

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abbas LAGHROUR Khenchela

Faculté de Sciences & de Technologie

Département de Sciences & Techniques

جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم العلوم والتقنيات



N Série °:.....

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Présenté par : Boukhari Roudhouane

THÈME :

**Conception et Réalisation d'un banc
de mesure de caractéristique
instantanée des modules
photovoltaïques**

Encadreur :

Boumaaraf Abdelaali

Coup Encadreur :

Saidi Abdelkader

Promotion 2020/2021

Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné du courage et de la patience

Faire ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées par :

Des parties du projet sont endommagées et ne sont pas disponibles au niveau de notre wilaya

Où cela demande un mouvement en dehors de l'état parce que les diapositives électroniques ne sont pas disponibles pour mettre fin au plaisir appliqué

Nous n'avons pas non plus pu nous déplacer entre les États en raison de la propagation du virus Corona

Ce dernier a mis du temps

Internet d'Algérie Télécom à l'arrêt pendant la semaine des épreuves du baccalauréat.

Je dédie mon travail Pour mes parents qui nous ont soutenus et encadré jusqu'à ce jour.

Pour toute notre famille.

Pour toute personne que nous avons connue lors de notre bref passage à l'université.

Pour vous tous nous dédions ce modeste travail

A notre promoteur Mr. Boumaaraf Abdelaali qui a accepté de nous prendre en charge qui nous a dirigés dans notre travail.

Merci mille fois pour votre gentillesse, votre compétence et votre compréhension.

Tout les enseignants qui nous ont enseigné car si nous sommes là aujourd'hui c'est bien grâce à vous tous, donc un grand merci pour vous.

Je dédie ce travail :

A Mon père, et Ma mère,

A Mes frère,

A Toute la famille,

A Tous mes amis. Hamza .Mimo Abdou .Amine. Maya.Ran,Djhonny ,Bajikha

Remerciement

Je voudrais tout d'abord remercier DIEU de m'avoir donné la force et la patience afin de pouvoir accomplir ce travail.

Je désire aussi remercier mes parents pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à mon encadreur M. Boumaaraf Abdelaali pour sa patience, sa confiance et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également M. Abdelkader Saidi Merci beaucoup pour votre aide, vos conseils et vos informations, aussi les membres de jury Mr. Djamaï Djmouaai et Mrs. Ben Farroudj Hafiza qui ont bien voulu examiner ce travail.

Le travail expérimental de ce mémoire a été fait au laboratoire GE.

Je remercie Mr. Abdelhak et Mr. Omar responsable de labo pour accueillir et donner le matériel de laboratoire dont nous avons besoin.

Aussi Mr. Khamis, qui nous a fourni les composants et nous les a envoyés de Batna.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants et tout le personnel administratif de l'université qui ont contribué à ma formation tout au long de mes études.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis et collègues qui m'ont apporté le soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Sommaire

RESUME

LISTE DES FIGURES

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE..... A

Chapitre I : Généralité sur les panneaux PV

I.	Introduction.....	13
1.	Énergie solaire.....	13
1.1.	Énergie solaire photovoltaïque.....	13
1.2.	Énergie solaire thermique.....	13
1.	Types d'installations des systèmes Thermique	6
2.1.	Systèmes autonomes.....	6
2.2.	Système raccordé au réseau.....	7
2.3.	Systèmes hybrides	7
II.	Les Caractéristique d'un panneau photovoltaïque.....	8
1.	Puissance maximale (P_m)	8
2.	Tension à circuit ouvert (V_{co})	8
3.	Courant de court-circuit (I_{cc})	8
4.	Point de fonctionnement optimum (V_m ,).....	8
5.	La caractéristique I/V	8
III.	Les cellules photovoltaïques	9
1.	les cellules monocristallines et les cellules multi-cristallines	9
1.1.	Silicium monocristallin	9
1.2.	Silicium multi-cristallin (Multi-Si ou Poly-Si)	10
2.	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	10
3.	Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque.....	11
3.1.	Caractéristiques des modules PV.....	12
4.	Paramètres de la cellule photovoltaïque	13
5.	Modélisation d'une cellule photovoltaïque	14
6.	L'assemblage des panneaux PV.....	15
6.1.	Association série (N_s)	15
6.2.	Association en parallèle (N_p)	15
6.3.	Association mixte (série-parallèle).....	16
6	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	23
6.1	Avantages.....	20
6.2	Inconvénients	20
7.	Testes électriques	23
8.	Rendement d'un PV	23

IV. Conclusion.....	24
---------------------	----

Chapitre II : Différents méthodes de caractérisation

I. Introduction.....	32
II. Validation expérimentale.....	32
1. Panneau solaire Monocristallin.....	32
2. Le MOSFET IRLZ44ZL.....	33
3. L'ARDUINO UNO.....	33
4. Présentation des composants des Systèmes de commandes et puissance.....	34
4.1. Le microcontrôleur.....	34
4.2. L'alimentation.....	34
4.3. Communications.....	35
4.4 Les broches.....	35
4.5 La mémoire.....	35
4.6 Caractéristique de le carte Arduino UNO.....	35
5. Composants matériels du système.....	36
5.1. Bloc de Mesure.....	36
5.1.1. Les capteurs.....	36
5.1.2. Définition d'un capture.....	36
5.1.3. Les types de captures.....	36
5.1.3.1. Les capteurs analogiques (passif).....	36
5.1.3.2. Les capteurs numériques (actif).....	37
6. Mesure du courant et de la tension.....	37
6.1. Capteur de courant.....	37
6.1.1. Fonctionnalités.....	38
6.2. Capteur de tension.....	38
6.3. Mesure de la température.....	38
7. Mesure de l'éclairement ; (Capteur de luminosité).....	38
III. MOSFET et module PV.....	38
1. Traceur à base de Résistance variable.....	38
2. Traceur a base d'une charge capacitive.....	39
3. Traceur a base d'un MOSFET.....	39
4. Traceur a base d'amplificateur de puissance Bipolaire.....	39
5. Traceur a base quatre quadrant.....	39
6. Traceur à base des convertisseurs DC/DC.....	43
7. Les avantages et les inconvénients des différentes charges des traceurs.....	44
IV. Conclusion.....	37

Chapitre III : Réalisation du système

I. Introduction.....	42
II. Description du système.....	42

1. Arduino IDE	42
2. Proteus	44
III. Dispositif expérimental et résultats.....	44

1.1	L'arduino.....	44
1.2	Capture de courant	44
1.3.	Capture de tension	46
1.4.	Capture de température	48
1.5.	L'affichage sur LCD.....	49
2.	Simulation d'afficheur LCD sous Proteus.....	50
3.	circuit final de raccordement de toute les capteurs et l'affichage sur LCD	52
4.	le code complet des capteurs sur Arduino IDE	52
4.1.	Teste de réalisation global	53
5.	Le circuit de mesure complet.....	54
6.	Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque	55
7.	L'état final de projet	58
IV.	Conclusion.....	59

Conclusion Générale.....	61
--------------------------	----

Bibliographie

Annexe

Liste des figures :

N° de Figure	Titre de figure	Page
<u>Chapitre –I-</u>		
Figure N° 01	Schéma de panneau photovoltaïque et schémas d'installations	14
Figure N° 02	Installation photovoltaïque autonome.	15
Figure N° 03	Installation photovoltaïque raccordée au réseau.	15
Figure N° 04	Installation photovoltaïque hybride	16
Figure N° 05	Fiche derrière de Panneau solaire (utilisé).	17
Figure N° 06	Schéma d'une cellule photovoltaïque	18
Figure N° 07	Silicium monocristallin .	18
Figure N° 08	Cellule PV multi-cristallin.	19
Figure N° 09	Structure et diagramme de bande d'une cellule photovoltaïque	20
Figure N° 10	: Exemple de caractéristiques d'un panneau utilisé dans l'éclairage public (Disponible dans labo de notre université).	21
Figure N° 11	Schéma d'une cellule photovoltaïque.	22
Figure N° 12	L'assemblage des panneaux PV en série (Ns).	22
Figure N° 13	L'assemblage des panneaux PV en parallèle (Np) .	23
Figure N° 14	L'assemblage des panneaux PV mixte (série-parallèle).	23
<u>Chapitre –II-</u>		
Figure N° 15	Panneau solaire (utilisé).	28
Figure N° 16	l'ARDUINO UNO (utilisé sur le projet).	29
Figure N° 17	Représentation fonctionnelle de capteur.	24
Figure N° 18	capteur analogique : photorésistance Exemple d'un (capteur analogique passif).	25
Figure N° 19	Capteur digital de température et d'humidité DHT11 Exemple d'un (capteur analogique passif).	26
Figure N° 20	Capteur de Courant ACS712 20A	34
Figure N° 21	Capteur de tension.	35
Figure N° 22	Carte d'un capteur de température DHT11	35

Figure N° 23	Capteur de lumière LDR.	36
Figure N° 24	afficheurs LCD.	36
Figure N° 25	schéma de traceur I-V à base d'un MOSFET come une charge électronique	37
Figure N° 26	la courbe I-V d'un module PV par un traceur à base d'un MOSFET.	37
Figure N° 27	Traceurs à base de la résistance variable.	38
Figure N° 28	Traceurs à base de convertisseur DC /DC.	38
<u>Chapitre –III-</u>		
Figure N° 29	Schéma synoptique du banc de mesure de I-V des modules photovoltaïques	42
Figure N° 30	l'interface de Logiciel Arduino IDE.	43
Figure N° 31	l'interface de Logiciel Proteus.	44
Figure N° 32	Capteur de Courant ACS712 20A	45
Figure N° 33	Capture de code de mesure de courant sous Arduino IDE.	46
Figure N° 34	circuit de mesure de Capteur de tension	46
Figure N° 35	Capture de code de mesure de tension sous Arduino IDE	47
Figure N° 36	comparaison entre Résultat de mesure par circuit de mesure de tensionet courant affiché sur LCD	47
Figure N° 37	Schéma du capteur du courant ACS712 sous Proteus.	48
Figure N° 38	Résultat de mesure par circuit de mesure de température et humidité.	48
Figure N° 39	L'essai de l'élévation de température avec une source de chaleur.	49
Figure N° 40	Programme de capteur de température DHT11.	49
Figure N° 41	résultat final au afficheur LCD..	50
Figure N° 42	Schéma d'afficheur LCD sous Proteus.	50
Figure N° 43	l'assemblage des composants.	51
Figure N° 44	Programme finale	53
Figure N° 45	Circuit complet de mesure .	54
Figure N° 46	Schéma du notre système sous Proteus.	54
Figure N° 47	Caractéristique I(V) et P(V) d'une Cellule .	55
Figure N° 48	Différentes zones de la caractéristique I(V) d'un générateur	55
Figure N° 49	courbe I(V) et P(V) d'un module PV et ses différentes caractéristiques.	56
Figure N° 50	Signal de PWM sur l'oscilloscope.	57
Figure N° 51	Programme de PWM sur Arduino IDE.	58
Figure N° 52	L'état final de réalisation.	58

Liste des tableaux :

N° de Tableau	Titre de tableau	Page
Chapitre –I-		
Tableau N° 01	Caractéristiques énergétique des différents types des cellules.	25
Chapitre –II-		
Tableau N° 02	Les avantages et les inconvénients des différentes charges des traceurs .	41
Chapitre –III-		
Tableau N° 03	des caractéristiques de la carte Arduino UNO.	31
Tableau N° 04	Caractéristiques des capteurs de courant ACS712.	55

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes

Abréviation	Signification
V_{OC}	Courant de court-circuit
STC	Conditions du Test Standard
T	Température absolue
V	Tension
V_{DS}	Tension Drain et Source
V_{GS}	Tension entre Grille et Source
V_{MPP}	Tension maximale au point P_{mpp}
V_{OC}	Courant de court-circuit
V_{th}	Tension thermique
W_c	Watt crête
AC	Courant alternatif
DC	Courant continu
E	L'éclairement
FF	Facteur de forme
GPV	Générateur photovoltaïque
I	Courant
I_d	courant qui circule dans le drain ou la diode
I_{MPP}	Courant maximum au point
I_{ph}	Photo courant
ISC	Courant de court-circuit
$I-V$	Caractéristique Courant-Tension
$I-V$	Courant-tension
K	Constant de Boltzmann
P_i	Puissance incidente
P_{MPP}	Puissance maximal généré
PV	Photovoltaïque
$P-V$	Caractéristique Puissance-Tension
R	Valeur de la résistance
W_c	Watt crête
q	charge élémentaire d'un électron (1.6E-19)
K	Facteur d'idéalité de la jonction PN
η	Rendement conversion

Introduction générale :

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses, avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en grandes quantités en tout point du globe terrestre.

La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants de l'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable avec une durée de vie relativement élevée, en admettant une maintenance réduite. Le but d'un système photovoltaïque (PV) est d'utiliser la conversion directe de l'énergie solaire par effet photovoltaïque pour subvenir aux besoins en énergie électrique.

A travers des systèmes de production basés sur un ensemble de module photovoltaïque, et une chaîne de conversion de l'électronique de puissance, l'énergie solaire est convertie selon les besoins du site où ces systèmes sont installés, ou injectée dans le réseau de distribution électrique.

L'utilisation persistante de ces modules en plein nature engendre des problèmes de fonctionnement qui nécessitent un diagnostic adéquat. Pour ce faire, des outils sont développés pour permettre d'extraire les caractéristiques électriques des modules PV et de détecter les problèmes techniques qui s'y apparentent.

Notre projet consiste à mettre en œuvre un système embarqué capable de prélever la caractéristique d'un module PV sans le débrancher de son installation, le système est basé sur l'Arduino, il permet de balayer toute la caractéristique dans un temps réduit avec une fiabilité optimale. Les paramètres environnementaux sont aussi prélevés à chaque mesure de la caractéristique du module.

Ce mémoire est organisé de trois chapitres :

Le premier chapitre est dédié à la description des systèmes photovoltaïques, quelques notions sur les panneaux solaires, leurs principes de fonctionnement et leur caractéristique

électrique (I-V) , ainsi que l'influence des différents paramètres de l'environnement sur ces caractéristiques.

Le deuxième chapitre présente principalement les différentes méthodes de caractérisation des panneaux photovoltaïques.

Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à la conception propre du système de caractérisation, nous allons ainsi décrire la structure et les tâches essentielles qui garantissent un fonctionnement juste de la globalité du système et présenter la partie technique du système à concevoir,

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

Chapitre I :

Généralité sur les panneaux PV

I. Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable. Elle désigne la transformation d'une source d'énergie lumineuse en électricité et son utilisation.

Ce chapitre décrit le fonctionnement de l'énergie solaire photovoltaïque et donne les bases théoriques des différents éléments d'un système photovoltaïque et les types d'installations des systèmes photovoltaïques. On trouvera donc dans ce chapitre des définitions, des principes et des équations sur les cellules, les modules et les générateurs PV.

1- Énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur, cette énergie peut être convertie en chaleur ou en électricité, on distingue deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire :

- Conversion en électricité : énergie solaire photovoltaïque.
- Conversion en chaleur : énergie solaire thermique.

1.1. Énergie solaire photovoltaïque :

Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux solaires photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, ...) des photons en électrons.

1.2. Énergie solaire thermique :

Désigne l'énergie récupérée sous forme de chaleur à partir de la lumière du soleil. L'énergie solaire thermique peut être utilisée de façon passive ou active.

On parle de solaire thermique passif pour les installations permettant de chauffer directement un bâtiment par ses surfaces vitrées (effet de serre) et/ou l'accumulation de chaleur sur des murs exposés au rayonnement solaire. Le solaire thermique actif consiste à récupérer la chaleur du soleil dans des panneaux solaires ou capteurs solaires thermiques dans lesquels circule un fluide caloporteur.

1.3. Systèmes hybrides:

Ce fluide chauffé dans les panneaux solaires peut stocker sa chaleur dans un ballon à accumulation, qui alimente ensuite un circuit de chauffage.

II. Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs", ce phénomène physique se manifeste lorsque la surface d'une cellule est exposée à la lumière, un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ($E = hv$) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

1. Différents éléments d'un système photovoltaïque [1]:

En général, un système photovoltaïque est composé d'un ensemble de modules photovoltaïques, d'un régulateur de charge, d'une ou plusieurs batteries et un onduleur.

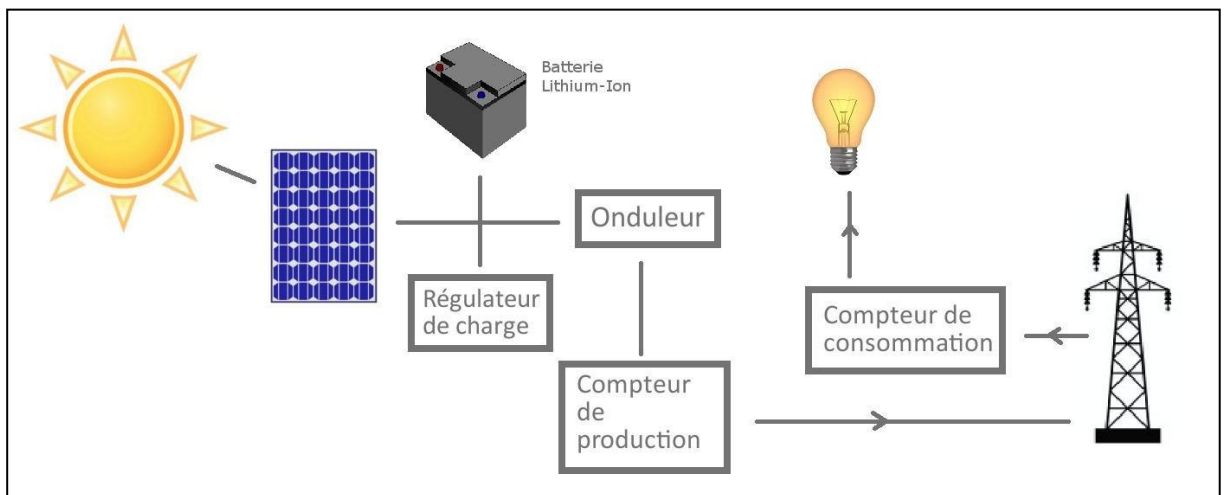


Figure I.01 : Schéma de panneau photovoltaïque et schémas d'installations [1].

2. Types d'installations des systèmes photovoltaïques :

2.1. Systèmes autonomes[2]:

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge. Aussi, l'autonomie du système est assurée par un système de stockage d'énergie. Comme le montre la Figure I.(I.2), ces installations comprennent quatre éléments:

- Un ou plusieurs modules PV.
- Le système de régulation.

- Une ou plusieurs batteries.
- L'onduleur.

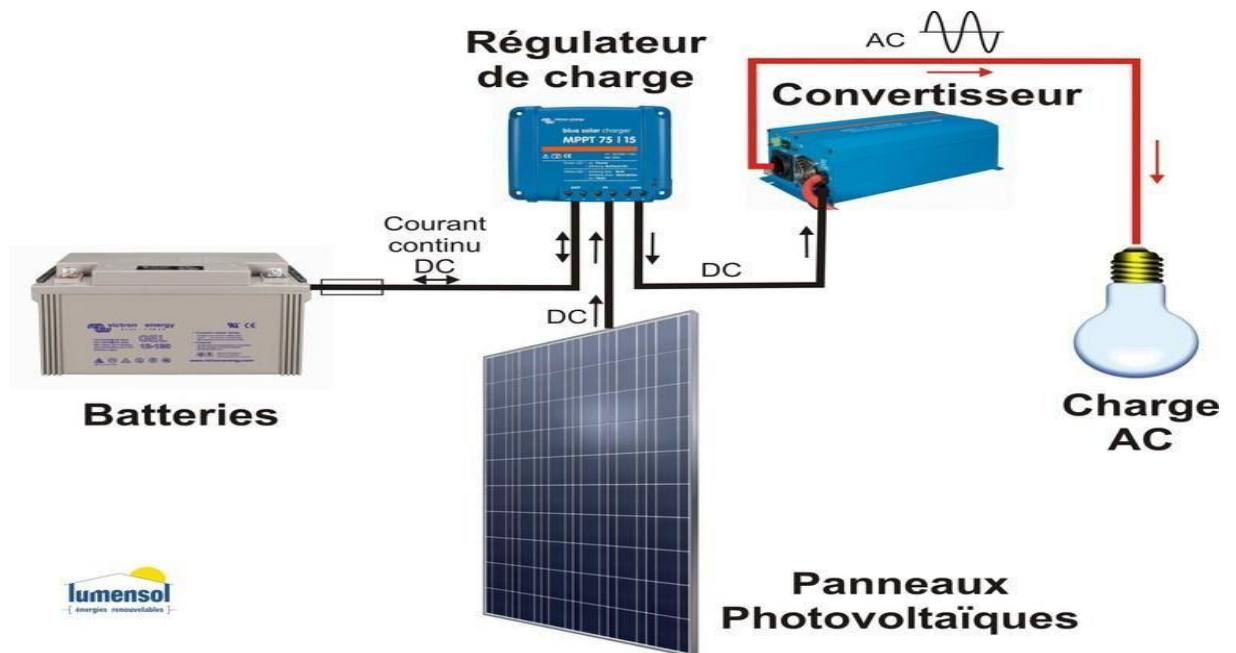


Figure I. 02 : Installation photovoltaïque autonome[2].

2.2. Système raccordé au réseau

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu-courant alternatif. Étant donné que l'énergie normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que l'on veuille une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place et le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [3].

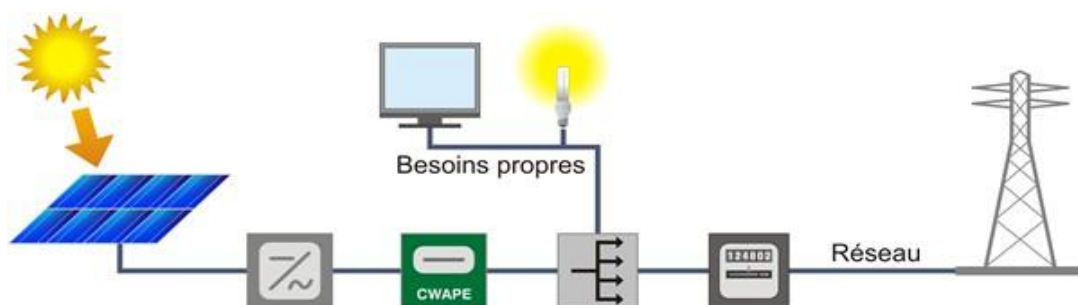


Figure I.03 : Installation photovoltaïque raccordée au réseau[3].

