

وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Électrique



N°d'ordre:M...../GE/2023

## MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN ELECTROTHERNIQUE

Spécialité : énergies renouvelables en électrotechnique

Présenté par

**Nom et Prénom**

*Mostefa Sba Amina*

#### Intitulé du sujet

**Etude, conception et réalisation d'un régulateur de charge solaire MPPT  
doté de la technologie IoT**

Soutenu le 16/07/2023 devant le jury composé de :

Président :	OMARI HAMZA	Grade MCA	Université de MOSTAGANEM
Examineur :	GHOMRI LEILA	Grade MCA	Université de MOSTAGANEM
Encadrant :	SOUAG SLIMANE	Grade MCB	Université de MOSTAGANEM

Année Universitaire 2022/2023

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience durant toutes nos années d'étude. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont consentis afin que nous puissions terminer nos études.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadrant monsieur **SOUAG SLIMANE** pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au chef de département et à tous nos professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu et guidé durant nos études.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**MERCI !**

# Dédicaces

Avant tout, je remercie « **ALLAH** » qui m'a donné la santé, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail et de terminer ma carrière éducative à faculté des sciences et des technologies

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à :

- ❖ Ma très chère mère, ma vie **FATIMA** qui m'a donné tout ce qu'elle avait, Afin de me rendre heureux, c'est la mère qui se sacrifie pour ses enfants.
- ❖ Mon cher père, ma force **ABDEL KADER**, Mon soutien dans la vie.

*Je vous aime, et J'espère que vous êtes fiers de moi*

- ❖ Mes 2 frères **ABDEL MADJID** et **MOHAMED**, et mes sœurs **AMEL**, **SABAH**, **SARAH** et **HAYET**
  - ❖ La femme du mon frère, ma belle-sœur **Djamila**.
  - ❖ Mes neveux **MOSTAFA** et **ALI YOUSSEF**, et mes nièces **HADIL**, **HANA**, **MERIEM**, **NOUR** et **AMIRA**.
  - ❖ Tout la famille **MOSTEFA SBA** et **BENAMARA**.
- ❖ Qui m'a guidée durant la réalisation de ce travail mon cher encadrant de mémoire **Dr. SOUAG SLIMANE**, merci. Je vous souhaite tout le meilleur et le succès dans votre vie.
- ❖ Ma sœur **BELMERJA BAYA**, merci pour vos efforts et votre soutien, je te souhaite du bonheur dans ta vie, je t'aime ma belle.
- ❖ Je remercie mon ami et mon binôme **BOUKECHICHE FAROUK**, pour ces conseils et ses efforts durant ces années je lui souhaite le succès dans sa vie.
- ❖ Mes sœurs **GHAZI CHERIFA** et **SOLTANI KHADIDJA**, je vous aime mes amours, je vous souhaite une meilleure vie pleine de succès.

*L'amitié est l'attachement de l'âme pour l'âme, fondé sur les qualités de l'esprit et du cœur.*

- ❖ Tous mes collègues du secteur.
- ❖ Tous nos professeurs qui nous ont appris.
- ❖ Et enfin à ma diligence et ma volonté, merci à moi.

**ELHAMDOULILLAH**

---

## Sommaire

Liste des abréviations et symboles .....	10
Introduction générale.....	15
<b>CHAPITRE I</b> : Etat de l’art sur les régulateurs de charge.....	<b>17</b>
I.1 Introduction :.....	18
I.2 Le rôle d’un régulateur dans un système photovoltaïque :.....	18
I.3 Schéma de base d’un régulateur de charge : .....	18
I.4 Choix du régulateur :.....	19
I.5 Les différents types de régulateur de charge :.....	19
I.5.1 Régulateurs de type parallèle (shunt) :.....	19
I.5.2 Régulateur de charge de type série :.....	20
I.5.3 Régulateurs de type PWM (Pulse With Modulation) :.....	20
I.5.4 Régulateur de charge de type MPPT (Maximum Power Point Tracking) :.....	20
I.6 Etapes de charge d’un contrôleur de charge :.....	21
I.6.1 Etape de charge à courant constant (Bulk) :.....	21
I.6.2 Etape de charge à tension constante (Absorption) : .....	21
I.6.3 Etape d'entretien (Float) : .....	22
I.7 Le principe et le fonctionnement d’un point de puissance maximale : .....	22
I.8 Les techniques de commandes MPPT :.....	23
I.8.1 La méthode observation & perturbation (P&O) :.....	23
I.8.2 Approche de la tension constante (CV, constant voltage) :.....	24
I.8.3 Approche du courant constant (constant current) :.....	24
I.8.4 Méthode d’incrément de conductance (IC) : .....	25
I.9.Conclusion : .....	26
<b>CHAPITRE II</b> : Etude et conception du convertisseur Buck avec les circuits de protection et d’alimentation 27	
II.1 Introduction :.....	28
II.2 Généralités sur les hacheurs :.....	28
II.3 Domaine d’utilisation des hacheurs : .....	29
II.4 Principe de fonctionnement :.....	29
II.4.1 Mode de conduction continue (MCC) :.....	29
II.4.2 Mode de conduction discontinu (MCD) :.....	30
II.5 Les différents types d’hacheur : .....	30
II.5.1 Hacheurs réversibles: .....	31
II.5.2 Hacheur non réversible :.....	32
II.6 Étude du convertisseur BUCK : .....	33
II.6.1 Fonctionnement :.....	34

II.6.2 la différence entre convertisseur Buck synchrone et Asynchrone : .....	41
II.7 protections et contrôle de convertisseur Buck (flow Back protection) : .....	42
II.7.1 Résolution du problème de combustion du MOSFET côté bas : .....	43
II.8. Circuit d'alimentation : [13] .....	44
II.9 conclusions : .....	45
<b>CHAPITRE III : Etude des stratégies de commande MPPT Perturbe &amp; Observe et de stockage ..</b>	<b>46</b>
III.1 Introduction : .....	47
III.2 Définition de la MPPT : .....	47
III.3 Le principe de fonctionnement de la MPPT : .....	48
III.4 Principe de recherche de point de puissance maximale (MPPT) : .....	48
III.5 Méthode perturbation et observation (P& O) : .....	49
III.6 Stockage de l'énergie : .....	52
III.6.1 Définition d'une batterie : .....	52
III.6.2 Batteries d'accumulateurs : .....	52
III.6.3 Processus de décharge et de charge de batterie : .....	53
III.6.4 Principales caractéristiques des accumulateurs : .....	55
III.6.5 Différents types d'accumulateurs : .....	58
III.6.6 chargements des batteries : .....	61
III.7. Méthodes traditionnelles de charge de la batterie : [9].....	62
III.7.1. Méthode de charge CC.CV : .....	62
III.8 Conclusion : .....	64
<b>CHAPITRE IV : La conception et simulation du régulateur de charge MPPT.....</b>	<b>65</b>
VI.1 introduction : .....	66
VI.2 La partie puissance : .....	66
VI.2.1 caractéristiques du panneau photovoltaïque choisi : .....	66
VI.2.2 Caractéristiques de la batterie choisie : .....	67
VI.2.3 Choix de la fréquence du signal de commande : .....	68
VI.2.4 choix du MOSFET : .....	68
VI.2.5 Choix de la diode : .....	71
VI.2.6 Dimensionnement des condensateurs : .....	71
VI.2.7 Le transistor MMBT3904 : .....	72
VI.2.8 Choix de la bobine : .....	73
VI.2.9 Choix de capteur de tension : .....	76
VI.2.10 Choix de capteur de courant : .....	78
VI.2.11 Convertisseur analogique-numérique 16 bits I2C : .....	80
VI.2.12 UART USB-TTL CH340 : .....	81
VI.3 La Partie commande.....	82

VI.3.1 la carte ESP32 : .....	82
VI.3.2 Logiciel IDE de l'Arduino : .....	88
VI.3.3 Présentation du logiciel PROTEUS : .....	89
VI.3.4 Schéma général de notre prototype : .....	91
VI.3.5 Présentation du matériel de l'écran LCD I2C :.....	91
VI.3.6 Ajout des boutons et de l'écran LCD :.....	92
VI.4. Système de supervision : .....	94
VI.4.1 la technologie IOT :.....	94
VI.5. Application de télémétrie Wi-Fi :.....	94
VI.5.1.application Blynk : .....	94
VI.5.2. Caractéristiques de l'application MPPT Blynk : [13].....	95
VI.6. Conclusion : .....	96
CHAPITRE V : Résultats de la réalisation du régulateur De charge MPPT .....	97
V.1 Introduction :.....	98
V.2 Le typon : .....	98
V.3 Transfert de la chaleur :.....	99
V.4 La gravure : .....	100
V.5 Le perçage : .....	100
V.6 La partie réalisation pratique : .....	101
V.7. Réalisation du boîtier :.....	103
V.8. Conclusion :.....	105
Conclusion générale .....	106
Bibliographies .....	107

Figure I.1: schéma de base d'un régulateur de charge .....	19
Figure I.2:Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type shunt .....	20
Figure I.3 : Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type série.....	20
Figure I.4: Etapes de charge d'un contrôleur de charge.....	21
Figure I.5 : Chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur statique .....	22
Figure I.6: L'organigramme d'une commande MPPT de type P&O.....	23
Figure I.7:algorithme de la tension .....	24
Figure I.8: algorithme du courant.....	25
Figure I.9: : organigramme de la méthode incrément de conductance .....	25
Figure II.1: Schéma de principe du hacheur.....	28
Figure II.2: Schéma de principe d'un hacheur parallèle .....	30
Figure II.3 : Schéma de principe d'un hacheur série.....	30
Figure II.4 : Schéma de principe d'un hacheur série .....	32
Figure II.5: Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST .....	32
Figure II.6: Schéma d'un hacheur survolteur .....	33
Figure II.7: Schéma équivalent d'un hacheur dévolteur. ....	33
Figure II.8: Les deux configurations d'un convertisseur Buck suivant l'état de l'interrupteur	34
Figure II.9: périodes fermeture et ouverture d'un commutateur. ....	35
Figure II.10:Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck.....	35
Figure II.11: Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck.....	35
Figure II.12:Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck en conduction discontinue .....	37
Figure II.13: Schémas équivalents du hacheur dévolteur (a) : S fermé , (b) : S ouvert .....	39
Figure II.14 : Convertisseur Buck synchrone.....	40
Figure II.15: convertisseur Buck asynchrone.....	41
Figure II.16:Flow back protection.....	42
Figure II.17: Résolution du problème de combustion du MOSFET côté bas .....	43
Figure II.18: Schéma du bloc d'alimentation.....	44
Figure III.1:Modèle d'installation PV avec régulateur MPPT .....	47
Figure III.2 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT ....	49
Figure III.3: Le fonctionnement de l'algorithme PO .....	50
Figure III.4: Organigramme de la méthode P&O .....	51
Figure III.5 : schéma principe de fonctionnement .....	53
Figure III.6: la courbe d'une charge d'un élément.....	54
Figure III.7: la courbe de décharge d'un élément .....	55
Figure III.8: batterie au plomb .....	59
Figure III.9 : batterie au nickel.....	59
Figure III.10 : batterie au lithium .....	60
Figure III.11: batterie Gel.....	60
Figure III.12: batterie AGM .....	61
Figure III.13: Un graphique du courant et de la tension de la batterie en mode de charge CC- CV .....	63

Figure IV.1:La plaque signalétique du panneau solaire .....	67
Figure IV.2:batterie type AGM.....	67
Figure IV.3:IR2104 MOSFET .....	69
Figure IV.4:driver (IR2106).....	69
Figure IV.5 : MOSFET CSD19505.....	70
Figure IV.6:MOSFET type Si2306DS .....	70
Figure IV.7 Diode Schottky type SS310 .....	71
Figure IV.8 transistore MMBT3904 .....	72
Figure IV.9 modèle de noyau 0077071A7 .....	73
Figure IV.10 les dimensions physiques du tor .....	74
Figure IV.11 Schéma de pont diviseur de tension de panneaux .....	76
Figure IV.12 : Schéma de pont diviseur de tension de batterie.....	77
Figure IV.13 Capteur de courant à effet Hall (ACS712-30A). .....	78
Figure IV.14 capteur de courant ACS712-30A.....	79
Figure IV.15 Convertisseur analogique-numérique 16 bits I2C .....	80
Figure IV.16: schéma proteus de convertisseur ADC 16 bits I2C .....	81
Figure IV.17 schéma proteus de UART USB-TTL CH340.....	81
Figure IV.18carte ESP32-S , 38 pins .....	83
Figure IV.19 ESP32-WROOM-32 Disposition des broches.....	84
Figure IV.20 ESP32 Schémas périphériques .....	88
Figure IV.21 Logiciel IDE de l'Arduino.....	89
Figure IV.22 exemple sur Le logiciel ISIS de Proteus.....	90
Figure IV.23 :exemple sur Le logiciel ARES de Proteus .....	91
Figure IV.24 Schéma général sous Proteus- ISIS .....	91
Figure IV.25 Structure d'un écran LCD-(16*2) avec I2C. ....	92
Figure IV.26 Convertisseur i2c .....	92
Figure IV.27 carte d'interface de bouton .....	93
Figure IV.28 L'application Blynk .....	95
Figure V.1 typon de la carte électronique .....	98
Figure V.2 typon carte d'interface de bouton .....	99
Figure V.3 transfert de la chaleur par fer à repasser .....	100
Figure V.4 utilisation du chlorure de fer pour la fabrication du PCB .....	100
Figure V.5 le perçage de la carte PCB .....	100
Figure V.6 photo de notre projet sur plaque d'essai .....	101
Figure V.7 une autre photo de notre projet .....	101
Figure V.8Photo de la carte sous test d'alimentation.....	102
Figure V.9 carte d'interface de bouton.....	102
Figure V.10 test de LCD i2c avec circuit imprimé .....	103
Figure V.11 : schéma du boîtier sous « SOLIDWORKS ».....	103
Figure V.12 L'impression du boîtier à travers imprimante 3D.....	104
Figure V.12 L'impression du boîtier à travers imprimante 3D.....	104

Tableau III.1: Performances de charge de différents types de batteries .....	62
Tableau IV.1: les paramètres de type MOSFET Si2306DS .....	70
Tableau IV.2: : Définitions des broches de l'ESP32 .....	84
Tableau IV.3: Spécifications ESP32.....	86

## *Liste des abréviations et symboles*

**AC** : Courant Alternatif (Alternative Current).

**ADC** : **CAN** : convertisseur analogique numérique.

**ARES** : Aerial reconfigurable embedded.

**BOOST** : Hacheur parallèle (survolteur).

**BUCK** : Hacheur série (dévolteur).

**BUCK-BOOST** : Hacheur dévolteur-survolteur.

**C** : Taux.

**CAO** : conception assistée par ordinateur.

**CC** : Courant Continu.

**CC-CV** : constant current constant voltage.

**CMOS**: complementary metal-oxide semiconductor.

**CS** : convertisseur statique.

**CV** : la tension constante (constant voltage).

**DC** : Courant Continu (Direct Current)

**DC-DC** : Courant Continue/Courant Continue.

**DOD** : Depth Of Discharge (Profondeur de décharge).

**E** : énergie stocké.

**ESP32** : expressif systems

**fe** : la fréquence de découpage.

**FL** : logique floue (fuzzy logic)

**GPV** : Générateur Photovoltaïque.

**H** : hauteur.

**I2c** : inter-integrated circuit.

**IC** : D'incrémentation de conductance.

**ID** : diamètre intérieur.

**IGBT**: insulated-gate bipolar transistor.

**I<sub>mpp</sub>** : le courant de point maximal.

**IOT** : internet des objets (internet of thing).

**IPV** : Courant de panneaux photovoltaïque

**I<sub>s</sub>** : courant de sortie.

**I<sub>sat</sub>** : courant de saturation.

**I<sub>sc</sub>** : Courant de court-circuit (Short Circuit Current).

**ISIS** : Intelligent Schematic Input System.

**LCD** : liquid crystal display

**Li-ion**: ions de Lithium.

**LSTTL**: Low-Power Schottky Transistor-Transistor Logic

**L<sub>w</sub>** : la longueur de fil.

**MCC** : Mode de conduction continue.

**MCD** : Mode de conduction discontinu.

**MCU** : micro controller unit.

**MLI** : Modulation de largeur d'impulsion.

**MOSFET**: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor.

**MPPT**: Maximum Power Point Tracker.

**N** : nombre de spire.

**Nb Cycles** : Nombre de cycle.

**Ni-Cd** : Nickel Cadmium.

**OD** : diamètre extérieur.

**P&O** : Perturbe et observation.

**PCB**: printed circuit board.

**PPM** : le point de puissance maximale.

**PV:** Photovoltaïque.

**PWM:** Pulse Width Modulation.

**SOC :** State Of Charge (état de charge).

**SOH:** State Of Health (état de santé).

**T<sub>e</sub> :** la période des impulsions.

**TTL:** Transistor-transistor logic.

**UART:** universal asynchronous receiver-transmitter.

**USB :** Universal Serial Bus.

**V<sub>BAT</sub> :** Tension de la batterie

**VRLA :** Valve Regulated Lead Acid

**VSM:** value stream mapping.

**Wi-fi:** wireless fidelity.

**C<sub>in</sub> :** Capacité d'entrée

**C<sub>out</sub> :** Capacité de sortie

**α:**Le rapport cyclique.

## Résumé :

Les sources d'énergie renouvelables sont un sujet qui acquiert une importance croissante dans le monde en raison de sa consommation et de l'épuisement des combustibles fossiles. Le système alimentation photovoltaïque (PV) devient de plus en plus important en tant que source énergie renouvelable la plus disponible car il est propre avec peu d'entretien et sans aucun bruit.

Néanmoins, les systèmes PV ont des problèmes, tels que la conversion avec un faible rayonnement. En effet, à cause de la fluctuation de la quantité d'énergie produite, liée aux perturbations météorologiques (température et niveau d'éclairage), cette énergie est loin d'être une source stable. D'où l'impératif de relier le générateur photovoltaïque autonome à un système de stockage (batterie), pour ainsi garantir une disponibilité de l'énergie en cas d'absence du rayonnement

solaire et pour résoudre le problème, nous utilisons un régulateur de charge solaire

Ce mémoire a pour objectif de faire conception et simulation avec la réalisation pratique d'un régulateur de charge solaire MPPT avec technologie IOT et système supervision à base d'une carte ESP32.

## Les mots clés :

PV, MPPT, batterie, ESP32, IOT, charge solaire, énergie, simulation, conception

## الملخص:

تعد مصادر الطاقة المتجددة من أهم المصادر التي تكتسب أهمية متزايدة في العالم بسبب استهلاكها واستنفاد الوقود الأحفوري. أصبح نظام الطاقة الكهروضوئية (PV) أكثر أهمية باعتباره مصدر الطاقة المتجددة الأكثر توفرًا لأنه نظيف مع القليل من الصيانة وبدون أي ضوضاء.

ومع ذلك، فإن الأنظمة الكهروضوئية لديها مشاكل، مثل التحويل بإشعاع منخفض. وبالفعل بسبب التذبذب في كمية الطاقة المنتجة المرتبطة اضطرابات الأرصاد الجوية (درجة الحرارة ومستوى الإضاءة)، هذه الطاقة بعيدة كل البعد عن كونها مصدر موثوق! ومن هنا تأتي ضرورة توصيل المولد الكهروضوئي المستقل بنظام التخزين (البطارية)، مما يضمن توفر الطاقة في حالة عدم وجود إشعاع الشمسية ولحل المشكلة هذه المشكلة نستخدم منظم الشحن الشمسي.

