

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
Et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Technologie



Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : génie mécanique
Spécialité : électromécanique

Thème

**Conception et implémentation d'un système de
surveillance des paramètres de panneau solaire à
l'aide d'un Arduino NANO**

Devant le jury composé de :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
Mohrem Abdelkrim Encadreur

Présenté par :

- Mokhtari Yacoub
- Tidjani Chems Eddine
- Chetti Mohammed

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience, il apparaît opportun de commencer ce projet par des remerciements pour Allah le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir notre travail dans les meilleures conditions. D'abord et à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce travail.

C'est avec plaisir que nous réservons ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à l'égard de tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de notre projet de fin d'étude.

Nous adressons nos meilleurs remerciements à notre encadreur Dr Mohrem Abdelkrim qui nous a tendu la main pour accomplir notre projet et nous lui souhaitons beaucoup de succès et bonheur dans sa vie.

Nous remercions chaleureusement Mr Ghilani Abd El Moumen pour leur aide de réaliser le Cod de programmation de notre système.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos salutations à tous les enseignants de la Faculté De Technologie Département De Génie mécanique et spécialement les enseignants de la spécialité électromécanique, sans oublier les étudiants de master électromécanique.

Nous tenons à exprimer mes reconnaissances à tous mes amis et collègues pour le soutien moral et matériel.

Et enfin, nous remercions également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

Dédicace

Je dédié ce travail à :

*Mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les
Plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés*

et

*M'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié
toute*

Sa vie afin de me voir devenir ce que je suis,

Mes frères et mes sœurs.

A tous mes amis : oussama, ali, mohamed,

À ma chère fiancée

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Mokhtari yakoub

Dédicace

Tout d'abord, louez le Bon Dieu qui m'a donné l'opportunité et la force de poursuivre mes Études
Je dédie cet humble travail au fruit de notre carrière universitaire :

- À mon cher père, qui m'a soutenu et s'est tenu à mes côtés tout au long de ma vie scolaire.
- À ma très chère maman, qui m'a permis de devenir qui je suis aujourd'hui, car tout succès dans ma vie est dû aux aimables sacrifices de ma mère, je n'en dirai pas assez pour exprimer sa gratitude alors merci maman.
- Mes frères et sœurs
- Pour tout le monde avec un nom : TIDJANI.
- À mes amis, en particulier Haithem, Yakoube, mohamed, Taher Tedjani et Rachad.
- À tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.
- À tous ceux qui veulent me voir le plus de succès dans ma vie.

TIDJANI CHEMS EDDINE

Dédicace

Je dédie ce travail à

*Mon père bien-aimé -*Ibrahim*- qui m'a toujours guidé sur
le chemin de la vie*

*Ma chère mère -*Messaouda*- qui s'est sacrifiée pour moi
et n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureuse*

Mes frères et sœurs

tous mes amis

À qui mon cœur aime

Chetti Mohammed

Sommaire

Remerciements	I
Dédicace.....	II
Sommaire	V
Liste de figures.....	VIII
Liste des tableaux	X
Liste des Abréviations et symboles	XI
Résumé :	XIII
Introduction générale :	1
Chapitre I : L'énergie solaire	1
I.1. Introduction	1
I.2. Historique du photovoltaïque	1
I.3. L'énergie solaire	2
I.3.1. Définition	2
I.3.2. Unités utilisées	2
I.3.3. Grandeurs liées à l'éclairement	2
I.4. L'effet photovoltaïque	5
I.5. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	6
I.5.1. Définition d'une cellule solaire	6
I.5.2. Le principe de fonctionnement	7
I.5.2.1. Le Dopage Des Semi-Conducteurs	8
I.6. Les Différentes Technologies	10
I.6.1. Les Cellules Monocristallines	10
I.6.2. Les Cellules Poly Cristallines	11
I.6.3. Silicium Amorphe (A-Si)	11
I.7. Système Photovoltaïque	11
I.7.1. Les Composantes D'un Système Photovoltaïque	11
I.8.2. Les Modules Photovoltaïques	12

I.7.3. Montages Des Modules Photovoltaïques	12
I.8. Modélisation D'une Cellule PV	14
I.8.1. Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque	14
I.8.2. Schéma Equivalent	15
I.9. Orientation Des Panneaux Solaires.....	16
I.9.1. Choix de l'orientation des modules	16
I.9.2. Choix de l'inclinaison des modules.....	16
Chapitre II :Architecture du système	22
II.1. Introduction.....	22
II.2. Aperçu général du système.....	22
II.3. Etapes et outils de conception du système.....	23
II.3.1. Outils de conception matériels	24
II.3.1.1. Panneau solaire.....	24
II.3.1.2. Capteur de courant linéaire ACS712	24
II.3.1.3. Capteur de tension	26
II.3.1.4. Capteur de l'intensité lumineuse.....	27
II.3.1.5. Capteur de température (LM35)	28
II.3.1.6. L'horloge en temps réel (RTC DS1307)	30
II.3.1.7. Écran de cristal liquide (LCD).....	31
II.3.1.8. Unité de stockage de données (La carte SD)	33
II.3.1.9. Microcontrôleurs.....	35
II.3.1.10. Principe de la conversion analogique numérique	36
II.3.1.11. ADC Arduino nano	38
II.3.1.12. Protocole de communication I2C.....	38
II.3.1.13. L'interface de périphérique série (SPI).....	39
II.3.2. Outils de conception logicielle.....	40
II.3.2.1. Le langage de programmation Arduino IDE.....	40
II.3.2.2. Le logiciel de conception et de simulation Proteus ISIS	40
I.4. Conclusion	42

Chapitre III : Simulation et réalisation du système.....	44
III.1. Introduction	44
III.2. Système de la mesure et de surveillance	44
III.3.1. Schéma global du système par Proteus.....	45
III.4. Résultats de simulation du système.....	46
III.4.1. Résultats de simulation de la tension	46
III.4.2. Résultats de simulation de courant	48
III.4.3. Résultats de simulation de mesure de l'intensité lumineuse	50
III.4.4. Résultats de simulation de mesure de la température.....	52
III.4.5. Résultats de fonctionnement de l'horloge en temps réel	55
III.4.6. Calcul de la puissance et l'énergie :	56
III.4.7. Résultats de fonctionnement de module de stockage des données	56
III.4.8Exemple d'exploitation des données enregistrées (MS excel)	59
Conclusions	60
Conclusions générale.....	62
Références :.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Liste de figures

Figure I.1. Spectre solaire hors atmosphère	4
Figure I.2. Composante de rayonnement solaire au sol.....	5
Figure I.3. Principe de fonctionnement d'une cellule PV	7
Figure I.4. Le dopage N et P du silicium.....	9
Figure I.5. Structure d'une cellule photovoltaïque en silicium	10
Figure I.6. Association des cellule solaire PV	11
Figure I.7. Coupe d'un module PV.....	12
Figure I.8. caractéristique résultantes d'un groupement de n_p cellules en série	13
Figure I.9. Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_p cellules en parallèle	14
Figure I.10. Schéma équivalent simplifié d'une cellule solaire réelle	15
Figure I.11. Représentation d'un module photovoltaïque incliné à 35°	16
Figure II.1. Aperçu général du système	23
Figure II.2. Panneau solaire	24
Figure II.3. Caractéristique technique de panneau solaire.	24
Figure II.4. Capteur de courant linéaire ACS712.....	25
Figure II.5. Capteur de tension	26
Figure II.6. Circuit diviseur de tension	27
Figure II.7. circuit du capteur de lumière (LDR).....	28
Figure II.8. Capteur de température LM35	29
Figure II.9. Le module RTC DS1307	30
Figure II.10. Schéma d'application typique RTC DS1307	31
Figure II.11. L'afficheur LCD (JHD 162A)	32
Figure II.12. la carte SD et sa lecteur	34
Figure II.13. Module Arduino Nano	36
Figure II.14. Signal analogique et signal numérique	37
Figure II.15. Symbole normé du convertisseur analogique Numérique	37
Figure II.16. Schéma générale d'un convertisseur analogique numérique	38
Figure II.17. L'interface de Arduino IDE	40
Figure II.18. L'interface de Proteus ISIS.....	41

<i>Figure III.1. Schéma globale de système de surveillance des panneaux solaire</i>	44
<i>Figure III.2. Simulation de système de surveillance des panneaux solaire</i>	45
<i>Figure III.3. Simulation de la tension</i>	46
<i>Figure III.4. Code de programme (Arduino IDE) de la tension</i>	48
<i>Figure III.5. Caractéristiques de sensibilité et de transfert nominales du capteur de ACS712</i> ...	49
<i>Figure III.6. Schéma synoptique du fonctionnement LDR</i>	51
<i>Figure III.7. La tension en fonction de la radiation de capteur (LDR)</i>	52
<i>Figure III.8. L'équation de LDR dans Arduino IDE</i>	52
<i>Figure III.9. La Simulation de la température en Proteus</i>	55
<i>Figure III.10. Code de programme (Arduino IDE) de température</i>	55
<i>Figure III.11. Résultat de DS1307 RTC dans Proteus</i>	56
<i>Figure III.12. Code de programme (Arduino IDE) de mesure la puissance et l'énergie</i>	56
<i>Figure III.13. Schéma synoptique du data logger</i>	57
<i>Figure III.14. L'emplacement de Data logger dans le PC</i>	58
<i>Figure III.15. Résultat data logger dans Excel</i>	58
<i>Figure III.16. Changements de température en fonction du temps</i>	59
<i>Figure III.17. Changements de courant en fonction du temps</i>	59

Liste des tableaux

Tableau II.1. Configuration du brochage du module de capteur de courant ACS712	25
Tableau II.2. Configuration du brochage du module de capteur de tension[26]	27
Tableau II.3. Configuration du brochage du capteur LM35	29
Tableau II.4. Configuration du brochage du DS1307 RTC.....	31
Tableau II.5. Configuration du brochage du LCD 2004.....	33
Tableau II.6. Configuration du brochage du SD carte.....	35
Tableau III.1. Mesure d'erreur de la tension	47
Tableau III.2. Mesure d'erreur de courant.....	50
Tableau III.3. Mesure de la tension de sortie en fonction de l'intensité LDR	51
Tableau III.4. L'erreur de mesure de la température.....	54

Liste des Abréviations et symboles

(LCD)	Liquide Crystal Display
(LDR)	Résistance Dépendante de la Lumière
(PV)	Photovoltaïque
(SI)	Système International d'unités
(ISES)	International Solar Energy Society
(GW)	Giga Watt
(Si)	Silicium
(A-Si)	Silicium Amorphe
(EVA)	éthylèn -vynilacétate
(GPV)	Générateur Photovoltaïque
(MPP)	Le Point de Puissance Maximal.
(DC)	Direct Current
(VCC)	La Tension d'entrée
(GND)	Broche de Masse
(OUT)	Sorties Tension analogique proportionnelle au courant
(ACS)	Capteur de courant arduino
(RTC)	Horloge Temps Réel
(LED)	Diode électroluminescente
(GPS)	Global Positioning System
(SD)	Numérique Sécurisé
(SDSC)	Numérique Sécurisé Standard Capacité
(SDXC)	Numérique Sécurisé eXtended Capacity
(SDHC)	Numérique Sécurisé Haute Capacité
(CAN)	Convertisseur Analogique Numérique
(ADC)	Analog to Digital Converter
(SCL) (Serial Clock)	Horloge de Cadencement de la Communication
(SDA) (Serial Data)	Signal de Données
(SPI)	L'interface de Périphérique Série
(PCB)	Printed Circuit Board
(SCLK) (Serial Clock)	Horloge du Bus (produite par le maître).
(MOSI) (Master Out Slave In)	Données du Maître vers l'esclave actif.
(MISO) (Master In Slave Out)	Données de l'esclave actif vers le maître.
(SSn) (Slave Select n)	Sélection de l'esclave n à destination de la transmission
(IDE)	Environnement de Développement Intégré
(CAO)	Conception Assistée par Ordinateur
(W/m ²)	watt par mètre carré
(Wh/m ²)	wattheure par mètre carré
(MHz)	Méga Hertz

(Ko)	Kilo Octé
(Xxe)	20
S	La durée d'insolation mesurée
S_0	La durée maximale d'insolation
h	Est la constante de Planck
c	Étant la vitesse de propagation
λ	Longueur d'onde
ν	La fréquence
V_{co}	La tension du circuit ouvert
I_{cc}	Le courant de court-circuit
n_p	Association parallèle de cellule
$I_{cc}(A)$	Le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température
$I_0(A)$	Correspondant au courant de saturation de la diode1
$K (1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K})$	La constante de Boltzmann
$q(1.602 \times 10^{-19} \text{ C})$	La charge de l'électron
$T(K)$	La température effective de la cellule
n	Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1
$I(A)$	Le courant fourni par la cellule
$V(V)$	La tension aux bornes de la cellule
$R_p(\Omega)$	La résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction
$R_s(\Omega)$	La résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions
\cap	Indique la grandeur d'entrée est de type analogique
$\#$	Indique la grandeur de sortie est de type numérique
V_{in}	La tension d'entrée
V_{out}	La tension de sortie
V_{BAT}	La tension de Batterie
R	Résistance
PC	Personale Computer
V	volt
A	Ampère

Résumé :

Le photovoltaïque solaire est l'une des technologies d'énergie renouvelable à la croissance la plus rapide aujourd'hui et devrait jouer un rôle majeur dans la production mondiale d'électricité à l'avenir. Le photovoltaïque est la conversion directe de la lumière du soleil en électricité. Ce projet vise à développer un système pour mesurer et surveiller les paramètres des panneaux solaires en utilisant la technologie Arduino Nano et la simulation Proteus ISIS. Dans cet travail, quatre paramètres : la température, l'intensité lumineuse, la tension et le courant seront mesurés, à l'aide d'un enregistreur de données scellé dans le temps. La température a été mesurée avec un capteur de température. L'intensité lumineuse a été mesurée avec un capteur d'impédance dépendant de la lumière (LDR). La tension a été mesurée avec un diviseur de tension car la tension générée par les panneaux solaires est importante par rapport à l'Arduino. Enfin, le courant a été mesuré avec un capteur de courant capable de détecter le courant généré par le panneau solaire. Ces paramètres sont des quantités d'entrée pour Arduino et la sortie est affichée sur LCD (Liquid Crystal Display) et les données sont stockées dans un fichier Excel enregistré sur une carte mémoire SD. L'écran LCD affiche les résultats de la température, de l'intensité lumineuse, de la tension et le courant et de l'énergie consommé. Le but de la carte de développement Arduino est de convertir l'entrée analogique des paramètres en une sortie numérique et de les afficher via un écran LCD.

Mot clé : photovoltaïque _ arduino nano _proteus _capteurs

ملخص:

تعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية واحدة من أسرع تقنيات الطاقة المتجددة نموًا اليوم ومن المتوقع أن تلعب دورًا رئيسيًا في توليد الطاقة العالمية مستقبلاً. الخلايا الكهروضوئية هي التحويل المباشر لضوء الشمس إلى كهرباء. يهدف هذا المشروع إلى تطوير نظام لقياس ومراقبة خصائص الألواح الشمسية باستخدام تقنية Arduino Nano ومحاكاة برنامج Proteus ISIS. في هذا البحث، سيتم قياس أربع معلمات: درجة الحرارة، شدة الضوء، الجهد والتيار باستخدام جهاز تسجيل بيانات مختوم زمنيًا. تم قياس درجة الحرارة باستخدام مستشعر درجة الحرارة. تم قياس شدة الضوء باستخدام مستشعر مقاومة تعتمد على الضوء (LDR). تم قياس الجهد باستخدام مقسم جهد لأن الجهد المتولد من الألواح الشمسية كبير بالنسبة إلى Arduino. أخيرًا، تم قياس التيار باستخدام وحدة استشعار التيار التي يمكنها استشعار التيار المتولد عن اللوحة الشمسية. تعتبر هذه المعلمات كميات إدخال لـ Arduino وتم عرض الإخراج على شاشة LCD (شاشة عرض بلورية سائلة) وتخزين البيانات بملف Excel محفوظ في بطاقة ذاكرة SD. تعرض شاشة LCD نتائج درجة الحرارة وشدة الضوء والجهد والتيار والطاقة المستهلكة. الغرض من لوحة تطوير Arduino هو تحويل المدخلات التناظرية للمعلمات إلى إخراج رقمي وعرضها من خلال شاشة LCD.

كلمات مفتاحية: اردوينو نانو _ الطاقة الشمسية _ حساسات _ برنامج بروتيس

Introduction

Générale

Introduction générale :

L'énergie est indispensable à la vie de tout le monde, peu importe quand et où ils sont. Cela est particulièrement vrai en ce nouveau siècle, où les gens continuent à aspirer à un haut niveau de vie. Parmi les différents types d'énergie que l'Homme a besoin au quotidien, l'électricité est la plus importante qui lui sert pour l'éclairage, le chauffage, la cuisson, la distraction, la communication et l'information, etc. Au cours du XXe siècle, on a abondamment utilisé les combustibles et les sources d'énergie à base d'hydrocarbures, ce qui s'est manifesté par le dégagement de grandes quantités de gaz notamment le dioxyde de carbone.

La pollution de l'air, les changements climatiques, les risques du nucléaire, les limites des réserves des énergies traditionnelles (uranium, pétrole, charbon et gaz naturel) qui sont épuisables et leurs répartitions non équitables sur le globe terrestre, l'augmentation des pollutions et l'accroissance des besoins énergétiques ont fait prendre conscience qu'un recours à d'autres moyens de production d'énergies respectueux de la planète où nous vivons, s'impose.

La solution est de recourir aux énergies renouvelables qui offrent la possibilité de produire de l'électricité satisfaisante aux exigences écologiques. Malheureusement, cette issue rencontre des contraintes économiques ; coût élevé et rendement bas. Le photovoltaïque (PV) fait partie de ces énergies.

L'énergie solaire est une alternative intéressante à l'énergie des combustibles fossiles. La conversion directe du rayonnement solaire en électricité est connue sous le nom d'effet photovoltaïque. L'énergie PV se développe très rapidement. Elle est durable, propre et sans pollution de l'environnement.

L'objectif principal de ce travail est à développer un système pour mesurer et surveiller les paramètres des panneaux solaires en utilisant la technologie Arduino Nano et la simulation Proteus ISIS.

Ce mémoire est partagé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons les généralités sur la technologie photovoltaïque en commençant par des notions sur le rayonnement solaire, et nous montrons le principe de l'effet photovoltaïque. Ainsi que des différents types des systèmes PV et les avantages et les inconvénients de ces derniers.

Dans le deuxième chapitre nous présentons les composants électroniques les plus importants attachés à la carte Arduino utilisée dans le système avec le panneau solaire et le programme de simulation (ISIS Proteus).

