

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Electrique



Mémoire  
MASTER ACADEMIQUE  
Domaine : Sciences et technologies  
Filière : Electrotechnique  
Spécialité : Machines électriques  
Présenté par :  
BOUZEKRI imadeddine    ZEGRI lahcen  
**Thème :**

## **La réalisation d'un chargeur de batterie avec une installation solaire**

Soutenu publiquement  
Le : 06/06/2024

Devant le jury :

|                                     |     |                      |             |
|-------------------------------------|-----|----------------------|-------------|
| M <sup>r</sup> ABBASSI Abderrahmane | MCA | Président            | UKM Ouargla |
| M <sup>r</sup> KOURAS Sid-Ali       | MCA | Encadreur/rapporteur | UKM Ouargla |
| M <sup>r</sup> BENAOUADJ Mahdi      | MCB | Examineur            | UKM Ouargla |

**Année universitaire 2023/2024**

## ***Dédicace***

Je dédie ce travail à mes parents, que Dieu ait leur âme, à mes frères, à tous mes amis, à tous mes collègues, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

***BOUZEKRI imadeddine***

## ***Dédicace***

Je consacre ce travail modeste à : Ma chère mère, Mon cher père, que Dieu bénisse son esprit.  
Mon cher groupe de frères et sœurs, Mon entourage, ainsi que tous mes amis.

***ZEGRI lahcene***

## Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier **ALLAH** qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage de finir le mémoire.

Nous tenons à remercier vivement **Dr. COURAS sidali** notre Rapporteur qui a fourni des efforts énormes, par ses informations et ses conseils.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude spéciale à **REZOUG Med Redha**, professeur à l'Université de Ouargla, pour son expertise scientifique, ses conseils, sa disponibilité et sa qualité humaine lors de l'encadrement de cette thèse.

Nous tenons à remercier chaleureusement le président et les membres du jury d'avoir admis à examiner et à évaluer notre travail. Nous exprimons également notre gratitude envers tous les enseignants du département de Génie Électrique pour leur appui et leurs recommandations tout au long de notre cheminement.

Nous exprimons également notre gratitude sincère envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à la réalisation de ce mémoire.

## Liste de symboles :

$I_{ph}$  : Photo - courant ( A)

$I_S$ : Courant de saturation de la diode en inverse ( A)

$V_{PV}$ : Courant de saturation de la diode en inverse ( A)

$I_{pv}$ : Courant généré par la cellule ( A)

$R_s$ : Résistance série de la cellule ( $\Omega$ )

$R_p$ : Résistance parallèle ( $\Omega$ )

$n$ : Facteur de la qualité de la cellule

$k$ : Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J / K )

$q$ : Charge de l'électron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C)

$T$ : Température de fonctionnement

$K_1$ : Coefficient de la température

$T_r$ : Température de référence de la cellule

$G_r$ : Irradiation solaire de référence  $G_r = 1000 \text{ W} / \text{m}^2$

$G$ : Irradiation solaire de fonctionnement ( $\text{W} / \text{m}^2$ )

$I_{cc}$ : Courant de court circuit ( A)

$V_{co}$ : Tension de circuit ouvert ( V )

$V_{opt}$ : Tension optimale ( V )

$I_{opt}$ : Courant optimal ( A)

$n_s$ : Nombre de cellules en série

$n_p$ : Nombre de cellules en parallèle

$P_{max}$ : Puissance maximale ( W )

$\eta_{pv}$ : Rendement photovoltaïque

$V_{bat}$ : Tension aux bornes de la batterie ( V )

$V_R$ : Tension de régulation de la batterie ( V )

$V_{LVD}$ : Tension minimale de la batterie ( V )

$\alpha$ : Rapport cyclique

BMS: Battery Management System

$Q$ : est la capacité de stockage de la batterie, en mAh ou en Ah

$I$ : est le courant débité en mA ou en A.

$t$ : est le temps en heure que la batterie met pour une décharge complète.

$k$ : est la constante de Peukert pour une technologie de batterie donnée.

$SOC(t)$ : état de charge de la batterie à l'instant  $t$ .

$SOC_0$ : état de charge à l'état initial.

$I_b$ : Le courant de décharge de la batterie.

$\int_{t_0}^t I_b \cdot dt$ : représente la charge délivrée par la batterie à l'instant  $t$  (charge actuelle).

$Q$ : est la charge nominale de la batterie.

$E$ : est la tension sans charge (V)

$E_0$ : est la tension constante de la batterie (V)

$K$ : est la tension de polarisation (V)

$A$ : est l'amplitude de la zone exponentielle (V)

$B$ : est l'inverse de la constante de temps de la zone exponentielle (Ah)<sup>-1</sup>

## Liste de table

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1: Caractéristiques des batteries rechargeables actuellement utilisées..... | 20 |
| Tableau III.2: composants électronique utilisés .....                                 | 40 |

## Liste de figure

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1 : Effet photovoltaïque .....                                                                             | 4  |
| Figure I.2 : Cycle photovoltaïque.....                                                                              | 5  |
| Figure I.3:Types des cellules photovoltaïques .....                                                                 | 6  |
| Figure I.4 : Caractéristique Résultante d'un groupement en parallèle de np cellules identiques.....                 | 6  |
| Figure I.5:Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....                                                     | 7  |
| Figure I.6:Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque.....                                          | 8  |
| Figure I.7:Zones de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque $G=1000\text{w/m}^2$ , $T=25\text{C}^\circ$ ..... | 9  |
| Figure I.8: Courbe caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque .....                               | 10 |
| Figure I.9:Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension à $T=25\text{C}^\circ$ .....           | 10 |
| Figure I.10:Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension à $T=25\text{C}^\circ$ .....        | 11 |
| Figure I.11:Influence de la température sur la caractéristique courant-tension à $G=1000\text{W/m}^2$ .....         | 11 |
| Figure I.12:Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension à $G=1000\text{W/m}^2$ .....       | 12 |
| Figure I.13:Schéma d'une installation photovoltaïque autonome.....                                                  | 13 |
| Figure I.14:Batteries solaires [1].....                                                                             | 14 |
| Figure I.15:Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b).....                         | 15 |
| Figure I.16:Démarche de l'algorithme de charge à trois étapes .....                                                 | 16 |
| Figure I.17:L'effet de la température sur la résistance effective totale .....                                      | 18 |
| Figure II.18:La carte Arduino UNO.....                                                                              | 25 |
| Figure II. 19:La carte Arduino Mega. ....                                                                           | 27 |
| Figure 20:relais.....                                                                                               | 32 |
| Figure 21:BMS Protection Board For 4 Pack 18650. ....                                                               | 33 |
| Figure 22 : Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus.....                                              | 40 |
| Figure 23:Photo présentant la phase de charger .....                                                                | 46 |
| Figure 24 :régulateur de tension à affichage LED .....                                                              | 47 |
| Figure III.25:vue d'ensemble du système avec panneau PV .....                                                       | 49 |
| Figure III.26: courbes de charge (Tension et Current).....                                                          | 50 |
| Figure III.27: courbes de puissance.....                                                                            | 51 |
| Figure III.28: courbes voltage et courant .....                                                                     | 51 |
| Figure III.29:courbes puissance .....                                                                               | 52 |
| Figure III.30 : courbes courant tension de 3 cellules fonction du temps.....                                        | 52 |

## Sommaire :

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Chapitre I : .....                                                               | 2         |
| <b>PARTIE I : LES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE.....</b>                               | <b>3</b>  |
| I.1 Introduction : .....                                                         | 3         |
| I.2 Histoire de l'électricité photovoltaïque : .....                             | 3         |
| I.3 Effet photovoltaïque : .....                                                 | 3         |
| I.4 Cycle photovoltaïque : .....                                                 | 4         |
| 1.5 Les types de cellules photovoltaïques : .....                                | 5         |
| 1.5.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque : .....                        | 6         |
| 1.6.1 La caractéristique courant-tension : .....                                 | 8         |
| 1.7 Paramètres électriques de la cellule photovoltaïque : .....                  | 12        |
| <b>PARTIE II : LES BATTERIES .....</b>                                           | <b>13</b> |
| I.10 Le cycle de chargement des batteries: .....                                 | 15        |
| 1. Capacité de stockage de la Batterie : .....                                   | 17        |
| Chapitre II : .....                                                              | 22        |
| <b>Le dispositif programmable ARDUINO .....</b>                                  | <b>22</b> |
| Le dispositif programmable ARDUINO .....                                         | 23        |
| Introduction : .....                                                             | 23        |
| 1. Définition du module Arduino : .....                                          | 23        |
| 1.1 Les gammes de la carte Arduino : .....                                       | 24        |
| 1.3 La constitution de la carte Arduino UNO : .....                              | 26        |
| 1.4 Aperçu de la carte Arduino Mega 2560, la grande sœur de la carte Uno : ..... | 27        |
| 2. Partie matérielle : .....                                                     | 28        |
| 2.1 Réalisation d'affichage : .....                                              | 28        |
| 3. Conclusion : .....                                                            | 33        |
| Chapitre III : .....                                                             | 35        |
| Diagramme de surveillance de la tension des cellules : .....                     | 37        |
| Conclusion : .....                                                               | 53        |
| Conclusion générale : .....                                                      | 54        |
| Référence : .....                                                                | 55        |

## Résumé :

L'énergie photovoltaïque est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes, car elle permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Elle fonctionne en convertissant l'énergie solaire en énergie électrique, et ce système est souvent utilisé pour un certain nombre de raisons, dont les plus importantes sont le changement climatique et la nature de la charge.

Ce système est souvent utilisé pour un certain nombre de raisons, dont les plus importantes sont le changement climatique et la nature de la charge. Le changement climatique et la nature de la charge nécessitent un suivi régulier du point de fonctionnement optimal. Du point de fonctionnement optimal. A cette fin, la théorie de la perturbation et de l'effet de serre peut être utilisée dans différentes conditions de fonctionnement. Le système est simulé dans l'environnement virtuel du logiciel « ISIS Proteus » afin de vérifier le programme du microcontrôleur, développé dans le cadre de l'étude de faisabilité. Programme de microcontrôleur, développé dans l'environnement Arduino IDE, qui contrôle les différents états de la batterie. Qui contrôle les différents états de la batterie qui peuvent se produire, tout en contrôlant l'état de la batterie. Transistor MOSFET qui relie la source d'alimentation à la batterie.

## Mot clé :

MPTT, GPV, perturbation et observation

## ملخص:

تعتبر الطاقة الكهروضوئية من أهم مصادر الطاقة المتجددة لأنها تعمل عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وغالباً ما يستخدم هذا النظام لعدد من الأسباب أهمها تغير المناخ وطبيعة الحمل وتغير المناخ وطبيعة الحمل، مما يتطلب مراقبة منتظمة للمراقبة المثلى. لهذا الغرض، نظرية الاضطراب وتحت ظروف تشغيل مختلفة. تتم محاكاة النظام في البيئة الافتراضية لبرنامج "ISIS Proteus" من أجل التحقق من برنامج المتحكم الدقيق، الذي تم تطويره في بيئة Arduino IDE، والذي يتحكم في البطارية المختلفة التي تتحكم في حالات البطارية المختلفة التي يمكن أن تحدث، وفي الوقت نفسه ترانسستور MOSFET الذي يربط مصدر الطاقة بالبطارية.

## كلمة مفتاحية :

MPTT و GPV والاضطراب والمراقبة

## Abstract :

Photovoltaic energy is one of the most important sources of renewable energy because it works by converting solar energy into electrical energy, and this system is often used for a number of for a number of reasons, the most important of which are climate change and the nature of the load. climate change and the nature of the load, requiring regular monitoring of the optimal . For this purpose, the theory of perturbation and under different operating conditions. The system is simulated in the virtual environment of the "ISIS Proteus" software in order to verify the microcontroller programme, developed in the Arduino IDE environment, which controls the different battery which controls the different battery states that can occur, while at the same time MOSFET transistor that connects the power source to the battery.

## Keyword:

MPTT, GPV, disruption and observation

# **Introduction générale**

## **Introduction :**

Au cours des dernières décennies, la consommation d'électricité a connu une augmentation significative en raison de l'évolution de l'industrie, du transport et des moyens de communication. La production mondiale d'électricité repose sur des énergies fossiles épuisables telles que le charbon, le gaz naturel et l'uranium. Cette énergie est de plus en plus demandée, ce qui met en péril les réserves de cette énergie pour les générations futures, sans compter son impact négatif sur l'environnement qui menace notre santé.

La nécessité de trouver des alternatives énergétiques renouvelables naturellement n'a pas d'effet néfaste sur l'environnement, alors que seule l'énergie solaire répond actuellement à ces critères. Le rayonnement solaire est transformé en énergie électrique de type continu directement utilisable grâce à l'énergie solaire photovoltaïque. L'énergie est convertie par une cellule photovoltaïque (PV) qui est constituée de matériaux semi conducteurs, d'où l'appellation de cette conversion « l'effet photovoltaïque ». La connexion série/parallèle des cellules constitue un générateur photovoltaïque avec une caractéristique courant-tension (I-V) qui a un seul point de puissance maximale.

Les caractéristiques tension-courant de GPV sont non linéaires et dépendent au niveau d'éclairement solaire et de la température de la cellule ainsi que de la charge à laquelle le générateur est associé ; c'est pour cela que le panneau solaire ne peut générer sa puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement  $V_{opt}$ ,  $I_{opt}$ , afin de s'adapter mieux à la variation des conditions météorologiques et dans le but d'améliorer le rendement du générateur photovoltaïque. Différentes méthodes étaient utilisées pour maximiser l'efficacité du système photovoltaïque en intégrant un étage d'adaptation entre le générateur et la charge continue, en utilisant un convertisseur DC/DC commandé par la commande MPPT (maximum power point tracking) pour identifier le point de puissance maximal (PPM). La variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance est un aspect à prendre en compte par tous les algorithmes MPPT. Différentes techniques MPPT sont disponibles pour un système photovoltaïque, comme la méthode de la logique floue, le réseau de neurones artificiels, la tension à circuit ouvert fractionnel et le courant de court-circuit fractionnel. Cependant, les deux techniques les plus fréquemment utilisées sont la perturbation et l'observation (P&O) et la conductance incrémentale. Bien que ces deux techniques présentent leurs avantages et inconvénients, leur principal avantage réside dans leur simplicité et leur facilité de mise en œuvre.[1]

## **Chapitre I :**

# **Le concept de l'énergie solaire photovoltaïque et de son stockage.**

# **PARTIE I : LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUE**

## **I.1 Introduction :**

Le changement climatique, la croissance démographique et le développement durable, poussent les états à investir dans des solutions énergétiques innovantes et renouvelables est essentiel pour bâtir un avenir prospère et équitable pour tous. Cela les incite à se tourner vers des sources d'énergie renouvelables et respectueuses de l'environnement, notamment l'énergie solaire.[2]

L'électricité photovoltaïque est générée par la conversion de l'énergie solaire en électricité continue au moyen de cellules semi-conductrices. Ce phénomène est connu sous le nom d'effet photovoltaïque. Cependant, l'énergie solaire n'est pas disponible la nuit. Pour pallier ce problème, les systèmes photovoltaïques autonomes sont équipés de batteries qui stockent l'électricité pour une utilisation ultérieure.

Ce chapitre se consacre à la compréhension du système photovoltaïque. Nous aborderons divers aspects, notamment l'historique des énergies photovoltaïques, les principes de fonctionnement et les caractéristiques associées. De plus, nous examinerons les différents types de cellules solaires et étudierons leur modification à l'aide de circuits électriques équivalents. Enfin, nous discuterons de l'impact des changements climatiques sur la production d'énergie solaire et présenteront un système photovoltaïque autonome avec des batteries de stockage, en expliquant les notions de base relatives aux batteries solaires et à leurs caractéristiques électriques.