2.3. Systèmes hybrides (photovoltaïque/éolienne):

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires. En pratique, les modules de systèmes PV sont souvent alliés à une éolienne ou à une génératrice à combustible. De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie. Ils conviennent mieux lorsque la demande

d'énergie est élevée (pendant l'hiver ou tout au long de l'année), lorsque l'énergie doit être fournie sur demande ou si le budget est limité .



Figure I.04 : Installation photovoltaïque hybride [4].

III. Les Caractéristiques d'un panneau photovoltaïque :

Un module PV est le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées, Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser un module PV, à savoir :

1. Puissance maximale (P_m):

c'est la puissance électrique maximale que peut fournir le module dans les conditions standards ($T = 25^\circ\text{C}$ et un éclairement de 1000 W/m^2).

2. Tension à circuit ouvert (V_{co}) :

c'est la tension aux bornes du module lorsqu'il n'est pas connecté à une charge pour un éclairement " plein soleil ".

3. Courant de court-circuit (I_{cc}) :

courant lorsque le potentiel appliqué au module est nul. C'est le plus grand courant que le module peut fournir, pour un éclairement " plein soleil ".

4. Point de fonctionnement optimum (V_m ,) :

lorsque la puissance est maximale en plein soleil, $=V_m \cdot I_m$.

5. La caractéristique I/V :

courbe représentant le courant (I) débité par le module en fonction de la tension (V) aux bornes de celui-ci.



Figure III.05 : Fiche derrière de Panneau solaire (utilisé).

- * Puissance maximal Pmax 5 W;
- * Tension a point maximal Vpm 11.1 V;
- * Courant a puissance maximal Ipm 0.56 A;
- * Tension de circuit ouvert Vco 9.0 V;
- * Courant de court-circuit Icc 0.62 A.

IV. Les cellules photovoltaïques :

Les cellules photovoltaïques (PV) ou solaires, comme on les appelle souvent, sont des dispositifs à **semi-conducteurs** qui convertissent la lumière du soleil en électricité à courant continu (DC).

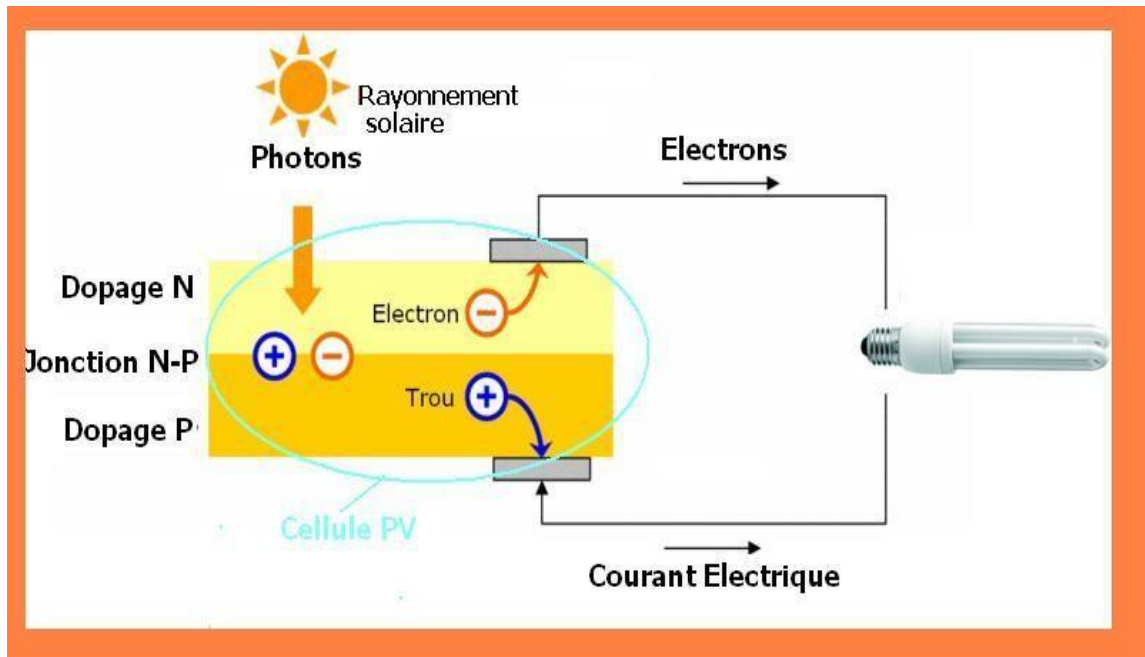


Figure I.06: Schéma d'une cellule photovoltaïque[5].

1. les cellules monocristallines et les cellules multi-cristallines :

1.1. Silicium monocristallin :

Le silicium monocristallin (mono-Si), est un matériau composé d'un seul cristal parfaitement homogène. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme, intense et brillant.

Elles sont utilisées, mais ne sont pas majoritaires sur le marché de l'énergie photovoltaïque.

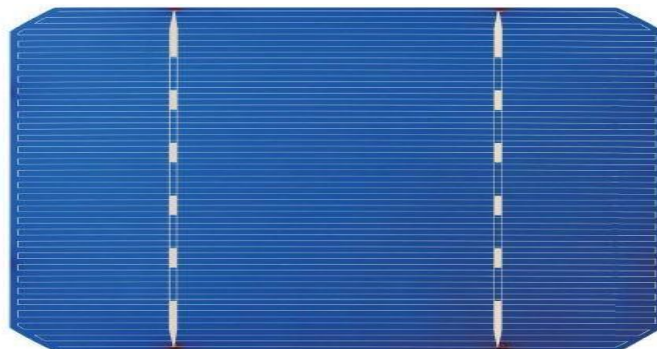


Figure I.07 : Silicium monocristallin .

Les cellules monocristallines offrent le meilleur rendement (jusqu' à 20 %) et les panneaux issus de cette technologie ont une bonne durée de vie (jusqu' à 30ans). Mais, leur coût de production est élevé et les panneaux sont donc très chers à la vente. De plus, un rendement plus faible sous un faible éclaircissement et une baisse du rendement quand la température augmente ; par conséquent une production faible dans les régions chaudes.

1.2. Silicium multi-cristallin (Multi-Si ou Poly-Si) :

Contrairement au silicium monocristallin, le silicium multi-cristallin (mc-Si) est composé de plusieurs domaines cristallins de tailles variées et orientés de manière aléatoire dans le matériau. Les cellules solaires multi-cristallines ont donc un aspect non uniforme et sont de couleur bleue .



Figure I. 08 : Cellule PV multi-cristallin.

Les avantages de cette technologie sont : un coût de production moins élevé que pour les cellules monocristallines, les panneaux ont également une bonne durée de vie (30 ans) et le rendement est correct, même par temps nuageux. Pour ce qui est de l'inconvénient principal de ce type de cellule est un rendement inférieur à la technologie monocristalline (de 11 à 15 %).

2. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque[5]:

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque. Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électron/trou créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN. D'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées. Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré.

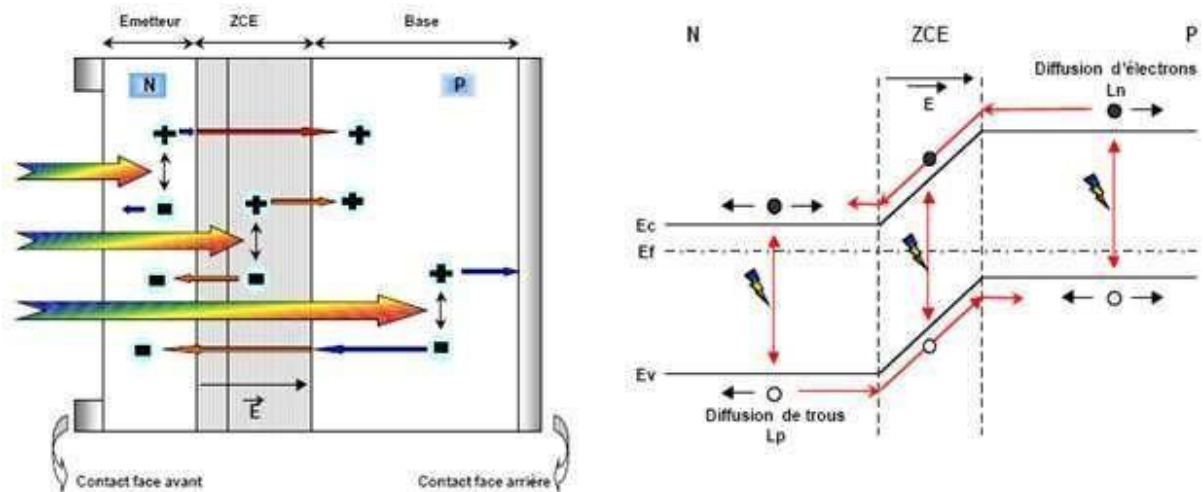


Figure I.09 : Structure et diagramme de bande d'une cellule photovoltaïque[5].

3. Paramètres de la cellule photovoltaïque :

Les paramètres d'une cellule photovoltaïque peuvent être déterminés à partir des courbes des caractéristiques, ou de l'équation caractéristique.

Le tracé de courbes des caractéristiques permet d'accéder à bon nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant. Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique $I(V)$ d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court circuit (I_{sc}), la tension à circuit ouvert (V_{oc}) et le facteur de forme (FF) du composant. Les autres paramètres qui apparaissent sur la caractéristique $P(V)$ sont la tension optimale (V_{MPP}), le courant optimal (I_{MPP}) et la puissance maximale (P_{MPP}),

Les paramètres les plus usuels sont les suivants :

- La tension en circuit ouvert (V_{oc})
- Le courant de court-circuit (I_{sc})
- Puissance maximale (P_{max})
- Le facteur de forme (FF)
- Le rendement de conversion d'énergie (η)
- Facteur de qualité (A)



Figure I.10 : Exemple des caractéristiques d'un panneau utilisé dans l'éclairage public (Disponible dans labo de notre université).

4. Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque peut être schématisée par deux modèles, modèle à une diode et modèle à deux diodes en parallèle avec une source de courant, et sont basés sur l'équation de diode bien connue de Shockley. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant de la cellule photovoltaïque. Le modèle le plus largement utilisé grâce à sa simplicité et sa précision convenables pour la plupart des applications telles que l'analyse des performances d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement d'un système de charge photovoltaïque et l'étude des performances des algorithmes de recherche de la puissance, est le modèle à une diode. Lorsque la jonction est éclairée, elle présente la particularité de pouvoir fonctionner en générateur, en produisant un courant de court-circuit proportionnel à l'éclairement. Le circuit équivalent de ce modèle est représenté sur la Figure I.

Elle est composée d'une tranche mince constituée d'une couche ultra-mince de silicium dopé au Phosphore (type N) au-dessus d'une couche plus épaisse de silicium dopé

au Bore (type P). Une jonction P-N est formée quand les semi-conducteurs de type N et de type P sont placés en contact. Lorsque la lumière solaire arrive à la surface d'une cellule photovoltaïque, cela provoque un champ électrique fort et permanent à proximité de la jonction, ce champ électrique fournit une impulsion et une direction aux électrons stimulés par la lumière, entraînant un flux de courant lorsque la cellule solaire est connectée à une charge électrique.

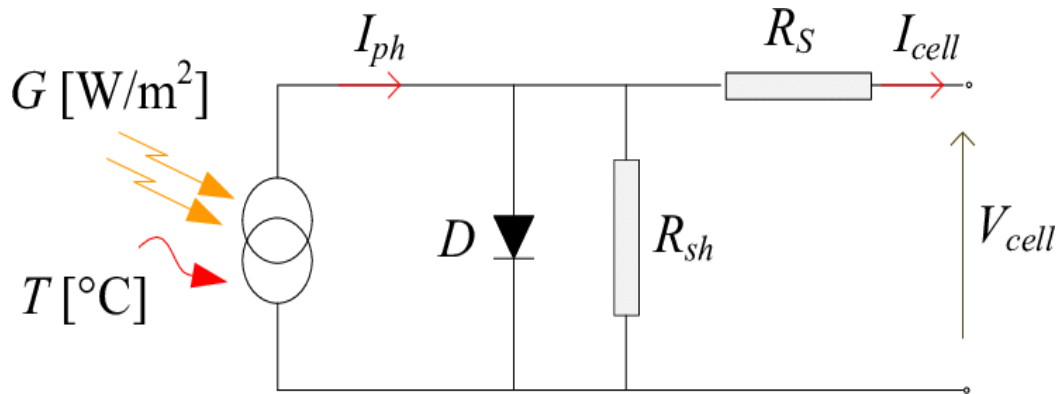


Figure I.11: Schéma d'une cellule photovoltaïque.

5. L'assemblage des panneaux PV :

5.1. Association série (N_s) :

La connexion de N_s cellules ou de modules identiques en série permet d'augmenter la tension, le **courant** reste le même mais proportionnellement au nombre de modules en série. La caractéristique résultante du groupement Par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

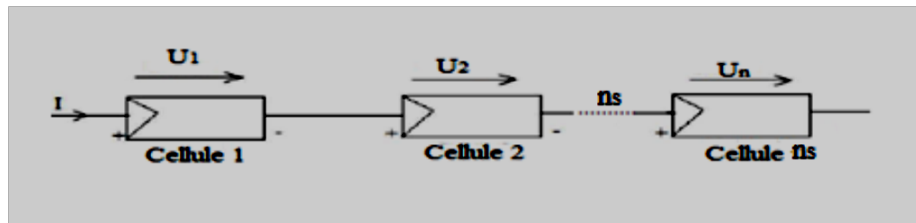


Figure I.12 : L'assemblage des panneaux PV en série (N_s).

5.2. Association en parallèle (N_p) :

La connexion parallèle de N_p cellule où les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

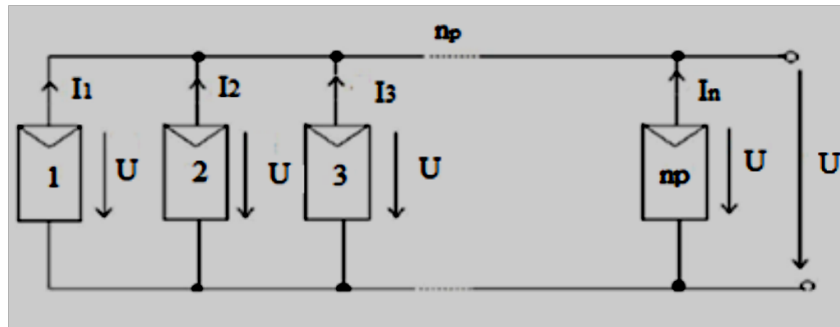


Figure I.13 : L'assemblage des panneaux PV en parallèle (N_p) .

5.3. Association mixte (série-parallèle) :

L'association mixte (Figure I.I.14) est basée sur le branchement des cellules en série et en parallèle, qui permet d'augmenter le courant et la tension en même temps.

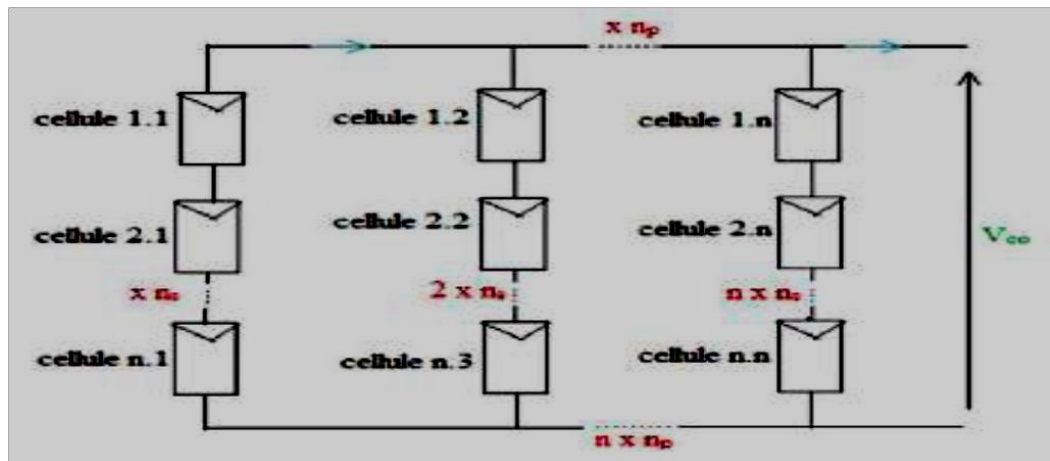


Figure I.14: L'assemblage des panneaux PV mixte (série-parallèle).

6. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

6.1. Avantages :

- Une haute fiabilité, les modules sont garantis pendant 25 ans par la plupart des constructeurs.
- Elle ne comporte pas de pièces mobiles, qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux ;
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt ;
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

➤ La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique, car le produit final est non polluant, silencieux, peu de déchet, pas de ligne électrique supplémentaire et pas de nuisance sonore olfactive.

6.2. Inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ;
- · L'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions ;
- · Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28 %) ;
- · Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées;
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

7. Testes électriques :

Durant les tests électriques effectués en laboratoire, on relève la caractéristique courant-tension du module et on détermine les principaux paramètres qui gouverne le fonctionnement du module (points de puissance maximale PMPP, tension du circuit ouvert VOC et du court-circuit ISC, résistance série RS, résistance shunt RSh, coefficients de température, ...) sous des conditions spécifiques appelé conditions standard de test STC.

Les conditions standard de test : dans le but de comparer les modules PV de différentes fabrications, il a été décidé par convention de choisir comme conditions standard de test STC

- Irradiance normale de 1 000 W m⁻² (1 soleil).
- Répartition spectrale AM1.5.
- Température de cellule de 25°C.

8. Rendement d'un PV:

Le rendement d'un module PV désigne le rendement de conversion en puissance, on le considère comme le rapport entre la puissance maximale délivrée par le module PV et la puissance lumineuse incidente Pi, il est donné par la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i \cdot S} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{E \cdot S} \dots\dots\dots (I.1)$$

Pour un bon rendement, on augmente le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. La seule connaissance de la valeur qui permet d'évaluer les performances de module est le rendement de conversion qui est un paramètre essentiel.

9. Caractéristiques énergétique des différents types des cellule[4].




Technologies	Monocristallin	Polychristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<p>Très bon rendement 14 à 20%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie : 30ans • Cout de fabrication : élevé • Puissance : 100 à 150Wc/m², 7m² /Kwc • Rendement faible sous un faible éclairement. • Perte de rendement avec L'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal. • Couleur bleue uniforme. 	<p>Bon rendement : 11 à 15 %</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie : 30 ans • Cout de fabrication : meilleur marché que les monocristallins • Puissance : 100 8m² /K Wc • Rendement faible sous un faible éclairement • Perte de rendement avec L'élévation de la température • Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. • Ces cellules sont bleu mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux. 	<p>Rendement faible: 5 à 9%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durée de vie : 20 ans • Cout de fabrication : Peu onéreux par rapport aux autres technologies • Puissance : 50Wc/m², 16m² /K Wc • Fonctionnement correct avec un éclairement faible.. • Peu sensible aux températures élevées • Utilisable, souple. • Surface de panneaux plus importante que les autres panneaux au silicium. • Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.
Part de marché	43%	47%	10%

Tableau 01 : Caractéristiques énergétique des différents types des cellules[4].

V. Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté le système photovoltaïque et l'effet photovoltaïque d'une cellule solaire ainsi que ces différents types. Ensuite nous avons montré les caractéristiques électriques de PV et l'assemblage de plusieurs panneaux PV séries et / ou parallèle.

Les cellules solaires et modules photovoltaïques sont donc des composants de conversion d'énergie qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Pour la mise en œuvre pratique d'une application dans ce domaine, les notions présentées dans ce chapitre sont à prendre en compte. De plus, cette théorie est très utile pour la compréhension des prochains chapitres.

Chapitre II:

Différents méthodes de caractérisation

I. Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons à essentiellement à la caractérisation des panneaux photovoltaïque. Dans une première partie, nous discuterons les principaux facteurs responsables des anomalies dans les courbes caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ des panneaux photovoltaïque.

L'objectif est de démontrer la description et les fonctionnalités de chaque composant utilisé dans les systèmes de caractérisation.

Aussi, dans une deuxième partie nous présenterons quelques travaux sur la caractérisation électrique des modules PV. L'objectif principale de ces travaux est d'obtenir la caractéristique de la courbe $I(V)$ mais avec différentes méthodes et différents dispositifs.

II. Composants utilisés dans les systèmes de caractérisation

Dans la suite de cette partie on va présenter la description et les fonctionnalités de chaque composant utilisé dans les systèmes de caractérisation.

1. Panneau solaire Monocristallin :

Le panneau utilisé est de type monocristallin représenté sur **Figure II.34**



Figure II.15 : Panneau solaire (exemple).

2. Le MOSFET IRLZ44ZL :

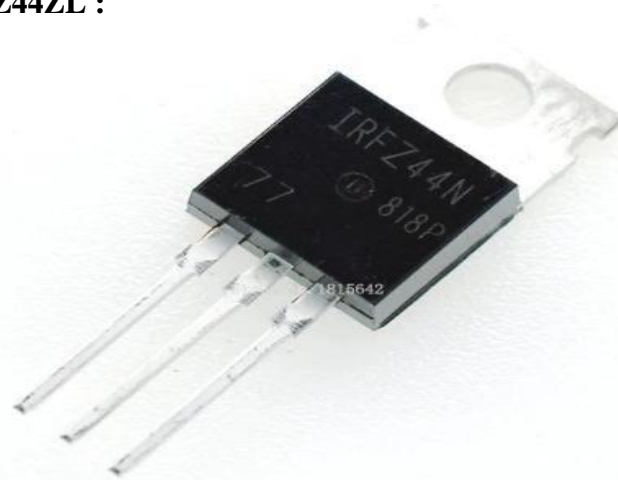


Figure II.36 : MOSFET irfzn44. [4].

IRFZ44N Power MOSFET est un MOSFET de puissance HEXFET avancé qui utilise des techniques de traitement avancées pour obtenir une zone de silicium extrêmement résistante au démarrage. Cet avantage, associé à la vitesse de commutation rapide et la conception de périphérique est robuste pour laquelle les MOSFET HEXFET power sont reconnus, un dispositif extrêmement efficace et fiable pour une utilisation dans une grande variété d'applications[4].

La puissance dissipée est environ 55 watts. Faible résistance thermique et de faible coût.