يهدف مشروع الأطروحة هذا إلى التصميم والمحاكاة بإدراك عملي لوحدة تحكم شحن الطاقة الشمسية MPPT بتقنية IOT (إنترنت الأشياء) ونظام التحكم عن البعد على أساس بطاقة ESP32.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة المتجددة، الطاقة الكهروضوئية، إنترنت الأشياء، الطاقة الشمسية، محاكاة

---

## **Summary:**

Renewable energy sources are a topic that is gaining increasing importance in the world due to its consumption and the depletion of fossil fuels. The photovoltaic (PV) power system is becoming more and more important as the most available renewable energy source because it is clean with little maintenance and without any noise.

Nevertheless, PV systems have problems, such as conversion with low radiation. Indeed, because of the fluctuation in the quantity of energy produced, linked to meteorological disturbances (temperature and level of illumination), this energy is far from being a

Reliable source! Hence, the imperative to connect the autonomous photovoltaic generator to a system of storage (battery), thus guaranteeing the availability of energy in the absence of radiation solar and to solve the problem we use a solar charge controller

This thesis project aims to design and simulate with a practical realization of an MPPT solar charge controller with IOT technology and supervision system based on an ESP32 card.

## **Keywords:**

PV, MPPT, battery, ESP32, IOT, solar charging, energy, simulation, design

## *Introduction générale*

Les énergies renouvelables sont un sujet d'actualité qui acquiert une importance croissante dans le monde en raison de la consommation qui augmente et de l'épuisement des énergies fossiles.

Les panneaux solaires, bien qu'ils soient en plus performants, ont des rendements qui restent assez faibles, ainsi que la caractéristique non linéaire qui dépend de l'irradiation et de la température dans son fonctionnement qui modifie la quantité d'énergie électrique générée

Une batterie solaire connectée directement aux panneaux solaires risque d'être endommagée. Si son niveau de charge dépasse 90 %, Pour régler ces problèmes dans les systèmes PV (surtout la tension variable pour recharger les batteries), on doit installer un régulateur de charge entre le panneau solaire photovoltaïque et la batterie solaire, Qui contrôle la tension de sortie (MLI) en plus il assure un courant maximum grâce aux techniques MPPT (maximum power point tracking).

Le régulateur de charge solaire est l'élément central d'une installation solaire. Et un dispositif qui contrôle et régule l'état de charge et de décharge de la batterie. Il protège l'installation photovoltaïque, et notamment la batterie. Le régulateur augmente donc sa durée de vie en lui évitant des états extrêmes.

L'objectif principal de notre mémoire de fin d'études est l'étude, la conception et la réalisation pratique d'un régulateur de charge avec la technologie IOT et système télégestion pour un système photovoltaïque basé d'un microcontrôleur (ESP32) à l'aide de l'IDE Arduino à travers le logiciel de simulation ISIS PROTEUS. Ce dernier englobe un algorithme MPPT pour extraire le maximum de puissance disponible à la sortie du générateur photovoltaïque.

Pour faire notre travail, nous avons réparti ce mémoire en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, se caractérise l'état de l'art sur les régulateurs de charge solaire leurs rôle d'un régulateur dans un système photovoltaïque et des différents types de régulateur de charge, nous avons cité les algorithmes MPPT donnant des définitions pour quelque algorithme. Enfin nous terminerons par une conclusion.

Le deuxième chapitre, on étudie les Généralités sur les hacheurs et Domaine d'utilisation ainsi Principe de fonctionnement. Ensuite nous avons présenté l'étude du convertisseur (BUCK). Enfin on terminera ce chapitre par les circuits de protection et les blocs d'alimentation.

Dans le troisième chapitre, nous avons appris la définition et le principe de fonctionnement du contrôleur de charge MPPT (Maximum Power Point Tracking) et le principe de la méthode MPPT par Perturbation et Observation (P&O). La dernière partie se concentre sur la batterie de stockage et présente la définition, les types et les caractéristiques de la batterie de stockage et son principe de fonctionnement. Enfin nous terminons par une conclusion.

Dans le quatrième chapitre, nous expliquerons la sélection des composants (panneaux, batterie) pour notre système PV. Ensuite, il y a la sélection (dimensionnement) des différents composants qui composent le chargeur. De plus, nous avons présenté notre solution (schéma global). Ensuite une simulation de notre projet et nous terminons avec une conclusion.

Enfin, le dernier chapitre qui représente la partie la plus importante de notre mémoire. Elle englobera la partie réalisation de notre système et la partie résultat et test du régulateur de charge MPPT.

A la fin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et des Perspectives.

*CHAPITRE I : Etat de l'art sur les  
régulateurs de charge*

### **1.1 Introduction :**

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des sources d'énergie renouvelables les plus importantes. Elle offre une solution à nos problèmes de production d'énergie. De plus, cette énergie semble prometteuse, abondante et inépuisable. Cependant, la fabrication de cette énergie est non linéaire et varie en fonction de l'intensité de la lumière, de la température, de la surface PV et de la charge. Pour régler ces problèmes dans les systèmes PV, nous devons mettre un régulateur de charge qui contrôle la tension de sortie (MLI) en plus il assure un courant maximum grâce aux techniques MPPT (maximum power point tracking).

De plus, un contrôleur de charge solaire, le régulateur de charge et un dispositif qui contrôle et régule l'état de charge et de décharge de la batterie. Il protège l'installation photovoltaïque, et notamment la batterie. Il est connecté entre les panneaux solaires et la batterie. Le régulateur augmente sa durée de vie en lui évitant des états extrêmes.

Il existe deux principaux types de contrôleurs de charge solaire qui sont le contrôleur PWM (Pulse Width Modulation) et le contrôleur MPPT (maximum power point tracking).

### **1.2 Le rôle d'un régulateur dans un système photovoltaïque :**

Le rôle d'un régulateur de charge solaire est de contrôler la tension et le courant venant des panneaux solaires vers la batterie, donc il protège la batterie contre la surcharge et les décharges profondes, et l'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

### **1.3 Schéma de base d'un régulateur de charge :**

Le contrôleur de charge est associé à un générateur photovoltaïque GPV et une batterie (figure I.1)

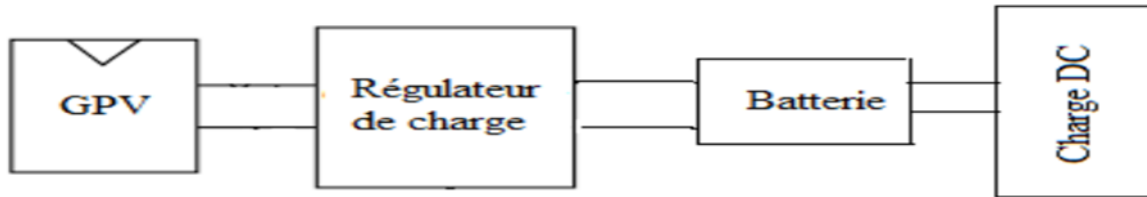


Figure I.1: schéma de base d'un régulateur de charge

## 1.4 Choix du régulateur :

Pour bien choisir le régulateur de charge, deux points essentiels :

- La tension entre les panneaux et les batteries : Le régulateur doit pouvoir accepter cet effort (habituellement 12V, 24V ou 48V). Les régulateurs acceptent les plages de surtension ou de sous-tension large
- L'intensité maximale du régulateur : L'intensité du régulateur doit être supérieure à l'intensité Court-circuit aux panneaux solaires connectés à celui-ci. Ces données sont indiquées sur Instructions pour chaque assiette. Il est recommandé de prendre en plus une marge de sécurité de 10% de 20 %.

## 1.5 Les différents types de régulateur de charge :

Dans une installation photovoltaïque autonome, le régulateur de charge se caractérise par plusieurs catégories :

### 1.5.1 Régulateurs de type parallèle (shunt) :

C'est le modèle le plus répandu car il est simple à réaliser. Le courant des panneaux solaires est envoyé dans un interrupteur en parallèle avec la batterie lorsque celle-ci atteint sa pleine charge. Le principe de ce circuit est une rampe simple, tout le courant passe normalement dans la batterie et lorsque le seuil de coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur. Donc Il est nécessaire de rajouter une diode entre cet interrupteur et la batterie pour éviter court-circuiter que la batterie.

Cette diode peut être utilisée comme diode anti-retour. L'interrupteur utilisé est le plus souvent un MOSFET car il est plus intéressé qu'un transistor bipolaire puisqu'il dissipe moins d'énergie.

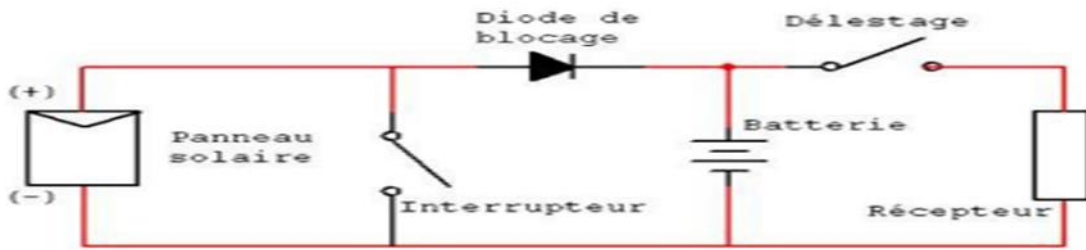


Figure I.2: Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type shunt

### 1.5.2 Régulateur de charge de type série :

Ce régulateur devient de plus en plus répandu en tant que le régulateur shunt. De plus, l'interrupteur de charge est en série avec la batterie et il s'ouvre lorsque la fin de la charge est atteinte. Les mêmes interrupteurs peuvent être utilisés que pour les shunts.

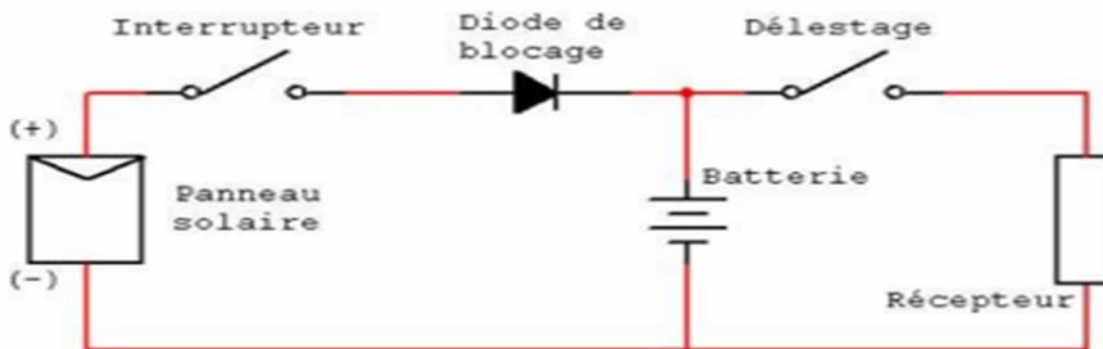


Figure I.3 : Principes de fonctionnements d'un régulateur de charge de type série

### 1.5.3 Régulateurs de type PWM (Pulse With Modulation) :

Le régulateur PWM gère de manière optimale la connexion et la déconnexion du module du reste du système. Selon l'état de charge de la batterie, celle-ci effectue des coupures plus ou moins longues et plus ou moins fréquentes. Cette technologie permet de recharger la batterie à 100% de sa capacité. Devenir l'installation photovoltaïque autonome la plus utilisée

### 1.5.4 Régulateur de charge de type MPPT (Maximum Power Point Tracking) :

MPPT est l'abréviation de Maximum Power Point Tracking. C'est un système qui contrôle le courant et la tension afin d'obtenir une production d'énergie maximale à chaque période de la journée. Il est plus développé, plus cher et présente de nombreux avantages par rapport au contrôleur de charge PWM. Il a une efficacité de 30 à 40% à basse température.

Le contrôleur MPPT ajustera sa tension d'entrée pour obtenir le maximum de puissance des panneaux solaires, puis convertir cette énergie pour répondre aux différentes exigences de tension de la batterie et de la charge. Généralement, le contrôleur MPPT est plus efficace que celui basé sur le PWM dans un climat avec des températures basses, tandis que les deux contrôleurs ont presque les mêmes performances dans un climat semi-tropical ou tropical [1].

### 1.6 Etapes de charge d'un contrôleur de charge :

La majorité des contrôleurs de charge passent par trois étapes de charge (figure 1.3) à savoir :

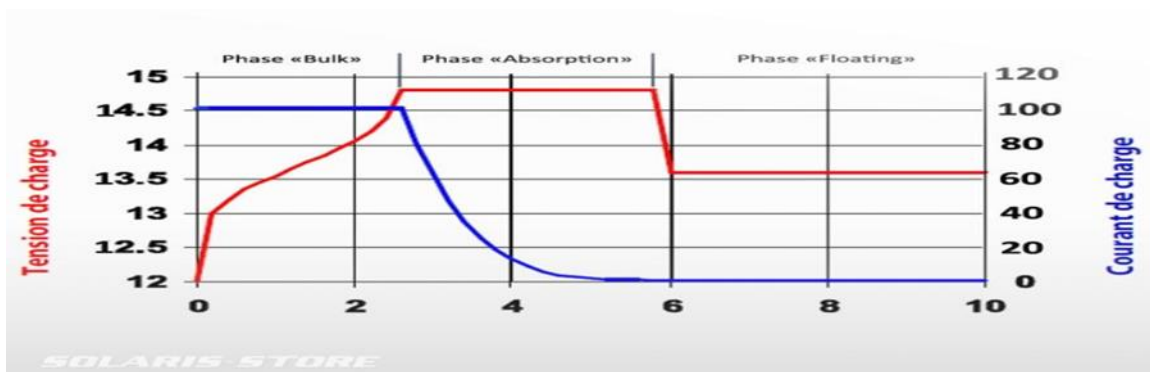


Figure I.4: Etapes de charge d'un contrôleur de charge

#### 1.6.1 Etape de charge à courant constant (Bulk) :

Dans cette étape, la batterie accepte tout le courant fourni par le panneau solaire. La valeur de ce courant sera égale au courant de court-circuit (ISC) du générateur solaire. Au cours de la phase Bulk du cycle de charge, la tension augmente progressivement jusqu'au niveau de bulk (généralement de 14,4 à 14,6 Volts) pendant que les batteries consomment le courant maximum. Lorsque le niveau de tension bulk est atteint, la phase d'absorption commence. [2]

#### 1.6.2 Etape de charge à tension constante (Absorption) :

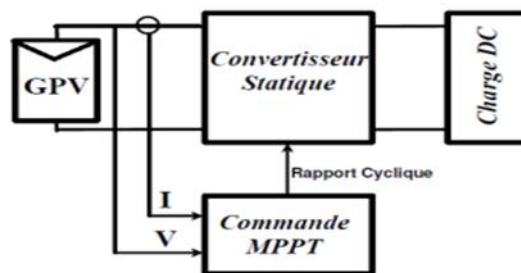
Pendant cette phase, la tension est maintenue constante (égale au niveau de la tension Bulk) pendant une durée spécifiée (généralement une heure), tandis que le courant diminue progressivement à mesure que les batteries se chargent. Ceci permet d'éviter une surchauffe et un dégazage excessif de la batterie. Le courant diminue à des niveaux sécuritaires pendant que la batterie se charge complètement. [2]

### 1.6.3 Etape d'entretien (Float) :

Quand une batterie est complètement chargée, le fait de descendre au niveau de Float va donner un taux de charge de maintenance très faible tout en réduisant le chauffage et le dégagement de gaz d'une batterie complètement chargée. Lorsque la batterie est complètement rechargée, il ne peut plus y avoir de réactions chimiques et tout le courant de charge est transformé en chaleur et en gazage. Le flotteur a pour but de protéger la batterie contre les surcharges à long terme. Après la phase d'absorption, la tension est abaissée jusqu'au niveau de maintenance (Float level). Ceci est généralement (entre 13,4 et 13,7 Volts) pour une batterie 12V et les batteries consomment un petit courant d'entretien jusqu'au cycle suivant. [2]

### 1.7 Le principe et le fonctionnement d'un point de puissance maximale :

Pour que le système photovoltaïque fonctionne à des points de puissance maximums de leurs caractéristiques, il existe des lois de commande spécifiques qui répondent à ce besoin. Cette commande est nommée dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou « Maximum Power Point Tracking » en Anglais (MPPT). Le principe de ces commandes est de chercher le point de puissance maximale (PPM) en gardant une bonne adaptation entre le générateur et sa charge pour assurer le transfert de la puissance maximale. La figure V représente une chaîne de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande MPPT. La commande MPPT est associée à un convertisseur statique permettant de faire une adaptation entre le GPV et la charge de telle sorte que la puissance générée correspond à sa valeur maximale et qu'elle soit transférée directement à la charge. [3]



**Figure I.5 :** Chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur statique contrôlé par une commande MPPT

La technique de contrôle consiste donc à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le point de fonctionnement du générateur à sa valeur optimale quelque soient les instabilités météorologiques ou les variations brutales de la charge. [3]

## 1.8 Les techniques de commandes MPPT :

MPPT du système solaire PV peut être défini comme commande Cela modifie le cycle d'un convertisseur statique de sorte que la puissance Le maximum peut être utilisé pour les bornes du générateur photovoltaïque.

Les chercheurs ont proposé plusieurs algorithmes MPPT. Parmi les algorithmes Le plus répandu, on retrouve l'algorithme :

- Approche de la tension constante (CV, constant voltage)
- Approche du courant constant (constant current)
- La méthode perturbe et observation (PO)
- Méthode d'incrémentatation de conductance (IC)

### 1.8.1 La méthode observation & perturbation (P&O) :

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode fonctionne en perturbant le système et observant l'impact sur la puissance à la sortie du GPV.

L'objectif de l'algorithme P&O : est d'obtenir le produit maximal entre la tension et le courant «  $P_m = U_m * I_m$  ».

