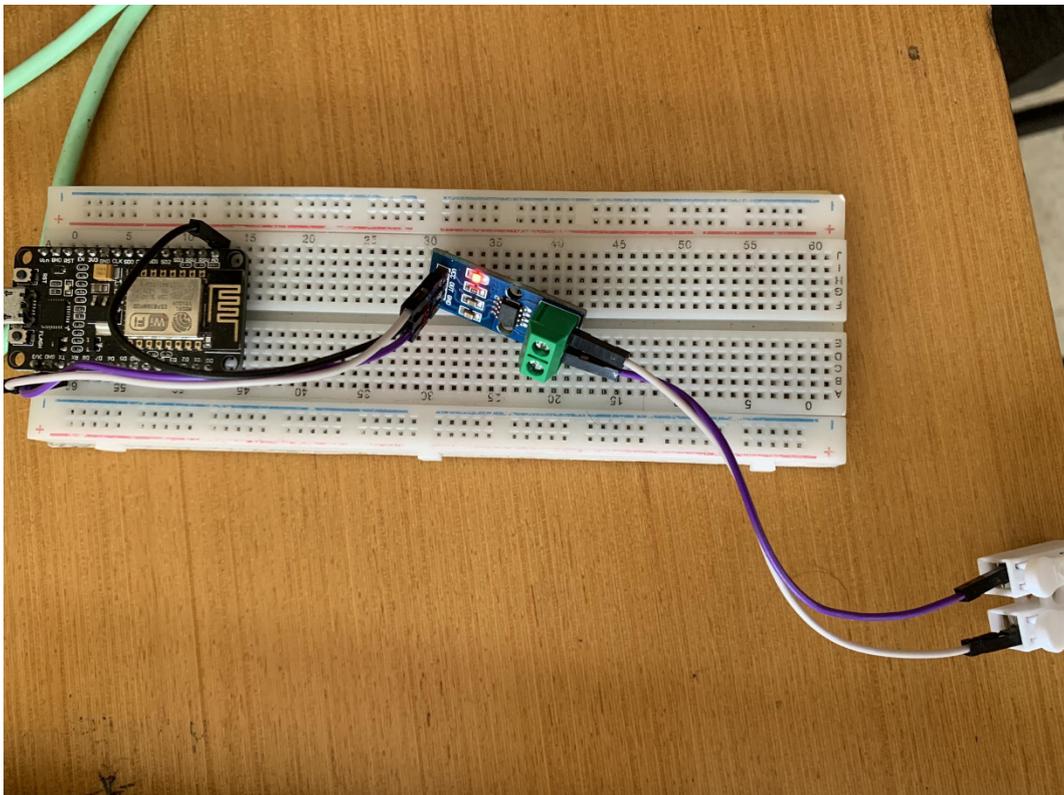


Figure III.24. Photo du prototype ACS712-ESP8266

Le graphe ci-dessous représente les résultats obtenus à partir du capteur ACS712 connecté à notre ESP8266. Ce graphe illustre la mesure de la valeur du courant collectée par le capteur, qui sont ensuite transmises via un serveur web distant.