## **I.2 Histoire de l'électricité photovoltaïque :**

Le terme « photovoltaïque » trouve son origine dans le mot grec « photos », signifiant lumière, et du nom de famille du physicien italien Alessandro Volta, qui a découvert la pile électrique en 1800. C'est Alexandre Edmond Becquerel qui, en 1839, mit en évidence le principe de conversion de la lumière en électricité. Il avait observé que certains matériaux produisaient des étincelles lorsqu'ils étaient exposés à la lumière. À partir de ces observations, il démontra qu'il s'agissait d'une conversion directe de la lumière en électricité.[3]

## **I.3 Effet photovoltaïque :**

Le principe de l'effet photovoltaïque réside dans la transformation de l'énergie transportée par les photons de lumière lorsqu'ils interagissent avec des matériaux semi-conducteurs spécialement traités, en une énergie électrique capable de générer un courant d'électrons à travers

un circuit externe. Une cellule photovoltaïque, également connue sous le nom de photopile, est constituée de deux semi-conducteurs juxtaposés, l'un dopé de type P et l'autre dopé de type N. À la jonction de ces deux couches se crée un champ électrique, présent même en l'absence de lumière. Lorsque les photons, ou particules de lumière, atteignent la cellule, ils transfèrent leur énergie aux atomes du matériau semi-conducteur. Cela entraîne le passage des électrons de la bande de valence à la bande de conduction, formant ainsi des paires d'électrons-trous. Sous l'influence de la barrière de potentiel, ces paires se séparent et s'accumulent respectivement sur les faces extérieures des zones P et N, créant ainsi une différence de potentiel et un courant électrique qui circule. [4]

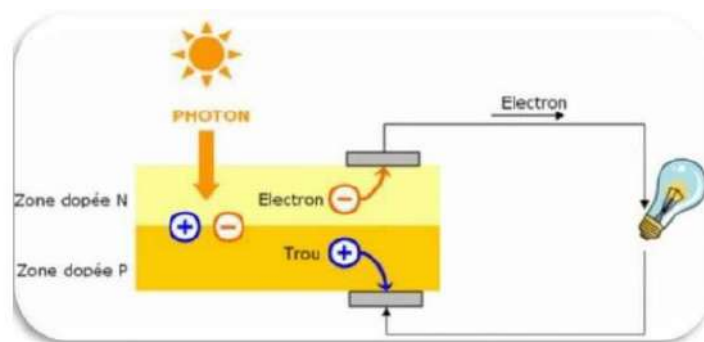


Figure I.1 : Effet photovoltaïque

#### I.4 Cycle photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque se compose de cellules photovoltaïques qui peuvent être connectées soit en série ou en parallèle afin d'obtenir les caractéristiques électriques souhaitées telles que la puissance, le courant et la tension.[5]

Le silicium, un matériau semi-conducteur représenté par le symbole Si et appartenant au groupe 14 du tableau périodique, est l'élément de base utilisé dans la fabrication des cellules photovoltaïques. Lorsque ces cellules sont exposées à la lumière, elles produisent de l'énergie électrique de type continu grâce à un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Le courant généré est proportionnel à l'intensité lumineuse incidente. Cependant, la tension de circuit ouvert produite par une cellule photovoltaïque est généralement comprise entre 0,5V et 0,6V, et sa puissance maximale est d'environ 1,5W. Cette puissance n'est souvent pas suffisante pour alimenter des charges nécessitant une puissance élevée. Afin de répondre aux besoins de telles charges, il est nécessaire d'associer plusieurs cellules photovoltaïques, soit en série ou en parallèle, pour former ce qu'on appelle un "module photovoltaïque". De même, l'assemblage de plusieurs

modules forme ce qu'on appelle un "panneau solaire", et la réunion de plusieurs panneaux sur un même site constitue ce qu'on appelle un "champ photovoltaïque".[6]

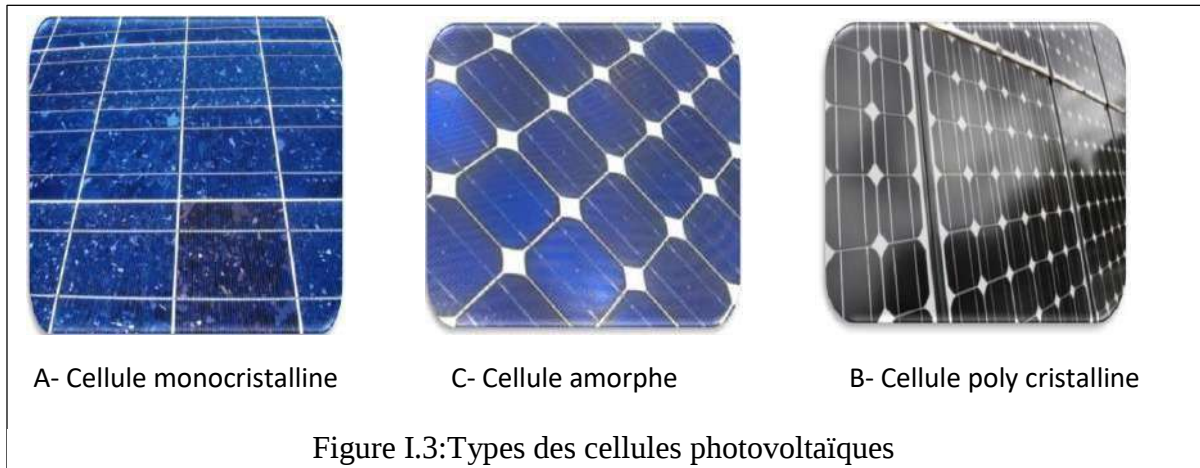


Figure I.2 : Cycle photovoltaïque

### 1.5 Les types de cellules photovoltaïques :

Trois principaux types de cellules solaires sont disponibles: les cellules monocristallines, les cellules polycristallines, et les cellules amorphes. Chaque type possède son propre niveau d'efficacité, mais malgré leurs différences, leur rendement global reste modeste.

Les cellules monocristallines affichent le meilleur rendement, mais leur coût est élevé en raison de leur processus de fabrication complexe. Les cellules polycristallines, quant à elles, sont moins chères à produire en raison d'une conception plus simple, mais leur rendement est inférieur. Les cellules amorphes, bien qu'elles aient un rendement faible, sont peu coûteuses à fabriquer. Elles sont couramment utilisées dans des produits de petite taille, tels que les calculatrices solaires et les montres.[7]



### 1.5.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque :

La faible puissance générée par une seule cellule photovoltaïque nécessite l'association de plusieurs cellules en série ou en parallèle. Dans cette section, nous examinerons l'impact de cette association sur la tension et le courant fournis par le panneau solaire.[8]

#### a) Groupement de cellules en série

Dans un groupement en série, les cellules sont parcourues par le même courant. La caractéristique résultante du groupement en série est obtenue en additionnant les tensions à courant donné. La figure (I.4) illustre la caractéristique résultante ( $I_{sc}$ ,  $V_{co}$ ) obtenue en associant en série (indices) un nombre  $n_s$  de cellules identiques ( $I_{cc}$ ,  $V_{co}$ ).

$$I_{psc} = n_p I_{cc} \quad (I.3)$$

$$V_{pco} = V_{co} \quad (I.4)$$

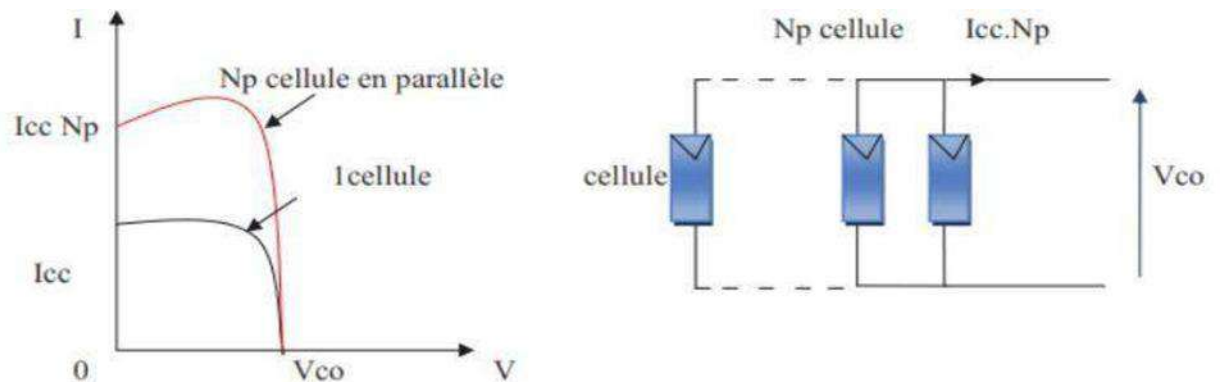


Figure I.4 : Caractéristique Résultante d'un groupement en parallèle de  $n_p$  cellules identiques

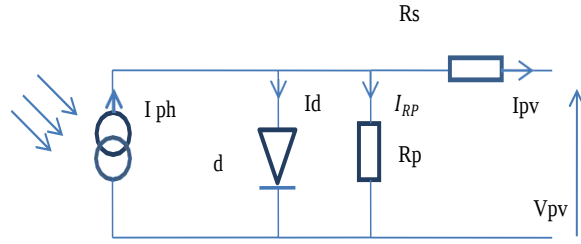


Figure I.5:Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

- Le courant traversant la diode est donné par :

$$I_d = I_s \times \left[ e^{\frac{q \times (V_{pv} + R_s \times I_{pv})}{nKT}} - 1 \right] \quad (1.5)$$

- Le courant traversant la résistance parallèle :

$$I_{Rp} = \frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{R_p} \quad (1.6)$$

- La formule du photo-courant :

$$I_{ph} = [I_{cc} + K_I \times (T - T_{ref})] \times \frac{G}{G_r} \quad (1.7)$$

- Le courant de sortie de la cellule PV est donné à partir de la loi des nœuds :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{Rp} \quad (1.8)$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \times \left[ e^{\frac{q \times (V_{pv} + R_s \times I_{pv})}{nKT}} - 1 \right] - \left( \frac{V_{pv} + R_s \times I_{pv}}{R_p} \right) \quad (1.9)$$

Où

$I_{ph}$ : Photo - courant (A) ;

$I_s$  : Courant de saturation de la diode en inverse (A) ;

$V_{pv}$ : Tension aux bornes de la cellule (V) ;

$I_{pv}$ : Courant généré par la cellule (A) ;

$R_s$ : Résistance série de la cellule ( $\Omega$ ) ;

$R_p$ : Résistance parallèle ( $\Omega$ ) ;

$n$  : Facteur de la qualité de la cellule ;

$K$  : Constante de Boltzmen ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$ ) ;

$q$  : Charge de l'électron ( $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

$T$  : Température de fonctionnement ( $^{\circ}\text{K}$ ) ;

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit (A) ;

$K_I$ : Coefficient de la température ;

$T_{ref}$ : Température de référence de la cellule (xk)  $T_{ref} \times 298\text{K}$  (25cx);

$G_r$ : Irradiation solaire de référence  $G_r = 1000 \text{ W/m}^2$  ;

$G$  : Irradiation solaire de fonctionnement ;

## 1.6 Caractéristiques du générateur photovoltaïque :

Le fabricant du panneau photovoltaïque fournit les caractéristiques électriques afin de prédire l'énergie qui sera fournie, qui se résument en le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert et l'intensité maximale. Dans ce qui suit, nous allons mettre en évidence la relation entre le courant, la tension et la puissance, ainsi que les zones de fonctionnement du GPV. [9]

### 1.6.1 La caractéristique courant-tension :

La difficulté de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute la plage de caractéristiques courant-tension représentée dans la figure (I.7) rend le panneau photovoltaïque une source de puissance.

La courbe typique d'une cellule photovoltaïque illustre la fluctuation du courant qu'elle génère en fonction de la tension aux bornes de la cellule, depuis le courtcircuit (tension nulle correspondant au courant maximum généré) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule) .

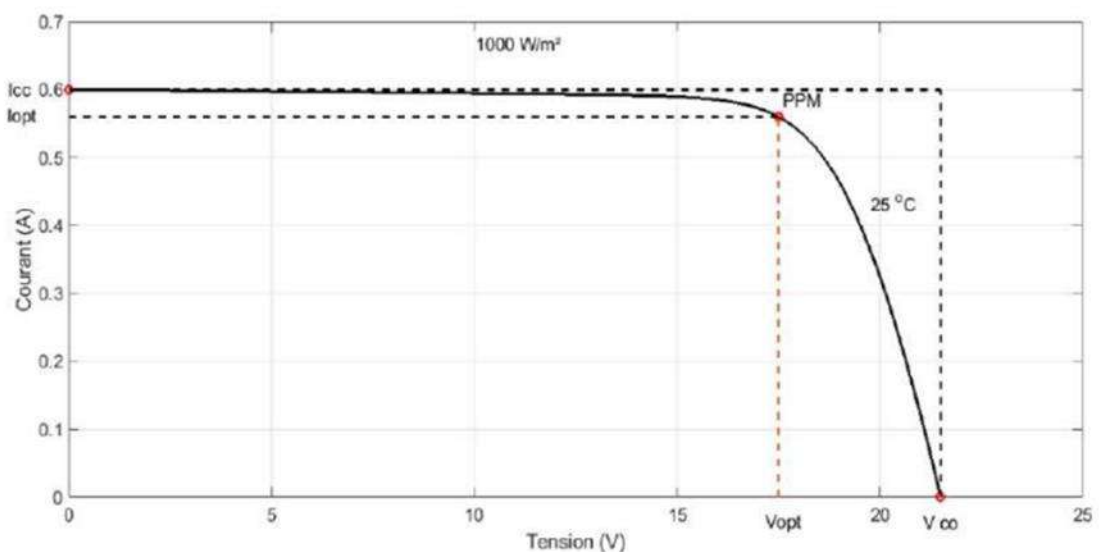


Figure I.6:Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque

### 1.6.2 Les zones de fonctionnement d'un module solaire:

La courbe de la caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque, dans les conditions normales d'éclairage et de température, est illustrée dans la figure (I.8). Le module PV fonctionne au point de rencontre de la caractéristique I-V du module et de la caractéristique I-V du module.

Spécification I-V de la charge.

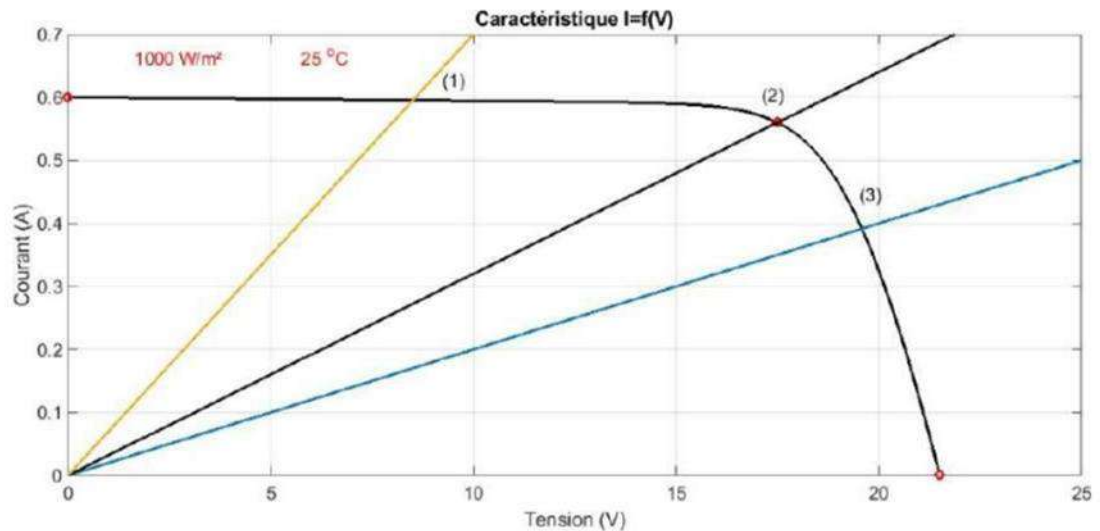


Figure I.7: Zones de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque  $G=1000\text{w/m}^2$ ,  $T=25\text{C}^\circ$

- Le courant demeure constant dans la zone (1), peu importe la variation de la tension. Le générateur photovoltaïque agit comme un générateur de courant dans cette région
- Le "coude" de la caractéristique est la zone intermédiaire entre les deux zones précédentes, et elle est la région privilégiée pour le fonctionnement
- Dans la zone (3), la tension est pratiquement constante, et le générateur peut être considéré comme un générateur de tension

### 1.6.3 Caractéristique puissance-tension :

La figure (I.9) illustre la relation entre la puissance et la tension d'un module solaire photovoltaïque. Le point de puissance maximale sépare la courbe en deux parties, ce qui signifie que la puissance diminue rapidement après ce point, ce qui nécessite le fonctionnement du GPV à proximité. Point essentiel pour obtenir un rendement optimal.