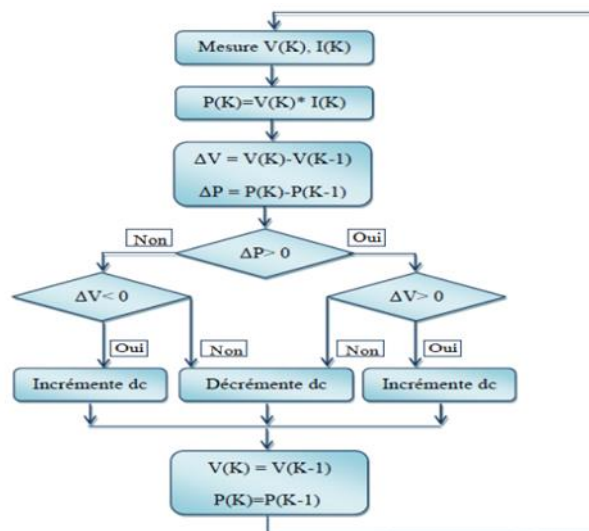


Figure I.6: L'organigramme d'une commande MPPT de type P&O

### 1.8.2 Approche de la tension constante (CV, constant voltage) :

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  et la relation linéaire approximative liant cette tension avec la tension de point maximal  $V_{mpp}$  du GPV. [2]

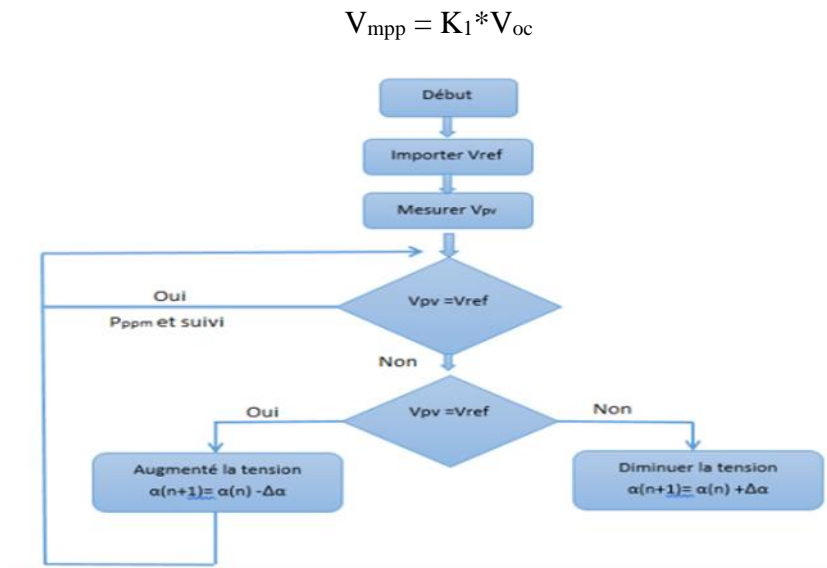


Figure I.7: algorithme de la tension

### 1.8.3 Approche du courant constant (constant current) :

La méthode du Courant constant également appelée la méthode de court-circuit est basée sur la mesure en temps réel du courant de court-circuit  $I_{sc}$  (short-circuit current) et la relation linéaire approximative liant cette courant avec le courant de point maximal  $I_{mpp}$  du GPV [2]

$$I_{mpp} = k_2 * I_{sc}$$

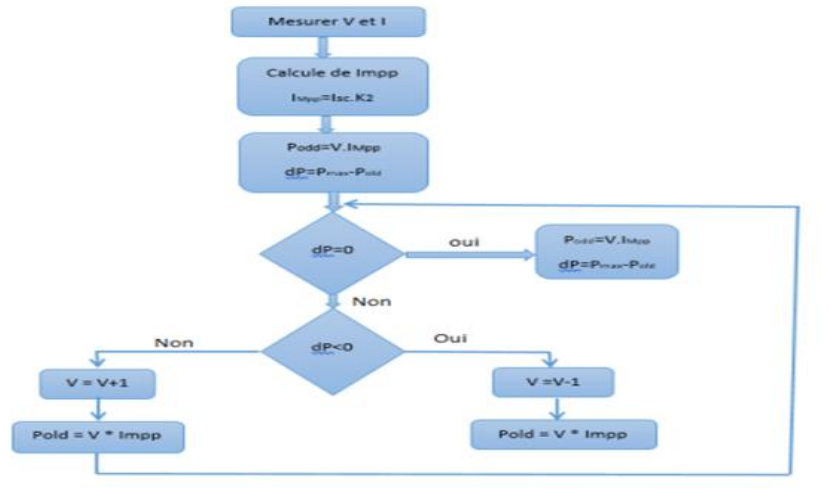


Figure I.8: algorithme du courant

### 1.8.4 Méthode d'incrément de conductance (IC) :

L'algorithme d'incrément de la conductance est une technique MPPT classique qui utilise deux sondes pour la mesure de la tension  $V$  de fonctionnement et du courant  $I$  du module PV est basé sur le fait que le point de puissance maximale (MPP) n'est atteint que si est nulle. Les caractéristiques du module photovoltaïque sur la figure (6) prouvent plus loin que la dérivée est supérieure à zéro à gauche du MPP et inférieure à zéro à droite du MPP.

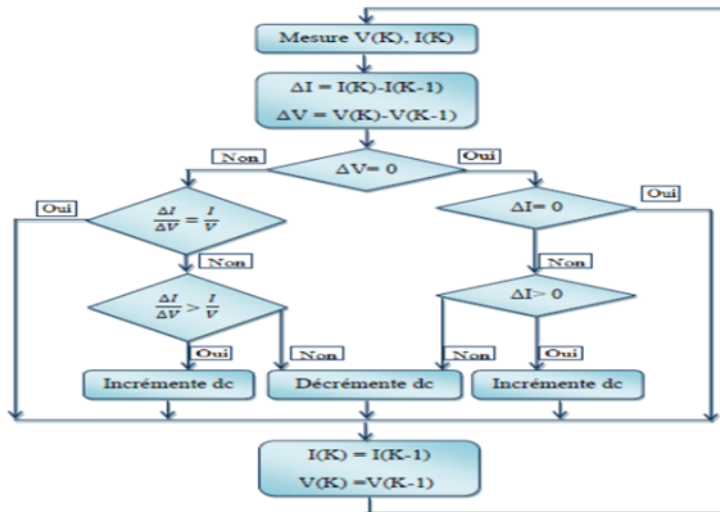


Figure I.9 : organigramme de la méthode incrément de conductance

## **I.9. Conclusion :**

Les connaissances acquises durant ce chapitre nous ont permis de savoir l'importance d'ajouter un régulateur, la technique de modulation de largeur d'impulsion, la technique de poursuite du point de puissance maximal du générateur PV avec types de commande les plus répandus

Ensuite nous avons donné un aperçu sur quelques techniques MPPT les plus répandues.

Nous avons présenté quatre types de méthodes MPPT qui sont : Approche de la tension constante (CV, constant voltage), Approche du courant constant (constant current), La méthode perturbé et observation (PO), Méthode d'incrément de conductance (IC)

Enfin, D'autre part, le MPPT est plus cher mais fournit une puissance beaucoup plus élevée et est principalement MPPT reste le meilleur choix en termes de qualité et d'efficacité

*CHAPITRE II : Etude et conception du  
convertisseur Buck avec les circuits de  
protection et d'alimentation*

## II.1 Introduction :

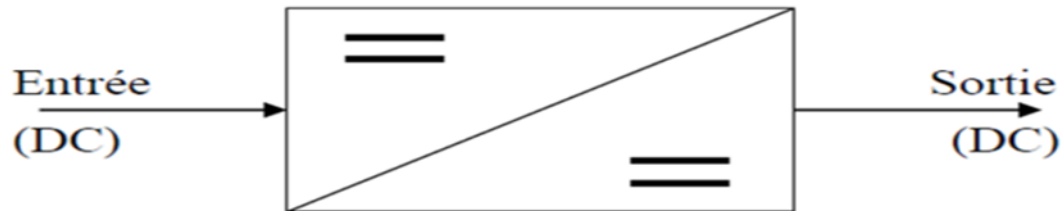
Les convertisseurs DC-DC jouent un rôle essentiel dans la conversion efficace de l'énergie électrique. Les hacheurs sont utilisés dans les applications de puissance moyenne à élever, tandis que les alimentations à découpage sont utilisées dans les applications de faible puissance nécessitant une isolation galvanique.

Dans ce chapitre on va faire une étude sur le convertisseur Buck synchrone, on indiquant le principe de fonctionnement ainsi on parle aussi sur les circuits de protection et les circuits d'alimentation

## II.2 Généralités sur les hacheurs :

Un hacheur est un convertisseur statique DC-DC qui utilise principalement des interrupteurs. L'électronique unidirectionnelle (utilisant des éléments semi-conducteurs) permet l'ouverture ou couper le circuit d'alimentation. Un hacheur est équivalent à un transformateur AC.

Les hacheurs sont utilisés dans les locomotives, les métros et les bus, et plus généralement Tout ce dont vous avez besoin pour un convertisseur de puissance DC-DC



**Figure II.1 :** Schéma de principe du hacheur

Un hacheur permet la moduler de l'énergie entre une source et une charge continue. Cette source et cette charge peuvent être soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant). [4]

Il est constitué d'un interrupteur commande le qui peut être un transistor (pour des faibles puissances) ou un thyristor (pour grande puissance). [4]

Le rapport entre la durée ton de fermeture de l'interrupteur et la période de commutation T s'appelle le rapport cyclique « DUTY Cycle ». [4]

$d = t_{on}/T$  ou bien :  $t_{on} = dt$  d'où :  $t_{off} = (1-d).T$

Pour des raisons expérimentales, on donne toujours la fréquence de commutation  $f_s$  « SWITCHING FREQUENCY » au lieu de la période de commutation. [4]

Un hacheur est un abaisseur (dévolteur ou Buck) lorsque la tension de sortie est inférieure à celle d'entrée. L'inverse est un hacheur élévateur (survolteur ou BOOST). [4]

Selon le procédé de hachage (découpage), on peut faire varier la valeur moyenne de la tension de sortie de 3 manières :

- Hacheur à fréquence fixe et à la largeur d'impulsion variable PWM.
- Hacheur à fréquence variable et à la largeur d'impulsion fixe PFM.
- Hacheur à fréquence et à la largeur d'impulsion variable.

### **II.3 Domaine d'utilisation des hacheurs :**

L'un des principaux domaines d'application des hacheurs est la variation de la vitesse actuelle du moteur continu (MCC). Par exemple, ils sont installés sur la plupart des véhicules à traction moyenne tels que ceux pour le métro. Le parc d'équipements TGV (TGV Sud Est) de première génération Hacheur de moteur à courant continu.

Il y a aussi des hacheurs dans tous les équipements pour utiliser l'énergie éolienne ou l'énergie solaire. Ils permettent une tension d'entrée constante très polyvalente. Les hacheurs sont également utilisés pour l'alimentation des moteurs pas à pas.

### **II.4 Principe de fonctionnement :**

Le mode de fonctionnement d'un hacheur dépend de sa capacité de stockage d'énergie, de sa période de commutation et de sa charge. Il existe deux types de modes de fonctionnement.

#### **II.4.1 Mode de conduction continue (MCC) :**

Le courant dans l'inducteur ne s'annule pas pendant un cycle de commutation, mais est complètement dévié et donc continu.

### II.4.2 Mode de conduction discontinu (MCD) :

Dans ce cas, l'énergie stockée dans l'inductance  $L$  est entièrement transférée à la charge avant la fin du cycle de commutation, de sorte que le flux de courant dans l'inductance est discontinu.

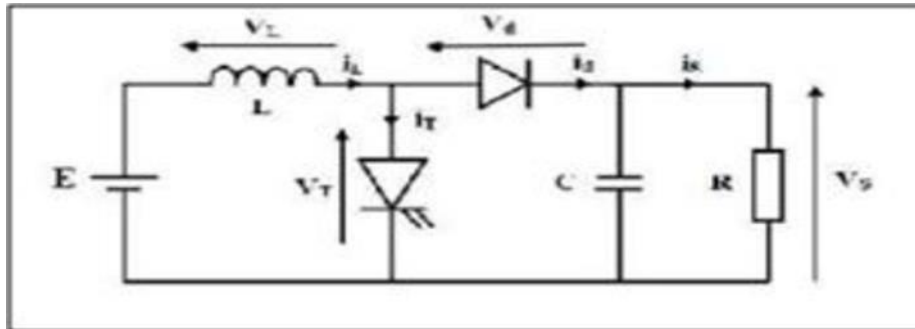


Figure II.2 : Schéma de principe d'un hacheur parallèle

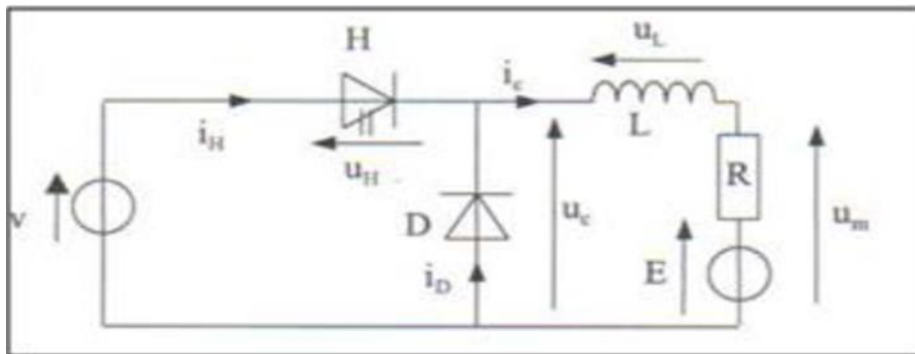


Figure II.3 : Schéma de principe d'un hacheur série

La différence entre les modes de conduction continue et discontinu est que le blocage de la diode  $D$  n'est plus lié à l'amorçage du transistor, mais à l'annulation du courant dans l'inductance  $L$  lors de la commutation. Dans ce cas, la conduction du transistor se fait en

Annulant le courant dans l'inductance, ce qui signifie également que le courant dans la diode et le transistor est nul.

### II.5 Les différents types d'hacheur :

A partir de la réversibilité de la sortie, il existe deux types de hacheurs :

- Réversible
- Non- réversible.

La réversibilité peut apporter certains avantages aux hacheurs. Nous Par exemple, inverser le sens de rotation du moteur, en freinant Restaurer, recharger la batterie en reprenant...etc.

### **Hacheurs réversibles :**

- ✚ Hacheur série réversibles en courant
- ✚ Hacheur réversible en tension
- ✚ Hacheur réversible en tension et en courant

### **Hacheur non réversible :**

- ✚ Hacheur série (dévolteur ou Buck)
- ✚ Hacheur dévolteur-survolteur (BUCK-BOOST)
- ✚ Hacheur parallèle (survolteur ou BOOST)

## **II.5.1 Hacheurs réversibles :**

Les hacheurs inverses permettent d'inverser le courant ou la tension. Ce genre de, comportement On le trouve couramment dans les systèmes d'entraînement électrique. Par conséquent, un moteur en sortie d'un hacheur représente une charge.

Dans cette catégorie, il existe trois types :

### **II.5.1.1 Hacheur série réversible en courant :**

Dans ce système, le changement du sens de parcours de l'énergie est lié au changement de Signe du courant alors que la tension reste de signe constant. [4]

### **II.5.1.2 Hacheur réversible en tension :**

La tension appliquée à la charge peut prendre les valeurs  $+E$  ou  $-E$ , ce qui permet, suivants la valeur du rapport cyclique de donner une valeur moyenne de tension de sortie positive ou négative. En revanche, le courant doit rester de signe constant dans la charge, car les interrupteurs ne sont pas réversibles. [4]

### **II.5.1.3 Hacheur réversible en tension et en courant (en pont) :**

Nous utilisons la structure d'un hacheur de tension inverse que nous venons d'introduire lors du remplacement Commutateurs de courant réversibles. Dans ce cas, le courant est dans la charge La signature peut être modifiée.

Quant à un hacheur de courant réversible, une diode ou un transistor serait celui conduite, selon le signe actuel dans le commutateur

### II.5.2 Hacheur non réversible :

Les hacheurs non inverseurs permettent de transférer la puissance dans une seule direction (uniquement de la source à la charge). Au sein de cette catégorie, selon le type de sources d'entrée et de sortie, il existe deux sous-catégories :

#### II.5.2.1 Hacheur série (dévolteur ou BUCK) :

On le nomme souvent dévolteur parce qu'il réduit de façon variable la tension de sortie par rapport à celle de l'entrée ou encore hacheur abaisseur de tension. Il est constitué par un interrupteur d'amorçage commandé transistor (bipolaire, MOS ou IGBT ...) en série avec la source et une diode de roue libre parallèle à la source. Ces commutateurs fonctionnent de manière périodique. [5]

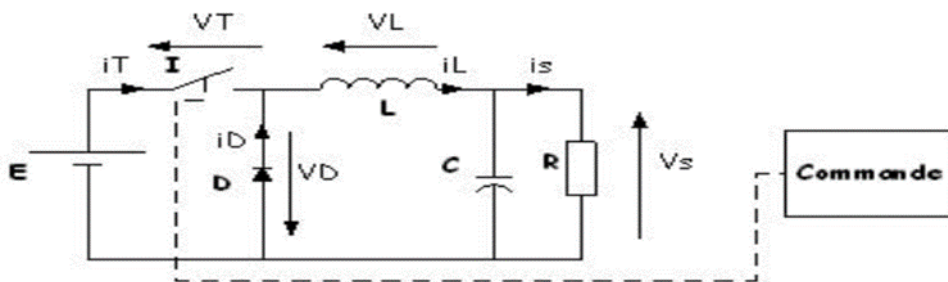


Figure II.4 : Schéma de principe d'un hacheur série

#### II.5.2.2 Hacheur dévolteur-survolteur (BUCK-BOOST) :

Le circuit est alimenté par une source de tension  $V_i$  dont la sortie est une charge résistive  $R$  et remise est courant  $I_s$

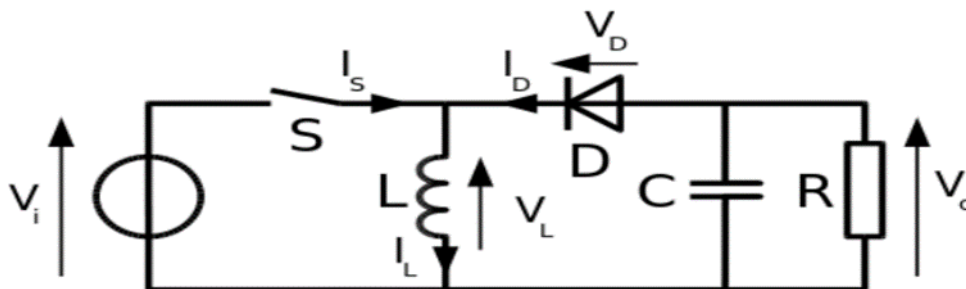


Figure II.5 : Circuit équivalent d'un hacheur BUCK-BOOST

### II.5.2.3 Hacheur parallèle (survolteur ou BOOST) :

Ce hacheur est appelé hacheur parallèle, car le semi-conducteur à fermeture et ouverture commandées est dérivé aux bornes de l'entrée. Il est appelé également hacheur survolteur, puisque la tension de sortie  $V_s$  est toujours plus grande que la tension moyenne d'entrée, il est également appelé élévateur (sous-entendu, de tension). [4]

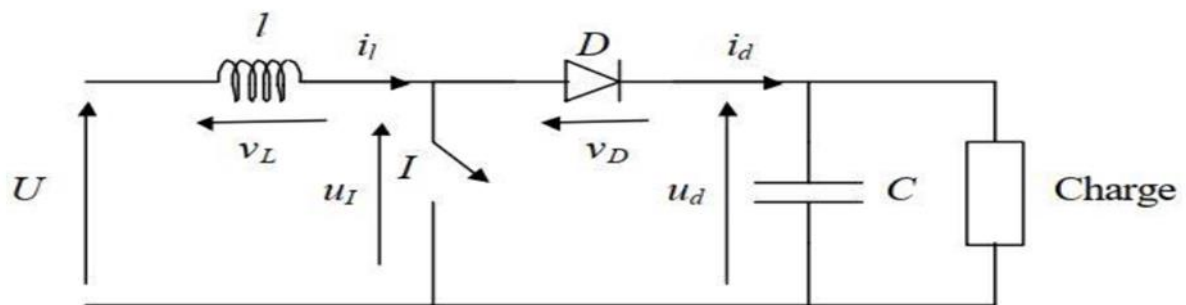


Figure II.6 : Schéma d'un hacheur survolteur

### II.6 Étude du convertisseur BUCK :

Un convertisseur abaisseur peut souvent être trouvé dans la littérature sous le nom de convertisseur (continue /continue) Buck ou hacheur série. La figure (II.7) montre le schéma fonctionnel d'un convertisseur abaisseur, son application typique est de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie inférieure, où le rapport de conversion  $M = V_0 / V_1$  change avec le rapport cyclique du commutateur.