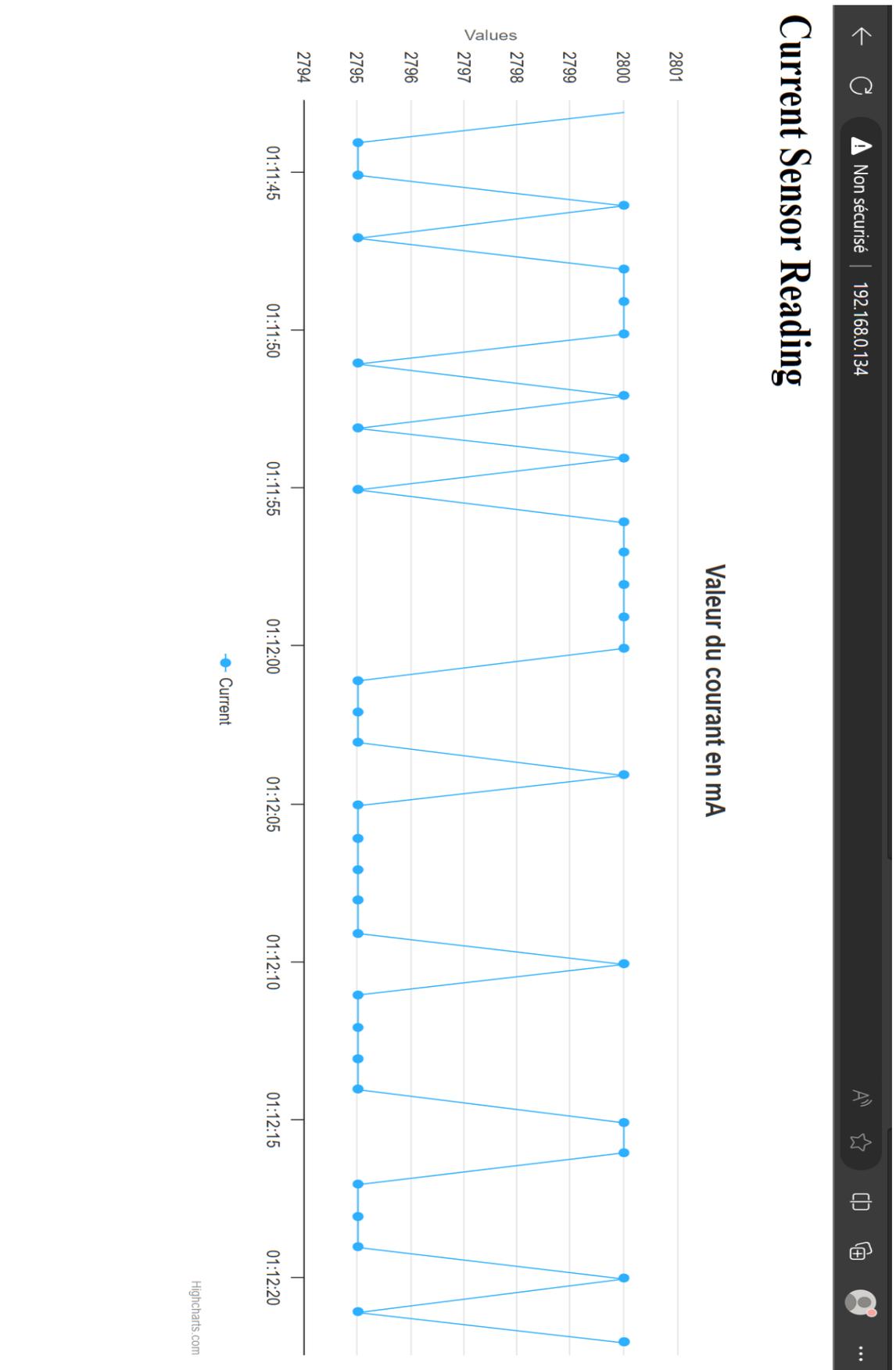


Figure III.28. Graphique en temps réel de la valeur du courant (ACS712)

III.2. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons effectué la réalisation d'un système IOT intégré combinant des concepts de météorologie, de photovoltaïque, de serveur web et de graphisme. Cette combinaison de technologies vise à créer un système complet et efficace pour la surveillance de la collecte des données pour des fins d'affichage et d'analyse en temps réels.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion Générale

En conclusion, notre projet de fin d'études (PFE) s'est concentré à la réalisation d'un système de collecte et de transmission sans fil des données d'une installation photovoltaïque.

Dans le premier chapitre, nous avons abordé les généralités sur les énergies renouvelables, mettant en évidence leur importance croissante dans le contexte actuel de transition énergétique. Nous avons également mis l'accent sur le domaine spécifique du photovoltaïque, qui joue un rôle essentiel dans la production d'énergie à partir de sources solaires.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur l'étude approfondie des techniques d'optimisation d'énergie, en nous penchant spécifiquement sur les suiveurs solaires et l'IoT. Nous avons exploré les principes de fonctionnement des suiveurs solaires, qui nous permettent d'ajuster l'orientation des panneaux photovoltaïques pour suivre la trajectoire du soleil et optimiser la production d'énergie. Nous avons également mis en évidence les avantages de l'IoT dans le domaine de l'énergie renouvelable, en facilitant la collecte, la transmission et l'analyse des données en temps réel.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté la réalisation concrète d'un système de transmission des données sans fil basé sur l'IoT. Nous avons décrit les différentes étapes de conception et de mise en œuvre, en utilisant des capteurs pour collecter les données du suiveur solaire, des modules de communication sans fil pour transmettre les données et une infrastructure de serveur web distant pour les recevoir et les traiter.

En perspective, l'exploitation des technologies de l'Internet des objets (IoT) et de l'intelligence artificielle (AI) ouvrira de nouvelles perspectives pour améliorer la gestion et l'optimisation des systèmes de suivi solaire. L'utilisation des modèles prédictifs basés sur l'AI permettra une surveillance avancée, une détection précoce des problèmes et une optimisation en temps réel des paramètres du suiveur solaire, contribuant ainsi à une efficacité accrue et à de meilleures mesures correctives en cas de dégradation des panneaux solaires.

