

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : ESEM

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

SMAILI Younes Abdelkadir

TAIBAOUI Noureddine

Intitulé

**Étude de conception d'un système de
télémessure des paramètres climatiques d'un
système photovoltaïque**

Soutenu devant le jury composé de:

Pr. Saigaa Djamel	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. Benhamadouche Abdelouahab	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. Drif Mahmoud	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Co- Rapporteur
Dr. Bouchelaghem Ahmed	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023

ملخص:

الألواح الكهروضوئية هي أجهزة إلكترونية تحول ضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام التأثير الكهروضوئي. يستخدم على نطاق واسع في تطبيقات الطاقة الشمسية ويوفر مصدرًا نظيفًا ومتجددًا للطاقة. يتضمن مشروعنا ربط Arduino بلوحة PV لالتقاط البيانات التي تشير إلى درجة حرارة وشدة الإشعاع الشمسي والإمالة، ثم نقل البيانات التي يتم جمعها إلى Arduino المتصل بـ LabVIEW. سيسمح لنا هذا النظام بمراقبة أداء لوحة PV في الوقت الفعلي وتحسين كفاءتها، ويسمح لنا باتخاذ قرارات مستنيرة لتعزيز إنتاج الطاقة.

Résumé :

Les panneaux photovoltaïques (PV) sont des appareils électroniques qui convertissent la lumière du soleil en électricité en utilisant l'effet photovoltaïque. Il est largement utilisé dans les applications d'énergie solaire et fournit une source d'énergie propre et renouvelable. Notre projet consiste à connecter un Arduino à un panneau PV pour capturer des données indiquant la température et l'intensité de l'irradiance solaire et l'inclinaison, et ensuite transmettre des données qui sont récoltées à un Arduino connecté à LabVIEW. Ce système nous permettra de surveiller les performances du panneau PV en temps réel et d'optimiser son efficacité, et permettant de prendre des décisions éclairées pour maximiser sa production d'énergie.

Abstract :

Photovoltaic (PV) panels are electronic devices that convert sunlight into electricity using the photovoltaic effect. It is widely used in solar energy applications and provides a clean and renewable energy source. Our project involves connecting an Arduino to a PV panel to capture data indicating the temperature and intensity of solar irradiance and tilt, and then transmitting data that is collected to an Arduino connected to LabVIEW. This system will allow us to monitor the performance of the PV panel in real time and optimize its efficiency, and allow us to make informed decisions to maximize its energy production.

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 1

1.	Introduction.....	2
2.	L'éclairage solaire	2
2.1.	Rayonnement solaire.....	2
2.2.	Spectre du rayonnement.....	2
.2.3	La constante solaire	3
3.	La cellule photovoltaïque	4
3.1.	Définition d'une cellule solaire	4
3.2.	Le principe de fonctionnement	4
3.3.	Types de cellules.....	5
3.4.	Mode de connexion des cellules photovoltaïques	7
.4	Les effets des changements environnementaux.....	9
4.1.	Influence de la Température	9
4.2.	Influence de l'Éclairage.....	9
4.3.	L'inclinaison (angle d'incidence).....	10
5.	Les composantes d'un système photovoltaïque.....	11
.5.1	Les générateurs photovoltaïques.....	11
6.	Types des systèmes existants	12
6.1.	Systèmes autonomes	12
6.2.	Systèmes connectés au réseau.....	13
7.	Conclusions.....	14

Chapitre 2

1.	Introduction.....	16
2.	Vue d'ensemble du système de surveillance PV	16
3.	Techniques de mesure.....	17
3.1.	Techniques de mesure de l'irradiance	17
.3.2	Techniques de mesure de la température.....	22
.3.3	Techniques de mesure du courant.....	24
.3.4	Techniques de mesure de la tension	26
4.	Interface de communication.....	27
4.1.	La communication filaire.....	27
4.2.	La communication sans-fils	27
5.	Conclusion	31

Chapitre 3

1.	Introduction	32
2.	Système de la mesure et de surveillance (Concept général)	32
3.	Cahier des charges et spécification	33
3.1.	Exigence Fonctionnelles	33
3.1.1.	Station d'acquisition	33
3.1.2.	Station de base.....	34
3.2.	Les contraintes de conception	35
4.	LabVIEW	35

4.1.	Fonctionnement.....	35
4.2.	Concepts clés de LabVIEW	36
4.3.	L'interface LabVIEW	36
4.4.	LabVIEW et les plateformes de développement Arduino	37
5.	Conception de l'architecture fonctionnelle	38
5.1.	Architecture de la station d'aquisition	39
5.2.	Architecture de la station de base	39
6.	Composants pour la réalisation des dispositifs électronique	40
6.1.	Capteur de la température	40
6.2.	Capteur de l'éclairement	41
6.3.	Capteur d'inclinaison	42
6.4.	Mesure du courant et de la tension	43
6.4.1.	Capteur de courant	43
6.5.	Capteur de tension	44
7.	Conclusion	45

Chapitre 4

1.	Introduction.....	46
2.	Résultats de simulation du système par Proteus	46
2.1.	Schéma global du système par Proteus	47
2.2.	Mesure de la tension et du courant	48
2.3.	Mesure de la température.....	50
2.4.	Mesure de l'éclairement.....	52
2.5.	Mesure de l'inclinaison	53
2.6.	Communication sans-fils avec le module nRF24L01	54
.3	La réalisation de l'interface avec LABVIEW.....	55
3.1.	Le schéma du bloc de control sur LABVIEW	55
3.2.	Explication des différents éléments du bloc de control	56
4.	Organigramme de fonctionnement du système de télémesure.....	59
.5	Conclusion	59
	Conclusion générale.....	60

Introduction générale

Introduction générale

A l'ère moderne, une grande partie de la consommation d'énergie dans le monde est constituée des trois types de combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon), mais leur consommation excessive a montré la possibilité de leur épuisement et la diminution des volumes disponibles de certaines ressources naturelles et leurs effets négatifs sur l'environnement. Ceci a fortement encouragé la recherche et le financement dans le domaine des énergies renouvelable, notamment l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire renouvelable est une solution inaltérable qui permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de minimiser leurs impacts environnementaux catastrophique. Cependant, des efforts continus sont nécessaires pour améliorer l'efficacité et l'intégration de l'énergie solaire dans notre système énergétique mondial.

L'énergie solaire présente des avantages tels que sa disponibilité continue et son efficacité élevée. Cependant, elle est influencée par les conditions climatiques. Afin d'optimiser son utilisation, les scientifiques ont développé des méthodes d'optimisation qui sont basés sur la surveillance temps réel, et qui permettent de générer efficacement les systèmes de production photovoltaïques.

Les générateurs photovoltaïque (GPV) sont exposés à plusieurs difficultés lors de leur fonctionnement, tels que la pollution, l'ombrage ainsi que des problèmes de fiabilité et de durabilité. D'un autre côté, le fonctionnement des GPV est aussi être entravé par des problèmes liés au système de surveillance, tels que la perte de connexion, l'incohérence des données et les erreurs de lecture des capteurs environnementaux. Et le problème de la transmission de données sur une longue distance en temps réel.

Les technologies de surveillance offrent aux propriétaires et aux exploitants des générateurs PV des informations en temps réel sur les paramètres essentiels au fonctionnement et aux performances du système. L'objectif de ce travail est de concevoir un système de surveillance distant et bon marché, qui permet un surveillance temps réel tout en maintenant l'intégrité des données et la fiabilité de la communication.

Le manuscrit présenté est composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre décrit le fonctionnement et les différents types de systèmes photovoltaïques. Le deuxième chapitre présente un état de l'art sur les méthodes et outils de monitoring des générateurs photovoltaïque. Le troisième chapitre présente les étapes de conception du système de surveillance. Le quatrième chapitre est consacré à la conception, la simulation et la réalisation du système étudié.

Le mémoire se termine par une conclusion sur les résultats obtenus et les perspectives futures de ce travail.

Chapitre 1

1. Introduction

Les cellules photovoltaïques sont capables de convertir la lumière du soleil en électricité grâce à l'effet photovoltaïque, qui est le phénomène physique par lequel les photons de lumière peuvent libérer des électrons dans un matériau semi-conducteur tel que le silicium.

Ces électrons peuvent ensuite être collectés et utilisés pour produire de l'électricité. Les cellules photovoltaïques sont souvent combinées en modules solaires qui peuvent être installés sur les toits des bâtiments ou dans des centrales solaires pour produire de l'électricité à grande échelle.

L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable et propre qui ne produit pas de gaz à effet de serre ni d'autres polluants nocifs pour l'environnement. C'est pourquoi elle est de plus en plus utilisée comme alternative aux combustibles fossiles dans la production d'électricité.

2. L'éclairage solaire

2.1. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué d'un ensemble d'ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il s'agit d'un spectre continu qui s'étend des ondes radio aux rayons gamma, en passant par les ondes visibles, ultraviolettes et infrarouges. Sur Terre, une partie de ce rayonnement est absorbée par l'atmosphère et les nuages, tandis que l'autre partie atteint la surface de la Terre. Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol.

Le rayonnement solaire est composé de photons qui sont capturés par les cellules photovoltaïques, qui les convertissent ensuite en électricité. La quantité de rayonnement solaire qui atteint la surface de la Terre dépend de nombreux facteurs, tels que l'heure de la journée, la latitude, la saison, les conditions météorologiques et l'altitude.

Le rayonnement solaire peut être mesuré en utilisant des instruments appelés pyranomètres, qui mesurent la quantité totale d'énergie solaire qui atteint une surface donnée. Cette mesure est généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m^2).

2.2. Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de « grains » de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda \quad (1)$$

h : est la constante de Planck.

ν : est la fréquence (en hertz) de l'onde électromagnétique associée au photon

C : étant la vitesse de propagation.

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800°K . Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de *AM0*. Sa distribution en énergie est répartie en [1] :

6.4% dans la bande des ultraviolets ($0.20 < \lambda < 0.38 \text{ mm}$).

48.0% dans la bande visibles ($0.38 < \lambda < 0.78 \text{ mm}$).

45.6% dans la bande des infrarouges ($0.78 < \lambda < 10 \text{ mm}$).

La figure suivante représente le flux incident en fonction de longueur d'onde.[2]

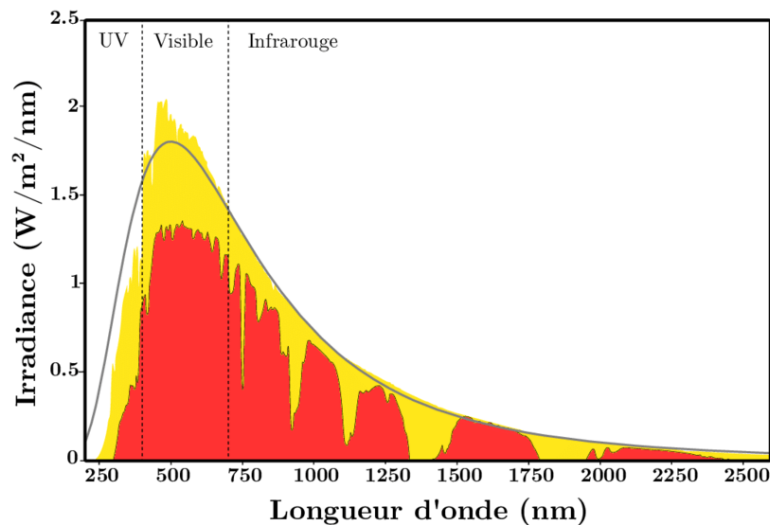


Figure 1. Analyse spectrale du rayonnement

2.3. La constante solaire

La constante solaire, une courte phrase serait composée de données actuelles. Selon les recherches scientifiques, la valeur acceptée pour la constante solaire, qui représente l'énergie solaire moyenne atteignant la haute atmosphère de la Terre, est d'environ $1361 \text{ watts par mètre carré}$. La constante solaire est considérée comme très importante dans la compréhension scientifique des systèmes solaires et de leurs effets sur la planète Terre. Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels que l'énergie solaire, l'astronomie et les variations climatiques. Il convient de noter que la valeur mentionnée pour la constante solaire est une estimation moyenne et peut légèrement varier entre différentes études et mesures.

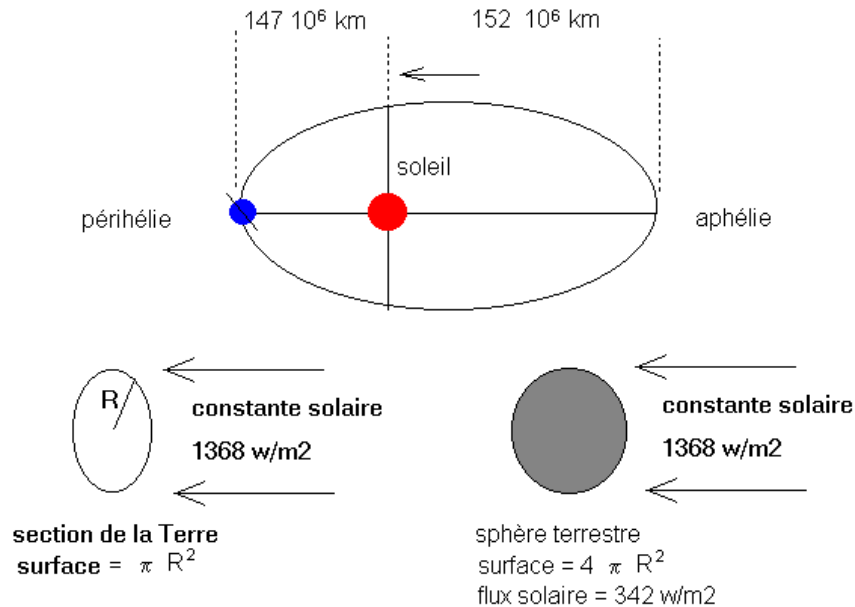


Figure 2 . Une estimation moyenne de la constante solaire

3. La cellule photovoltaïque

3.1. Définition d'une cellule solaire

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur qui transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Les cellules photovoltaïques sont constituées :

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possède une bande interdite, qui joue le rôle de la barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure) tel que le Silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne.
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires.
- D'une grille conductrice sur la cathode et d'un métal conducteur sur l'anode.
- Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison multicouches réfléchissantes justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement. [3]

3.2. Le principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une cellule PV repose sur le principe de l'effet photovoltaïque. Ce dernier permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de production et de transport de charges électriques positives et

négatives dans un matériau semi-conducteur comme le silicium.

Ce matériau est composé de deux couches, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit, dites respectivement dopée de type "N" et dopée de type "P". Lorsque la première couche est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P.

La mise en contact des deux couches à dopages opposés dans ce semi-conducteur en y ajoutant des contacts métalliques constitue un élément connu qui est la diode.

Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction, créant ainsi une paire électron-trou.

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel.[3]

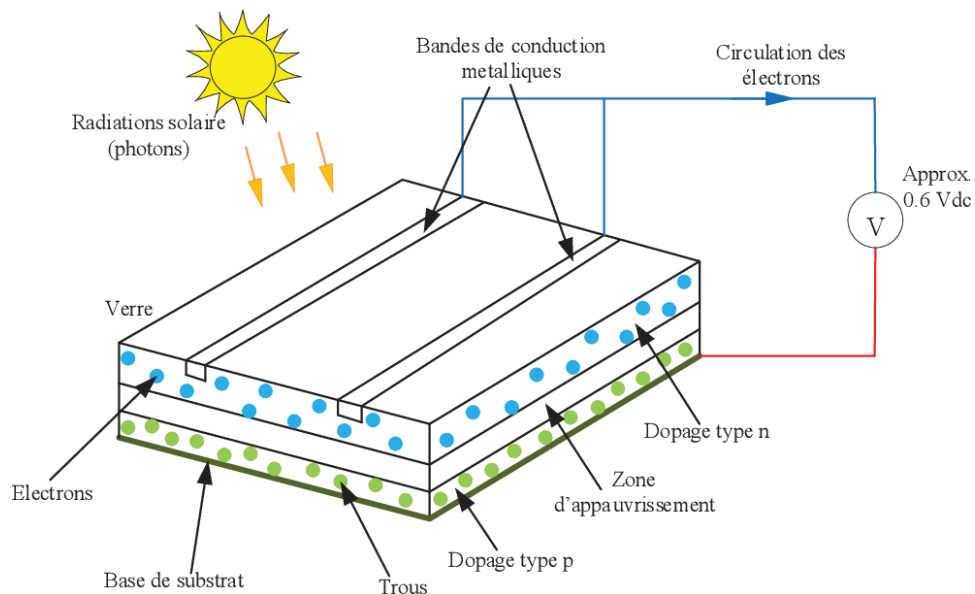


Figure 3. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

3.3. Types de cellules

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, réparties à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandues sont à base de silicium, notamment d'autres matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques. On cite ci-dessous les types de cellules photovoltaïques les plus répandus :

- **Cellules photovoltaïques en silicium cristallin** : Ces cellules sont les plus couramment utilisées dans les panneaux solaires et représentent la grande majorité du marché. Elles sont fabriquées à partir de tranches de silicium monocristallin ou polycristallin.
- **Cellules photovoltaïques en couche mince** : Ces cellules sont fabriquées en déposant une fine couche de matériau semi-conducteur sur un substrat tel que du verre ou du métal. Les matériaux couramment utilisés sont le tellure de cadmium, le sulfure de cuivre indium gallium, et le séléniure de cuivre indium.
- **Cellules photovoltaïques organiques** : Également appelées cellules solaires organiques, ces cellules sont fabriquées à partir de matériaux organiques tels que des polymères conducteurs. Elles sont généralement plus légères et moins chères à produire que les cellules en silicium, mais leur rendement est actuellement plus faible.

Il existe également d'autres types de cellules photovoltaïques moins couramment utilisées, tels que les cellules photovoltaïques à colorant et les cellules photovoltaïques à pérovskite, qui ont un potentiel élevé pour devenir des technologies photovoltaïques compétitives à l'avenir.

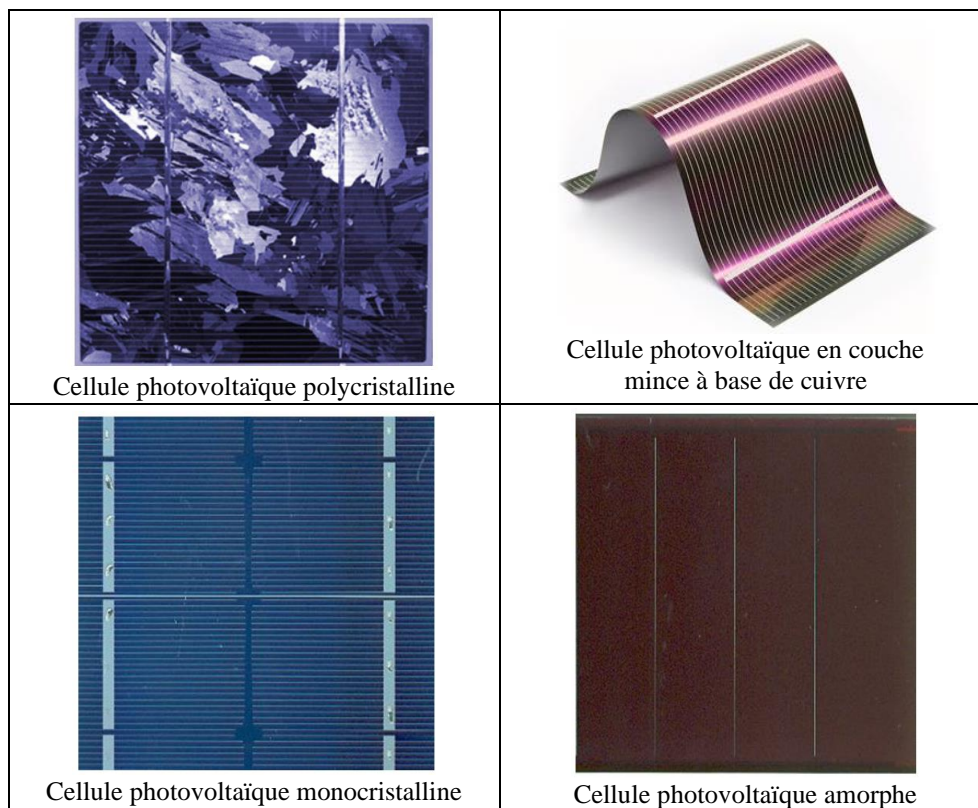


Figure 4. Types de cellule photovoltaïque

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques, chacun ayant des caractéristiques uniques en termes d'efficacité, de coût et de performances dans des conditions environnementales spécifiques. Voici quelques des types de cellules photovoltaïques les plus

courants :

- Les cellules solaires en silicium monocristallin,
- Les cellules solaires en silicium polycristallin,
- Les cellules solaires à couche mince,
- Les cellules solaires amorphes.

Chaque type de cellule photovoltaïque a ses avantages et ses inconvénients, et le choix de la technologie dépendra de plusieurs facteurs, notamment du coût, de l'efficacité, de la durabilité et des conditions environnementales spécifiques.[4]

3.4. Mode de connexion des cellules photovoltaïques

3.4.1. Association des cellules série et parallèle

L'association des cellules en série et en parallèle est une technique utilisée pour augmenter la tension et la capacité dans les systèmes de stockage d'énergie. En les connectant en série, la tension totale augmente, tandis qu'en les connectant en parallèle, la capacité totale augmente. Cela permet d'adapter les caractéristiques électriques aux besoins spécifiques de l'application.