3. L'ARDUINO UNO :

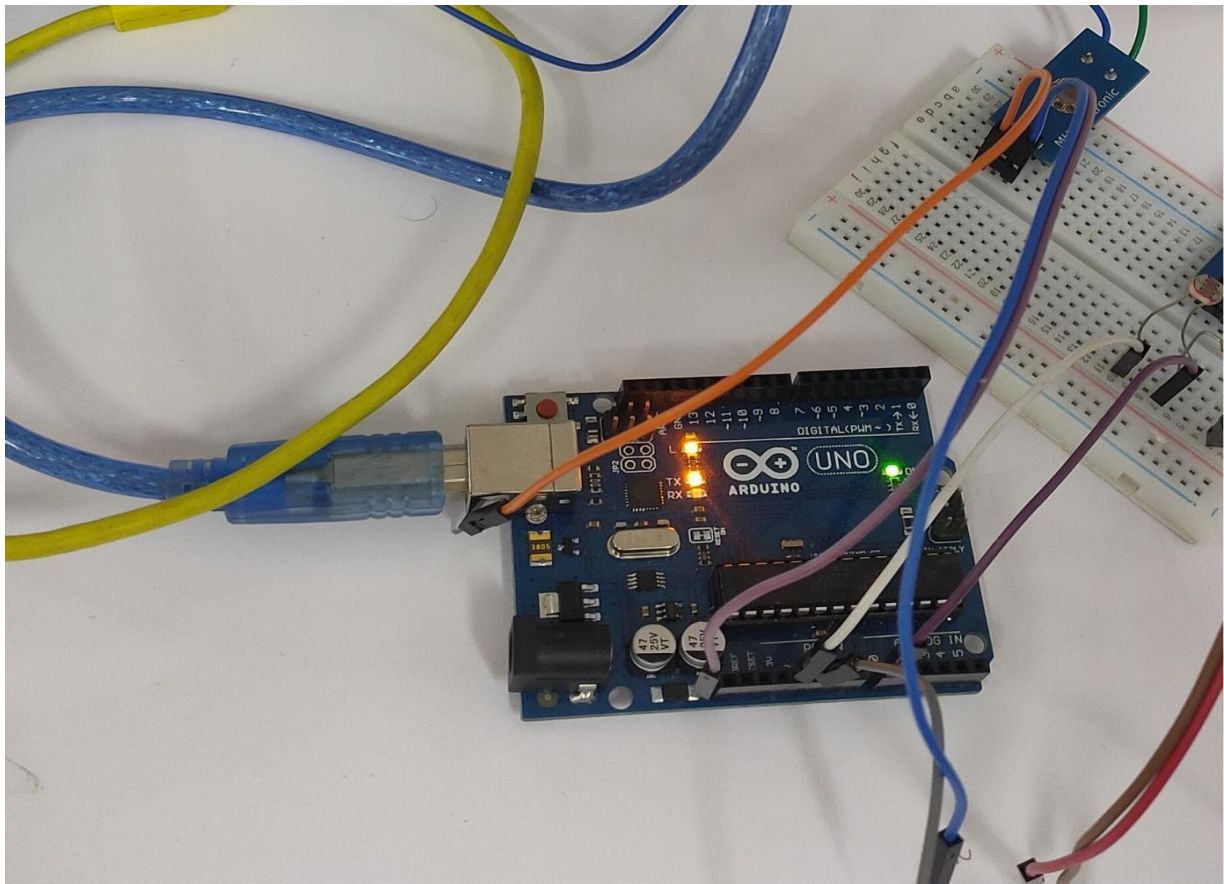


Figure II.16 : l'ARDUINO UNO (exemple).

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation ; ainsi qu'une marque de cartes électroniques open-source basée sur une simple carte d'entrée-sortie et un environnement de développement.

Arduino est certainement la technologie électronique la plus populaire auprès des passionnés mais aussi du monde de l'éducation. Les cartes Arduino sont d'excellents supports pour tout ce qui touche au prototypage et à l'expérimentation, faisant d'Arduino le matériel idéal pour un débutant.

Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme)

On a utilisé la broche 11 de l'Arduino PWM , en utilisant la fonction analogWrite. Son signal de cycle de travail varie de 0 V à 5 V, c'est-à-dire de 0% à 100% ou de 0 à 255 ADC.

4. Présentation des composants des Systèmes de commandes et de puissance :

Dans cette section nous présentons les composantes de notre système de commande et de puissance qui interviennent dans le fonctionnement général dans la serre intelligente

4.1. Le microcontrôleur :

Un microcontrôleur intégré dans la carte de développement arduino uno. C'est le cœur du système de gestion et de commande de la serre automatisée. Un microcontrôleur est une petite unité de calcul accompagnée de mémoire, de ports d'entrée/sortie et de périphériques permettant d'interagir avec son environnement. Une carte Arduino de la figureII.8 est une interface programmable capable de piloter des capteurs et des actionneurs afin de simuler ou créer des systèmes automatisés. Elle peut stocker un programme et l'exécuter. La carte reçoit des informations analogiques ou numériques en ses entrées. Le microcontrôleur traitera ces informations et les transmettra vers les sorties numériques.

4.2. L'alimentation :

La carte Arduino Uno peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée. Une alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté embranchant une prise 2.1mm dans la prise d'alimentation de la carte ou à partir d'une batterie connectée dans le pin (ou broche) GND et V-A (alimentation externe). Le processeur peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la tension est inférieure à 7V, le pin 5V peut fournir moins de cinq volts et le processeur peut devenir instable. Si la tension est supérieure à 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la carte.

La plage recommandée est de 7 à 12 volts. Les pins (ou broches) d'alimentation sont les suivantes : - V -in. Tension d'entrée à la carte Arduino à l'aide d'une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou une autre source d'alimentation régulée). Si l'alimentation en tension est faite par l'intermédiaire de la prise d'alimentation, on pourra y accéder via ce pin. - 5V. Ce pin délivre un 5V régulé par la carte. Le processeur peut être alimenté soit à partir de la prise d'alimentation DC (7-12V), le connecteur USB (5V), ou le pin V -in de la carte (7-12). La fourniture d'une tension via les 5V ou 3,3V contourne le régulateur, et peut endommager votre processeur. - 3V 3. Une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur. La consommation de courant maximale est de 50 mA. -GND : Masse

4.3. Communications :

Arduino a un certain nombre de moyens pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou autres microcontrôleurs. L'ATmega328 fournit UART TTL (5V) en communication série, disponible sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX).

4.4. Les broches :

L'Uno dispose de 6 entrées analogiques, A0 à A5, dont chacune fournit 10 bits de résolution(ou 1024 valeurs différentes). Par défaut, la tension est de 5 volts. Chacune des 14 broches numériques sur la carte Uno peut être utilisée comme une entrée ou une sortie. Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA en état de fonctionnement recommandée et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50k ohm. Un maximum de 40mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur toutes les broches d'Entrée/Sorties pour éviter des dommages permanents au microcontrôleur.

4.5. La mémoire :

L'ATmega328 dispose de 32 Ko (avec 0,5 KB occupées par le boot loader). Il a également 2 Ko de SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM.

4.6. Caractéristiques de la carte Arduino UNO :

Micro contrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7 à 12V, limites = 6 à 20 V
Entrées/sorties numériques	14 dont 6 sorties PWM
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40 mA
Courant max sur sortie 3,3V	50mA
Mémoire Flash	32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader
Mémoire SRAM	2 KB
Mémoire EEPROM	1 KB
Fréquence horloge	16 MHz

Tableau 02 : des caractéristiques de la carte Arduino UNO.

5. Composants matériels du système :

5.1. Bloc de Mesure :

5.1.1. Les capteurs :

Dans de nombreux domaines (industrie, domotique, résidentiel, recherche scientifique, services, loisirs ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, lumière,...). Le capteur est l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

5.1.2. Définition d'un capteur : Un capteur est un organe de prélèvement des informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande

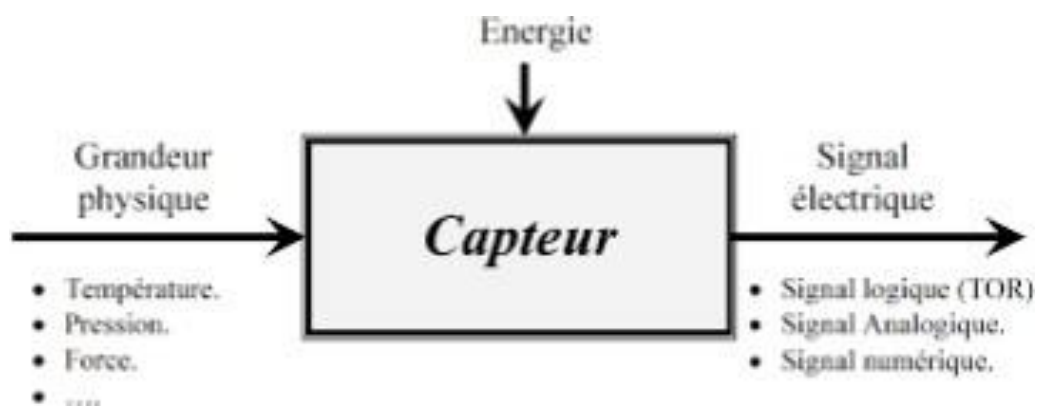


Figure II.17 : Représentation fonctionnelle de capteur.

5.1.3. Les types des capteurs :

On peut classer les capteurs en 2 groupes :

5.1.3.1. Les capteurs analogiques (passif) :

Les capteurs analogiques servent à transformer une grandeur physique en une autre type de variation de résistance, d'impédance, de capacité, d'inductance ou de tension. Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique qu'il représente peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.



Figure II.18 : capteur analogique : photorésistance Exemple d'un (capteur analogique passif).

5.1.3.2. Les capteurs numériques (actif) :

Un capteur numérique est lui-même composé de capteur analogique suivi de toute la chaîne d'acquisition (transduction, filtrage, amplification, échantillonnage quantification). Cependant il doit être alimenté pour fournir, en sortie, un signal numérique qui pourra être directement exploité par un microcontrôleur via ses entrées numériques.

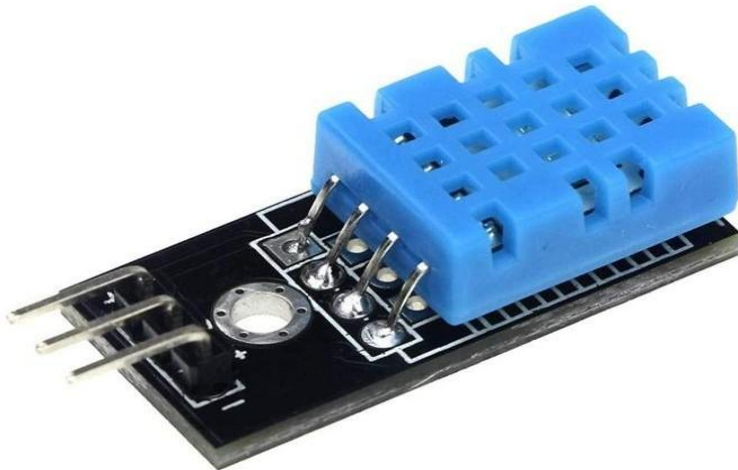


Figure II.19 : Capteur digital de température et d'humidité DHT11
Exemple d'un (capteur analogique passif).

6. Mesure du courant et de la tension :

Le courant et la tension mesurés sont les données essentielles pour la caractérisation. Ils sont utilisés reconstituer la caractéristique $I(V)$ et de déduire la caractéristique $P(V)$. Ces mesures peuvent être utilisées pour la détection de défauts ou pour simplement tester le bon fonctionnement d'un GPV.

6.1. Capteur de courant[5]:

Les capteurs de courant ACS712 proposés sur Internet sont conçus pour être facilement utilisés avec des microcontrôleurs comme l'Arduino.

Ces capteurs sont basés sur la puce Allegro ACS712ELC. Ces capteurs de courant sont proposés avec des valeurs de pleine échelle de 5 A, 20 A et 30 A. Le fonctionnement fonctionnel de base de chacun de ces appareils est identique. La seule différence est avec le facteur d'échelle à la

	5A Module	20A Module	30A Module
Supply Voltage (VCC)	5Vdc Nominal	5Vdc Nominal	5Vdc Nominal
Measurement Range	-5 to +5 Amps	-20 to +20 Amps	-30 to +30 Amps
Voltage at 0A	VCC/2 (nominally 2.5Vdc)	VCC/2 (nominally 2.5Vdc)	VCC/2 (nominally 2.5VDC)
Scale Factor	185 mV per Amp	100 mV per Amp	66 mV per Amp
Chip	ACS712ELC-05A	ACS712ELC-10A	ACS712ELC-30A

sortie comme détaillé ci-dessous.

Tableau III.04 : Caractéristiques des capteurs de courant ACS712 [5].

Cette carte de capteur de courant est basée sur la puce de capteur de courant à effet Hall bidirectionnelle Allegro ACS712ELCTR-20A qui détecte les courants circulant positifs et négatifs dans la plage de moins 20 ampères à 20 ampères positifs. La carte fonctionne à 5 V CC et le flux de courant à travers le capteur est converti en une tension de sortie commençant à 1/2 Vcc (ou 2,5 V) pour aucun flux de courant et monte de 100 mV par ampère pour le courant positif ou de -100 mV par ampère pour le négatif actuel [5].

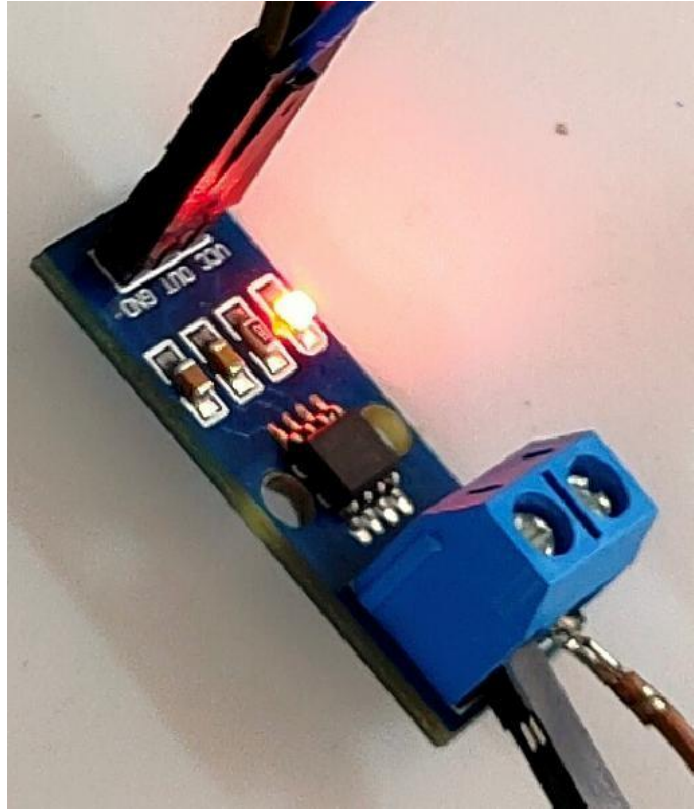


Figure II.20 : Capteur de Courant ACS712 20A

6.1.1. Fonctionnalités [5]:

- Nouveau module de capteur de courant ACS712 de la gamme 20A pour Arduino
- Puce de capteur de courant : ACS712ELC-20A
- Alimentation Pin 5V, indicateur d'alimentation embarqué
- Le module peut mesurer les 20A positifs et négatifs, correspondant à la sortie analogique 100mV / A
 - La tension de sortie est $VCC / 2$
 - Bande passante de 80 kHz,
 - 1,5% d'erreur de sortie à 25 degrés °C,
 - 1,2mOhm résistance du conducteur interne,
 - La tension de sortie proportionnelle aux courants AC ou DC

6.2. Capteur de tension :

Pour la mesure de tension un module préfabriqué qui est composé d'un simple diviseur de tension.

La tension qu'on doit mesurer qui est généré par le GPV est d'un maximum de 23V, nous allons utiliser un microcontrôleur qui dispose déjà d'un convertisseur analogie-numérique, et qui n'accepte que des valeurs de tension inférieure à 5V, c'est pour cette raison qu'on utilise un

diviseur de tension qui permet d'adapté la tension du GPV à la tension max accepté par le microcontrôleur.

Les tensions du diviseur sont reliées à la tension d'alimentation de 5V et à la masse d'un côté et à deux résistances de $R1=30k\Omega$ et $R2=7.5k\Omega$ d'un autre côté [5].

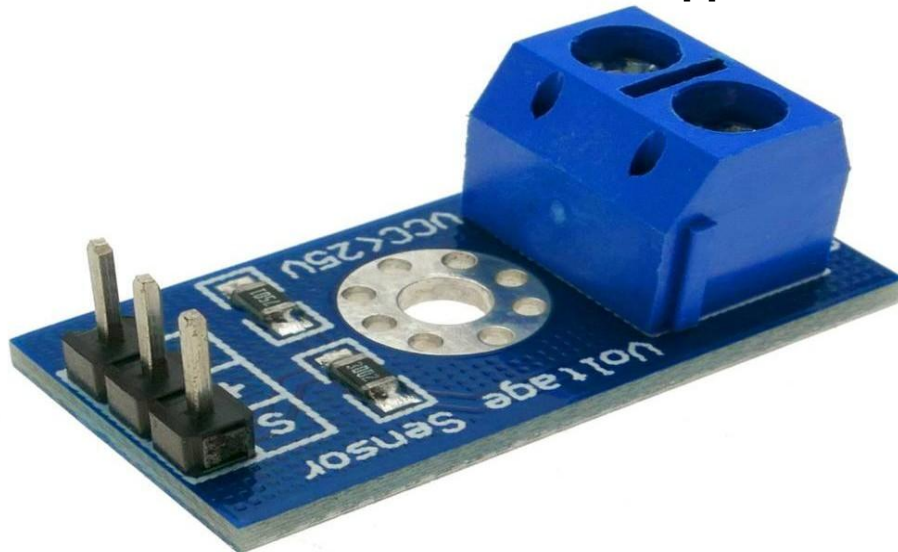


Figure II.21 : Capteur de tension.

6.3. Mesure de la température :

Les données de température peuvent être acquises en utilisant des capteurs de températures, de multitude de types de capteurs sont utilisé pour la mesure de la température des panneaux solaire. Des thermocouples ou des capteurs à semi-conducteur sont le plus souvent utilisés. Nous avons choisi d'utiliser un capteur à thermocouple de type K avec un circuit électronique de compensation MAX6675.

Le circuit intégré MAX6675 est utilisé pour mesurer une température de 0°C à 1024°C en utilisant n'importe quel microcontrôleur, car le MAX6675 transmet les données numérisées via une interface SPI. Le MAX6675 possède un circuit d'amplification un compensateur de jonction froide et un convertisseur analogique-numérique sur 12bits.

Ce capteur de température max6675 est adapté pour notre projet. Ce capteur peut mesurer les températures élevées avec une très faible résolution mais avec une grande précision. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de ce circuit.

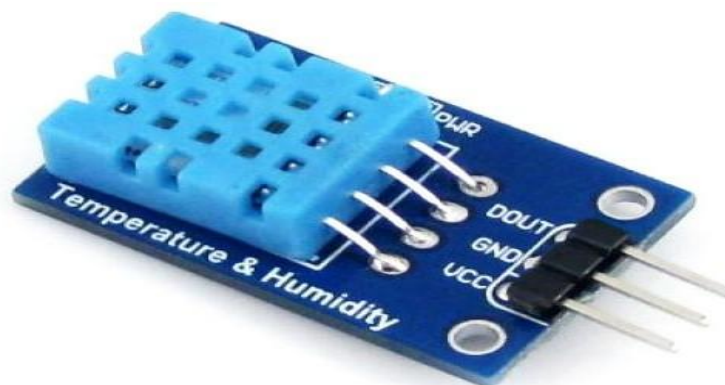


Figure II.22 : Carte d'un capteur de température DHT11.

7. Mesure de l'éclairement : (Capteur de luminosité)

Une simple LDR (Light Dependent Resistor) peut être utilisée. Fondamentalement, ce que nous devrions faire est d'avoir un diviseur de tension où l'une des résistances est le LDR et le point central du diviseur devrait être utilisé comme une entrée analogique pour Arduino. De cette façon que la variation de la lumière, la résistance LDR varie également, la tension du point central du diviseur va également changer proportionnellement [33].

Pour les tests, nous allons utiliser un module LDR bon marché qui a le diviseur de tension intégré. Le module a 3 broches ("S" pour les données, "+" pour VCC et "-" pour GND). La broche "S" sera connectée à Arduino Pin Analog 0 (A0). Les broches "+" et "-" doivent être connectées respectivement à 5V et GND.

La fonction getLumen (LDR_PIN) lit quelques fois la sortie du capteur en calculant à la fin la moyenne de ces lectures. En outre, une fois que la sortie du convertisseur analogique-numérique d'Arduino est comprise entre 0 et 1023, nous devons ces valeurs pour obtenir les résultats suivants :

- Dark full \Rightarrow ADC output : 1023 \Rightarrow 0%
- Full Light \Rightarrow ADC output : 0 \Rightarrow 100%

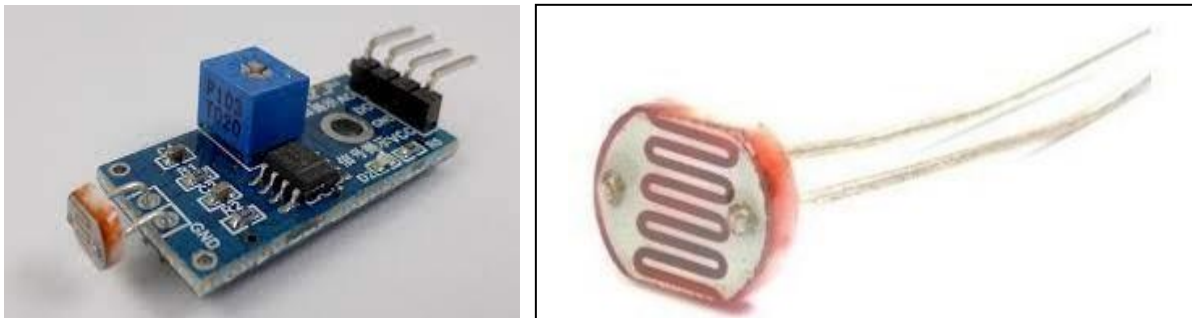


Figure II.23: Capteur de lumière LDR.