Références bibliographiques

- [1] (éd.), Jayanta Mondol. *Renewable Energy Sources and Their Applications: A Comprehensive Guide*. s.l. : Springer, 2021.
- [2] *Fournir toute l'énergie mondiale avec l'énergie éolienne, hydraulique et solaire, Partie I : Technologies, ressources énergétiques, quantités et zones d'infrastructure, et matériaux*. Jacobson, Mark A. Delucchi et Mark Z. [éd.] *Energy Policy*. pp. 1154 - 1169.
- [3] *The Integration of Renewable Energy Sources in the European Electricity Market: The Future Role of Energy Storage*. Klessmann, C., Held, A., & Rathmann, M. (Eds.). [éd.] Springer. 2013.
- [4] *Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires*. Becquerel, A. E. 1839. *Comptes Rendus*, 9, 561-567.
- [5] *On a New Form of Selenium Photocell and the Physical Actions Produced by Light*. 1884, *American Journal of Science*, 27(159), 49-59.
- [6] *Power for Space Vehicles." Astronautics*,. Williams, G. D. 1959, pp. 72-73.
- [7] *Energie solaire photovoltaïque (volume1 : physique et technologie de laconversion photovoltaïque)*. Equer, B. Paris : s.n., 1993.
- [8] Product Applications - Passive Tracker. *CompSolar*. [En ligne]
http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Le_photovolta%C3%AFque_sous_concentration#cite_note-17.
- [9] *Repérage sur la sphère céleste*. Lyon : Observatoire de Lyon (FC), 2007.
- [10] Bendjellouli, Z. *Contribution à la modélisation d'une cellule solaire*. 2009. Mémoire de magister université de bachar.
- [11] A. .: S. Sukhatme, "Solar Energy Engineering: Processes and Systems", 2014.
- [12] D. A. Bainbridge, *Passive Solar Architecture: Heating, Cooling, Ventilation, Daylighting and More Using Natural Flows*, 2011.
- [13] M. d. Simón-Martín, 2020.
- [14] A. Hemidat, "Solar Tracking Systems: Classification, Design, and Analysis", 2020.
- [15] N. M. e. A. S. A. R. Mekhilef, *Solar Tracking Systems: Advances in Technology and Performance*, 2017.
- [16] A. Walker, *Solar Energy: Technologies and Project Delivery for Buildings*, 2013.
- [17] O. Hersent, *The Internet of Things: Key Applications and Protocols*, 2017.
- [18] A. V. D. e. M. B. Rajkumar Buyya, *Internet of Things: Principles and Paradigms*, 2016.

- [19] M. Kranz, Building the Internet of Things: Implement New Business Models, Disrupt Competitors, Transform Your Industry, 2016.
- [20] A. B. e. V. Madisetti, Internet of Things: A Hands-On Approach, 2014.
- [21] P. L. e. V. Williams, Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security, 2018.

ANNEXE

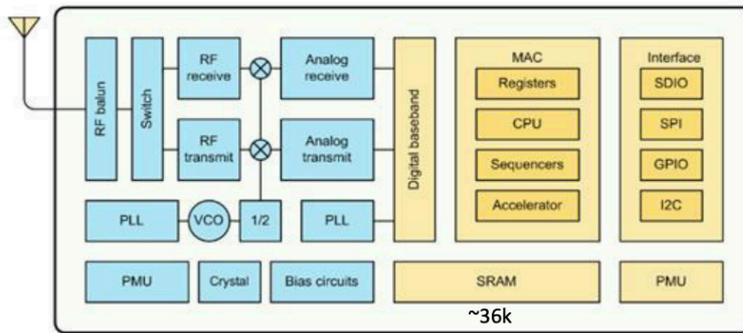
1.2 Circuit ESP8266



- **Espressif Systems (Shanghai) Pte. Ltd.**

- 32 pin Ultra Low Power
- WIFI 2.4GHz b,g,n WPA/WPA2
- 80/160Mhz (pll)
- 32 bits RTOS inclus (pas visible)
- 80% de la puissance disponible (non wifi)