Le troisième chapitre est consacré à la conception et implémentation du système d'acquisition des données : la température, l'intensité lumineuse, la tension, le courant et l'énergie consommé pour affichée sur LCD et les données sont stockées dans un fichier Excel enregistré sur une carte mémoire SD.

Chapitre I

L'énergie solaire

Chapitre I : L'énergie solaire

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique qui peut être quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie.

C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, et il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque (qui montées en série et/ou en parallèle). Lorsque plusieurs cellules sont reliées entre-elles, celles-ci forment un module solaire photovoltaïque. Le mot "photovoltaïque" vient du mot grec "photos" (lumière) et de "volta" nom du physicien italien qui découvrit la pile électrique [1].

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol.

I.2. Historique du photovoltaïque

✓ 1839 : Antoine Becquerel publie un mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires relatif à une expérience menée par son fils Edmond avec une pile constituée par des électrodes de platine et de cuivre oxydé plongeant dans une solution électrolytique acide. Cette pile est capable de fournir un courant électrique.

✓ 1877 : W. G. Adams et R. E. Day découvrent l'effet photovoltaïque du sélénium, et C. Fritts met au point le premier panneau photovoltaïque à base de cellules au sélénium.

✓ 1905 : Albert Einstein publie un article sur l'effet photoélectrique, que lui permit un prix Nobel physique en 1921.

✓ 1954 : D. M. Chapin, C. S. Fuller et G. L. Pearson, deux ingénieurs des Bell Téléphone Laboratoires (États-Unis), annoncent la mise au point d'une cellule dont le rendement de conversion énergétique atteint 6 %, marquant ainsi véritablement la naissance de l'électricité photovoltaïque.

✓ 1959 : les États-Unis mettent en orbite Vanguard, le premier satellite alimenté par des cellules photovoltaïques.

✓ Années 1970 : les crises pétrolières renforcent l'intérêt et les crédits accordés à l'énergie photovoltaïque.

✓ 1978 : le premier mégawatt crête installé est atteint dès 1978.

✓ De 2010 à 2016 : la puissance installée du parc photovoltaïque mondial a été multipliée par 6 entre fin 2010 (50 GW) et fin 2016 (305 GW) [2].

I.3. L'énergie solaire

I.3.1. Définition

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire en utilisant une cellule. Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications accrues le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les périodes sans soleil [3].

I.3.2. Unités utilisées

✓ L'éclairement est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). Le S.I. (système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole E.

✓ L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J/m^2 (joule par mètre carré). L'ISES (International Solar Energy Society) recommande le symbole H. D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré) bien que ce dernier ne doive pas être utilisé puisque n'appartenant pas au système international d'unités (SI) [3].

I.3.3. Grandeurs liées à l'éclairement

a) Durée d'insolation

Les durées d'insolation sont mesurées avec des héliographes dont le seuil est de 120 W/m. Attention à ne pas confondre le nombre d'heures d'ensoleillement et le nombre d'heures équivalent plein soleil, dérivé de l'irradiation globale annuelle mesurée dans le plan horizontal [4].

b) Fraction solaire

C'est le paramètre représentatif des conditions de nébulosité du ciel. La nébulosité est le rapport entre la surface du ciel couverte par les nuages et la surface totale du ciel au-dessus du territoire correspondant. Cette notion n'étant que descriptive, on la relie à la fraction d'insolation qui est une grandeur mesurable dès qu'on connaît les durées d'insolation enregistrées par l'héliographe et qui s'en déduit par le rapport :

$$S = \frac{S}{S_0} \dots\dots\dots (1)$$

Avec S est la durée d'insolation mesurée et S_0 est la durée maximale d'insolation [4].

c) Spectre du rayonnement

Le spectre solaire est la distribution spectrale en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence voir **Figure I.1**. L'énergie de chaque photon est reliée à la fréquence ν ou à la longueur d'onde λ par la formule suivante :

$$E = h * \nu = h * \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

h : est la constante de Planck.

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 [5] :

- Ultraviolet UV 0.20 < λ < 0.38 μ m 6.4%.
- Visible 0.38 < λ < 0.78 μ m 48.0%.
- Infrarouge IR 0.78 < λ < 10 μ m 45.6%.

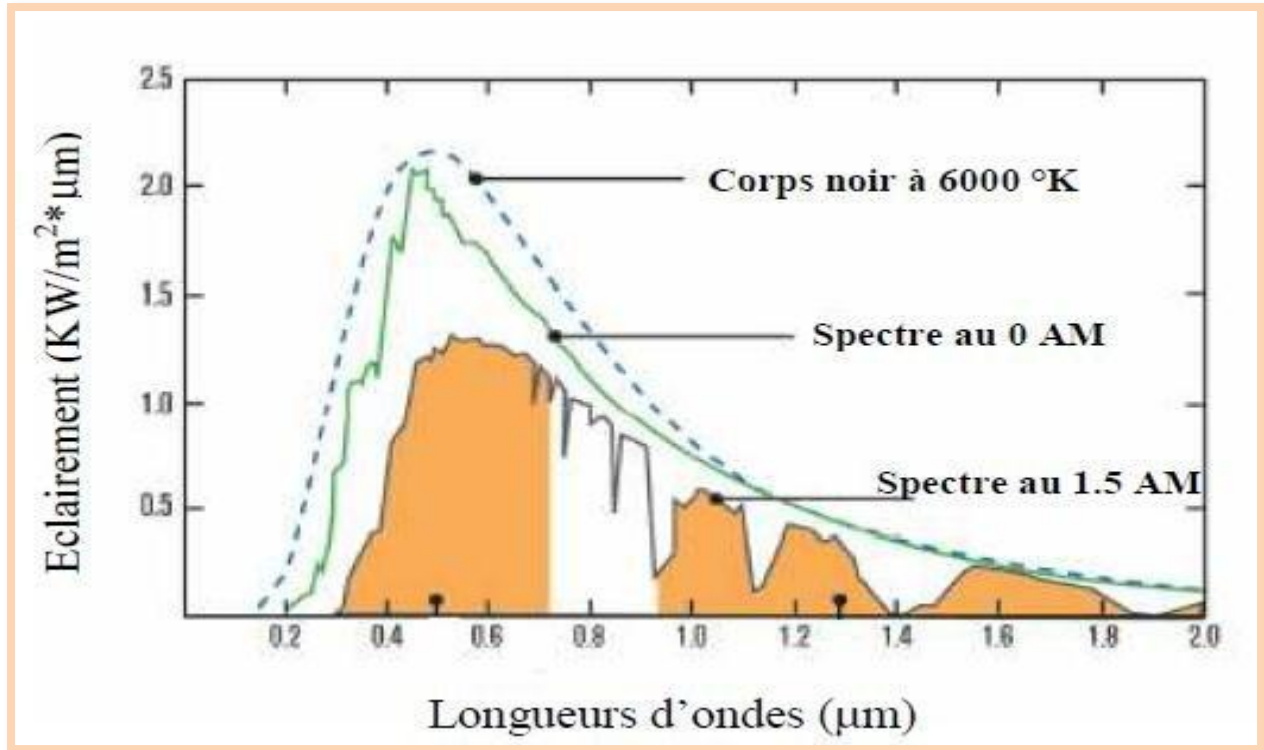


Figure I.1. Spectre solaire hors atmosphère

d) Rayonnement solaire

La chaleur produite lors de la fusion thermonucléaire de l'hydrogène au cœur du soleil traverse les différentes couches de ce dernier jusqu'à sa surface (photosphère) pour y être libéré sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules. Donc la chaleur du soleil est convertie, à sa surface, en lumière se présentant sous forme de particule qu'on appelle photons. Ce flux de photons forme des ondes électromagnétiques qui se propagent sans perte d'énergie dans toutes les directions de l'espace, et notamment vers la terre. Le rayonnement émis par le soleil est composé d'un ensemble d'ondes électromagnétiques allant depuis les rayons cosmiques, particule animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées et s'étendant jusqu'aux ondes radio et aux rayons gamma, en passant par la lumière visible [6].

L'atmosphère terrestre absorbe le rayonnement solaire et le diffuse. Ce qui permet de distinguer plusieurs composantes au sol :

✓ Rayonnement direct :

Le rayonnement direct est reçu du Soleil en ligne droite, sans diffusion par l'atmosphère.

Ses rayons sont parallèles entre eux [43].

✓ **Le rayonnement diffus :**

Le rayonnement diffus est un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le Soleil en direction du point d'observation à la surface de la terre. La lumière diffusée par l'atmosphère (nébulosité, air, aérosols) constitue le rayonnement diffus [43].

✓ **L'albédo :**

La partie réfléchi par le sol s'appelle l'albédo. Il dépend de l'environnement du site par exemple un site enneigé envoie beaucoup de rayonnement lumineux alors qu'il n'y a presque pas de renvoi de rayons lumineux dans un site asphalté. [43]

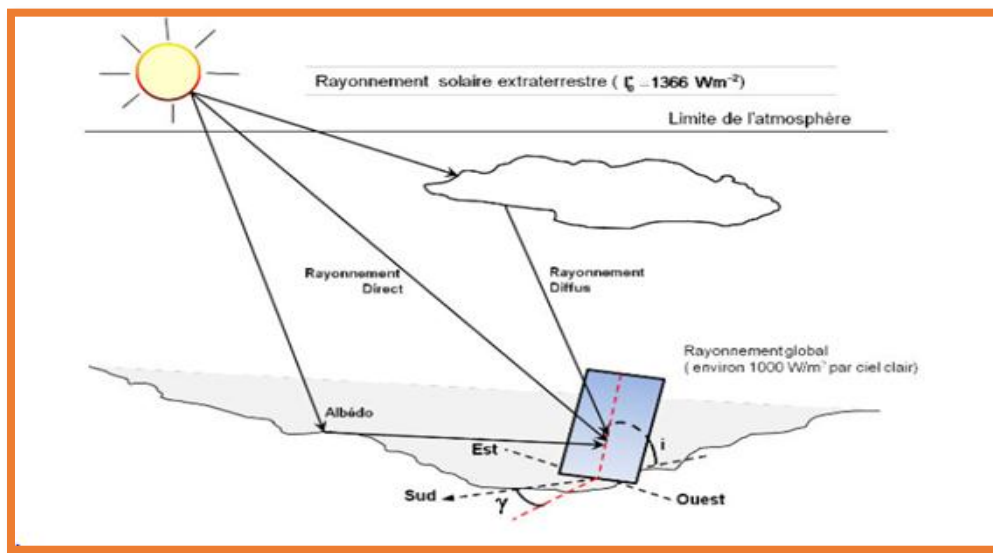


Figure I.2. Composante de rayonnement solaire au sol

✓ **Rayonnement global**

Le rayonnement global est tout simplement la somme des trois rayonnements précédents [44].

I.4. L'effet photovoltaïque

Le mot « photovoltaïque » vient de grec « photos » qui signifie lumière et de « volta » du nom du physicien italien. On trouve le phénomène physique de l'effet photovoltaïque dans les cellules solaires, et permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en énergie électrique. Les rayons solaires se composent des photons « grains de lumière », ces photons ayant une énergie qui dépend de la longueur d'onde (entre 0.4 et 1.1 μm pour le spectre visible).

Après la collision de la lumière avec les atomes du cristal, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes.

Chaque atome fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse un trou qui se traduit par une charge positive, engendre aussi une paire électron-trou. Au sein du matériau, un champ électrique permanent assure l'empêchement de la recombinaison de l'électron avec son atome d'origine.

Ce champ peut être généré de plusieurs manières : soit par la jonction de deux semi-conducteurs de nature et de type différents (hétérojonctions), soit par la barrière de potentiel entre un métal et un semi-conducteur ou par les concentrations des électrons libres qui sont différentes (homo jonction ou jonction p-n) au niveau de l'interface de zones du même semi-conducteur.

Une tension électrique est générée entre les deux zones N et P et peut varier entre 0.3V et 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition et du vieillissement du dispositif. Ce dispositif devient un générateur électrique sous l'effet de la lumière, pour la liaison avec un circuit extérieur, on utilise des électrodes collectrices ou grilles sur chaque face (avant et arrière).

I.5. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.5.1. Définition d'une cellule solaire

La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur et 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, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) 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 de multicouches réfléchissantes justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement [8].

I.5.2. 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 : 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 [9].

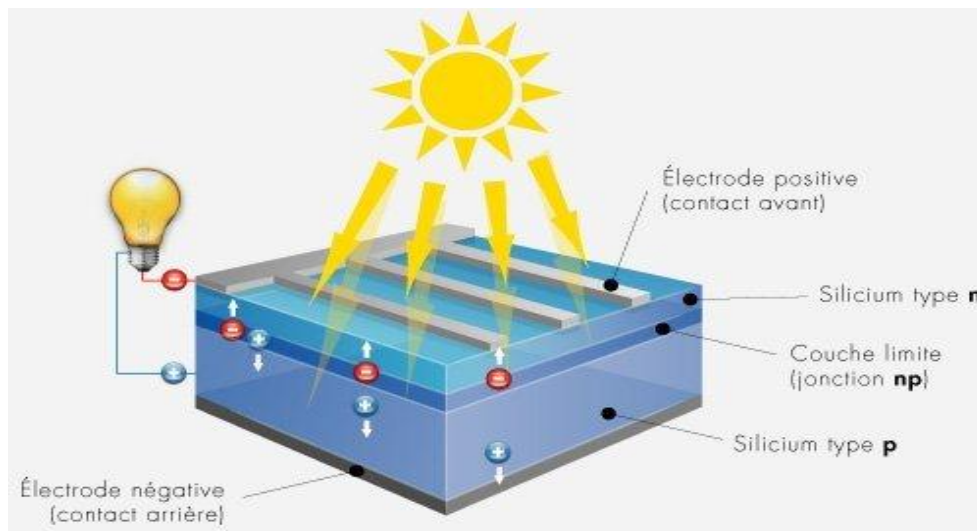


Figure I.3. Principe de fonctionnement d'une cellule PV

I.5.2.1. Le Dopage Des Semi-Conducteurs

Les wafers de silicium obtenus à l'issue de l'étape de sciage sont alors introduits dans un réacteur de croissance dans lequel va se dérouler l'étape de dopage. Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé « semi-conducteur extrinsèque ».

Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif).

a) Semi-Conducteur Dope N

En choisissant un dopant de valence 5 (phosphore, arsenic, antimoine), le semi-conducteur contient des électrons excédentaires qui traduisent des charges négatives supplémentaires : le semi-conducteur est de type N. A température ambiante, tous les atomes dopants sont ionisés, mais le matériau reste neutre. Chacun a libéré un électron qui circule dans le réseau. On distingue alors deux types de porteurs de charges :

- ✓ Des électrons libres.
- ✓ Des ions positifs fixes (les atomes dopants qui perdent un électron).

Dans le silicium de type N, des atomes de phosphore (P) à cinq électrons périphériques remplacent des atomes de silicium : ils offrent donc des électrons (des charges négatives) supplémentaires (un par atome de phosphore) [10].

b) Semi-Conducteur Dope P

En substituant des atomes de valence 3 (bore, aluminium, gallium, indium), des électrons manquant pour compléter les couches périphériques voisines. Ceci entraîne la présence de charges positives excédentaires : le semi-conducteur est dopé P (ou type P); à température ambiante, tous les atomes dopants sont ionisés. Chacun a généré un trou qui est libre de circuler dans le réseau. Tout en restant globalement neutre, on distingue donc deux types de porteurs de charges :

- ✓ Des trous libres.
- ✓ Des ions négatifs fixes (les atomes dopants qui gagnent un électron).

Dans le silicium de type P, des atomes d'aluminium (Al) avec trois électrons périphériques entraînent un défaut d'électrons (création de charges positives) et engendrent la formation de

trous (un par atome d'aluminium). Les électrons en excès ou les trous conduisent l'électricité. Lorsque des zones de semi-conducteurs de type P et de type N sont adjacentes, elles forment une diode ; la zone de contact est appelée jonction P-N [10].

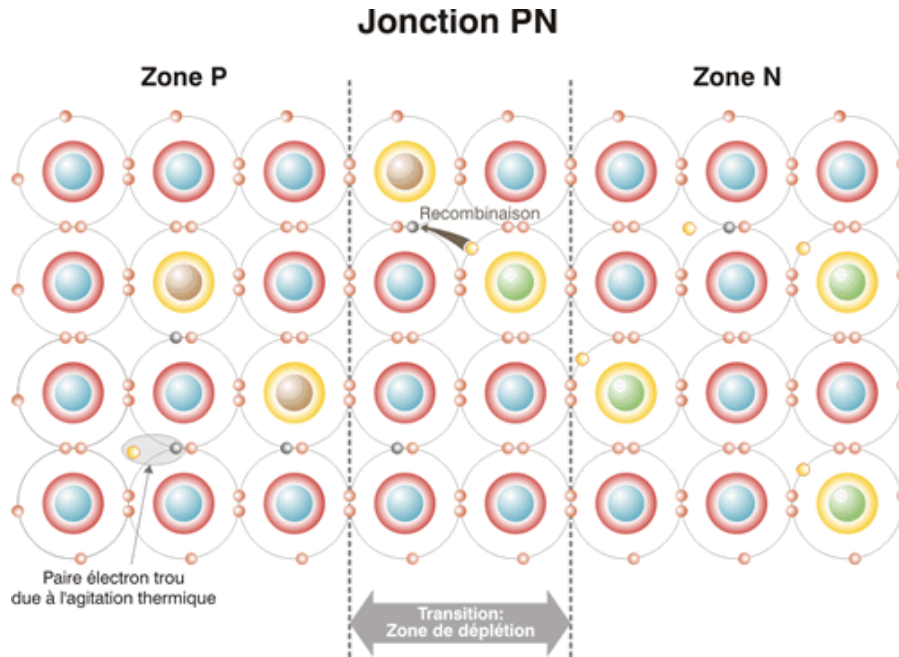


Figure I.4. Le dopage N et P du silicium

c) La Jonction PN

Une façon que nous supposons abrupte, c'est-à-dire que la transition de la zone P à la zone N se fait brusquement. Une jonction PN est constituée de deux zones respectivement dopées P et N et juxtaposées. Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la région P vont diffuser vers la région N laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui diffusent vers la région P laissant derrière eux des charges positives. Il apparaît aussi au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges créent un champ électrique E qui s'oppose à la diffusion des porteurs de façon à ce qu'un équilibre électrique s'établisse [11].

I.6. Les Différentes Technologies

Le silicium est le semi-conducteur le plus couramment utilisé dans la fabrication des cellules, trois types de cellules photovoltaïques en silicium existent : monocristallin, poly cristallin ou amorphe.