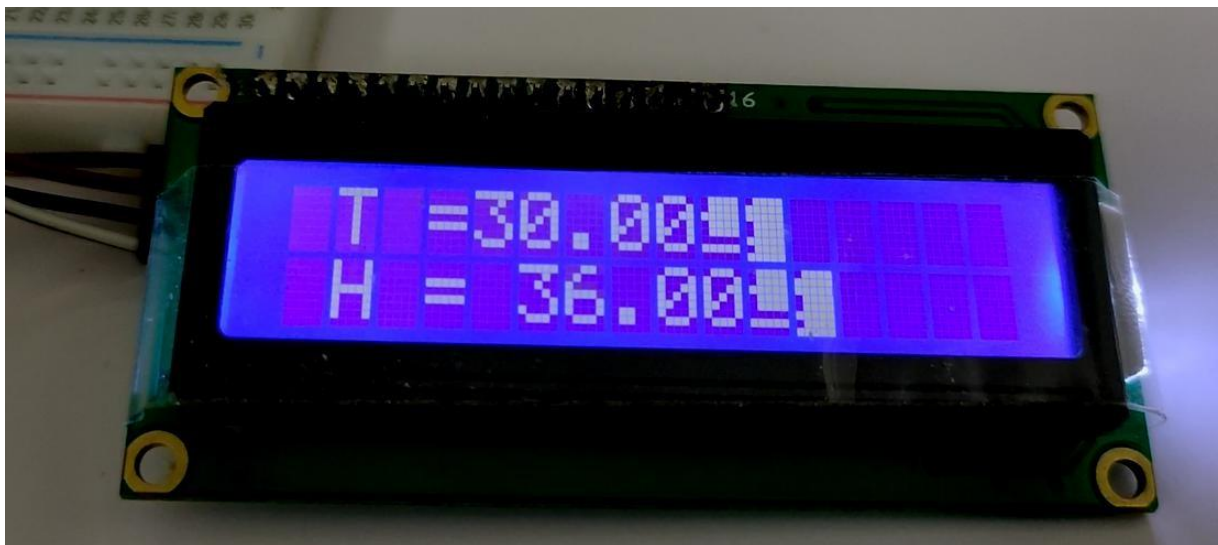


Figure II.24: afficheurs LCD.

III. MOSFET et module PV :

La **Figure II.24** est un modèle d'un traceur I-V à base d'une charge électronique MOSFET et commander par un signal PWM (variation de rapport cyclique a une fréquence de 500 Hz), employer par.

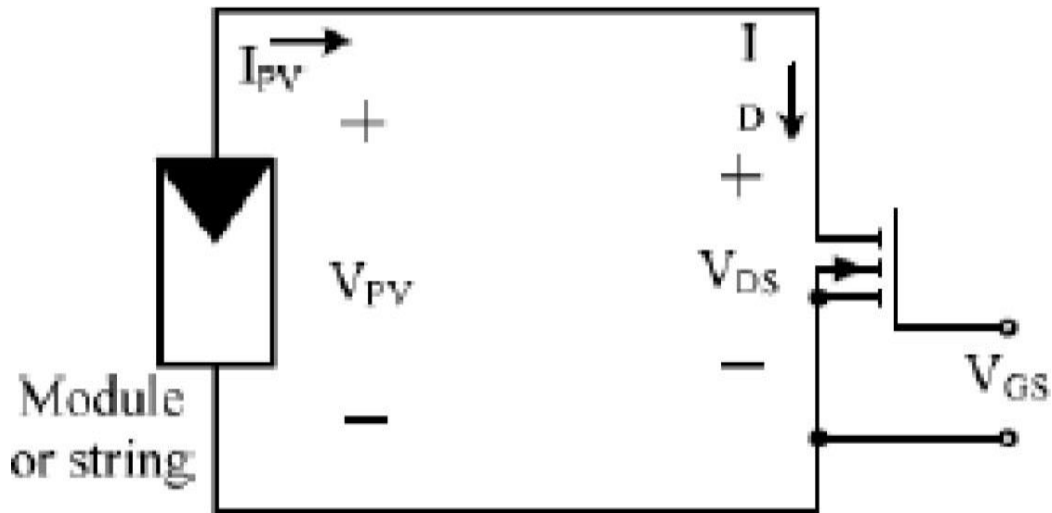


Figure II.25 : schéma de traceur I-V à base d'un MOSFET comme une charge électronique.

Le point de fonctionnement de module testé et le transistor MOSFET est obtenue par l'intersection des deux caractéristiques des deux dispositifs. Avec la variation de la tension V_{GS} , la caractéristique de transistor MOSFET varie selon la **Figure II.23**. Ainsi, les points de fonctionnement de module sont obtenus. La **Figure II.25** suivante représente la caractéristique I-V d'un module obtenu par l'intersections des points de fonctionnement MOSFET et module.

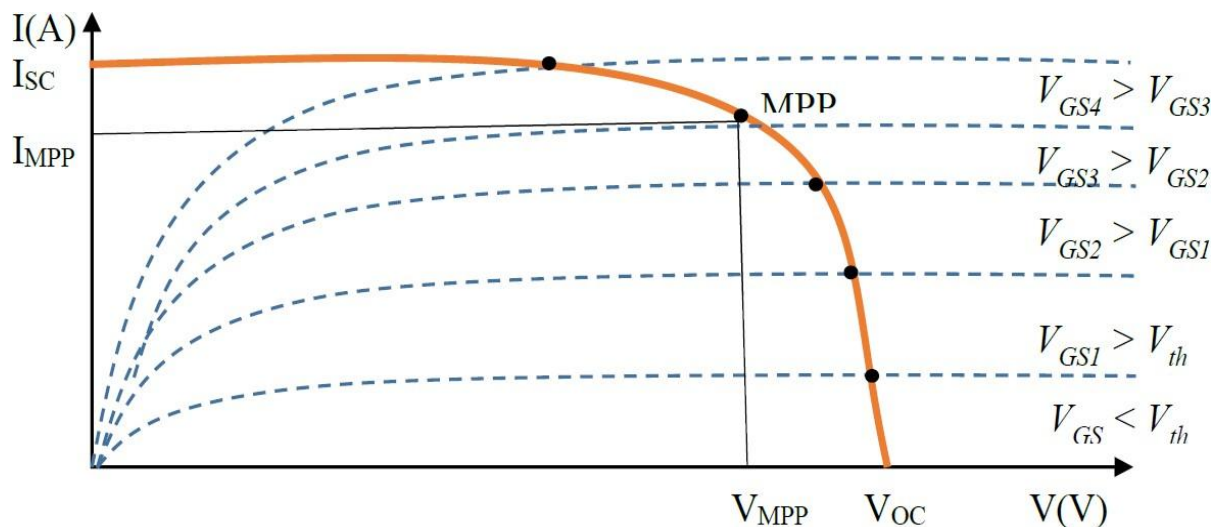


Figure II.26: la courbe I-V d'un module PV par un traceur à base d'un MOSFET.

8. Les différentes techniques de caractérisation

1. Traceur à base de Résistance variable :

La manière la plus simple de mesurer la courbe $I(V)$ d'un module photovoltaïque est d'utiliser une résistance variable R comme il est montré dans la **Figure II.28**, la valeur de R sera variée en étapes de zéro à l'infini afin de capturer les points de la courbe $I(V)$ du court-circuit au circuit ouvert, en mesurant la tension et le courant dans chaque étape. Cette méthode s'applique seulement aux modules de basse puissance puisque les résistances pour une puissance plus élevée sont difficiles à retrouver et à peine disponibles. Des résistances de charge ne sont pas recommandées pour la caractérisation du module photovoltaïque parce que I_{cs} n'est jamais exactement atteint et les caractéristiques de polarisation et d'inversion ne peuvent pas être déterminées.

Cependant, l'utilisation des résistances de charge pour évaluer la représentation d'un module solaire peut fournir une manière peu coûteuse pour se rapprocher de sa représentation. La résistance de charge est augmentée manuellement par étapes. Dans chaque étape, la tension et le courant (réellement la tension à travers une résistance de shunt) sont capturés en utilisant une paire de multimètre numérique remis. Il est rapporté dans que le changement manuel de la résistance de charge rend le

processus très lent, ainsi le rayonnement solaire et les conditions thermiques pourraient être changés pendant la mesure. Le système présenté dans utilisent un ensemble de résistances comme charge. Une rangée de relais, commandée par une carte d'ordinateur, il est utilisé pour sélectionner la combinaison des résistances pour réaliser une charge résistive spécifique.

Les résistances sont choisies pour obtenir une bonne diffusion des points autour du de la courbe. Deux canaux d'aide de la carte d'ordinateur sont utilisés afin de mesurer chaque paire (I ; V). Avec cette approche, l'opération manuelle au-dessus de la résistance est évitée et le temps d'acquisition est amélioré.

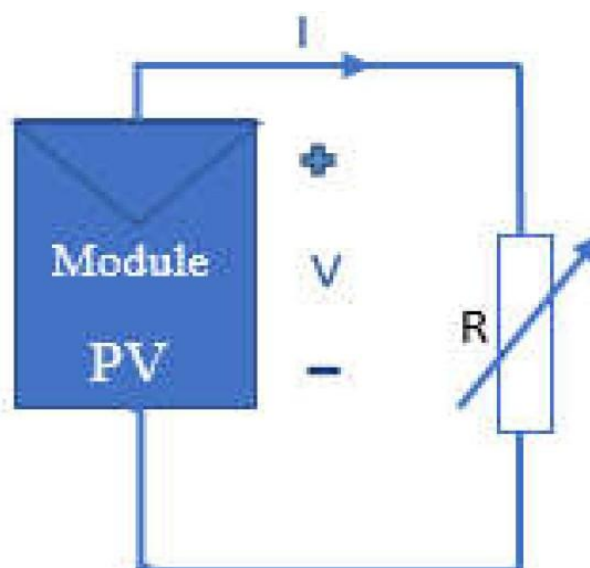


Figure II.27: Traceurs à base de la résistance variable.**2. Traceur à base de charge capacitive :**

Cette méthode est basée sur la polarisation du module PV par un condensateur qui se charge durant le passage du point court-circuit au point de circuit ouvert. Un circuit schématique utilisant ce principe est représenté

3. Traceurs à base de Charge électronique (MOSFET) :

La méthode de la charge électronique utilise un transistor (habituellement un transistor MOSFET) comme charge ; la résistance entre le drain et la source est modulée par la tension de porte-source, et par conséquent le débit du courant fourni par le module. Quand cette méthode est utilisée pour tracer la courbe IV du module, le transistor MOSFET doit fonctionner dans ses trois modes de fonctionnement (coupure, actif et ohmique). En conséquence, la majeure partie de la puissance fournie par le module devra être absorbée par ce dispositif, qui limite son application à la puissance moyenne.

Dans une charge électronique simple, basée sur un MOSFET est proposée pour obtenir la courbe I(V) des panneaux en balayant rapidement la charge. Son avantage est la variation rapide de la résistance de charge équivalente du transistor MOSFET. Le MOSFET linéaire est entraîné par un signal de balayage à basse fréquence avec une amplitude suffisamment grande pour couvrir la gamme complète des caractéristiques du panneau.

4. Traceur à base d'Amplificateur De Puissance Bipolaire :

Cette méthode implique un circuit simple qui permet aux courants et tension dans le module d'être renversés, et donc il est possible de mesurer les courbes I(V) du module. Son plan est basé sur un amplificateur de puissance traditionnel de classe-b. Il utilise deux transistors IGBT comme charge, pour le courant en avant et en inverse respectivement. Les transistors bipolaires doivent fonctionner dans ces trois modes de fonctionnement (coupure, active et saturation). En conséquence, la majeure

partie de la puissance fournie par le module doit être absorbée par ces dispositifs, qui limitent son application à la puissance moyenne.

5. Traceur à base d'Alimentation à quatre quadrants :

Une alimentation à quatre quadrants est un système aussi bien capable de fournir que d'absorber la puissance, en d'autres termes, elle peut augmenter ou descendre le courant avec la tension bipolaire (positive ou négative). Elle peut être utilisée comme une charge réglable pour d'autres alimentations d'énergie ou tout autre équipement.

Pour un module photovoltaïque l'intérêt principal est d'obtenir la courbe I(V) dans le premier quart du cercle. Mais, l'exploration des points se situe dans le deuxième et le quatrième quart du cercle

Une alimentation à quatre quadrants peut être considérée comme une source d'alimentation $V(t)$. Dont la sortie peut être modifiée par un signal d'entrée de référence ou programmée pour balayer une gamme de valeurs. Le circuit montré dans la (Figure II.IV.20) est une vue fonctionnelle de l'alimentation à quatre quadrants. Le circuit schématique pour une alimentation à quatre quadrants est plus complexe et dépasse le cadre de cette analyse.

6. Traceur à base des convertisseurs DC/DC:

Les Convertisseurs continu-continu peuvent augmenter ou diminuer l'amplitude de la tension continue et / ou inverser sa polarité. Ceci est réalisé par la technique de modulation

par largeur d'impulsions (PWM), habituellement par une fréquence constante.

Le rapport cyclique (D) est le rapport entre le temps de conduction (T_{ON}) et la période de commutation (T_s).

Les trois configurations de base de convertisseurs (Buck, Boost et Buck-Boost-Dérivé) sont similaires à un transformateur DC qui fonctionne à la fois en mode de conduction continue et discontinue (CCM et DCM).

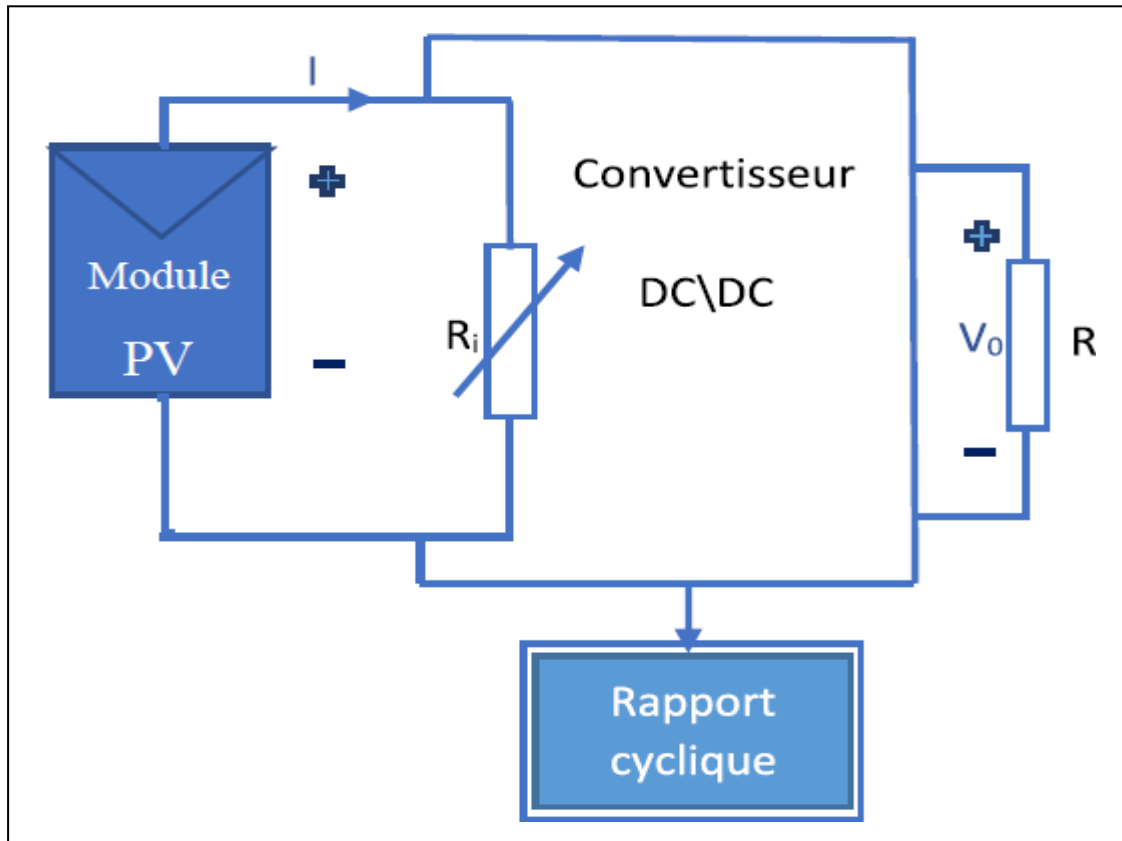


Figure II.28 : Traceurs à base de convertisseur DC /DC.

La relation de transformation dans un transformateur à courant continu peut être commandée électriquement en modifiant le rapport cyclique du convertisseur dans l'intervalle $[0, 1]$.

La Figure II.IV.22 montre la base des convertisseurs DC-DC et la représentation de la résistance d'entrée en fonction du rapport cyclique pour CCM.

Les relations entre la résistance d'entrée (R_i) et la résistance de sortie émulée aux bornes du module PV, l'inductance équivalente (L_{eq}), et la charge connectée au convertisseur (R) peuvent être obtenues dans les deux modes à la fois CCM et DCM.

Les expressions suivantes ont été obtenues en supposant que les convertisseurs sont sans pertes et avec des petites amplitudes d'ondulation de commutation par rapport à leurs composantes continues respectives.

La valeur critique de K à la limite entre les modes ($K_{crit.}$) est une fonction du rapport cyclique. Si K est supérieur à l'unité, alors le convertisseur fonctionne en CCM pour tous les cycles d'utilisation.

7. Les avantages et les inconvénients des différentes charges des traceurs[4].

Méthode	Avantage	Inconvénient
Resistance variable	1) Moins couteuse et facile à remplacer. 2) La méthode la plus simple	1) Faible de fiabilité et réponse. 2) Nécessite de programmer en cas d'utilisant une résistance variable programmable.
Charge capacitive	1) Excellentes caractéristiques 2) On peut obtenir le deuxième quadrant de tension en chargeant le condensateur à négatif.	1) Pour chaque nouvelle mesure le condensateur se déchargé. 2) Difficile de contrôler le Commutateurs pour fonctionner correctement dans l'ordre convenable.
Charge électronique (MOSFET)	1) Très fiable 2) La fréquence du MOSFET est très élevée (très vite).	1) Il a une haute impédance et faible capacité. 2) Les hautes tensions peuvent détruire le MOSFET.
Amplificateur Bipolaire	1) Circuit simple 2) Possibilité de mesurer le courant d'obscurité en utilisant cette méthode.	1) Les interrupteurs (BJT) devraient être exploités en trois modes. 2) Ne peut être appliqué pour les grandes systèmes d'alimentation.
Amplificateur quatre quadrants	1) L'affichage direct de la sortie. 2) On peut obtenir le deuxième quadrant et troisième des courbes en quadrant.	1) Le coût est très élevé. 2) difficile à construire en raison de plus grand nombre de commutateurs. Et ne peut pas être utilisé pour les grands systèmes PV
Convertisseur DC-DC	1) Haute efficacité 2) Peut gérer un grand courant de sortie	1) Conception compliquée avec ondulations dues à l'inducteur 2) facteur de coût

Tableau 02 : Les avantages et les inconvénients des différentes charges des traceurs [4].

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons principalement présenté les différents composants de system et leur fonctionnement avec les différentes méthodes de caractérisation de panneau photovoltaïque. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients liés à leur implémentation matérielle, les outils exposés dans la littérature différents les uns des autres par leur vitesse de caractérisation, leur précision et leur méthode d'affichage.

Chapitre III :

REALISATION DU SYSTEME

I. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons faire la description du système qu'on veut réaliser, qui est un système embarqué de caractérisation de panneaux photovoltaïques. Le système est composé d'un module à microcontrôleur, d'un ensemble de capteurs, Ainsi, dans ce qui suit nous aborderons les étapes de mise en œuvre de notre projet, et les choix techniques que nous avons effectué.

II. Description du système[5]:

Notre travail principal est de construire une carte de mesure à base des composants électronique et des capteurs pour tracer les caractéristiques des modules PV.

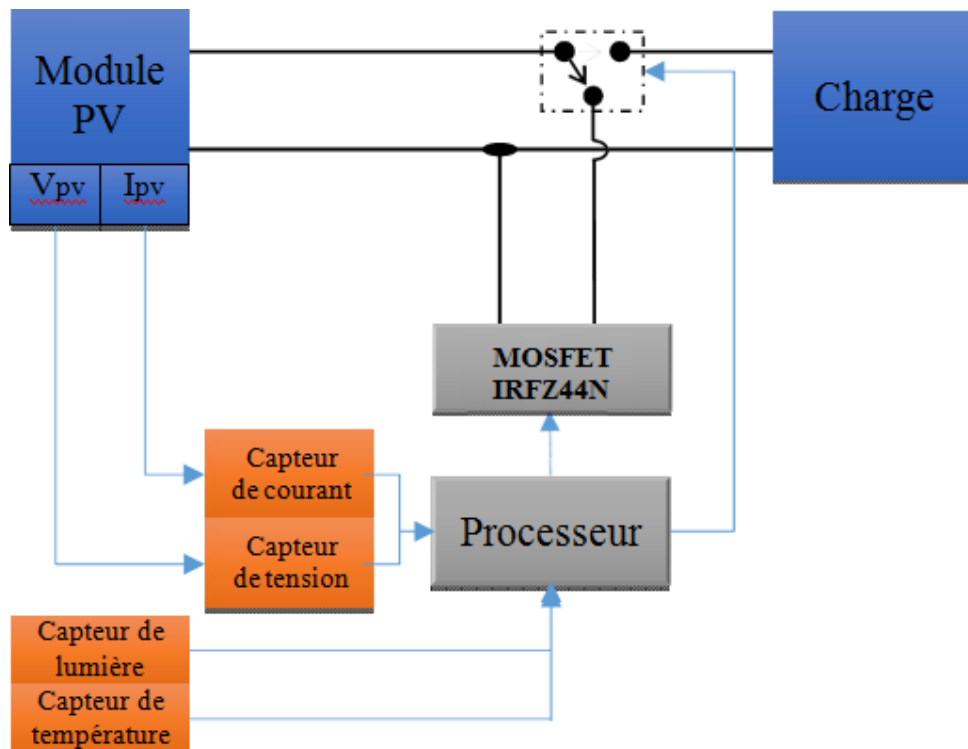


Figure III.29: Schéma synoptique du banc de mesure de I-V des modules photovoltaïques[27].

Après avoir simulé les paramètres du traceur développé, dans ce chapitre, on va réaliser le traceur des caractéristiques électriques. Cet instrument est associé à la carte Arduino aussi vers l'ordinateur afin d'afficher les caractéristiques I-V.

1. Arduino IDE :

L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino est une application multiplateforme (pour Windows, macOS, Linux) qui est écrite dans des fonctions de C et C++. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino, mais aussi, avec l'aide de cœurs tiers, sur des cartes de développement d'autres fournisseurs.