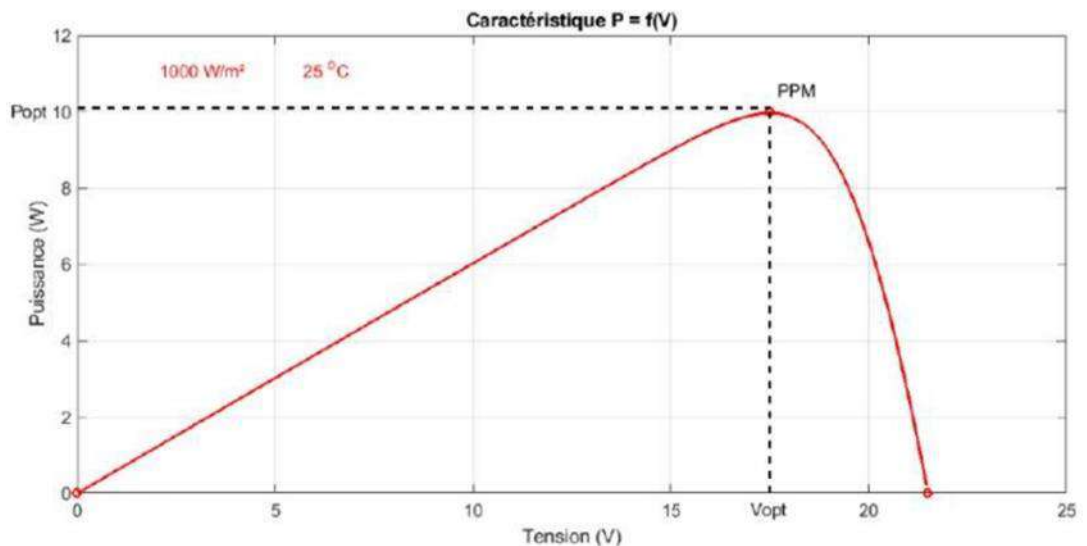


Figure I.8: Courbe caractéristique puissance-tension d'un module photovoltaïque

#### 1.6.4 Influence de la température et de l'éclairement :

La cellule photovoltaïque fonctionne en fonction de l'intensité de l'éclairage solaire et de la température de la cellule. Dans cette section, nous allons montrer comment les conditions météorologiques peuvent influencer le courant et la tension produites par le panneau solaire.

##### a) Influence de l'éclairement :

Les illustrations (I.10) et (I.11) illustrent comment l'éclairement affecte les caractéristiques courant-tension et puissance-tension pour une température constante de 25°C° et différentes valeurs d'éclairement (400w/m2, 600w/m2, 800w/m2, 1000w/m2). On observe que l'augmentation de l'éclairement solaire entraîne une augmentation du courant de court-circuit, tandis que la valeur de la tension de circuit ouvert varie très peu.

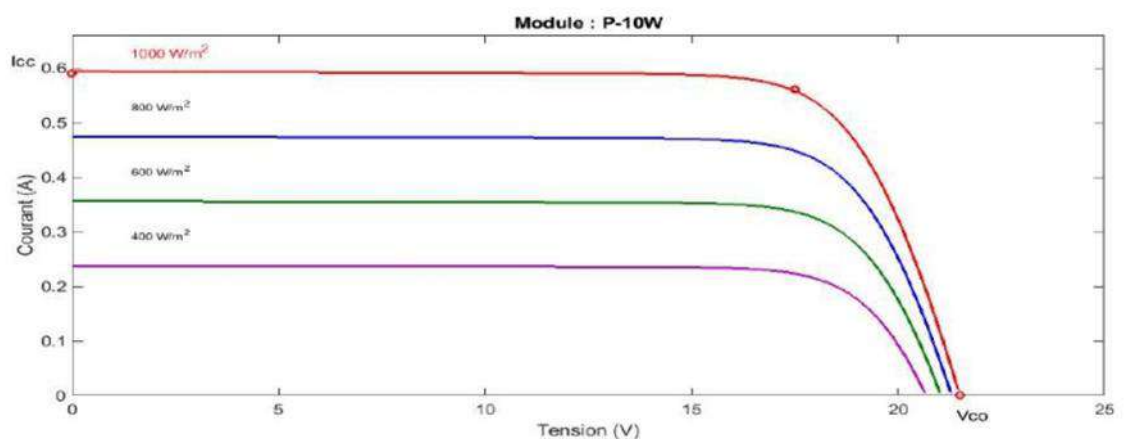


Figure I.9: Influence de l'éclairement sur la caractéristique courant-tension à T=25°C°

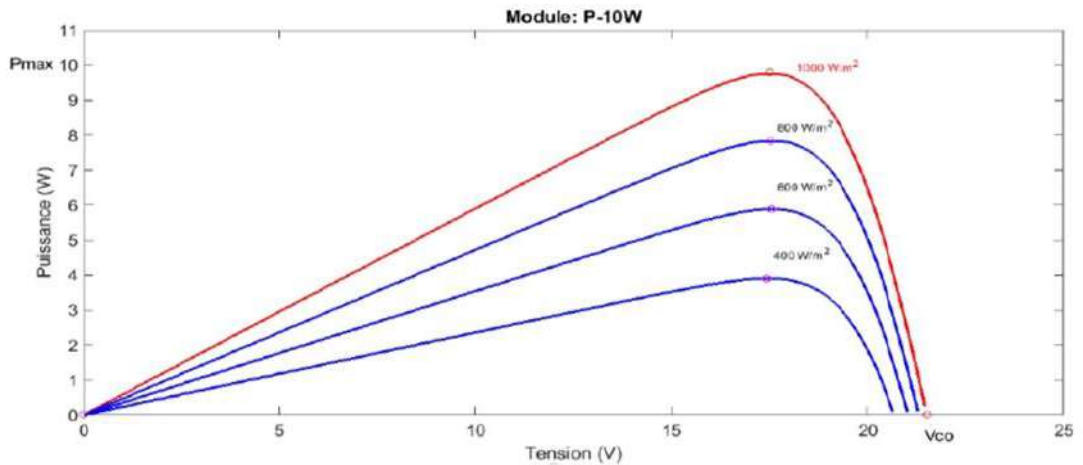


Figure I.10: Influence de l'éclairement sur la caractéristique puissance-tension à  $T=25^{\circ}\text{C}$

### b) Influence de la température :

Les illustrations (I.12) et (I.13) illustrent l'impact du niveau de température ( $10^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $75^{\circ}\text{C}$ ,  $105^{\circ}\text{C}$ ) sur les propriétés du courant-tension et de la puissance-tension à un éclairage fixe de  $1000\text{W/m}^2$ . Il est observé que lorsque la température augmente et s'éloigne du niveau de température, cela entraîne une disparité des caractéristiques.

La température de  $25^{\circ}\text{C}$  entraîne une baisse de la tension de circuit ouvert  $V_{co}$ , tandis que la température n'a qu'une influence minime sur la valeur du courant de court-circuit.

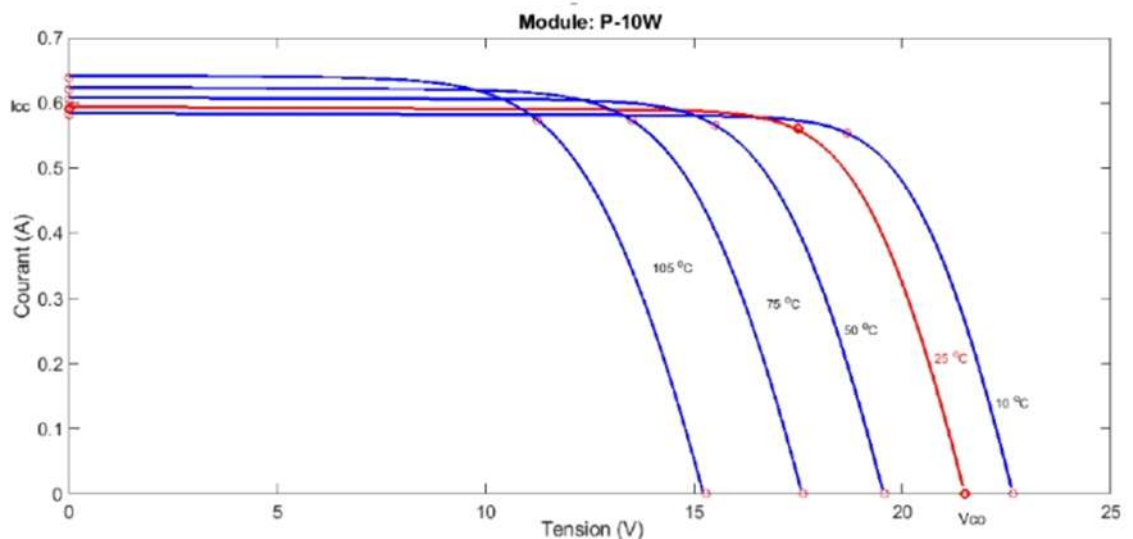


Figure I.11: Influence de la température sur la caractéristique courant-tension à  $G=1000\text{W/m}^2$

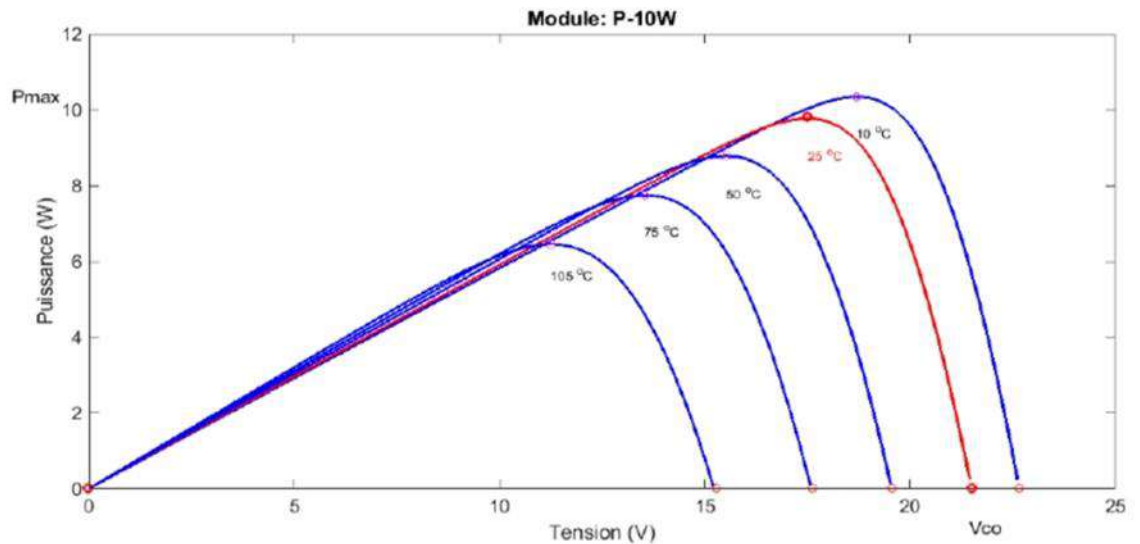


Figure I.12: Influence de la température sur la caractéristique puissance-tension à  $G=1000\text{W/m}^2$

## 1.7 Paramètres électriques de la cellule photovoltaïque :

Un GPV élémentaire est décrit selon les paramètres suivants [10]:

- **La puissance crête** : correspond au maximum de puissance électrique que le module peut fournir dans des conditions normales (température de 25°C et éclairage de 1000 W/m<sup>2</sup>).
- **Voltage à vide Vco** : Tension aux bornes du module lorsque aucun courant n'est présent pour un éclairage "plein soleil".
- **Le courant d'interruption de courant Icc** : Un module en court-circuit débite le courant pour un éclairage "plein soleil".
- **Situation optimale de fonctionnement** : ( $V_{opt}$ ,  $I_{opt}$ ) : Quand la puissance de crête est maximale en plein soleil.  $P_{opt} = V_{opt} \times I_{opt}$  Le rendement  $\eta_{pv}$  : La relation entre la puissance électrique idéale et la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme** : correspond à la relation entre la puissance optimale et la puissance maximale que la cellule peut fournir  $FF = \frac{V_{opt} \times I_{opt}}{V_{co} \times I_{cc}}$

## 1.8 Installation photovoltaïque autonome :

Lorsqu'il s'agit d'un site isolé, le champ photovoltaïque (1) de la figure (I.14) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des récepteurs (éclairage et appareils ménagers). Un système de régulation (2) et une batterie (3) stockent cette énergie, qui peut être utilisée en l'absence de soleil. On stocke ainsi l'énergie électrique, et on peut l'utiliser sans lumière solaire. On utilise les batteries afin de conserver l'énergie électrique sous forme

chimique. Le stockage de l'énergie électrique se fait sous forme chimique. Elles distribuent l'énergie électrique en fonction de leurs caractéristiques spécifiques.

La principale fonction du régulateur de charge (2) consiste à préserver la batterie des surcharges et des décharges profondes. Il est crucial de maintenir la durée de vie de la batterie dans les endroits isolés; il est également possible d'utiliser des récepteurs CA (6). Un onduleur est inclus dans l'installation .[11]

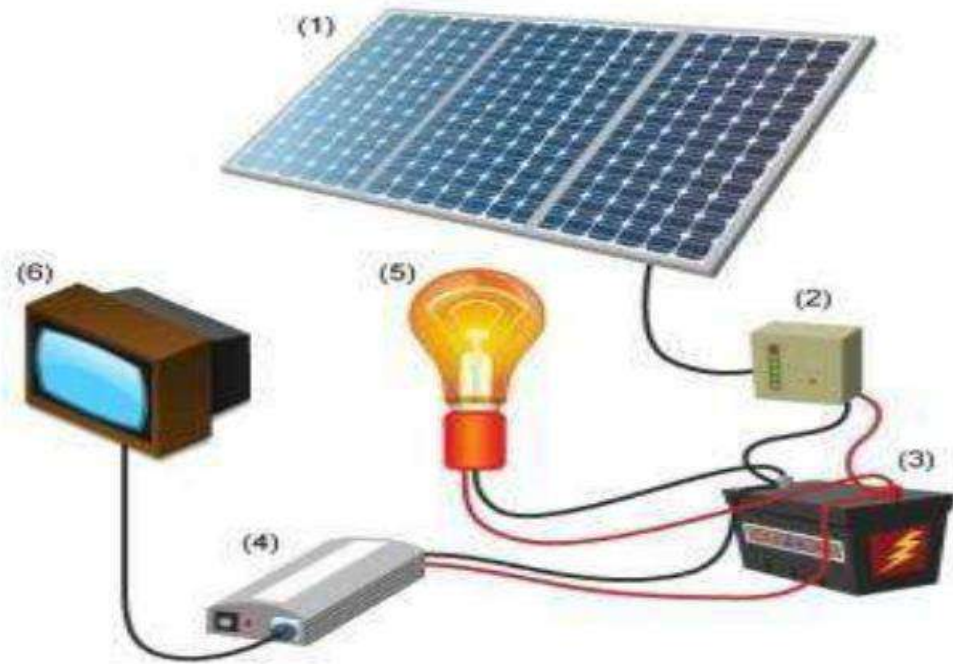


Figure I.13:Schéma d'une installation photovoltaïque autonome

## **PARTIE II : LES BATTERIES**

### **Batteries de stockage de l'énergie photovoltaïque :**

Les systèmes photovoltaïques utilisent une batterie solaire pour stocker l'énergie électrique sous forme chimique, car la demande en électricité ne correspond pas à la production en raison du mauvais rendement du générateur. L'énergie est stockée pour garantir le bon fonctionnement du système lorsque l'énergie solaire n'est pas adéquate ou disponible.

Différents types d'accumulateurs électrochimiques, tels que le Pb, le Ni-Cd, et le Li-ion, sont disponibles, mais les plus anciens et les plus fréquemment utilisés dans le domaine solaire sont ceux fabriqués à partir de plomb, car ils peuvent supporter de nombreux cycles de charge et de décharge sans subir de dommages.