Les cellules monocristallines et poly cristallines sont les plus répandues mais leur fragilité oblige à les protéger par des plaques de verre, ce qui accroît d'autant plus le poids du panneau solaire. Le matériau de base est le silicium qui est très bondant, cependant la qualité nécessaire pour réaliser les cellules doit être d'une très grande pureté et son coût intervient de façon importante dans le coût total de l'installation. La pénurie actuelle de silicium de qualité, a créé une tension sur le marché et une augmentation du prix des cellules [07].

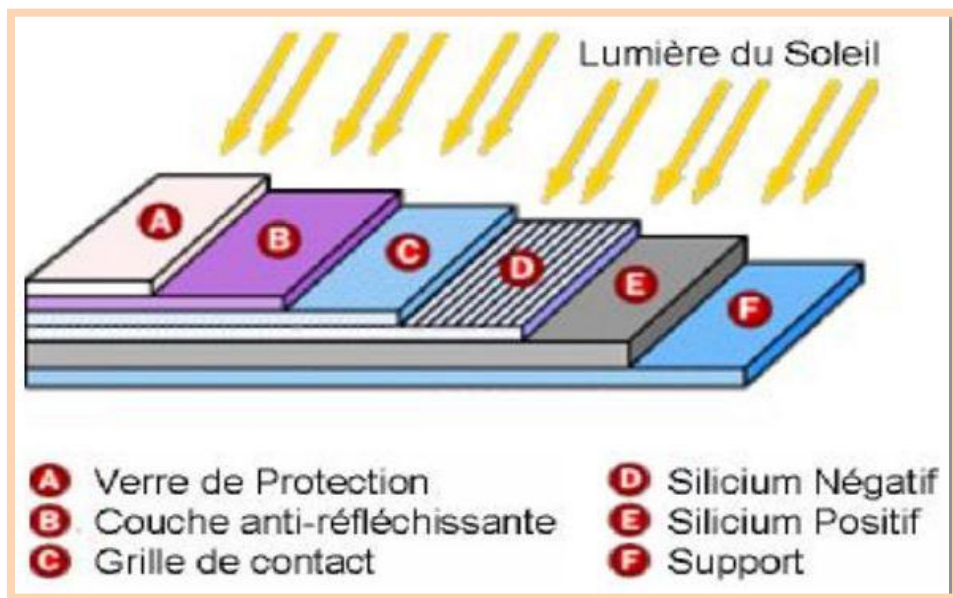


Figure I.5. Structure d'une cellule photovoltaïque en silicium

I.6.1. Les Cellules Monocristallines

Il est constitué d'un seul cristal offrant à la cellule un arrangement parfait des atomes. Il présente un rendement légèrement supérieur au silicium poly cristallin (environ 19 %). Néanmoins, il reste assez onéreux en raison de son exigence de grande pureté et de l'importante quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication.

I.6.2. Les Cellules Poly Cristallines

Il est constitué de plusieurs monocristaux juxtaposés dans différentes orientations donnant à la cellule un aspect mosaïque. Le silicium poly cristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement (environ 15 %) pour des coûts de fabrication maîtrisés. Il offre actuellement un bon rapport qualité/prix [13].

I.6.3. Silicium Amorphe (A-Si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière [14].

I.7. Système Photovoltaïque

I.7.1. Les Composantes 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 [15].

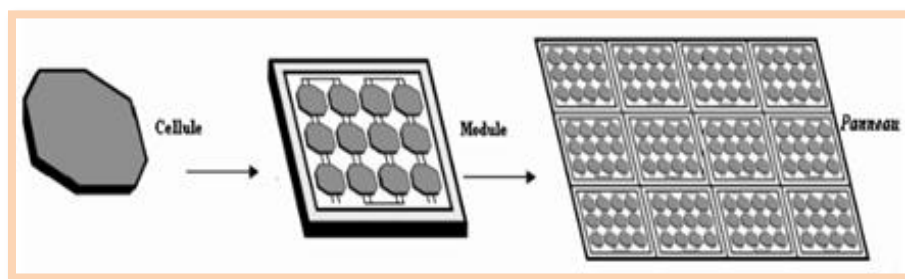


Figure I.6. Association des cellules solaire PV

I.8.2. Les Modules Photovoltaïques

Un module photovoltaïque est d'abord un convertisseur d'énergie lumineuse en électricité. Par définition c'est un ensemble de photopiles assemblées pour générer une puissance électrique suffisante lors de son exposition à la lumière. Il est, en lui-même, un système complexe composé de cellules photovoltaïques, d'intercalaires, de diodes bypass, de connecteurs, d'une boîte de jonction, de câbles, d'un verre de protection sur la face avant du module et d'un verre ou d'un film en fluorure polyvinylique sur la face arrière du module.

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques.
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur [16].

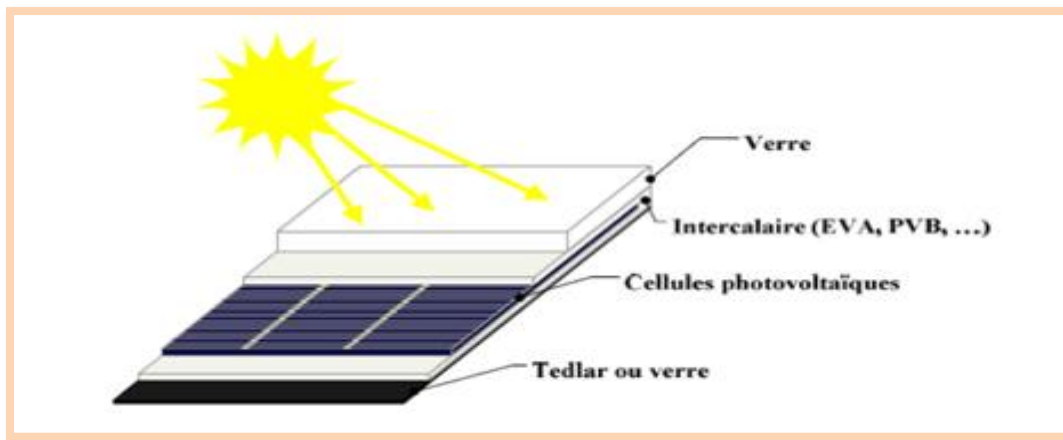


Figure I.7. Coupe d'un module PV

I.7.3. Montages Des Modules Photovoltaïques

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène -vynilacétate) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [17].

a) Montage en série

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du Générateur Photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules.

$$V_{co\ ns} = n_s * V_{co} \quad \text{Avec} \quad I_{cc} = I_{cc\ ns}$$

Avec :

V_{co} : La tension du circuit ouvert.

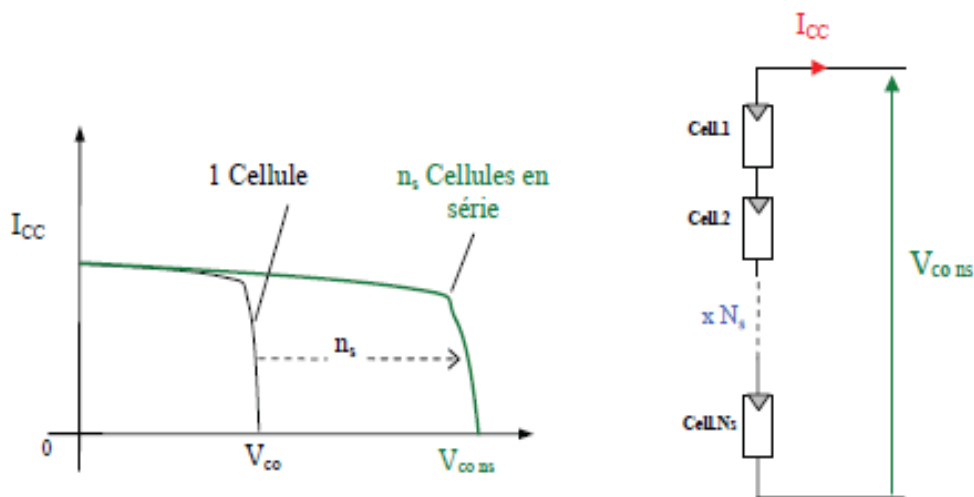


Figure I.8. caractéristique résultantes d'un groupement de n_p cellules en série

b) Montage en parallèle

Une association parallèle de n_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules [18].

$$I_{cc\ np} = n_p * I_{cc} \quad \text{Avec} \quad V_{oc\ np} = V_{oc}$$

Avec :

I_{cc} : Le courant de court-circuit.

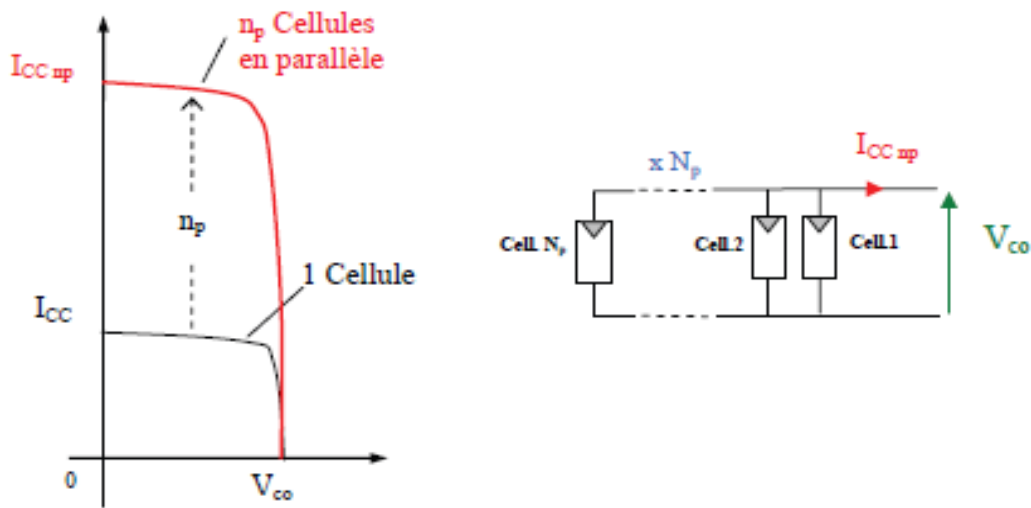


Figure I.9. Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_p cellules en parallèle

I.8. Modélisation D'une Cellule PV

I.8.1. Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque

Pour établir un modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque correcte sans considération du courant et de la tension, il est nécessaire de faire un choix bien déterminé des circuits électriques qui le constituent et de comprendre la configuration physique et les caractéristiques électriques des éléments de la cellule. Pour cela, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter le comportement non linéaire des jonctions des semi-conducteurs. Il y a deux modèles d'une cellule photovoltaïque, à savoir le modèle à deux diodes et le modèle à une diode. Dans notre cas, nous allons utiliser le modèle à une diode.

I.8.2. Schéma Equivalent

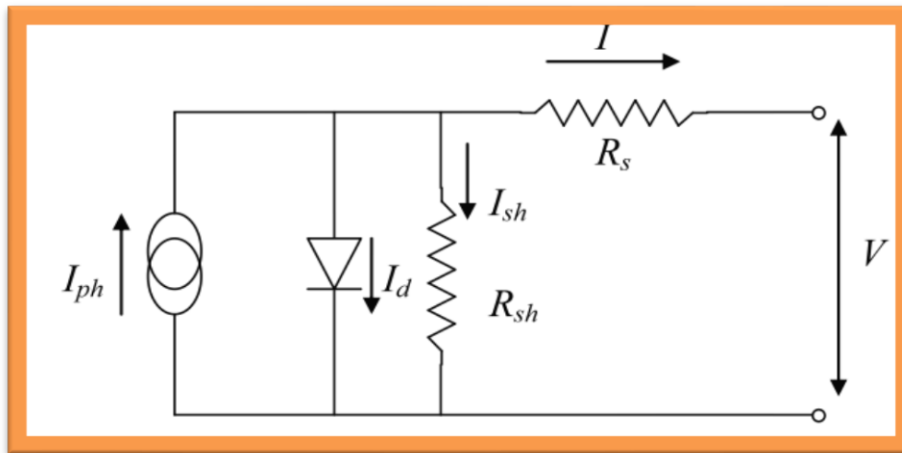


Figure I.10. Schéma équivalent simplifié d'une cellule solaire réelle

Le courant I généré par la photopile est :

$$I = I_{cc} - I_0 \left[e^{q \left(\frac{V + I \cdot R_s}{nKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \dots\dots\dots (I.)$$

I_{cc} (A), le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température ;

I_0 (A), correspondant au courant de saturation de la diode 1 ;

K , (1.381×10^{-23} J/K), la constante de Boltzmann ;

T (K), la température effective de la cellule ;

q (1.602×10^{-19} C), la charge de l'électron ;

n , le facteur de non idéalité de la jonction de la diode 1 ;

I (A), le courant fourni par la cellule ;

V (V), la tension aux bornes de la cellule ;

R_p (Ω), la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction ;

R_s (Ω), la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions

[19].

I.9. Orientation Des Panneaux Solaires

I.9.1. Choix de l'orientation des modules

L'orientation des modules doit être plein sud d'une manière idéale. Toutefois, il faut tenir compte les deux paramètres suivants dans le cadre du choix d'une orientation :

- les masques environnants ;
- l'orientation du site.

Dans le cas où le site présente des masques importants à l'est (végétation, bâtiments, etc.), il est peut-être préférable d'orienter plus à l'ouest le champ photovoltaïque plutôt que de le placer plein sud. La production sera alors plus importante l'après-midi sans pour autant défavoriser le matin (qui n'est pas ensoleillé du fait des masques) [20].

I.9.2. Choix de l'inclinaison des modules

L'objectif est de produire le plus d'énergie sur l'année. La production est maximale lorsque les rayons du soleil sont perpendiculaires au module. L'incidence du rayonnement sur les modules photovoltaïques varie de manière importante entre l'été et l'hiver. D'autre part, la durée d'ensoleillement est elle aussi très variable entre l'été et l'hiver à tel point que chaque mois d'hiver représente moins de 5 % de la production totale. Il faut donc rechercher quelle est l'inclinaison qui permettra de produire le plus d'énergie sur l'année. Celle-ci dépend de la latitude du lieu et aussi de l'orientation des capteurs [20].

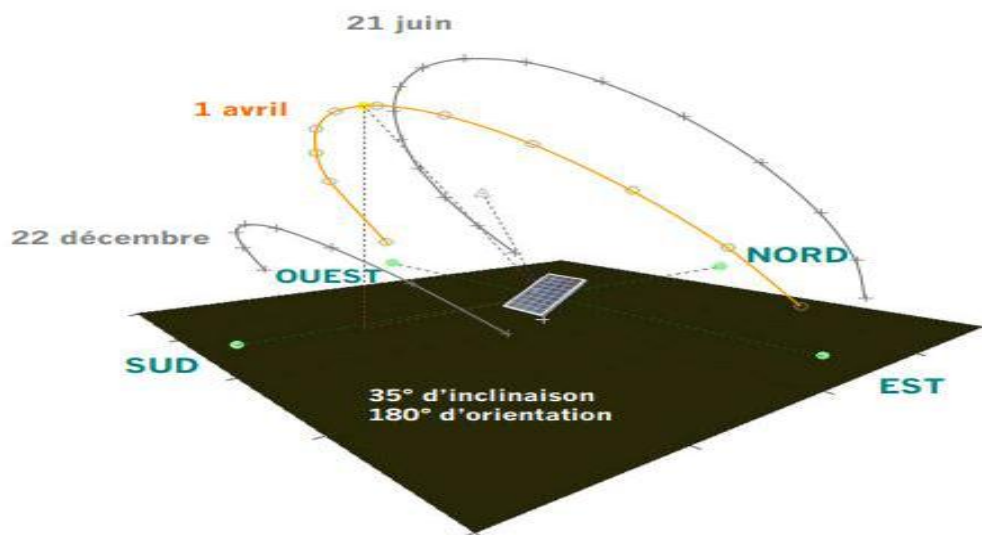


Figure I.11. Représentation d'un module photovoltaïque incliné à 35°

I.10. Les composants d'un système photovoltaïque

I.10.1. Panneau

Les modules peuvent être assemblés en panneaux, eux-mêmes interconnectés pour former un champ de modules. Dans une installation, l'ensemble des champs de modules constitue le champ photovoltaïque (générateur PV) [21].

I.10.2. Système de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales [36] :

- ✓ Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).
- ✓ Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique ; car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation [37].

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques [38] :

- Capacité de stockage (Ah) (selon temps de décharge C_n) (où n = nombre d'heures Pour la décharge).
- Tension nominale (V).
- Durée de vie (Nombre de cycles).
- Courant de charge et de décharge (A).

I.10.3. Le régulateur

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de

charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit. Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation [39].

I.10.4. Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ photovoltaïque et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif) [40].

a) Le convertisseur DC/AC

Ils font le lien entre les panneaux photovoltaïques et le réseau. Ils convertissent le courant continu en courant alternatif synchronisé à la fréquence du réseau. Ils régulent la tension des panneaux photovoltaïques pour rechercher la valeur de tension ou la puissance est maximale (MPP). Le rendement d'un onduleur est compris entre 92 et 95% pour les modèles avec transformateur d'isolation, 95 à 97% pour les modèles sans transformateur, 96 à 98% pour les modèles sans transformateur et sans étage élévateur, ces derniers ne peuvent pas fonctionner avec une tension inférieure à 350V DC. Les onduleurs avec transformateur sont plutôt destinés aux capteurs couche mince, et aux systèmes à faible tension (faible puissance) [10].

b) Le convertisseur DC-DC

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont [41] :

- Convertisseur dévolteur (ou Buck)
- Convertisseur survolteur (ou boost)
- Convertisseur dévolteur- survolteur (Buck-boost)

I.10.5. Les récepteurs

L'énergie produite alimente un ou plusieurs charges électriques (éclairage, réfrigération, pompage ...) [10].

I.11. Les Avantages Et Les Inconvénients De L'énergie Photovoltaïque

I.11.1. Les avantages de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque offre de multiples avantages :

- la production d'électricité renouvelable propre et non toxique.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains, dus à leur petite taille, et leur opération silencieuse.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle).
- La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue. Certains producteurs garantissent les panneaux solaires pour une durée de 25 ans.

I.12.2. Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque

- Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable ;
- Le coût très élevé ;
- Faible rendement de conversion ;
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente ;
- Pollution à la fabrication.

Malgré ces inconvénients, le marché photovoltaïque ne cesse pas de trouver des applications et de s'agrandir. En plus, la technologie photovoltaïque est dans un processus de maturation dans laquelle les inconvénients pourraient s'atténuer, surtout en ce qui concerne les coûts de fabrication [22].