Le code source de l'IDE est publié sous la licence publique générale GNU, version 2. L'IDE Arduino prend en charge les langages C et C++ en utilisant des règles spéciales de

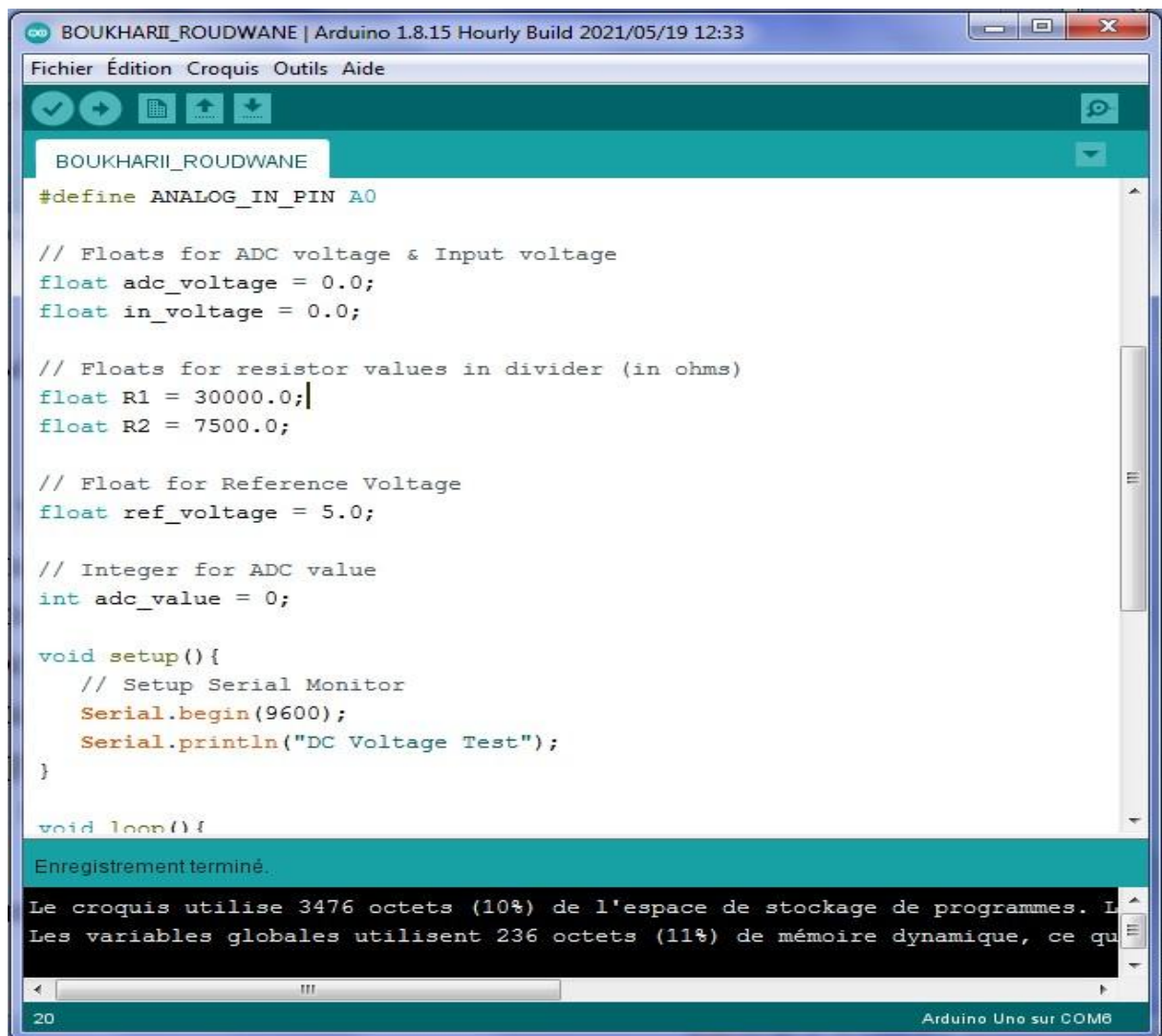
structuration du code. L'IDE Arduino fournit une bibliothèque logicielle du projet Wiring, qui fournit de nombreuses procédures d'entrée et de sortie courantes.

Le code écrit par l'utilisateur ne nécessite que deux fonctions de base, pour démarrer l'esquisse et la boucle du programme principal, qui sont compilées et liées à un stub de programme `main()` dans un programme exécutif cyclique exécutable avec la chaîne d'outils GNU, également incluse dans la distribution IDE.

L'IDE Arduino utilise le programme `avrdude` pour convertir le code exécutable en un fichier texte en codage hexadécimal qui est chargé dans la carte Arduino par un programme de chargement dans le micrologiciel de la carte. Par défaut, `avrdude` est utilisé comme outil de téléchargement pour flasher le code utilisateur sur les cartes Arduino officielles.

Arduino IDE est un dérivé de l'IDE de traitement, mais à partir de la version 2.0, l'IDE de traitement sera remplacé par le framework Eclipse Theia IDE basé sur Visual Studio Code.

Avec la popularité croissante d'Arduino en tant que plate-forme logicielle, d'autres fournisseurs ont commencé à implémenter des compilateurs et des outils open source personnalisés (cœurs) capables de créer et de télécharger des croquis sur d'autres microcontrôleurs qui ne sont pas pris en charge par la gamme officielle de microcontrôleurs d'Arduino.



```
BOUKHARII_ROUDWANE | Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/19 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide
BOUKHARII_ROUDWANE
#define ANALOG_IN_PIN A0

// Floats for ADC voltage & Input voltage
float adc_voltage = 0.0;
float in_voltage = 0.0;

// Floats for resistor values in divider (in ohms)
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;

// Float for Reference Voltage
float ref_voltage = 5.0;

// Integer for ADC value
int adc_value = 0;

void setup() {
  // Setup Serial Monitor
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("DC Voltage Test");
}

void loop() {
  Enregistrement terminé.
  Le croquis utilise 3476 octets (10%) de l'espace de stockage de programmes. L
  Les variables globales utilisent 236 octets (11%) de mémoire dynamique, ce qu
  20 Arduino Uno sur COM6
```

Figure III.30 : l'interface de Logiciel Arduino IDE.

2. PROTEUS :

Proteus Professional est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus Professional permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux de cette suite logicielle : ISIS, PROSPICE). 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 Professional possède d'autres avantages

- Pack contenant des logiciels faciles et rapides à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériels et logiciels lors de la conception d'un projet

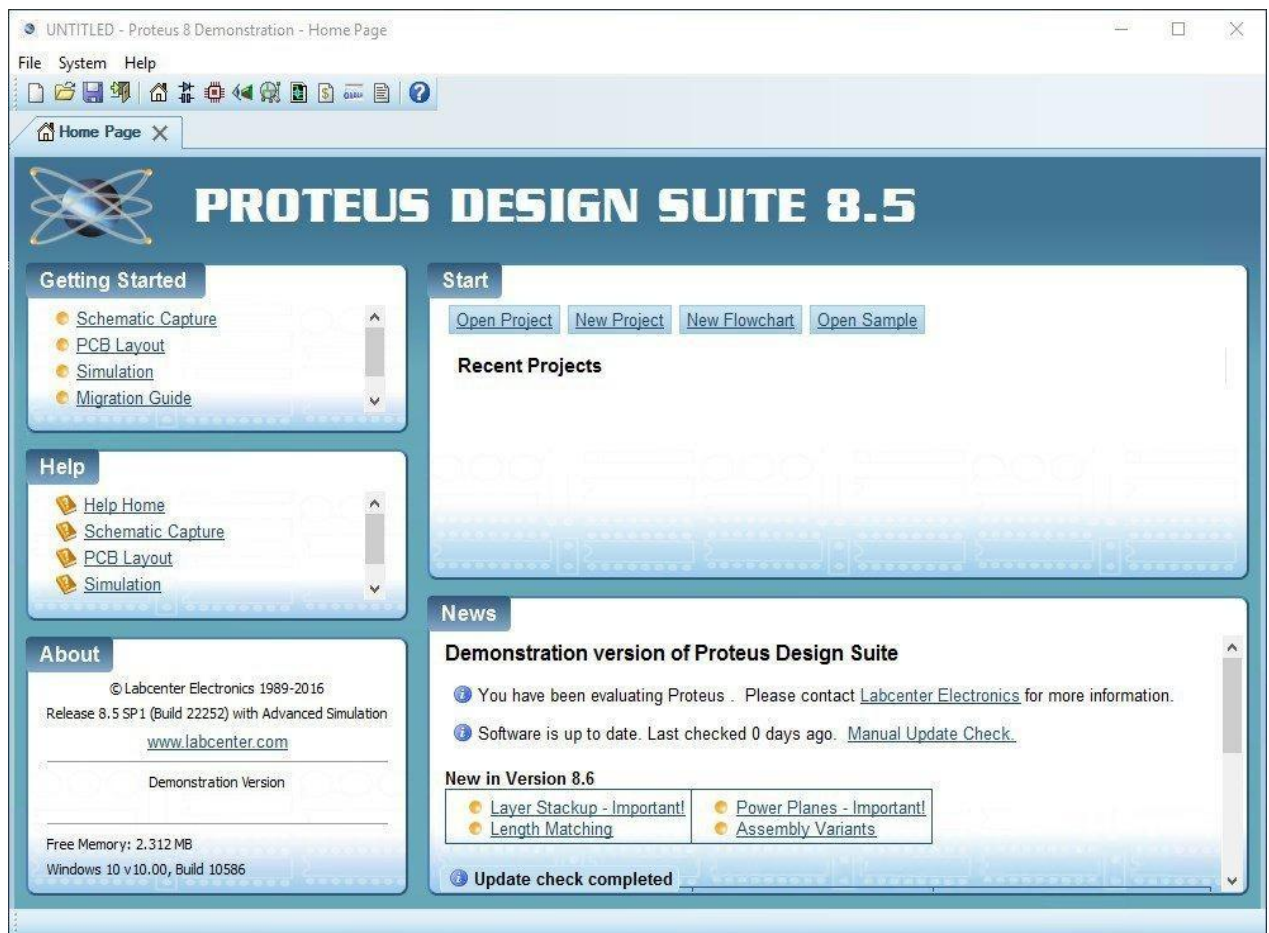


Figure III.31 : l'interface de Logiciel Proteus.

III. Dispositif expérimental et résultats :

Pour la commande des différents capteurs nous avons utilisé le microcontrôleur Arduino UNO.

La première marche dans notre travail est de simuler et tester séparément chaque capteur pour enfin concevoir le programme principal qui gère la totalité des capteurs sur lesquels est basé le fonctionnement de notre système.

Afin de valider le circuit global en parties, nous avons opté que pour chaque capteur nous utilisons le logiciel **IDE d'Arduino** pour compiler le programme puis simulation du circuit électrique

I.1. L'Arduino :

C'est le plus important composant, et le centre de toute le matériels et les capteurs utilisés dans le mini projet.

Premièrement, la préparation de l'Arduino est de sélectionner les entrées et les sorties des chaque composants utilisées, pour accorder les capteurs, en a fait comme suivant :

I.2. Capteur de courant :

En distingue 03 câbles de raccordement avec l'Arduino(VCC, GND, A0) qui est support de transmission l'information calculer par le capteur.

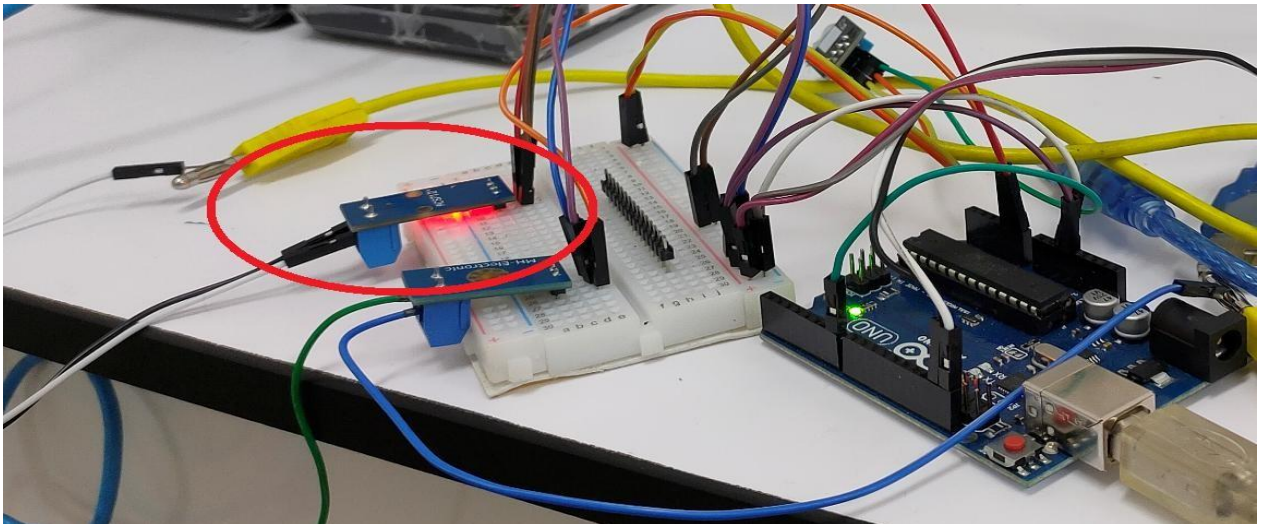


Figure III.32 : Capteur de Courant ACS712 20A

pour cela on a opté pour la mesure du courant continu par un circuit bon marché et disponible qui est le capteur de courant ACS712 basé sur l'effet Hall.

Le ACS712 est capable de capter le courant continu comme l'alternatif. Dans notre cas la cellule est alimentée en courant continu, ce qui nous facilite le travail avec ce capteur.

```
captur_current222 | Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/19 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide
captur_current222 $
// Tested and compiled with no errors
// measuring AC current using ACS712 current sensor
// The ACS712 works with high voltage AC so be careful !
// boukhari roudhwane

const int sensorIn = A0; // pin where the OUT pin from sensor is connected on Arduino
int mVperAmp = 185; // this the 5A version of the ACS712 -use 100 for 20A Module and 66 for
int Watt = 0;
double Voltage = 0;
double VRMS = 0;
double AmpsRMS = 0;

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  Serial.println ("ACS712 current sensor");
}
```

Figure III.33 : Capture de code de mesure de courant sous Arduino IDE.

Il reste deux câbles d'alimenter le capteur au courant à partir un plaquette d'essai qui est reliée à une source d'électricité pour attendre d'alimenter les restes composants.

I.3. Capteur de tension :

Ce composants aussi doit alimenter via la plaquette d'essai, La tension qu'on doit mesurer qui est utiliser un microcontrôleur qui dispose déjà d'un convertisseur analogie-numérique, et qui n'accepte que des valeurs de tension inférieur à 5V.

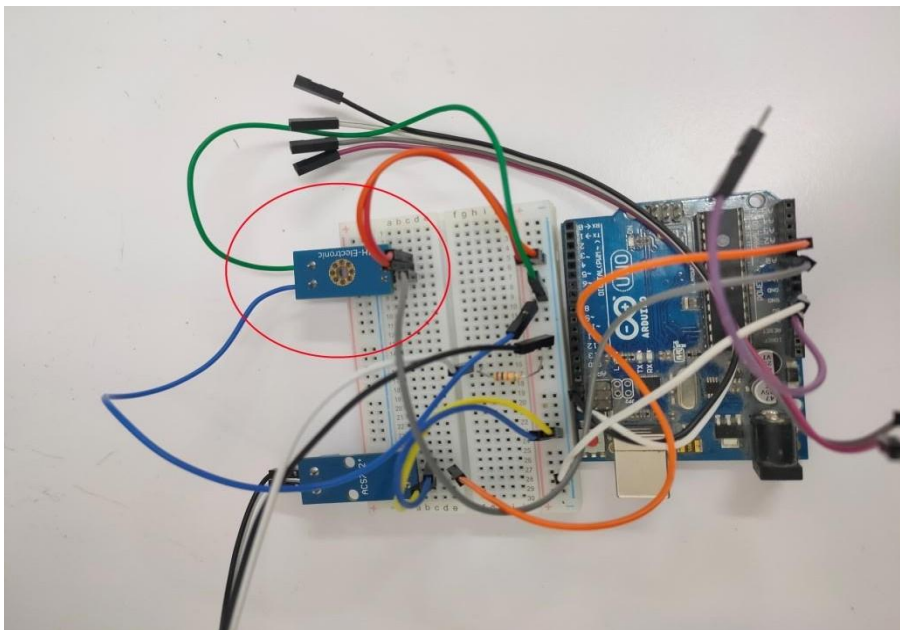


Figure III.34 : circuit de mesure de Capteur de tension

```
captur_tension2 | Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/19 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide
captur_tension2
}

// the loop routine runs over and over again forever:

void loop() {

  // read the input on analog pin 0:

  int sensorValue = analogRead(A0);

  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 50V):

  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0) * 10;

  // print out the value you read:

  Serial.print("Voltage: ");

  Serial.print(voltage);

  Serial.println(" V");

  delay(1000);
}
```

Figure III.35 : Capture de code de mesure de tension sous Arduino IDE

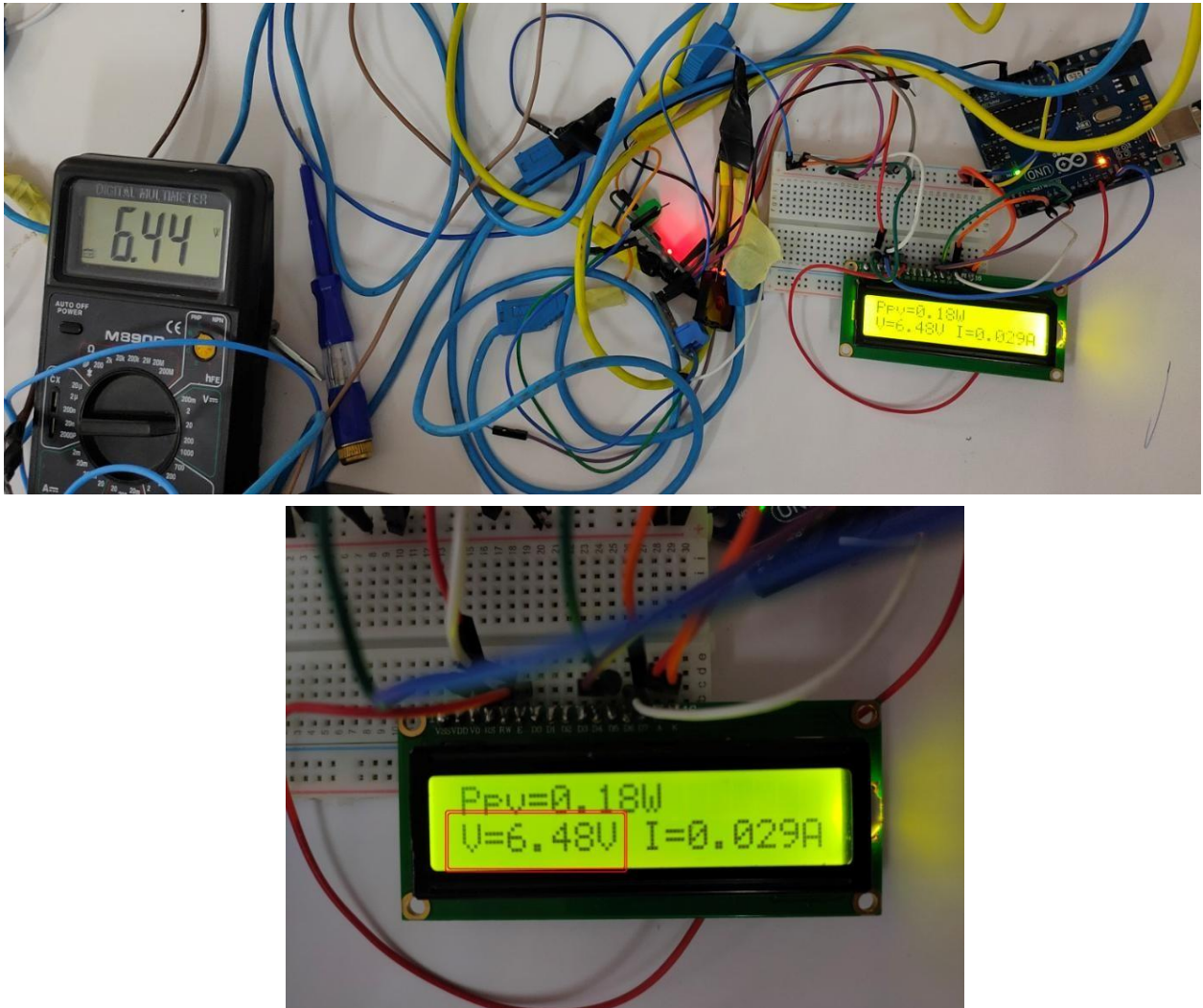


Figure III.36 : comparaison entre Résultat de mesure par circuit de mesure de tension et courant affiché sur LCD .

Simulation de capteur de courant sur logiciel Proteus .

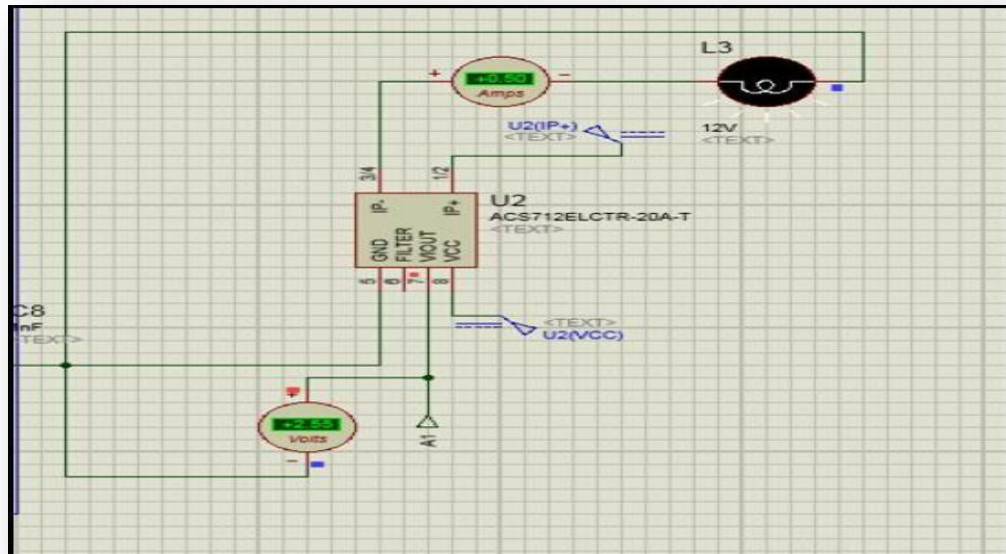


Figure III.37:Schéma du capteur du courant ACS712 sous Proteus.

Comme nous avons vu, une petite différence entre les deux résultats:

- Au Voltmètre : $V = 06.44v$
- Par rapport la tension calculé par notre capteur est : $V = 06.48v$

Une différence de $0.04v$ un pourcentage de 0.62% a cause des pins et des pertes (mauvais contacts, qualité des fils d'accordement, sensibilité de capteur utilisée,...)