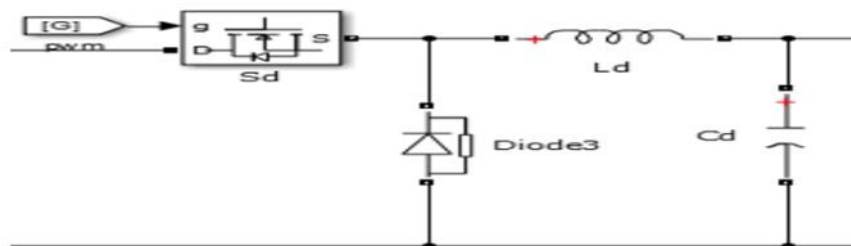
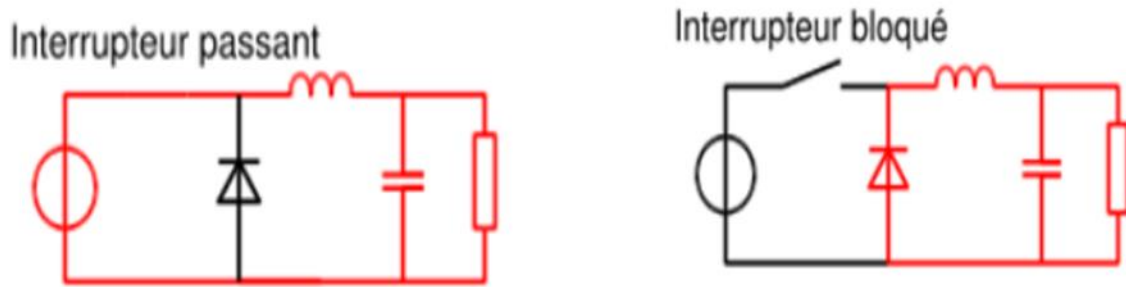


Figure II.7 : Schéma équivalent d'un hacheur dévolteur.

### II.6.1 Fonctionnement :



**Figure II.8 :** Les deux configurations d'un convertisseur Buck suivant l'état de l'interrupteur

- A l'état ON, l'interrupteur S'est fermé, et la tension aux bornes de l'inductance vaut :

$$v_l = v_i - v_o \quad (II.1)$$

- Le courant traversant l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de la diode étant négative, aucun courant ne la traverse.

- On note :

$\alpha$  : le rapport cyclique des impulsions qui commandent l'interrupteur.

$T_e$  : étant la période des impulsions.

- Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée  $\alpha T_e$  y a une tension appliquée aux bornes de la diode. L'interrupteur est commandé à la fréquence de découpage  $f_e = 1/T_e$  La source  $V_i$  fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Pendant le temps  $t \in [\alpha T_e, T_e]$  l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. La tension à ses bornes est donc nulle. [6]

Les chronogrammes de la figure (II.8) sont tracés dans le cas d'une conduction continue, (tracés dans le cas idéal) c'est-à-dire que le courant ne repasse jamais par zéro. Pour calculer la relation entre la tension d'entrée et celle de sortie, on exprime que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle. [6]

$$v_o = \alpha \cdot v_i \quad (II.2)$$

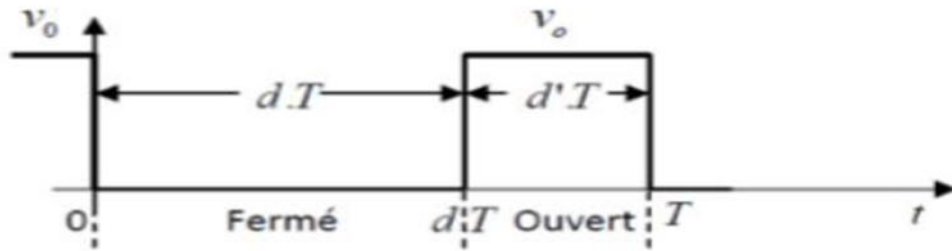


Figure II.9. : Périodes fermeture et ouverture d'un commutateur.

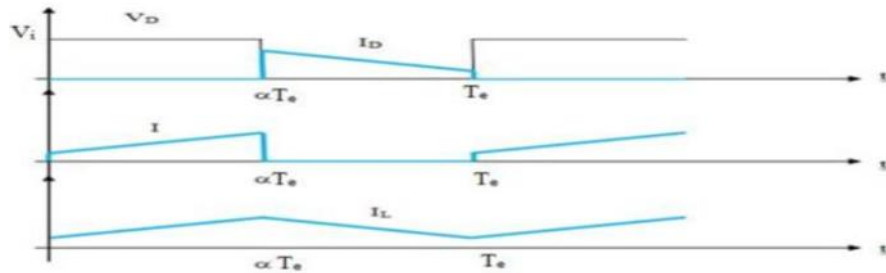


Figure II.10 : Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur buck.

### II.6.1.1 Conduction continue :

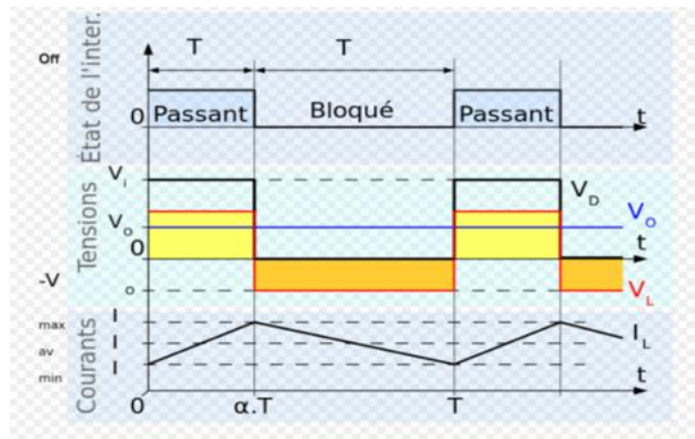


Figure II.11 : Formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck

Lorsque le convertisseur abaisseur fonctionne en mode de conduction continue, le courant  $I_L$  passer l'inducteur ne s'annule jamais. La figure (II.10) montre les formes d'onde actuelles et tension dans un convertisseur abaisseur.

- Le taux d'accroissement de  $I_L$  est donné par :

$$V_{\square} = L \frac{dI}{dt} \quad (II.3)$$

- Avec :

$V_L = v_i$  pendant l'état passant

$V_0$  durant l'état bloqué

• Par conséquent, l'augmentation de  $I_L$  durant l'état passant est donnée par :

$$\Delta I_{L\text{on}} = \int_0^{\alpha T} dI_L = \int_0^{\alpha T} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(v_i - v_0)\alpha T}{L} \quad (II.4)$$

• De même, la baisse du courant dans l'inductance durant l'état bloqué est donnée par :

$$\Delta I_{L\text{off}} = \int_0^{\alpha T} dI_L = \int_{\alpha T}^T \frac{V_L}{L} dt = \frac{V_0(T - \alpha T)}{L} \quad (II.5)$$

Si on considère que le convertisseur est en régime permanent, l'énergie stockée dans chaque composant est la même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. En particulier, l'énergie stockée dans l'inductance est donnée par : [7]

$$e = \frac{1}{2} \times LI_L^2 \quad (II.6)$$

En conséquence, le courant  $I_L$  traversant l'inductance est le même au début et à la fin de chaque cycle de commutation. Ce qui peut s'écrire de la façon suivante : [7]

$$\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0 \quad (II.7)$$

En remplaçant  $\Delta I_{L\text{on}}$  et  $\Delta I_{L\text{off}}$  par leur expression, on obtient :

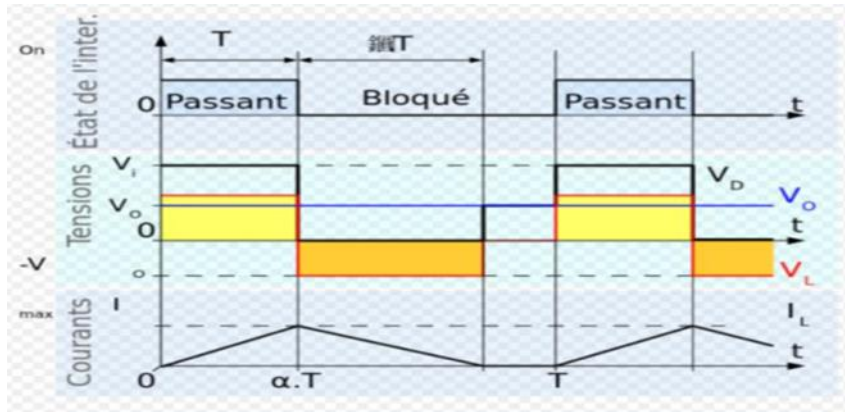
$$\frac{(v_i - v_0)\alpha T}{L} - \frac{v_0(T - \alpha T)}{L} = 0 \quad (II.8)$$

Ce qui peut se réécrire de la façon suivante :

$$v_0 = \alpha v_i \quad (II.9)$$

Grâce à cette équation, on peut voir que la tension de sortie varie linéairement avec le rapport cyclique. Le rapport cyclique étant compris entre 0 et 1, la tension de sortie  $v_0$  est toujours inférieure à celle d'entrée. C'est pour cela que l'on parle parfois de dévolteur. [7]

### II.6.1.2 Conduction discontinue :



**Figure II.12 :** formes d'ondes courant/tension dans un convertisseur Buck en conduction discontinue

Dans certains cas la quantité d'énergie demandée par la charge est assez faible pour être transférée dans un temps plus court qu'une période de commutation. Dans ce cas le courant traversant l'inducteur s'annule pendant une partie de la période. La seule différence avec le principe de fonctionnement décrit précédemment est que l'inductance est complètement déchargée en début de cycle (les formes d'ondes sur la figure (II.11)). Bien que faible, la différence entre conduction continue et discontinue a un fort impact sur la formule de la tension de sortie. La tension de sortie peut être calculée de la façon suivante : [7]

On considère toujours que le convertisseur a atteint le régime permanent. L'énergie stockée dans les composants est donc la même en début et en fin de cycle (elle est nulle dans le cas de la conduction discontinue). Cela engendre aussi que la tension moyenne aux bornes de l'inductance ( $v_L$ ) est nulle. Ceci se traduit sur la figure (II.8), par une égalité de l'aire des rectangles jaune et orange :[7]

$$(v_i - v_o) \cdot \alpha \cdot T - v_o \delta \cdot T = 0 \quad (II.10)$$

$$\delta = \frac{v_i - v_o}{v_o} \cdot \alpha \quad (II.11)$$

En supposant que le condensateur de sortie est suffisamment important pour maintenir la tension de sortie constante pendant un cycle de commutation, le courant de sortie délivré à la charge ( $I_s$ ) est constant. Cela implique que le courant traversant le condensateur est de valeur moyenne nulle. Par conséquent nous avons : [7]

$$I_{\square} = I_s \quad (II.12)$$

Avec  $I_L$  le courant moyen traversant l'inductance. Comme on peut le voir sur la figure (II.11), le courant  $I_L$  traversant l'inductance est de forme triangulaire. Par conséquent la valeur moyenne de  $I_L$  peut donc être calculée géométriquement de la façon suivante :

$$I_{\square} = \left( \frac{1}{2} I_{max} \cdot \alpha \cdot T + I_{max} \cdot \delta \cdot T \right) \frac{1}{T} = \frac{I_{\square max}(\alpha + \delta)}{2} = I_s \quad (II.13)$$

Le courant dans l'inductance est nul en début de cycle puis augmente pendant  $\alpha T$  jusqu'à atteindre  $I_{Lmax}$  Cela veut dire que  $I_{Lmax}$  est égale à :

$$I_{\square max} = \frac{V_i - V_0}{L} \alpha \cdot T \quad (II.14)$$

En remplaçant  $I_{Lmax}$  dans les relations précédentes par son expression, on obtient :

$$I_s = \frac{(v_i - v_0)\alpha \cdot T(\alpha + \delta)}{2L} \quad (II.15)$$

On remplace  $\delta$  par son expression :

$$I_s = \frac{(v_i - v_0)\alpha \cdot T \left( \alpha + \frac{(v_i - v_0)}{V v_0} + \alpha \right)}{2L} \quad (II.16)$$

Qui peut se mettre sous la forme :

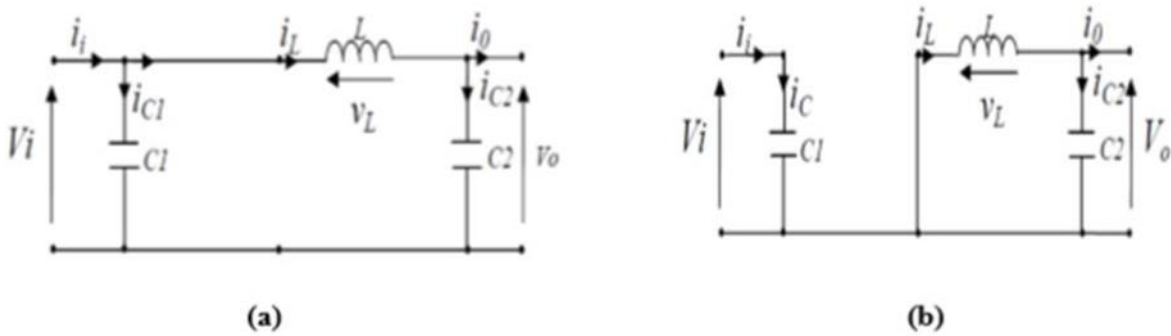
$$V_0 = V_i \frac{1}{\frac{2LI_s}{\alpha^2 \cdot V_i \cdot T} + 1} \quad (II.17)$$

On peut voir que l'expression de la tension de sortie est bien plus compliquée que celle obtenue pour la conduction continue. En effet, la tension de sortie dépend non seulement de la tension d'entrée ( $V_i$ ) et du rapport cyclique  $\alpha$  mais aussi de la valeur de l'inductance ( $L$ ), de la période de commutation ( $T$ ) et du courant de sortie ( $I_s$ ). [7]

### II.6.1.3 Modèle mathématique équivalent :

Pour comprendre le vrai comportement de ce convertisseur, il faut regarder le son modèle mathématique. Pour cela, nous devons exprimer le circuit équivalent par Les deux états de l'interrupteur, dessinant ainsi le modèle mathématique de la variable de liaison Entrée sortie

Dans La figure (II.12) montre les schémas des circuits équivalents d'un convertisseur Buck dans les deux cas : l'interrupteur fermé pendant  $dT_s$  et l'interrupteur ouvert pendant  $(1-\alpha) T_s$



**Figure II. 13** : Schémas équivalents du hacheur dévolteur (a) : S fermé , (b) : S ouvert

En appliquant les lois de Kirchoff aux deux circuits de la figure (II.12), on obtient les systèmes d'équations suivants :

Pour la première période :

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_{\square}(t) \\ i_{c2}(t) = c_2 \frac{dV^0(t)}{dt} = i_{\square}(t) - i_s(t) \\ V_{\square}(t) = L \frac{dI_i}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad (II. 18)$$

Pour la deuxième période  $(1 - \alpha) T_s$  :

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = i_i(t) \\ i_{c2}(t) = L \frac{dI_i(t)}{dt} iL(t) - i_s(t) \\ V_{\square}(t) = L \frac{dI_{\square}}{dt} = -V_o(t) \end{cases} \quad (II. 19)$$

Pour trouver une représentation dynamique valide pour toute la période  $T_s$  on utilise généralement expression suivante :

$$\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle T_s = \frac{dx}{dt} \alpha T_s + \frac{dx}{dt} (1 - \alpha) T_s \quad (II.20)$$

En appliquant la relation (II.20) aux systèmes d'équations (II.18) et (II.19), on obtient Les équations qui régissent le système sur une période complète :

$$\begin{cases} c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} T_s = dT_s(i_i + i_{\square}) + (1 - \alpha) T_s i_i \\ c_2 \frac{dV_o(t)}{dt} T_s = dT_s(i_{\square} - i_s) + (1 - \alpha) T_s (i_{\square} + i_s) \\ L \frac{di_{\square}}{dt} = dT_s(V_i - V_o) + (1 - \alpha) T_s (-V_o) \end{cases} \quad (II.21)$$

Après tri on obtient :

$$\begin{cases} i_s(t) = i_{\square}(t) - c_2 \frac{dV_o(t)}{dt} \\ i_{\square}(t) = \frac{1}{\alpha} \left( i_i(t) - c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} \right) \\ V_i(t) = \frac{1}{\alpha} \left( L \frac{di_{\square}(t)}{dt} + V_o(t) \right) \end{cases} \quad (II.22)$$

#### II.6.1.4 Convertisseur Buck synchrone :

Un convertisseur abaisseur synchrone génère une tension régulée en dessous de sa tension d'entrée et peut fournir un courant élevé tout en minimisant la perte de puissance. Comme le montre la figure (II.14), un convertisseur abaisseur synchrone se compose de deux MOSFET de puissance, d'une inductance de sortie et d'un condensateur de sortie.

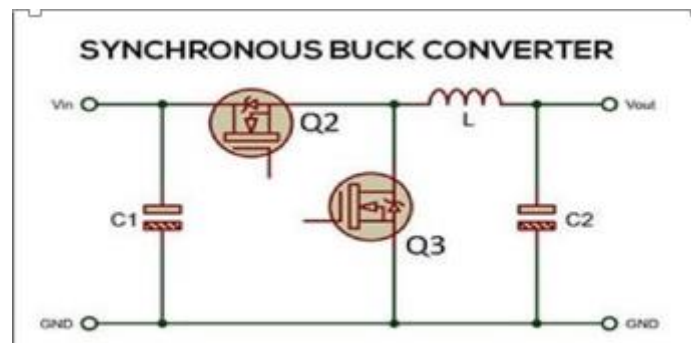


Figure II. 14 ; Convertisseur Buck synchrone

### II.6.1.5. Convertisseur Buck asynchrone :

Les convertisseurs abaisseurs asynchrones sont toujours efficaces par rapport aux régulateurs linéaires. Mais cela pourrait être plus efficace. La raison pour laquelle ces types de convertisseurs ne peuvent pas s'approcher de 98% d'efficacité est à cause des pertes dues à la présence de diodes. Les diodes sont essentielles pour les convertisseurs abaisseurs car elles empêchent le flux de courant inverse. Il existe une soi-disant chute de tension directe ( $V_f$ ), que la plupart des diodes à base de silicium ont la plage de chute de tension est de 0,4 V à 1,2 V.

Dans le domaine de l'électronique, la chute de tension mentionnée entraîne de nombreuses pertes de puissance. Cela crée de la chaleur qui est une forme d'énergie inutile en électronique.

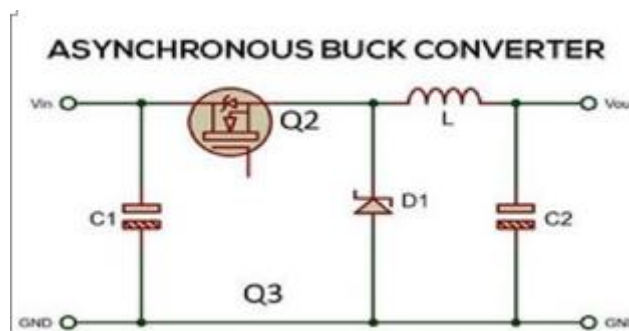


Figure II.15 : convertisseur Buck asynchrone

### II.6.2 la différence entre convertisseur Buck synchrone et Asynchrone :

Ce tableau nous montre la différence entre convertisseur Buck synchrone et asynchrone :

Tableau II.1 : la différence entre convertisseur Buck synchrone et convertisseur Buck asynchrone

Convertisseur Buck synchrone	Convertisseur Buck asynchrone
moins fréquent	couramment utilisé
Efficacité typique : 88-98%	Efficacité typique : 75-87%
De minuscules pertes se sont formées à travers	Perte de puissance notable à travers la chute de tension directe de la diode ( $V_f=0.6V-1.2V$ )

Complexe : mise en œuvre correcte de la commutation requise

Mise en œuvre simple et directe

## II.7 protections et contrôle de convertisseur Buck (flow Back protection) :

La protection et le contrôle du convertisseur abaisseur, y compris la protection contre le flow back, est un aspect important pour garantir un fonctionnement sûr et efficace de ces convertisseurs.