I.13. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques. Dans la première partie on a donné une classification des systèmes solaire photovoltaïques avec une description de la cellule PV et son modèle mathématique et les différentes liaisons de ces cellule (en série, parallèle) et les avantages et inconvénients.

Chapitre II

Architecture du système

Chapitre II :Architecture du système

II.1. Introduction

Les systèmes solaires photovoltaïques sont installés dans différentes régions. Les systèmes PV sont également situés dans des endroits chauds et secs pour une grande efficacité et de meilleures performances. Le système doit être entretenu en temps opportun et les systèmes PV sont surveillés et évalués. Le but de ce chapitre est de mesurer les paramètres de l'ensemble panneau solaire et la charge en utilisant les données fournis par les capteurs. Dans ce système, divers paramètres des panneaux solaires sont surveillés tels que le courant, la tension, la température et l'intensité lumineuse.

Dans ce système, Proteus ISIS est également utilisé pour simuler le matériel et de tester le comportement du code de ce projet avant de mettre en œuvre sur le matériel.

L'objectif principal est de faciliter les installations communes à petite échelle avec un système de surveillance rentable et fiable. De sorte qu'il pousse toutes les personnes à utiliser ce système de surveillance afin que leurs dépenses d'entretien soient considérablement réduites. Et reconnaît également la poussière et les défaillances des panneaux en raison de problèmes différents. Et cela provoque un entretien en temps opportun et améliore la production d'énergie. Permet enfin d'économiser de l'argent pour les installateurs de plantes et économise beaucoup de pertes d'énergie en raison de la poussière et les températures et la salissure des panneaux [23].

II.2. Aperçu général du système

Le système proposé permet de mesurer les différents paramètres d'un système électrique alimenté par un panneau solaire. En utilisant des capteurs dédiés pour donner des données pour chacun de ces paramètres. Un panneau solaire est utilisé pour produire l'énergie électrique, cette dernière dépend de l'intensité lumineuse, le temps de la journée, et la saison. Pour cela un capteur de l'intensité lumineuse, un capteur de température et une horloge en temps réel sont utilisés. Un capteur de tension est utilisé pour mesurer la tension et un autre pour mesurer le courant qui passe dans la charge. Ce système est conçu à l'aide d'Arduino NANO pour accomplir les calculs nécessaires, Alors que les sorties analogiques de ces capteurs est introduite dans le canal ADC de l'Arduino. Après le calcul, toutes ces données sont affichées sur un écran LCD. Pour des fins statistiques et de futures études, un système d'enregistrement de données est ajouté.

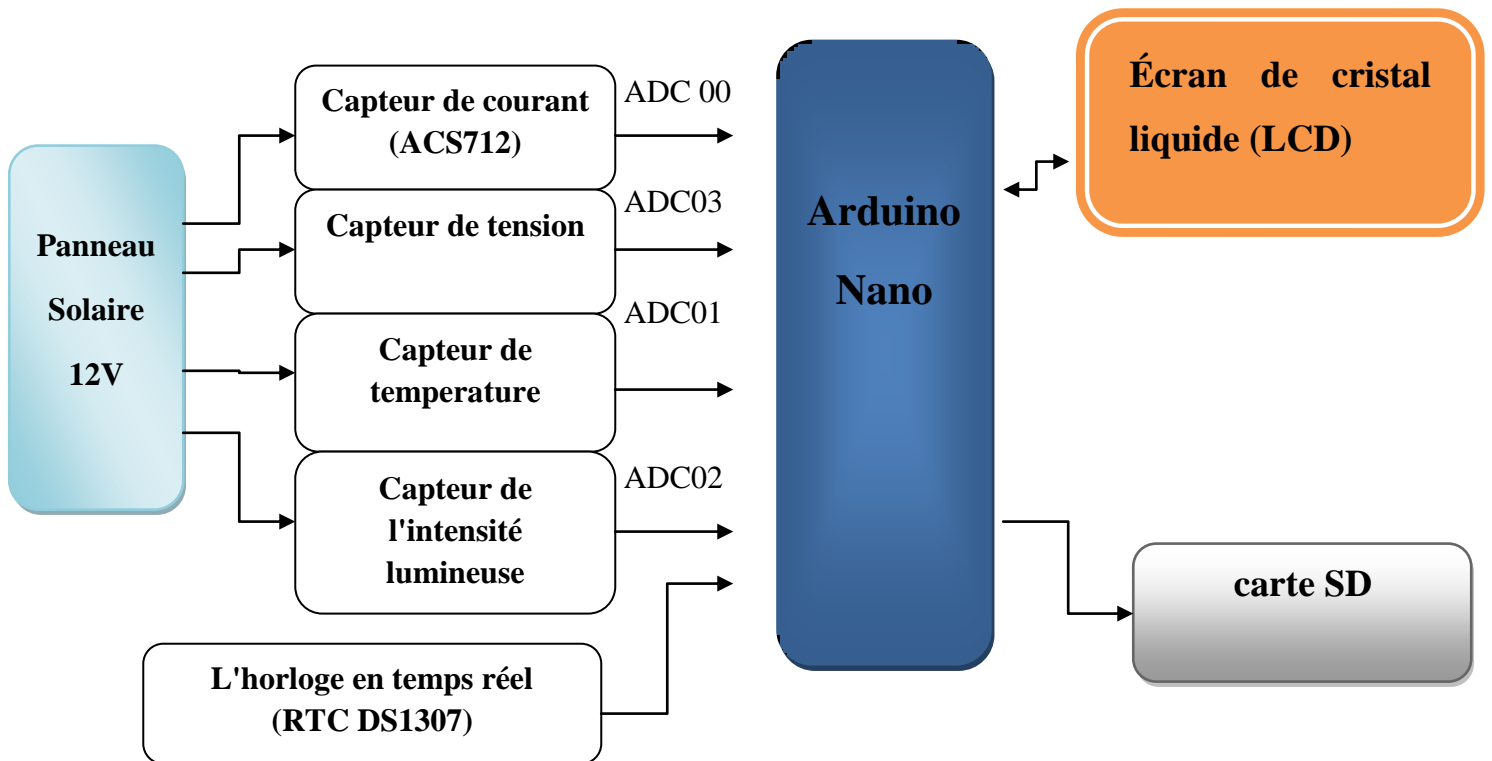


Figure II.1. Aperçu général du système

II.3. Etapes et outils de conception du système

Les phases de mise en œuvre de ce projet sont passées par deux étapes de base :

- Outils de conception matérielle : il s'agit de pièces solides telles que les capteurs et les unités électroniques.
- Outils de conception logiciels : il s'agit des logiciels de simulation et les programmes de développement.

II.3.1. Outils de conception matériels

II.3.1.1. Panneau solaire



Figure II.2. Panneau solaire

Panneau solaire 150W 12V monocristallin L'utilisation de ce panneau solaire est prévue pour être en autonomie, il est équipé de cellules au silicium monocristallin, la technologie offrant le plus de rendement actuellement sur le marché.

Puissance nominale	150W	Type de cellule	Silicium monocristallin
Tension max	1000V DC	Nombre de cellule	36 pcs
sTolérance	+3%	Longueur	1482mm
Rendement du panneau	13%	Largeur	676mm
Voltage Mpp	18V	Epaisseur	30mm
Intensité Mpp	8,16A	Cadre	Aluminium
Intensité de court-circuit	8,55A	Poids	12kg
Voltage circuit ouvert	22,5V	Diodes anti-retour	3
Boîtier de jonction	Etanche IP67	Température d'utilisation	-40°C -- +85°C
Test STD	AM 1.5,250C,1000W/M2		

Figure II.3. Caractéristique technique de panneau solaire [24].

II.3.1.2. Capteur de courant linéaire ACS712

Le module de capteur de courant est un appareil utilisé pour effectuer des mesures de courant. Ce capteur possède trois broches : VCC, GND et OUT. Lorsque le capteur détecte un flux de courant il émet un signal de sortie analogique (tension) qui décroît de manière linéaire avec le courant détecté.

Ce capteur peut être utilisé dans une grande variété d'applications, notamment les circuits de protection contre les surintensités, les chargeurs de batterie, les alimentations à découpage, les wattmètres numériques, les sources de courant programmables.

Le capteur de courant ACS712 utilisé est un capteur de courant à effet Hall. Il fournit un signal de sortie analogique de 0-5V en établissant une connexion en série avec la ligne dont le courant doit être mesuré. La raison de choisir ce modèle sont moins chères, une consommation d'énergie négligeable et compatibles Arduino [25].



Figure II.4. Capteur de courant linéaire ACS712

$$\text{Courant} = (\text{ADC_Signal} - \text{Acs_Offset}) / \text{Sensibilité}$$

Tableau II.1. Configuration du brochage du module de capteur de courant ACS712

Pin Name	Description
Vcc	La tension d'entrée est de + 5 V pour les applications typiques
Out	Sorties Tension analogique proportionnelle au courant
GND	Broche de masse connectée à GND d'Arduino
Wire In	Le fil traversant le courant doit être mesuré est connecté ici
Wire Out	

II.3.1.3. Capteur de tension

Les capteurs sont essentiellement un dispositif qui peut détecter ou identifier et réagir à certains types de signaux électriques ou optiques. La mise en œuvre du capteur de tension et du capteur courant techniques est devenue un excellent choix pour les méthodes de mesure du courant et de la tension.

Avantages de capteurs sur les techniques de mesure conventionnelles :

- * Petit poids et Petit taille
- * La sécurité du personnel est élevée
- * Le degré de précision est très élevé
- * Il n'est pas saturable
- * Large gamme dynamique
- * Eco-Friedel....etc.

Un capteur de tension peut en fait déterminer, surveiller et mesurer l'approvisionnement en tension.

les Applications du capteur de tension sont la détection des pannes de courant, la détection de la charge, la commutation de sécurité, contrôle de la température, contrôle de la demande d'énergie et détection des défauts....etc.

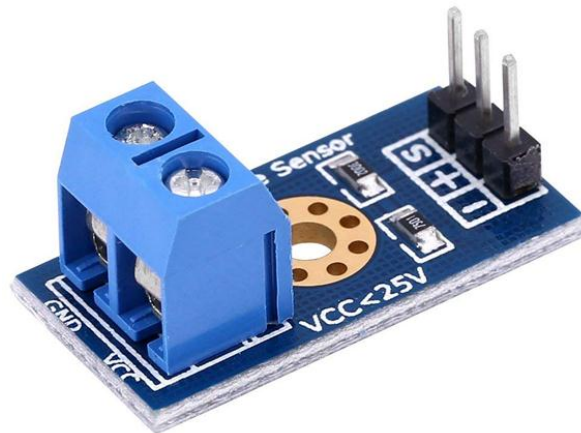


Figure II.5. Capteur de tension

Figure II.6. Montre le circuit d'un capteur de tension. Ce capteur est très simple et il peut mesurer une tension continue de 0-25V. Il se compose seulement de deux résistances (R1, R2).

Ce capteur est en fait un diviseur de tension qui permet de fournir à la sortie une tension plus faible que la tension d'entrée. La formule pour calculer la tension de sortie est basé sur la loi d'Ohm.

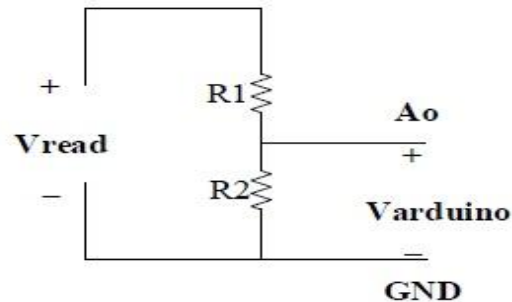


Figure II.6. Circuit diviseur de tension

$$V_{read} = \frac{5}{1023} * \text{Capteur Value} * \frac{(R1 + R2)}{R2}$$

Où, Capteur Value est la sortie analogique du diviseur de tension.

Tableau II.2. Configuration du brochage du module de capteur de tension

La broche	Description
VCC	Borne positive de la source de tension externe (0-25 V)
GND	Borne négative de la source de tension externe
S	Broche analogique connectée à la broche analogique d'Arduino
+	N'est pas connecté
-	Broche de masse connectée à GND d'Arduino

II.3.1.4. Capteur de l'intensité lumineuse

La résistance dépendante de la lumière (LDR) est juste un autre type spécial de résistance et n'a donc pas de polarité. Cela signifie qu'ils peuvent être connectés dans n'importe quelle direction. Ils sont compatibles avec la maquette et peuvent également être facilement utilisés sur une planche de performance.

Une photorésistance, comme son nom l'indique, sa résistance se change en fonction de la lumière qui l'entoure. C'est-à-dire que lorsque la résistance est placée dans un endroit sombre, elle aura une résistance de quelques méga ohms et au fur et à mesure que nous imposons de la lumière sur le capteur, sa résistance commence à diminuer de méga ohms à quelques ohms.

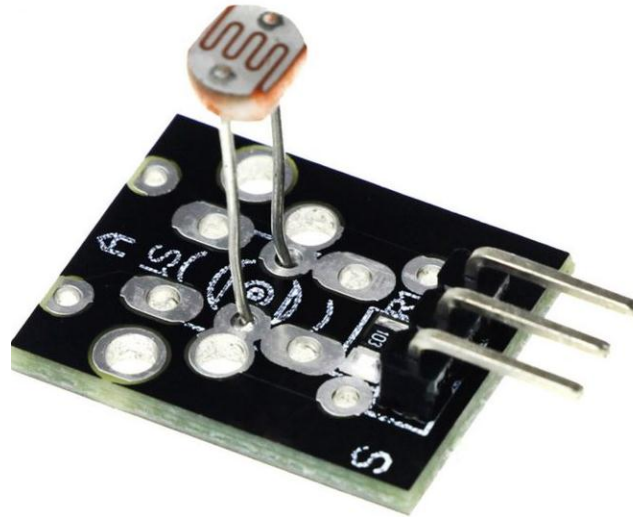


Figure II.7. circuit du capteur de lumière (LDR)

Une photorésistance (PhotoCells ou CdS en anglais) c'est un composant électronique dont la résistance dépend du flux lumineux auquel il est exposé. Elles se nomment aussi LDR (Light-Dépendent Résistor) ou cellules photoconductrices. Elles permettent de détecter la lumière. On utilise principalement la photorésistance pour mesurer l'intensité lumineuse, qui s'exprime en lux (éclairage lumineux). Il existe également d'autres unités pour mesurer ce type de données, telles que le Candela (cd) qui est utilisé pour calculer la luminance, exprimée en cd/m^2 ou encore le lumen noté lm, qui mesure le flux lumineux[27].

II.3.1.5. Capteur de température (LM35)

En général, un capteur de température est un dispositif qui est conçu spécifiquement pour mesurer température d'un objet. LM35 est un capteur de température de National Semiconductor qui a une grande précision. LM35 est un circuit intégré fournissant une tension de sortie linéairement proportionnelle à la température Celsius (Centigrade). Les circuits de capteurs sont scellés et ne sont donc pas soumis à l'oxydation. Avec LM35, la température peut

II.3.1.6. L'horloge en temps réel (RTC DS1307)

Le module DS1307 est une horloge temps réel (aussi appelé "RTC" ou bien "Real Time Clock"). C'est une horloge numérique autonome qui donne l'heure quand on la lui demande. Ce genre d'horloge est très utile dans des projets de mesure de grandeurs physiques avec horodatage par exemple.

Ce module RTC est capable de gérer l'heure (heures, minutes, secondes) et la date (jours, mois, année) tout en s'occupant des mois de 30 ou 31 jours, des années bissextiles, etc. Le calendrier intégré dans le module DS1307 est valable de l'an 2000 à l'an 2100, ce qui devrait être suffisant pour la plupart des projets.

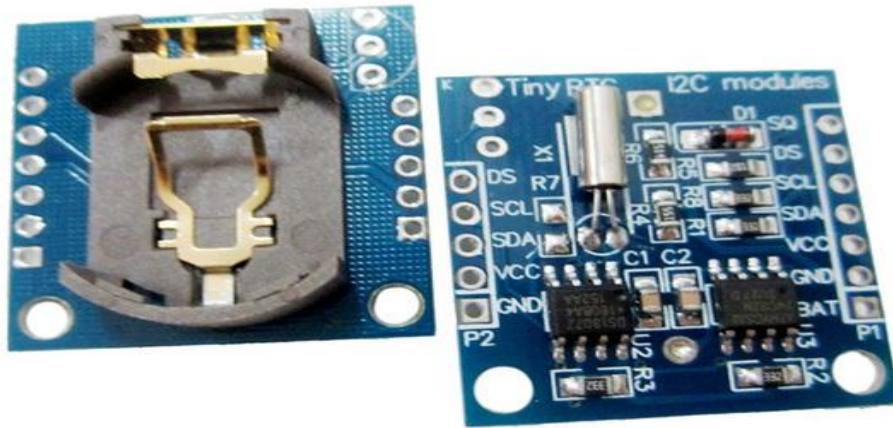


Figure II.9. Le module RTC DS1307

PS Le module dérive de quelques secondes par jours en moyenne. Cela dépend de la température ambiante et de la qualité du quartz d'horloge.

La communication avec le microcontrôleur maître se fait via un bus I²C. Le module dispose de tout le nécessaire pour garder en mémoire le temps en cas de coupure d'alimentation grâce à une batterie externe.

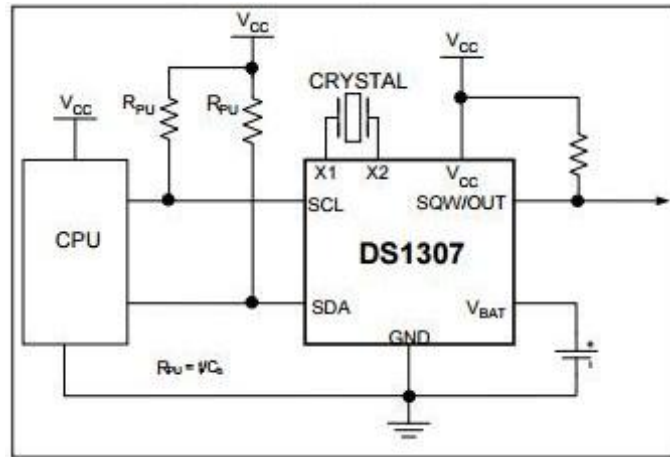


Figure II.10. Schéma d'application typique RTC DS1307

Tableau II.4. Configuration du brochage du DS1307 RTC

La broche	Description
X1, X2	L'oscillateur à cristal doit être connecté à ces broches
V-Bat	Connecté à la borne positive de la batterie
GND	Broche de masse connectée à GND d'Arduino
SCL and SDA	Broches pour communication I2C avec Arduino
Vcc	La tension d'entrée est de + 5 V pour les applications typiques

En plus, le module DS1307 dispose de 56 octets de mémoire NVRAM (mémoire non volatile qui conserve son contenu tant que la batterie de secours est fonctionnelle). Il est possible d'utiliser ces quelques octets de mémoire pour stocker des données non critiques, comme l'état d'un menu par exemple [28].