En série, l'intensité du courant reste constante et la tension augmente

$$I_{sc} = I_{cc} \quad (2)$$

$$V_{sco} = N_s * V_{co} \quad (3)$$

Où :

- I_{sc} : Courant de court-circuit
- I_{cc} : Courant de court-circuit nominal
- V_{sco} : Tension de sortie en circuit ouvert
- N_s : Nombre de cellules en série
- V_{co} : Tension de circuit ouvert d'une cellule individuelle

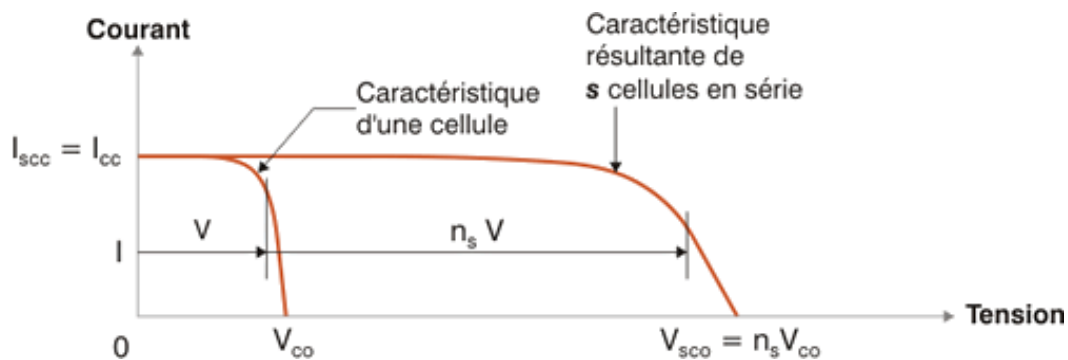


Figure 5. Cellules série

En parallèle, la tension reste constante et l'intensité du courant augmente

$$I_{pcc} = N_p * I_{cc} \quad (4)$$

$$V_{pco} = V_{co} \quad (5)$$

Où :

I_{pcc} : Courant de pic de court-circuit

N_p : Nombre de cellules en parallèle

I_{cc} : Courant de court-circuit nominal

V_{pco} : Tension de pic en circuit ouvert

V_{co} : Tension de circuit ouvert d'une cellule individuelle

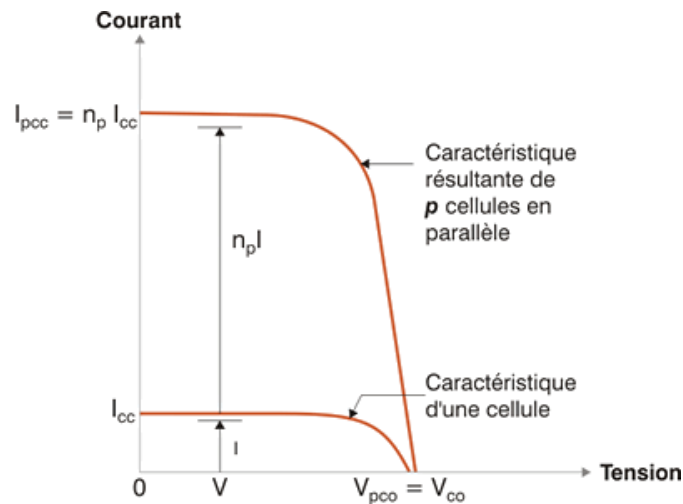


Figure 6. Cellules en parallèle

4. Les effets des changements environnementaux

4.1. Influence de la Température

Le courant et la tension de sortie d'un générateur photovoltaïque varient en fonction de la tension en circuit ouvert (V_{pv}) pour différentes températures. On voit également que la valeur du courant de court-circuit (I_{sc}) reste relativement constante quel que soit l'évolution de la température. Cela peut être dû au fait que la différence de température n'affecte pas le nombre de photons arrivant à l'unité, qui est l'un des principaux facteurs déterminant le courant de court-circuit.

Cependant, la tension de circuit ouvert (V_{oc}) diminue fortement lorsque la température augmente. Cela peut s'expliquer par la diminution de la tension de diffusion aux bornes des jonctions PN du module avec la température, ce qui réduit la tension de circuit ouvert.

Comme la puissance du module est déterminée par la formule $P = V_{pv} \times I_{pv}$, une baisse de la tension de circuit ouvert entraîne une diminution de la puissance maximale que le générateur

peut fournir. Par conséquent, lors de la conception ou de la planification d'une installation photovoltaïque, il est important de prendre en compte les variations de température du site.

Les concepteurs doivent évaluer les fluctuations saisonnières de la température pour estimer les performances maximales du module et s'assurer que l'installation est dimensionnée correctement pour fournir l'énergie électrique requise.

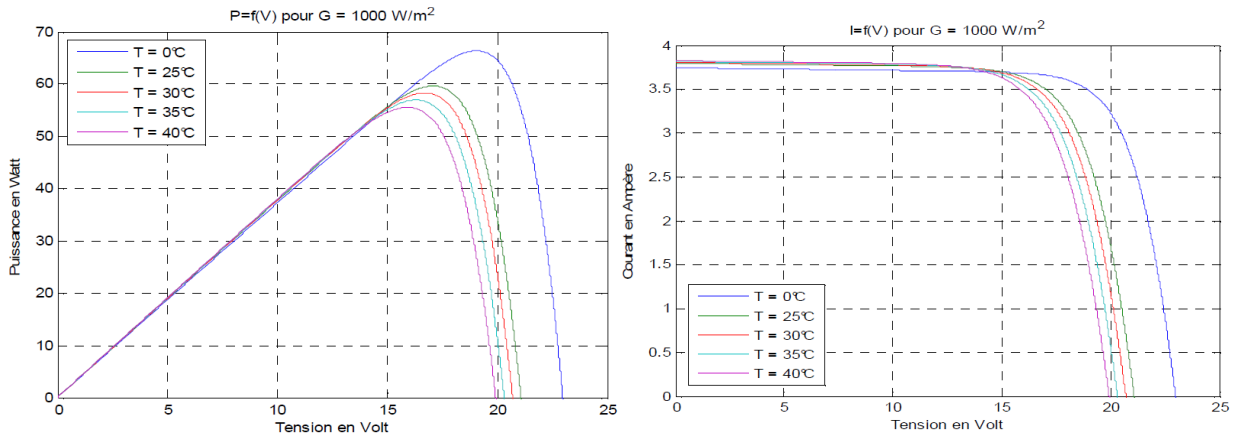


Figure 7. Caractéristique du module PV selon la température

4.2. Influence de l'Éclairement

En effectuant des mesures en faisant varier l'éclairement entre 200 W/m² et 1000 W/m² par incréments de 200 W/m², on peut obtenir des caractéristiques courant-tension ($I_{pv}=f(V_{pv})$) pour un module photovoltaïque.

Les figures 10 montrent ces caractéristiques pour différentes intensités lumineuses. On observe que la valeur du courant de court-circuit (I_{sc}) est directement proportionnelle à l'intensité lumineuse. En d'autres termes, plus l'intensité lumineuse est élevée, plus le courant de court-circuit est important.

Cependant, la tension de circuit ouvert (V_{oc}) ne varie pas de la même manière en fonction de l'éclairement. Elle reste presque identique même à faible éclairement.

Cela peut être dû au fait que la tension de circuit ouvert est principalement déterminée par la qualité de la jonction PN, qui ne change pas de manière significative en fonction de l'éclairement.

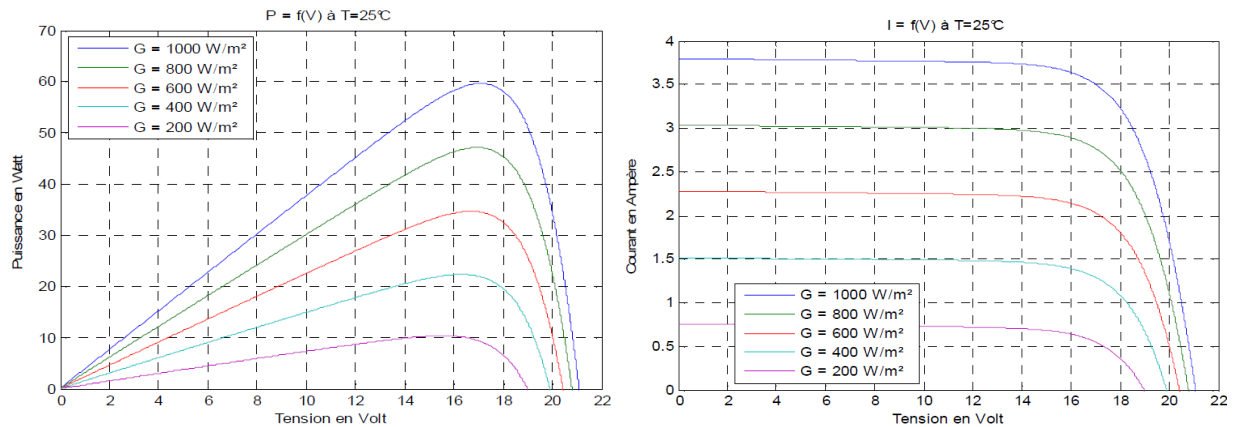


Figure 8. Caractéristique du module PV selon l'éclairement

4.3. L'inclinaison (angle d'incidence)

L'inclinaison La valeur d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du sol et le plan des panneaux, donc pour avoir un maximum d'électricité, il faut que ces derniers soient perpendiculaires aux rayons du soleil [5].

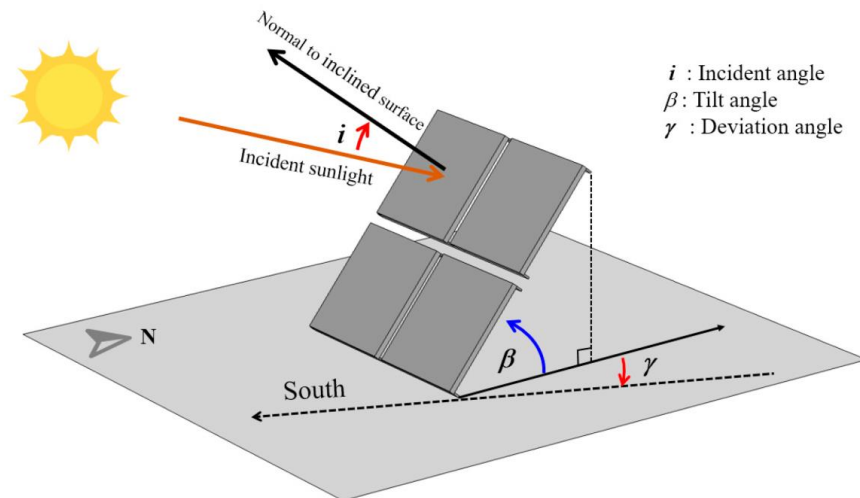


Figure 9. Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

De fait que le soleil est en fonction de l'heure de la journée de la saison, il est impossible de réaliser cette inclinaison et pour lutter contre ça, on se sert des systèmes capables de suivre la trajectoire du soleil [6].

5. Les composants d'un système photovoltaïque

Une installation photovoltaïque est constituée de quatre composants principaux : les modules photovoltaïques en série-parallèle, l'onduleur qui transforme l'énergie électrique continue provenant des modules en énergie électrique alternative, les câbles qui transportent l'électricité à courant continu entre les modules photovoltaïques et l'onduleur, les câbles qui

transportent l'électricité à courant alternatif entre l'onduleur et le réseau. L'élément de base du générateur photovoltaïque est la cellule solaire avec une tension générée qui peut varier entre 0.3 V et 1.5 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. [7]

5.1. Les générateurs photovoltaïques

L'énergie solaire est l'utilisation de la lumière et de la chaleur émises par le soleil pour produire de l'électricité ou chauffer l'eau. L'énergie solaire est une source propre et renouvelable d'énergie, car elle ne produit aucune émission nuisible pour l'environnement ni gaz à effet de serre. La technologie de l'énergie solaire repose sur l'utilisation de cellules solaires fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui convertissent la lumière en électricité. Les systèmes d'énergie solaire sont utilisés dans de nombreuses applications telles que la production d'électricité pour les maisons et les entreprises, l'approvisionnement en énergie des zones rurales et l'éclairage extérieur. De plus, l'énergie solaire est également une solution durable pour les pays confrontés à une pénurie de ressources naturelles et à des coûts élevés de l'énergie traditionnelle.

Lorsque vous connectez plusieurs cellules photovoltaïques (PV) en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent pour augmenter la tension totale du générateur photovoltaïque (GPV). Cela signifie que la tension de sortie du GPV sera égale à la somme des tensions de chaque cellule.

Par exemple, si vous avez deux cellules PV identiques avec une tension de sortie de 0,5 volt chacune et que vous les connectez en série, la tension de sortie totale du GPV sera de 1 volt (0,5 volt + 0,5 volt).

D'autre part, lorsque vous connectez des cellules PV en parallèle, l'ampérage total du GPV augmente. Lorsque les cellules sont connectées en parallèle, les courants de chaque cellule s'additionnent pour donner le courant total du GPV.

Prenons l'exemple de deux cellules PV identiques avec un courant de sortie de 2 ampères chacune. Si vous les connectez en parallèle, le courant de sortie total du GPV sera de 4 ampères (2 ampères + 2 ampères).

Il est important de noter que la puissance totale du GPV dépendra à la fois de la tension et de l'ampérage. La puissance est le produit de la tension et du courant ($P = V \times I$). En choisissant judicieusement la configuration en série ou en parallèle des cellules PV, vous pouvez optimiser la puissance de sortie du GPV en fonction de vos besoins spécifiques.

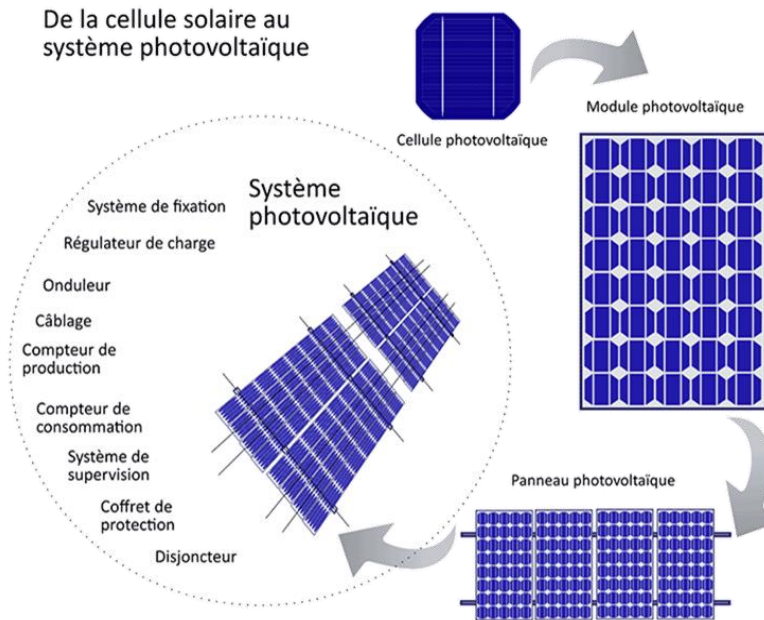


Figure 10. Système Photovoltaïque

6. Types des systèmes existants

6.1. Systèmes autonomes

Il est possible d'utiliser un système photovoltaïque indépendant du réseau électrique conventionnel (géré par le fournisseur d'électricité SONELGAZ), appelé système autonome. Ce type de système nécessite l'utilisation de batteries pour stocker l'énergie produite ou excédentaire.

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, dans l'attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager l'intégration d'un système de stockage, ceci afin de répondre à deux principales exigences [8] :

- Fournir à l'installation l'énergie électrique nécessaire lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par du mauvais temps par exemple).

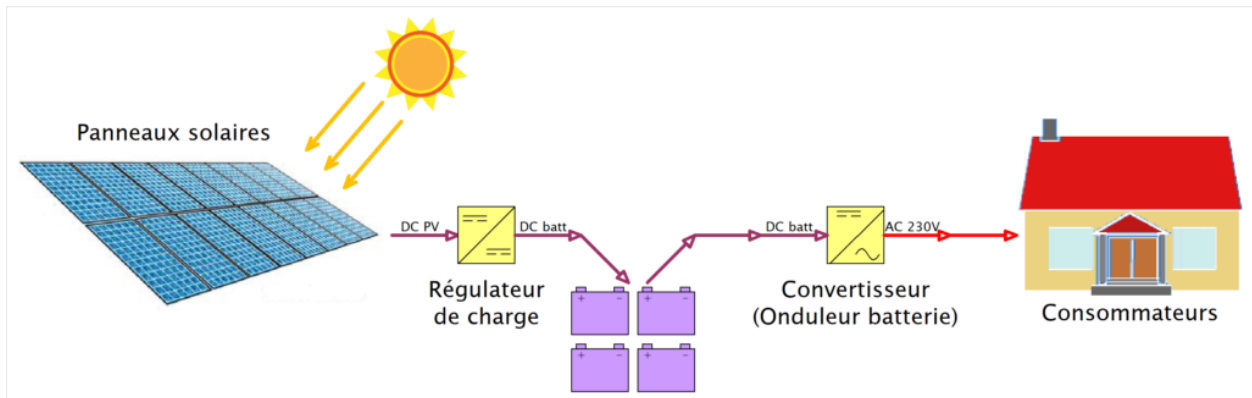


Figure 11. Schéma de Systèmes autonome

6.2. Systèmes connectés au réseau

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui jugés complémentaire et parfois indispensable à la génération conventionnelle d'énergie électrique dans plusieurs pays industrialisés. [9]

Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu'ils soient devenus viables dans le développement économique, la participation du photovoltaïque dans la génération de l'énergie électrique à grande échelle s'est intensifiée à cause des effets environnementaux désastreux des sources conventionnelles d'énergie, notamment fossile.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un système de stockage, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif, ceci est dû au fait que les systèmes photovoltaïques sont les seuls qui peuvent être installés n'importe où avec un minimum de contraintes de fonctionnement.

Dans les systèmes photovoltaïques on distingue deux types d'installations connectées au réseau. [10]

- Installation centralisée : génération de la puissance Photovoltaïque à grand - échelle centralisée dans les stations de puissance Photovoltaïque.
- Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissance distribuée dans les unités situées directement dans le lieu du consommateur.

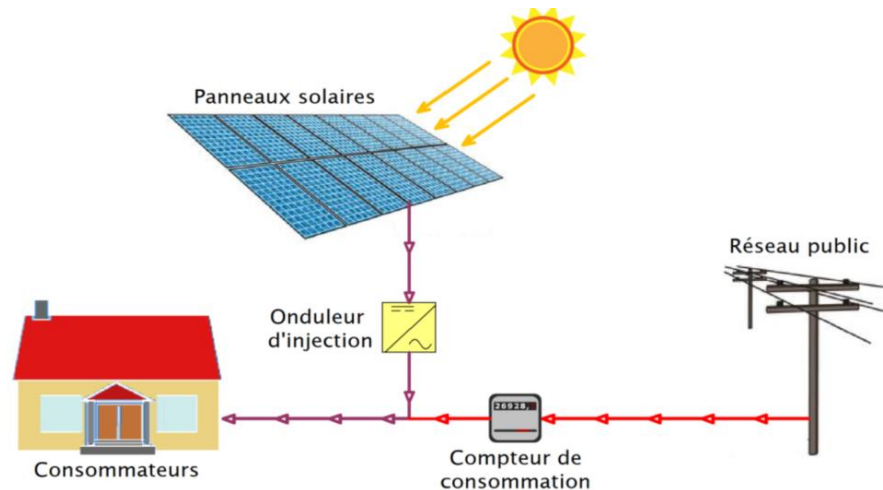


Figure 12. Types des systèmes connectés au réseau

Eléments constitutifs d'une installation connectée au réseau [11] :

- Les panneaux photovoltaïques
- Un onduleur synchrone qui transforme le courant pour qu'il soit compatible avec les caractéristiques du réseau. C'est "l'interface" entre l'installation et la compagnie d'électricité.
- Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées).
- Accessoires.

7. Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents éléments qui constituent les systèmes photovoltaïques. Les panneaux solaires sont constitués de cellules solaires qui contiennent des matériaux semi-conducteurs qui convertissent la lumière solaire en courant électrique. Un générateur photovoltaïque est un ensemble de module photovoltaïque mis en série ou en parallèle ou les deux en même temps, les performances des GPV dépendent de plusieurs facteurs, dont le rayonnement solaire ainsi que la température des cellules constituant ces modules.

Chapitre 2

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à l'étude des outils et moyens de suivi et de surveillance des systèmes de production photovoltaïques. Notamment, les générateurs photovoltaïques. Pour un fonctionnement en continue il est nécessaire d'équiper les installations photovoltaïques d'un système de surveillance qui permet de prévenir et de localiser les erreurs, aussi, il est important de mettre au point un système autonome qui ne nécessite par la présence d'opérateur sur le site de production.

Ce chapitre présentera une vue générale des systèmes de surveillance, ainsi que les différentes techniques de mesure qui conviennent le mieux aux installations photovoltaïques.

2. Vue d'ensemble du système de surveillance PV

En résumé, le schéma fonctionnel général d'un système de surveillance PV comprend des capteurs pour mesurer les variables du système, une unité de conditionnement du signal pour amplifier et traiter les données des capteurs, une unité de traitement pour analyser les données et prendre des décisions, un écran d'interface utilisateur pour afficher les résultats et des fonctionnalités de communication pour permettre la transmission des données à distance.

Le rend compatible avec les systèmes de traitement et d'analyse ultérieurs. Il peut également effectuer des opérations de filtrage et de calibrage pour améliorer la qualité du signal. Le unité de conditionnement du signal est généralement connecté aux capteurs qui mesurent les paramètres tels que la tension, le courant, la température et la luminosité. Il joue un rôle crucial dans la collecte précise des données provenant des capteurs.

Une fois que le signal a été conditionné, il est envoyé à l'unité de traitement. Cette unité peut être un microcontrôleur, un ordinateur ou un système de contrôle dédié. L'unité de traitement analyse les données du signal et effectue diverses opérations telles que la surveillance en temps réel, la détection des anomalies, la génération de rapports et la prise de décisions. Elle peut également être équipée d'algorithmes avancés pour détecter les problèmes potentiels et prédire les performances futures du système PV.

Les résultats de l'unité de traitement peuvent être affichés sur un écran d'interface utilisateur, où les opérateurs ou les propriétaires du système PV peuvent visualiser les données en temps réel. Ces données peuvent inclure des informations telles que la production d'énergie, les paramètres de performance, les alertes d'anomalies et les diagnostics du système.