I.4. Capteur de température:

Ce capteur est comme les précédents capteurs, une partie d'alimentation et une partie de raccordement avec l'Arduino pour l'obtention de l'information et de l'afficher sur l' LCD. avec l'Arduino,

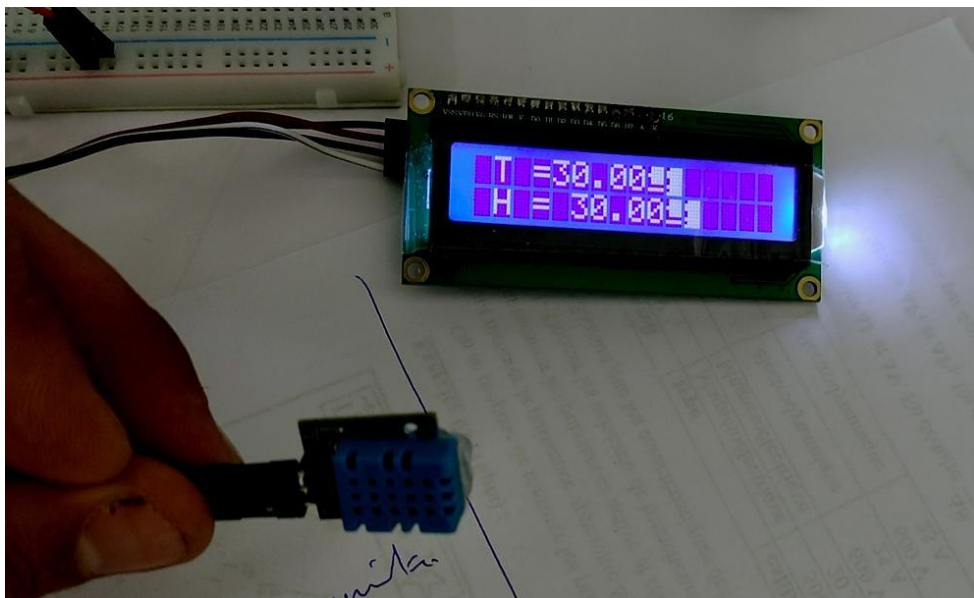


Figure III.38 : Résultat de mesure par circuit de mesure de température et humidité.

Pour mesurer la température afin de brancher le capteur DHT11 et televerser son code a l'Arduino pour affiché la température dans la salle qui est climatisée (Labo N : 08)

La résultat obtenu est la même que la température affiche au climatiseur.

Une autre essai de température avec une source de chaleur (briquet) et approcher a le capteur, et comme est attendre, la température est élevé au l'afficheur, et afin de loin de briquet après quelques instants, nous voyons que la température est diminué vers la température de la salle. Donc en a trouvé que le capteur est fonctionne correctement.

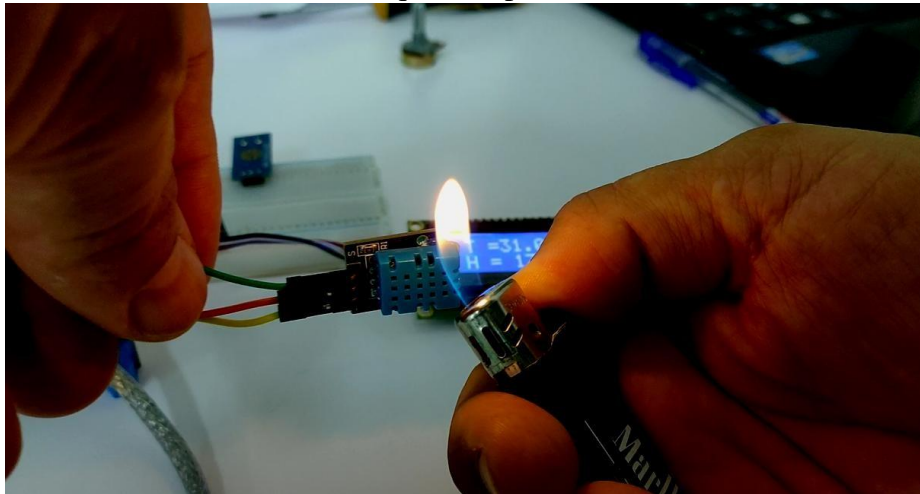


Figure III.39 : L'essai de l'élévation de température avec une source de chaleur.

```

SolarEnergyMeasurementArduinoCode_fini_0000000 | Arduino 1.8.15 Hourly ...
Fichier  Édition  Croquis  Outils  Aide

SolarEnergyMeasurementArduinoCode_fini_0000000
//***** HUMIDITY ET TEMPERATURE

int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
//*****
// mesure Temperature et Humidity
lcd.setCursor(-4,2);
lcd.print("T=");
  lcd.setCursor(-2,2);
  lcd.println(DHT.temperature,0);
lcd.setCursor(2,2);
  lcd.print("C");
//***** humidity
  lcd.setCursor(-4,3);
  lcd.print("H=");
  lcd.setCursor(-2,3);
  lcd.println(DHT.humidity,0);
  lcd.setCursor(2,3);
  lcd.print("M");

//Serial.println(DHT.humidity);

delay(500);}

```

Figure III.40: Programme de capteur de température DHT11.

1. L'affichage sur LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquide 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 '39'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).

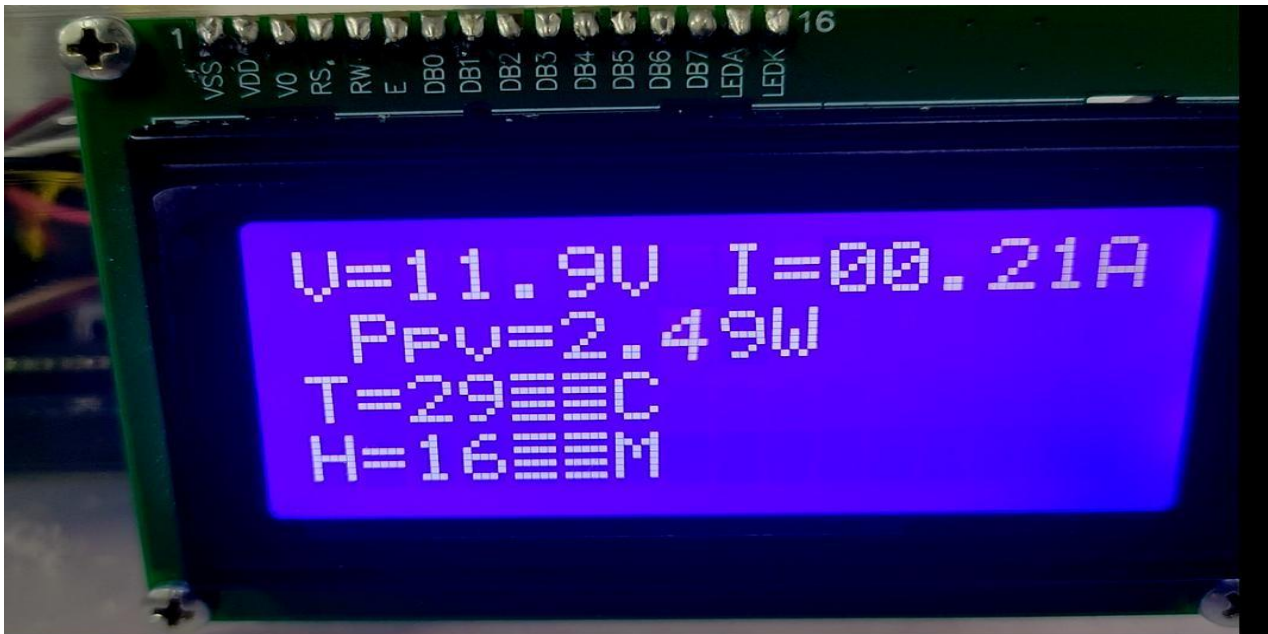


Figure III.41: résultat final au afficheur LCD..

2. Simulation d'afficheur LCD sous Proteus :

Le schéma d'un afficheur LCD sous Proteus est représenté figure (IV.12). Cet afficheur représente résultats obtenus.

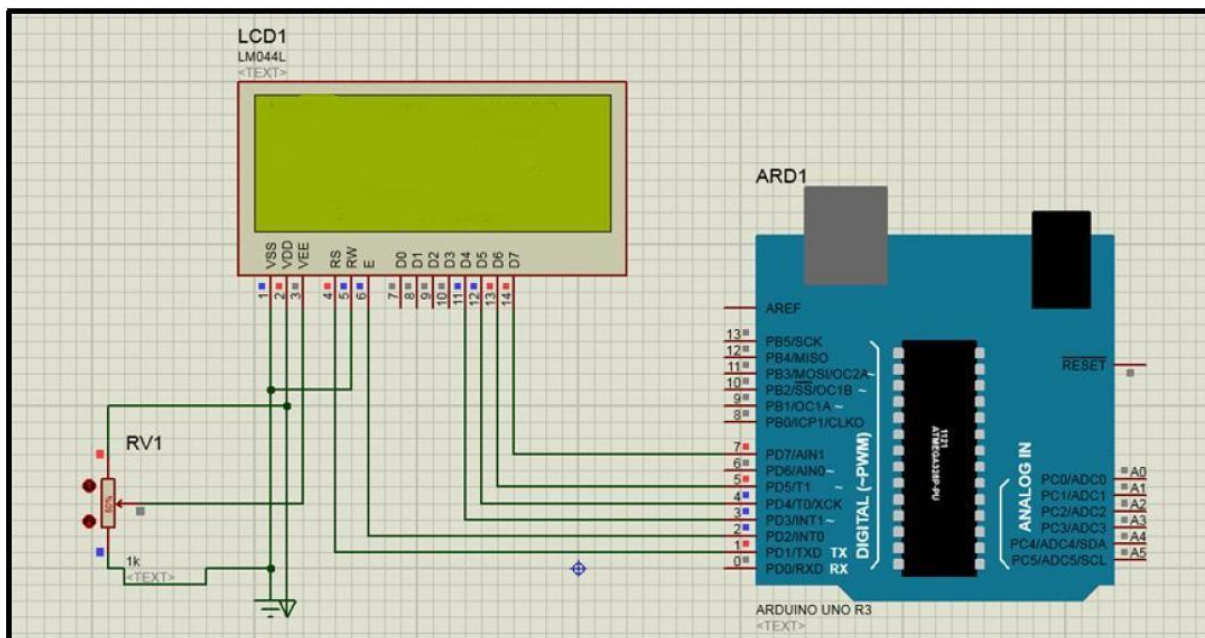


Figure III.42: Schéma d'afficheur LCD sous Proteus.

3. Circuit final de raccordement de tous les capteurs et l'affichage sur LCD :

en fin de télé-versement du programme, On finalise avec le branchement de tous les composants .

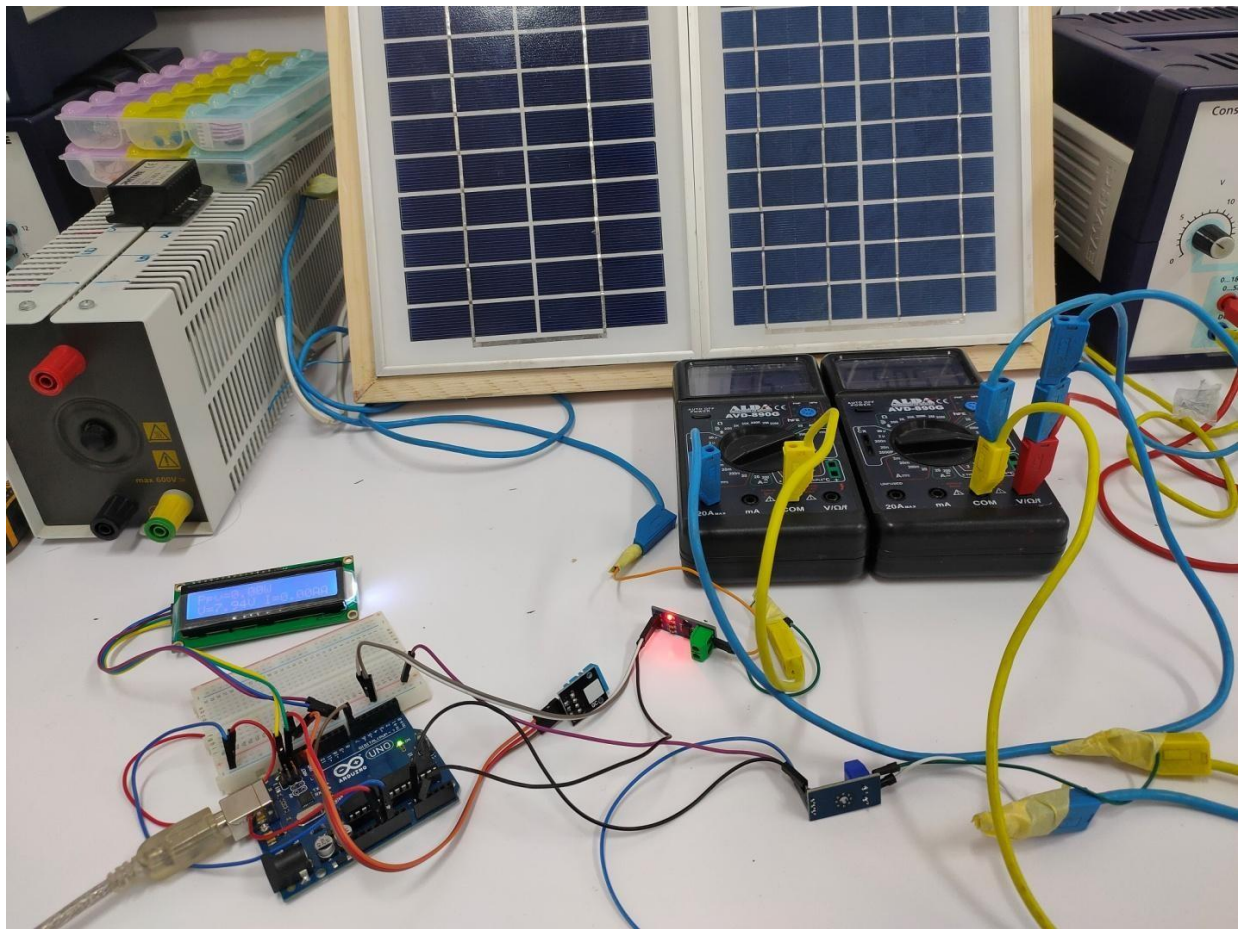


Figure III.43 : L'assemblage des composants

4. le code complet des capteurs sur Arduino IDE :

Après la présentation de programme de chaque capteur, on passe au programme final quicombine tous nos programmes, il est représenté dans la **Figure III.44** : Programme final.

```

code_final_cmplet | Arduino 1.8.15 Hourly Build 2021/05/19 12:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide
code_final_cmplet
...../
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <dht.h> dht DHT;
dht DHT;
#define DHT11_PIN 7
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,4);
float sensitivity[] ={
    0.185, // for ACS712ELCTR-05B-T
    0.100, // for ACS712ELCTR-20A-T
    0.066 // for ACS712ELCTR-30A-T
};
float sensorValue1 = 0;
float sensorValue2 = 0;
float voltageValue = 0;
float currentValue = 0;
float Power_now = 0;
float voltage; // internal variable for voltage
float current;
float current1;
const float VCC = 5.0; // supply voltage is from 4.5 to 5.5V. Normally 5V.
const float QOV = 0.5 * VCC; // set quiescent Output voltage of 0.5V
void setup()
{
    lcd.init(); // initialize the lcd

    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("univ de khnchela");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Projet Fin etude");
    lcd.setCursor(-4,2);
    lcd.print("Banc de mesure");
    lcd.setCursor(-4,3);
    lcd.print("Rodwane Bokhari");
    delay (1000);
    lcd.clear();
}
void loop() {
    sensorValue1 = analogRead(A0);
    sensorValue2 = analogRead(A1);
    voltageValue= (sensorValue1 * 5.0) /1024.0;
    voltage = voltageValue/0.209; // - QOV + 0.012; // 0.000 is a to make voltage zero wh
    // currentValue= (sensorValue2 * 0.02 /1024.0);
    // current = currentValue/0.56;

    current1 =(2.5 - (sensorValue2 * (5.0 / 1024.0)) )/0.185;
    current =10.72-current1 ;
    lcd.setCursor(1 , 1);
    Power_now = voltageValue * currentValue;
    lcd.print("Ppv=");
    lcd.print(Power_now);
    lcd.print("W");
}

```

```

lcd.print("W");
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("V=");
lcd.print(voltage, 1);
lcd.print("V I=");
lcd.print(current);
lcd.print("A");
Serial.println(current);
delay(100);
//*****
//***** HUMIDITY ET TEMPERATURE
int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
//*****//
// mesure Temperature et Humidity
lcd.setCursor(-4, 2);
lcd.print("T=");
    lcd.setCursor(-2, 2);
    lcd.println(DHT.temperature, 0);
lcd.setCursor(2, 2);
    lcd.print("C");
//***** humidity
    lcd.setCursor(-4, 3);
lcd.print("H=");
    lcd.setCursor(-2, 3);
    lcd.println(DHT.humidity, 0);
    lcd.setCursor(2, 3);
    lcd.print("M");//Serial.println(DHT.humidity);
delay(500);}

```

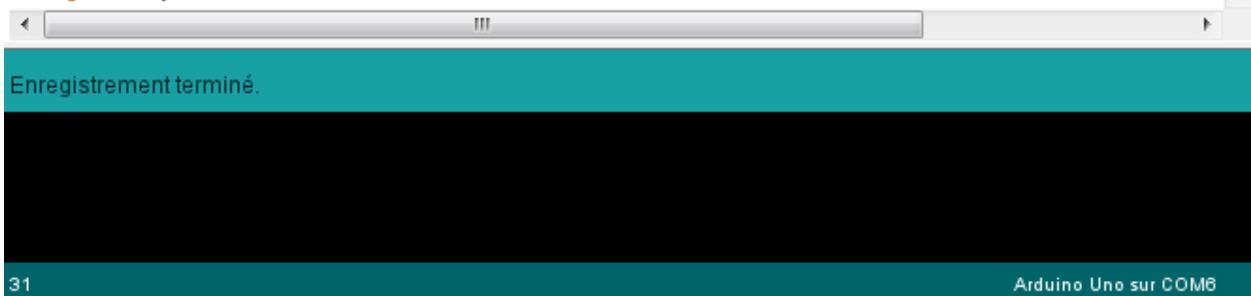


Figure III.44 : Programme final.

Après la vérification de ce code « compilation », en a téléverser ce code vers l'Arduino, nous obtenons les résultats sur l'afficheur LCD comme suivant :

4.1. Teste de réalisation global :

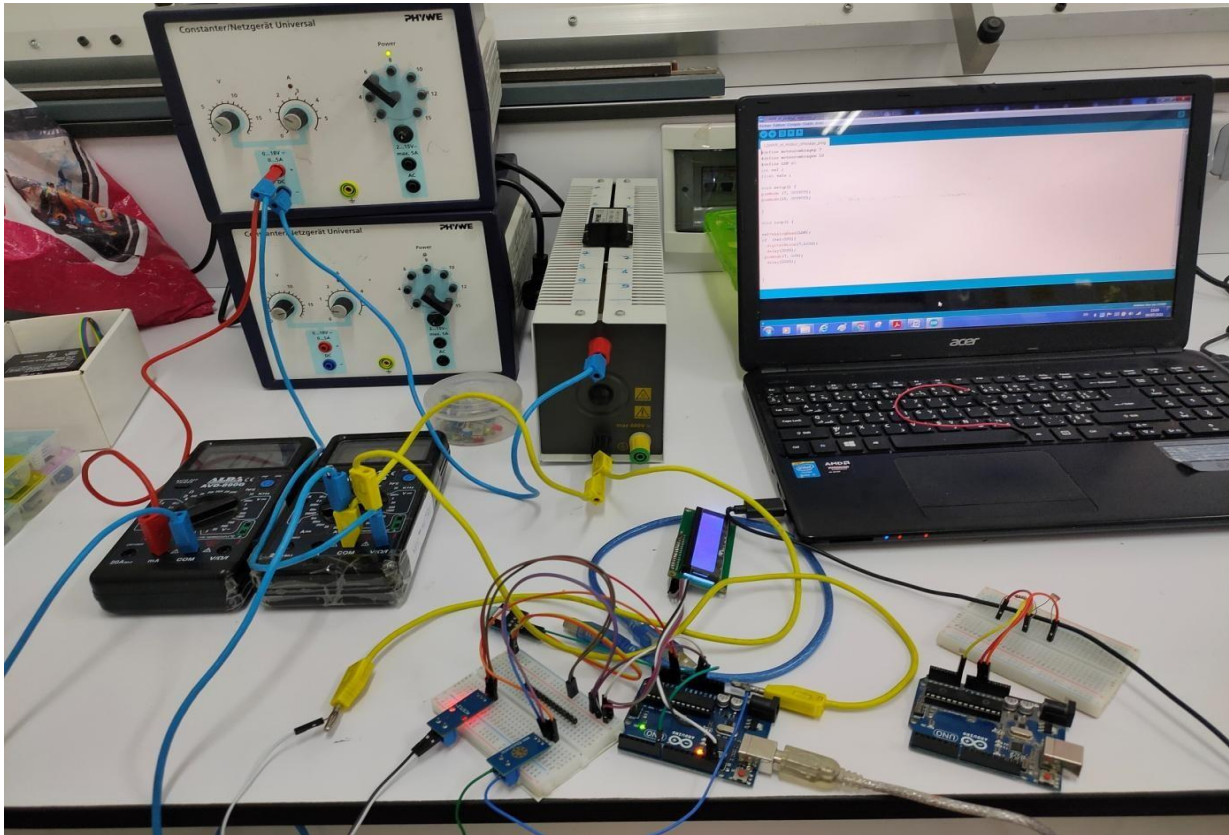
Après l'assemblage et de brancher toute les capteurs et composants, au niveau de l'Arduino, En fait la compilation pour vérifier chaque ligne de code **Figure III.44** : Programme final.

pour éliminer les erreurs et de téléversement de ce code sur l'Arduino, **Figure III.43** : L'assemblage des composants

Après les étapes de montage et programmation , afin qu'afficher les résultats sur l'affichage, en a choisir d'assembler toute ces composants sur un boîtier (PLEXIGLAS) qui est un bon couvert et protection de mini projet et de rester le accordements des capteur au tour de boîtier .

5. Le circuit de mesure complet :

Le circuit complet du traceur montre le circuit conçu qui est très simple et utile pour tracer les



courbes du module.

Figure III.45: Circuit complet de mesure .