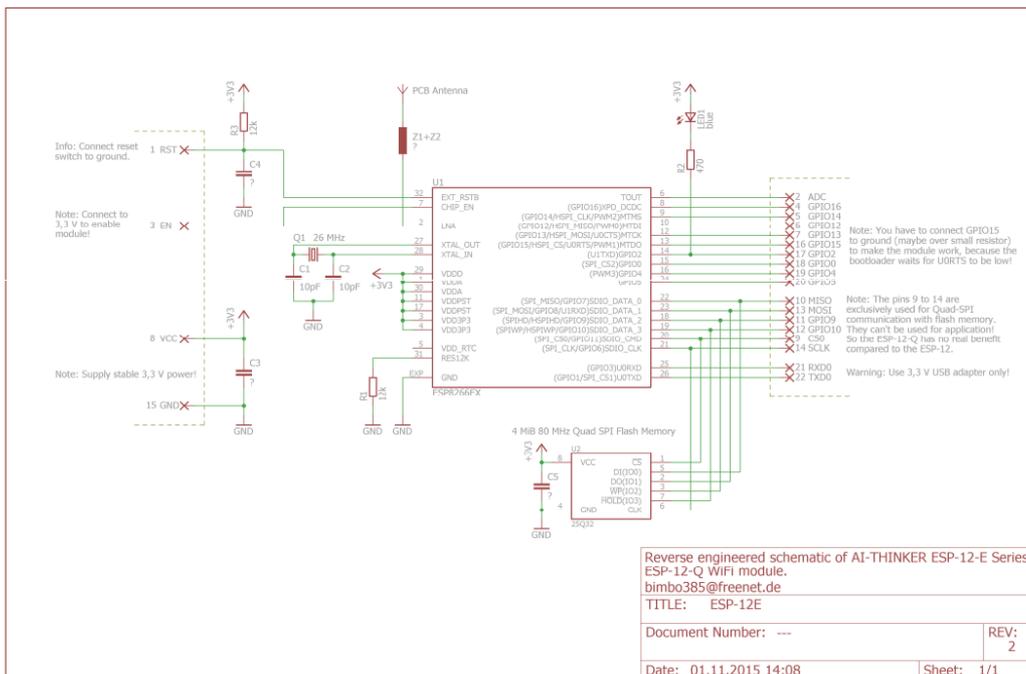
- Home Appliances
- Home Automation
- Smart Plug and lights
- Mesh Network
- Industrial Wireless Control
- Baby Monitors
- IP Cameras
- Sensor Networks
- Wearable Electronics



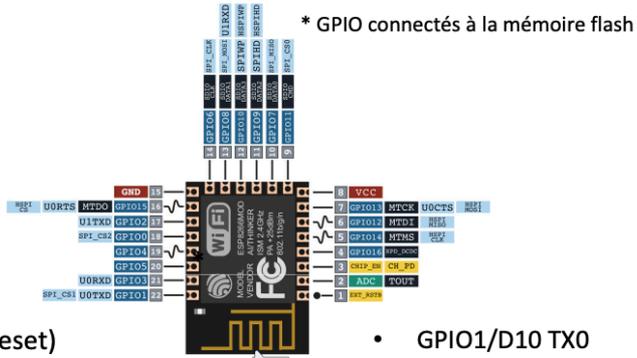
- Flash externe: 512b-16Mb

ARM Core: Tensilica LX106

ESP8266 Schéma



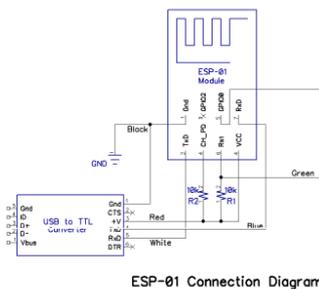
1.3 connexion de ESP8266



- Reset (High=run, Low=reset)
- ADC
- CH_PD, Enable (High=on, Low=off)
- GPIO16/D0/USER/WEAK
- GPIO14/D5/SPI-SCK
- GPIO12/D6/MISO
- GPIO13/D7/MOSI
- GPIO1/D10 TX0
- GPIO3/D9 RX0
- GPIO5 /D1/SCL(I2C)
- GPIO4 /D2/SDA(I2C)
- GPIO0/D3/FLASH
- GPIO2/D4
- GPIO15/D8/TX2/SPI-CS

Si 6 pins en bas, elles sont connectées au SPI interne / en parallèle sur la mémoire

ESP8266 boot mode



	GPIO 0	GPIO 2	GPIO 15
UART Download Mode (Programming)	0	1	0
Flash Startup (Normal)	1	1	0
SD-Card Boot	0	0	1

- Pour le mode normal,
 - GPIO15 est tenu à « 0 » par une résistance de 10k
 - GPIO 0 et GPIO 2 sont tenus à « 1 » par 10kOhm
- Mode Flash(par UART) GPIO0 est mis à 0 (Bouton,...)
- Seul avec une carte SD, GPIO2 doit être mise à 0 au démarrage (boot from SD card)