En outre, les systèmes de surveillance PV peuvent également inclure des fonctionnalités de communication pour permettre la transmission des données à distance. Cela peut se faire via des connexions filaires ou sans fil, telles que des réseaux locaux ou des connexions Internet. La communication à distance permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler le système PV à

distance, ce qui est particulièrement utile pour les installations distribuées ou les systèmes situés dans des endroits difficiles d'accès.

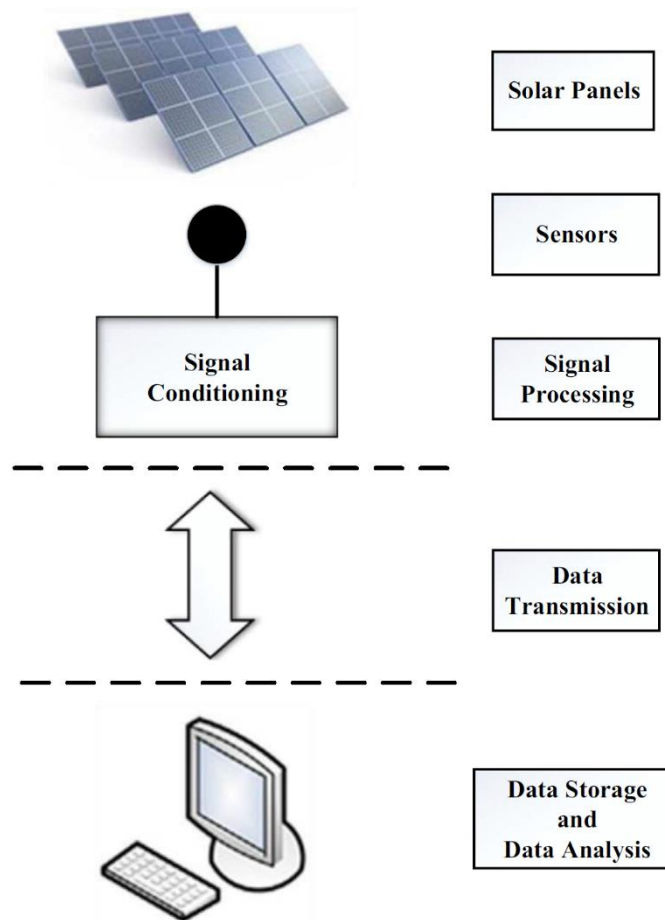


Figure 1. Chaîne de mesure dans une installation photovoltaïque

3. Techniques de mesure

L'objectif de ce mémoire est de concevoir un système de surveillance des données climatiques et certains paramètres liés au fonctionnement du générateur photovoltaïque.

3.1. Techniques de mesure de l'irradiance

La mesure de l'irradiance est l'une des mesures les plus importantes du système de surveillance, il est essentiel de comprendre le phénomène de l'irradiance solaire ainsi que les méthodes utilisées pour la mesurer.

3.1.1. Définition du rayonnement solaire et de l'irradiance solaire

La radiation solaire est l'énergie émise par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques, incluant la lumière visible et ultraviolette ainsi que le rayonnement infrarouge [14]. Ce terme est couramment utilisé pour décrire toutes les formes de radiation électromagnétique émanant du

soleil. Un autre terme souvent utilisé pour décrire la radiation solaire est l'irradiance solaire. [15]

L'irradiance solaire se réfère à la quantité d'énergie électromagnétique qui tombe sur une surface pendant une période de temps donnée. Essentiellement, l'irradiance solaire est une mesure de la radiation solaire qui est incidente sur une surface particulière. Bien que les deux termes soient étroitement liés, il est important de noter que l'irradiance solaire se réfère spécifiquement à la quantité de radiation solaire qui tombe sur une surface par unité de temps et d'aire, tandis que la radiation solaire englobe toutes les formes de radiation électromagnétique provenant du soleil. Il est important de comprendre cette distinction afin d'éviter toute confusion lors de l'utilisation de ces termes.

3.1.2. Classification de l'irradiance solaire

Plusieurs classifications de l'irradiance solaire existent et qui utilisent le spectre des rayonnements électromagnétiques émises par le soleil. Comprendre les différentes manières dont l'irradiance solaire peut être classée est important pour sélectionner des capteurs appropriés et concevoir des expériences qui se concentrent sur des parties spécifiques du spectre solaire. [16]

3.1.3. Types d'irradiance solaire à mesurer

Outre la division du spectre de l'irradiance solaire en fonction de la longueur d'onde électromagnétique, il existe trois principales variables utilisées pour mesurer l'irradiance solaire sur Terre [16] :

- L'irradiance horizontale globale (GHI)
- L'irradiance diffuse horizontale (DHI)
- L'irradiance normale directe (DNI)

GHI est la variable la plus couramment mesurée dans les stations météorologiques au sol, tandis que DNI joue un rôle crucial dans l'effet d'îlot de chaleur urbain, selon Abreu et al. Cependant, étant donné que GHI inclut à la fois DHI et DNI, mesurer uniquement GHI pourrait suffire pour ce projet, car il englobe également DNI. La figure 3 illustre les différents types d'irradiances. [17,18]

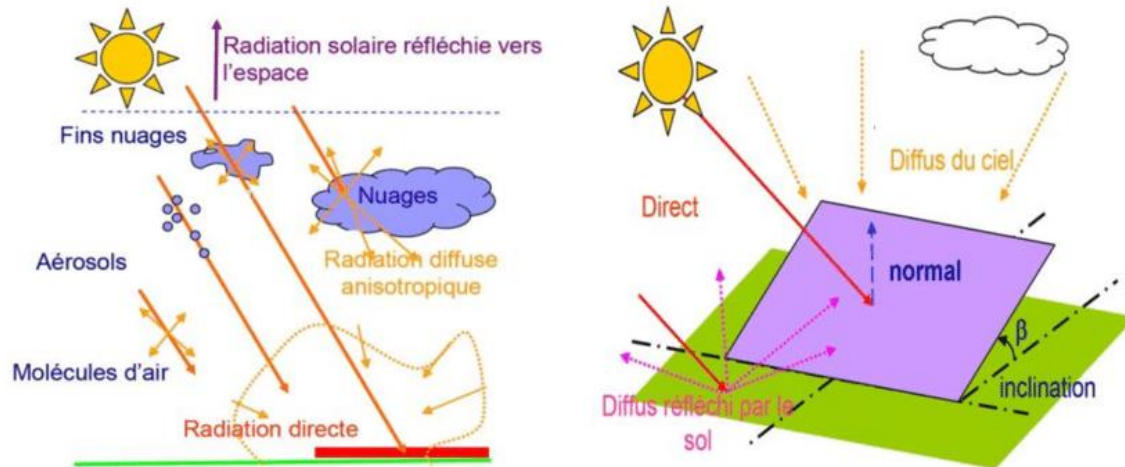


Figure 2. Types d'irradiance. - DNI et DHI sont représentés dans cette image. Le GHI est la somme du DNI et du DHI. Cette image est tirée d'Aurora Solar.[19]

Mathématiquement, l'irradiance globale (GHI) est calculée en ajoutant le produit de la radiation directe (DNI) et du cosinus de l'angle (θ) entre la normale de la surface et la position du soleil dans le ciel, à la radiation diffuse (DHI) :

$$GHI = DNI * \cos(\theta) + DHI \quad (1)$$

Cette équation tient compte à la fois de la lumière solaire directe et diffusée atteignant la surface et représente l'énergie solaire totale disponible.

3.1.4. Quelle gamme spectrale doit être mesurée ?

La plage spectrale météorologiquement significative est comprise entre 300 nm et 3000 nm, également connue sous le nom de rayonnement électromagnétique à ondes courtes [20], [21], il y est affirmé que la plage spectrale de 0,27 μm à 2,6 μm contient 96 % de l'énergie du soleil.

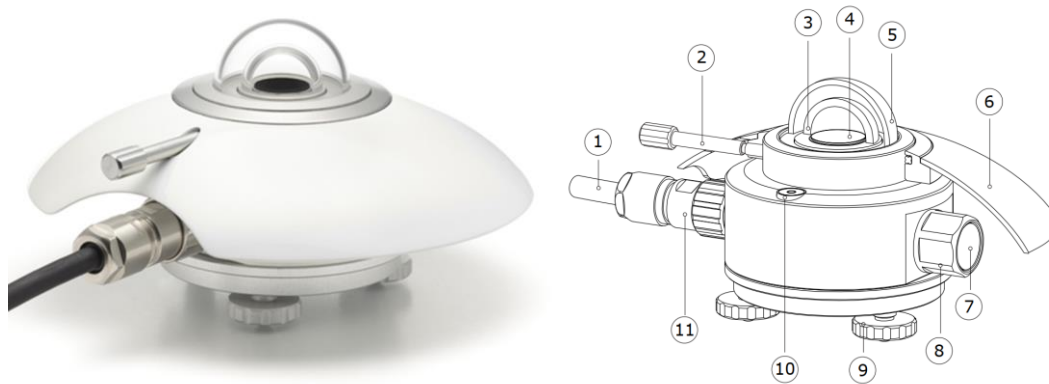
3.1.5. Le Pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Il est sensible dans un domaine spectral de 300 à 2500 nanomètres selon le filtre utilisé.

Le pyranomètre est utilisé, par exemple, lors de la mesure de rayonnement solaire en serre, évalué en comparaison de la valeur du rayonnement en extérieur pour estimer les pertes d'énergie directe lors de la traversée des toitures. L'unité de mesure du rayonnement est celle de l'éclairement énergétique, le watt par mètre carré (W/m^2).

Les pyranomètres à thermopile sont classés selon leur précision de mesure dans 3 catégories (classe A, B et C) selon la norme ISO 9060:2018. La norme prend en compte entre autres le

temps de chargement des capteurs thermopiles (la rapidité de réponse) et le comportement du capteur en fonction des variations de températures (offsets). Des taux d'échantillonnage plus rapides permettent au capteur de «capturer» plus précisément les valeurs d'éclairement maximal en cas de changements atmosphériques rapides. Même en jours de ciel clair, l'irradiation solaire semble être constante sur une échelle minime. En raison de la turbidité atmosphérique, l'irradiance peut facilement fluctuer de quelques W / m^2 . Pour détecter les changements de sous-seconde, il est important de faire correspondre le taux d'échantillonnage du système d'acquisition de données avec le temps de réponse du capteur.



- | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| (1) câble, | (4) surface du détecteur noir, | (9) vis de nivelage, |
| (3) et (5) dômes en verre de quartz, | (6) écran solaire, | (10) niveau à bulle, |
| | (7) indicateur d'humidité, | (11) connecteur |

Figure 3. Photo et schéma d'un pyranomètre, indiquant les parties essentielle

3.1.6. Le pyrhéliomètre

Un pyrhéliomètre est un appareil qui mesure l'énergie solaire rayonnement provenant directement du soleil. LIS les unités d'irradiance sont les watts par mètre carré (W/m^2). Traditionnellement, les pyrhéliomètres étaient principalement utilisé pour la recherche climatologique et la météo à des fins de surveillance, même récentes dans le monde l'intérêt pour l'énergie solaire a également entraîné un intérêt accru pour les pyrhéliomètres. Dans cet article, nous allons explorer les aspects fondamentaux d'un pyrhéliomètre.

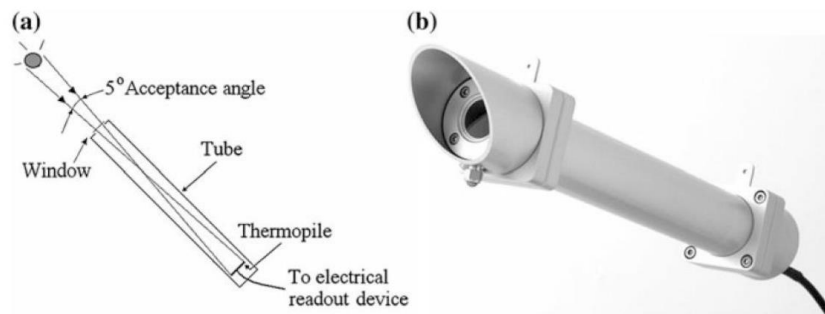


Figure 4. a) Schéma d'un pyrhéliomètre. b) Photo d'un pyrhéliomètre.

Les pyréliomètres sont des instruments utilisés pour mesurer la quantité d'énergie solaire par unité de surface et par unité de temps, spécifiquement la radiation solaire directe. Cette mesure est effectuée sur une surface perpendiculaire à la position du soleil dans le ciel, recevant un ensoleillement direct.

Pour mesurer avec précision l'ensoleillement direct, un pyréliomètre doit être monté sur un traqueur solaire, qui est un dispositif qui ajuste en continu la position de l'instrument pour suivre le mouvement du soleil tout au long de la journée. Cela garantit que le pyréliomètre est toujours orienté directement vers le soleil.

Cette équation tient compte à la fois de la lumière solaire directe et diffusée atteignant la surface et représente l'énergie solaire totale disponible.

3.1.7. Mesure et conversion du l'irradiance en LUX

La norme de mesure de l'irradiance solaire utilise les unités de watts par mètre carré (W/m²). Les compteurs d'irradiance sont à la fois coûteux et limités dans la capacité de mesurer de faibles valeurs d'irradiance. Avec un coût moindre et une sensibilité plus élevée dans des conditions de faible luminosité, les posemètres mesurent le flux lumineux par unité de surface (éclairage) en utilisant les unités de lumens par mètre carré ou lux (lx). Un facteur de conversion efficace entre W/m² et lx permettrait l'utilisation de luxmètres pour évaluer les performances photovoltaïques dans des conditions de faible irradiance solaire.

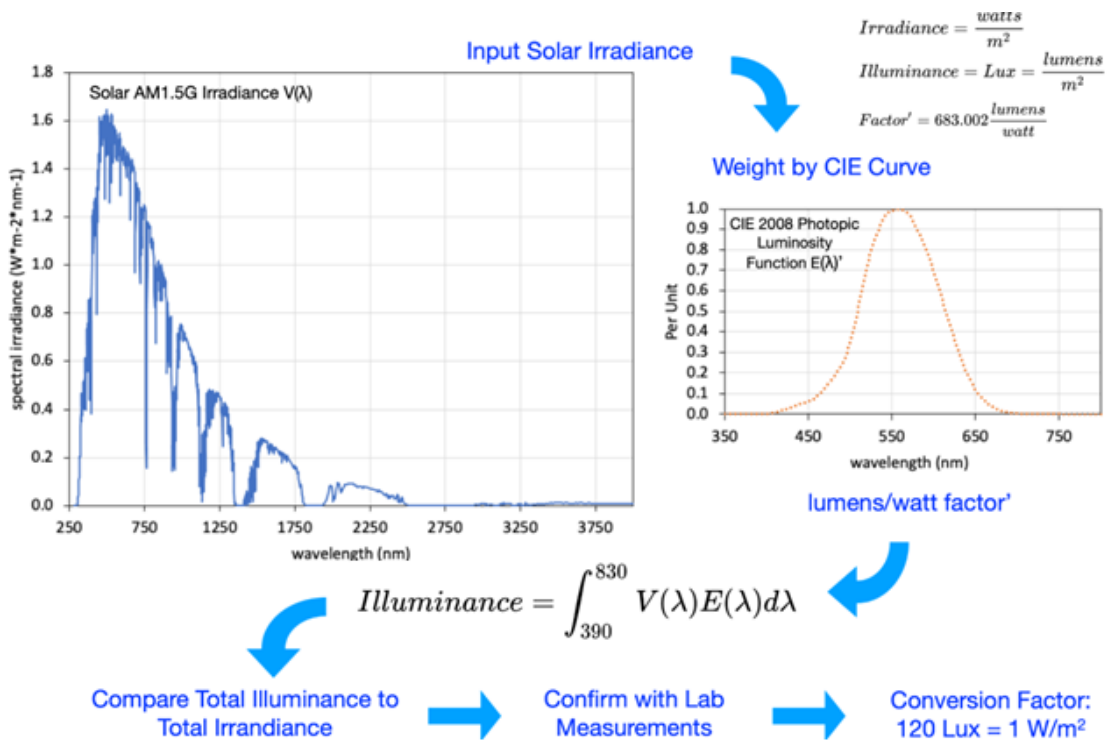


Figure 5. Conversion de l'irradiance en Lux

L'analyse et la mesure montrent que le facteur de conversion de l'irradiance en éclairage est de 122 ± 1 lx pour la lumière naturelle extérieure ou 1 Soleil équivaut à 120 000 lx.

3.2. Techniques de mesure de la température

Les performances des modules PV sont affectées par le rayonnement solaire de différentes manières. Une partie importante du rayonnement solaire absorbé par le module ne se transforme pas directement en énergie électrique, mais plutôt en chaleur, ce qui entraîne une augmentation de la température du module.

Il est donc important de mesurer la température du module PV, car peu de paramètres du module sont fortement influencés par cette température. En mesurant la température, on peut prédire les performances du système PV. Différents capteurs de température basés sur des principes variés sont utilisés pour mesurer la température dans les applications PV.

3.2.1. Les sondes de température à résistance

Elles sont également largement utilisées pour mesurer la température des cellules PV. Les sondes de température à résistance sont constituées de fils de platine ou de nickel qui changent de résistance en fonction de la température. Cette résistance est mesurée à l'aide d'un pont de Wheatstone et convertie en une lecture de température. Les sondes de température à résistance sont précises, stables et ont une plage de mesure allant de -200°C à $1\,000^{\circ}\text{C}$.

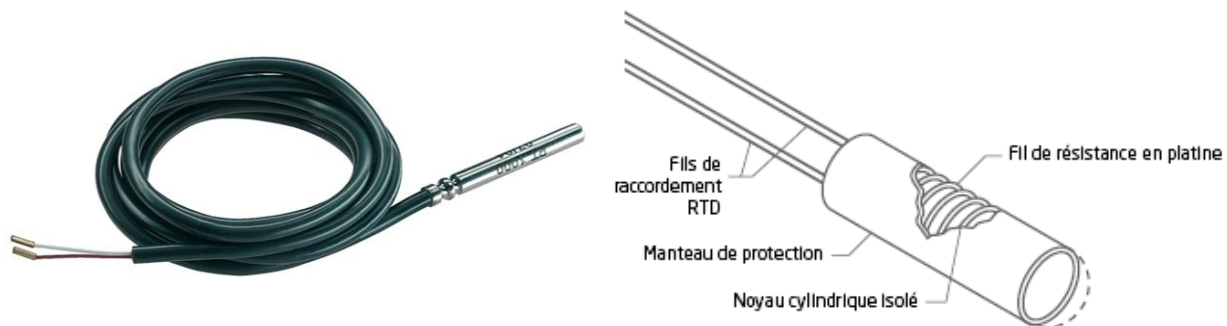


Figure 6. Sonde de température à résistance

La figure 10 montre un exemple de sonde avec un revêtement métallique.

3.2.2. Les capteurs de température infrarouge

Les capteurs de température infrarouge sont équipés d'un capteur miniaturisé conçu pour une installation dans des espaces confinés. La petite taille et la résistance à la température jusqu'à 120°C ouvrent un large éventail d'applications.

Les capteurs de température infrarouge sont disponibles en différentes versions, par exemple avec visée laser ou en version à deux fils pour une intégration facile [22].



Figure 7. Capteurs de température infrarouge

La figure 7 illustre un exemple de sonde de température infrarouge MLX90614 permettant de mesurer une température ambiante et la température d'un objet.

3.2.3. Thermocouple

Le thermocouple est un capteur de température largement utilisé en raison de sa robustesse et de son coût abordable. Il peut fonctionner efficacement sur une large plage de température. Le fonctionnement du thermocouple est basé sur l'effet Seebeck, découvert par Thomas Seebeck en 1821. Lorsque deux métaux différents, ayant des coefficients thermiques distincts, sont reliés par une jonction commune, une force électromotrice (fem) se développe à travers cette jonction lorsque la température change. Cet effet est connu sous le nom d'effet Seebeck. La fem générée est proportionnelle à la différence de température entre les deux extrémités du thermocouple.

La relation entre la variation de température (ΔT) et la tension induite (ΔV) à travers le thermocouple n'est pas linéaire, mais pour de petites variations de température, cette relation peut être considérée comme linéaire. L'équation (26) représente cette approximation linéaire, où ΔT représente le changement de température, S représente le coefficient de Seebeck et ΔV représente le changement de tension induit.

Il convient de souligner que cette approximation linéaire peut ne pas être précise pour de grandes variations de température. Cependant, dans de nombreux cas pratiques, elle offre une précision suffisante pour mesurer la température à l'aide d'un thermocouple.

$$\Delta V \approx \Delta S T \quad (26)$$

Où, ΔT est le changement de température, S est le coefficient Seebeck et ΔV est le changement de tension.

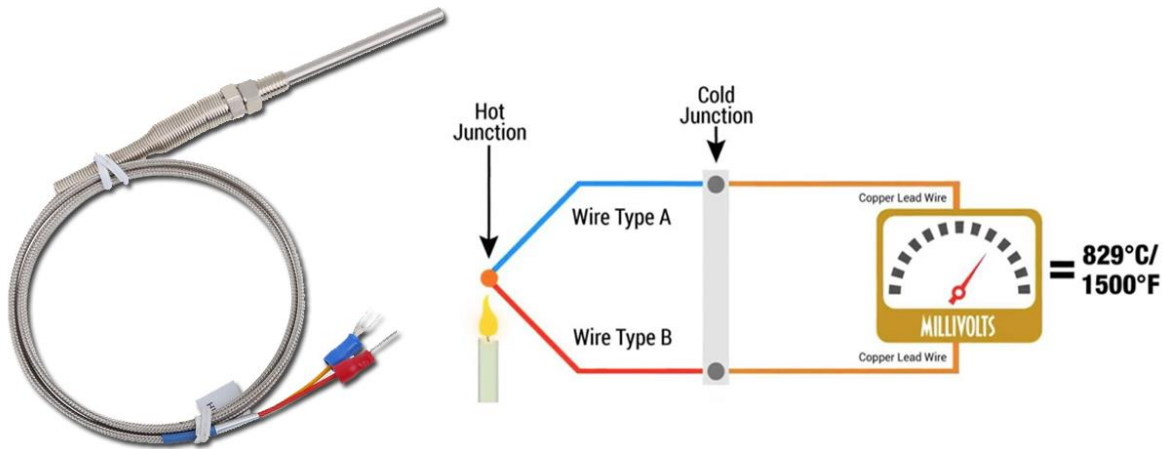


Figure 8. Circuit thermocouple des matériaux A et B

3.2.4. Capteurs de température au silicium

Les capteurs de température à circuit intégré (CI) se distinguent des capteurs conventionnels de plusieurs manières. Ils fonctionnent généralement dans une plage de température allant de -55 °C à $+150$ °C. Bien que certains capteurs puissent dépasser cette plage, d'autres se limitent à cette gamme en raison de contraintes de conception ou de coûts. Sur le plan fonctionnel, un capteur de température IC intègre un circuit de traitement du signal efficace dans son boîtier.