Simulation du système sous Proteus

La simulation du système sous l'environnement Proteus est représentée par la figure (IV.15). Les résultats de simulations montrent que la réponse de system sur la commande PWM effectuent correctement leurs rôles. Le convertisseur fournit dans les commande optimales une tension à sa sortie inférieure à celle fournie par le générateur PV. La commande PWM adapte le générateur PV à la charge par le transfert de la puissance maximale fournie par le générateur PV.

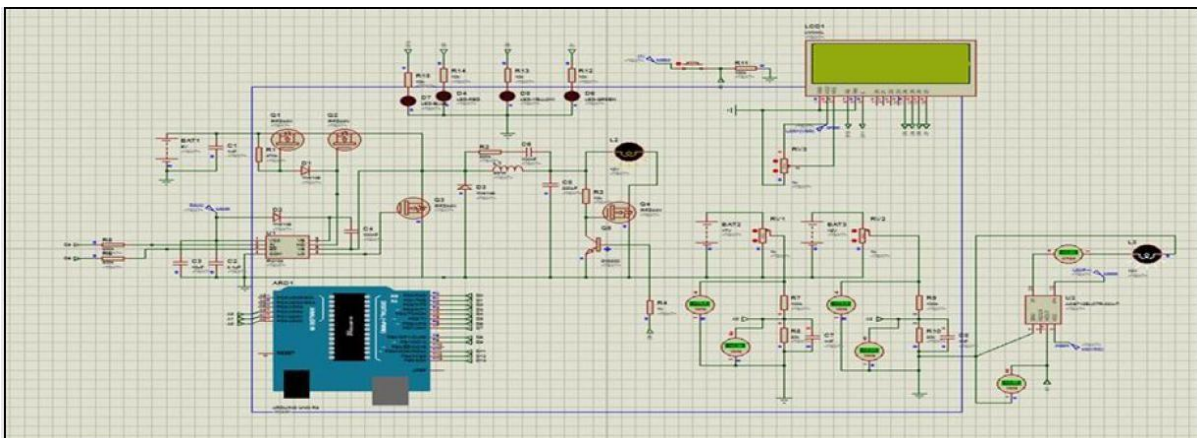


Figure III.46 : Schéma du notre système sous Proteus.

6. Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque :

Après utilisé ces méthodes, nous pouvons de déduire plusieurs paramètres.

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$. La **Figure I. 09** présente un exemple d'une caractéristique courant-tension $I(V)$ et puissance tension $P(V)$ pour un éclairement et une température donnée.

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température fixée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I=f(V)$ est fixée.

C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système .

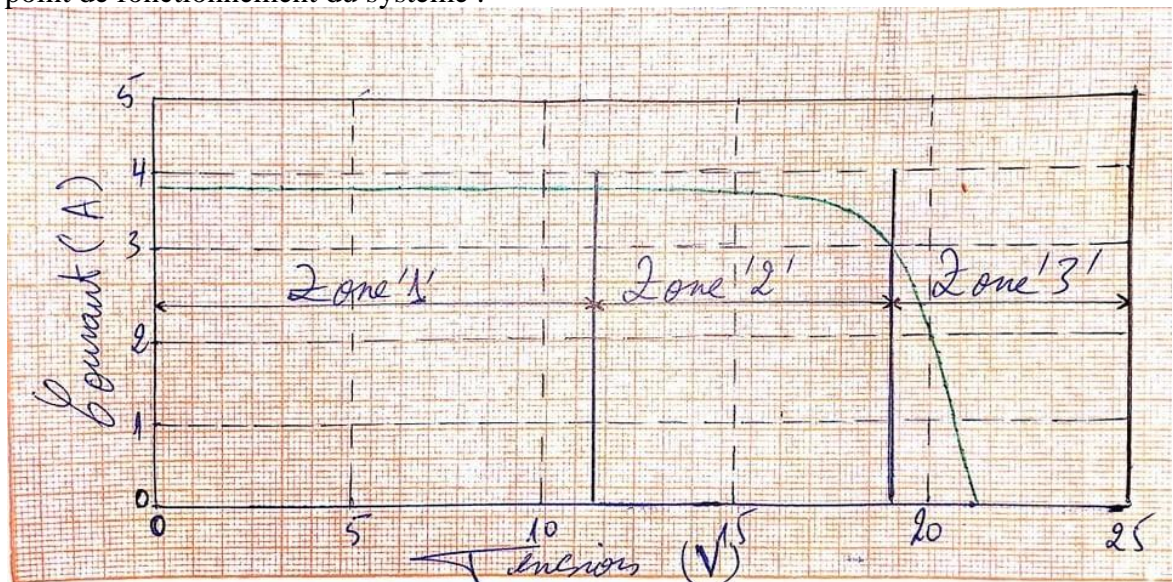


Figure III.48 : Différentes zones de la caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque.

➤ **caractéristique :**

- **La zone (1) :** où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (2) :** correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (3) :** qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

6.1. Caractéristiques des modules PV :

En exploitant l'équation du modèle d'une diode expliquée précédemment, avec les paramètres des conditions standards de test (I_{Ph} et T), une courbe caractéristique de module est obtenue qui permet l'extraction des principaux paramètres de fonctionnement. Les fabricants des modules indiquent ces paramètres dans une plaque signalétique pour évaluer son comportement en conditions standards.

La **Figure I.11** représente la courbe $I(V)$ et $P(V)$.

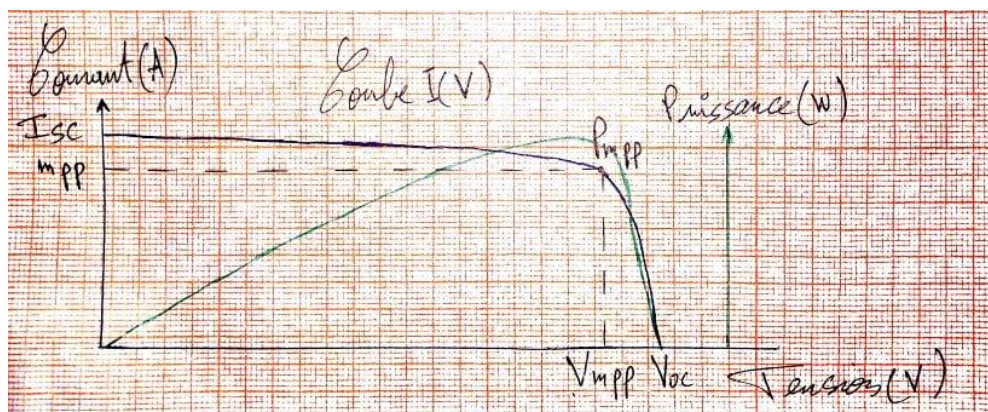


Figure III.49 : courbe $I(V)$ et $P(V)$ d'un module PV et ses différentes caractéristiques.

- On a réalisé le schéma global représenté dans la Figure III.(IV.8) alimenté par le GPV.
- L'éclairement et la température étaient de (600 w/m² 52 °C, 800 w/m² 55 °C).
- Le choix de MOSFET est le point essentiel pour un bon fonctionnement de le traceur dans notre projet on choisi Mosfet IRFZ44N qui fonctionne comme une charge électronique variable. Dispose une zone de fonctionnement permettant de couvrir l'ensemble des points de la caractéristique des GPV que nous voulons caractériser. La variation de la charge électronique nous permet de tracer la caractéristique $I-V$ du module photovoltaïque.
- Le signal de commande est appliqué aux terminaux Gâte-Source du

MOSFET, car VGS doit suivre les caractéristiques I-V du module PV. Comme cité précédemment, le système d'acquisition de données (Arduino) est utilisé pour fournir la tension de commande de grille PWM. Ce signal est un rapport cyclique de modulation de largeur d'impulsion (PWM) d'Arduino UNO a été utilisé pour contrôler simultanément la tension d'entraînement grille-source de deux MOSFET de puissance agissant comme des charges électroniques variables rapides. Dont le rapport cyclique est variable de 1 à 5 V, VGS pour la charge MOSFET et aussi enregistrer les signaux des différents capteurs et outils de mesure décrits ci-dessus,

- Le signal de commande PWM varie suivant la valeur de la tension VGS afin de balayer la tension et les courants du module PV des valeurs minimales jusqu'au valeurs maximales.

Pour appliquer le PWM d'Arduino, on fait varier la tension par le potentiomètre, l'oscilloscope de laboratoire a été utilisé pour observer la forme d'onde de sortie et les résultats étaient comme **Figure III.50** : Signal de PWM sur l'oscilloscope.

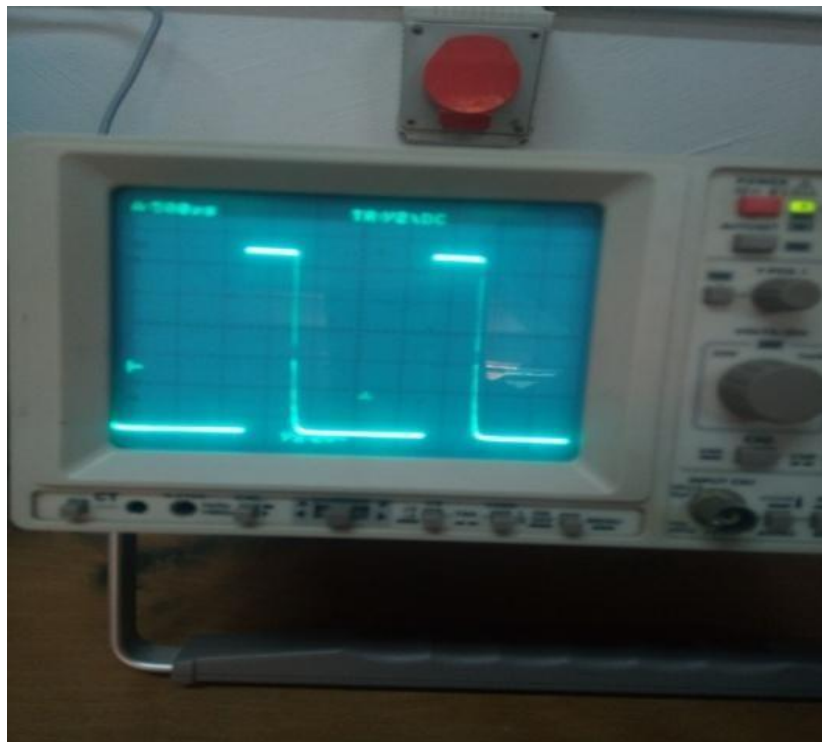


Figure III.50 : Signal de PWM sur l'oscilloscope.

Notre cellule fonctionne normal avec un courant continu, après une période précis elle s'arrête, quand ce condition vérifié, on se fait varier la tension entre 0v et 12v, on utilise le PWM de l'Arduino et le courant se change dans notre cellule, la figure III.23 représente le programme PWM :

```
la_commande_de_HHO

int p =9;
int potentiometer=A5;

void setup() {
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(5,INPUT);
  //Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int val =analogRead (potentiometer);
  if (val<=0){
    analogWrite (p,0);
  }
  if (0<val && val<=256){
    analogWrite (p,64);
  }
  if (256<val && val <=511){
    analogWrite (p,127);
  }
  if (511<val && val <=767){
    analogWrite (p,191);
  }
  if (767<val && val<=1023){
    analogWrite (p,255);
  }
}
```

Figure III.51 : Programme de PWM sur Arduino IDE.

7. L'état final de projet

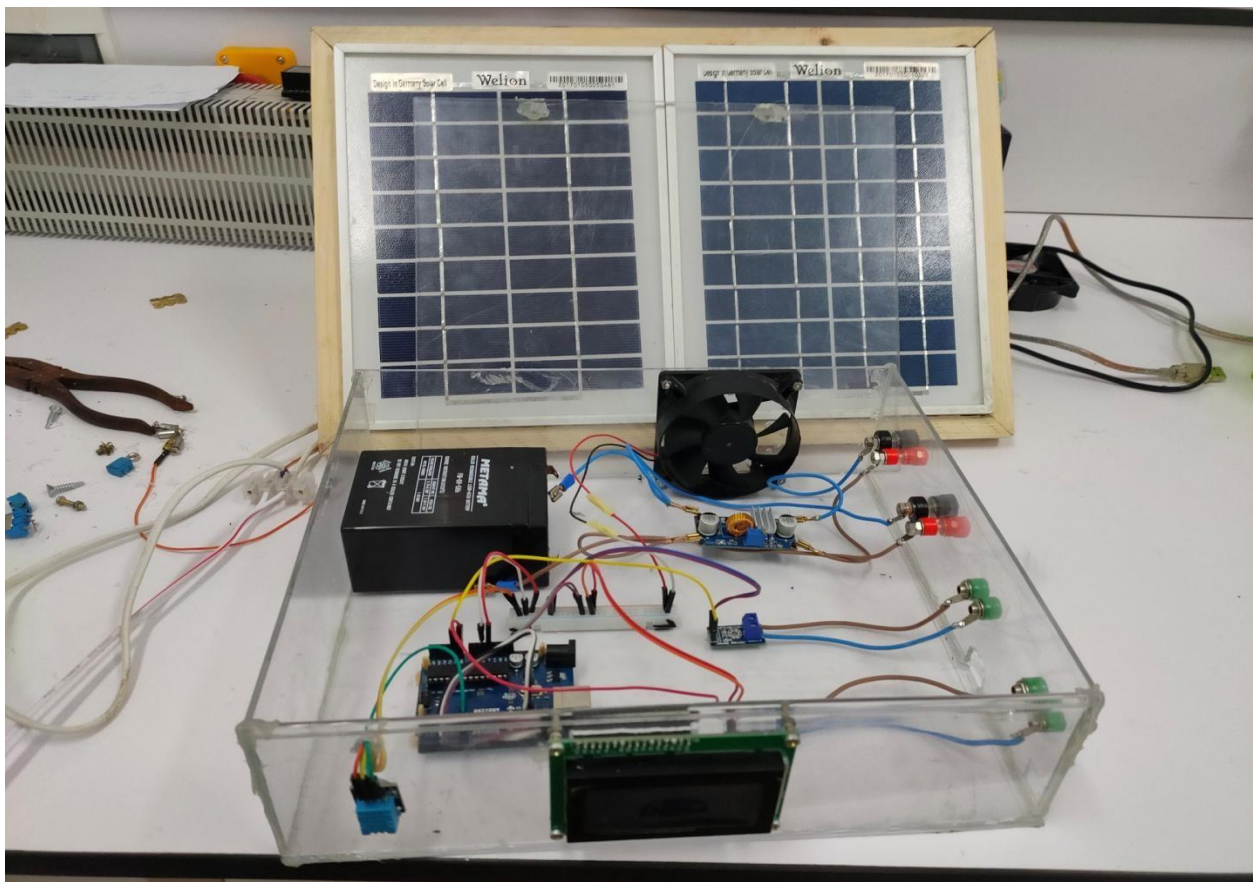


Figure III.52: L'état final de la réalisation.

IV. Conclusion :

Dans ce chapitre, malgré tous les problèmes rencontrés on a pu réaliser un circuit robuste et simple pour mesurer les caractéristiques, dont on a utilisé des capteurs un pour la mesure de courant **I** et un pour mesurer la tension **V**, et bien sûr un pour la température **T** ainsi que la lumière (l'éclairement). Les résultats obtenus montrent l'efficacité de la mesure point par point pour tracer les caractéristiques.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans le cadre du projet de fin étude, nous avons étudié les systèmes de caractérisation des modules photovoltaïques, qui permettent de tracer la courbe I-V dans les conditions de fonctionnement réel. Ainsi, l'extraction de ses caractéristiques électriques qui peut nous donner des informations sur son état de fonctionnement (performance et dégradation pour un éventuel défaut).

Le présent mémoire est réparti en trois chapitres dont la première on a expliqué le principe de conversion de la lumière en électricité ; par le biais d'une cellule PV qui exploite l'effet photovoltaïque par les propriétés des matériaux semi-conducteur qu'elle a composés. Ainsi que, des généralités sur les systèmes de conversion photovoltaïque.

Le deuxième chapitre était dans le but montrer l'intérêt de la caractérisation électrique et plus particulièrement la caractéristique I-V, ainsi que les composants utilisés dans la caractérisation et les différentes méthodes utilisées pour caractériser un panneau solaire avec un tableau de comparaison pour un bon choix de la méthode utilisé.

Le troisième chapitre où on a présenté l'essentiel de notre travail (notre réalisation) et quelque teste effectuer. Notre réalisation comporte l'arduino et les capteurs nécessaires à la mesure.

En perspective de ce travail, plusieurs améliorations peuvent être envisagées :

- Etude et réalisation d'un système de caractérisation plus automatique,
- Etude et réalisation d'un système de caractérisation instantané avec transfère de données vers une banque de données,
- Embarquer la totalité des composants sur une carte électronique indépendante.
- Utilisation des capteurs avec un large étendu de mesure et d'une sensibilité acceptable.

Annexe :

1. Autre matériels utilisés :

1.1. Les fils de liaison :

La plaque d'essai permet de placer les composants, mais reste insuffisante pour la totalité des liaisons électriques. Il est donc nécessaire d'utiliser des fils électriques volants en complément.

Ces fils de liaison sont réalisés avec du fil électrique isolé que l'on dénude aux extrémités. Dénuder un fil consiste à enlever la gaine isolante.

Si le fil est de type multibrin, il est nécessaire de torsader la partie dénudée et de l'étamer avant de pouvoir l'utiliser, c'est-à-dire y déposer un peu d'étain avec un fer à souder, avant de pouvoir l'utiliser.

Il est pratique d'avoir du fil monobrin et du fil multibrin. Le fil monobrin est rigide, donc pratique pour les liaisons permanentes.

Le fil multibrin est souple, donc plus pratique pour les modifications lors de l'étude.

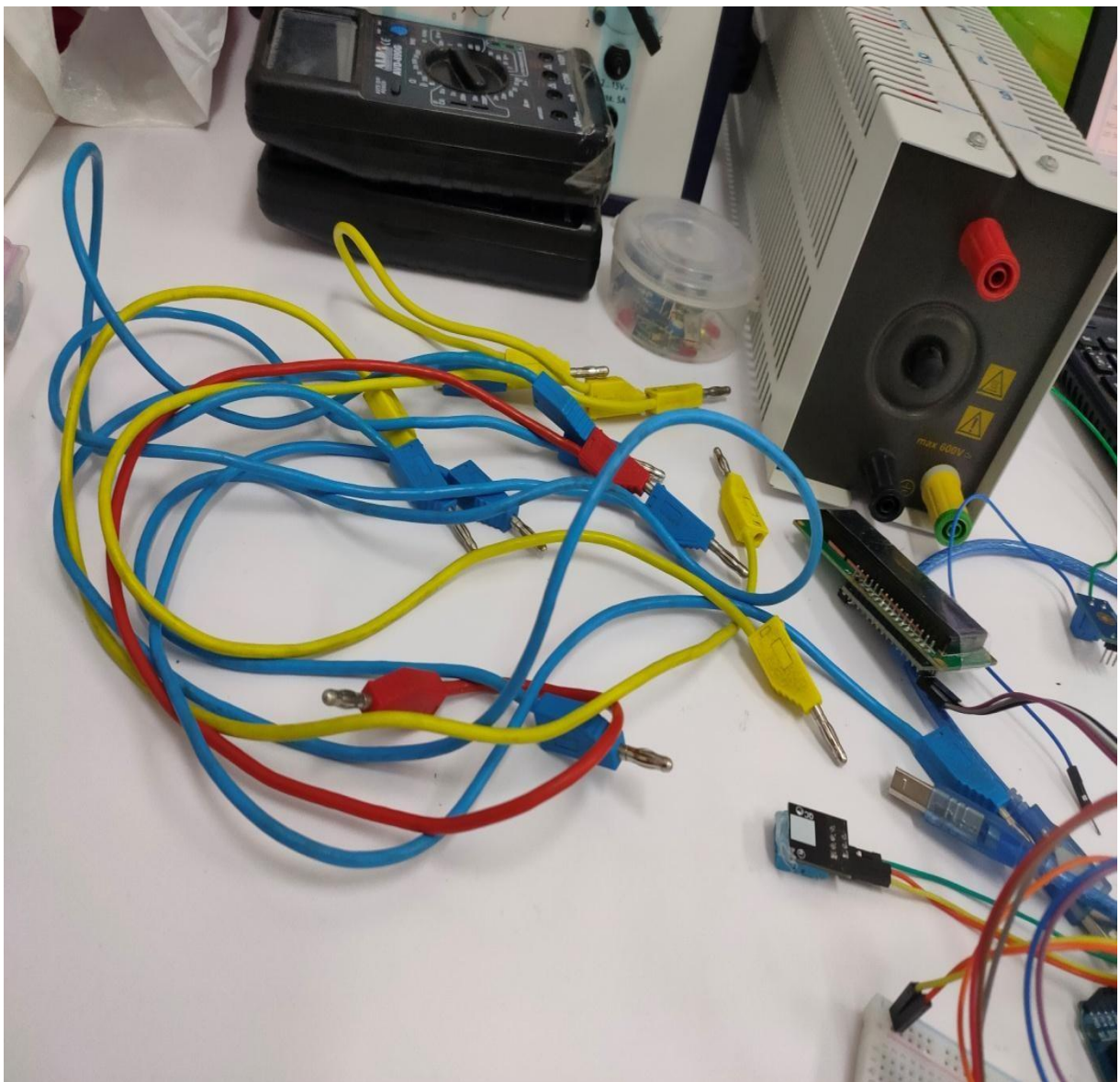


Figure III.45 : Fils électriques utilisés.