Figure I.14: Batteries solaires [1]

### I.9 Composition de la batterie Acide-Plomb:

Habituellement, chaque batterie acide-au-plomb est composée de plusieurs cellules dont la tension dépend de l'état de charge et est d'environ 2 Volts. Les cellules sont reliées entre elles en série, ce qui permet d'atteindre des tensions nominales de 6, 12, 24 Volts et plus encore. Les cellules sont constituées d'un couple d'électrodes positives et négatives séparées par un séparateur microporeux, qui a pour objectif d'éviter les courts circuits tout en permettant la circulation des ions. Le peroxyde de plomb ( $\text{PbO}_2$ ) est utilisé pour les électrodes positifs, tandis que le plomb métal (Pb) est utilisé pour les électrodes négatives. Electrolyte est une solution aqueuse d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).[12]

Les réactions chimiques à l'origine du fonctionnement d'une batterie mettent en jeu deux couples d'oxydo-réducteurs notés  $\text{OX}^-/\text{Red}^-$  et  $\text{OX}^+/\text{Red}^+$ , correspondant respectivement aux électrodes négatives et positives. Les potentiels d'équilibre résultant de chacun des couples d'oxydo-réducteurs notés ( $E^+$ ,  $E^-$ ) sont tels que  $E^+ > E^-$ . Lorsque l'on relie les électrodes à travers une résistance, des électrons peuvent alors circuler de l'électrode négative vers l'électrode positive (figure II.5.b). En partant de l'électrode négative, le manque d'électrons crée une réaction d'oxydation. De même, en arrivant sur l'électrode positive, les électrons vont produire une réduction à l'interface électrochimique. La figure suivante montre le principe de fonctionnement des batteries pendant la charge et la décharge.

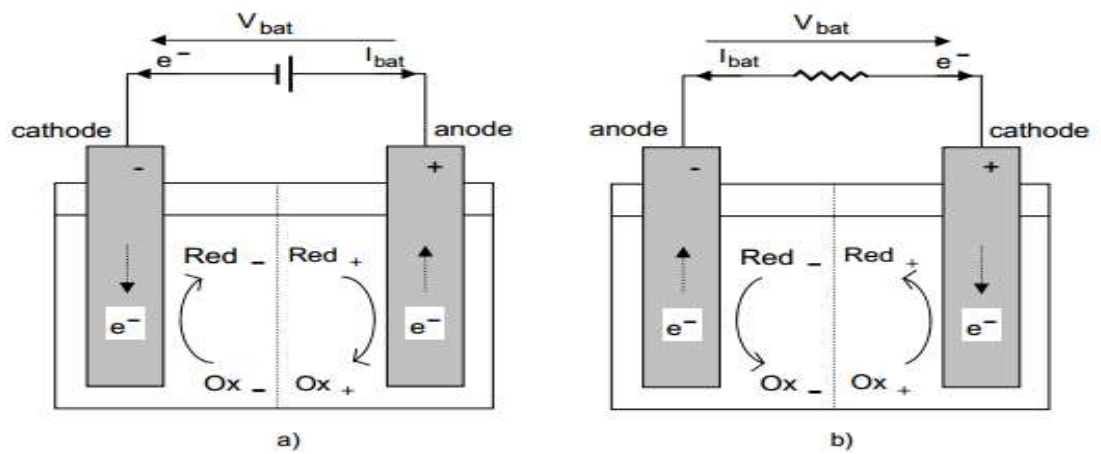


Figure I.15: Représentation schématique d'une batterie en charge (a) et en décharge (b)

### I.10 Le cycle de chargement des batteries:

Avant de charger une batterie, il est important de définir son type, la méthode de décharge, le temps de charge, sa tension nominale, et sa température de fonctionnement maximale .[13]  
 Dans la réalité, il existe différentes approches pour recharger les batteries au plomb, les plus fréquentes étant :

- **Voltage constante de la charge** : La batterie est chargée avec le courant le plus élevé, puis elle diminue pour maintenir une tension constante aux bornes .

- **Alimentation à courant continu** : La tension de la batterie est régulée par le régulateur jusqu'à ce qu'elle atteigne la tension de régulation, où il interrompt le courant chargé. Afin d'obtenir des performances optimales, nous avons fusionné ces deux méthodes dans un unique algorithme appelé « algorithme de charge en trois étapes », comprenant une phase de charge à courant constant suivie de deux phases de charge à tension constante, comme illustré dans la figure (I.17) .

#### I.10.1 Cycle normal ou Bulk charge :

La Bulk charge est une méthode de charge à courant constant qui constitue la première étape du processus de charge où le panneau photovoltaïque charge une batterie déchargée avec le courant maximal autorisé. Au cours de cette phase de charge, la tension aux bornes de la batterie augmente progressivement, ce qui permet une récupération rapide de sa capacité . [14]

#### I.10.2 Cycle d'égilisation ou absorption de charge:

Il est important de maintenir la tension de la batterie à la valeur de régulation  $V_R$  pour compenser la charge de la batterie et prévenir toute surcharge .[13]

#### I.10.3 Fin de charge ou float charge :

L'étape d'entretien consiste à réduire la tension de la batterie à un niveau adéquat pour compenser l'autodécharge des cellules, tandis que le courant de charge est devenu très faible et

presque constant, ce qui correspond à l'état de pleine charge. Lorsque la tension  $V_{bat}$  atteint la valeur  $V_{LVD}$ , il est nécessaire que le contrôleur déconnecte toute charge connectée à la batterie pour prévenir une décharge profonde .[1]

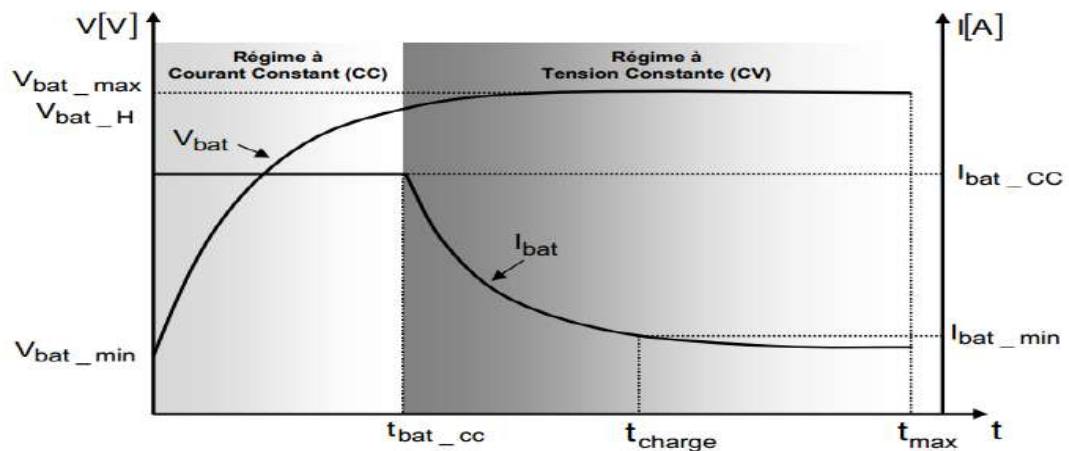


Figure I.16:Démarche de l'algorithme de charge à trois étapes

### I.11 Caractéristiques électriques des batteries de stockage :

a) **Capacité en Ampères heure** : Le laps de temps (exprimé en heures) pendant lequel l'accumulateur peut fournir une certaine quantité de courant avant que la batterie ne soit déchargée .[15]

b) **Taux de « charge / décharge »** : Le rapport entre la capacité nominale de la batterie et le temps de charge ou de décharge est connu sous le nom de taux de charge ou de décharge, exprimé en heures [C/h].[16]

c) **Etat de charge « SOC »** : La quantité de charge qui peut être restituée par rapport à la capacité à pleine charge est connue sous le nom d'état de charge instantané (SOC) en anglais, exprimée en pourcentage .[1]

d) **Tension de limite de décharge LVD** : Le terme "Low Voltage Load Disconnect" fait référence à la tension minimale  $V_{min}$ , que la batterie ne devra pas dépasser, afin d'éviter tout dommage.

e) **La tension de régulation VR** : Selon les fabricants de batteries, la tension de régulation « VR » est inférieure à celle de gazéification. Cette tension correspond à la température maximale que le régulateur autorisera la batterie à atteindre.[17] Il est possible qu'elle soit légèrement dépassée en fin de charge.

On nomme tension seuil de décharge, la tension minimale acceptable lors de la décharge d'une batterie. La décharge profonde est une diminution de tension inférieure à cette tension, ce

qui peut causer des dommages à la batterie dans une batterie au plomb de 12 volts. Le seuil de décharge de la tension est de 11,7 volts.

## 1. Capacité de stockage de la Batterie :

L'énergie emmagasinée dans une batterie correspond à sa capacité de stockage. Généralement, elle se mesure en Ah (ampères-heures). [17] Plus il y a de matériel d'électrolyte et d'électrodes dans la cellule, plus la capacité de stockage de la cellule est importante, et vice-versa [6, 1, 2]. Ainsi, pour une technologie chimique donnée, une petite cellule a moins de capacité de stockage qu'une cellule plus grande, même si elles développent la même tension en circuit ouvert .

La capacité nominale de la batterie est toujours liée à la durée prévue de décharge :

$$t = \frac{Q}{I} \quad (1.2)$$

Avec :

**Q**: est la capacité de stockage de la batterie, en mAh ou en A

**I**: est le courant débité en mA ou en A.

**t**: est le temps en heure que la batterie met pour une décharge complète.

La capacité disponible de la batterie est aussi fonction de son régime de décharge .Si une batterie est déchargée à un taux relativement plus élevé, la capacité disponible sera plus faible que prévu. Une explication mathématique de la raison de ce phénomène a été tout d'abord donnée par W. Peukert en 1897. Ce phénomène suit donc une loi pouvant être exprimée comme suit.

$$Q = I^K \cdot t \quad (1.3)$$

Avec :

**Q** : est la capacité de stockage de la batterie en Ah.

**I** : est le courant de décharge en A.

**t** : est le temps de décharge en heure

**k** : est la constante de Peukert pour une technologie de batterie donnée.

### 1.1. Résistance Interne :

La résistance interne d'une batterie est définie comme l'opposition à la circulation du courant dans une batterie. Il y a deux composantes essentielles pour cette résistance : La résistance

électronique et la résistance ionique. Cette dernière est l'opposition au passage du courant dans la batterie due à des facteurs électrochimique divers tels que la conductivité de l'électrolyte, la mobilité des ions et la surface de l'électrode. Cet effet se produit plus lentement que la résistance électronique .[18]

Alors La résistance interne de la batterie est reliée à l'ensemble des éléments qui constituent la batterie.[19] Elle comprend [:

- La résistance de l'électrolyte.
- La résistance des matériaux actifs de chaque électrode.
- La résistance de contact entre les électrodes et les cellules.

En générale, la résistance interne de la batterie augmente quand la température ambiante diminue.[20] Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'à basse température les réactions électrochimiques qui ont lieu au sein de la batterie ralentissent. En conséquence, la mobilité des ions dans la batterie diminue. L'effet de la température sur la résistance effective totale d'une batterie en alcaline neuve, est représentée dans la figure II.7 .

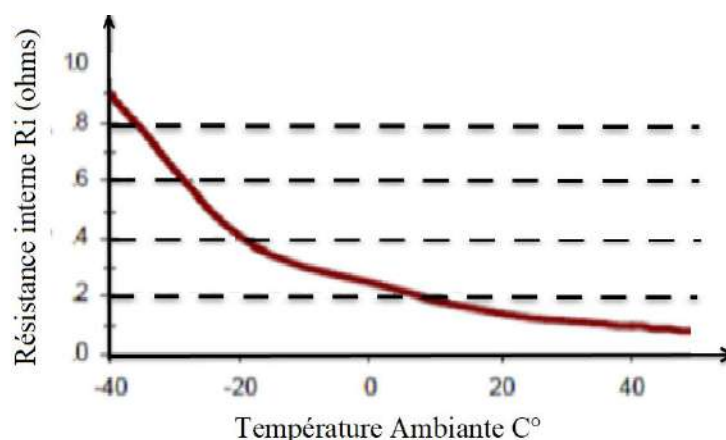


Figure I.17:L'effet de la température sur la résistance effective totale

### 1.3.État de santé (SOH) :

Le SOH reflète un état général de la batterie (état de santé de la batterie) et sa capacité à fournir les performances spécifiées par rapport à une batterie neuve. Elle dépend de plusieurs paramètres tels que l'acceptation de charge, la résistance interne, la tension, l'autodécharge. Donnant une indication sur la position de la batterie par rapport à son cycle de vie.[18]

#### **1.4. État de charge (SOC) :**

Le SOC (état de charge) est le pourcentage de la charge actuelle par rapport à la charge maximale prévue dans une batterie [1]. Le SOC est l'équivalent d'une jauge de carburant pour le pack de batterie dans un BEV (Battery Electric Vehicle), un HEV (Véhicule Electrique Hybride) ou un PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). impliquant des mesures il est lié à plusieurs paramètres électriques et chimiques, comme la tension à vide, la tension en charge, le courant, la température, l'impédance interne et la densité spécifique de l'électrolyte.[18]

#### **1.5. Les types de Batteries :**

Après avoir exposé le principe de fonctionnement et les différents paramètres de performances d'une batterie, nous allons présenter les différents types de batteries en fonction de la technologie utilisée.[21] Les batteries sont essentiellement classées en deux catégories :

- Les batteries primaires qui transforment de manière irréversible l'énergie chimique, en énergie électrique, comme les batteries zinc-carbone et alcalines.
- Les batteries secondaires qui peuvent être rechargées comme les batteries NiCd, NiMH, Li-Ion.
- Les batteries secondaires sont essentiellement divisées en deux catégories : batterie à cellule humide et batterie à cellule sèche. Un exemple de cellule humide est la batterie plomb acide.

Comme exemple de batteries sèches, on peut citer les batteries NiCd (Nickel Cadmium), NiMH (Nickel Hydrure Métallique) et Li-Ion (Lithium Ion).[22]

Pour faire une évaluation objective des performances de chacune de ces batteries, nous allons utiliser leurs caractéristiques principales qui sont :

- La haute densité énergétique.
- La charge rapide et sûre de la batterie.
- La décharge sûre et efficace de la batterie.
- La haute FEM (Force Électromotrice).
- La haute efficacité de courant.

- La haute efficacité électrostatique.
- La longue vie avec conservation des performances.
- La faible autodécharge.
- Le faible entretien exigé.

Pris séparément, chacune des caractéristiques décrites ci-dessus pourra être effectivement obtenue, mais il sera impossible de les réunir toute sur une seule et même batterie. En effet, certaines batteries peuvent être conçues pour une petite taille et une longue utilisation, mais elles ont un cycle de vie limité. Une autre peut être conçue pour augmenter sa durée de vie, mais cela se fera au détriment de sa taille qui pourra être encombrante.

Le Tableau 1 résume les points forts et les limites des systèmes de batteries populaires actuellement utilisés.

|                            | Plomb   | Nickel-cadmium | Nickel-Métal Hybrure | Lithium-ion   |
|----------------------------|---------|----------------|----------------------|---------------|
| Tension de la cellule(V)   | 2       | 1.2            | 1.2                  | 3.6 à 3.7     |
| Énergie Spécifique (Wh/Kg) | 25-50   | 30-60          | 50-90                | 90-115        |
| Cycle de vie               | 200-500 | 300-700        | 300-600              | 500-1000      |
| Plage de Température (°C)  | 0 à 50  | -20-50         | -20-50               | -20-50        |
| Autodécharge/mois          | 5%      | 15%            | 25%                  | 2%            |
| Durée de vie calendaire    | 5 ans   | 10 ans         | 5 ans -10 ans        | 5 ans -15 ans |
| Temps de charge standards  | 10h     | 5h             | 3-5h                 | 3h            |
| Commercialisation depuis   | 1834    | 1950           | 1990                 | 1991          |

Tableau I.1: Caractéristiques des batteries rechargeables actuellement utilisées

La charge est terminée lorsque le courant passe en dessous du seuil de décharge (2.1V). Il est alors impératif de couper la charge, car les accus au Lithium ne supportent absolument pas la surcharge. La tension de fin de charge des accumulateurs Li-ion peut être de 4,1 V ou 4,2 V suivant la spécification du fabricant de l'accumulateur .[23]

## 2. Les Avantages :

- Densité énergétique très élevée
- Auto décharge très faible (1%/mois)
- Résistance interne relativement faible et aptitude à fournir des courants moyens à

importants.

- poids réduit
- Pas d'effet mémoire
- Ils ne nécessitent pas de maintenance.