Cela élimine le besoin de circuits de compensation de soudure froide et de linéarisation. De même, les circuits de comparaison et de conversion analogique-numérique (CAN) ne sont pas nécessaires. Aussi, la plupart de ces capteurs intègrent une interface numérique qui augmente la fiabilité de leurs mesures.

3.3. Techniques de mesure du courant

Les capteurs de courant jouent un rôle essentiel dans les systèmes de surveillance des installations photovoltaïques. Ils sont nécessaires pour le contrôle et la protection de ces systèmes. Un capteur de courant est un dispositif qui détecte le courant circulant dans le circuit mesuré et le convertit proportionnellement en une tension mesurable.

Les capteurs de courant permettent une plage de mesure de courant allant de simple à complexe. Dans la mesure conventionnelle du courant, il est souvent nécessaire d'avoir une large bande passante (généralement de DC à 100 kHz) et une isolation galvanique, ce qui augmente la complexité et le coût du système de mesure.

Par conséquent, l'utilisation de capteurs de courant pour mesurer le courant présente plusieurs avantages en termes de simplicité et de coût.

En pratique, ils existent plusieurs moyens pour la mesure du courant électrique, alternatif ou continu, dont on peut citer :

- a. **Ampèremètre** : C'est l'instrument de mesure standard pour le courant électrique. Il mesure la valeur moyenne du courant électrique en ampères passant dans un circuit électrique. L'ampèremètre est inséré en série dans le circuit et mesure la chute de tension qui en résulte.
- b. **Mesure de la résistance** : En utilisant la loi d'Ohm, le courant peut être mesuré en mesurant la tension aux bornes d'une résistance connue dans un circuit. En connaissant la valeur de la résistance et la tension mesurée, le courant peut être calculé en utilisant la formule $I = V/R$.
- c. **Les pinces ampèremétriques** : Elles sont très courantes pour la mesure de courants alternatifs (AC) sans avoir besoin d'interrompre le circuit.

Concernant les techniques de mesure qu'on peut trouver dans ces moyens de mesure, nous allons les détailler dans les paragraphes suivants.

3.3.1. Les transformateurs de courant

Un transformateur de courant (TC) est un tore ferromagnétique comportant un enroulement primaire de N_1 spires parcouru par le courant à mesurer et un enroulement secondaire comportant un nombre de spires N_2 plus important terminé par une charge résistive R (voir figure ci-dessous)

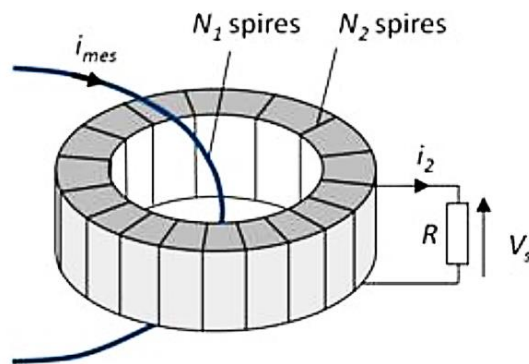


Figure 9. Schéma de principe d'un transformateur de courant.

Son principe repose sur le théorème d'Ampère et la loi de Lenz, où le courant parcourant le conducteur primaire engendre une force électromotrice (f.e.m) variable aux bornes du secondaire. Il en résulte aux bornes de la charge R une tension V_s proportionnelle à i_{mes} , telle que la sensibilité du transformateur vérifie la relation :

$$\frac{V_s}{V_{mes}} = R \frac{N_1}{N_2} \quad (2)$$

Les transformateurs de courant constituent une solution robuste et simple, notamment du fait qu'ils ne nécessitent pas l'apport d'une alimentation externe.

3.3.2. Les capteurs de Hall

La plupart des capteurs magnétiques qui sont produits utilisent l'effet Hall. Ils peuvent être appliqués à la mesure de courant. Les capteurs de Hall sont réalisés à partir de matériaux semiconducteurs. Ils nécessitent d'être alimentés par un courant I .

Lorsqu'un champ magnétique (induit par le courant à mesurer i_{mes}) est appliqué au capteur, les porteurs de charges du semiconducteur subissent la force de Lorentz et sont déviés au cours d'un régime transitoire, mais l'apparition de charges surfaciques au sommet et à la base de l'échantillon semi-conducteur vient créer un champ électrique et engendrer une force s'opposant exactement à celle de Lorentz.

Une différence de potentiel, appelée tension de Hall, apparaît ainsi entre les faces de l'échantillon. C'est cette tension qui se trouve être proportionnelle à I (fixé par l'utilisateur) et au champ magnétique, et qui dépend donc de i_{mes} , qui constitue le signal de sortie du capteur.

De nombreux capteurs de courant continu utilisent des éléments de Hall montés dans l'entrefer d'un noyau magnétique (figure 10), ce qui permet d'accroître la sensibilité de la mesure, de la protéger de l'influence des champs extérieurs et de diminuer celle de la position du conducteur parcouru par le courant à mesurer.

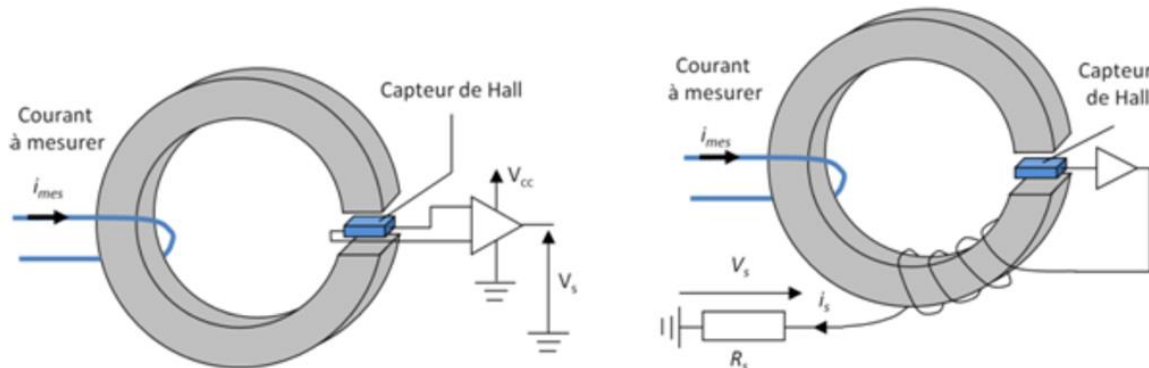


Figure 10. Schéma de principe d'un capteur de Hall et d'un capteur de Hall en boucle fermée

3.4. Techniques de mesure de la tension

Le capteur de tension est un dispositif utilisé pour mesurer les niveaux de tension, qu'ils soient continus ou alternatifs. Son rôle est de recevoir le signal de tension en entrée et de fournir en sortie un signal analogique de tension ou de courant. Il fonctionne de manière autonome, sans nécessiter une alimentation externe. Les capteurs de tension électrique peuvent présenter différentes caractéristiques optionnelles, être adaptés à des conditions environnementales spécifiques et posséder des spécifications de performance variées. Le plus souvent, on utilise un

diviseur de tension suivi d'un filtre passe bas, ainsi qu'un convertisseur analogique numérique, ceci permet de récupérer une valeur numérique proportionnelle à la tension mesurer.

4. Interface de communication

La surveillance des installations industrielles, nécessite l'intégration de moyen de communication qui permettent de récupérer les données essentielles à la supervision. Ces moyens de communication se base sur différentes technologies, qui permettent de soutenir le transport de l'information, à travers une couche physique ainsi qu'un protocole de communication.

4.1. La communication filaire

Fait référence à toute forme de communication qui utilise des fils ou des câbles pour transmettre des signaux. Cette forme de communication est couramment utilisée dans les réseaux informatiques, les systèmes téléphoniques et de télévision, ainsi que les systèmes de sécurité et de surveillance.

Les types de communications filaires comprennent la transmission de données à haut débit sur des câbles Ethernet, la transmission de signaux vidéo et audio et la transmission de signaux téléphoniques. L'un des avantages de la communication filaire est sa fiabilité, car elle est moins sensible aux interférences électromagnétiques et aux interférences pouvant affecter la communication sans fil. Cependant, l'inconvénient est que les câbles peuvent être coûteux et difficiles à installer dans certains environnements, ce qui peut limiter la portée et la flexibilité des communications filaires.

4.1.1. Protocole RS232

L'interface RS232, également connue sous le nom de TIA/EIA-232, est un protocole de communication série utilisé pour contrôler la transmission de données. Elle permet d'acheminer les données entre un équipement terminal de traitement de données (ETTD), tel qu'un terminal ou un émetteur, et un équipement terminal de circuit de données (ETCD), tel qu'un récepteur.

La distance entre les appareils joue un rôle important dans la vitesse de communication. Il existe deux modes de communication série : le mode full-duplex et le mode half-duplex. En mode full-duplex, il est possible d'envoyer et de recevoir des données simultanément en utilisant des câbles distincts pour l'émission et la réception. En revanche, en mode half-duplex, une seule ligne est utilisée pour l'émission et la réception de données, ce qui limite le nombre d'opérations pouvant être effectuées simultanément. Le mode half-duplex permet soit l'envoi, soit la réception de données, mais pas les deux en même temps.

4.1.2. Protocole RS485

L'interface série la plus couramment utilisée dans l'industrie est le RS485, également connu sous le nom de protocole EIA-485. Il présente un avantage significatif par rapport à l'interface RS232. Grâce à sa technologie multipoint, il permet la connexion simultanée de plusieurs émetteurs et récepteurs. La transmission des données se fait à l'aide de signaux différentiels, ce qui garantit une fiabilité accrue.

On distingue deux types de communications RS485 :

Les interfaces RS485 à 2 contacts fonctionnent en mode half-duplex, ce qui signifie qu'elles sont uniquement capables d'envoyer ou de recevoir des données à un moment donné. Les interfaces RS485 à 4 contacts peuvent être utilisées en mode full-duplex, ce qui permet l'envoi et la réception simultanés des données. Il est important de noter que l'utilisation du RS485 dépend du contexte et des besoins spécifiques de chaque application industrielle

4.1.3. Ethernet

Ethernet est une technologie de réseau câblé largement utilisée dans les réseaux locaux et étendus. Elle permet le transfert de données à grande vitesse et avec une grande stabilité, en en faisant le choix optimal pour la connexion entre les ordinateurs, les serveurs et autres périphériques du réseau. Les câbles en cuivre ou en fibre optique sont utilisés pour relier les dispositifs entre eux, et la circulation des données est régulée par des protocoles de contrôle d'accès aux supports. Ethernet est une technologie fondamentale dans l'architecture des réseaux modernes, utilisée dans une variété de secteurs, notamment les affaires, le divertissement et l'éducation

4.1.4. SCADA

SCADA (Supervision, Contrôle et Acquisition de Données) est un système utilisé dans diverses industries pour la supervision et l'acquisition de données. SCADA surveille et contrôle les processus industriels et collecte les données pertinentes dans le but d'améliorer les performances et d'augmenter l'efficacité. Le système se compose d'unités de contrôle de base qui se connectent aux appareils sur le terrain et transforment leurs signaux en données numériques. Ces données sont traitées par des unités de contrôle centrales qui les analysent et prennent les décisions appropriées pour le contrôle du processus industriel. Les données et leur contrôle sont affichés via une interface utilisateur pour permettre aux opérateurs de surveiller le processus de manière efficace et conviviale

4.2. La communication sans-fils

Les méthodes de communication sans-fil sont omniprésentes dans notre vie quotidienne. Ils permettent aux gens de communiquer à distance en utilisant diverses technologies telles que les réseaux mobiles, le Wi-Fi, le Bluetooth et les satellites.

Les téléphones portables sont la forme de communication sans-fil la plus répandue dans le monde. Ils offrent une variété de fonctions telles que les appels, les SMS, la navigation sur Internet, la diffusion de musique, les jeux et bien d'autres. La technologie sans fil a également permis de nouveaux appareils tels que les montres intelligentes et les écouteurs sans fil qui changent fondamentalement la façon dont nous interagissons avec le monde qui nous entoure.

4.2.1. L'interface WIFI

Le Wifi est une technologie sans-fil qui utilise les ondes radio pour fournir des connexions Internet et réseau haut débit aux appareils communicant. Avec le Wifi, les appareils peuvent se connecter à Internet ou au réseau sans avoir besoin de câbles physiques. Le Wi-Fi est devenu une partie intégrante de notre vie quotidienne, révolutionnant la façon dont nous nous connectons et communiquons les uns avec les autres.

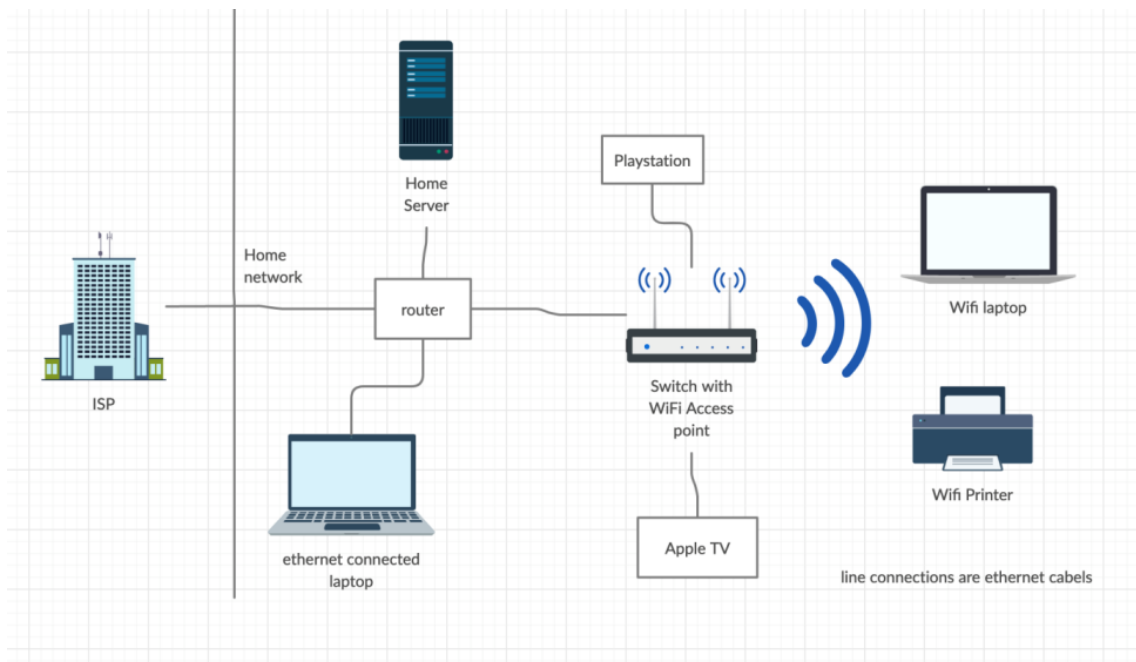


Figure 11. Topologie Wi-Fi en étoile

4.2.2. L'interface ZigBee

Le ZigBee est un protocole de communication sans-fil à courte portée et à faible consommation énergétique basé sur la norme IEEE 802.15.4. Il est maintenu par un consortium regroupant des entreprises, des universités et des organismes gouvernementaux connus sous le

nom de ZigBee Alliance. La communication entre les équipements ZigBee repose sur la définition de profils qui se décompose en deux types privé et public.

Ci-dessous quelques exemples de profils publics :

- **ZigBee Smart Energy (SE)** pour la gestion de l'énergie ;
- **ZigBee Personal Home & Hospital Care (PHHC)** pour le suivi des patients, équipements de santé, fitness ;
- **ZigBee Home Automation (HA)** pour le contrôle de la maison, domotique.
- etc.

L'utilisation d'un profil d'application public permet l'interopérabilité entre les produits développés par différents fournisseurs pour une application spécifique. Pour cela un jeu de fonctionnalités (messages, commandes, etc.) est proposé par l'alliance. L'utilisation d'un profil d'application privé est généralement prévue lorsqu'il n'y a pas de nécessités d'interactions avec les autres produits. [24]

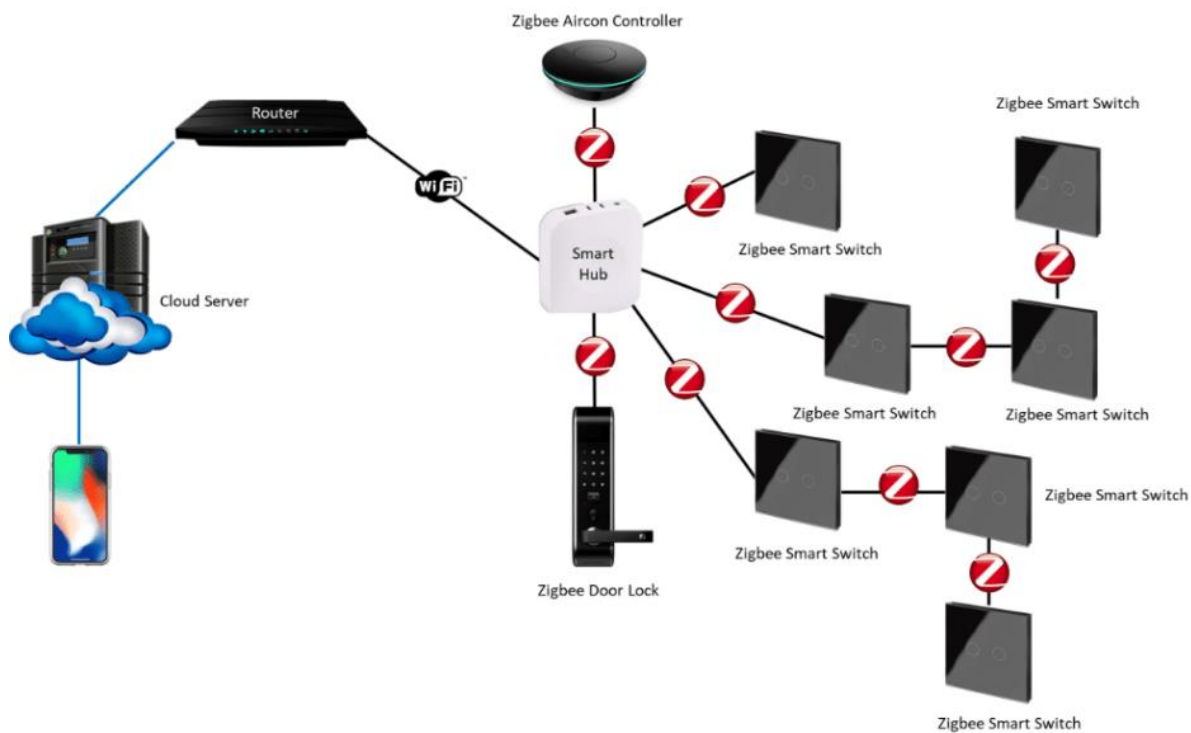


Figure 12. Topologie de maillage ZigBee

4.2.3. Bluetooth

Le Bluetooth établit une connexion sécurisée de proximité. L'unique problème de cette technologie est que les objets connectés doivent être proche et à distance réduite. Cependant, le fait que la connexion se fasse sur une courte distance va réduire les risques d'interception du signal. Pratiquement, tous les smartphones sont équipés de cette technologie qui offre une portée

d'environ 60 mètres et qui consomme moins d'énergie que le Wifi. [23]

Le système Bluetooth opère dans les bandes de fréquences 2,4 GHz

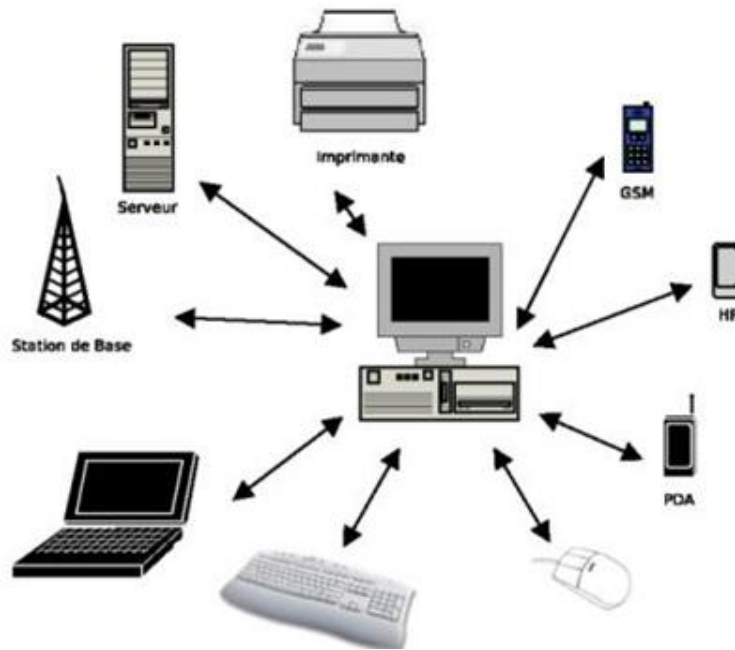


Figure 13. Présentation des domaines d'application de Bluetooth en informatique

4.2.4. NRF24L01

Le transmetteur radio nRF24L01 est un module, permettant d'émettre et de recevoir des données sur la gamme de fréquences de 2.4GHz (comme le WiFi ou le Bluetooth) en utilisant le protocole de communication propriétaire de Nordic nommé "ShockBurst". Plusieurs modules comportant ce transmetteur sont disponibles, soit avec antenne (une centaine de mètres environ) ou sans.