II.3.1.7. Écran de cristal liquide (LCD)

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et

diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA). Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables. Ces afficheurs marchent grâce à une alimentation. Ils existent différents types d'afficheur selon leurs caractéristiques techniques et selon leurs dimensions. Mais généralement ils accomplissent le même rôle. On a opté pour un afficheur LCD de taille 4x20, c'est-à-dire un afficheur de 4 lignes et 20 caractères. Le choix de ce type d'afficheur est justifié par le fait que nos besoins seront satisfaits par cet afficheur, et que sa taille est suffisante pendant l'affichage les paramètres de notre système [45].

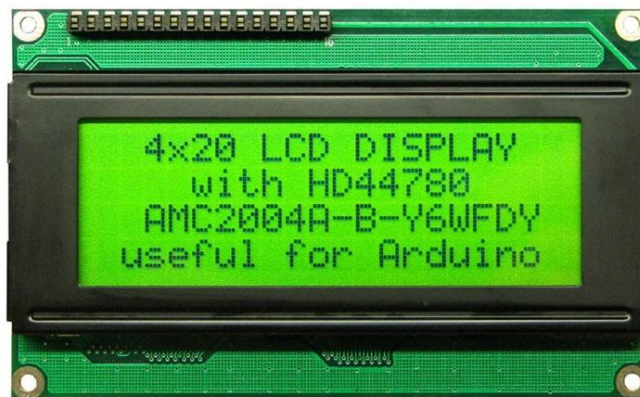


Figure II.11. L'afficheur LCD (JHD 162A)

Tableau II.5. Configuration du brochage du LCD 2004

La broche	Description
Vss (Ground)	Broche de masse connectée à la terre du système
Vdd (+5 Volt)	Alimente l'écran LCD avec + 5V (4,7V - 5,3V)
VE (Contrast V)	Décide du niveau de contraste de l'affichage. Mise à la terre pour obtenir un contraste maximal.
Register Select	Connecté au microcontrôleur pour basculer entre les registres de commande / données
Read/Write	Utilisé pour lire ou écrire des données. Normalement mis à la terre pour écrire des données sur l'écran LCD
Enable	Connecté à la broche du microcontrôleur et basculé entre 1 et 0 pour l'acquittement des données
Data Pin 0 ~7	Les broches de données 0 à 7 forment une ligne de données de 8 bits. Ils peuvent être connectés au microcontrôleur pour envoyer des données 8 bits. Ces LCD peuvent également fonctionner en mode 4 bits dans ce cas, les broches de données 4, 5, 6 et 7 resteront libres.
LED Positive	Borne positive de la broche LED du rétroéclairage
LED Négative	Borne négative de la broche LED du rétroéclairage

II.3.1.8. Unité de stockage de données (La carte SD)

L'un des points faibles de l'Arduino est l'espace mémoire. Lors de la lecture de données (sauvegarde de la mesure, lecture ou écriture dans un fichier, etc.), il est nécessaire de disposer de beaucoup d'espace. On peut facilement augmenter la mémoire des projets basés sur l'Arduino par une carte mémoire.

➤ Origine

SD signifie en anglais Secure Digital et parfois appelé SDSC pour SD Standard Capacité. Elle est conçue de l'alliance de trois grands groupes, les groupes japonais Toshiba et Panasonic et le groupe américain SanDisk dans les années 2000.

➤ Intérêt

Le point fort de ce stockage est sa caractéristique amovible. Ce support est très utilisé dans les consoles de jeu vidéo (PSP...), les caméscopes numériques, les appareils photo numérique, dans les systèmes de navigation de type GPS, les téléphones mobiles types « smartphones ».

Il existe aujourd'hui 3 modèles de carte SD et 3 versions dérivées, reconnaissable par le terme Micro, les SD et les Micro SD, les SDHC et les Micro SDHC et enfin les SDXC et les Micro SDXC.

- SD : le modèle standard que l'on retrouve par défaut dans les smartphones, les appareils photo numériques. La capacité de ce modèle pouvant aller de 128 Mo à 2 Go (format par défaut FAT16/105).
- Micro SD : Ce modèle est apparu en 2005 par la SD Association. Plus petit que le format SD classique, il a su s'imposer face à la miniSD. Principalement utilisé dans les smartphones, les tablettes et autres appareils numériques.
- SDHC : HC signifie Haute Capacité. La capacité de ce modèle pouvant aller de 4 Go à 32 Go (format par défaut FAT32). La carte SDHC est basée sur la spécification SDA 2.0.
- Micro SDHC : une version dérivée du format SDHC, et plus petit. Disposant de capacité de stockage pouvant aller jusqu'à 128 Go [29].



Figure II.12. la carte SD et sa lecteur

Tableau II.6. Configuration du brochage du SD carte

La broche	Description
CS	Utiliser pour activer ou désactiver le(s) composant(s) périphérique(s) voulu(s) (connecté à la Branch des donnes 10)
MOSI	Utilisée pour envoyer des données du maître vers le(s) périphérique(s) (connecté à la Branch des donnes 12)
MISO	Utilisée pour envoyer des données depuis le(s) périphérique(s) vers le maître (connecté à la Branch des donnes 11)
CLK	Transmet les impulsions de signal d'horloge générées par le composant maître et qui synchronisent la transmission des données (Connecté à la Branch des donnes 13)

II.3.1.9. Microcontrôleurs

Un microcontrôleur (en notation abrégée μc , ou μc ou encore MCU en anglais) est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des produits. Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'informatique dans un grand nombre de produits et de procédés. [30].

➤ Module Arduino Nano

Arduino Nano est une petite carte à microcontrôleur compatible et flexible développée par Arduino.cc en Italie, basée sur le microcontrôleur ATmega328p (Arduino Nano V3.x). La Figure II.12 utilise un type de mémoire flash de 32 Ko dont 2 Ko sont utilisés par le Bootloader. La

vitesse d'horloge du processeur de l'Arduino Nano est de 16 MHz. Il est livré avec exactement les mêmes fonctionnalités que dans Arduino UNO mais assez petit. Il est livré avec une tension de fonctionnement de 5V, cependant, la tension d'entrée peut varier de 7 à 12V. Arduino Nano contient 14 broches numériques, 8 broches analogiques, 2 broches de réinitialisation et 6 broches d'alimentation. Chacune de ces broches numériques et analogiques est affectée de plusieurs fonctions, mais leur fonction principale doit être configurée comme entrée ou sortie. La taille de la carte est de 18x45 mm avec un poids de seulement 7g [46].

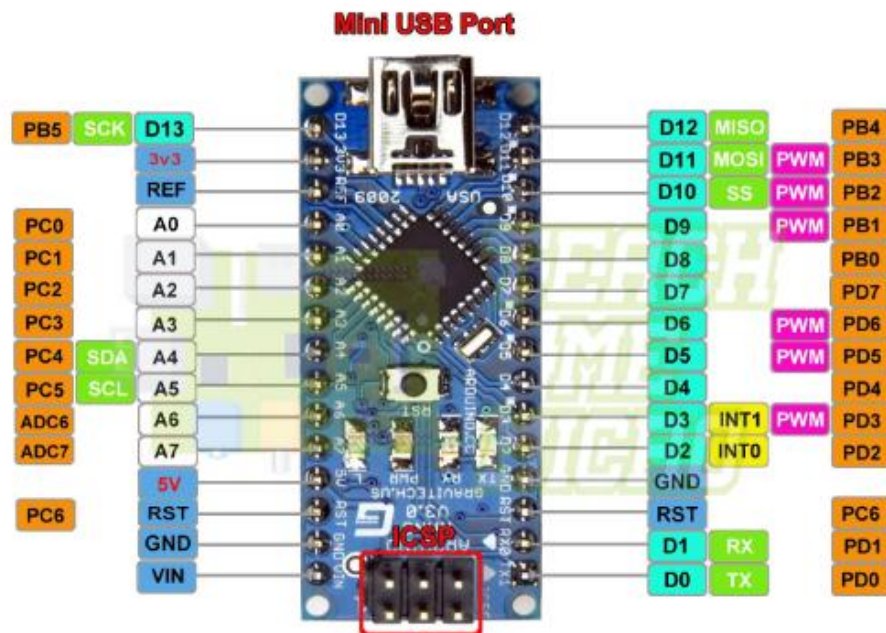


Figure II.13. Module Arduino Nano

II.3.1.10. Principe de la conversion analogique numérique

a) Généralités

- Signal analogique

Un signal analogique est un signal qui varie de façon continue au cours du temps Figure II.13-a. C'est le cas de la plupart des paramètres de la physique classique (température, pression, vitesse...).

- Signal numérique

Un signal numérique est représenté par un nombre binaire, constitué d'un ensemble de signaux logiques formant les éléments binaires du mot ("bits"). Le signal numérique n'est plus qu'une suite de 0 et de 1, au contraire de l'analogique, qui peut prendre une infinité de valeurs possibles Figure II.13-b.

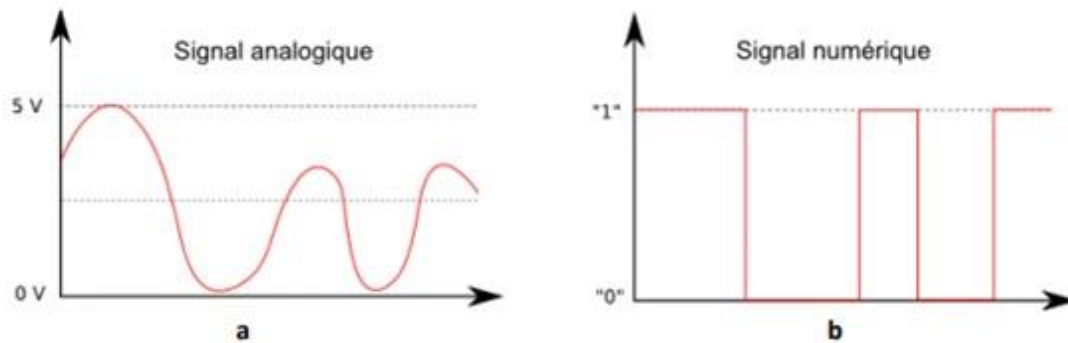


Figure II.14. Signal analogique et signal numérique

b) Comment passe-t-on de l'analogique au numérique ?

La transformation d'un signal analogique en un signal numérique est appelée la conversion numérique ou encore numérisation. Pour convertir un signal analogique en un signal numérique, il doit être passé par un convertisseur analogique numérique (CAN). [31].

c) Définition du convertisseur analogique-numérique (CAN)

Un convertisseur analogique-numérique (CAN, parfois convertisseur A/N), ou en anglais ADC pour (Analog to Digital Converter) ou plus simplement A/D, est un montage électronique dont la fonction est de traduire une grandeur analogique en une grandeur numérique (codée sur plusieurs bits).

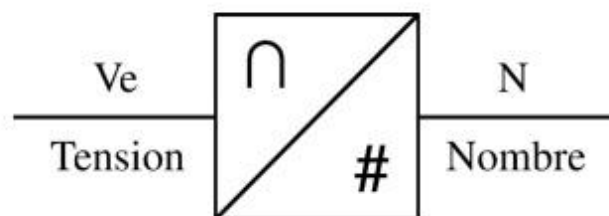


Figure II.15. Symbole normé du convertisseur analogique Numérique

Le signe \cap indique la grandeur d'entrée est de type analogique.

Le signe $\#$ indique la grandeur de sortie est de type numérique.

Un convertisseur analogique - numérique possède généralement :

- Une entrée " début de conversion " qui permet de démarrer la conversion (Start).

- Une sortie " fin de conversion " qui indique que la conversion est terminée (End).
- Une entrée analogique (courant ou tension).
- Plusieurs sorties numériques, dont le nombre est en fonction de la résolution [M. Glé,12].

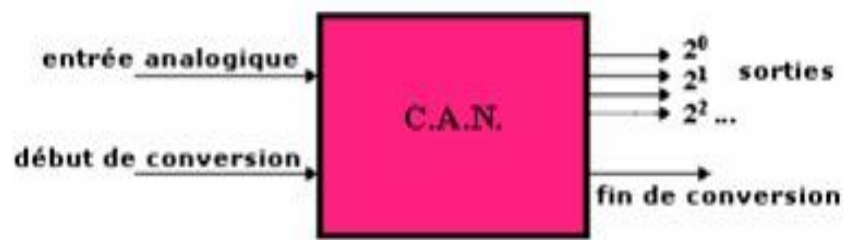


Figure II.16. Schéma générale d'un convertisseur analogique numérique

II.3.1.11. ADC Arduino nano

ADC. Un signal analogique est celui qui peut prendre un certain nombre de valeurs, contrairement à un signal numérique qui n'a que deux valeurs : HAUT et BAS. Pour mesurer la valeur des signaux analogiques, l'Arduino a intégré analogique-numérique (ADC).

L'ADC transforme la tension analogique en une valeur numérique. La fonction qu'on peut utiliser pour obtenir la valeur d'un signal analogique est `analogRead` (broche). Cette fonction convertit la valeur de la tension sur une broche d'entrée analogique et renvoie une valeur Expérimental numérique de 0 à 1023, par rapport à la valeur de référence. [32].

La carte Arduino NANO dispose pour cela de 8 entrées, repérées de A0 à A7, qui peuvent admettre toute tension analogique comprise entre 0 et 5 V.

Pour mesurer des tensions supérieures à 5 Volts il faut équiper l'entrée d'un pont diviseur.

Les broches analogiques 6 et 7 ne peuvent pas être utilisées comme broches numériques. De plus, certaines broches ont des fonctionnalités spécialisées.

Pour mesurer des tensions analogiques les cartes Arduino contiennent un convertisseur analogique-numérique (A/N).

Ce convertisseur a une résolution de 10 bits, renvoyant des résultats de mesure sous forme d'entiers de 0 à 1023. [33].

II.3.1.12. Protocole de communication I2C

La communication I²C est la forme abrégée pour les circuits inter-intégrés. Il s'agit d'un protocole de communication série synchrone développé par Philips Semi-conducteurs pour le

transfert de données entre un processeur central et plusieurs circuits intégrés sur le même circuit imprimé, à l'aide de deux câbles communs, le premier portant les données SDA et le second portant l'horloge (SCL) :

- **SCL (Serial Clock)** : Horloge de cadencement de la communication.
- **SDA (Serial Data)** : Signal de données.

En raison de sa simplicité, il est largement adopté pour la communication entre microcontrôleurs et réseaux de capteurs, écrans, périphériques LOT, EEPROM, etc [34].

II.3.1.13. L'interface de périphérique série (SPI)

Les interfaces de périphérique série ou SPI ont été développées par Motorola dans les années 1980 en tant qu'interface standard, fiable et peu coûteuse entre le microcontrôleur (microcontrôleur de Motorola au début) et ses CI périphériques.

En raison de son interface simple, de sa flexibilité et de sa facilité d'utilisation, SPI est devenu un standard et bientôt d'autres fabricants de semi-conducteurs ont commencé à l'intégrer dans leurs puces.

L'interface de périphérique série (SPI) est un protocole de communication série synchrone qui permet une communication en duplex intégral à très grande vitesse.

Ce protocole est de type maître-esclave couramment utilisé pour l'interfaçage de microprocesseurs ou de microcontrôleurs avec des mémoires telles que EEPROM, RTC (horloge temps réel), ADC (convertisseurs analogique-numérique), DAC (convertisseurs numérique-analogique), des écrans tels que des LCD, des circuits audios, des capteurs tels que la température et la pression, des cartes mémoire telles que des cartes MMC ou SD.

Le bus SPI est composé de 4 signaux ou broches. Elles sont :

- **SCLK (Serial Clock)** : Horloge du bus (produite par le maître).
- **MOSI (Master Out Slave In)** : Données du maître vers l'esclave actif.
- **MISO (Master In Slave Out)** : Données de l'esclave actif vers le maître.
- **SSn (Slave Select n)** : Sélection de l'esclave n à destination de la transmission. [35].

II.3.2. Outils de conception logicielle

II.3.2.1. Le langage de programmation Arduino IDE

L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino est une application multiplateforme (pour Windows, mac OS, Linux) écrite en langage de programmation Java. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino, mais aussi, avec des cartes de développement d'autres fournisseurs. L'IDE Arduino supporte les langages C et C++ en utilisant des règles spéciales de structuration du code. L'IDE Arduino fournit une bibliothèque de logiciels du projet, qui fournit de nombreuses procédures d'entrée et de sortie communes. Le code écrit nécessite seulement deux fonctions de base, pour le démarrage de l'esquisse et de la boucle du programme principal, qui sont compilées et liées à un talon de programme `main()` dans un programme exécutable cyclique avec la chaîne d'outils `Loop()`, également incluse dans la distribution IDE. L'IDE Arduino utilise le programme AVRDUDE pour convertir le code exécutable en un fichier texte au codage hexadécimal chargé dans la carte Arduino par un programme de chargement dans le microprogramme de la carte[47].