### **2.1 Les Inconvénients :**

- Chargeur spécial requis
- Risque d'explosion en cas de court-circuit ou de surcharge (Production d'hydrogène).
- Besoin de charger chaque élément d'un pack séparément sinon risque de dés équilibrer la tension.
- Profondeur de décharge : ces batteries vieillissent moins vite lorsqu'elles sont rechargées tous les 10 % que lorsqu'elles le sont tous les 80 %
- Risque d'explosion si toutes les conditions de sécurité ne sont pas remplies
- L'utilisation d'un électrolyte liquide présente des dangers si une fuite se produit et que celui-ci entre en contact avec de l'air ou de l'eau.

### **Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé les fondements essentiels du système solaire. Quelques concepts ont été rappelés concernant l'effet photovoltaïque, le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs principales caractéristiques, ainsi que les paramètres qui limitent leur efficacité. Par la suite, nous avons exposé en détail les systèmes photovoltaïques autonomes, en fournissant quelques généralités concernant les domaines de stockage de l'énergie. Nous avons opté pour la batterie acide-au-plomb, car elle est la plus couramment employée. Dans ce cas, nous avons démontré son fonctionnement pendant les cycles de charge et de décharge, puis nous avons exposé ses caractéristiques électriques et expliqué l'algorithme de charge en trois étapes. Il est important que le niveau de charge des batteries solaires soit ni trop bas ni trop élevé afin d'éviter toute détérioration, c'est pourquoi il est essentiel d'utiliser un régulateur de charge pour préserver leur durée de vie. Dans le chapitre suivant, nous allons exposer les éléments clés qui composent le régulateur de charge MPPT.[24]

## **Chapitre II :**

# **Le dispositif programmable ARDUINO**

# Le dispositif programmable ARDUINO

## Introduction :

Arduino est une plate-forme de prototypage interactive pour une utilisation créative qui se compose d'une planche à pain et d'un environnement de programmation.

Sans tout connaître ou tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de concevoir ses projets grâce à une expérimentation de première main à l'aide de diverses ressources disponibles en ligne.

Pont étendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités des relations homme/machine ou environnement/machine.

Arduino est un projet open source : il permet à un grand nombre d'utilisateurs et de concepteurs de trouver des réponses à leurs questions.

Dans cette partie, nous présentons le programme Arduino, certains de ses types et la portée de ses utilisations. Nous mettons également certains des outils que nous avons utilisés dans ce travail, car ce travail a été réalisé pour obtenir des résultats appliqués afin de mesurer la tension, l'intensité du courant et la température de la batterie au lithium.[25]

## 1. Définition du module Arduino :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses, 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). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.[26]

### 1.1 Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique :

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.[26]
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.[26]
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.[26]
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).[26]
- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wearable en utilisant un microcontrôleur ATmega168.[27]
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega168.[26]
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.[26]
- L'Arduino Décimal, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.[28]
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.[28]
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.[26]
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.[28]
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).[26]
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.[28]
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération.[28]

Parmi ces types, nous avons choisi une carte Arduino UNO (carte Basique), l'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en œuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite.

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation, l'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB.

En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties, cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires.

La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo, elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure ci dessous. [1]



Figure II.18:La carte Arduino UNO

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée, tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser, de la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

- **Le prix (réduits)** : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino préassemblées coûtent moins de 2500 Dinars).[28]

- **Multi plateforme** : le logiciel Arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.[26]

- **Un environnement de programmation clair et simple** : l'environnement de programmation Arduino (le logiciel Arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.[28]

- **Logiciel Open Source et extensible** : le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).[26]

- **Matériel Open source et extensible** : les cartes Arduino sont basées sur les Microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative Commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant. même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.[26]

### 1.3 La constitution de la carte Arduino UNO :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un boot loader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.[28]

## 1.4 Aperçu de la carte Arduino Mega 2560, la grande sœur de la carte Uno :

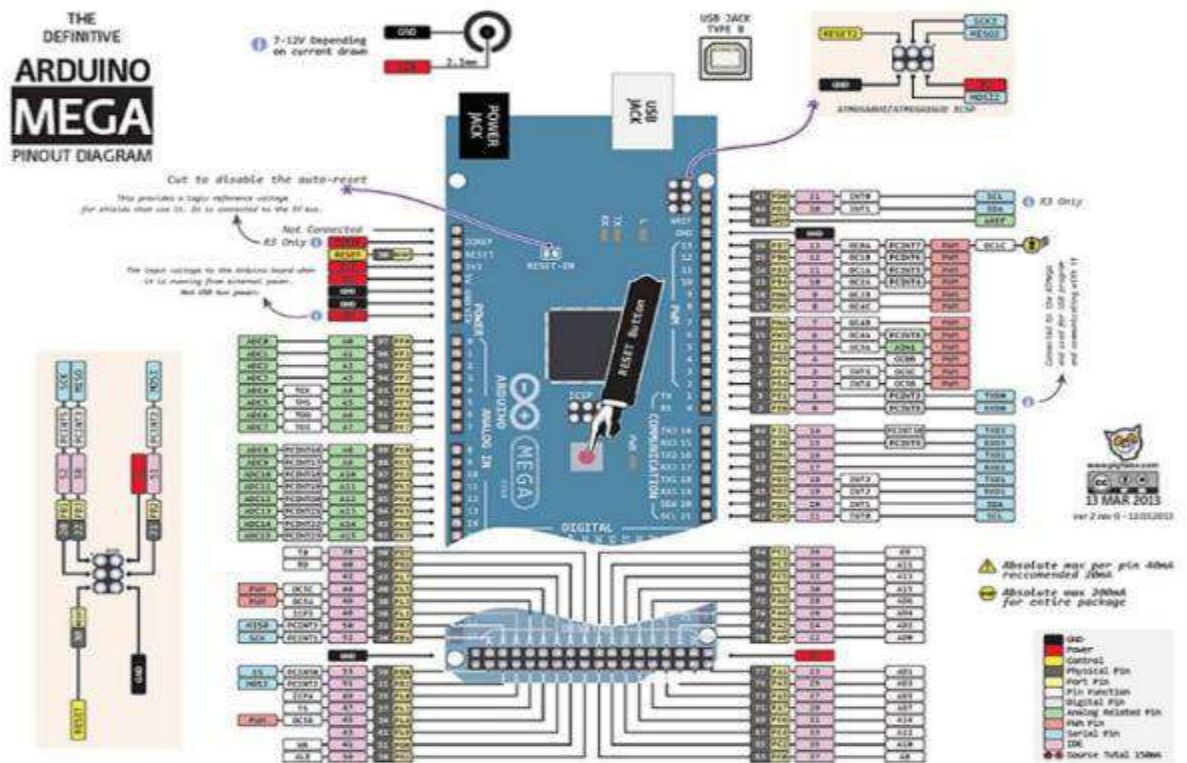


Figure II. 19:La carte Arduino Mega.

Le leader des cartes de développement et des logiciels libres, Arduino Corporation, est connu pour sa carte de haute qualité, appelée Arduino Uno. la carte Arduino Mega 2560, bien qu'elle soit un peu moins connue, est la grande sœur, plus rapide, de la carte Uno.[18]

La carte Arduino Mega 2560, dont les capacités équivalent à quatre cartes Uno combinées, comporte un microcontrôleur et est construite autour du puissant microprocesseur ATmega2560. Cette carte robuste résiste à presque tout.[18]

Le microprocesseur ATmega2560 est le cerveau de la carte Arduino Mega. Grâce à ce microprocesseur (et à l'oscillateur à cristaux qui lui est associé), la carte Arduino Mega est cadencée à 16 MHz et possède une mémoire flash de 256 Ko, une mémoire vive de 8 Ko et une mémoire EEPROM de 4 Ko.[18]

La puissance supérieure du processeur permet aussi à la carte Mega de disposer de 54 broches d'E/S numérique (dont 15 peuvent servir de sortie PWM) et de 16 broches

analogiques, soit presque quatre fois plus que sa petite sœur, la carte Uno. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des broches de la carte Mega.[18]

### **1.5 Brochage de la carte Arduino Mega 2560 :**

Afin d'être reliée à un ordinateur, la carte Mega présente quatre ports série pour des raccordements généraux, une connexion USB (avec un processeur ATmega16U2 dédié pour l'interface avec votre ordinateur), un bouton de réinitialisation et un port d'alimentation.[18]

Comme la carte Uno, la carte Mega fonctionne dans l'environnement de développement intégré (IDE) d'Arduino. Le logiciel de codage libre offre des caractéristiques diverses qui le rendent accessible autant aux débutants qu'aux experts de la programmation, notamment la librairie de projets et de syntaxe associés à l'IDE créés par la communauté d'utilisateurs Arduino. Avec ce logiciel, n'importe qui peut ajouter du code ou se servir des nombreux codes proposés et ainsi profiter des possibilités de programmation infinies.[18]

Les blindages Arduino constituent un autre atout majeur des cartes Arduino, y compris de la carte Mega. Les cartes de circuits imprimés s'interfacent directement dans les embases de la carte Mega, ce qui lui confère des capacités incroyables malgré sa taille réduite. Avec le blindage, votre carte Mega vous permet de disposer en toute simplicité de plusieurs options d'affichage, de la connectivité Wi-Fi et même d'un logiciel d'émulation de jeu vidéo. Le choix de blindage disponible inclut tous les blindages compatibles avec les cartes Arduino Duemilanove et Décimal.[18]

La carte Arduino Mega 2560 est idéale pour le prototypage, en particulier pour les imprimantes 3D et la robotique, pour lequel la carte Uno n'est tout simplement pas suffisante. Pour plus d'informations sur la carte Uno.[18]

## **2. Partie matérielle :**

### **2.1 Réalisation d'affichage :**

La réalisation d'affichage présente la sous réalisation numéro une; elle est basée sur deux type d'affichage « l'affichage sur le moniteur série de l'environnement IDE de l'Arduino et l'affichage de l'information par caractères sur un LCD ».

Les afficheurs standards HD44780 sont utiles pour créer des projets autonomes. Ils peuvent facilement s'interfacer avec de nombreuses plates formes hard telles que les

Arduino comme dans notre projet, où nous proposons l'utilisation de l'écran LCD 16×2 caractères rétroéclairés sur fond vert accompagné d'un contrôleur d'interface LCD I<sup>2</sup>C.

Comme adresse d'identification I<sup>2</sup>C pour ce type d'afficheur la signification « 0×27 » définit cet élément. Un minimum de broches gère cette communication avec l'exploitation de quatre broches « Pin: V<sub>CC</sub>, GND, SDA, SCL ». Les caractéristiques principales de cet afficheur sont :

- a. Alimentation: 5 Volts sur V<sub>CC</sub> assurée par la carte Arduino Nano ;
- b. Interface I<sup>2</sup>C (adresse 0×27) assurée seulement par les deux broches SDA / SCL;
- c. Caractères noirs sur fond vert;
- d. Contraste ajustable via potentiomètre ;
- e. Dimensions: 98 x 60 x 20 mm ;
- f. La figure ci-dessous présente une photo réelle de l'afficheur utilisé ;

L'écran LCD a 16 broches de connexion, numérotées de 1 à 16 de gauche à droite.

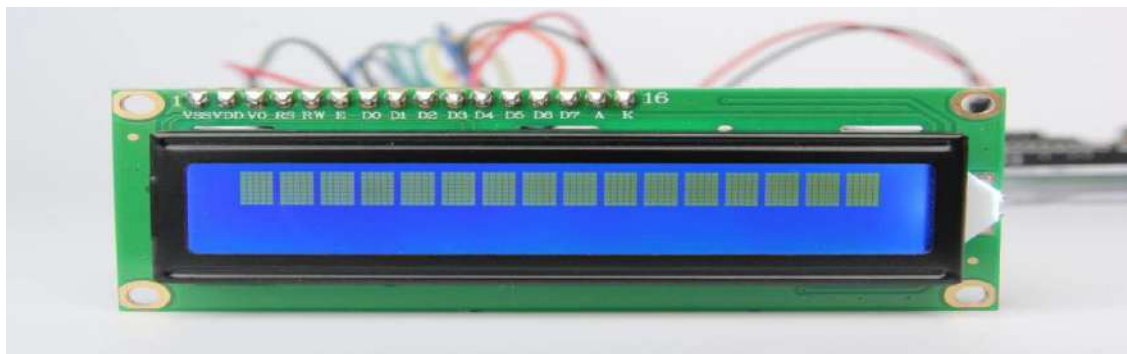


Figure II. 3:L'écran LCD (16×2)

Une bonne démarche doit être précédée par un essai virtuel sous un CAO électrique tel que ISIS de Protes (voir annexe) ; pour cela, nous avons réalisé une carte électrique programmée basée seulement sur une Arduino Nano et l'afficheur LCD 16×2 I<sup>2</sup>C afin d'afficher un message de démarrage qui dure trois secondes comme il est montré sur la figure II..

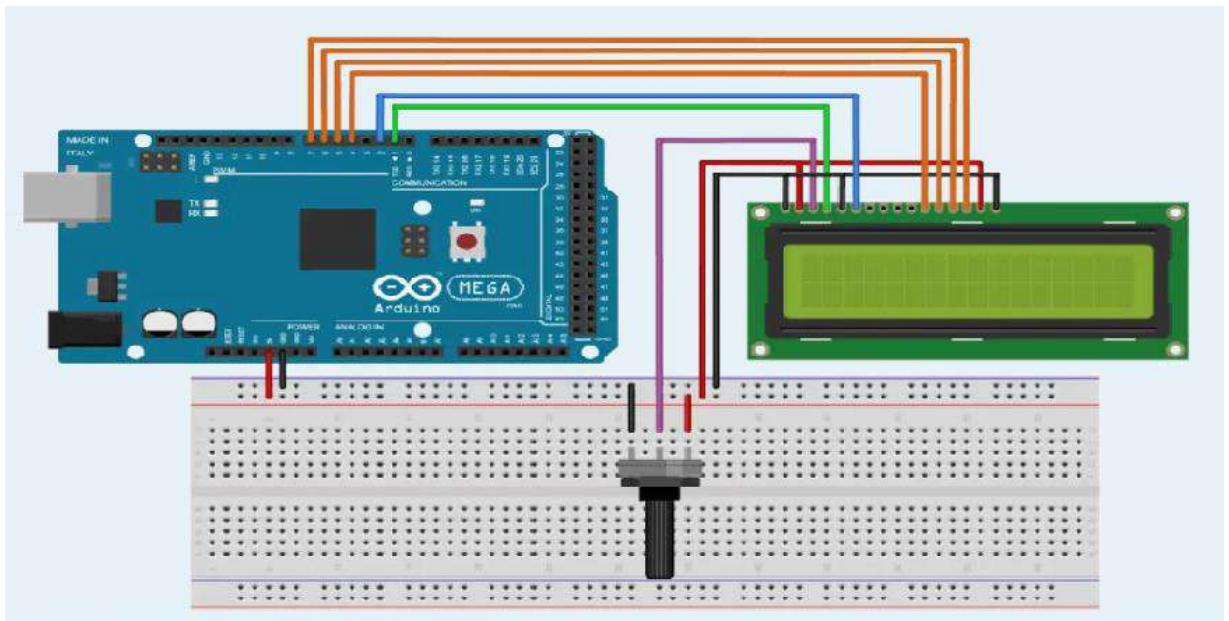


Figure II. 4:Photo du montage de l'écran LCD.

## 2.2 Batterie lithium-ion 18650 :

Il existe une grande variété de types de batteries lithium-ion, ces variétés diffèrent par leur composition chimique et les additifs. Dans notre travail, nous avons sélectionné un type populaire de ces cellules : le 18650.[18]

Elle est un standard utilisé dans de nombreux appareils et notamment dans les smart batteries d'ordinateurs. Les cellules 18650, les plus répandues font 18mm de diamètre et 65mm de longueur. La forme en cylindre indiquée par le chiffre zéro n'est certainement pas la meilleure en terme d'encombrement mais rappelons nous du fait que la température de ces accus est un point critique et la forme cylindrique permet de limiter les échanges thermiques entre éléments tout en permettant une circulation d'air pour le refroidissement.[18]

La tension nominale d'un élément Lithium-ion est de 3,6 ou 3,7 Volts « selon la technologie ». La tension de charge ne doit jamais dépasser 4.2Volts (sachant que le fait de dépasser cette tension, a non seulement de graves conséquences pour l'accumulateur mais peut s'avérer très dangereuse).[18]

La tension minimale supportée est de 3Volts dans la pratique. Techniquement, toute tension inférieure à 2.5Volts entraîne une forte dégradation de la cellule. Par conséquent, on doit toujours se tenir à un seuil minimal de 3Volts en dessous duquel la cellule risque de subir des situations dites de stress qui vont rapidement dégrader ses performances.[18]

Sur la figure II.6 une cellule 18650 est présentée sur un support unitaire.