CARACTÉRISTIQUE TECHNIQUE DU NRF24L01

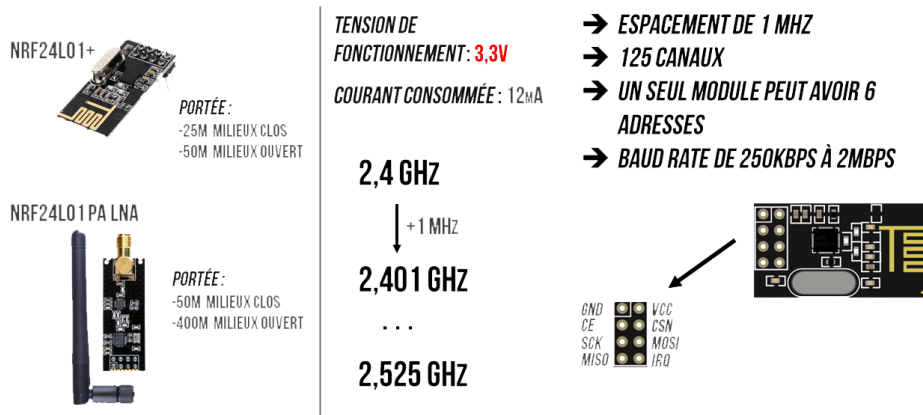


Figure 14. Caractéristiques techniques du NRF24L01

4.2.5. Moyens de communication comparaison

Technologie	Application	Avantages	Débit	Distance
Wi-fi	LAN, internet	Vitesse, flexibilité	1-7 gbps	100m
NRF24101	ESB	Consommation, flexibilité, Prix	16 mbps	<1000m
Bluetooth	PAN, identification mobile	Vitesse, consommation, flexibilité	48 mbps	<300m
Zigbee	Réseau de capteur	Fiabilité, puissance, évolutivité, coût	250 mbps	70-300m

Table 1. Comparaison de moyens communication

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit un aperçu général sur les systèmes de monitoring notamment ceux dédiés aux systèmes photovoltaïques. Aussi nous avons abordé les techniques de mesure des principales grandeurs climatiques qui influent du le fonctionnement des installations photovoltaïques, à savoir l'éclairement solaire et la température. Nous avons aussi, présenté les techniques de mesure du courant, la tension et l'inclinaison des module PV, que nous avons jugé essentiels pour une bonne surveillance des systèmes PV.

Chapitre 3

1. Introduction

La conception d'un système de mesure implique la planification et la création d'un ensemble de composants permettant de mesurer une ou plusieurs grandeurs physiques. Cela peut inclure des capteurs, des circuits électroniques, des instruments d'affichage et des logiciels de traitement de données. La conception du système de mesure doit tenir compte des spécifications de la grandeur physique mesurée, des exigences de précision, de la plage de mesure, de la fréquence d'échantillonnage et d'autres facteurs connexes pour garantir que le système de mesure est fiable et précis.

Dans le cadre de notre travail, nous allons présenter dans ce chapitre les différentes étapes pour la conception d'un système de télésurveillance des paramètres climatique d'une installation photovoltaïque.

2. Système de la mesure et de surveillance (Concept général)

Le système proposé vise à mesurer et surveiller les paramètres des panneaux solaires en utilisant un ensemble de carte de développement de microcontrôleur, ainsi qu'un ensemble de capteurs adaptés aux mesures visées, ainsi qu'une plateforme de communication distante.

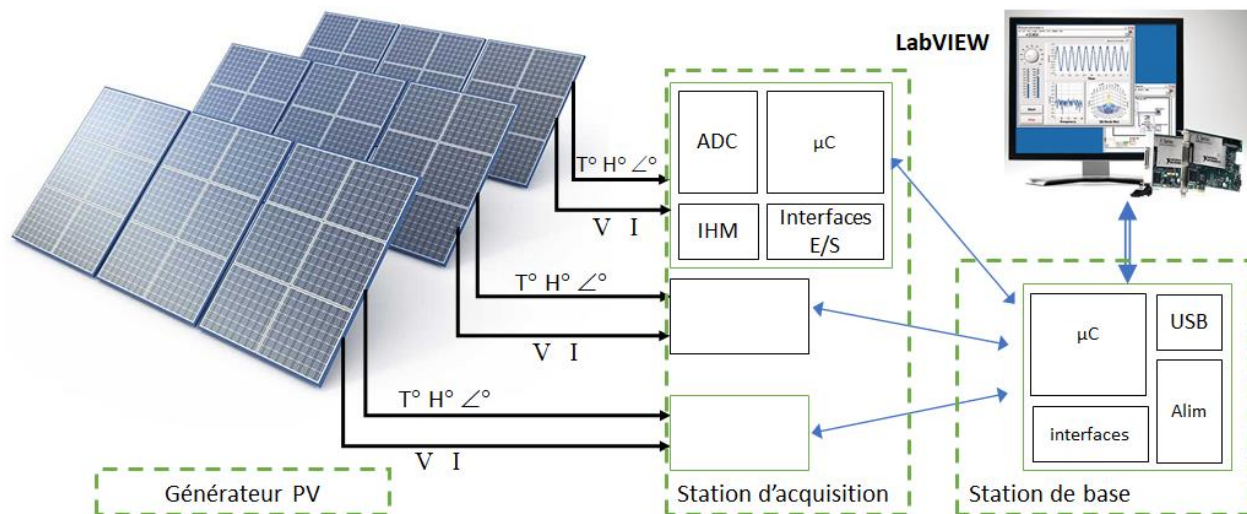


Figure 1. Concept général pour le système de mesure

Comme il est montré sur la figure ci-dessus, notre système est composé de deux parties :

1^{ère} partie – Station d'acquisition : cette partie du système permet de récupérer les mesures nécessaires à partir du site d'installation du générateur photovoltaïque, et ensuite les envoyer vers la 2^{ème} partie du système, le nombre de station d'acquisition dépend des modules photovoltaïques qu'on veut surveiller.

2^{ème} partie – Station de base : cette partie du système permet de récupérer les données envoyées à partir de ou des stations de bases implantées dans le site du GPV. Cette station

permet ensuite de renvoyer ces données vers un PC de contrôle, qui permet de visualiser en temps réel les paramètres du site.

3. Cahier des charges et spécification

Cette section définit les différentes fonctions, tâches, contraintes de conception, elle détermine les exigences de spécification du projet principal. Dans notre projet, le système est composé d'une partie matérielle qui intègre une partie Firmware et d'une application logicielle pour ordinateur.

3.1. Exigence Fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles décrivent ce que l'utilisateur peut faire avec le système, qu'il s'agisse du matériel ou du logiciel du système. Elles décrivent les caractéristiques du système ou des processus que le système doit exécuter. A quoi sert le système et que doit faire le système, les fonctions utiles...etc.

Parce que le système est divisé en deux parties, nous pouvons décrire les spécificités des deux parties du système, distinctement l'une de l'autre.

3.1.1. Station d'acquisition

A. Exigences fonctionnelles

La partie matérielle de la station de base est la partie électronique qui comprend les capteurs, les éléments de traitement de donnée piloté par un Firmware intégré, cette partie doit permettre de :

- Mesurer l'intensité de la lumière,
- Mesurer l'inclinaison du module PV,
- Mesurer la température du panneau photovoltaïque,
- Mesurer les valeurs de courant et de tension du module PV,
- Gérer la communication sans-fil,
- Envoyer les données récoltées périodiquement vers la station de base,
- Paramétrage externe,
- Répondre aux demandes de la station de base,
- Emettre des informations de diagnostic en cas d'erreur.

B. Exigences de performance

Cette section définit avec quelle cadence le système doit exécuter certaines fonctions et avec quelles conditions de performance sont effectuées, la partie matérielle du système à concevoir doit :

- Envoyer toutes les données via une interface sans-fil à un temps fix (défini par le programmeur, ou par l'opérateur)
- Avoir un temps de latence minimal (moins de 200ms),
- Mesurer des courants jusqu'à 20A,
- Mesurer des tensions jusqu'à 25V,
- Doit pouvoir fonctionner en mode autonome,
- Ne doit pas consommer beaucoup d'énergie,
- Facilement maintenable,
- Installable sur un équipement photovoltaïque,
- Packaging spécifique aux conditions de fonctionnement externe.

3.1.2. Station de base

A. Exigences fonctionnelles

La station de base permet de collecter les données envoyées par la ou les stations d'acquisition, et ensuite les transmettre vers un PC pour la visualisation et d'éventuelles traitements, cette partie du système doit intégrer les fonctionnalités suivantes :

- La carte électronique doit être compatible avec le logiciel LabVIEW,
- La communication avec les stations d'acquisition périodiquement,
- La récupération des données périodiquement et à chaque demande de l'opérateur,
- La communication avec un PC à travers l'interface USB,
- Les données sans transmise vers le PC pour la visualisation sur le logiciel LabVIEW.
- La visualisation des données reçues,
- La Visualisation de l'historique des données reçues,
- La configuration et le contrôle du système électronique,
-

B. Exigences de performance

La station de base n'a pas les mêmes conditions de fonctionnement que la station d'acquisition, elle doit fonctionner dans des conditions moins contraignantes :

- Latence de communication faible,
- Avoir un temps de traitement minimal (moins de 200ms),
- Doit pouvoir gérer plusieurs sessions de communication sans-fils.

3.2. Les contraintes de conception

Comme pour n'importe quel système embarqué, la mise en œuvre doit prendre en compte des contraintes technologiques et d'autres non technologiques à savoir :

- La partie matérielle doit être conditionné pour pouvoir fonctionner sous des contraintes environnementale et mécanique difficiles, telles que : de forte température, poussier, humidité élevée...etc.,
- Doit respecter les normes techniques spécifiques aux installations photovoltaïques,
- Ne doit pas influencer sur le fonctionnement d'une installation PV.
- La carte de puissance doit supporter les pics de courant et de tension accidentels,
- La carte électronique doit être compatible avec le logiciel LabVIEW,
- Le coût du système ne doit pas être élevé et influé sur le budget alloué à une installation PV,

4. LabVIEW

Le nom LabVIEW est une forme abrégée de sa description : Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. LabVIEW est un langage de programmation visuel : c'est une plateforme de conception et un environnement de développement qui permet la mise en forme d'une multitude de forme de systèmes.

LabVIEW a été développé par National Instruments comme banc de travail pour le contrôle des instruments de test. Cependant, ses applications se sont étendues bien au-delà de l'instrumentation d'essai à l'ensemble du domaine de la conception et de l'exploitation du système.

4.1. Fonctionnement

LabVIEW utilise une interface graphique qui permet de réunir différents éléments du système pour fournir le flux d'énergie ou les données requise.

LabVIEW est essentiellement un environnement qui permet la programmation en langage G, c'est un langage de programmation graphique créé par National Instruments qui a été initialement développé pour communiquer via GPIB (General Purpose Interface Bus). Actuellement, le langage G peut être utilisé pour des applications de test automatisées, l'acquisition de données générales, la programmation de FPGA, ...etc.

LabVIEW fournit également une multitude de fonctionnalités, y compris le débogage, le multithreading automatisé, l'interface utilisateur des applications, la gestion du matériel et l'interface pour la conception du système. LabVIEW est un logiciel multiplateforme, ce qui le rend adapté à la plupart des systèmes informatiques.

4.2. Concepts clés de LabVIEW

Plusieurs éléments et concepts de LabVIEW sont essentiels au format et au fonctionnement de l'environnement. Ceux-ci inclus :

- Environnement LabVIEW : l'environnement LabVIEW se compose du gestionnaire d'instrument virtuel, des outils de programmation, des fonctionnalités de débogage, des modèles et des exemples prêts à l'emploi, ainsi qu'une interface pour les pilotes matériels.
- VI LabVIEW : Le VI LabVIEW est un « instrument virtuel » qui permet de construire une interface utilisateur et qui contient le code de programmation.
- Programmation G : Il s'agit du langage de programmation graphique dans lequel les algorithmes fonctionnels sont construits à l'aide de techniques de « glisser-déposer ».
- Flux de données LabVIEW : c'est le concept de base qui détermine l'ordre d'exécution du programme.

4.3. L'interface LabVIEW

Une application LabVIEW est représentée sous forme d'un VI, il y a deux étapes pour la conception d'un modèle : la définition du GUI (*front panel*) qui est la conception de l'interface utilisateur où l'on dessine et place tous les éléments visuels (contrôles) (Voir Figure 2) :

- Contrôles d'entrée de l'utilisateur : bouton, interrupteur, potentiomètre, curseur, zone de saisie de valeur/listes ...
- Contrôles de sortie du programme : voyant, graphe, thermomètre, zone de texte ...)

La deuxième étape est le (block diagram) qui contient le code d'exécution (Voir Figure 3). Chaque contrôle utilisé dans le front panel va créer un objet *terminal* dans le block diagram. Le diagramme est présenté dans une fenêtre séparée. Il contient le code source graphique du VI, il permet d'effectuer des traitements sur les entrées et sorties créées dans la face avant. La fenêtre diagramme va donc contenir en quelque sorte le « code source » du programme VI.

VI front panel

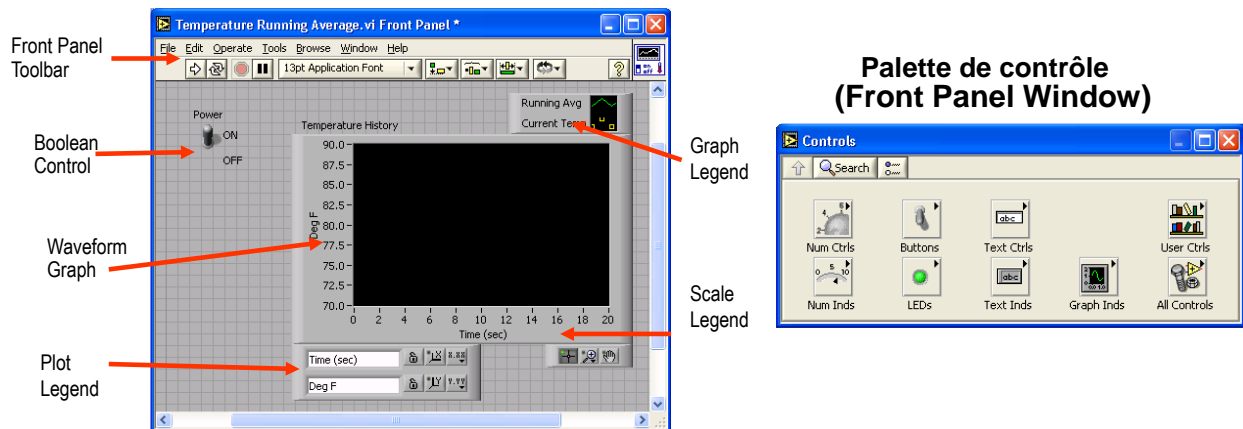


Figure 2. Front panel d'un modèle VI sur LabVIEW

VI Block Diagram

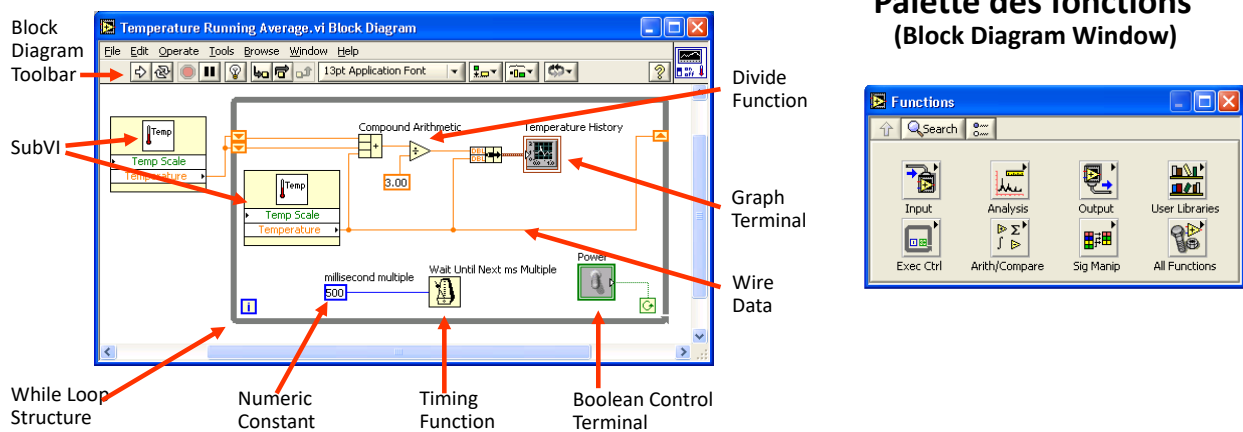


Figure 3. Control panel d'un modèle VI sur LabVIEW

4.4. LabVIEW et les plateformes de développement Arduino

L'interface LabVIEW pour Arduino est une API basée sur les VI qui a été écrite et distribuée par National Instrument. Le code comprend également un programme Arduino qui doit être téléchargé sur la carte de développement. Ce programme qui s'exécute sur l'Arduino, répond aux commandes envoyées sur le bus USB depuis le programme LabVIEW. Il renvoie ensuite les données à l'ordinateur via l'USB. Les VIs LabVIEW permettent de lire les entrées analogiques, de contrôler et les lignes d'E/S numériques, ainsi que d'utiliser plusieurs autres fonctionnalités des cartes Arduino.

Pour établir une communication entre l'interface LabVIEW et une carte Arduino via un protocole de communication par exemple série (UBS) on utilise différentes bibliothèque et

plateformes permettant le contrôle et le pilotage d'instruments E/S, ainsi l'échange de données en temps réel.

Les différents interfaces et bibliothèques utilisées sont :

- Interface et Bibliothèque VISA (NI Serial Communication).
- Interface Arduino-LIFA (Labview Interface for Arduino).
- Interface ET platform Arduino-Maker hub (LINX).

La procédure ci-dessous explique comment installer, configurer l'interface entre une carte Arduino et LabVIEW.

Donc les éléments nécessaires pour l'installation et afin d'établir la communication sont :

- Installation du LabVIEW.
- Installation de l'Arduino IDE.
- Installation NI-VISA.
- Gestionnaire de paquets VI (Package Manager (VIPM)).
- Après l'utilisateur doit installer les interfaces LabVIEW pour Arduino à partir du Package Manager tel que : La bibliothèque Arduino-LabVIEW (LINX), la bibliothèque (LIFA BASE), et d'autres bibliothèques si nécessaire.

5. Conception de l'architecture fonctionnelle

Les premières étapes de la conception sont l'analyse et la spécification des exigences, ceci permet d'aider le concepteur à définir le problème et à esquisser les fonctionnalités souhaitées, et à identifier les contraintes globales de conception.

Dans cette section nous allons essayer d'extraire les différentes fonctions du système, en définissons les architectures fonctionnelles de chaque partie du système, à savoir la station d'acquisition et la station de base. Lors de la conception des architectures fonctionnelles du système, nous allons fixer un certain nombre de choix que nous avons jugés nécessaires pour la mise en œuvre du système.

- L'utilisation du logiciel LabVIEW
- L'utilisation des cartes de développement Arduino Nano.
- L'utilisation de l'interface de communication sans-fils nRF24

5.1. Architecture de la station d'acquisition

La figure ci-dessous illustre l'architecture fonctionnelle du système d'acquisition, c'est cette partie qui est directement installée sur le générateur photovoltaïque, afin de récolter les mesures nécessaires pour sa surveillance.

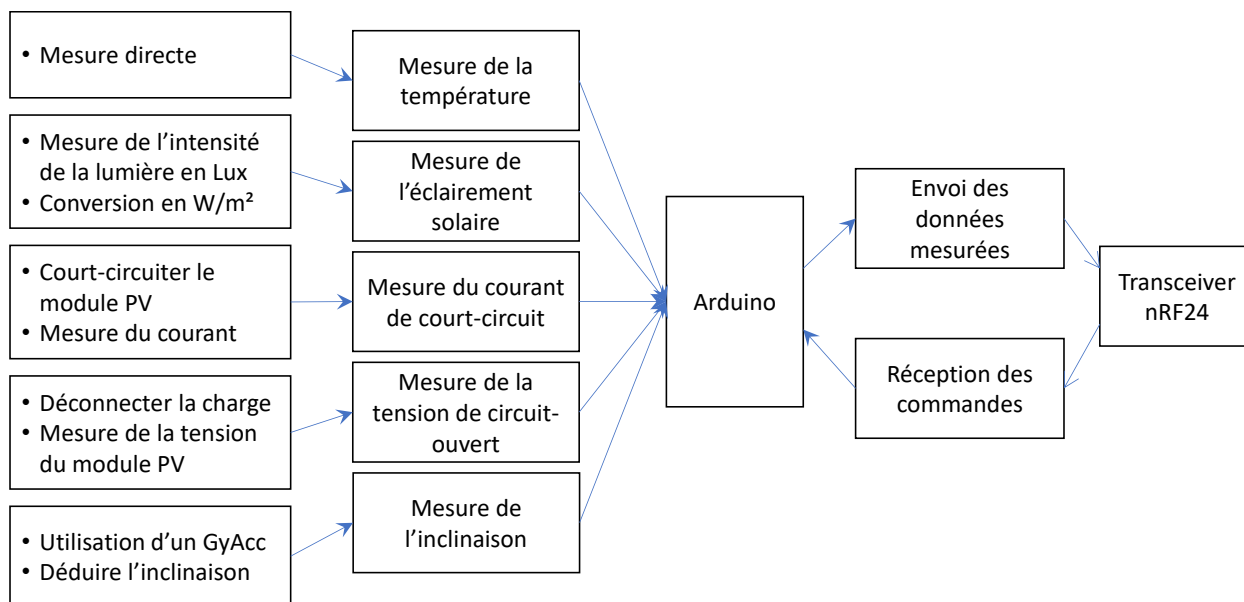


Figure 4. Architecture fonctionnelle du système d'acquisition

5.2. Architecture de la station de base

La figure ci-dessous expose l'architecture du système qui récupère les données des dispositifs d'acquisition, et les transmet au logiciel LabVIEW pour traitement et affichage.