1.2. La plaquette d'essai sans soudures :

Cette plaquette est composée d'un plastique isolant avec des rangées verticales de 5 contacts et 4 lignes horizontales pour l'alimentation. Les lignes rouges pour relier les composants au (+) et les lignes bleues pour Les composants sont plantés dans les trous de diamètre 0,8mm. Il ne faut pas essayer de planter des composants ayant des connexions de diamètre supérieur. Le bloc principal permet de placer des composants électroniques typiques comme un circuit intégré, au milieu, sans court-circuiter ses broches.[GIA, 00]

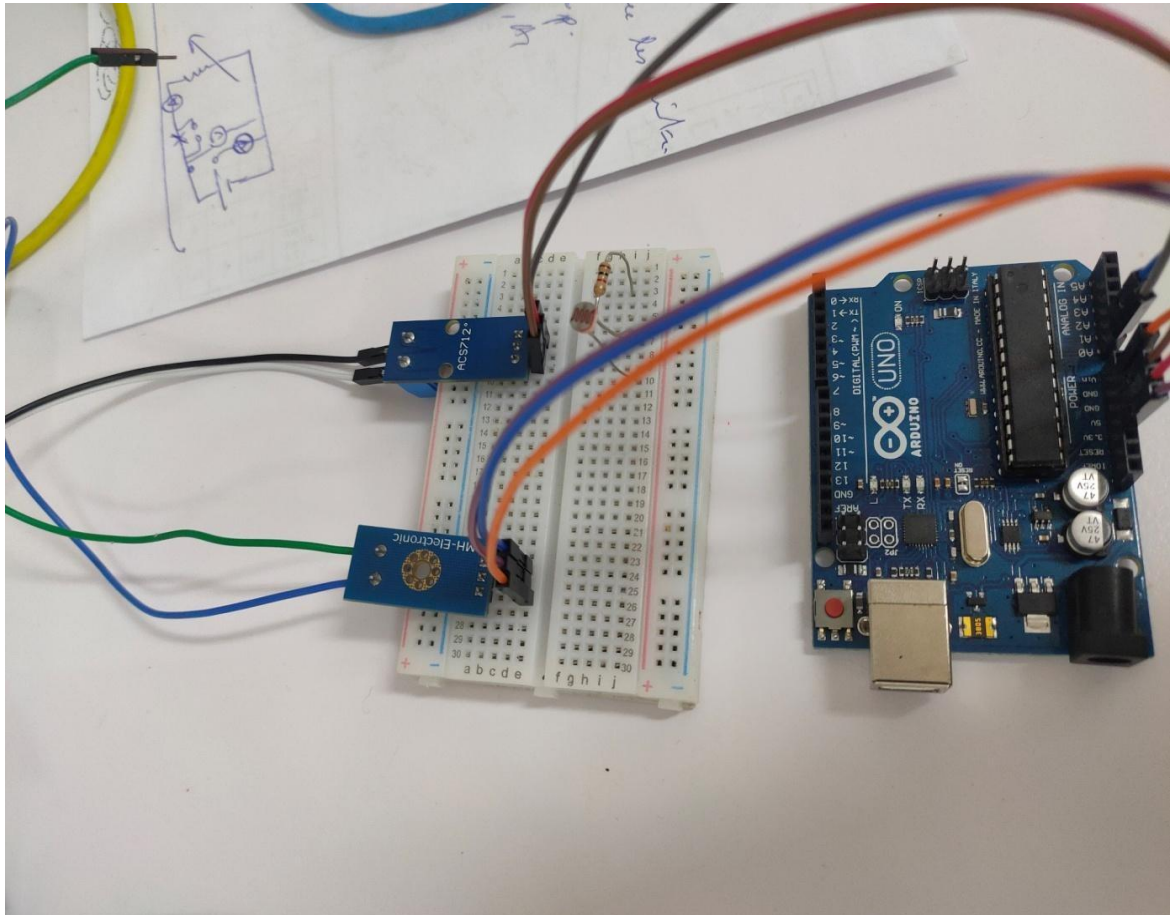


Figure III.46 : La plaquette d'essai.

1.3. La Metrix ou Multimètre (Voltmètre/ Ampèremètre) :

Un multimètre (parfois appelé contrôleur universel) est un ensemble d'appareils de mesures électriques regroupés en un seul boîtier¹, généralement constitué d'un voltmètre, d'un ampèremètre et d'un ohmmètre. Les fonctions voltmètre et ampèremètre sont disponibles en continu et en alternatif.

1.3.1. Description :

Le choix du type de mesure (de l'instrument), du calibre ou échelle de mesure se fait généralement à l'aide d'un commutateur rotatif, des boutons poussoirs peuvent commander des fonctions supplémentaires. Les multimètres les plus récents, souvent les plus simples d'emploi, choisissent automatiquement le bon mode et le bon calibre.

D'autres fonctions de mesure peuvent être disponibles selon le degré de sophistication du multimètre :

- test de continuité avec bipteur, appelé familièrement bipmètre ;
- amplification pour mesurer les très basses tensions et les résistances élevées ;
- mesure de la capacité d'un condensateur ou d'un circuit capacitif ;

- mesure de l'inductance d'une bobine ou d'un circuit inductif (self) ;
- mesure de température, avec l'aide d'une sonde extérieure ;
- testes de semi-conducteur discret : diodes, gain des transistors (hfe);
- mesure de fréquence de signaux électriques ;
- mesure des pics (haut et bas) de tension (peak hold).

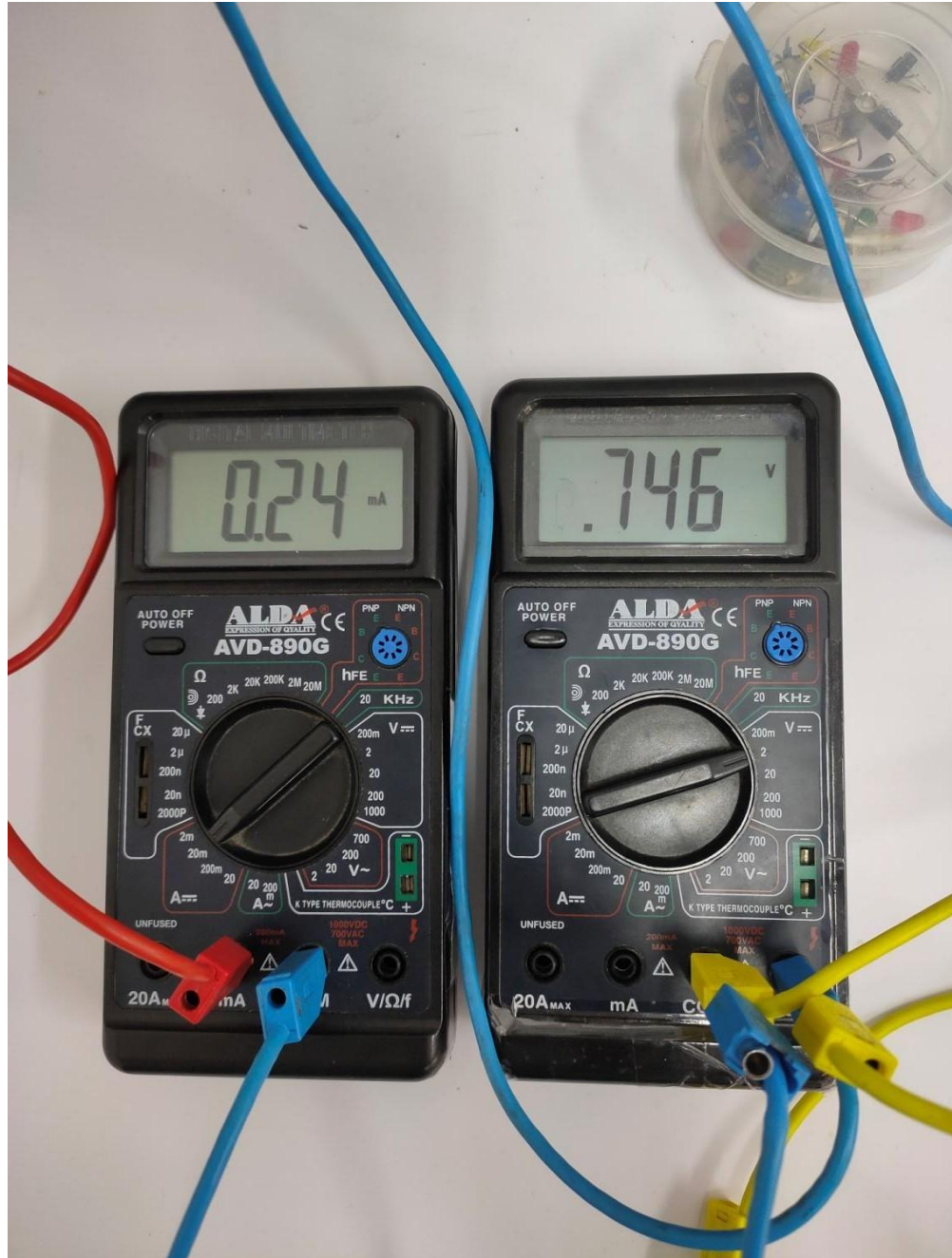


Figure III.47: Multimètres utilisé (Voltmètre à droite/ Ampèremètre à gauche).

1.4. Le Générateur de courant (GPV) :

Le terme d'alimentation électrique désigne un ensemble de systèmes capables de fournir de l'électricité aux industries, appareils électriques fonctionnant avec cette énergie. Plus spécifiquement, l'alimentation électrique est l'ensemble des équipements électriques qui assure le transfert du courant électrique d'un réseau

électrique pour le fournir, sous les paramètres appropriés (puissance, tension) de façon stable et constante à un ou plusieurs consommateurs et ce dans des conditions de sécurité généralement réglementées.

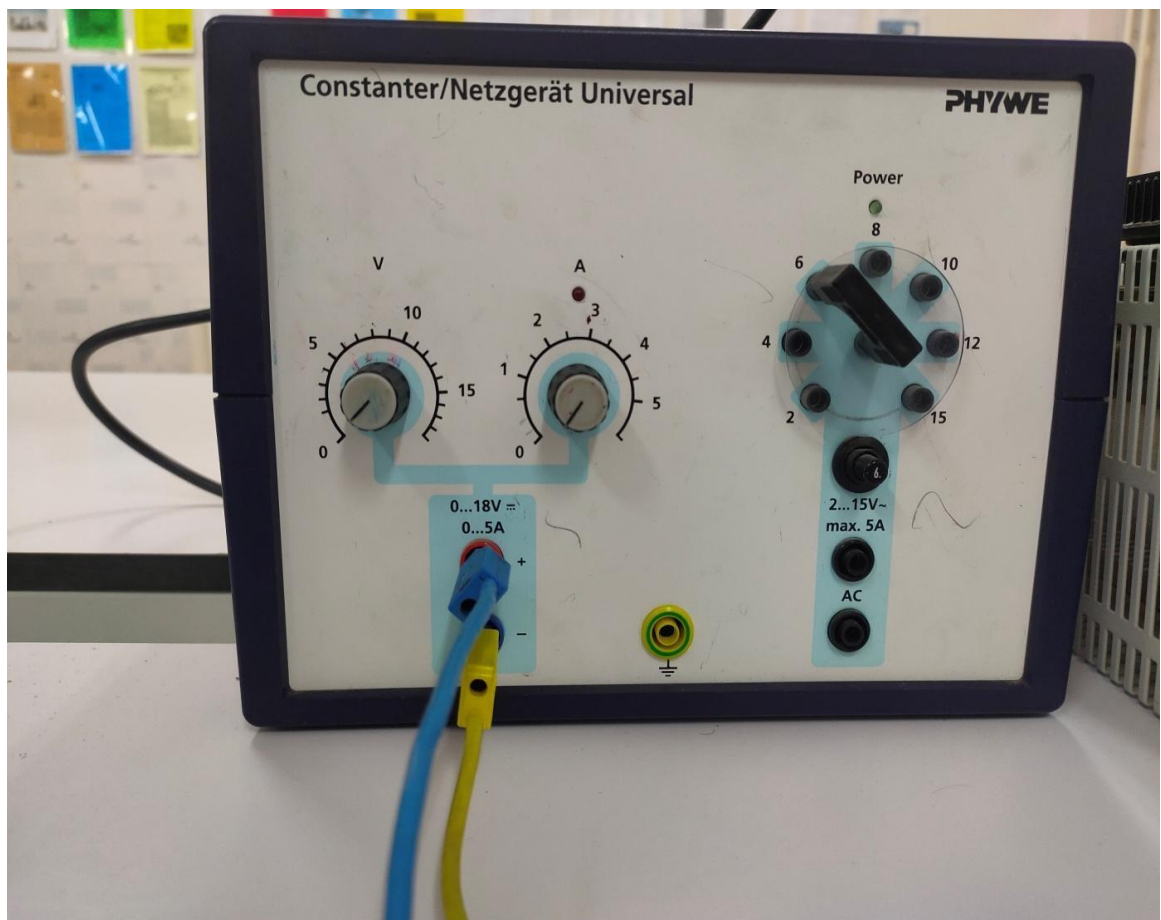


Figure III.48: Alimentation électrique en laboratoire ; ce périphérique compensât un panneau solaire.

1.4.1. Alimentation de laboratoire :

Dans un atelier ou un laboratoire, une alimentation de précision, sert à effectuer des mesures, des tests, des dépannages. Ces alimentations de laboratoire transforment, redressent et régulent les tensions ainsi que les courants de sorties, de sorte que l'on puisse effectuer des mesures sans détériorer les éléments à tester, que ce soient des composants, des circuits, ou des sous-ensembles complets.

1.5. Rhéostat bobiné :

1.5.1. Définition :

Un rhéostat est une résistance électrique réglable qui, intercalée en série dans un circuit, permet d'en modifier l'intensité du courant¹. Il est généralement constitué d'une résistance variable dimensionnée de manière à supporter l'intensité maximale du courant devant la traverser

1.5.2. Description :

Pour les applications de moyenne puissance ($> 1 \text{ W}$), le rhéostat est constitué d'un fil résistif enroulé autour d'un isolant semi-circulaire, et d'un palpeur, élément conducteur mobile (en translation), qui peut faire contact avec n'importe quelle spire de l'enroulement. On règle la résistance en déplaçant le palpeur le long des spires, par

l'intermédiaire d'un curseur (palpeur en translation rectiligne) ou d'un bouton (palpeur tournant).

1.5.3. L'utilisation :

Les rhéostats sont utilisés pour le réglage de puissance des moteurs à courant continu, les postes de soudage ou les générateurs électriques (jusqu'à des puissances de quelques milliers de W).

On évite de les utiliser de manière permanente, pour régler le courant dans un dispositif nécessitant une grande puissance, parce qu'ils entraînent beaucoup de pertes d'énergie sous forme thermique en raison de l'effet Joule.

On leur préfère aujourd'hui les convertisseurs à découpage, comme les hacheurs ou les gradateurs.

Pour les petites puissances, les dispositifs à trois bornes constitués d'une résistance et d'un palpeur glissant, généralement appelés potentiomètres, peuvent remplir cette fonction.

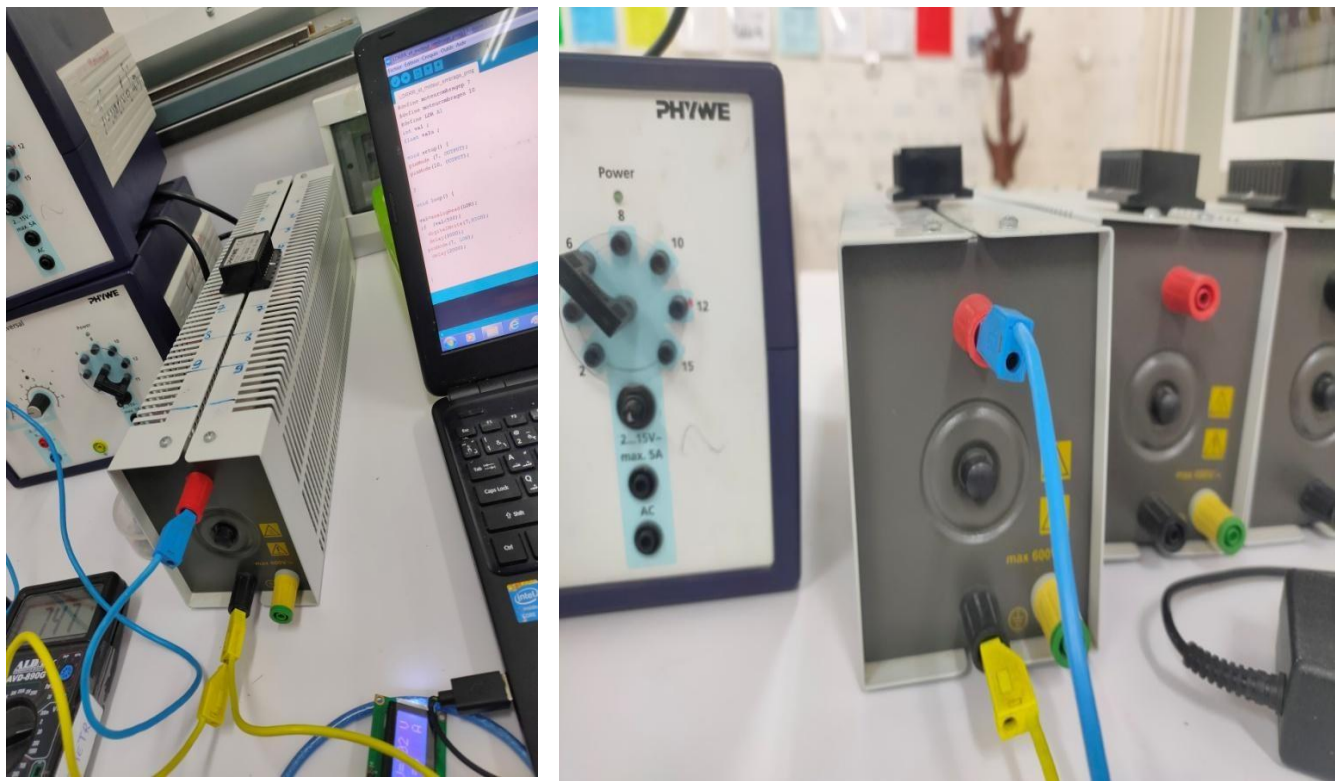


Figure III.49: Rhéostat bobiné.

Référence et Bibliographie

- 1- <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/schema-panneau-photovoltaïque.html>
- 2- <http://www.lumensol.fr/sites-isoles-et-installation-photovoltaïque-autonome.html>
- 3- <https://energieplus-lesite.be/concevoir/photovoltaïque/predimensionner-l-installation/>
- 4- <https://www.comptoirelien.fr/schemas-de-branchement/index.html>
- 5- <https://www.ef4.be/fr/archives/energies-renouvelables/solaire-photovoltaïque/fonctionnement.html>

- 6- <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21854/1/Conception%20et%20R%C3%A9alisation%20d%E2%80%9FUn%20Traceur.pdf>
- 7- <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/21755/1135.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 8- <https://www.arduino.cc/en/software>
- 9- <https://www.lumensol.fr/>
- 10- https://www.cder.dz/download/Art12-4_6.pdf

- 11- https://www.unilim.fr/pages_perso/valerie.madrangas/Transistor-effet-champ.pdf
- 12- <https://www.f-legrand.fr/scidoc/docimg/sciphys/electro/mosfet/mosfet.html>
- 13- H. KAMELIA, "Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative," Mémoire Magister en Electrotechnique, Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou, 2012.
- 14- B. B. Mounir and K. Mahdi, "Etude et simulation d'une chaîne de production photovoltaïque," Mémoire Master en Electrotechnique, Université Badhi Mokhtar - Annaba, 2018
- 15- N. Hamid, "Modélisation et simulation du générateur photovoltaïque et de l'onduleur," Mémoire Master en Electrotechnique, Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira, 2016.
- 16- L. Turkiya and R. Sihem, "Conception d'un testeur intelligent de panneaux photovoltaïque," Mémoire Master en Electronique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019.
- 17- S. Mohammed, "Détermination des paramètres, performances et étude de la dégradation des modules photovoltaïques en milieu saharien," Thèse doctorat en Sciences Physiques, Université Aboubakr Belkaid - Tlemcen, 2011.
- 18- http://photovoltaïque.guidenr.fr/II_1_constitution-module-photovoltaïque.php. [Accessed 27 10 2020].
- 19- B. BENDIB, "Une nouvelle approche de modélisation et de commande des systèmes photovoltaïques autonomes," Thèse doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas - Setif, 2017
- 20- A. Said and Z. Maci, "Identification et caractérisation d'un système photovoltaïque," Mémoire Master en Génie Electrique, Université Abderrahmane Mira - Bejaia, 2012.

ملخص:

يعد توصيف الجهاز الكهروضوئي عملية مهمة للغاية للكشف عن العوامل التي تحكم جودة تشغيله. يتم ذلك عن طريق استخراج المعلمات المميزة الرئيسية ومقارنتها مع تلك الموجودة في الورقة الفنية الخاصة بها. وبالتالي، سيتم اكتشاف خطأ أو محاولة تدهور غير متوقعة بسهولة وتحديد موقعها وصيانتها إن أمكن أو استبدال الوحدة التالفة إذا لزم الأمر. يقدم العمل الحالي بعض تقنيات التوصيف الكهربائي للألواح الشمسية الكهروضوئية، وذلك من خلال تغيير الحمل بين أطرافها مع الاكتساب الفوري لنقاط تشغيل الجهد والتيار. سيكون منحنى $I-V$ المنحني ممكناً من خلال استخراج المعلمات المميزة المختلفة، ولا سيما الحد الأقصى للطاقة $PMPP$ و ISC الحالي للدائرة القصيرة و VOC بجهد الدائرة المفتوحة لذلك سيتم حساب المعلمة FF بسهولة والتي توفر معلومات عن تحليل تقييم الوحدة.

الكلمات المفتاحية: التوصيف، السيليسيوم غير متبلور، السيليسيوم البلورية، الألواح الشمسية الكهروضوئية، الخلايا الشمسية. IV.

..

Abstract :

The **characterization** of photovoltaic devices is an important process for revealing the quality of its operation. This by extracting the main characteristic parameters, and comparing them with those present in its Datasheet. Thus, a **fault** or an unexpected **degradation** attempt will be easily detected, located and maintained if possible or replace the damaged module if necessary. The present work presents some technique of electrical characterization of **photovoltaic solar panels**, and this by a variation of a load between its terminals with instantaneous acquisition of the voltage-current operating points. The drawing of **I-V curve** will be possible with the various characteristic parameters extracted from the curve, in particular the maximum power **PMPP**, the short-circuit current **ISC** and the open circuit voltage **VOC**, thus the parameter **FF** will be easily calculated which provides information on the module evaluation.

Keywords: characterization, amorphous silicon, crystalline silicon, solar cell, photovoltaic solar panels, I-V curve ,.

Résumé :

La caractérisation d'un dispositif photovoltaïque est une démarche très importante pour la révélation des facteurs gouvernant sa qualité de fonctionnement. Ceci par l'extraction des principaux paramètres caractéristique, et les compare avec ceux présents dans sa fiche technique. Ainsi, un défaut ou une tentative de dégradation inattendue sera facilement détecté, localisé et maintenu si possible ou le remplacer le module détérioré si nécessaire. Le présent travail présente quelque technique de caractérisation électrique des panneaux solaire photovoltaïque, et ceci par la variation d'une charge entre ses bornes avec l'acquisition instantanée des points de fonctionnement Tension-Courant. Le tracé de la courbe $I-V$ sera possible avec l'extraction des différents paramètres caractéristiques, notamment la puissance maximale $PMPP$, le courant de court-circuit ISC et la tension de circuit ouvert VOC , ainsi le paramètre FF sera facilement calculé ce qui renseigne sur l'évaluation de module analysé.

Mots clés : caractérisation, silicium amorphe, silicium cristallin, panneaux solaire photovoltaïque, courbe $I-V$, cellule solaire.