Elle est conçue pour empêcher le courant de circuler dans le convertisseur abaisseur dans le mauvais sens. Cela se produit lorsque la tension d'entrée est supérieure à la tension de sortie, ce qui endommage l'onduleur. Pour éviter cela, des diodes de blocage sont souvent utilisées pour empêcher le courant de circuler dans le mauvais sens.

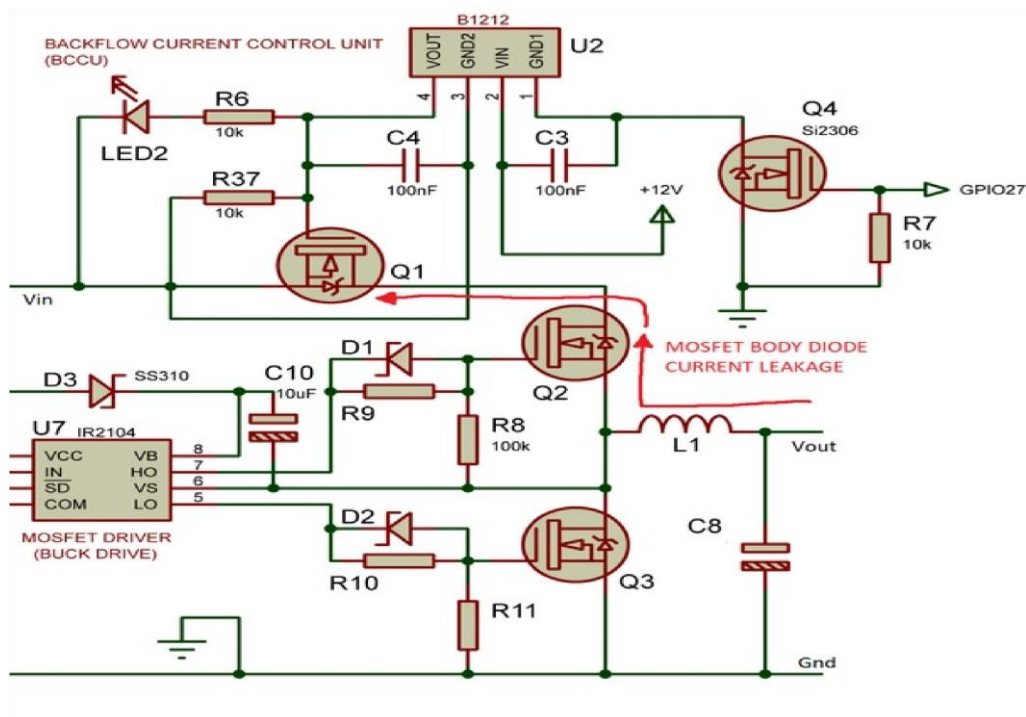


Figure II.16 : Flow back protection

### II.7.1 Résolution du problème de combustion du MOSFET côté bas :

La combustion du MOSFET côté bas (transistor à effet de champ métal-oxyde-semi-conducteur) peut être causée par divers facteurs, notamment un courant excessif, une surtension, une surchauffe ou une mauvaise conception du circuit. Voici quelques étapes pour résoudre le problème d'épuisement du MOSFET côté bas :

- Vérifiez la spécification MOSFET pour vous assurer que son courant nominal, sa tension et ses caractéristiques de puissance correspondent aux besoins du circuit.
- Analysez les schémas de circuit pour d'éventuelles surtensions, pointes de courant ou conditions de fonctionnement anormales qui pourraient endommager le MOSFET.
- Vérifiez les conditions de commutation pour vous assurer que le circuit de commande est correctement conçu et que les temps de montée et de descente du signal de commande sont appropriés.
- Assurez-vous que les MOSFET sont correctement montés sur le dissipateur thermique et disposent d'un refroidissement adéquat pour éviter la surchauffe.
- Utilisez des dispositifs de protection tels que des fusibles, des disjoncteurs ou des dispositifs de limitation de courant pour protéger les MOSFET en cas de court-circuit.
- Vérifiez les connexions MOSFET et l'isolation pour vous assurer qu'elles sont correctes et sécurisées.

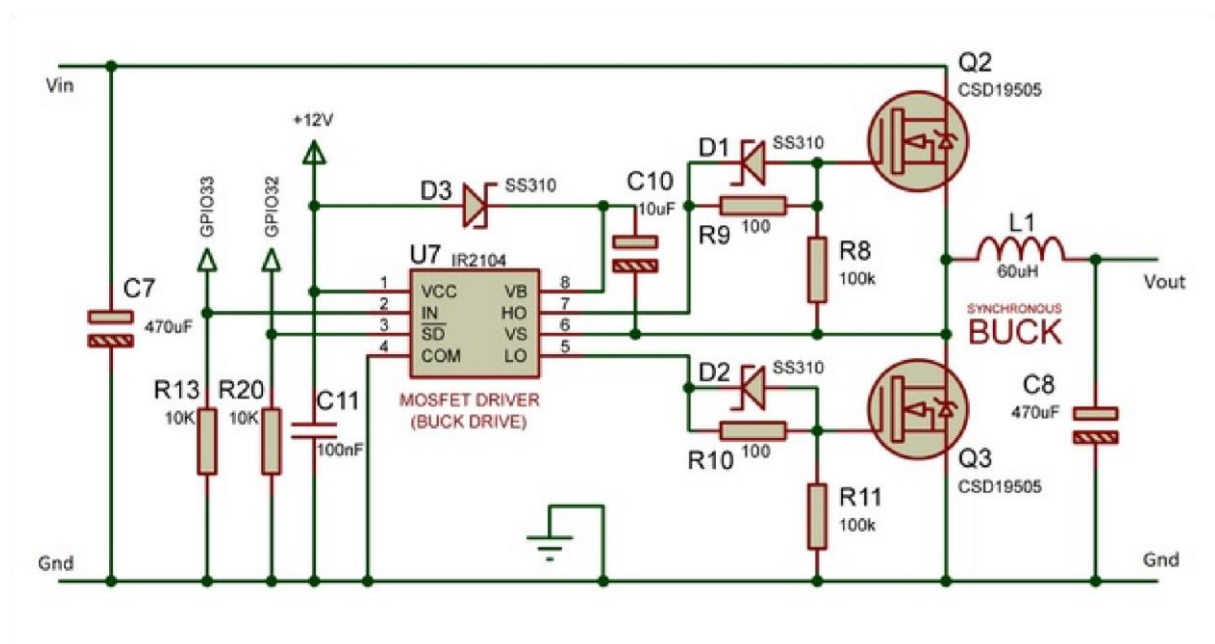


Figure II.17 : Résolution du problème de combustion du MOSFET côté bas

## II.8. Circuit d'alimentation : [13]

XL7005A (U<sub>5</sub> et U<sub>6</sub>) est un régulateur Buck 80V 0.4A pour fournir une tension régulée à tous les autres composants dans le circuit.

U<sub>6</sub> a une sortie fixe réglée sur 3,3 V par R17, R18 et R19. Cela alimente tous les composants en 3.3V

U<sub>5</sub> a une sortie fixe réglée sur 10,625 V par R14, R15 et R16. Cela fournit 10,625 V au port du ventilateur de refroidissement, le BCCU et la broche d'alimentation d'entraînement de la grille de commande du MOSFET. A l'origine c'était réglé sur 12V mais j'ai dû le diminuer

Pour réduire les pertes de commutation et ainsi diminuer la consommation du ventilateur de refroidissement. Néanmoins, tous les composants fonctionneraient toujours avec 10.625V.

AMS1117 (U<sub>3</sub>) est un régulateur linéaire connecté à la sortie 10.625V d'U<sub>5</sub>. Cela fournit le 5V requis par U<sub>1</sub> pour fonctionner. Je suis conscient des pertes encourues pour cela, mais elles sont négligeables car U<sub>1</sub> nécessite très peu de courant. Une grande différence de tension entre U<sub>5</sub> et U<sub>1</sub> peut également être une bonne chose car elle serait capable de réguler le 5V meilleure ligne car la stabilité de la sortie analogique de U<sub>1</sub> dépend fortement de la régulation de la ligne 5V voici la figure (II.17).

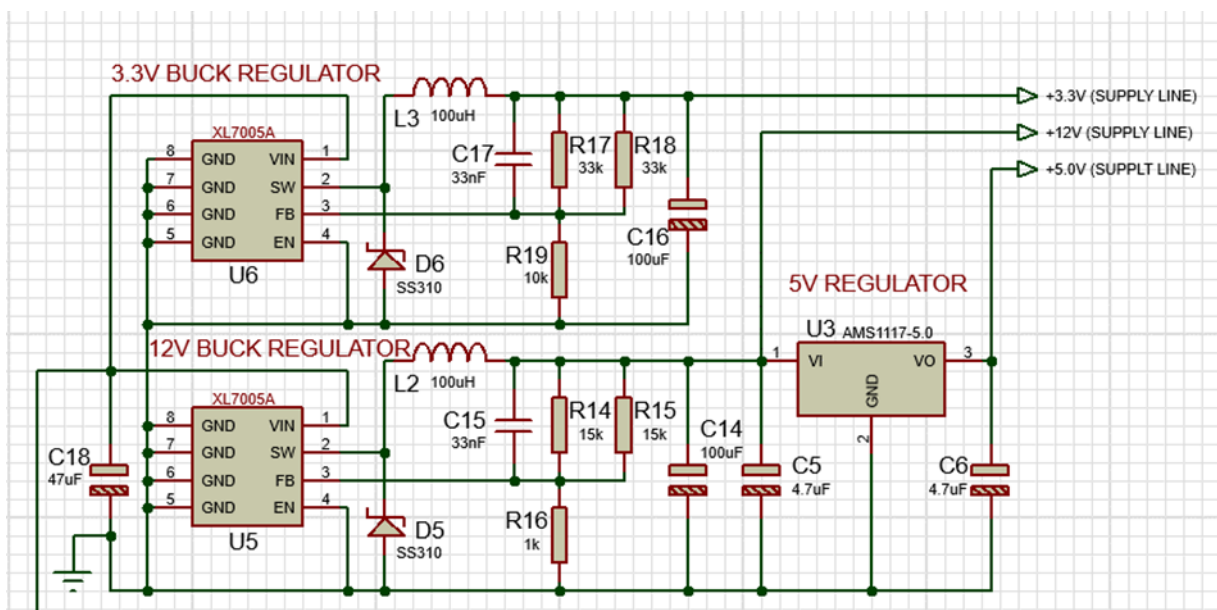


Figure II. 18 : Schéma du bloc d'alimentation

## II.9 conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons montré quelques topologies de base des alimentations à découpage, qui sont différents convertisseurs DC-DC. Ce sont des convertisseurs Buck, Boost et Buck-Boost qui permettent une modification efficace de la valeur de tension (moyenne) d'une source de tension continue et peuvent être utilisés dans les installations photovoltaïques.

Par conséquent, les convertisseurs DC/DC statiques unidirectionnels, en particulier les hacheurs BUCK, sont étudiés

Un convertisseur BUCK est un convertisseur abaisseur. Ce convertisseur réduit l'amplitude en sortie par rapport à l'entrée. Nous avons également parlé des circuits de protection par exemple les problèmes de "flow back " dans les convertisseurs. Et aussi sur Résolution du problème de combustion du MOSFET côté bas. Et à la fin on a parlé sur le bloc d'alimentation.

*CHAPITRE III : Etude des stratégies de  
commande MPPT Perturbe & Observe et  
de stockage*

### III.1 Introduction :

Les panneaux solaires, même s'ils sont de plus en plus très efficaces, les rendements sont encore faibles (environ 20 %), c'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser la puissance maximale Ils peuvent être générés en minimisant la perte énergie. Une caractéristique importante de ces panneaux est que La puissance maximale disponible est uniquement dans un Le point de fonctionnement dit "Maximum Power Point" (MPP), est défini par une tension et un courant donnés, et ce point se déplace Selon les conditions météorologiques (ensoleillement, température, etc.) et les changements de charge. Extrait Par conséquent, la puissance maximale nécessite un mécanisme de suivi À partir de ce point, on appelle « Maximum Power Point tracking ».

### III.2 Définition de la MPPT :

Les contrôleurs de charge MPPT (Maximum Power Point Tracking) éliminent une grande partie de la perte d'énergie trouvée dans les autres types de contrôleurs et produisent des rendements jusqu'à 30% par rapport aux contrôleurs non MPPT. Il s'agit du type de contrôleur de charge le plus utilisé, en particulier dans les grands systèmes. Le MPPT suit la tension et le courant du module solaire pour déterminer quand la puissance maximale se produit afin d'extraire la puissance maximale. Le MPPT ajuste ensuite la tension de la batterie pour optimiser la charge. Il en résulte un transfert de puissance maximal du module solaire vers la batterie. Les contrôleurs de charge MPPT utilisent normalement PWM dans leur fonctionnement.

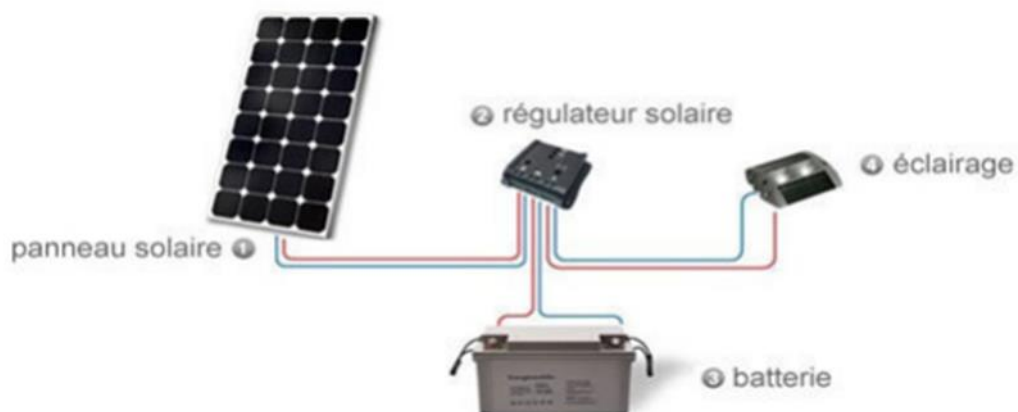


Figure III.1 : Modèle d'installation PV avec régulateur MPPT

C'est l'électronique au niveau du régulateur qui suit et tire La puissance maximale d'une installation solaire photovoltaïque.

Il est également équipé d'un convertisseur DC-DC pour maximiser la conversion Énergie (environ 97,5%). Enfin, le cœur de l'appareil est le Microprocesseur qui combine panneau et batterie pour une puissance maximale Le solaire est facilement disponible.

### **III.3 Le principe de fonctionnement de la MPPT :**

Nous pouvons globalement catégoriser les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte

Le schéma fonctionnel d'un convertisseur MPPT typique est illustré dans la figure (III.2). Le contrôle MPPT fait varier le cycle de service du convertisseur statique (CS) pour tirer la puissance maximale disponible du GPV à la charge appropriée. Il est basé sur l'évolution du rapport cyclique CS pendant ces derniers paramètres d'entrée, le courant I et la tension V, et l'évolution de la puissance GPV jusqu'à ce qu'elle soit au point de puissance maximale (MPP). D'autres méthodes Le contrôle MPPT est utilisé dans les systèmes photovoltaïques. Ils s'appuient sur un algorithme de recherche itératif pour trouver le point de fonctionnement des modules solaires afin de produire une puissance maximale sans interrompre le fonctionnement du système.

### **III.4 Principe de recherche de point de puissance maximale (MPPT) :**

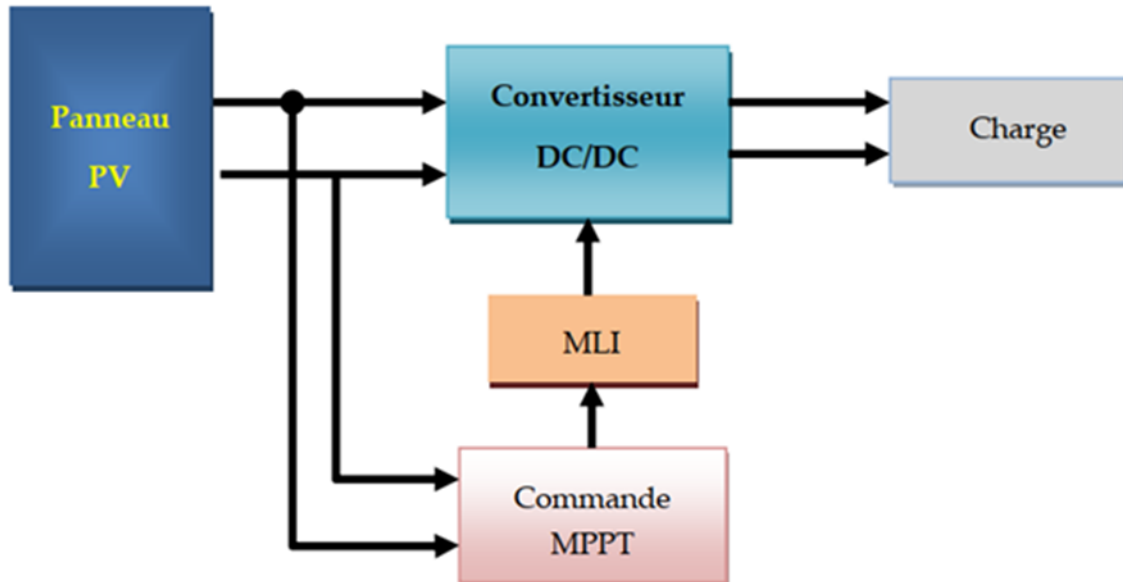
De nombreuses études ont été menées sur différents algorithmes de suivi du point de puissance maximale MPP. Considérez les paramètres du système et/ou les variables du changement climatique.

Le schéma fonctionnel de la (Figure III.2) montre un générateur PV avec MPPT, et la charge peut être alimentée à partir d'un panneau PV utilisant MPPT, en utilisant un contrôleur spécifique pour suivre la puissance maximale produite par le panneau.

Aujourd'hui, ce problème de suivi a fait l'objet de plusieurs études, et diverses méthodes ont été développées et utilisées.

Dans cette partie, nous présenterons les aspects théoriques de certaines méthodes (classiques et modernes) de surveillance du point de fonctionnement à puissance maximale d'un système PV, qui sont :

- Méthode de perturbation et observation (PO).
- Méthode de conductance Incrémentale (IC).
- Méthode de logique floue (FL).
- Méthode de la logique floue optimisée par le PSO (PSO-FL).