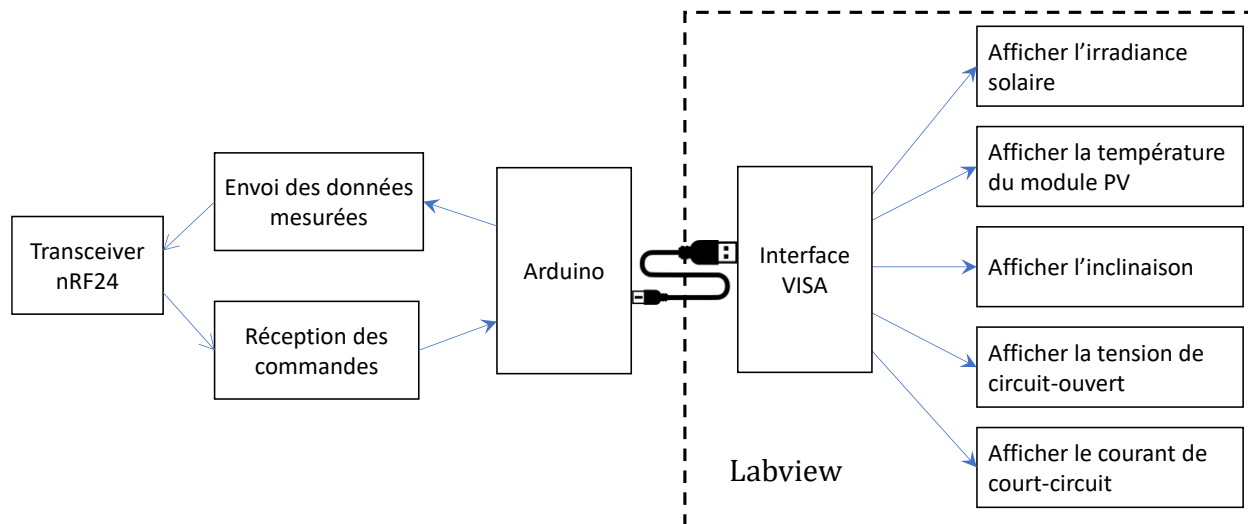


Figure 5. Architecture fonctionnelle du système d'acquisition

6. Composants pour la réalisation des dispositifs électronique

Pour réaliser le système de surveillance, plusieurs composants de base sont nécessaires. Tout d'abord, vous avez besoin de capteurs adaptés capables de mesurer les paramètres ou les signaux climatique, à savoir la température et l'éclairement solaire. D'autres capteurs sont nécessaires pour la mesure de l'inclinaison, le courant et la tension. Aussi, nous avons besoin d'une interface de communication sans fils efficace et bon marché. Et le plus important, il faut disposer d'un microcontrôleur capable de générer ces différents capteurs et de communiquer avec un autre système via l'interface RF.

6.1. Capteur de la température

Pour mesurer la température des panneaux solaires, souvent on utilise des capteurs de température, tels que des thermocouples ou des capteurs à semi-conducteur. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser un capteur à thermocouple de type K en combinaison avec un circuit électronique de compensation MAX6675.

Le MAX6675 est un circuit intégré utilisé pour mesurer des températures allant de 0 °C à 1024 °C en utilisant n'importe quel microcontrôleur. Il transmet les données numérisées via une interface SPI (Serial Peripheral Interface). Le MAX6675 comprend un circuit d'amplification, un compensateur de jonction froide et un convertisseur analogique-numérique de 12 bits.

Ce capteur de température MAX6675 est bien adapté à notre projet. Il peut mesurer des températures élevées avec une résolution relativement faible mais une grande précision

Spécification

- Modèle : MAX6675
- Tension de fonctionnement : 3 ~ 5,5 V CC
- Gamme de température : 0 ~ +1024°C
- Plage de compensation de soudure froide : -20 ~ + 80 ° C
- Résolution : 0,25 ° C

Caractéristiques

- Circuit interne intégré de compensation de soudure froide
- Le signal de température peut être converti en numérique 12 bits
- Circuit de détection de rupture de thermocouple intégré.
- Sonde de température de type K
- Température de sortie série SPI simple.
- Entrées différentielles à haute impédance.
- Détection de rupture de thermocouple.

- 2000V de signal ESD.

La figure ci-dessous montre la forme et la connectique du circuit MAX6675 ainsi que le thermocouple associé.

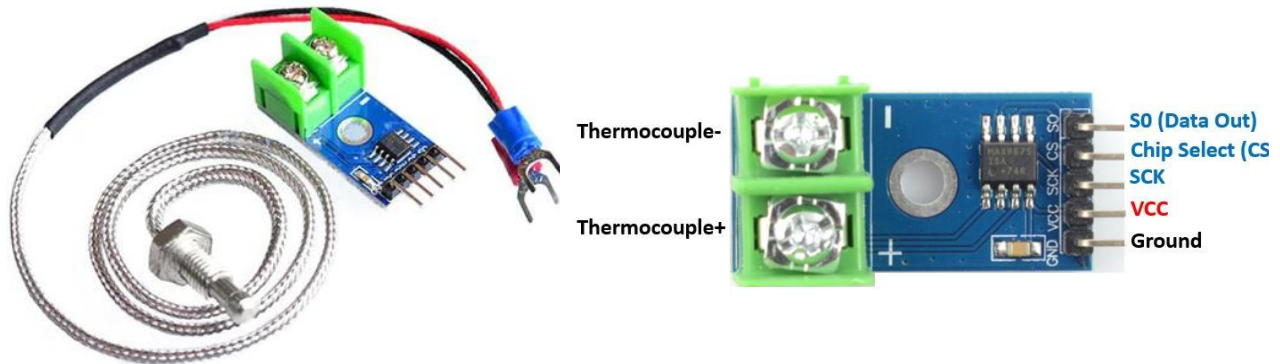


Figure 6. Carte d'un capteur de température MAX6675

6.2. Capteur de l'éclairement

Dans les grandes installations photovoltaïques, on utilise un matériel spécifique pour la mesure de l'éclairement solaire (direct, global ou diffus), cependant pour une installation de petite taille, nous utilisons des capteurs initialement dédiés à la mesure de la lumière.

Il existe quatre types de capteurs différents à étudier : les capteurs UV, les capteurs de lumière visible, les capteurs infrarouges et les capteurs qui couvrent plusieurs parties de la division spectrale choisie. Lors du choix de ces capteurs, il est bon de garder à l'esprit la couverture du spectre électromagnétique, car il serait bon que la sensibilité spectrale des capteurs connectés ou se chevauche.

Dans le cadre de notre projet, nous pouvons utiliser des capteurs qui transforment la quantité de lumière reçue en un signal électrique. Ces capteurs sont couramment appelés capteurs de lumière ou capteurs de luminosité. Ils peuvent être de différents types, tels que les capteurs photo-résistifs (ou résistances photoélectriques), les photodiodes, les phototransistors, ou encore les cellules solaires (ou panneaux solaires).

Ces capteurs réagissent à l'intensité lumineuse incidente en générant un signal électrique proportionnel à cette intensité. Ce signal électrique peut ensuite être mesuré et utilisé pour diverses applications, telles que la détection de luminosité ambiante, le suivi de la position du soleil, la mesure de l'éclairage dans un environnement, ou encore pour évaluer l'efficacité d'un panneau solaire.

BH1750FVI est un circuit intégré de capteur de lumière ambiante numérique avec interface I2C. Ce circuit intégré est le plus approprié pour obtenir la mesure de la lumière ambiante. Il est

possible de détecter une large gamme de longueur d'onde avec un à haute résolution de 1Lux à 65535Lux.

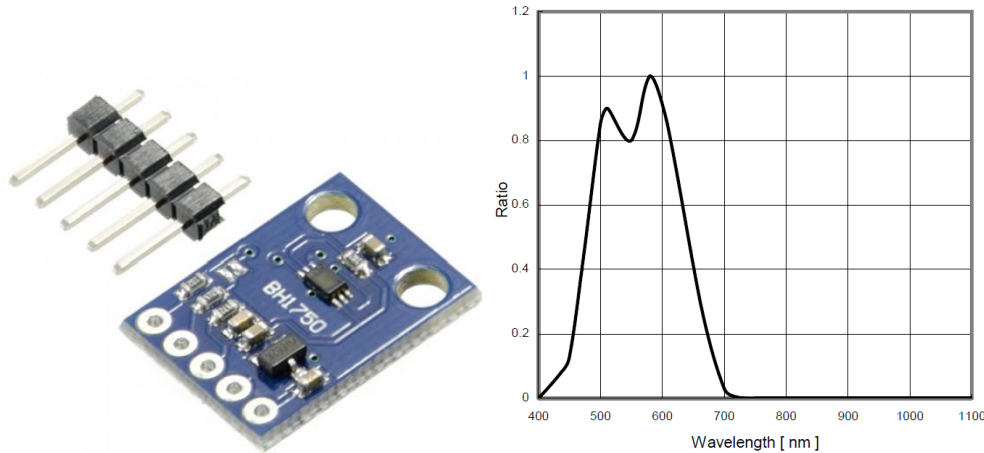


Figure 7. Capteur de lumière BH1750

6.3. Capteur d'inclinaison

Le module de capteur MPU6050 est un dispositif complet de suivi de mouvement à 6 axes. Il combine un gyroscope à 3 axes, un accéléromètre à 3 axes et un processeur de mouvement numérique, le tout dans un petit boîtier. En outre, il dispose d'une fonctionnalité supplémentaire de capteur de température sur puce. Il dispose d'une interface de bus I2C pour communiquer avec les microcontrôleurs.

Il dispose d'un bus auxiliaire I2C pour communiquer avec d'autres capteurs tels que le magnétomètre 3 axes, le capteur de pression, etc.

Spécifications

- Tension d'alimentation : 2,3 – 3,4 V
- Consommation : 3,9 mA maxi
- Accéléromètre :
- Plages de mesure : ± 2 g ± 4 g ± 8 g ± 16 g
- Tolérance de calibration : $\pm 3\%$
- Gyroscope :
- Plages de mesure : $\pm 250/500/1000/2000$ °/s
- Tolérance de calibration : $\pm 3\%$
- Interface I2C
- Capteur de température intégré
- Température de service : -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$
- Dimensions : 25,5 x 15,2 x 2,48 mm

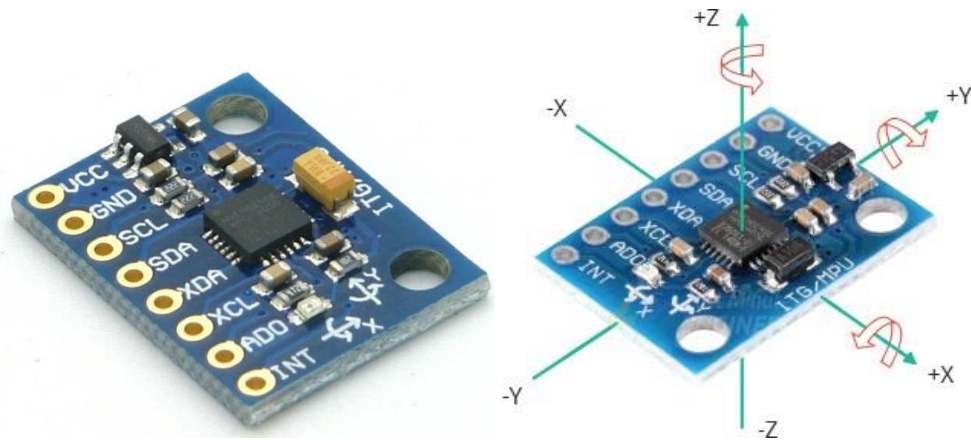


Figure 8. Un gyroscope MPU6050

6.4. Mesure du courant et de la tension

La mesure du courant et de la tension est cruciale pour la caractérisation d'un système électrique. Ces mesures sont utilisées pour reconstruire la caractéristique courant-tension (I-V) et en déduire la caractéristique puissance-tension (P-V). Elles sont essentielles non seulement pour détecter d'éventuels défauts, mais aussi pour tester le bon fonctionnement d'un générateur photovoltaïque (GPV) de manière générale.

6.4.1. Capteur de courant

Les capteurs de courant ACS712 disponibles sur Internet sont conçus pour être facilement utilisés avec des microcontrôleurs tels que l'Arduino. Ils sont basés sur la puce Allegro ACS712ELC. Ces capteurs de courant sont disponibles avec des valeurs de pleine échelle de 5 A, 20 A et 30 A. Le principe de fonctionnement de base de chacun de ces capteurs est identique. La seule différence réside dans le facteur d'échelle de sortie, qui est détaillé ci-dessous.

Caractéristiques techniques

- Dimensions : 31x13x15mm
- Puce : ACS712ELEC-5A
- Gamme de courant mesuré : -5A à +5A
- V_{ref} à 0A : $V_{cc}/2$ soit 2.5V à 5V
- Sensibilité : 66 mV/A
- Isolation : 2.1 KV
- Consommation : 10 mA
- Erreur : 1.5% @25°C
- Alimentation : 4.5-5.5V DC

La carte de capteur de courant est basée sur la puce bidirectionnelle à effet Hall Allegro ACS712ELCTR-20A, qui est capable de détecter les courants positifs et négatifs dans une plage

allant de moins 20 ampères à 20 ampères positifs. La carte fonctionne avec une alimentation de 5 V CC et le courant traversant le capteur est converti en une tension de sortie qui commence à 1/2 de la tension d'alimentation (soit 2,5 V) en l'absence de courant, et augmente de 100 mV par ampère pour le courant positif, ou diminue de 100 mV par ampère pour le courant négatif.

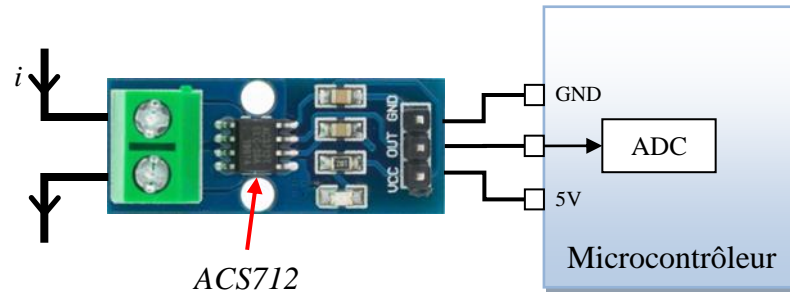


Figure 9. Capteur de Courant ACS712 20A

6.5. Capteur de tension

Nous allons utiliser un module préfabriqué composé d'un simple diviseur de tension pour mesurer la tension générée par le GPV. La tension maximale que nous devons mesurer est de 23V. Nous utiliserons un microcontrôleur qui est équipé d'un convertisseur analogique-numérique intégré, mais qui ne peut accepter que des valeurs de tension inférieures à 5V. C'est pourquoi nous utilisons un diviseur de tension pour adapter la tension du GPV à la tension maximale acceptée par le microcontrôleur.

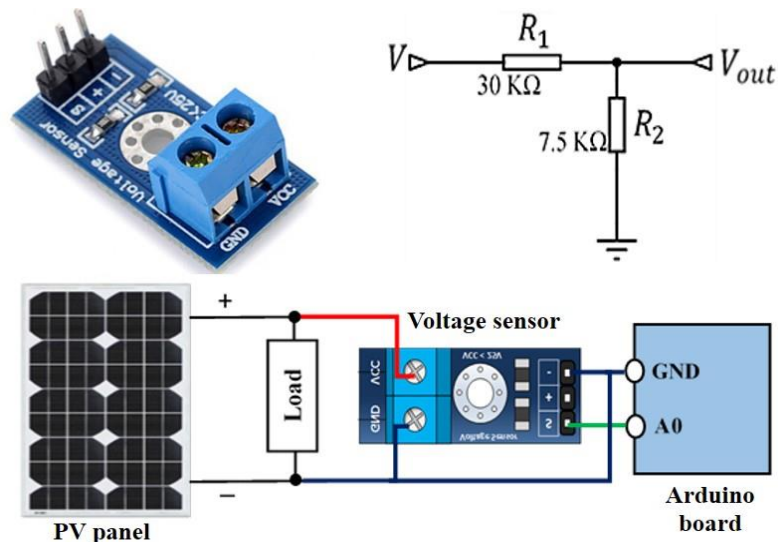


Figure 10. Capteur de tension

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une manière générale les différentes étapes pour la conception du système de surveillance pour les installations photovoltaïque. Nous avons ainsi présenté les composants que nous avons choisi pour cet effet, et nous avons expliqué nos choix, et les éléments essentiels de leur fonctionnement.

Chapitre 4

1. Introduction

Le système de surveillance solaire (PV) est largement utilisé parce que la surveillance et l'entretien jouent un rôle très important dans l'énergie solaire Plantes. Un utilisateur du système voudrait généralement savoir ce qu'un système d'énergie renouvelable génère, la quantité des lectures de tension, de courant, de température et d'intensité lumineuse à des heures spécifiques d'une journée de 24/24 heures. Au cours de ce chapitre, nous allons présenter le cahier des charges qui doit être respecté lors de la conception du présent projet. Nous allons distinguer le cahier des charge technique et cahier des charges fonctionnel, dont le but de mettre les bases et les propriétés importantes pour la réalisation du système. Ce projet est composé de plusieurs étapes. Dans ce chapitre, nous les définirons, les dimensionnerons et les testerons, les uns après les autres séparément, à l'aide de tests de simulation effectués sous Proteus-Isis Et regardez les résultats à distance via LabVIEW .

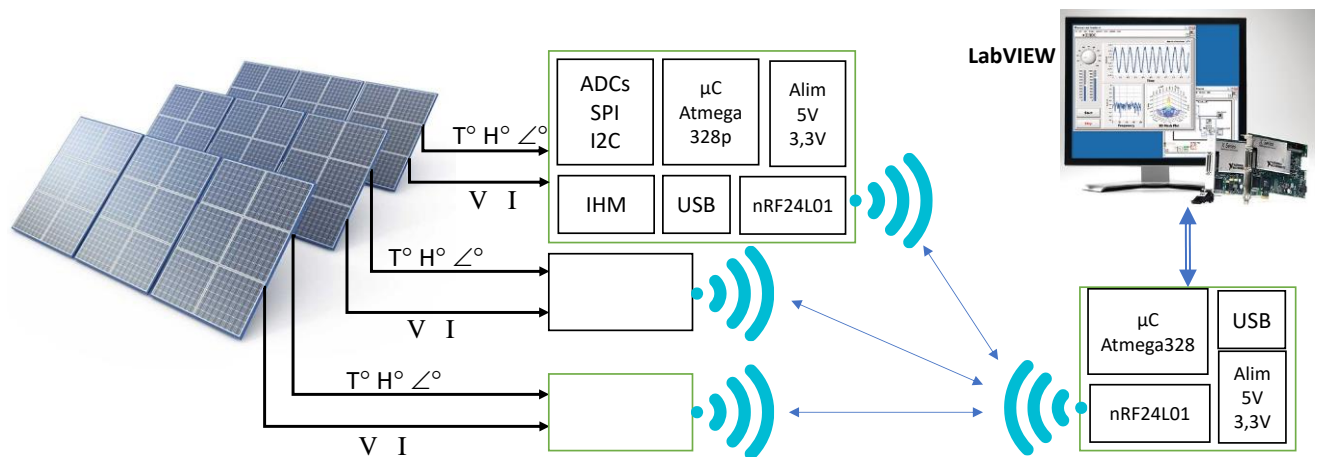


Figure 1. Schéma globale de système de surveillance des panneaux solaire

2. Résultats de simulation du système par Proteus

Les résultats de simulation du système ont été obtenus grâce à Proteus. Ce logiciel offre la possibilité de simuler les comportements des circuits et du code proposé. Les modules Arduino ont été intégrés à la bibliothèque des composants de ce logiciel.

Malheureusement beaucoup de composant de notre système de sont pas simulable directement sur Proteus, tel que l'interface de communication nRF24L01 ou le capteur d'inclinaison MPU6050.

2.1. Schéma global du système par Proteus

Le système que nous concevons est divisé en deux parties, la première est connecté au générateur photovoltaïque et qui sert à mesure ces paramètre de fonctionnement, la deuxième partie est connecté à un PC ou est installé le logiciel d'instrumentation LabVIEW .