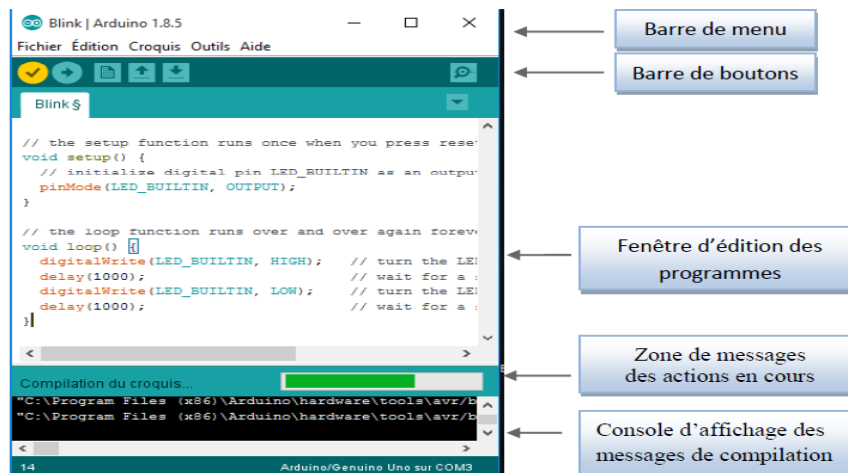


Figure II.17. L'interface de Arduino IDE

II.3.2.2. Le logiciel de conception et de simulation Proteus ISIS

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société L'absenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS, ARES, Cette suite logicielle est

très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser Le support technique est performant L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

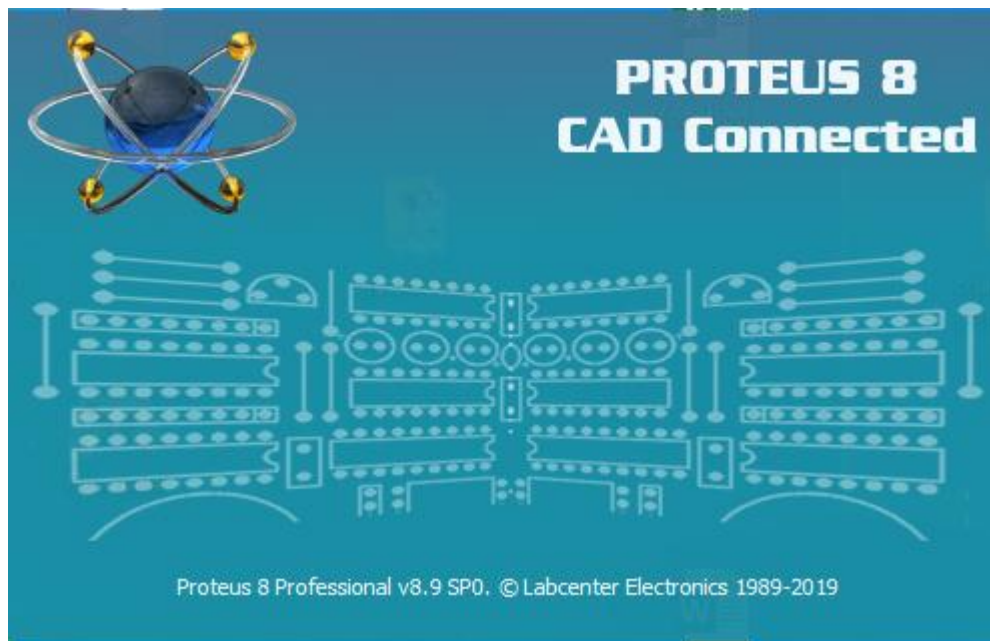


Figure II.18. L'interface de Proteus ISIS

➤ ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connue pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisé dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits. [42].

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les conditions et exigence du cahier des charges qui utilisée dans notre système, (Capteur de courant linéaire ACS712 ; Capteur de tension; circuit du capteur de lumière (LDR); Capteur de température (LM35); L'horloge en temps réel (RTC DS1307) ; Écran de cristal liquide (LCD) ,Unité de stockage de données), suivie par une présentation des différentes caractéristiques du modules photovoltaïque et a été présenté du microcontrôleur (Arduino Nano) et plusse le programme de simulation Proteus, ce qui nous permettra de concevoir et de simuler le système surveillance des paramètres de panneau solaire.

Chapitre III

Simulation et réalisation du système

Chapitre III : Simulation et réalisation du système

III.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 [54].

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter le cahier des charges qui doit être respecté lors de la conception du présent projet et servir à formaliser les besoins et à les expliquer aux différents acteurs et intervenants pour s'assurer sa compréhension et éventuellement lui apporter des modifications et des éventuelles améliorations.

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 étages. 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.

III.2. Système de la mesure et de surveillance

Le système proposé est destiné à la mesure et la surveillance des paramètres de panneaux solaire à l'aide du microcontrôleur ATmega328 (Arduino NANO) La structure du système est indiquée dans figure III.1 [54].

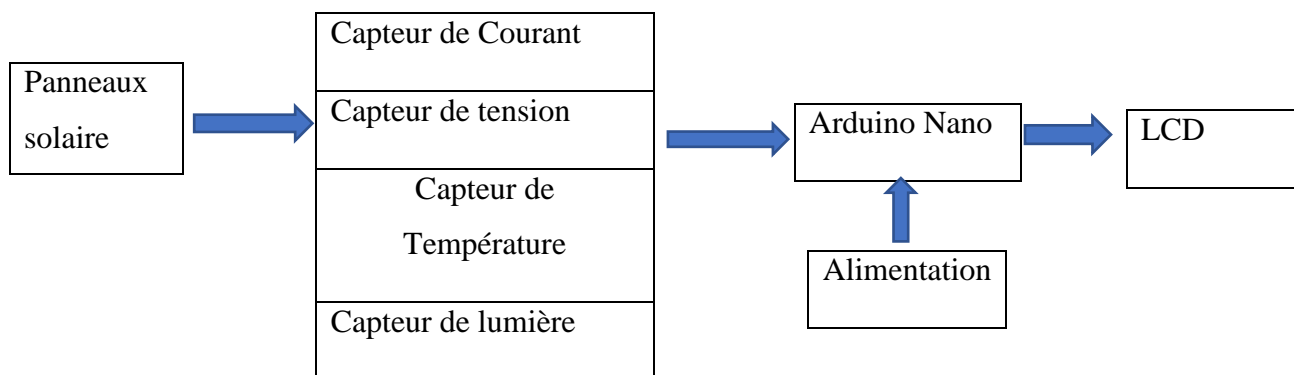


Figure III.1. Schéma globale de système de surveillance des panneaux solaire

III.3. Résultats de simulation du système par Proteus

Le Logiciel Proteus nous donne l'opportunité de simuler les comportements de circuits et de codes proposé. Les modules Arduino ont été ajoutés dans la bibliothèque des composants de ce logiciel.

III.3.1. Schéma global du système par Proteus

La figure III.2 représente le schéma global de la simulation notre système.

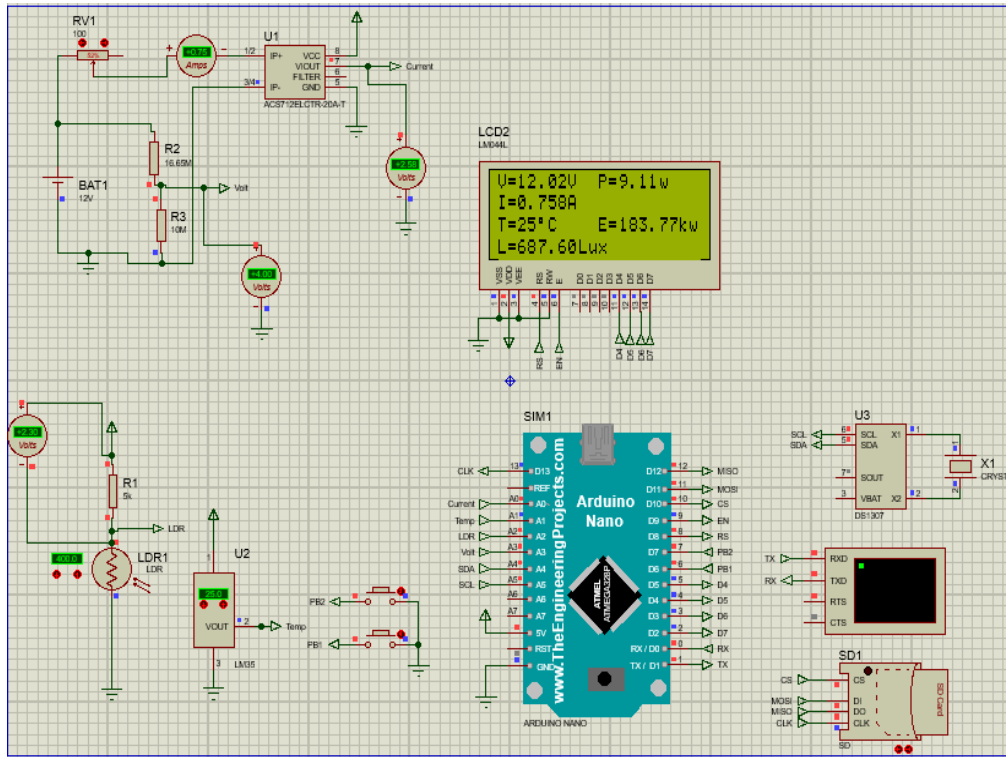


Figure III.2. Simulation de système de surveillance des panneaux solaire

Dans cette simulation, quatre paramètres ont été mesurés qui sont la température, l'intensité lumineuse, la tension et le courant. La température a été mesurée à l'aide d'un capteur de température. L'intensité lumineuse a été mesurée à l'aide d'un capteur de résistance dépendante à la lumière (LDR). La tension a été mesurée à l'aide d'un diviseur de tension car la tension générée par le panneau solaire a une valeur plus grande que la valeur que l'Arduino supporte. Enfin, le courant a été mesuré à l'aide d'un module de capteur de courant qui peut détecter le courant généré par le panneau solaire. Ces paramètres sont considérés comme des grandeurs d'entrées pour l'Arduino et la sortie étaient affichées sur un écran (LCD). L'écran (LCD) affiche

la température, l'intensité lumineuse, la tension et la valeur de courant. Aussi il affiche la valeur de la puissance, la valeur de l'énergie consommé et le temps et la date.

III.4. Résultats de simulation du système

III.4.1. Résultats de simulation de la tension

Un diviseur de tension c'est un circuit qui utilise une série deux résistances pour produire la tension de sortie qui est une fraction de la tension d'entrée en raison de la distribution de la tension entre les deux résistances.

Un exemple simple d'un diviseur de tension est deux résistances connectées en série, avec la tension d'entrée appliquée à travers la paire de résistance et la tension de sortie émergeant de la connexion entre eux. En utilisant des résistances appropriées, nous pouvons obtenir V_{out} comme fraction de V_{in} et de connexion à travers le terminal du panneau, nous pouvons sentir la tension du panneau ou de la centrale électrique [48].

La raison pour laquelle nous peut utiliser diviseur de tension parce que le maximum tension d'entrée à Analogique au convertisseur numérique ne peut jamais être supérieur à 5 volts. Mais nous pouvons calculer ces valeurs de résistance en fonction de 4 volt pour augmenter la précision de la mesure et assurer la protection de l'ADC en cas de fluctuation de tension [49].

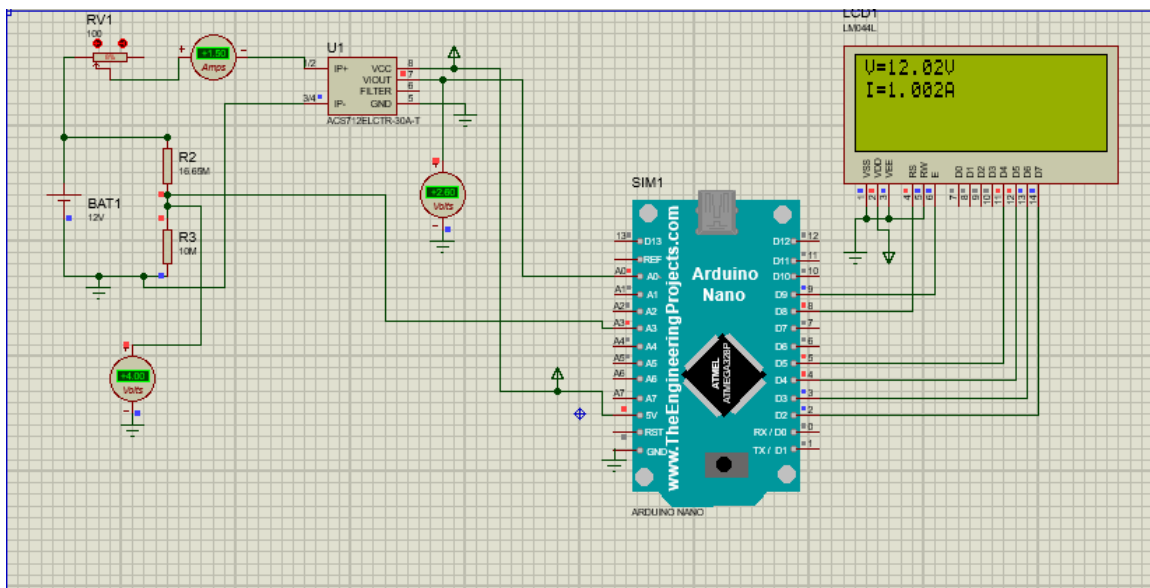


Figure III.3. Simulation de la tension

$$V_{OUT} = \frac{R3}{(R2 + R3)} * V_{BAT}$$


Avec : Erreur absolu = $\left| \frac{V_m - V_r}{V_r} \right|$

Tableau III.1. Mesure d'erreur de la tension

<u>Tension de panneau (V)</u>	<u>Sortie de capture (V)</u>	<u>Tension affiche (V)</u>	<u>Erreur %</u>
1	0.33	1	0
2	0.67	2.01	0.5
3	1	3.01	0.33
4	1.33	4	0
5	1.67	5.01	0.2
6	2	6.01	0.166
7	2.33	7.01	0.14
8	2.67	8.01	0.125
9	3	9.02	0.22
10	3.34	10.01	0.1
11	3.67	11.01	0.09
12	4	12.02	0.166

Contraintes de notre système de mesure :

- ✚ La précision dans la conversion Analogique-numérique ; 10 bits est insuffisant pour avoir un signal plus proche de la réalité.
- ✚ Le calibrage de notre système de mesure dans le programme est juste adapté pour une tension comprise dans l'intervalle de la gamme de mesure.
- ✚ La résistance du capteur a des valeurs exactes mais en réalité, ces résistances ont leur propre roulement ou défaut de fabrication



```

sketch_jul28a $
#include <LiquidCrystal.h> // Include LCD library code
LiquidCrystal lcd(8, 9, 5, 4, 3, 2);
float AcsOffset=2.5;
float Sensibl=100;
|
void setup() {
  lcd.begin(20, 4);
}

void loop() {

  float ADC_Volt = 5000.0/1023.0; // 1 unit of ADC equals to about 4.89 mV
  float a=analogRead (A0)*ADC_Volt;
  float h=analogRead (A3);

  float tension=analogRead(A3)*ADC_Volt*3.0/1000.0;
  float courant=(a-2500)/Sensibl;

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("V=");
  lcd.print(tension);
  lcd.print("V ");

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print ("I=");
  lcd.print(courant,3);
  lcd.print("A ");
}

```

Figure III.4. Code de programme (Arduino IDE) de la tension

III.4.2. Résultats de simulation de courant

Pour la mesure du courant, nous avons utilisé le capteur de courant à effet Hall de type ACS712 qui nous fournit une tension exploitable.

Les capteurs de courant ACS712 ont différentes gammes de mesure de $\pm 5A$, ± 20 et ± 30 . La seule différence entre ces gammes de mesure est dans leur sensibilité. Dans notre projet nous avons utilisé le capteur de courant ACS712ELC-20A, qui mesurent le courant allant de - 20A à + 20A et que nous avons trouvé d'avoir une sensibilité de 100mV/A après une étude de détermination de coefficient de proportionnalité que nous l'avons fait.

Les capteurs de courant ACS712 génère une tension de sortie qui est directement proportionnel au courant circulant à travers le circuit. C'est un dispositif actif qui signifie qu'elle a besoin d'une alimentation de tension V_{cc} pour son fonctionnement.

En fonctionnement à vide, la tension de sortie est égale à $\frac{V_{cc}}{2}$ et lorsque la charge est connectée, la tension de sortie est égale à :

$$V_{out}(V) = \frac{V_{CC}(V)}{2} + \text{Sensibilité} \left(\frac{\text{mV}}{\text{A}} \right) * \text{courant (A)}$$

La valeur $\frac{V_{CC}}{2}$, est l'offset de notre capteur qui compense les valeurs négatives instantanées du courant, donc nous avons à la sortie du capteur de courant la tension qui varie entre 0V et 5V. Due au l'offset, nous n'avons pas besoin de redresser courant.

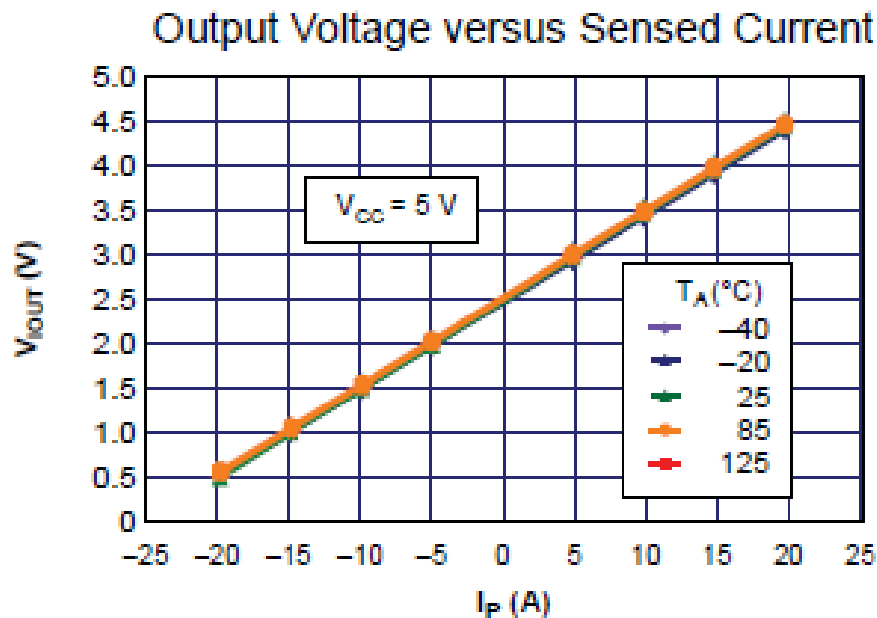


Figure III.5. Caractéristiques de sensibilité et de transfert nominales du capteur de ACS712

La courbe représentée par la figure montre les caractéristiques de sensibilité et de transfert nominales du capteur de ACS712-020B alimenté avec une alimentation de 5,0V. La dérive de la sortie est minimum pour une température de fonctionnement variable, qui est attribué à une technique innovante de stabilisation chopper mis en place sur la puce.

La fiche technique de l'ACS712 indique que le capteur est « ajusté en usine pour plus de précision ». Cela garantit probablement que la sortie sera linéaire [50].

Tableau III.2. Mesure d'erreur de courant

<u>Courant de panneau (A)</u>	<u>Valeur affiché (A)</u>	<u>Erreur %</u>
1	1.002	0.2
1.06	1.1	3.77
1.2	1.197	0.25
1.33	1.344	1.05
1.4	1.442	3
1.46	1.491	2.12
1.59	1.637	2.95
1.73	1.735	0.289
1.86	1.882	1.182
1.99	2.028	1.9
2.13	2.175	2.11
2.33	2.37	1.71

- ✚ L'erreur A due à la précision et la linéarité de capteur ACS712.
- ✚ Aussi l'erreur possible de Pas de calcul du CAN de l'Arduino NANO.