**Figure III.2 :** Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec la commande MPPT

#### III.5 Méthode perturbation et observation (P&O) :

L'algorithme PO consiste à faire varier le point de fonctionnement du module PV en augmentant ou en diminuant le rapport cyclique du convertisseur DC-DC et à mesurer la puissance de sortie avant et après la perturbation. Lorsque la puissance augmente, l'algorithme perturbe le système dans la même direction. Sinon, le système sera perturbé dans le sens opposé. Comme son nom l'indique, cette méthode fonctionne en perturbant le système et en observant l'effet sur la puissance de sortie du GPV.

(Fig. III.3) montre les quatre options possibles présentées lors du suivi d'un MPP. Le point 1 est la position précédente pour chaque cas et le point 2 est la position actuelle (A, B, C, D).

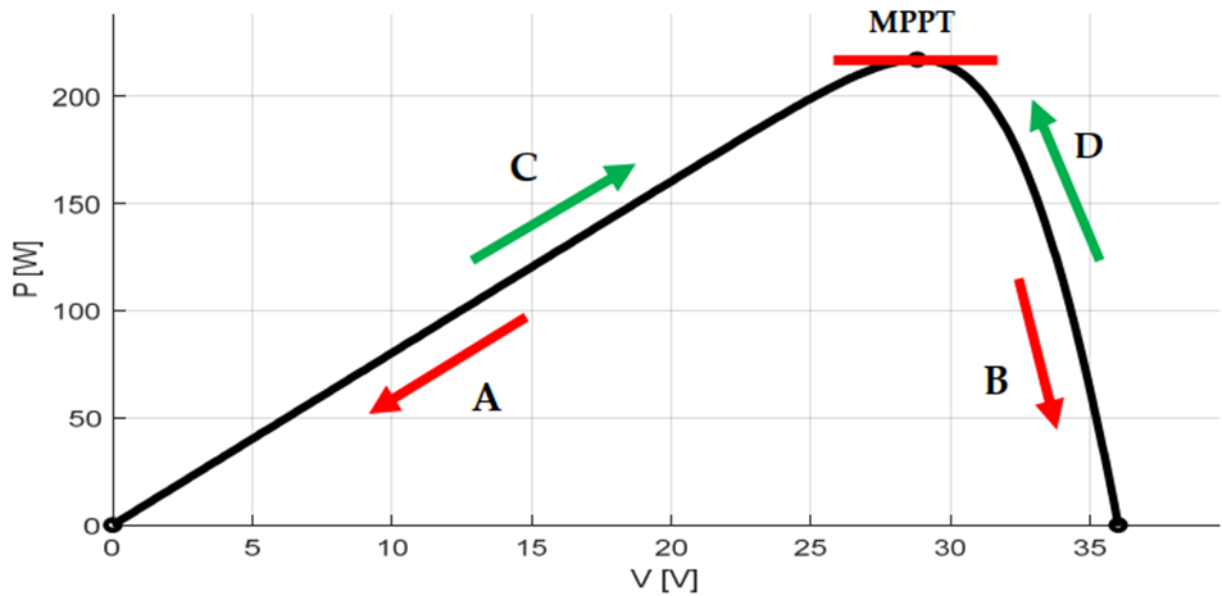
- Cas A :  $\Delta p < 0$  et  $\Delta v < 0$
- Cas B :  $\Delta p < 0$  et  $\Delta v > 0$
- Cas C :  $\Delta p > 0$  et  $\Delta v > 0$
- Cas D :  $\Delta p > 0$  et  $\Delta v < 0$

Dans les cas A et C, le cycle de service doit être réduit, ce qui entraîne une augmentation

La tension du module photovoltaïque.

Alors que dans les cas B et D, le rapport cyclique doit être augmenté pour que

Chute de tension du module PV.



**Figure III.2 :** Le fonctionnement de l'algorithme PO

L'algorithme peut être représenté mathématiquement par l'expression :

$$V(k) = V(k - 1) + \Delta V \cdot \text{sign}\left(\frac{dP}{dV} \mid v = v^* - 1\right) \quad (III.1)$$

III.5.1 Tableau (III.1) de vérité de l’algorithme « perturbation & observation » :

» :

Perturbation de la Puissance	Observation de la Puissance	Prochaine Perturbation
<b>Positive (+)</b>	Positive (+)	Positive (+)
<b>Positive (+)</b>	Négative (-)	Négative (-)
<b>Négative (-)</b>	Positive (+)	Négative (-)
<b>Négative (-)</b>	Négative (-)	Positive (+)

L'organigramme mis en œuvre pour le contrôleur P&O est présenté par la Figure (III.4) suivante :

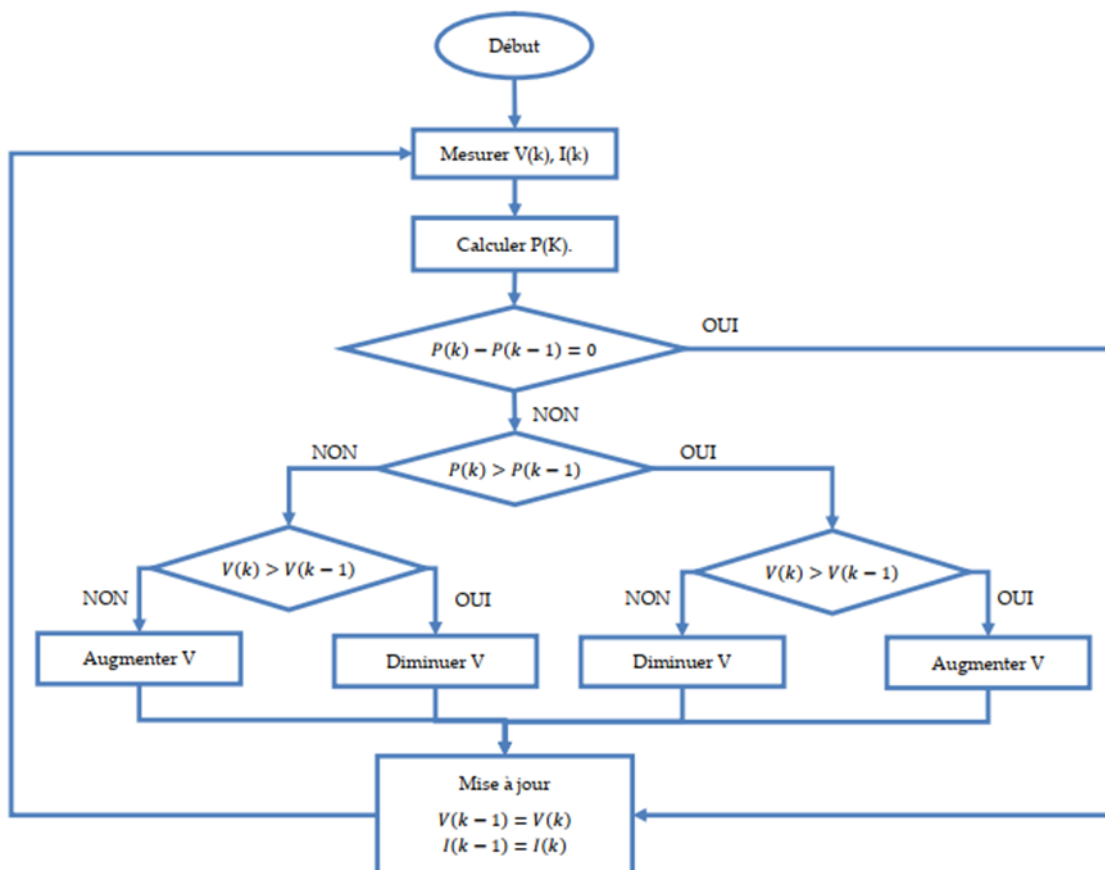


Figure III.3 : Organigramme de la méthode P&O

## III.6 Stockage de l'énergie :

Le stockage d'énergie est le fait de mettre une certaine quantité d'énergie en un seul endroit pour une utilisation future. Par extension, le terme "stockage d'énergie" Habituellement utilisé pour désigner une réserve de matière qui contient cette énergie. Compétent Le stockage de l'énergie est particulièrement important pour le développement de sources d'énergie alternatives, L'énergie solaire ou éolienne, par exemple, est sûre et renouvelable, mais de nature intermittente. Exister Installation photovoltaïque, le stockage d'énergie correspond à la conservation de l'énergie générée par les générateurs photovoltaïque, prêt à l'emploi.

### III.6.1 Définition d'une batterie :

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs. C'est très utilisé pour augmenter le voltage ou la durée d'utilisation d'un appareil.

Une batterie un dispositif chimique qui stocker l'Energie électrique sous forme chimique et qui, au moyen d'une réaction électrochimique, convertit l'énergie chimique stockée en énergie électrique à courant continu (CC).

### III.6.2 Batteries d'accumulateurs :

Un accumulateur est un dispositif physique qui convertit l'énergie chimique stockée en énergie chimique L'électricité est produite par une réaction chimique appelée redox. Pour ça type de réaction dans laquelle les électrons se déplacent d'un matériau à un autre à travers un circuit électrique Électricité unique. Une batterie peut être composée d'un ou plusieurs Un composant appelé cellule électrochimique. La cellule électrochimique est l'élément de base Batterie. Il se compose de : deux électrodes (une cathode et une anode), électrolyte et séparateur.

La cathode, également connue sous le nom d'électrode positive (ou plaque), est l'endroit où la réaction a lieu réduction. Consomme des électrons. Il se compose d'un corps Les agents oxydants ont la capacité d'attirer les électrons.



L'anode, également appelée électrode négative (ou plaque), est le site de la réaction Oxydation. Il se compose d'un corps réducteur, qui à le potentiel abandonnez l'électronique.



Les électrolytes sont des milieux ioniques conducteurs dans lesquels la cathode et l'anode bus. La réaction entre la solution et les deux électrodes est le point de départ du mouvement de la solution. Électrons et ions en milieu ionique. Transfert de charge Les électrolytes sont fournis par les ions. La direction du mouvement des ions négatifs est opposée à la direction du courant, Les ions positifs circulent dans le sens du courant.

Le séparateur est l'isolant qui sépare les deux électrodes pour éviter Laisse passer les ions positifs et négatifs, risquant de court-circuiter et de surchauffer en milieu ionique.

Les réactions redox sont divisées en deux parties : oxydation et réduire. La combinaison d'une entité chimique avec un ou plusieurs atomes d'oxygène est appelée oxydation. L'oxydation est donc une oxygénation. D'autre part, la réaction de réduction est la perte d'oxygène. En général, dans les réactions redox, l'agent réducteur est l'élément Perdre un ou plusieurs électrons. Les agents oxydants sont des éléments qui gagnent un ou plusieurs électrons voire la figure (III.5).

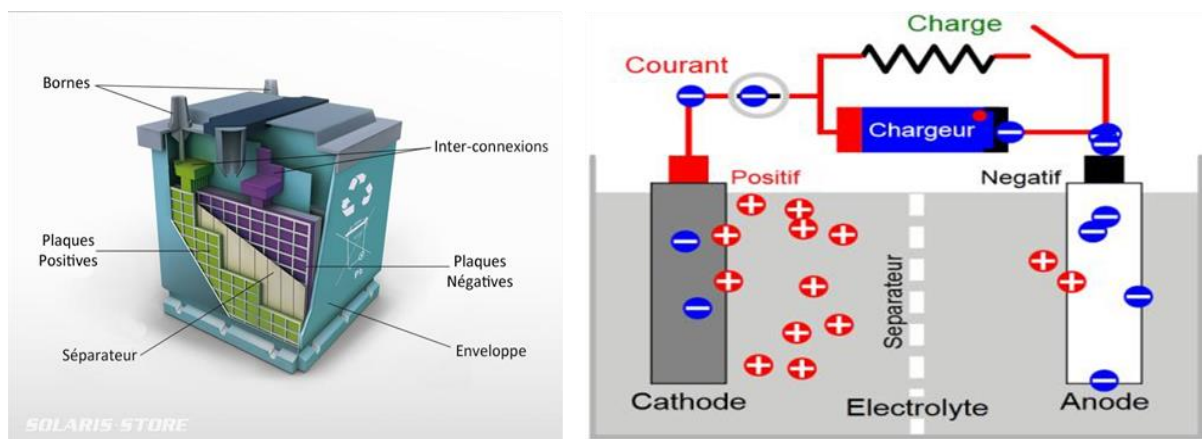


Figure III.3 : schéma principe de fonctionnement

### III.6.3 Processus de décharge et de charge de batterie :

Quand l'accumulateur est complètement chargé, l'anode possède un surplus d'électrons et la cathode un manque d'électrons. Le déplacement des électrons à travers une charge, connectée entre les deux électrodes, va créer ainsi le courant comme la montre. Lorsque les deux électrodes auront le même nombre d'électrons, l'accumulateur ne débitera plus de courant, ce qui indique la fin de la décharge. [8]

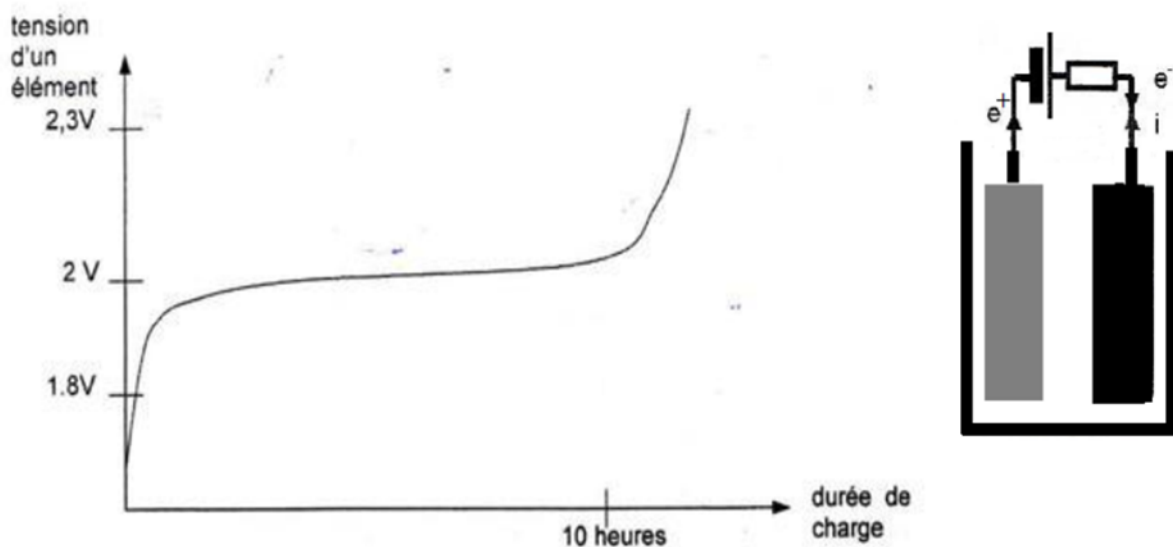
La charge est le processus inverse de la décharge. L'accumulateur est chargé par un courant constant, ce qui va causer le déplacement des électrons de l'anode (borne positive dans ce cas)

vers la cathode (borne négative). Le processus est arrêté lorsque l'anode atteindra un excès d'électrons et la cathode un manque d'électrons. Illustre le processus de charge d'une cellule électrochimique. [8]

### III.6.3.1 Pendant la charge :

Voyons comment fonctionne l'élément plomb chargé. Pendant la charge, le module ne fait circuler le courant entrant dans la borne positive, qui circule à travers tous les éléments en série. L'énergie électrique est convertie en énergie chimique stockée dans chaque élément.

Voici la courbe de charge d'un élément :



**Figure III.4** : la courbe d'une charge d'un élément

On constate que la charge dépasse le seuil de tension de charge de 2 V. Par exemple, Une batterie 12V peut atteindre une tension complètement chargée d'environ 14V.

### III.6.3.2 Pendant la décharge :

Voyons comment un élément fonctionne dans une décharge. La décharge se produit lorsque ce dernier fait passer un courant électrique dans le circuit de réception, convertissant l'énergie chimique stockée dans l'élément en énergie électrique. Sous l'action de la force électromotrice des éléments en série, le courant circule dans le récepteur.

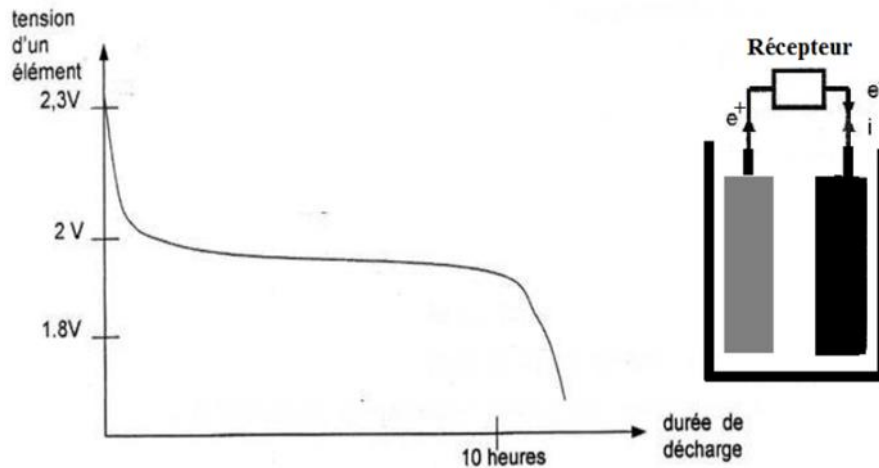


Figure III.5 : la courbe de décharge d'un élément

## III.6.4 Principales caractéristiques des accumulateurs :

### III.6.4.1 La tension nominale :

La tension nominale, exprimée en Volt, est fixée par le potentiel de la réaction chimique de chaque élément du couple d'oxydoréduction utilisé. Par exemple, dans le cas d'un accumulateur au plomb la tension nominale (tension opérationnelle) par cellule est de 2,1 Volt. [8]

### III.6.4.2 Tension à vide :

Elle est quasiment égale à la tension théorique lorsque la batterie est pleine

### III.6.4.3 Tension de fin de décharge :

A cette tension, l'accumulateur est considéré comme étant déchargé. Généralement, on ne doit pas descendre en dessous de cette tension pour éviter la détérioration de l'accumulateur. Si on prend le cas d'une cellule au plomb (2,1 Volt) la tension de fin de décharge est environ 1,75 Volt. [8]

### III.6.4.4 Tension de fin de charge :

Lorsque la cellule (ou la batterie) atteint cette tension, elle restitue toute la matière Activement disponible, il est considéré comme payant. Batteries "VRLA" et "Li-ion" Entièrement chargé à 2,03 V et 4,2 V respectivement.

### III.6.4.5 La résistance interne :

L'impédance interne de la batterie est connectée à tous les composants constitue l'accumulateur, qui comprend la résistance de l'électrolyte, Matériau actif par électrode et résistance de contact électrode à électrode cellule.