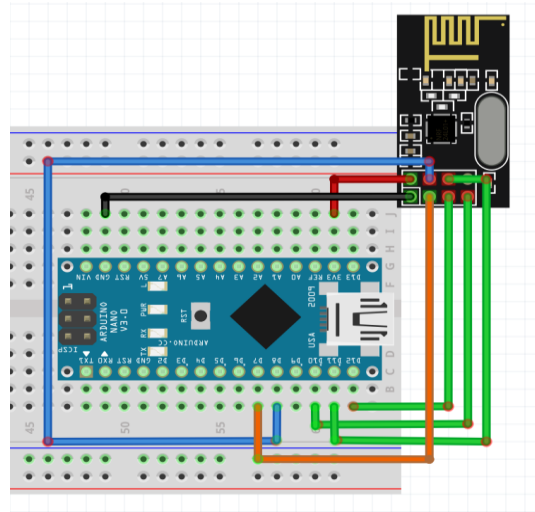


Figure 2. Schéma de la station de base (sans l'interface avec LabVIEW)

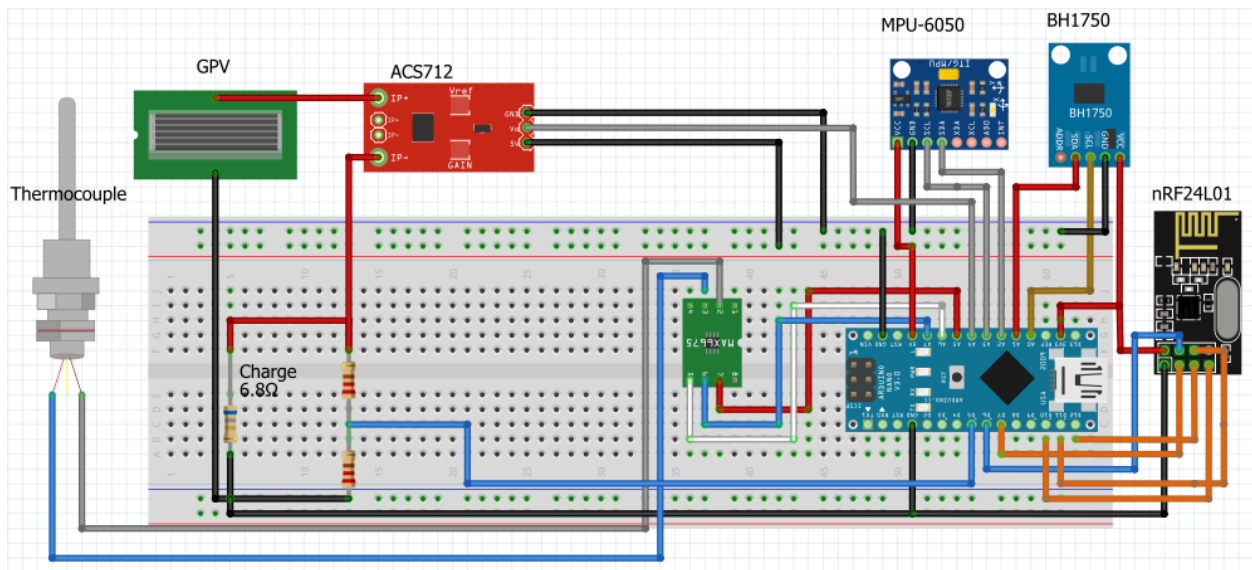


Figure 3. Schéma de la station d'acquisition

Au cours de cette simulation, cinq paramètres ont été mesurés, à savoir la température, l'intensité lumineuse, la tension, le courant, ainsi que l'orientation du panneau solaire grâce au capteur boussole MPU6050.

La température a été mesurée à l'aide d'un capteur MX6675, l'intensité lumineuse a été mesurée à l'aide d'un capteur BH1750, la tension a été mesurée via un diviseur de tension étant donné que la tension générée par le panneau solaire est supérieure à la valeur supportée par l'Arduino, et le courant a été mesuré à l'aide d'un module de capteur de courant capable de détecter le courant généré par le panneau solaire.

Tous ces paramètres sont considérés comme des grandeurs et les résultats ont été envoyés sans fil via NRF, en étant connectés à une autre carte Arduino permettant d'afficher et de contrôler les résultats, lesquels peuvent être visualisés sur un ordinateur via un programme LABVIEW .

2.2. Mesure de la tension et du courant

Un circuit appelé "diviseur de tension" est utilisé pour produire une tension de sortie qui est une fraction de la tension d'entrée en utilisant deux résistances en série. Un exemple simple d'un tel circuit consiste en deux résistances connectées en série avec la tension d'entrée appliquée à travers les deux résistances, et la tension de sortie émergeant de la connexion entre elles. En choisissant des résistances appropriées, on peut obtenir une tension de sortie (V_{out}) qui est une fraction de la tension d'entrée (V_{in}).

On peut utiliser le diviseur de tension pour mesurer la tension du panneau solaire ou de la centrale électrique en connectant le terminal du panneau.

La limite de tension d'entrée maximale pour les convertisseurs analogique-numérique étant de 5 volts, il est recommandé de calculer les valeurs des résistances en fonction de 4 volts pour augmenter la précision des mesures et protéger l'ADC contre les fluctuations de tension.

Et Pour mesurer le courant, nous avons opté pour l'utilisation d'un capteur de courant à effet Hall de type ACS712, qui fournit une tension utilisable.

Le capteur de courant ACS712 est disponible en différentes gammes de mesure, notamment $\pm 5A$, $\pm 20A$ et $\pm 30A$, et la seule différence entre ces gammes de mesure est leur sensibilité. Nous avons utilisé le modèle ACS712ELC-20A pour notre projet, qui mesure le courant allant de $-20A$ à $+20A$ et dont la sensibilité de $100mV/A$ a été déterminée lors d'une étude de détermination de coefficient de proportionnalité que nous avons effectuée.

Les capteurs de courant ACS712 produisent une tension de sortie directement proportionnelle au courant qui circule dans le circuit. Ce dispositif est actif, ce qui signifie qu'il nécessite une alimentation de tension V_{cc} pour fonctionner.

2.2.1. Schéma pour la mesure du courant et de la tension par Proteus

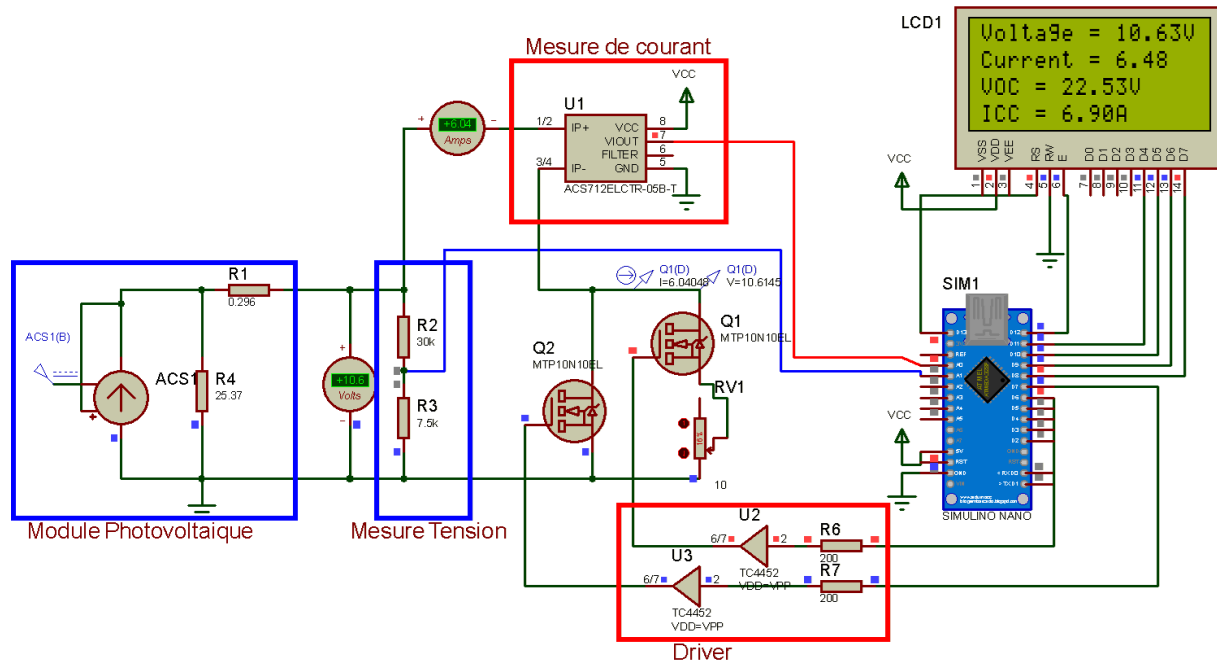
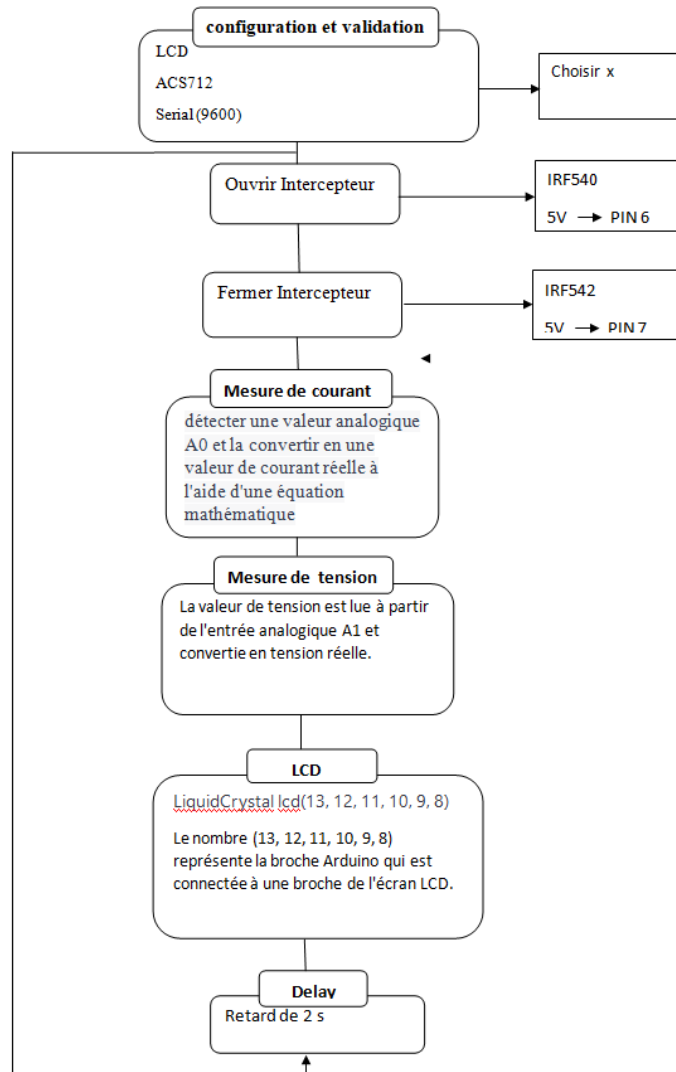


Figure 4. Schéma pour la mesure du courant et de la tension

2.2.2. Organigramme de fonctionnement

Concernant l'algorithme de commande, nous avons résumé son fonctionnement dans l'organigramme de la figure suivante, avant de passer par la programmation du microcontrôleur, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences,



2.3. Mesure de la température

Le MAX6675 est un convertisseur analogique-numérique (CAN) spécialement conçu pour mesurer la température à la même température qu'un thermocouple. La sonde thermocouple a généré une tension qui varie en fonction de la température. Le MAX6675 convertit cette tension en une valeur numérique à l'aide d'un amplificateur d'instrumentation et d'un convertisseur A/N intégration.

Le MAX6675 est limité par une tension de 3,3V ou 5V et communique avec un microcontrôleur via une interface de communication SPI. Le microcontrôleur envoie une commande de lecture au MAX6675 et celui-ci renvoie la valeur numérique de la température mesurée via le bus SPI. La valeur de température est ensuite interprétée par le microcontrôleur et peut être utilisée pour contrôler un dispositif de chauffage ou de refroidissement, par exemple.

En résumé, le MAX6675 est un convertisseur CAN compact et facile qui peut être utilisé pour mesurer la température avec un seul thermocouple, s'adaptant à de nombreuses applications de contrôle de température.

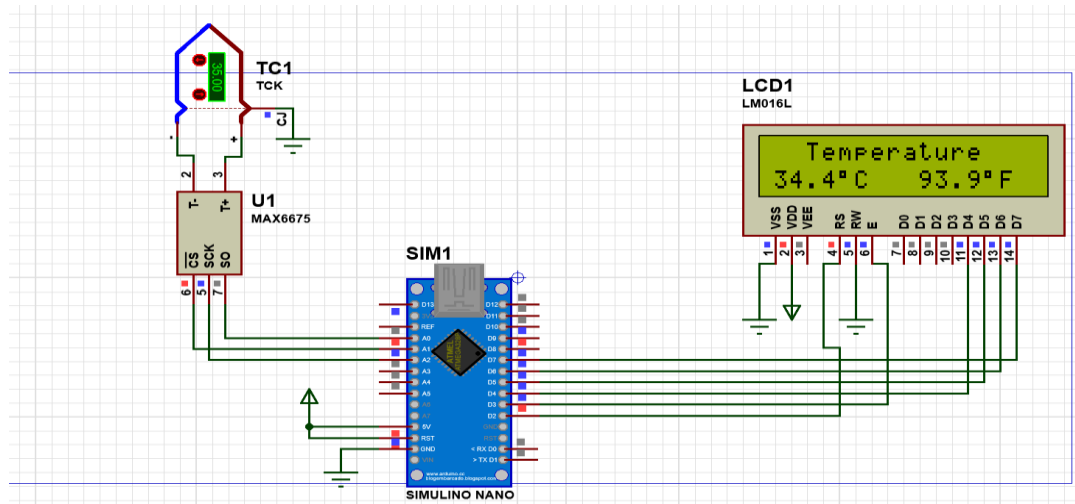


Figure 5. La Simulation de la température en Proteus

2.3.1. Organigramme du fonctionnement testé pour le code de la température :

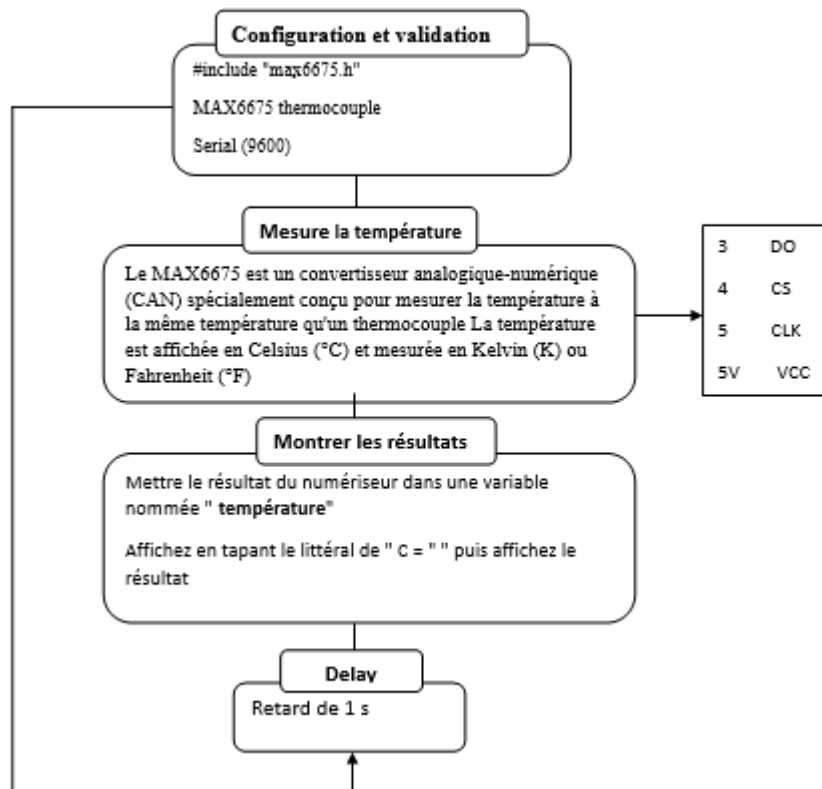


Figure 6.

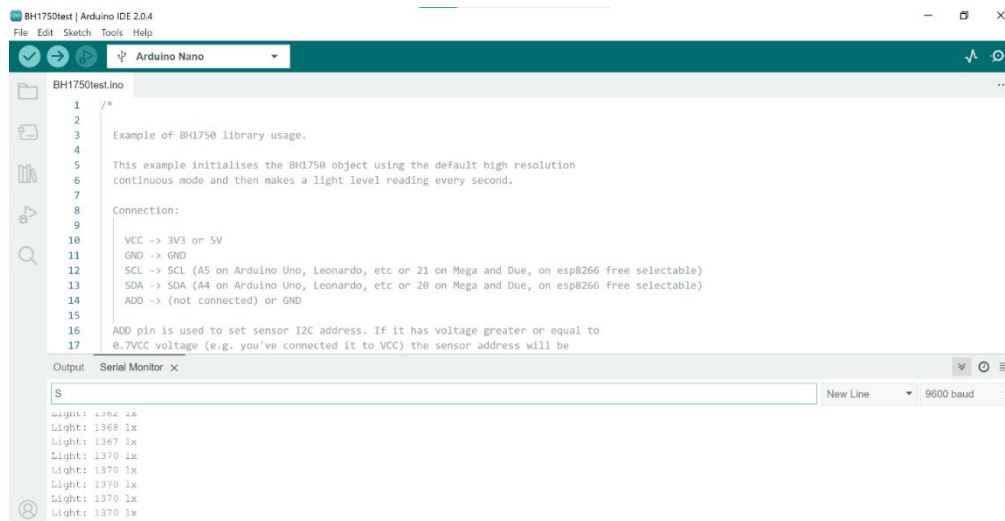
2.4. Mesure de l'éclairement

Le BH1750 est un capteur de lumière numérique qui utilise la technologie de photodiode pour mesurer la lumière ambiante. Le BH1750 est capable de mesurer la luminosité dans une plage de 0,1 à 100 000 lux avec une précision de $\pm 20\%$.

Le BH1750 dispose d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) intégré pour convertir le signal analogique de la photodiode en une valeur numérique. Il utilise une interface de communication série I2C pour communiquer avec le microcontrôleur.

Le BH1750 peut être configuré pour différents modes de mesure, notamment le mode continu et le mode unique. Dans le mode continu, le capteur mesure en permanence la luminosité et envoie des données au microcontrôleur à intervalles réguliers.

Il offre des fonctions de mesure de précision et de compensation pour différentes conditions d'éclairage et est largement utilisé dans les applications d'éclairage intelligent, les systèmes de gestion de l'énergie et les dispositifs de sécurité.



```
BH1750test | Arduino IDE 2.0.4
File Edit Sketch Tools Help

Arduino Nano

BH1750test.ino
1 /*
2  *
3  * Example of BH1750 library usage.
4  *
5  * This example initialises the BH1750 object using the default high resolution
6  * continuous mode and then makes a light level reading every second.
7  *
8  * Connection:
9  *
10 * VCC -> 3V3 or 5V
11 * GND -> GND
12 * SCL -> SCL (A5 on Arduino Uno, Leonardo, etc or 21 on Mega and Due, on esp8266 free selectable)
13 * SDA -> SDA (A4 on Arduino Uno, Leonardo, etc or 20 on Mega and Due, on esp8266 free selectable)
14 * ADD -> (not connected) or GND
15 *
16 * ADD pin is used to set sensor I2C address. If it has voltage greater or equal to
17 * 0.7VCC voltage (e.g. you've connected it to VCC) the sensor address will be
```

```
Output Serial Monitor x
S
Light: 1362 lx
Light: 1368 lx
Light: 1367 lx
Light: 1370 lx
Light: 1370 lx
Light: 1370 lx
Light: 1370 lx
Light: 1370 lx
Light: 1370 lx
```

Figure 7. Résultats simulation pour la mesure de l'éclairement

2.4.1. Organigramme du fonctionnement testé pour le code

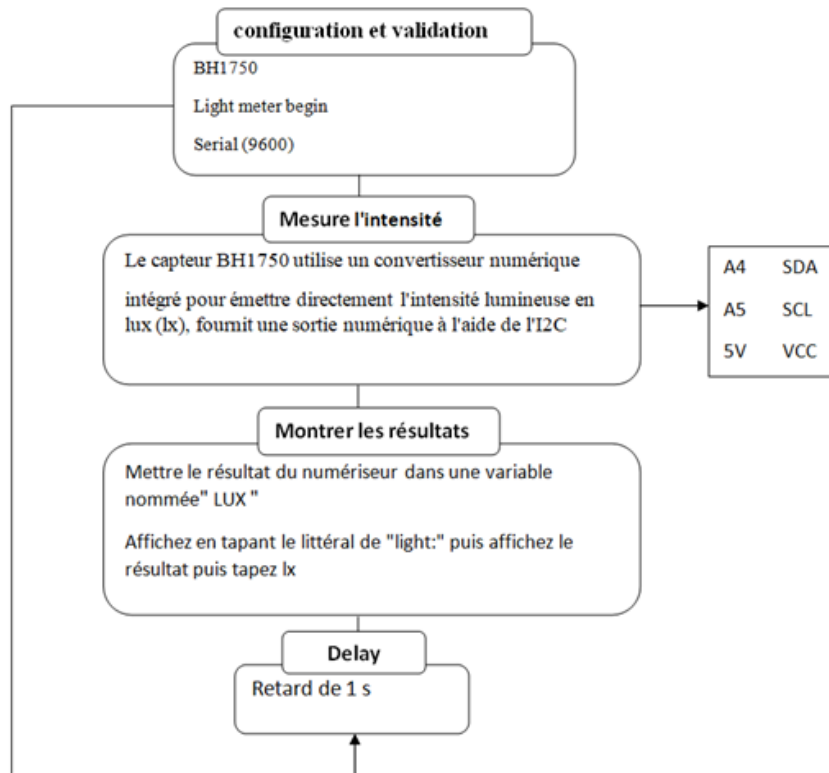


Figure 8.

2.5. Mesure de l'inclinaison

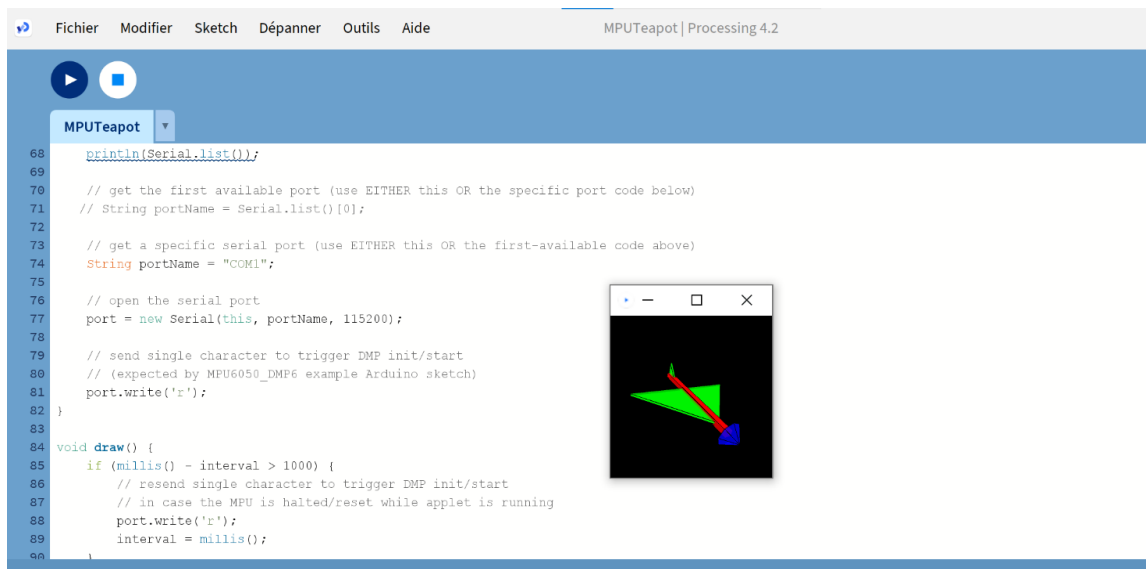


Figure 9.