Figure II .5:Batterie lithium-ion.

### 2.3 La résistance de puissance :

L'élément utilisé pour décharger la cellule 18650 c'est juste une résistance de puissance de 10 Watts 10 Ohms vernie en or et bobinée en aluminium ; elle est donc une résistance de revêtement dissipateur.[18]

Elle possède une stabilité et une précision élevées. De plus, elle a été utilisée pour diverses applications en raison de la large plage de résistance et est caractérisée comme suit :

- b. revêtement en aluminium résistance ;
- c. Tolérance de la résistance :  $\pm 5 \%$  (J) ; plomb: diamètre 0,8 mm/0,0315 ;
- d. Longueur totale : 63 mm/2,5 ;
- e. Taille du corps :  $19 \times 11 \times 10$  mm/0.75  $\times$  0.43  $\times$  0.39 (L $\times$ W $\times$ T)
- f. Matériau extérieur : aluminium ; Couleur: Or ;
- g. Poids net : 10 grammes.



Figure II.6 La résistance de puissance.

#### 2.4 Le relais :

C'est un composant qui possède une bobine (électro-aimant) qui est parcourue par un courant électrique agissant sur un ou plusieurs contacts. Le relais est une solution à la commande en puissance. Il assure en outre une isolation galvanique en mettant en oeuvre un mouvement mécanique.[28]

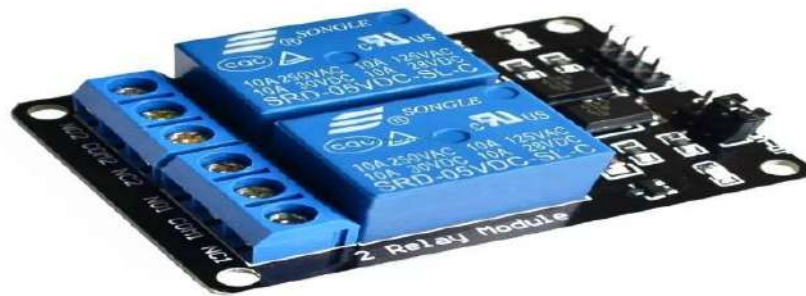


Figure 20:relais.

#### 2.5 BMS Protection Board For 4 Pack 18650 Battery Cell:

Product details of 4S 6A 14.8V PCB BMS Protection Board For 4 Pack 18650 Battery Cell

- Chargin Voltage: 16.8V-17V
- Over charge Voltage Range: 4.25V-4.35V  $\pm$  0.05V
- Over pressure Voltage Range: 2.3V-3.0V  $\pm$  0.05V
- Upper Limit Operating Current: 6-8A
- Upper Limit Instantaneous Current: 12A
- Quiescent Current: less than 30uA.
- Internal Resistance: less than 100m $\Omega$

- Effective Life: more than 50,000 hours
- Operating Temperature: -40- +50 degrees
- Storage Conditions: -40- +80 degrés
- Size: 72\* 17\* 3mm

As the lithium battery itself determines the material itself can not be overcharge, over discharge, over current, short circuit and ultra-high temperature charge and discharge, so lithium battery lithium components will always follow a protective resistor with a sampling resistor and a current fuse.

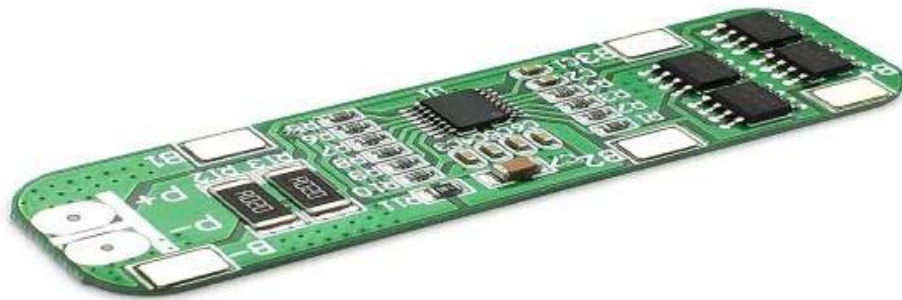


Figure 21:BMS Protection Board For 4 Pack 18650.

### 3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons projeté la lumière sur une carte d'acquisition qui est l'Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles on l'a choisie, puis nous avons cité des différents types de cette dernière. Ensuite, nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino; (la partie matérielle et la partie de programmation) plus précisément. Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques.[29]

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude et la réalisation d'un dispositif de commande domotique comme une première phase et une deuxième phase de commande à distance des véhicules gérés par un smart phone.[18]

## **Chapitre III :**

# Simulation et réalisation

# **I. Introduction**

Les panneaux photovoltaïques sont une technologie clé dans la transition vers les énergies renouvelables, permettant de convertir l'énergie solaire en électricité de manière propre et efficace. Cependant, pour optimiser leur performance et garantir leur sécurité, il est essentiel d'intégrer un système de gestion de batterie, une carte BMS ou dispositif électronique qui surveille et contrôle les paramètres des batteries associées aux panneaux photovoltaïques, assurant ainsi leur bon fonctionnement et leur longévité, la carte ARDUINO est vraisemblablement la plus en vogue ces derniers temps, en plus d'être bon marché elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différentes étapes de réalisation du chargeur de batteries solaire avec système de gestion d'énergie BMS. Nous afficherons le code à l'aide de l'IDE Arduino avec une explication étape par étape. Nous terminons par l'exposition de notre réalisation. Les différentes courbes de charge et décharge des batteries la puissance fournie par le panneau et les puissances délivrées par les batteries sont d'autant plus caractéristiques du système expliqué dans ce chapitre.

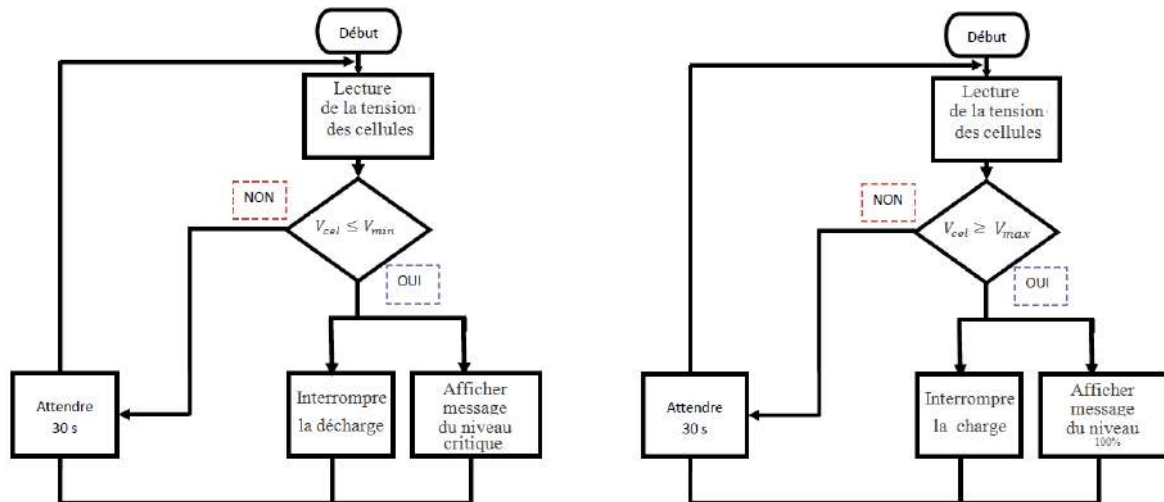
## **Système :**

Il est nécessaire de respecter quelques étapes lors de la conception, tout d'abord la partie sécurité ou les cellules ne doivent pas arriver à un seuil critique lors de la charge ou la décharge et l'interruption de la charge après une tension prédéfinie est obligatoire. L'homogénéité du chargement d'une cellule à l'autre est optimisée. La température, les surtensions, sous-tension et les paramètres SOH et SOC sont à vérifier en temps réel.

## **Interruption de décharge et de charge :**

La charge et décharge peuvent nuire à la durée de vie des cellules, pour cela l'interruption est systématique, l'effet mémoire des batteries lors des décharges profondes et les problèmes rencontrés en cas de surcharge sont multiples et peuvent causer beaucoup d'accidents.

## Diagramme de surveillance de la tension des cellules :



## Les tensions des cellules

La tension des cellules est mesurée, c'est le niveau de charge des cellules qui va déterminer la stratégie de chargement qui doit toujours commencer par la cellule la moins chargée jusqu'à ce qu'elle soit au niveau de celle la plus chargée, par la suite vient le tour de la deuxième cellule qui doit arriver au niveau des deux autres et lorsque les trois cellules sont au même niveau la carte commence à les charger ensemble simultanément. L'état de charge de la batterie est l'équivalent d'une jauge d'essence pour une voiture ordinaire. Indicateur pour l'interruption en cas de décharge profonde ou une charge excessive de la batterie. Ainsi, la durée de vie de la batterie sera plus grande, seul bémol est que cet indicateur est basé sur la mesure des paramètres électriques comme la tension, le courant et la résistance interne c'est-à-dire que c'est juste une estimation.[30]

## Remarque importante

La température des cellules est un paramètre qu'il faut suivre attentivement car la première cause des accidents dus aux batteries vient des surchauffes de celle-ci, dès que la température arrive à un certain seuil le dispositif doit être mis à l'arrêt qu'il soit dans un mode charge ou décharge bien évidemment une température très basse va aussi nuire à l'état de la batterie.

## II.1. Estimation basée sur l'intégration du courant :

C'est la méthode la plus commune pour calculer l'état de charge étant donné que la charge et la décharge sont liées directement au courant fourni ou retiré de la batterie. Si l'état de charge initiale  $SOC_0$  est connu, la valeur de l'intégrale du courant est un indicateur de l'état de charge SOC.

L'état de charge peut être défini par l'équation suivante :

$$SOC(t) = SOC_0 - \frac{\int_{t_0}^t Ib.dt}{Q} \quad (III.1)$$

Avec :

$SOC(t)$  : état de charge de la batterie à l' instant t.

$SOC_0$  : état de charge à l'état initial.

$Ib$  : Le courant de décharge de la batterie.

$\int_{t_0}^t Ib.dt$  : représente la charge délivrée par la batterie à l'instant t (charge actuelle).

$Q$  : est la charge nominale de la batterie.

## II.2. Estimation basée sur la tension à vide :

Cette approche est basée sur le fait qu'il existe une relation linéaire approximative entre l'état de charge et la tension à vide. D'où l'idée d'estimer l'état de charge à partir de l'estimation de la tension à vide en se basant sur la mesure du courant et de la tension. Pour utiliser cette approche la batterie est essentiellement modélisée par un circuit électrique semblable à celui de Thevenin

Selon cette méthode, la relation entre l'état de charge et la tension à vide est exprimée par l'équation suivante :

$$SOC(t) = \frac{V_0(t)-A}{B} \quad (III.2)$$

Avec :

- A est la tension quand le  $SOC(t) = 0\%$ .
- B est obtenue à partir de la valeur de A et  $V_0(t)$  quand  $SOC(t) = 100\%$ .

## VI. Modèle :

Le modèle que nous avons étudié dans notre mémoire est basé sur les travaux de Shepherd et al., le principe est de développer une équation qui décrit le comportement électrochimique de la batterie en fonction de la tension aux bornes de la batterie, la tension en circuit ouvert, la résistance interne, le courant de décharge et l'état de charge.

$$E = E_0 - k \left( \frac{Q}{Q - it} \right) + A \exp(-B \cdot it) \quad (\text{III.3})$$

Où

$E$  est la tension sans charge (V)

$E_0$  est la tension constante de la batterie (V)

$K$  est la tension de polarisation (V)

$Q$  est la capacité de la batterie (Ah)

$it$  est la charge actuelle de la batterie (Ah)

$A$  est l'amplitude de la zone exponentielle (V)

$B$  est l'inverse de la constante de temps de la zone exponentielle (Ah)<sup>-1</sup>.

### III.2 Réalisation

Lors de la réalisation du dispositif nous nous sommes approvisionnés en différents composants, carte, capteur et autre matériel nécessaire pour la fabrication, définir ses besoins et où à aboutir (type de cellules, puissance, modes et techniques de commande, caractéristique de chargeur). Le tableau qui suit présente tous les éléments utilisés pour monter cette réalisation.

| Eléments                 | Types             | Valeurs       | Quantités |
|--------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| Arduino                  | UNO               | /             | 1         |
| Afficheur                | LCD 16×2          | /             | 1         |
| Régulateur de tension    | LM317T            | 1.2-37 V/1.5A | 1         |
| Relais électromécaniques | SPDT              | 5 V           | 1         |
| Cellule rechargeable     | Lithium Ion 18650 | 3.7 V         |           |
| Adaptateur               | AC/DC             | 12V-5A        | 1         |
| Plaque d'essai           | 17×5.5cm          | /             | 3         |
| Résistance               | R <sub>1</sub>    | 1.5Ω / 10W    | 1         |
|                          | R <sub>2</sub>    | 2.2Ω / 1W     | 1         |
|                          | R <sub>3</sub>    | 1k Ω          | 1         |
|                          | R <sub>4</sub>    | 1k Ω          | 1         |
|                          | R <sub>5</sub>    | 1M Ω          | 1         |
|                          | R <sub>6</sub>    | 1M Ω          | 1         |
|                          | R <sub>7</sub>    | 560 Ω         | 1         |
|                          | R <sub>8</sub>    | 3.3 kΩ        | 1         |
| Diode                    | 1N4007            | /             | 1         |
| Transistor               | NPN BC547         | /             | 1         |
| Résistance variable      | Potentiomètre     | 10kΩ          | 1         |
| Condensateur             | C1                | 10μF          | 1         |
| LED                      |                   |               | 4         |
| Panneau PV               |                   |               | 1         |
| BMS                      | S3                | 20A           | 1         |

Tableau III.2:composants électronique utilisés

### III.3- Schéma Proteus:

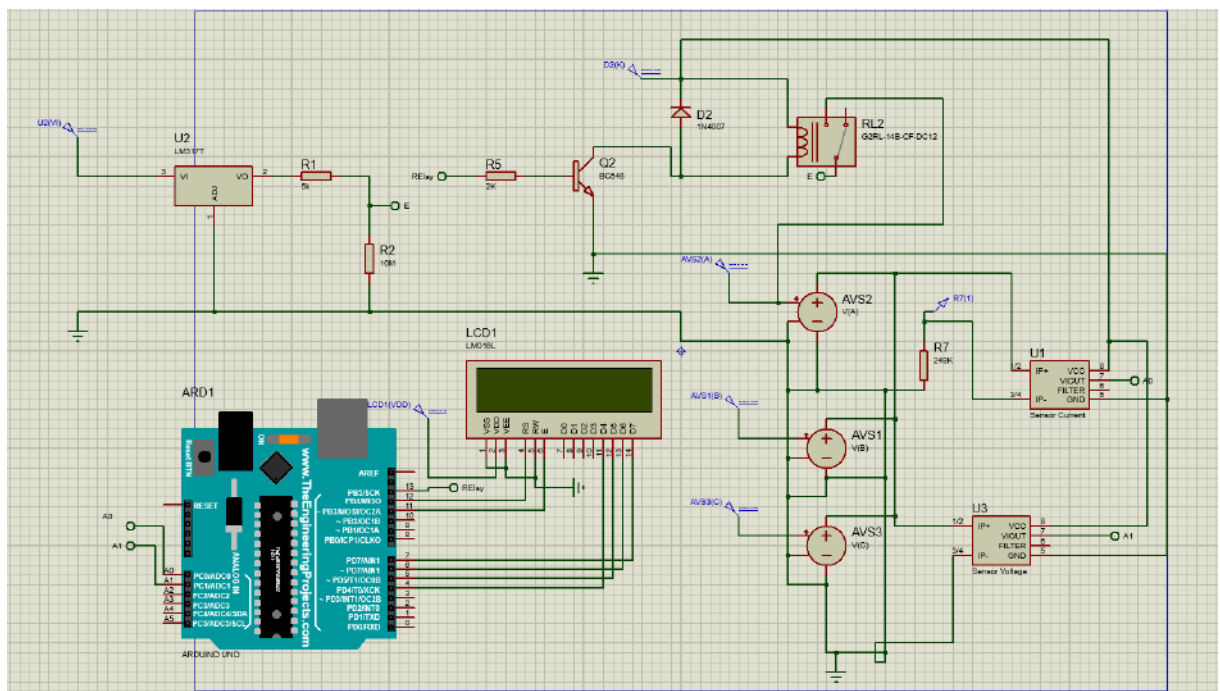


Figure 22 : Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

## Comprendre les Spécifications du BMS et de l'Arduino

Avant de commencer, il est important de comprendre les spécifications techniques du BMS et de la carte Arduino. Cela inclut les tensions de fonctionnement, les interfaces de communication (I2C, SPI, UART), et les broches disponibles sur les deux dispositifs.