### III.6.4.6 Capacité d'une batterie d'accumulateurs :

La tension d'une batterie est déterminée par sa chimie, mais sa capacité représente La puissance maximale qu'il peut fournir. Puisque le courant est numérique Le nombre d'électrons par unité de temps, la capacité de la batterie est l'intégrale du courant fourni  $I_b(t)$  par la batterie. La capacité est mesurée en ampères-heures (Ah) et est exprimée par la formule suivante :

$$Q = \int_{t_0}^t I_b(t) dt \quad (III.4)$$

La capacité est généralement en fonction des matériaux actifs qui constituent la batterie. La grandeur de la capacité d'une batterie varie entre des milliampères heures à des milliers d'ampères-heures. D'autre part, la capacité est proportionnelle au volume de la batterie. [8]

### III.6.4.7 Le taux-C :

Le courant de charge ou de décharge de la batterie d'accumulateurs est mesuré à un taux noté «C ». C'est-à-dire, une batterie d'accumulateurs de capacité 1 Ah peut fournir un courant de 1 A pendant une heure de décharge à un taux 1 C. La même batterie d'accumulateurs déchargée à un taux de 0,5 C fournira un courant de 0.5 A pour deux heures. A un taux de 2 C, la batterie va délivrer 2 A pendant 30 minutes. Donc, un taux de 1 C implique une décharge (ou charge) pendant une heure, 0,5 C correspond à 2 heures et 0,1 C à 10 heures de décharge (ou charge). [8]

### III.6.4.8 Effet mémoire :

L'effet mémoire est défini comme la perte de capacité après un certain temps cycle de charge et de décharge. En fait, pour régler ce problème, il faut désinstaller l'Avant de charger, retirez complètement la batterie. Dans notre étude, cet effet La mémoire n'est pas pris en compte.

Notons que les effets de mémoire concernent principalement Pile de type nickel-cadmium. Cependant, les batteries à hydrure Le nickel métal est moins sensible. Batteries au plomb et celles Les ions lithium sont insensibles à cet effet et peuvent alors être chargés sans être précédemment désinstallé.

#### III.6.4.9 L'énergie :

L'énergie chimique dégagée pendant le processus de décharge est transformée en énergie électrique. Elle dépend de la tension et de la charge stockée. L'unité de mesure est généralement exprimée en joule (J) ou en Wattheure (Wh) et elle est définie par l'équation suivante [8] :

$$E = \int_{t_0}^t Vt(t)Ib(t)dt \quad (III.5)$$

$Vt(t)$  : Représente la tension terminale aux bornes de l'accumulateur.

$Ib(t)$  le courant d'accumulateur.

#### III.6.4.10 L'état de charge (SOC) :

Une batterie peut être vue comme un réservoir d'énergie dont la quantité change en continu. Par conséquent, son état de charge est déterminé comme la capacité contenue dans le Dans cette batterie, elle est affectée par les conditions de fonctionnement (courant, température, ETC). L'unité de SOC (State Of Charge en anglais) est le pourcentage (%) (100% ou 1 est batterie complètement chargée et 0 % ou 0 batterie dite vide).

$$SOC(\%) = SOC \times 100 = \left( \frac{\text{la capacité actuelle (Ah)}}{Cx(Ah)} \right) \times 100 \quad (III.6)$$

Ainsi qu'une solution simple, l'évolution du SOC éventuellement représenté par cette formule

$$\Delta SOC = SOC(t) - SOC(t^0) = \left( \frac{1}{\text{capacité (Ah)}} \right) \int_{t_0}^t ib(\tau)d\tau \quad (III.7)$$

#### III.6.4.11 Profondeur de décharge (DOD) :

DOD est la capacité retirée pendant la phase de décharge d'un cycle d'une batterie complètement chargée. Exprimé en pourcentage (%) selon l'équation Ce qui suit :

$$DOD(\%) = \left( \frac{\text{la capacité retiré d'une batterie chargé (Ah)}}{Cx(Ah)} \right) \times 100 \quad (.III.8)$$

$$DOD(\%) = (1 - SOC) \times 100 \quad (III.9)$$

Toujours à partir des équations (III.3) et (III.5), la finesse de décharge est le complément de l'état de décharge.

#### III.6.4.12 Nombre de cycle (Nb Cycles) :

Défini comme le nombre de cycles (charge/décharge) qu'une batterie peut fournir dans sa vie. Ce paramètre correspond à un DOD, qui est expédié ou marqué par le fabricant Pour des tâches spécifiques après essai périodique (charge/décharge) Conditions environnementales spécifiques à la tâche (température, rayonnement, etc.).

#### III.6.4.13 L'état de santé (SOH) :

SOH (State Of Health) est un paramètre qui reflète l'état général de la batterie/cellule et sa capacité à fournir les performances spécifiées par rapport à une nouvelle batterie. C'est Suivre la dégradation de la batterie pour estimer les mesures vitales Durée de vie restante (Nb Cycles).

$$SOH(\%) = SOH \times 100 = \left( \frac{\text{la capacité d'une batterie utilisée(Ah)}}{Cx(Ah)} \right) \times 100 \quad (III.10)$$

Pour définition préliminaire, une batterie a atteint sa fin de vie (EOL) lorsqu'elle a SOH%=80.

#### III.6.5 Différents types d'accumulateurs :

Il existe plusieurs types d'accumulateurs électrochimiques, les plus cités dans la littérature sont :

##### III.6.5.1 Batteries au plomb Pb :

Ils sont ouverts avec un électrolyte d'acide sulfurique dilué avec de l'eau distillée. Ils ont la particularité d'être des accumulateurs.

De plus, ils nécessitent un entretien régulier (leurs électrolytes s'évaporent avec le temps). Les batteries au plomb libèrent de l'oxygène et de l'hydrogène lorsqu'elles sont chargées, il est donc obligatoire de les placer dans un endroit ventilé voir la figure (III.8).

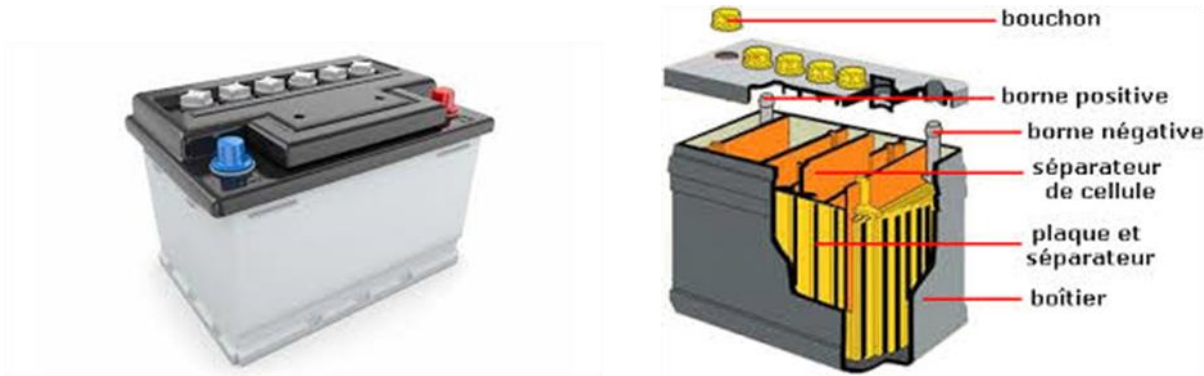


Figure III.6 : batterie au plomb

### III.6.5.2 Batteries au nickel :

Ils peuvent être complètement déchargés sans affecter leur durée de vie. Leur inconvénient est leur faible capacité, ce qui en fait de meilleures batteries pour alimenter des appareils portables qui durent rarement plus de quelques heures.



Figure III.7 : batterie au nickel

### III.6.5.3 Batteries au Lithium :

La batterie au lithium est l'une des technologies les plus récentes et les plus performantes : elle est aujourd'hui utilisée dans tous les domaines (voitures électriques, ordinateurs, smartphones, objets connectés, etc.). Cela en fait une batterie populaire pour les consommateurs à la recherche de flexibilité et de facilité d'utilisation.

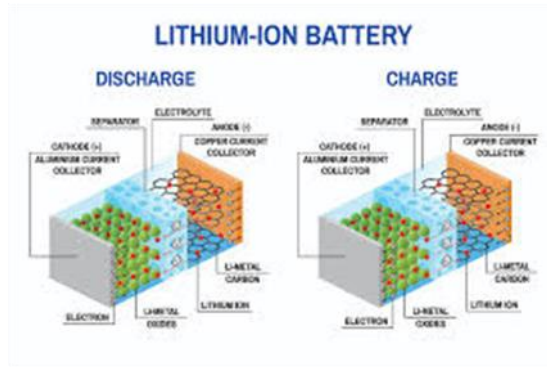


Figure III.8 : batterie au lithium

### III.6.5.4 Batterie GEL :

Batterie plomb-acide à électrolyte gel, 8 fois plus durable que les batteries conventionnelles. Il est également le plus couramment utilisé pour stocker l'énergie solaire.

Le taux d'autodécharge du GEL est très faible, seulement 1% à 3% en un mois. Cet avantage est dû au fait qu'il est constitué d'un matériau pur et d'un maillage plomb-calcium. Les batteries au gel doivent toujours être équipées d'un contrôleur de charge solaire capable de contrôler correctement la tension.



Figure III.9 : batterie Gel

### III.6.5.5 Batterie AGM :

Sur les batteries plomb-acide AGM, "VRLA" est souvent écrit, ce qui signifie "Valve Regulated Lead Acid" en anglais. Cela fait référence à la conception de la batterie : elle est équipée d'une valve qui régénère automatiquement l'énergie sans recharger la batterie, ce qui la rend adaptée aux applications de charge permanente.

- Pas d'entretien.
- Peu polluant : 99% du plomb est recyclable.
- Technologie bon marché : à capacité élevée, le prix reste abordable.
- Technologie robuste : bonne résistance aux surcharges.



**Figure III.10 : batterie AGM**

### III.6.6 chargements des batteries :

Une batterie est déchargée lorsque sa tension est inférieure à la tension de coupure ou lorsque l'état de charge de la batterie est inférieur à 20 %. À ce stade, il est impératif d'arrêter le processus de décharge et de recharger la batterie. La décharge excessive et la surcharge d'une batterie peuvent affecter considérablement son état, car cela accélère considérablement la dégradation de la batterie. Le développement d'une méthode de charge de batterie appropriée est une partie essentielle du BMS. La méthode est basée sur des estimations précises de la batterie pour l'état de charge (SOC), l'état de santé (SOH) et la température. L'approche de charge de la batterie appropriée facilite la charge efficace de la batterie de l'état initial à l'état final de la batterie SOC, tout en protégeant la batterie contre la surchauffe, en prolongeant sa durée de vie et en améliorant l'utilisation de la capacité. La température est un facteur dominant affectant les performances de charge de la batterie. Une température élevée diminue le cycle de vie des batteries Li-ion et la charge n'est pas recommandée dans des conditions inférieures au point de congélation. Le tableau 1 montre l'influence de la température sur les performances de charge pour différents types de batteries. [9]

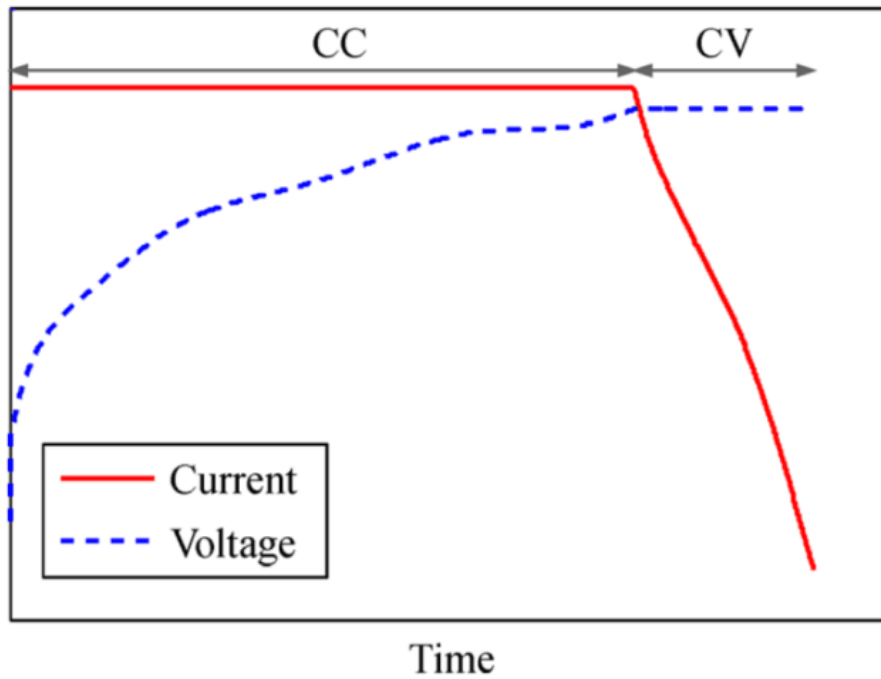
Tableau III.1 : Performances de charge de différents types de batteries

Battery types	Charging performance
Li-Ion	<ul style="list-style-type: none"><li>• High temperature speeds up charging but adversely affects the battery lifespan</li><li>• Charging below freezing is dangerous</li></ul>
Lead-acid	<ul style="list-style-type: none"><li>• Higher temperature causes lower V threshold by 3 mV/°C</li><li>• Charging rate less than 0.3 C below freezing</li></ul>
NiMH, NiCd	<ul style="list-style-type: none"><li>• High temperature decreases charging acceptance (70% at 45°C and 45% at 60°C)</li><li>• Charging rate 0.1 C below freezing</li><li>• Charging rate 0.3 C between 0 °C and 6 °C</li></ul>

### III.7. Méthodes traditionnelles de charge de la batterie : [9]

#### III.7.1. Méthode de charge CC.CV :

La méthode de charge CC-CV est une approche hybride qui combine les deux méthodes de charge mentionnées précédemment. Il utilise la charge CC dans la première étape de charge, et lorsque la tension atteint la valeur de seuil de sécurité maximale, le processus de charge passe à la méthode de charge CV. Le processus de charge est terminé lorsque le courant se stabilise ou lorsque la pleine capacité de la batterie est atteinte. Le temps de charge est principalement défini par la valeur de courant constant (mode CC), tandis que l'utilisation de la capacité est principalement influencée par la valeur de tension constante (mode CV). La charge CC-CV était initialement utilisée pour charger les batteries au plomb et, plus tard, pour recharger les batteries Li-ion. Les batteries Li-ion nécessitent un mode CC beaucoup plus long. La méthode de charge CC-CV est plus efficace que les méthodes CC ou CV individuellement, et en tant que telle, elle est utilisée comme référence pour la comparaison avec les dernières méthodes de charge.



**Figure III.11 :** Un graphique du courant et de la tension de la batterie en mode de charge CC-CV

Le principal défi de la charge CC-CV consiste à définir des valeurs constantes appropriées pour chaque mode. La valeur de courant appropriée fournira un équilibre entre les performances de charge et la sécurité de la batterie. Avoir un courant trop élevé ou trop faible peut entraîner des effets négatifs comme indiqué précédemment.

### **III.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons appris la définition et le principe de fonctionnement du contrôleur de charge MPPT (Maximum Power Point Tracking) et le principe de la méthode MPPT par Perturbation et Observation (P&O). La dernière partie se concentre sur la batterie de stockage en tant que partie importante du système photovoltaïque, et présente la définition, les types et les caractéristiques de la batterie de stockage et son principe de fonctionnement. Et on a étudié un des méthodes de charge traditionnelle de batterie CC.CV.

*CHAPITRE IV : La conception et  
simulation du régulateur de charge  
MPPT*

## VI.1 introduction :

Les batteries rechargeables sont largement utilisées dans les systèmes photovoltaïques. Stockez l'énergie excédentaire de manière autonome. Cependant, ces batteries sont très fragiles. Face à la surcharge, à la décharge profonde, à la dérive de température et à d'autres phénomènes, Actuellement ils doivent être associés à un régulateur de charge approprié pour assurer leur protection. Par conséquent, l'importance des régulateurs de charge dans les systèmes photovoltaïques autonomes est évidente. Plus de discussions. Cependant, il faut faire très attention de respecter les Exigences de coût, de simplicité, de polyvalence et de fiabilité.

Les régulateurs de charge MPPT existe déjà avec différent ampérage suivant le besoin, sauf qu'ils n'offrent pas l'option de télémétrie avec la technologie IoT avec un logiciel de gestion à distance.

L'objet de ce chapitre est de présenter les étapes de conception et de réalisation d'un régulateur de charge solaire MPPT à base d'une carte ESP32 à l'aide de l'IDE Arduino sur le logiciel de simulation PROTEUS-ISIS

## VI.2 La partie puissance :

### VI.2.1 caractéristiques du panneau photovoltaïque choisi :

Les panneaux photovoltaïques que nous utilisons afin de réaliser le régulateur de charge solaire, sont des modules photovoltaïques au Silicium de type polycristallin, à cause de leur disponibilité. Les caractéristiques de ces panneaux sous les conditions de test standard (Ensoleillement =  $1000\text{w}/\text{m}^2$  ; Spectre air mass = 1.5 ; Température de cellule =  $25^\circ\text{C}$ ) sont :

- Courant de court-circuit :  $I_{SC} = 5.91\text{A}$ .
- Tension de circuit ouvert :  $V_{OC} = 45.48\text{V}$ .
- Courant maximal :  $I_{MP} = 5.37\text{A}$ .
- Tension maximale :  $V_{MP} = 37.29\text{V}$ .
- Puissance maximal :  $P_{\text{max}} = 280\text{W}$ .

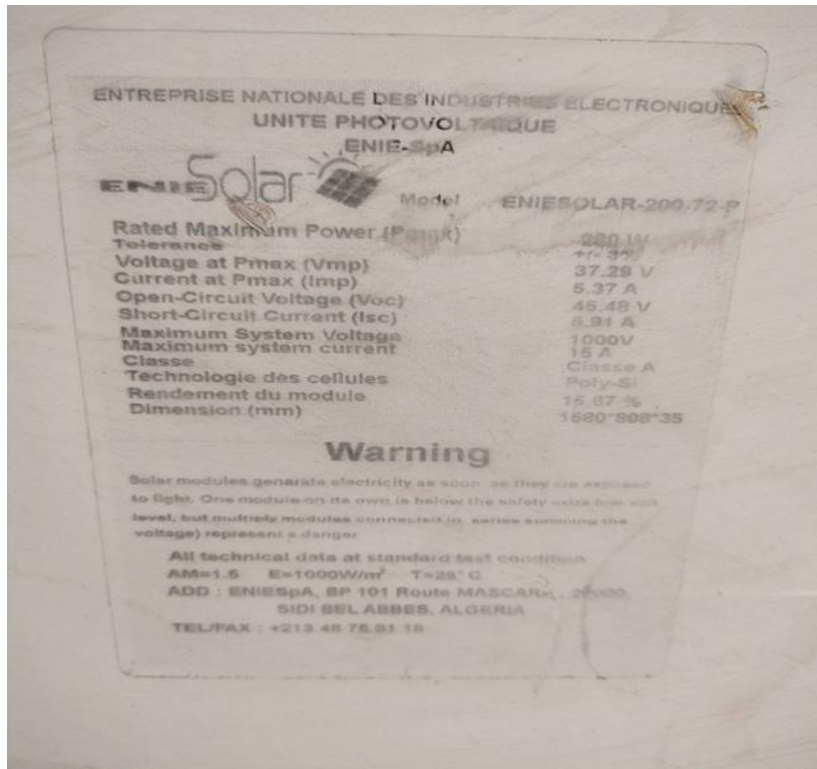


Figure IV.1. La plaque signalétique du panneau solaire

## VL2.2 Caractéristiques de la batterie choisie :

Afin de stocker l'énergie générée par les unités photovoltaïques, nous devons utiliser des batteries. Pour cela, nous avons choisi le type de batterie AGM parce qu'il est Pas d'entretien ; Peu polluant et bonne résistance aux surcharges et il contient les fonctionnalités suivantes :

- Tension : 12 V.
- Capacité nominale : 100 Ah.