III.4.3. Résultats de simulation de mesure de l'intensité lumineuse

LDR est un composant électronique dont la résistivité varie (souvent une diminution) en fonction de l'augmentation de lumière qui l'atteint. On peut également le nommer résistance photo-dépendante (light-dépendent résistor (LDR) ou photoconducteur. Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons liés assez d'énergie pour sauter dans la bande de conduction, les électrons libres (avec leurs trous d'électron) ainsi produits abaissant la résistance de l'ensemble.

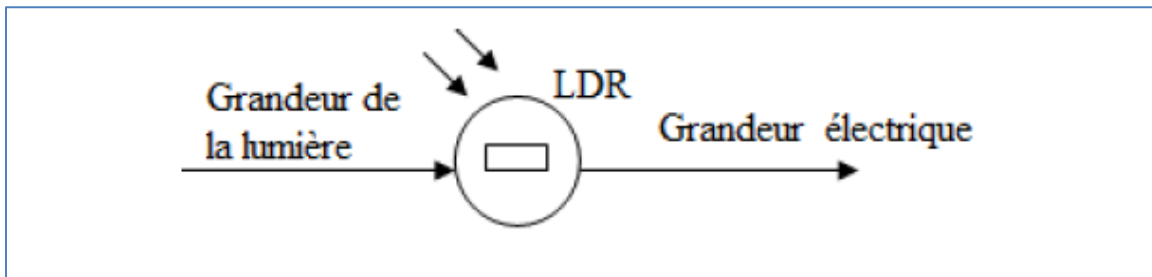


Figure III.6. Schéma synoptique du fonctionnement LDR

Le principe de montage est très simple. Un LDR (cellule photorésistante LDR1) est associée à une résistance (R1) pour former un pont diviseur résistif fournissant une tension dont la valeur est fonction de l'éclairement de LDR [55].

Pour obtenir une valeur de l'intensité lumineuse Proche de la réalité Nous avons :

- Gardé la valeur de la résistance (5K).
- Mesure la tension aux bornes de capteur LDR pour chaque augmentation de la lumière.
- Réalisé le graphe (LDR intensité /tension) pour obtenir leurs équations :

Tableau III.3. Mesure de la tension de sortie en fonction de l'intensité LDR

<u>La tension (v)</u>	<u>LDR intensité</u>	<u>La tangente</u>
0	0	0
1,6	200	125
2,3	400	285,71
2,47	600	254,54
3,04	800	666,66
3,26	1000	909,1

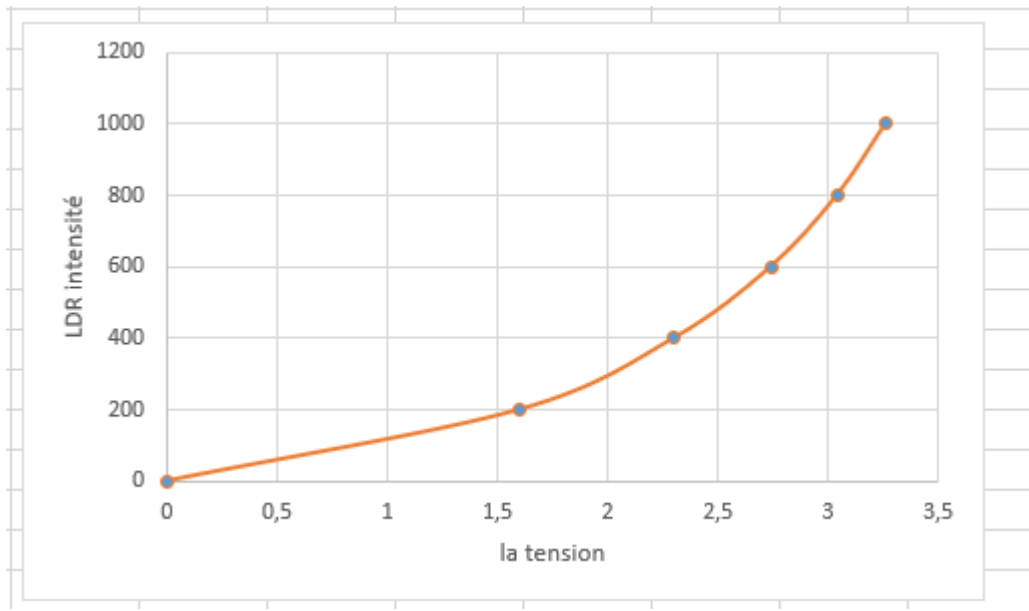


Figure III.7. La tension en fonction de la radiation de capteur (LDR)

```

float voltage =LDR/1000.0 ;
if ( voltage <=1.6 )
  { light =(125.0*voltage)+1.51; }

if (voltage >=1.6 && voltage <=2.3 )
  { light =(285.71*voltage )+0.61;}

if (voltage >=2.3 && voltage <=2.74 )
  {light =(254.54*voltage )+0.86; }

if (voltage >=2.74 && voltage <=3.04 )
  { light =(666.66*voltage) +0.4;}

  if (voltage >=3.04 && voltage <=3.26 )
  {light =(909.1*voltage) +0.34; }

```

Figure III.8. L'équation de LDR dans Arduino IDE

III.4.4. Résultats de simulation de mesure de la température

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par Texas Instruments. Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu coûteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

➤ Le capteur de température LM35 est capable de mesurer des températures allant de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$ dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température.

➤ NB : La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de $+10\text{mV}$ [51].

LM35 est un capteur, qui converti la variation de la température en une différence de potentielle, d'une façon proportionnelle. Ce capteur est très simple à utiliser, il suffit de l'alimenter avec les deux pattes VCC et GND, la sortie V_{out} sera récupéré par une entrée analogique d'un microcontrôleur (ATmega 328). La conversion est aussi simple puisqu'un volt correspond à 100 degrés Celsius, la lecture analogique du signal de 0 à 5V étant codée de 0 à 1023, en utilise la formule suivante :

$$\text{Température} = (\text{volt} * 5 / 1023) * 100$$

Volt : est la valeur analogique (V_{out}) converti par le CAN en une valeur numérique [52].

➤ Résultat de simulation et la mesure de température

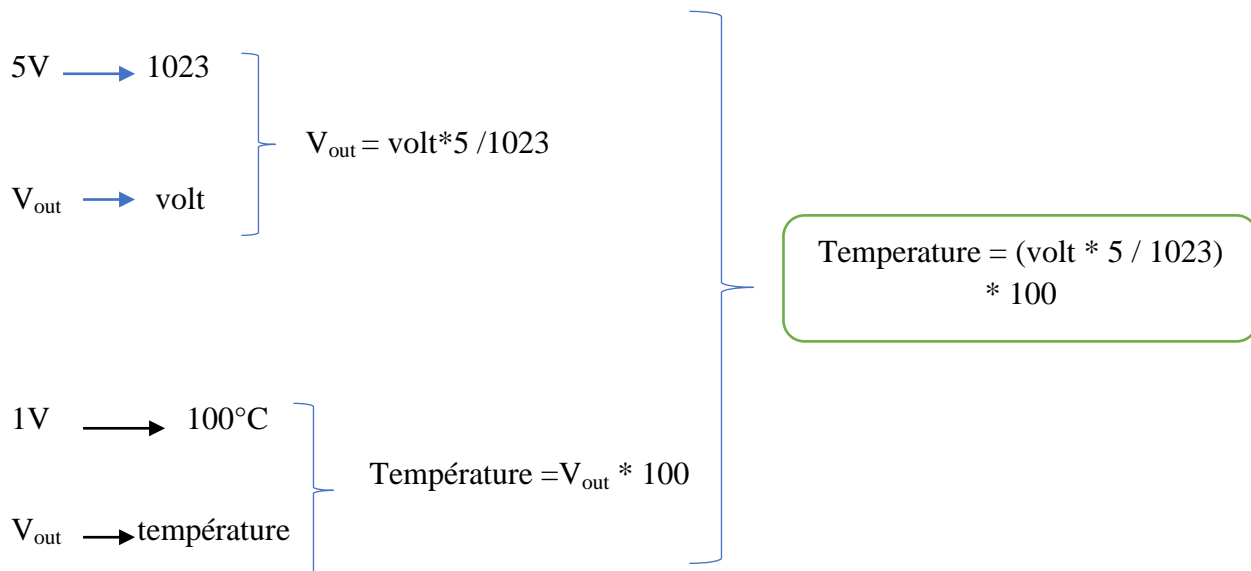


Tableau III.4. L'erreur de mesure de la température

<u>Température (°C)</u>	<u>Valeur affiché (°C)</u>	<u>Erreur %</u>
10	10	0
25	25	0
40	40	0
55	55	0
62	63	1.61
90	90	0
126	127	0.79
150	151	0.66

La précision garantie par le fabricant est de $\pm 1^\circ\text{C}$ à 25°C et $\pm 1.5^\circ\text{C}$ à -55°C ou $+150^\circ\text{C}$ pour la version la moins précise, ce qui est largement suffisant pour la plupart des applications. La version plus précise du LM35 (nommée "LM35A") a une précision garantie de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ à 25°C et $\pm 1^\circ\text{C}$ à -55°C ou $+150^\circ\text{C}$.

Une autre des grandes forces du capteur LM35, c'est sa linéarité exemplaire : moins de 1°C d'erreur sur la plage complète de -55°C à $+150^\circ\text{C}$. Comme chaque degré Celsius correspond à 10mV (soit 0.01 volt) et que la sortie du capteur est (quasi) parfaitement linéaire, convertir une mesure en température se résume à faire un bête produit en croix.

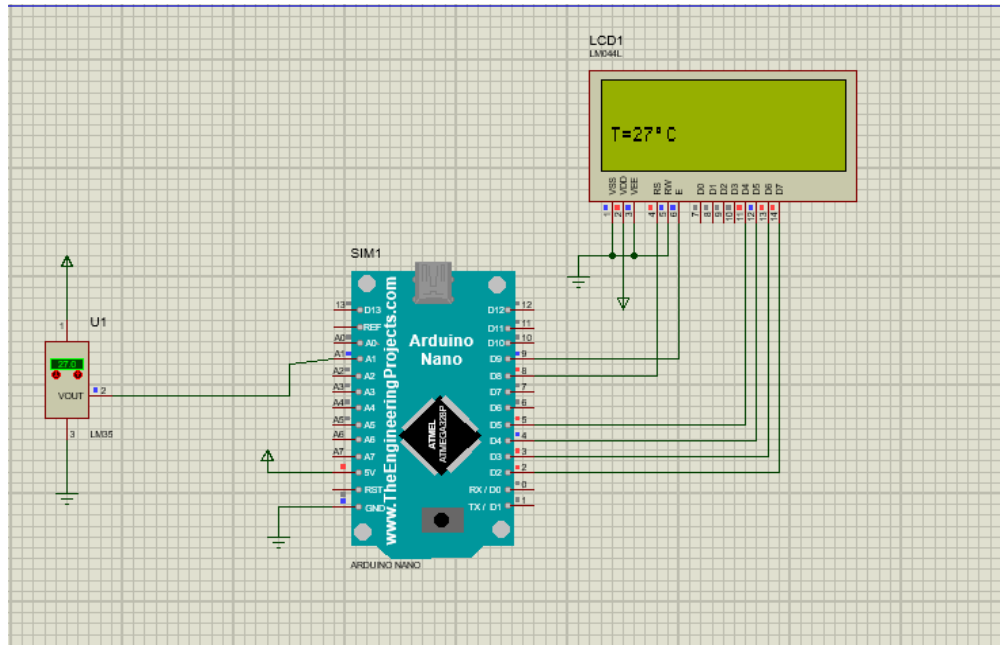


Figure III.9. La Simulation de la température en Proteus

```

sketch_jul28a
#include <LiquidCrystal.h> // Include LCD library code
LiquidCrystal lcd(8, 9, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  lcd.begin(20, 4);
}

void loop() {

  float ADC_Volt = 5000.0/1023.0; // 1 unit of ADC equals to about 4.89 mV
  float t=analogRead (A1);

  float temp=t*ADC_Volt /10.0;

  lcd.setCursor (0,2);
  lcd.print ("T=");
  lcd.print (temp,0); //Do not show the floating point on the LCD
  lcd.write(223);
  lcd.write("C ");
}

```

Figure III.10. Code de programme (Arduino IDE) de température

III.4.5. Résultats de fonctionnement de l'horloge en temps réel

Les données de notre système doivent être horodatée par conséquent on aura besoin du temps réel. Pour cela, DS1307 RTC (horloge temps réel). Par ailleurs, nous voulons synchroniser ce RTC avec le PC. Donc, le code nous permettra de synchroniser le temps du PC à l'Arduino.

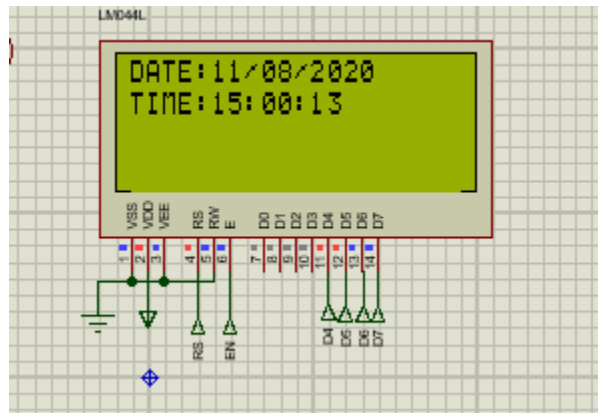


Figure III.11. Résultat de DS1307 RTC dans Proteus

NB : Le Bouton poussoir 1 : utilisé pour afficher le temps et le calendrier Dans l'écran LCD (pendant 1 minute).

Le Bouton poussoir 2 : utilisé pour régler le temps et le calendrier.

III.4.6. Calcul de la puissance et l'énergie :

- La puissance (watt) = la tension (V) * le courant (A)
- Pour mesurer la valeur de l'énergie en (KWh), on a besoin d'utiliser la fonction {millis ()} pour calculer le temp réel de fonctionnement de notre system.

```

sketch_aug14a $
Puissance =(tension)*(courant) ;
KW=puissance /1000.0 ;
Energie =(kW*(time2) ) ;
if(millis()-time2>=3600000)
|
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("E=");
lcd.print(energ);
lcd.print("kwh ");

time2=millis();//

```

Figure III.12. Code de programme (Arduino IDE) de mesure la puissance et l'énergie

III.4.7. Résultats de fonctionnement de module de stockage des données

Le module de carte SD est particulièrement utile pour les projets nécessitant un enregistrement de données, l'Arduino peut créer un fichier sur une carte SD pour écrire et sauvegarder des données à l'aide de la bibliothèque SD. Il existe différents modèles de différents fournisseurs, mais ils fonctionnent tous de manière similaire, en utilisant le protocole de communication SPI.

Le module (adaptateur de carte Micro SD) est un module de carte Micro SD de lecteur, et l'interface SPI via le pilote de système de fichiers, système de microcontrôleur pour compléter la carte Micro SD lire et écrire fichiers. Les utilisateurs Arduino peuvent utiliser directement l'Arduino IDE qui est livré avec une carte SD pour finaliser l'initialisation de carte, de bibliothèque et lecture-écriture... [53].

Figure III.13. Permettant de présenter Les étapes que traverse et certaines fonctionnalités du data logger :