### Connecter le BMS à l'Arduino

#### 1. Alimentation :

- S'assurer que l'Arduino et le BMS partagent une masse commune (GND).
- Connectez les broches d'alimentation du BMS aux broches correspondantes de l'Arduino, en vérifiant les spécifications de tension (5V ou 3.3V).

#### Interface de Communication :

- Déterminez l'interface de communication utilisée par le BMS (I2C, SPI, UART).
- **I2C** : Connectez les broches SDA et SCL du BMS aux broches SDA et SCL de l'Arduino.
- **SPI** : Connectez les broches MISO, MOSI, SCK et SS du BMS aux broches correspondantes de l'Arduino.
- **UART** : Connectez les broches RX et TX du BMS aux broches TX et RX de l'Arduino, en croisant RX et TX (RX de l'un vers TX de l'autre et vice versa).

### Le Code Arduino

#### 1. Initialisation de la Communication :

Dans le code Arduino, initialisez l'interface de communication choisie (I2C, SPI, UART).

pour I2C :

```
cpp
Copier le code
#include <Wire.h>

void setup() {
```

```

Wire.begin();
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // Code pour communiquer avec le BMS
}

```

## Lecture des Données du BMS :

Nous Écrivons les fonctions pour lire les données du BMS, telles que la tension, le courant et la température des cellules.

pour I2C :

```

cpp
Copier le code
void readBMSData() {
    Wire.beginTransmission(BMS_ADDRESS);
    Wire.write(REGISTER_ADDRESS); // Adresse du registre à lire
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(BMS_ADDRESS, NUM_BYTES);

    while (Wire.available()) {
        int data = Wire.read();
        Serial.println(data); // Afficher les données lues
    }
}

```

Dans notre cas

```

tension_fixe4 | Arduino 1.8.13
Fichier Edition Croquis Outils Aide

tension_fixe4

//library
#include <ACS712.h>
#include <LiquidCrystal.h>

//constant
LiquidCrystal lcd(12,11,4,5,6,7);

const int Relaypin=13;
const int voltageSensorPin = A1 ;
float vIn1;
float vOut1;
float voltageSensorVall;
const float factor1 = 5.128;
const float vCC1 = 4.10;

// Define input pin for relay
// sensor pin
// measured voltage (3.3V = max. 16.5V, 5V = max 25V)
// value on pin A3 (0 - 1023)
// reduction factor of the voltage Sensor shield
// Arduino input voltage (measurable by voltmeter)

```

Figure III.3 Déclaration des librairies.

## Interruption de Décharge et Charge :

- Ajoutez du code pour gérer les interruptions de décharge et de charge en fonction des données lues.
- Exemple pour arrêter la décharge si la tension est trop basse :

```

cpp
Copier le code
int voltageThreshold = 3000; // Exemple : 3000 mV

void checkBatteryVoltage() {
    int batteryVoltage = readBatteryVoltage(); // Fonction pour
lire la tension de la batterie

    if (batteryVoltage < voltageThreshold) {
        // Code pour arrêter la décharge
        Serial.println("Interruption de décharge : tension trop
basse");
    }
}

```

## 5. Tester et Déboguer

### 1. Vérifiez les Connexions :

- Utilisez un multimètre pour vérifier les connexions et s'assurer qu'il n'y a pas de court-circuit ou de mauvaise connexion.

### 2. Télé verser le Code :

- Téléversez le code sur la carte Arduino et observez les sorties sur le moniteur série.

### 3. Déboguer :

- Si nécessaire, ajoutez des déclarations `Serial.print` dans votre code pour vérifier les valeurs lues et les états des variables.

## 6. Optimiser et Finaliser

### 1. Optimisation du Code :

- Affinez le code pour optimiser les performances et assurer une gestion précise et fiable de la batterie.

### 2. Envelopper et Isoler :

- Une fois que tout fonctionne correctement, enveloppez et isolez les connexions pour éviter les court-circuit et les dommages.

En suivant ces étapes, vous pourrez relier efficacement un BMS à une carte Arduino, assurant ainsi une gestion optimale et sécurisée des batteries dans votre système.

## III.4 - Notre programme :

On a présenté le programme source par des imprimés écran des différentes boucles réalisées sous l'IDE Arduino, afin d'expliquer son déroulement comportant trois parties.

- Déclaration des bibliothèques, des variables ainsi que les constants.
- Partie, initialisation et configuration des entrées / sorties : la fonction `setup ( )`.
- Partie principale qui s'exécute en boucle : la fonction `loop ( )`.

La figure IV.3 présente un imprimé écran de l'IDE Arduino la première zone de déclaration. On commence le programme par un appel de la Bibliothèque « LiquidCrystal » en identifiant les broches de connexion de l'écran LCD avec la fonction `LiquidCrystal (12, 11, 4, 5, 6, 7)` et on fixe les deux broches digitales D<sub>8</sub> et D<sub>9</sub> par une déclaration définitive comme sorties afin de contrôler les deux relais.[36]

Pour les entrées analogiques A<sub>1</sub> on le déclare respectivement comme de variable pour grandeur mesurée « tension ».

La figure IV.4 présente la fonction de l'initialisation « setup », on initialise la fonction LCD et on affiche un message d'introduction sur l'écran. On définit également les broches des relais comme des broches de sortie. Ensuite, on excite le relais de charge et on connecte la batterie au chargeur qui reste en mode CC.

```

57 void loop() {
58     // Lire l'état actuel du bouton
59     valeur_adc = analogRead(ANALOG_IN_PIN);
60     tension_adc = (valeur_adc * tension_reference) / 1024.0;
61     tension_entree = tension_adc * (R1 + R2) / R2;
62     buttonState = digitalRead(buttonPin);
63     float voltage_raw = (5.0 / 1023.0) * analogRead(VIN); // Read the voltage from sensor
64     voltage = voltage_raw - QOV + 0.012; // 0.000 is a value to make voltage zero when there is no current
65     float current = voltage / sensitivity[model]; //
66     // Vérifier si le bouton a été pressé
67     if (buttonState != lastButtonState) {
68         // Si l'état du bouton a changé
69         if (buttonState == HIGH) {
70             // Si le bouton est pressé, changer l'état des LED
71             ledState++;
72             if (ledState > 4) {
73                 ledState = 0; // Revenir à l'état initial après avoir allumé les trois LED
74             }
75             delay(50); // Anti-rebond pour éviter les lectures multiples
76         }
77         lastButtonState = buttonState; // Mettre à jour l'état du bouton
78     }
79
80     // Utiliser un switch case pour contrôler les LED
81     switch (ledState) {
82         case 0:
83             // Toutes les LED éteintes
84             digitalWrite(ledPin1, LOW);

```

Figure III.4 la fonction setup

Figure IV.5 présente une partie dans la boucle de répétition, si la tension de charge est inférieure à  $V_{max}$ , on entre en mode CC. À l'intérieur de la boucle de mode CC, on garde la broche aussi basse pour rester en mode CC, puis on continue à surveiller la tension et le courant.

Si la tension dépasse le seuil de la tension  $V_{max}$ , on coupe la boucle CC en utilisant une indication de pause « break ». La valeur de la tension de charge est également affichée sur l'écran LCD à l'intérieur de la boucle CC.

```

141     lcd.setCursor(15, 0);
142     lcd.print("V");
143     lcd.setCursor(0, 1);
144     lcd.print("Current: ");
145     lcd.setCursor(9, 1);
146     lcd.print(current, 3);
147     break;
148   case 4:
149     // Allumer la LED 123
150     lcd.clear();
151     digitalWrite(ledPin1, HIGH);
152     digitalWrite(ledPin2, HIGH);
153     digitalWrite(ledPin3, HIGH);
154
155     lcd.setCursor(0, 0);
156     lcd.print("PUISSENCE: "); // Affichage de la tension avec deux décimales
157     lcd.print((tension_entree * current), 3);
158     lcd.setCursor(15, 0);
159     lcd.print("W");
160
161     break;
162   }
163 }
164

```

Figure III.5 Echantillon du programme «BMS»

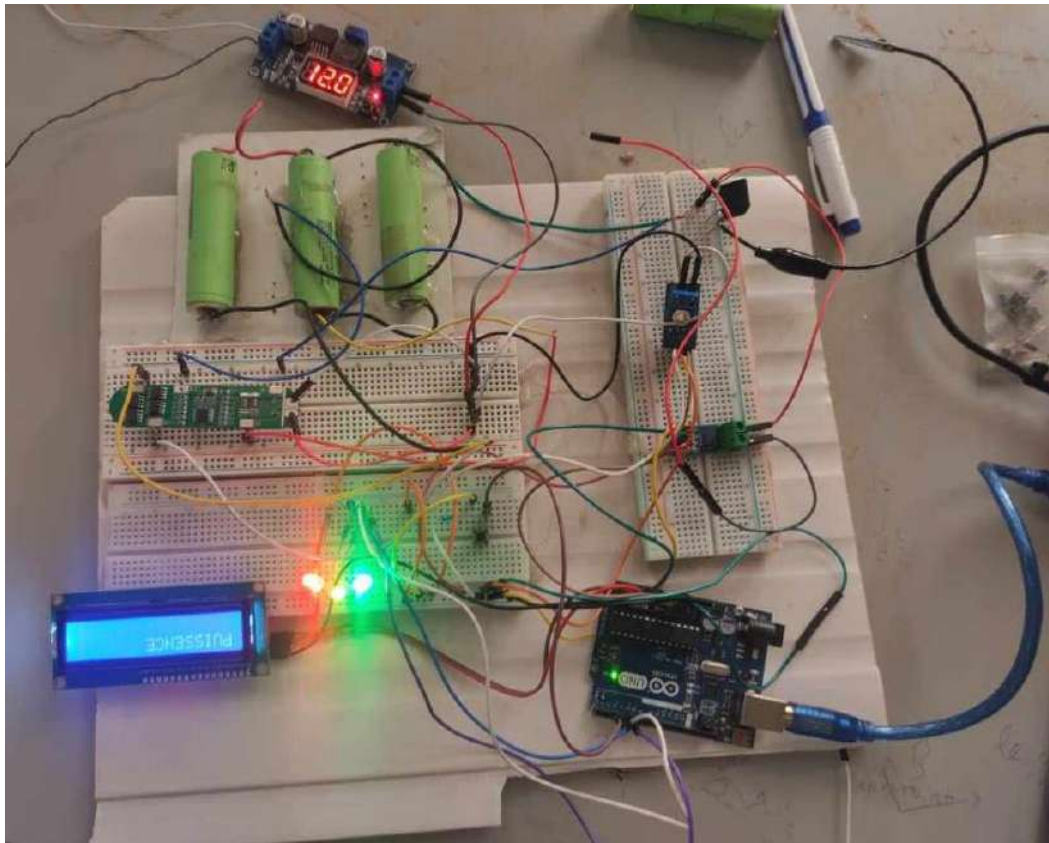


Figure 23:Photo présentant la phase de charger

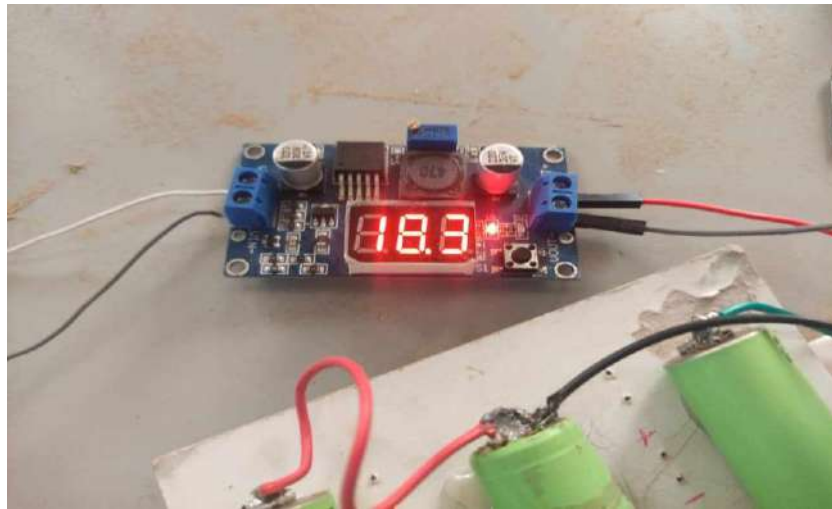


Figure 24 :régulateur de tension à affichage LED

Sur la Figure régulateur de tension à affichage LED, ce dispositif est nécessaire afin de réguler la tension venant du panneau, nous pouvons aussi avoir une idée de la tension fournit par le panneau.

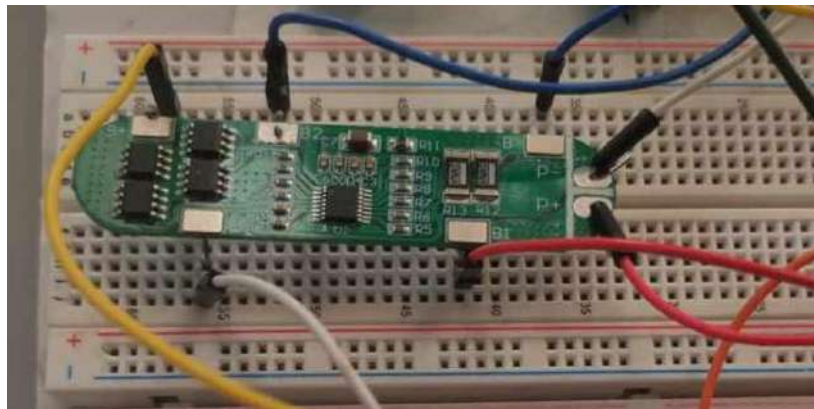


Figure III.8:BMS le système de gestion de la tension des cellules a trois entrées

La figure montre la carte BMS de protection 5S 15A 18.5V est essentielle pour maintenir la sécurité, la performance et la durabilité des packs de batteries. Elle joue un rôle vital en surveillant la tension, en équilibrant les cellules, en limitant les courants excessifs, en offrant une protection thermique et en gérant efficacement les processus de charge et de décharge.

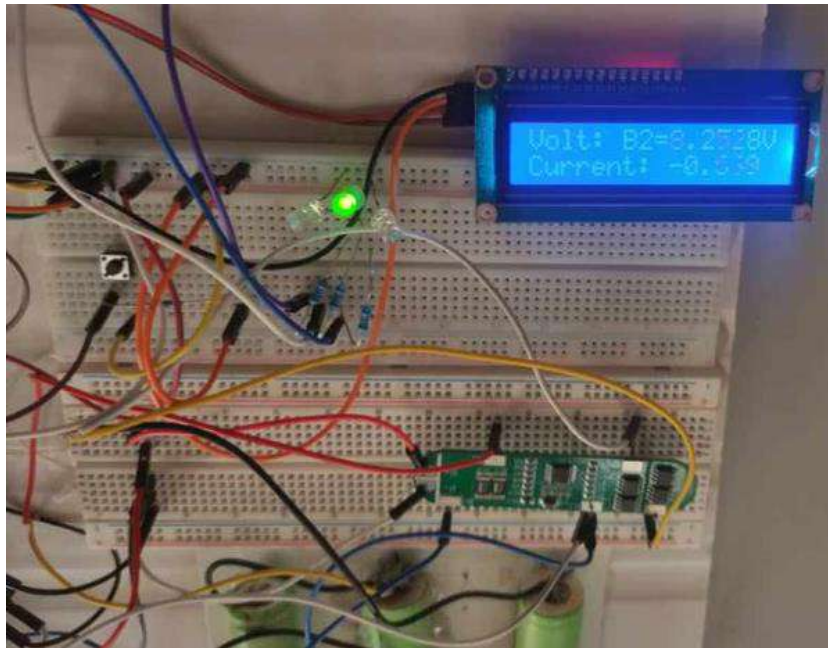


Figure III.9 :plant générale avec afficheur ou on peut lire le courant et la tension

Ici dans cette figure nous pouvons voir que l'on a pu afficher les caractéristiques courant et tension et puissance pour chaque batterie individuellement ou en série.