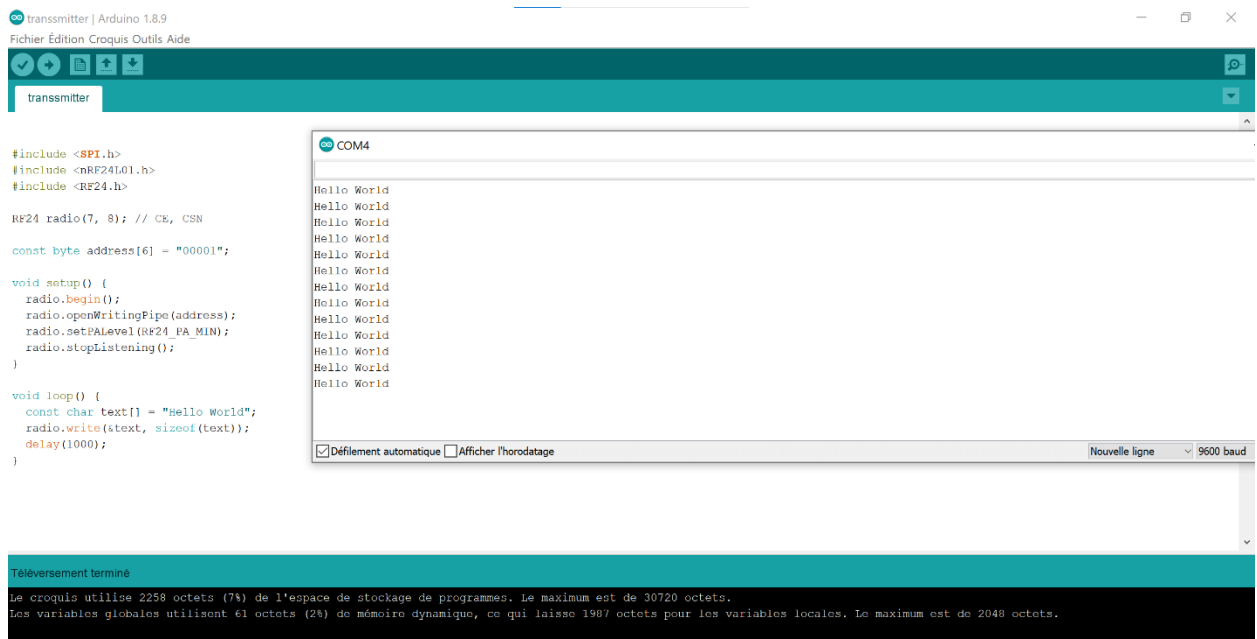
2.5.1. Méthode de fonctionnement du module MPU6050

Le MPU6050 est un capteur d'inertie combinant un accéléromètre et un gyroscope dans un module unique. Il utilise la communication série (I2C) pour échanger des données avec Arduino. Les mesures d'accélération et de vitesse angulaire sont stockées dans des registres, et après les avoir lues, vous pouvez les traiter, par exemple en les convertissant en unités d'accélération ou d'angle. Une fois les données traitées, vous pouvez les utiliser pour détecter l'orientation d'un objet ou effectuer d'autres calculs de mouvement.

2.6. Communication sans-fils avec le module nRF24L01

Le NRF24L01 est un module de communication radio sans fil utilisé pour établir une communication à courte distance entre deux ou plusieurs appareils. Il utilise une technologie de modulation en amplitude de phase (ASK) pour transmettre les données sur une fréquence radio 2,4 GHz.

Le NRF24L01 est équipé d'un amplificateur de puissance et d'un contrôleur de signal pour émettre des signaux RF. Il est également doté d'une interface de communication série SPI pour communiquer avec le microcontrôleur. Le module peut être configuré pour différents modes de communication, notamment le mode émission et le mode réception.



```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

RF24 radio(7, 8); // CE, CSN

const byte address[6] = "00001";

void setup() {
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(address);
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
  radio.stopListening();
}

void loop() {
  const char text[] = "Hello World";
  radio.write(text, sizeof(text));
  delay(1000);
}
```

COM4

Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World
Hello World

Téléversement terminé
Le croquis utilise 2258 octets (7%) de l'espace de stockage de programmes. Le maximum est de 30720 octets.
Les variables globales utilisent 61 octets (2%) de mémoire dynamique, ce qui laisse 1907 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.

Figure 10. La réalisation module transceiver nRF24L01

Le NRF24L01 utilise un protocole de communication sans fil bidirectionnel en temps réel, appelé Enhanced ShockBurst (ESB), qui permet une communication fiable et rapide entre les appareils. Le module peut également être utilisé dans des applications de multipoint pour communiquer avec plusieurs appareils en même temps.

Le NRF24L01 est capable de transmettre des données jusqu'à une distance de 100 mètres en champ libre, mais cette distance peut être réduite en présence d'obstacles ou d'interférences radio.

3. La réalisation de l'interface avec LABVIEW

LabVIEW est un environnement de développement intégré (IDE) qui permet de créer des applications à l'aide d'une approche visuelle basée sur des blocs de fonctionnalités appelés "VIs" (Virtual Instruments). Les utilisateurs peuvent assembler ces VIs en connectant des fils pour transférer des données entre différentes fonctions, ce qui leur permet de créer des programmes complexes

Le diagramme contient le code source graphique d'un programme LabVIEW. Le concept du schéma fonctionnel est de séparer le code source graphique de l'interface utilisateur de manière logique et simple. Les objets de la face-avant apparaissent sous forme de bornes sur le schéma fonctionnel

Nous connectons le LabVIEW à l'Arduino, exécutons le schéma fonctionnel et créons une interface via le LabVIEW pour afficher et contrôler les résultats que nous obtenons à distance via le module de communication NRF24L01.



3.1. Le schéma du bloc de control sur LABVIEW

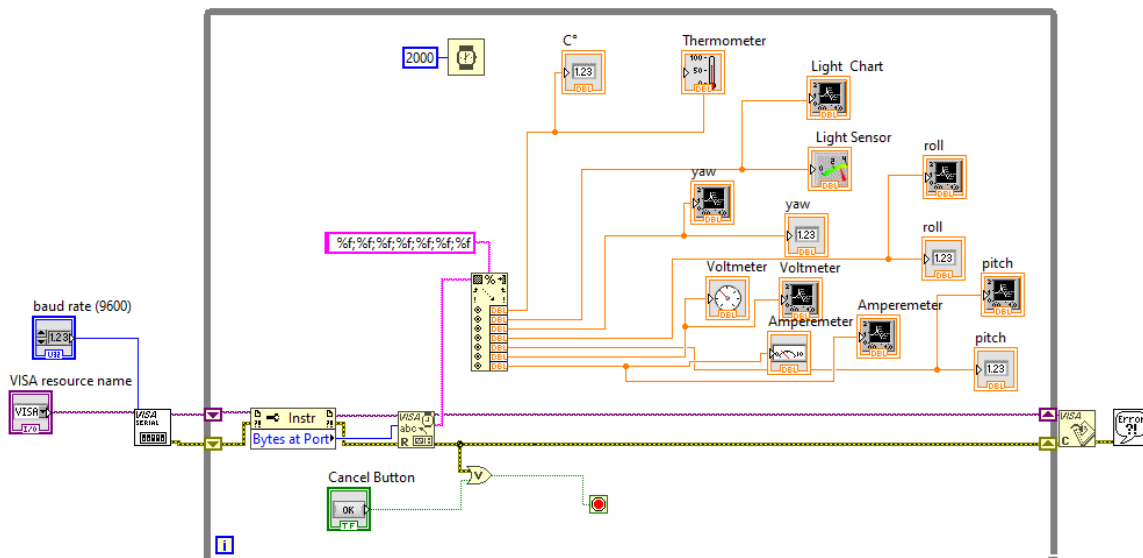
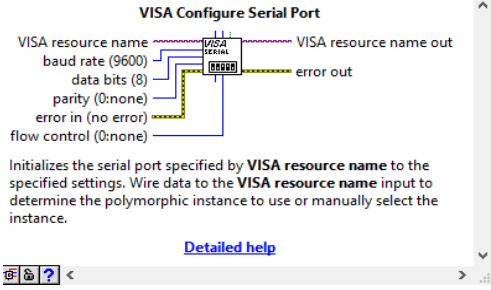
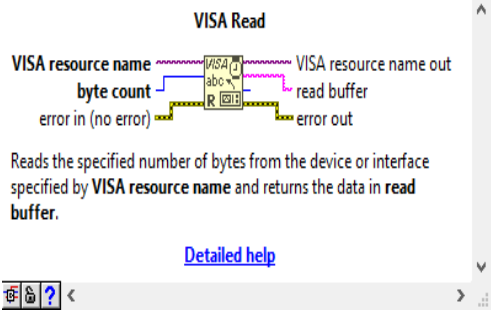
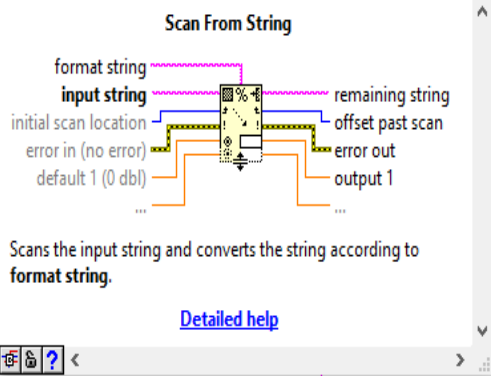

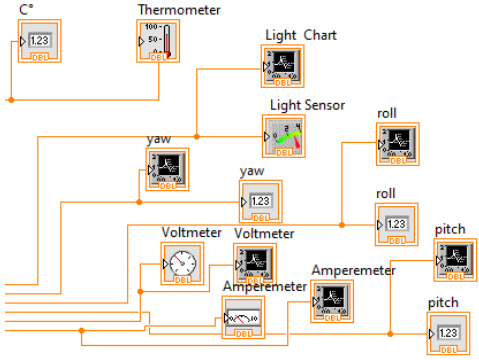


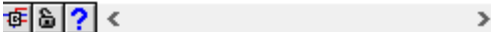


Figure 11. Schéma du bloc de control de l'interface LabVIEW

3.2. Explication des différents éléments du bloc de control

<p>Context Help</p>  <p>VISA Configure Serial Port</p> <p>VISA resource name baud rate (9600) data bits (8) parity (0:none) error in (no error) flow control (0:none)</p> <p>VISA resource name out error out</p> <p>Initializes the serial port specified by VISA resource name to the specified settings. Wire data to the VISA resource name input to determine the polymorphic instance to use or manually select the instance.</p> <p>Detailed help</p>	<p>Initialise le port série spécifié par le nom de ressource VISA avec les paramètres spécifiés. Câblez les données à l'entrée du nom de la ressource VISA pour déterminer l'instance polymorphe à utiliser ou sélectionnez manuellement l'instance.</p>
<p>Context Help</p>  <p>VISA Read</p> <p>VISA resource name byte count error in (no error)</p> <p>VISA resource name out read buffer error out</p> <p>Reads the specified number of bytes from the device or interface specified by VISA resource name and returns the data in read buffer.</p> <p>Detailed help</p>	<p>Lit le nombre d'octets spécifié à partir du périphérique ou de l'interface spécifié par le nom de ressource VISA et renvoie les données dans le tampon de lecture.</p>
<p>Context Help</p>  <p>Scan From String</p> <p>format string input string initial scan location error in (no error) default 1 (0 db1)</p> <p>remaining string offset past scan error out output 1</p> <p>Scans the input string and converts the string according to format string.</p> <p>Detailed help</p>	<p>Analyse la chaîne d'entrée et convertit la chaîne en fonction de la chaîne de format. Utilisez cette fonction lorsque vous connaissez le format exact de l'entrée. L'entrée peut être une chaîne, un chemin, un type énuméré, un horodatage ou des données numériques. Vous pouvez également utiliser la fonction Numériser depuis un fichier pour numériser du texte à partir d'un fichier. Le connecteur affiche les types de données par défaut pour cette fonction polymorphe.</p>
<p>Wait (ms)</p>  <p>milliseconds to wait</p> <p>Waits the specified number of milliseconds and returns the value of the millisecond timer. (Windows) The actual wait time may be up to 1 ms shorter than the requested wait time.</p>	<p>Attend le nombre de millisecondes spécifié et renvoie la valeur de la minuterie en millisecondes.</p> <p>Cette fonction ne termine pas son exécution tant que le temps spécifié ne s'est pas écoulé.</p>

	<p>Différents outils d'affichage affichent différentes courbes et formes</p>
<p>Context Help</p>  <p>Property: Serial Settings: Number of Bytes at Serial Port Bytes at Port (unsigned long [32-bit integer (0 to 4,294,967,295)])</p> <p>Returns the number of bytes currently available at the serial port used by this session.</p>	<p>Renvoie le nombre d'octets actuellement disponibles sur le port série utilisé par cette session</p>
<p>Or</p>  <p>$x \text{ .or. } y$</p> <p>Computes the logical OR of the inputs. Both inputs must be Boolean values, numeric values, or error clusters. If both inputs are FALSE, the function returns FALSE. Otherwise, it returns TRUE.</p> <p>Detailed help</p> 	<p>Calcule le « OU logique » des entrées. Les deux entrées doivent être des valeurs booléennes, des valeurs numériques ou des clusters d'erreurs. Si les deux entrées sont FALSE, la fonction renvoie FALSE. Sinon, il renvoie VRAI.</p>

3.2.1. Interface graphique de contrôle sur LabVIEW

LabVIEW est largement utilisé dans le domaine du contrôle, de la mesure et dans d'autres applications scientifiques et techniques. Il offre une grande flexibilité pour l'acquisition, le traitement et l'analyse de données, ainsi que pour le contrôle d'instruments et de systèmes. Il permet également de concevoir des interfaces graphiques interactives comprenant des outils d'affichage tels que des graphiques, des valeurs exactes et des boutons de contrôle.

L'une des forces de LabVIEW réside dans sa capacité à fournir une visualisation en temps réel des données, ce qui permet aux utilisateurs de surveiller et de contrôler des systèmes en temps réel.



Figure 12. Interface graphique sur LabVIEW

4. Organigramme de fonctionnement du système de télémesure

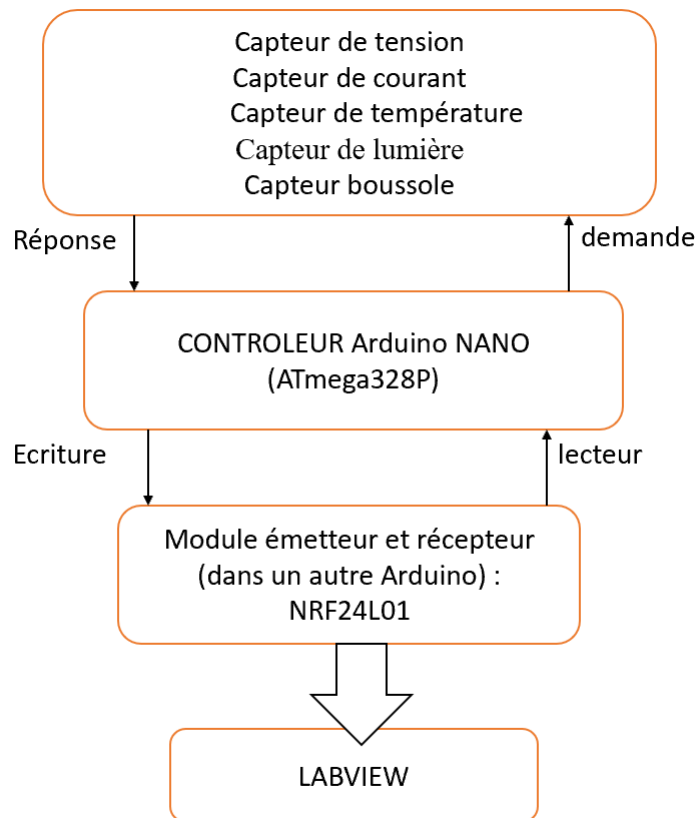


Figure 13. Schéma synoptique de la station d'acquisition

5. Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons effectué des simulation (par Proteus ISIS) détaillées du fonctionnement des éléments du système, nous avons également présenté l'interface LabVIEW qui permet la réalisation pratique du système de télémessure.

Les résultats ont été affichés via une interface de programme LabVIEW. Les travaux et les résultats abordés dans ces thèmes sont très encourageants et motivent à continuer dans ce même axe de recherche.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire traite de la conception d'un système de mesure distant des paramètres climatiques d'un système photovoltaïque. Le système que nous avons mis en œuvre est constitué de deux parties distantes.

La première partie est installée sur le générateur photovoltaïque, ou elle permettra de récolter les mesures nécessaires périodiquement, la deuxième partie qui récupère les données récoltées de la première partie est connectée avec le logiciel LabVIEW, ce logiciel permet de visualiser et de contrôler les deux parties du système. Ces deux dispositifs sont connectés l'un à l'autre via une interface de communication nRF24L.

La conception du système est réalisée en plusieurs parties, qui ont permis de choisir la meilleure configuration et l'ensemble des capteurs les mieux adaptés à notre travail. Après de nombreuses simulations et lors de la réalisation du système plusieurs tests, nous avons pu configurer et régler les dispositifs électroniques ainsi que l'interface de commande sur LabVIEW.

L'un des éléments les plus importants lors de la réalisation du système est l'étalonnage des capteurs, pour cette raison nous avons effectué des comparaisons des mesures effectuées avec un solarimètre commercial qui est le Benning SUN 2.

Dans un futur proche nous espérons pouvoir finaliser notre projet en réglant les problèmes que nous avons rencontrés et de pouvoir développer davantage les fonctionnalités visées par ce travail.

Références bibliographiques

- [1] https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/contenu/alternative/alter_etape1_1.html
- [2] S. Bensalem , « Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires », Thèse de Magister, Université de Ferhat Abbas-setif, 2011.
- [3] Z. Kamar, "Commande d'un système photovoltaïque par contrôleur Neuro-Flou Réduit," UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2019.
- [5] Melle BRIHMAT Fouzia, " Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/éolienne ", mémoire de magister en électrotechnique, option entrainements électriques, UMMTO, 2012.
- [6] M. Adouane, M. Haddadi, N. Benamrane, K. Touafek, A. Khelifa, I. Tabet, " Evaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride ", revue des énergies renouvelables SIENR'14 Ghardaïa 2014.
- [7] M. Boussaid, "Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules Photovoltaïques," 2011.
- [4] <https://www.ecosources.org/types-de-cellules-photovoltaïques>
- [8] H. Merakchi, B. Goumeidane, « Optimisation d'un système solaire de pompage d'eau » thèse master en génie électrique université de OEB, juin 2010.
- [9] M. G. Simoes, N.N.France schetti and M.Fried hofer "A Fuzzy logic based photovoltaic Peak Power tracking Controller" IEEE Energy Convers. Mgmt 1998 pp : 300- 305.
- [10] W. Maranda, G. De Mey and A. Evost "Optimisation of the Master –Slave inverter System for Grid-Connected Photovoltaic Plants" Energy convers. Mgmt Vol. 39, No. 12, pp : 1239-1246, 1998.
- [12] H. S. Kim, N. Okada and K. Takigawa "Advanced grid-connected system with functions to suppress disturbance by PV output variation and customer load change" Solar Energy Materials and Solar cells 67 (2001) pp : 560-569.
- [11] M. Ohnishi and A. Takeoka "Advanced photovoltaic Technologies and Residential Applications" Renewable Energy, Vol. 6, No. 3 (1995) pp : 275-282.
- [14] Dictionary.com, "Solar radiation." [Online]. Available: <https://www.dictionary.com/browse/solar-radiation#>. [Accessed: 03-Apr-2020].
- [15] G. Stickler, "Solar Radiation and the Earth System," Educ. Br., pp. 3–5, 2011.
- [16] World Meteorological Organization, WMO-No. 8 - Guide to meteorological instruments and methods of observation. 2012.
- [17] E. F. M. Abreu, P. Canhoto, and M. J. Costa, "Prediction of diffuse horizontal irradiance using a new climate zone model," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 110, pp. 28–42, Aug. 2019.
- [18] C. S. Djen, Z. Jingchun, and W. Lin, "Solar radiation and surface temperature in Shanghai City and their relation to urban heat island intensity," Atmos. Environ., 1994.
- [19] Aurora Solar, "Types of irradiance." [Online]. Available: <https://twitter.com/aurorasolarinc/status/1073641311369084930>. [Accessed: 04-Jul-2020].

- [20] A. Mecherikunnel and J. Richmond, "Spectral distribution of solar radiation," NASA STI/ReconTech, 1980.
- [21] R. Rösemann, Solar Radiation Measurement: From Sensor to Application in Meteorology and environment ; an Overview of the State of the Art ; UV - Visible Light - Infrared, 2nd ed. Kipp & Zonen, Delft, 2004
- [22] https://www.micro-epsilon.fr/temperature-sensors/thermoMETER_CS/
- [22] info@micro-epsilon.de, M. E. M. (2023, February 5). *Micro-Epsilon Messtechnik*. Micro-Epsilon Messtechnik. <https://www.micro-epsilon.fr>
- [23] biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/ramarolahivonjitianaFredericJ_ESPA_M2_15.pdf
- [24] <connect.ed-diamond.com/MISC/misc-086/tout-tout-tout-vous-saurez-tout-sur-le-zigbee>