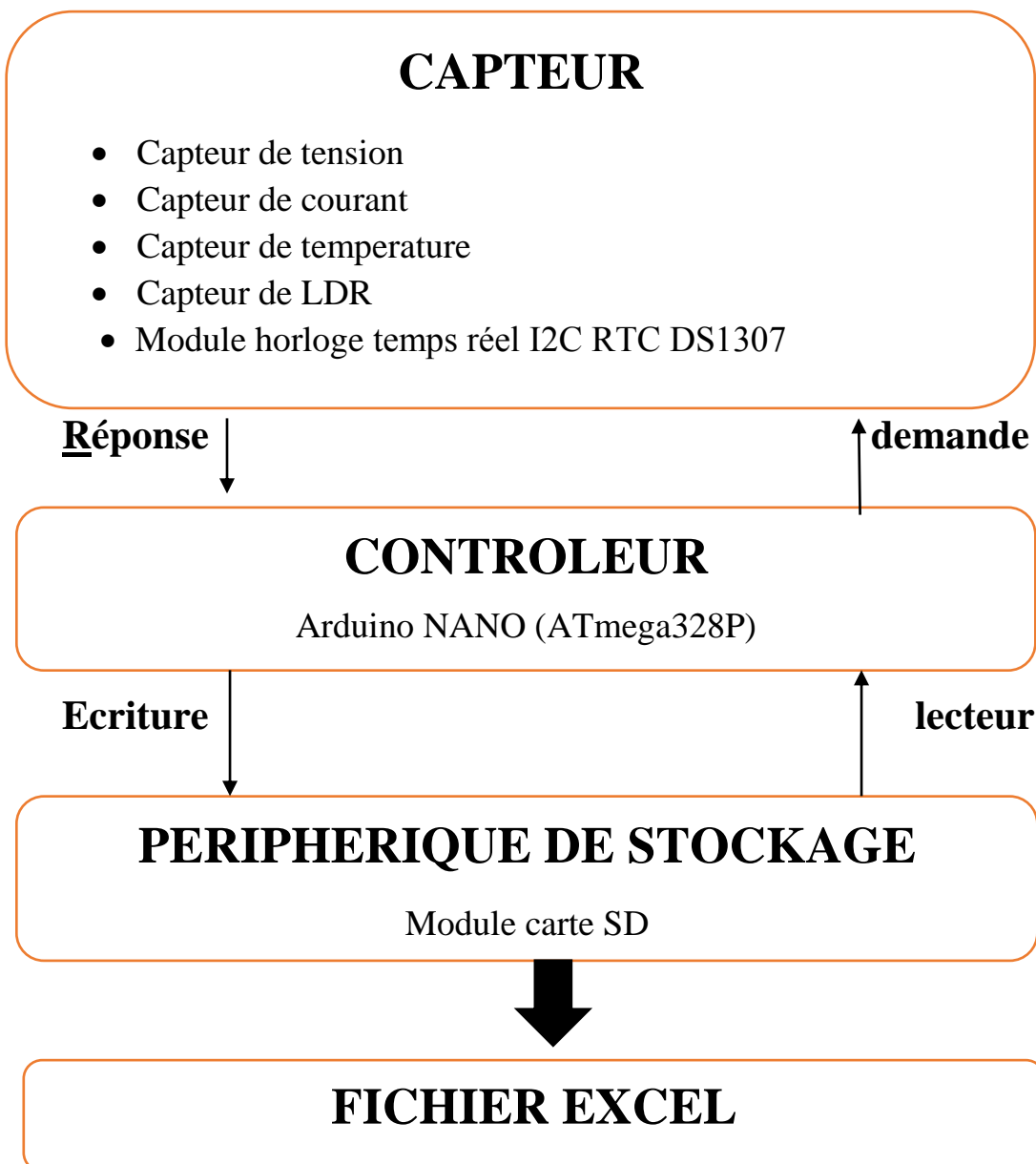


Figure III.13. Schéma synoptique du data logger

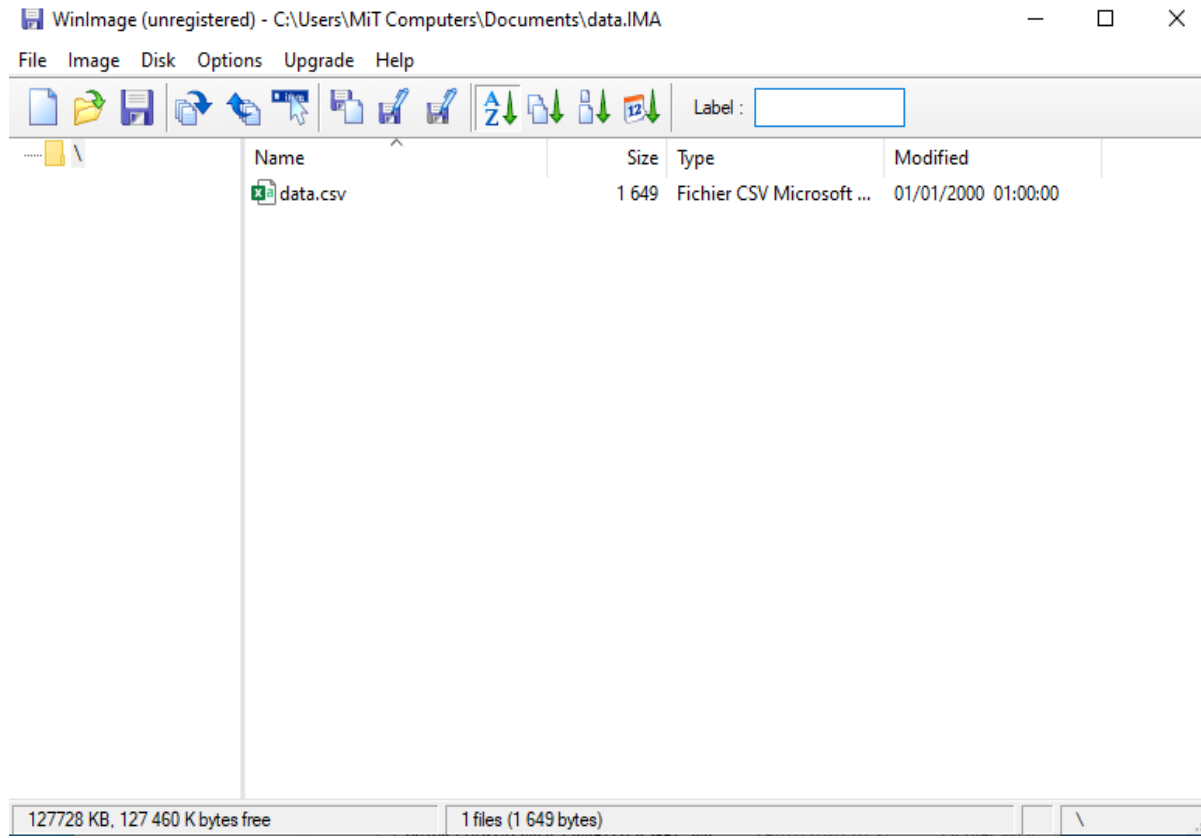


Figure III.14. L'emplacement de Data logger dans le PC

DATE	TEMPS	temperature (C)	courant (A)	tension (V)	LDR (LUX)	energie (KWH)
DATE:11/09/2020	00:06:17	2,93	0,07	1.00	687.60	0.00
DATE:11/09/2020	02:07:15	11,24	0,37	5.01	687.60	0.00
DATE:11/09/2020	04:07:31	16,13	0,61	9.02	687.60	55.38
DATE:11/09/2020	06:08:43	21,02	0,81	12.02	647.16	97.27
DATE:11/09/2020	08:09:33	31,28	1	15.00	561.98	150.46
DATE:11/09/2020	10:09:45	38,12	1,44	15.00	561.98	216.56
DATE:11/09/2020	12:10:21	47,41	1,69	15.00	687.60	253.29
DATE:11/09/2020	14:10:39	41,06	1,54	15.00	687.60	231.19
DATE:11/09/2020	16:11:18	34,21	1,15	15.00	647.16	344.95
DATE:11/09/2020	18:11:27	26,39	1,15	15.00	647.16	346.07

Figure III.15. Résultat data logger dans Excel

III.4.8 Exemple d'exploitation des données enregistrées (MS excel)

Le Datalogger évalue le taux de température et le courant chaque deux heures pendant Dix-huit heures. Les résultats numériques de mesure ont été récupérées de la carte mémoire SD puis tracées les graphes sur Excel.

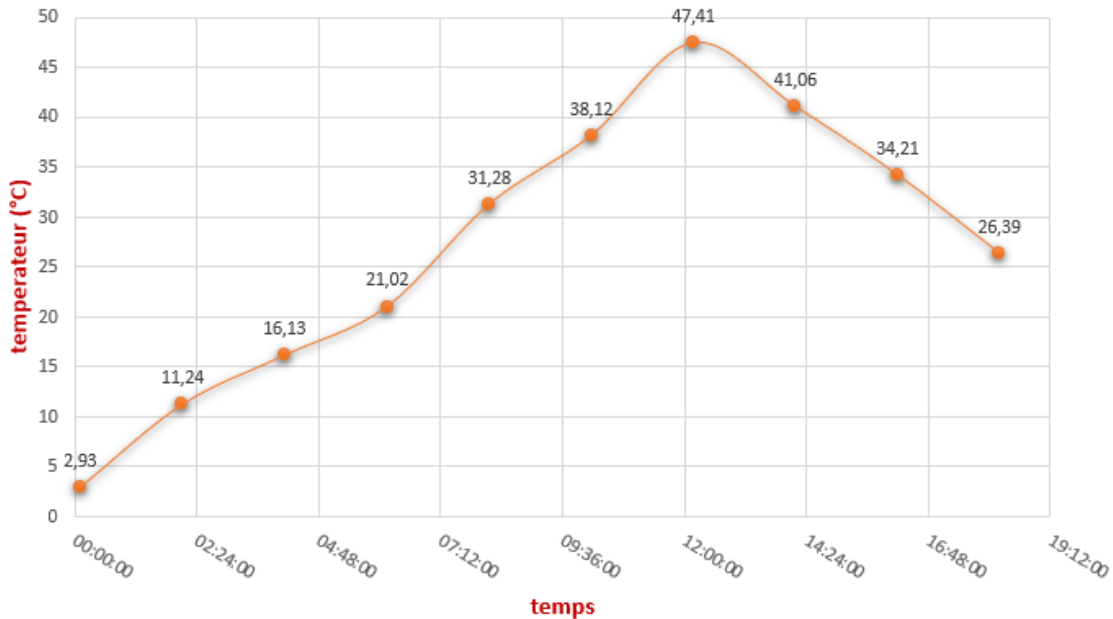


Figure III.16. Changements de température en fonction du temps

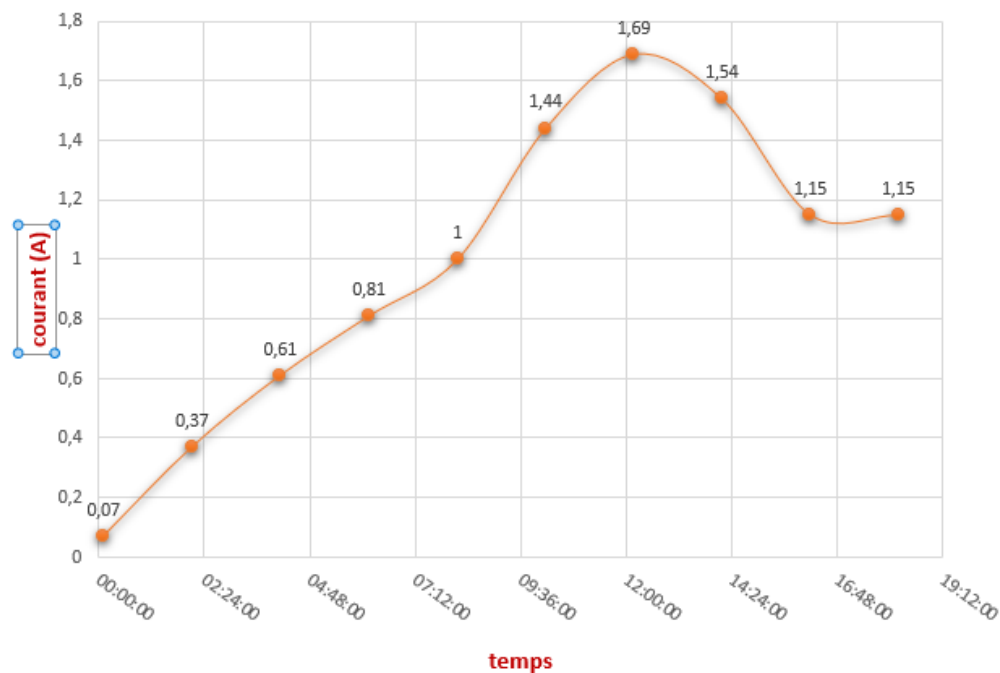


Figure III.17. Changements de courant en fonction du temps

Conclusions

Dans ce dernier chapitre nous avons effectué une simulation (par Proteus ISIS) détaillée du fonctionnement du système, Plusieurs test ont été effectuées avec un code de programmation. Les résultats obtenus sont très encourageants avec un taux d'erreur presque nul ce qui indique l'efficacité des étapes de simulation et atteinte des objectifs fixe dans ce travail.

Conclusion

Générale

Conclusion générale :

Le travail effectué dans ce mémoire porte sur conception et la réalisation d'un system surveillance des paramètres de panneaux solaire à l'aide d'un Arduino nano. Ce projet constitue trois chapitres :

Dans un premier chapitre, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire photovoltaïque. Puis nous avons présenté la trajectoire apparente du soleil, une description du systèmes PV, de la cellule PV,

Le deuxième chapitre, nous avons présentés les plus importants composants électroniques attachés à la carte Arduino ; tels que les capteurs : le courant, la tension, la température l'intensité lumineuse et l'énergie. Ainsi qu'un présenté le programme de simulation Proteus qui permet réaliser l'expérience souhaitée.

À la fin du chapitre, nous avons présenté les schémas globaux de system et simulé le fonctionnement en différents temps réel par Proteus ISIS avec une carte Arduino. Dans laquelle nous avons implanter algorithme et stocké toutes les informations dans un carte mémoire.

Les travaux et Les résultats abordés dans ces thèmes sont très encourageants et nous motivent de plus en plus à continuer dans ce même axe de recherche. En perspectives, on propose quelques tâches à traiter ultérieurement, comme :

- Effectuer des essais expérimentaux avec des panneaux solaires réels et non avec une source programmable introduire dans le système un dispositif de poursuite du soleil dont le rôle matériel utilisé est de garder constamment le rayonnement solaire perpendiculaire au panneau photovoltaïque.
- Implémenter différentes commandes dans notre système.
- Réaliser une communication entre applications distantes.
- liaison sans fil WIFI permettant la collecte d'information concernant de le panneau solaire

Donc en conclusion, les objectifs du projet ont été atteint avec succès.

Références

Références :

- [1] S. Saib, "Contribution à l'optimisation d'un système hybride (PV/éolien) avec stockage d'énergie connecté au réseau électrique," 2018.
- [2] <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solairephotovoltaïque.site> web.
- [3] M. B. Trésor and I. B. Bonaventure, "ETUDE D'UN SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE: CAS DE L'INSTALLATION AU CHUK."
- [4] A. Ricaud, "Convertisseurs photovoltaïques," *nov-2007*, 2007.
- [5] F. Zouache, "Etude de la concentration solaire sur les performances des systèmes photovoltaïques," 2009.
- [6] <https://fr.scribd.com/doc/124139564/Cours-GI-Gisement-Solaire.site> web.
- [7] N. Goar and A. Mahmoudi, "Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque," 2017.
- [8] Z. Kamar, "Commande d'un système photovoltaïque par contrôleur Neuro-Flou Réduit," UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2019.
- [9] M. Bressan, "Développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque," Université de Perpignan, 2014.
- [10] B. ZERGUINE, "Modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque," *Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar Annaba Algérie*, p. 31, 2010.
- [11] I. Sari-Ali, B. Benyoucef, and B. Chikh-Bled, "Etude de la jonction PN d'un semiconducteur à l'équilibre thermodynamique", *Journal of Electron Devices*, vol. 5, pp. 122-126, 2007.
- [12] B. Flèche and D. Delagnes, "Energie solaire photovoltaïque," *Toulouse. juin*, 2007.
- [13] S. Abada, "Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic," 2011.
- [14] J. Labbé, "L'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés," 2006.
- [15] M. BOUSSAID, "Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules Photovoltaïques," 2011.

- [16] P. TAILLANT, "Compétition technologique, rendements croissants et lock-in dans la production d'électricité d'origine solaire photovoltaïque," *Cahier N*, vol. 1, p. 25, 2001.
- [17] M. Dahbi, "Étude et optimisation d'une installation Hybride PV-Éolienne Autonome," *mémoire de magister, option physique énérgitique*, 2007.
- [18] S. Petibon, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques," 2009.
- [19] S. Abouda, "Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques: application aux systèmes de pompages," Reims, 2015.
- [20] <https://www.landes.fr/files/cg40/environnement/Guide-PV.site> web.
- [21] L. Kemmouche, "Modèle de fonctionnement d'une station solaire PV en prévision de pannes," Thèse de magistère. Constantine, 2002.
- [22] K. Helali, "Modelisation d'une cellule photovoltaïque: etude comparative," Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [23] J. Kandimalla and D. R. Kishore, "Web Based Monitoring of Solar Power Plant Using Open Source IOT Platform Thingspeak and Arduino," *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, vol. 3, no. 04, 2017.
- [24] <https://www.newenergyeco.com/.site> web.
- [25] <http://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712datasheet.ashx.site> web.
- [26] <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-µ.site> web.
- [27] M. Bour, É. Laurent, and M. Matton, "Ces objets mystérieux ont de nombreuses facettes et nous avons décidé de nous pencher sur un cas bien précis pour notre étude: sécuriser le coffre-fort de Picsou! Armés de nos livres de physique, de nos calculatrices, d'un bon ordinateur, d'un fer à souder et d'une carte Raspberry."
- [28] M. A. RECHIDI and Y. MOUSLIM, "Réalisation d'une horloge en temps réel."
- [29] R. Flermond, "Histoire des supports de stockage: de la carte perforée à la clé USB," 2016.
- [30] G. Mauris, "Capteurs ultrasonores intelligents: application à la représentation symbolique de mesures de distance par codage flou," Chambéry, 1992.
- [31] « Signal analogique et signal numérique. Numérisation et transmission », [www.assistancescolaire. Com.site](http://www.assistancescolaire.com) web.
- [32] « Signal analogique et signal numérique. Numérisation et transmission », [www.assistancescolaire. Com.site](http://www.assistancescolaire.com) web.

- [33] B. LAOUAR, H. AYACHI AMOR, and R. M. Redha, "Etude et Réalisation d'une Commande Domotique par ARDUINO Via Infrarouge."
- [34] "Arduino : Rubrique traitant de la carte nano" <https://www.redohm.fr/2018/02/arduino-module-arduino-nano.site> web.
- [35] D. Paret, *Multiplexed networks for embedded systems: CAN, LIN, Flexray, Safe-by-Wire*. John Wiley & Sons, 2007.
- [36] <https://eduscol.education.fr.site> web.
- [37] N. Achaibou, A. Malek, and N. Bacha, "Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV," *N. spécial (CHEMSS)*, pp. 61-66, 2000.
- [38] M. Bencherif, "Modélisation des paramètres d'une batterie Plomb-Acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome."
- [39] F. YACINE, "ETUDE DES NOUVELLES GENERATIONS DE CELLULES PHOTOVOLTAIQUES," USTO, 2011.
- [40] B. Mohammed, "Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome," *Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes*, 2008.
- [41] M. Belarbi, "Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome," University of sciences and technology in Oran, 2015.
- [42] M. N.-C. E. MECHALIKH-HAMADA, "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau."
- [43] Labcenter Electronics. « Logiciel Proteus» <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php.site> web.
- [44] A. Labouret and M. Viloz, *Installations photovoltaïques-5e éd.: Conception et dimensionnement d'installations raccordées au réseau*. Dunod, 2012.
- [45] A. Labouret and M. Viloz, *Energie solaire photovoltaïque*. Dunod, 2006.
- [46] M. Noredinne and G. Abdarrazzak, "Réalisation d'une Carte d'acquisition et supervision en utilisant un module GSM," UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- [47] K. Kumar, D. Vigneswari, and C. Rogith, "An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano," in *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, 2019, pp. 70-72: IEEE.

- [48] م. بشير, ا. شوقي, موساوي, م. علي, نيد, "Réalisation d'un système d'alarme intelligent à base d'un smart phone contre l'intoxication due au gaz CO dans la maison," 2019.
- [49] J. Kandimalla and D. R. Kishore, "Web Based Monitoring of Solar Power Plant Using Open Source IOT Platform Thingspeak and Arduino," *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, vol. 3, no. 04, 2017.
- [50] S. V. Dhole, A. Grover, S. Kumar, and J. Kumar, "Solar energy measurement system using pic," *Int J Adv Comput Electron Technol (IJACET)*, vol. 4, no. 2, p. 4, 2017.
- [51] A. AHMED AZI, "CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'AIDE AU DIAGNOSTIQUE DE PERFORMANCES DES 'MPPT'DANS LA CHAINE DE CONVERSION PHOTOVOLTAIQUE," Université de M'Sila-Mohamed Boudiaf.
- [52] <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-temperature-avec-un-capteur-lm35-et-une-carte-arduino-genuino/.site> web.
- [53] B. Marzak and M. Amine, "Conception et réalisation d'un système domotique par GSM," Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [54] SHEHADA Khaled "Etude et réalisation d'un Datalogger à base d'Arduino pour enregistrement des données : Application à une maison agricole", MASTER EN ELECTRONIQUE , Mostaganem. 2019.
- [55] N. Mehalaine, "Étude et réalisation d'un système intelligent pour la commande d'éclairage publique et surveillance de quelques paramètres atmosphériques," 2018.