Figure III.25:vue d'ensemble du système avec panneau PV

### III.4.1-Critères de sélection de la technologie utilisée :

Le choix de la technologie de charge dépend du temps de charge et de l'état de la batterie. Facilite l'utilisation de la technologie de charge (BMS). Bien qu'il ait l'inconvénient d'un temps de charge lent, il permet un chargement sûr et complet de la batterie Li-Ion, simple et facile

### III.4.2- Bloc d'alimentation

Le chargeur est alimenté par une source externe de 12 Volts avec une intensité de courant variable jusqu'à quatre ampères, et la carte Arduino sera alimentée sur la broche Vin.

### III.5. Résultats de charge (Tension et Curent) :

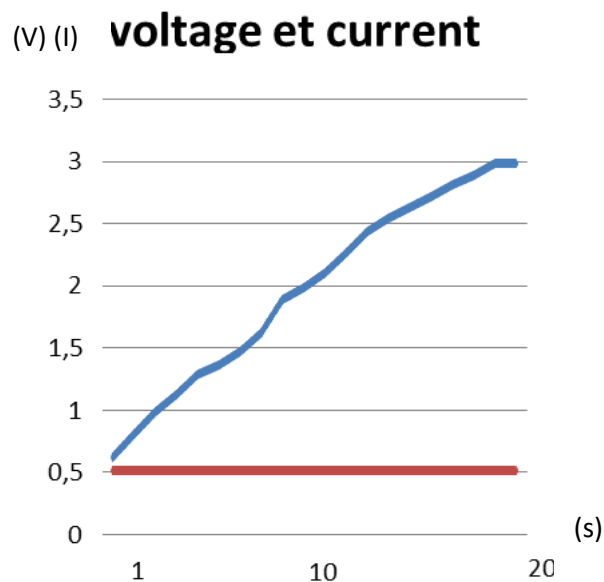


Figure III.26: courbes de charge (Tension et Current)

Dans ce graphe nous remarquons une augmentation progressive de l'intensité du courant jusqu'à un niveau de 3 V là où la batterie arrive une première cellule arrive à un niveau de tension moyen des trois cellules

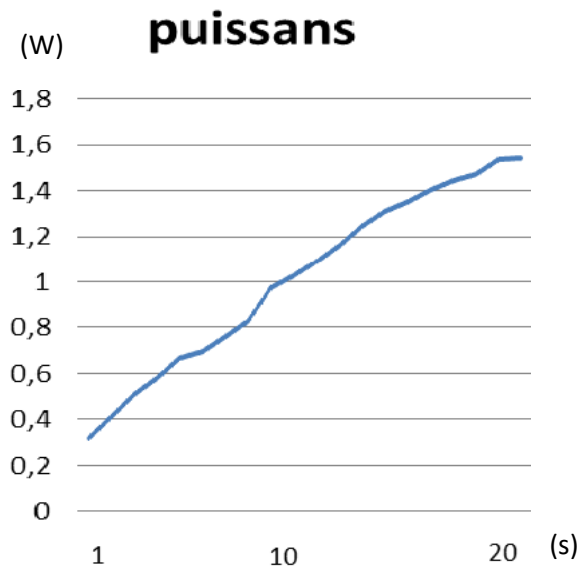


Figure III.27: courbes de puissance

Le graphe de puissance est calculé directement en multipliant le courant avec la tension de la cellule, une augmentation est presque linéaire car la tension ne dépasse pas un certain seuil, le chargement continuera plus tard quand les trois cellules seront sur une même tension.

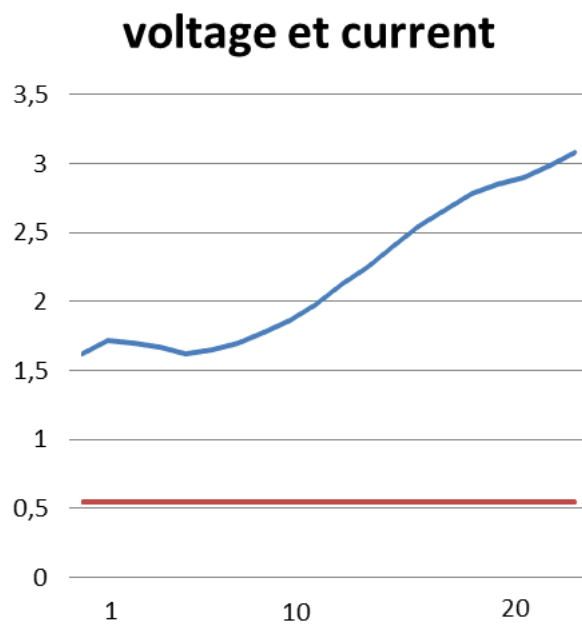


Figure III.28: courbes voltage et courant

Dans une deuxième cellule les graphes de tension et de courant sont plus étendus car le niveau ou le niveau de la cellule est plus faible que la première le chargement commence avec une petite fluctuation puis augmente progressivement jusqu'au niveau de la première a

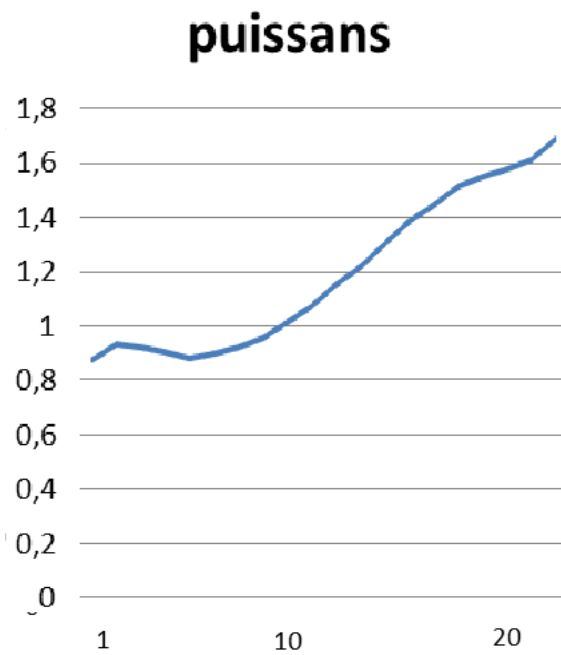


Figure III.29: courbes puissance

Le graphe de puissance suit celui de la tension car le courant est très stable lors du chargement

La puissance a aussi une augmentation relative du fait que la tension de référence est plus proche

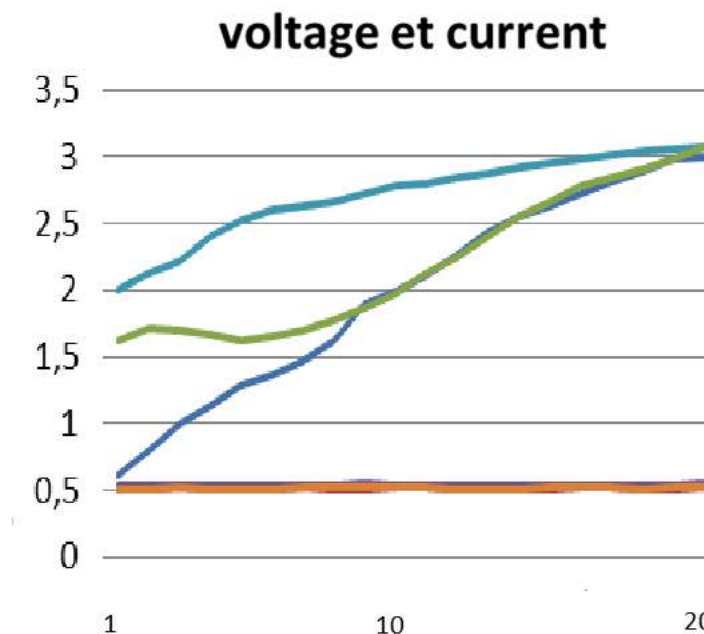


Figure III.30 : courbes courant tension de 3 cellules fonction du temps

Ici nous avons voulu superposer les graphes des trois cellules afin de mieux observer le cycle de chargement. Nous avons pu ainsi remarquer que la tension au démarrage du chargement de la troisième cellule est plus élevée, le BMS a conclu que les deux autres

doivent arriver au niveau de celle a la tension plus élevé, puis ensuite reprendre le chargement des trois cellules simultanément jusqu'au niveau max.

## **Conclusion :**

Dans ce chapitre, l'essentielle de notre travail a été exposé, commençant par la stratégie le modèle mathématique la simulation numérique la réalisation et enfin les programme. Les caractéristiques courant, tension, puissance ont clôturées ce chapitre avec quelque interprétation

Lors de l'élaboration de cette étude nous nous sommes familiarisé avec l'environnement ARDUINO ainsi que ces différents dispositifs associés, l'intégration d'un panneau PV nous a permis de donner à cette étude un aspect énergie renouvelable soucieux de la cause environnementale, et nous a permis de charger les trois cellules quand elles n'ont pas la même charge au départ, nous avons pu remarquer en étudiant les caractéristiques la véracité de la thèse qui stipule que, effectivement les cellules les moins chargées commencent d'abord par se charger et lorsqu'elle arrive à un niveau de référence les trois cellules se chargent alors de manière simultanée.

## **Conclusion générale :**

L'objectif de ce modeste travail était le traitement de la problématique de la protection des batteries de stockage contre les surcharges et les décharges profondes ainsi que l'amélioration du rendement du générateur photovoltaïque. Pour cela, nous avons travaillé sur l'étude de fonctionnement d'un chargeur de batterie solaire d'une tension de 12 Volts, opérant sous un système photovoltaïque autonome, composé d'un module solaire d'une puissance de 50 W, d'un circuit d'adaptation constitué d'un convertisseur DC-DC de type Buck, d'une carte Arduino Nano générant des signaux MLI pour la commande du transistor du convertisseur selon un algorithme MPTT nommé « perturbation et observation » que nous avons mise en place après un examen de plusieurs algorithmes disponibles dans la littérature et qui permet une meilleure exploitation de l'énergie photovoltaïque, de deux diviseurs de tension pour la mesure des tensions à la sortie du GPV et la batterie, et un capteur de courant ACS712, et d'autres composants électroniques servent à fournir la protection contre toute surcharge ou court-circuit.

Compte tenu des conditions de travail et la durée insuffisante pour l'accomplissement d'un important projet comme le nôtre et les difficultés rencontrées dans le dimensionnement des composants, les résultats obtenus sont satisfaisants à condition qu'il y ait des améliorations en recourant à d'autres techniques MPPT plus élaborées faisant appel aux méthodes intelligentes telles que les réseaux de neurones et la logique floue, ainsi l'emploi des panneaux solaires et des batteries avec tension plus élevée. Comme les panneaux solaires sont installés à distance, les paramètres des systèmes de surveillance sont vitaux pour nous. Et l'ajout de la fonction d'enregistrement de données à mon contrôleur est indispensable via un module wifi ou Bluetooth.

## Référence :

- [1] R. MAMOUNI and S. ZEMMITE, "Etude et réalisation d'un chargeur solaire par Arduino."
- [2] T. Levy and V. Swaen, "Dans quelle mesure les organisations sportives professionnelles jouent-elles un rôle dans la réalisation des objectifs de développement durable? Analyse des cas de la RBFA et de l'UEFA."
- [3] M. YAICHI, "Etude, Contrôle et Optimisation des performances d'une chaîne de conversion photovoltaïque utilisant des Onduleurs Multiniveaux Asymétriques," 2016.
- [4] A. Quilliet and P. J. J. d. P. e. I. R. Gosar, "L'effet photovoltaïque de surface dans le silicium et son application à la mesure de la durée de vie des porteurs minoritaires," vol. 21, no. 7, pp. 575-578, 1960.
- [5] S. Petibon, "Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques," Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2009.
- [6] K. Fabrice, "Développements et tests de stratégies de gestion de l'énergie à l'échelle de micro réseaux avec stockage et production d'hydrogène," La Réunion, 2019.
- [7] M. B. Moussaab, "THÈSE LMD," Université de Tlemcen, 2016.
- [8] D. Gourari, "Gestion des flux énergétiques dans un micro-réseau par une programmation dynamique," Université du Québec à Trois-Rivières, 2020.
- [9] M. E. E. DE L'HABITAT, "L'ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE DE L'ECLAIREMENT, L'INCLINAISON ET L'ORIENTATION SUR LA TENSION (Voc) D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE."
- [10] A. C. Pastor, "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques," INSA de Toulouse, 2006.
- [11] S. A. A. Niang, K. Talla, D. Dialo, M. S. Drame, and S. J. S. A. e. d. I. I. Astou, "Dimensionnement et étude financière d'une petite installation photovoltaïque pour plusieurs stations au Sahel," vol. 4, no. 1, pp. 17-26, 2022.
- [12] A. ABDELHAMID and I. BENSAD, "Etude d'une nouvelle conception de la batterie acide-au-plomb," Université Ibn Khaldoun-Tiaret-, 2020.
- [13] M. A. Cheikh, M. C. Belhadj, M. Bassaid, M. Becherif, and C. J. v. Larbes, "Simulation et réalisation d'un contrôleur de batterie solaire à base de PIC16F876," vol. 2, pp. 1-9, 2012.
- [14] G. M. Jaoued, M. L. Djamal, M. M. Nour, and M. B. S. Mohammed, "Projet de fin d'Etudes," 2007.
- [15] Y. Thiaux, "Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides-Evaluation de la technologie Li-ion," École normale supérieure de Cachan-ENS Cachan, 2010.
- [16] K. Abdennadher, "Etude et Elaboration d'un système de Maintenance Prédictive Pour les condensateurs et les Batteries Utilisés dans les Alimentations sans Interruptions (ASI)," PhD thesis, Université de LYON 1, 2010.
- [17] A. Lachichi, "Modélisation et stabilité d'un régulateur hybride de courant-Application aux convertisseurs pour pile à combustible," Université de Franche-Comté, 2005.
- [18] M. A. SASSOUI and A. HAMADA, "Etude et réalisation d'un circuit BMS pour Batteries Li/Lon," UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
- [19] N. Achaibou, A. Malek, and N. J. R. D. É. R. Bacha, "Modèle de Vieillessement des Batteries Plomb-Acide dans les Systèmes PV," pp. 61-66, 2000.
- [20] A. S.-B. VACOSSIN and S. C.-F. BETIN, "Gestion de la Charge de Batteries Lithium (BMS)."
- [21] A. J. P. Payman, Polytechnic Institute of Lorraine, Nancy, France, "Contribution à la Gestion de l'Energie dans les Systèmes Hybrides Multi-sources Multi-charges," 2009.
- [22] Z. Jelassi, "Etude et évaluation des performances des systèmes de gestion de batteries lithium-ion."
- [23] A. NETTARI and A. ZIGHMI, "Etude et réalisation d'un chargeur de batterie au Lithium-ion," Université KASDI-MERBAH Ouargla.
- [24] B. LAKEHAL, "Etude et modélisation des photopiles de troisième génération," Université de Batna 2, 2018.
- [25] K. Lydia and G. Sofiane, "Conception et réalisation d'un système de mesure et transmission de paramètres météorologiques," Université Mouloud Mammeri, 2018.

- [26] A. LAHBIB and B. SAIDOUNE, "Application de commande de type PI pour le pilotage de bras de robot rob 3," Université Ibn Khaldoun, 2016.
- [27] B. Lydia and H. Nadia, "Conception et Réalisation d'une Carte de Commande d'une Maquette d'Ascenseur à base d'une Carte Arduino Mega2560," Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [28] A. khodja Nassim, "Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte arduino," Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [29] D. Aissa and A. Abdelhak, "Conception et réalisation d'un tapis roulant commandé par un système de détection à base d'une carte Arduino," Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [30] A. Lièvre, "Développement d'un système de gestion de batterie lithium-ion à destination de véhicules" mild hybrid": détermination des indicateurs d'état (SoC, SoH et SoF)," Université Claude Bernard-Lyon I, 2015.