FigureIV.2 : batterie type AGM

### Vl2.3 Choix de la fréquence du signal de commande :

La fréquence de découpage du convertisseur DC/DC est un facteur important Déterminez les performances globales de ce type de convertisseur. Régler cette fréquence La commutation est généralement dictée par des exigences d'efficacité et de performance car Les pertes de commutation peuvent être minimisées en fonctionnant à commutateur relativement élevé. De plus, plus la fréquence de commutation est élevée, plus la taille des composants réactifs (condensateurs et inductances) utilisés est petite, plus le délai La sortie est inférieure par rapport à l'entrée en raison du temps de commutation. La fréquence utilisée est de 50khz.

### Vl2.4 choix du MOSFET :

Le MOSFET présente une commutation ohmique faible et rapide.

Les principaux critères du MOSFET sont :

- Le premier critère,  $I_{DS}$  doit être largement supérieur au courant du court-circuit du panneau sous un ensoleillement maximal, ce qui veut dire :  $I_{DS} \geq I_{sc}$ .
- Le deuxième critère, il suffit que la bande passante B du transistor soit supérieure à la fréquence du signal de commande avec lequel on entend contrôler ce transistor. Pour notre cas, il faut vérifier :  $B \geq 50KHz$ .
- Le troisième critère, nous avons choisi un transistor MOSFET à canal N pour sa faible résistance de commutation  $R_{dson}$ . Cette dernière caractérise un état fermé du switch et doit être aussi faible que possible et ce pour réduire les pertes par effet joule dans le convertisseur Buck en cours de ce fonctionnement. Nous avons choisi MOSFET (IR2104). [11]



IR2104 MOSFET



IR2104 MOSFET Pinout

Figure VI. 3 : IR 2104 MOSFET

### VI.2.4.1 Choix de la commande du MOSFET :

Les IR2104(S) sont à haute tension et haute vitesse Pilotes MOSFET et IGBT avec hauts et bas dépendants voies de sortie référencées latéralement. HVIC et les technologies CMOS résistantes au verrouillage permettent construction monolithique. L'entrée logique est compatible avec la sortie standard CMOS ou LSTTL, jusqu'à 3,3 V logique.

Les pilotes de sortie disposent d'un étage tampon à courant d'impulsion élevé conçu pour une conduction croisée minimale du pilote. Le canal flottant peut être utilisé pour piloter un MOSFET de puissance à canal N ou un IGBT dans la configuration côté haut qui fonctionne de 10 à 600 volts. [12]

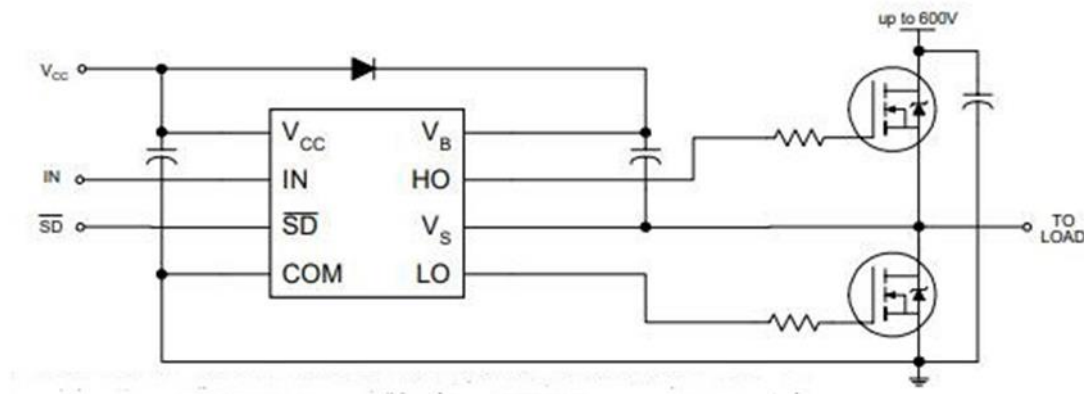


Figure IV.4 : driver (IR2106)

L'une des principales raisons pour lesquelles ce projet a fini par avoir un facteur de forme extrêmement petit et une énergie élevée l'efficacité de la conversion était la sélection rigoureuse des MOSFET à canal N. CSD19505 était l'un des meilleurs bas coût des MOSFET que je pourrais trouver ! Avec une résistance à l'état passant de 2,6 m $\Omega$  et un Vds de 80 V, Ce signifiait moins de pertes de conduction. [13]

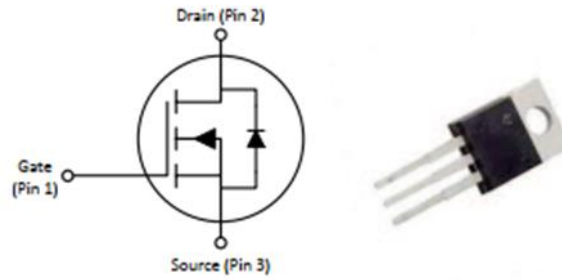
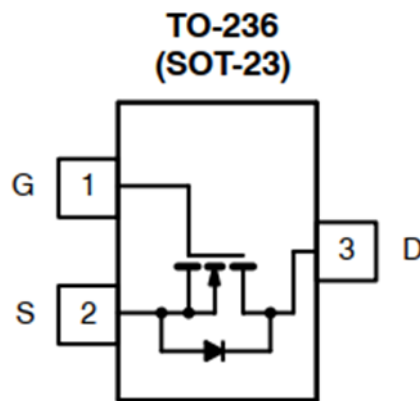


Figure VI.5 MOSFET CSD19505

Le MOSFET Si2306DS (A6SHB) :

Le rôle de ce type de MOSFET est utilisé comme interrupteur de ventilateur pour le refroidissement.



FigureVI.6 MOSFET type Si2306DS

Les Paramètres de ce type de MOSFET :

Tableau VI.1 les paramètres de type MOSFET Si2306DS

<b>PRODUCT SUMMARY</b>		
$V_{DS}$ (V)	$r_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$I_D$ (A)
30	0.057 @ $V_{GS} = 10$ V	3.5
	0.094 @ $V_{GS} = 4.5$ V	2.8

### VI.2.5 Choix de la diode :

Le rôle des diodes dans nos convertisseurs DC/DC est d'isoler la source et la charge. En dissipant l'énergie stockée dans la bobine pendant l'état bloqué du transistor MOSFET, et respectant le principe d'interdiction de mise sous tension, il permet au courant de trouver un schéma. Dans ce cas la diode est connue par la diode de roue libre.

La diode utilisée est une diode Schottky de puissance de type SS310(100V, 3A), qui doit être sélectionnée de manière à pouvoir résister au courant qui traverse de tel sort le courant et la tension maximum du panneau solaire sont inférieurs aux caractéristiques de la diode adaptée à notre hacheur.



Figure VI.7 Diode Schottky type SS310

### VI.2.6 Dimensionnement des condensateurs :

Nous plaçons des condensateurs chimiques à l'entrée et à la sortie pour filtrer Modifications des tensions d'entrée et de sortie. Calcul de la valeur de capacité à l'aide Fonction de la volatilité attendue et de l'amplitude moyenne attendue. [11]

- **Condensateur de sortie Cout :**

Dans la sortie du convertisseur Buck il faut qu'utiliser un condensateur pour minimiser les ondulations de la tension aux bornes de la charge. [11]

$$C_{out} = \frac{\Delta I_{out} * \Delta T}{\Delta V_{out} - (\Delta I_{out} * ESR)} \quad (\square.1)$$

- Condensateur d'entre  $C_{in}$  :

Nous avons placé un condensateur d'une grande valeur à l'entrée du convertisseur parce que Les générateurs PV sont soumis à des oscillations à haute fréquence causées par la commutation du convertisseur. [11]

$$C_{in} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta I_{IN}}\right) - ESR} \quad (\square.2)$$

### VI.2.7 Le transistor MMBT3904 :

Le transistor à effet de champ (MOSFET) est un dispositif électronique constitué de trois pattes : la grille, le drain et la source. Il représente l'élément de base dans l'industrie pour la construction de portes logiques. [16]

Ce dispositif commandé en tension, car son courant de sortie varie en fonction d'une faible tension appliquée à sa grille. [16]

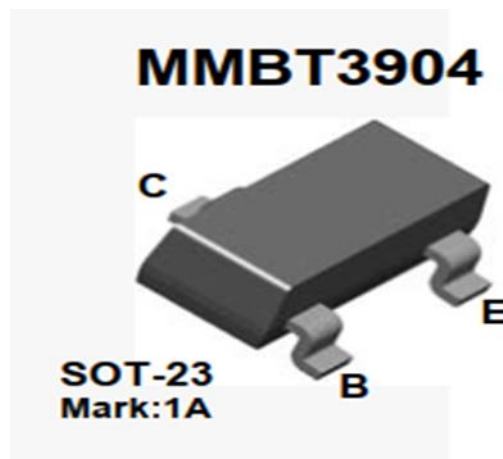


Figure IV.8 transistor MMBT3904

Cet appareil est conçu comme un amplificateur et un commutateur à usage général. La plage dynamique utile s'étend à 100 mA en tant que commutateur et à 100 MHz en tant qu'amplificateur.

## Vl2.8 Choix de la bobine :

Dans notre projet on aura besoin de 2 types d'inductance la première est de la caractéristique suivante :  $100\mu\text{H}/0.5\text{A}$  mais pour la deuxième qu'a les caractéristiques suivantes :  $64\mu\text{H}/36\text{A}$  elle est introuvable dans le marché on va la fabriquer.

En plus, on a utilisé le noyau toroïdal du modèle de noyau 0077071A7 pour nous aider dans la fabrication d'inductance.



Figure IV.9 : modèle de noyau 0077071A7

### Vl2.8.1 Paramètres du noyau toroïdal 0077071A7 :

- Fabricant : Magnetic Inc.
- Matériau du noyau : Kool M $\mu$  (Sendust - FeSiAl).
- Perméabilité magnétique relative :  $60\mu$ .
- Dimensions : OD = 25 mm, ID = 14 mm, H = 10 mm.

OD, ID, H sont les dimensions physiques du tore qui peuvent être mesurées à l'aide d'une règle ou d'un pied à coulisse.

- $A_l = 61\text{ nH}/\text{T}^2$ .

$A_L$  dépend du matériau de votre noyau toroïdal.

- $A_e = 65.6\text{mm}^2$ .

$A_e$  dépend des dimensions de votre noyau toroïdal.

- $B_{\text{sat}} = 1.0\text{T}$ .

$B_{\text{sat}}$  est la densité de flux de saturation magnétique.

Si  $A_L$  et  $A_e$  ne sont pas spécifiés sur la fiche technique, veuillez utiliser la 2ème méthode

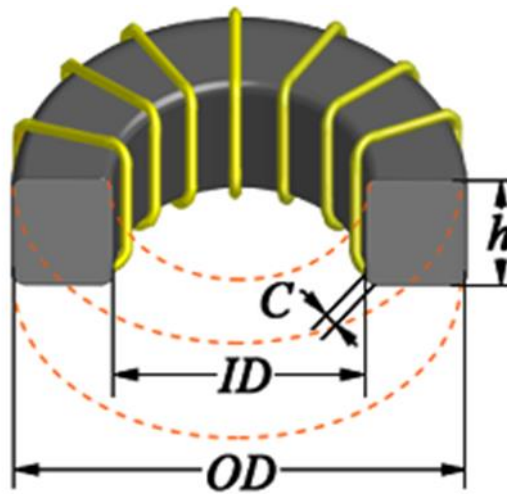


Figure IV.10 les dimensions physiques du tor

### VI.2.8.2 Méthode de calcul du courant d'inductance :

Pour avoir une valeur précise du courant on applique cette méthode dans ce dernier se déroule en quelque étape d'abord on va calculer  $A_L$ .

$$AL = 0.2 * \mu r * H * LN \left( \frac{OD}{ID} \right) \quad (\square.3)$$

$$AL = 0.2 * 60 * 11 * LN \left( \frac{33.5}{19.5} \right)$$

$$AL = 71.42928847 \left( \frac{nH}{N^2} \right)$$

Ensuite on va calculer  $A_e$  :

$$Ae = 0.5 * (OD - ID) * H \quad (\square.4)$$

$$Ae = 0.5 * (33.5 - 19.5) * 11$$

$$A_e = 77 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Après on faire la compensation du  $A_L$  et  $A_e$  dans l'équation pour trouver la valeur du Courant de saturation de l'inducteur  $I_{sat}$  :

$$I_{sat} = \frac{((B_{sat} * 0.001) * (A_e * 0.001))}{\sqrt{(L * 0.000001) * (AL * 0.000000001)}} \quad (\square.5)$$

$$I_{sat} = \frac{((1 * 0.001) * (77 * 0.001))}{\sqrt{(64 * 0.000001) * (71.42928847 * 0.000000001)}}$$

$$I_{sat} = 36.01327159 \text{ (A)}$$

Après on va calculer N :

$$N = \sqrt{\frac{(L * 0.000001)}{(0.0002) * (\mu r * 0.000001) * H * \left( LN \left( \frac{OD}{ID} \right) \right)}} \quad (\square.6)$$

$$N = \sqrt{\frac{(64 * 0.000001)}{(0.0002) * (60 * 0.000001) * 11 * \left( LN \left( \frac{33.5}{19.5} \right) \right)}}$$

$$N = 29.93310885$$

Enfin on va calculer la Longueur de fil  $L_w$  :

$$L_w = 0.001 * N * \left( ((2 * H) + OD - ID) + \left( 2 * \left( 0.127 * \left( 92^{\left( \frac{36 - d}{39} \right)} \right) \right) \right) \right) \quad (\square.7)$$

$$L_w = 1.154869981 \text{ (m)}$$

La section "Résultats du calcul" indique le nombre N de tours de fil autour de votre inductance pour atteindre L, la valeur d'inductance de conception d'inductance spécifiée.  $L_w$  est la longueur de fil prévue nécessaire pour atteindre le nombre de tours autour de l'inducteur.  $L_w$  n'est qu'une valeur indicative, assurez-vous de couper le fil magnétique légèrement plus long que  $L_w$  pour

tenir compte des fils et des écarts d'enroulement. Isat, d'autre part, est simplement le courant nominal de votre inductance.

## VI.2.9 Choix de capteur de tension :

Afin de faciliter la connexion entre la carte ESP32 d'un côté et le panneau solaire et la batterie de l'autre côté, on va utiliser un diviseur de tension adapté.

### VI.2.9.1 Choix du diviseur de tension pour l'acquisition de la tension des panneaux PV :

R1 et R2 forment un diviseur de tension pour une plage d'entrée de 0-80V à une plage de sortie de diviseur de tension 0-1.989V. Il s'agit d'une tension inférieure à la référence de tension de 2,048 V de l'ADC externe U10. Elle est proche de la  $V_{ref}$  pour maximiser la résolution ADC mais pas trop près pour ne pas provoquer d'écroulement. [13]

C1 est un condensateur de dérivation pour filtrer la sortie du diviseur de tension d'entrée des bruits. [13] Nous avons utilisé le diviseur de tension au côté de panneaux PV qui illustré dans la figure suivante :

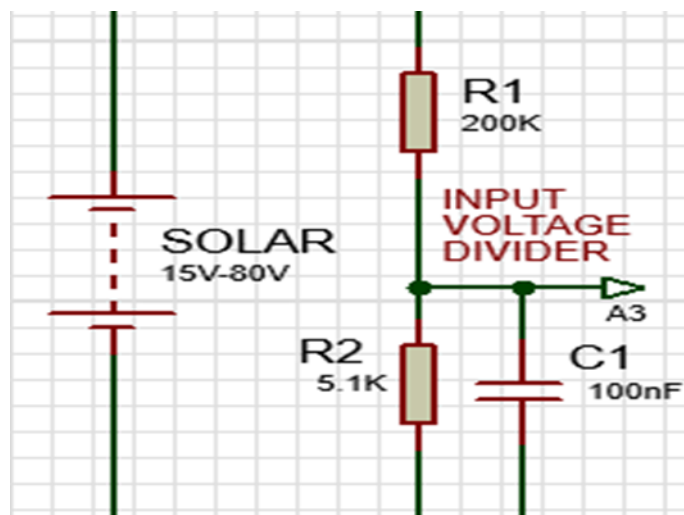


Figure IV.11 Schéma de pont diviseur de tension de panneaux

**Calcul des résistances :**

En appliquant la loi de diviseur de tension.

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} * V_{pv} \quad (\square.8)$$

Tel que :

$$V_{pv} = 80v \quad V_{out} \leq 5v$$

$$V_{out} \cdot (R1 + R2) = R2 \cdot V_{pv} \quad (\square.9)$$

$$V_{out} \cdot R1 + V_{out} \cdot R2 = R2 \cdot V_{pv} \quad (\square.10)$$

$$R1 = R2 \left( \frac{V_{pv}}{V_{out}} - 1 \right) \quad (\square.11)$$

Donc,  $\frac{R1}{R2} > 15$ . Nous avons fixé R2 à 10kΩ alors R1=150kΩ.

**VI.2.9.2 Choix du capteur de tension de la batterie :**

R32, R33 et R34 forment un diviseur de tension pour une plage d'entrée de 0-50V à une plage de sortie de diviseur de tension 0-2.04V. Il s'agit d'une tension inférieure à la référence de tension de 2,048 V du CAN externe U10. Il est proche de la  $V_{ref}$  pour maximiser la résolution ADC mais pas trop près pour ne pas provoquer d'écrêtage. [13]

C13 est un condensateur de dérivation pour filtrer la sortie du diviseur de tension de sortie des bruits [13]. Nous avons utilisé le diviseur de tension d'un côté La batterie est montrée dans la figure ci-dessous.

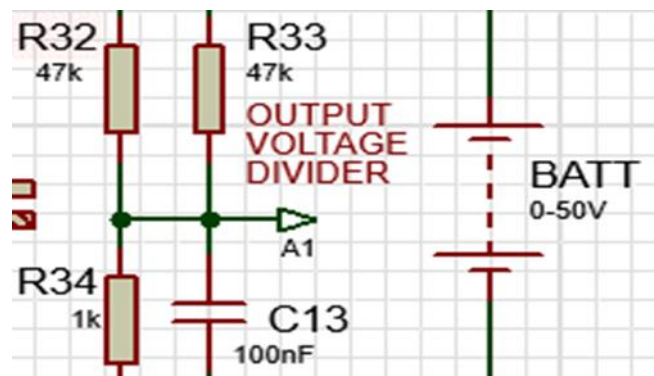


Figure VI.12 : Schéma de pont diviseur de tension de batterie.

On applique la loi du diviseur de tension :

$$V_{out} = \frac{R_{34}}{R_{34} + (R_{32} + R_{33})} * V_{Bat} \quad (\square.12)$$

$$V_{out} = \frac{R_{34}}{R_{34} + 2 * R_{32}} * V_{Bat} \quad (\square.13)$$

Tel que :  $V_{Bat} = 50v$  et  $V_{out} \leq 5v$

$$V_{out} * (R_{34} + 2 * R_{32}) \leq R_{34} * V_{Bat} \quad (\square.14)$$

$$V_{out} * R_{34} + 2V_{out} * R_{32} \leq R_{34} * V_{Bat} \quad (\square.15)$$

$$\frac{R_{32}}{R_{34}} \leq \left( \frac{V_{Bat}}{2V_{out}} - \frac{1}{V_{out}} \right) \quad (\square.16)$$

$$\frac{R_{32}}{R_{34}} \leq \left( \frac{V_{Bat} - V_{out}}{2V_{out}} \right) \quad (\square.17)$$

Nous avons fixé  $R_{32}$  à  $4K\Omega$  et  $R_{34}$  à  $1K\Omega$ , donc la tension de batterie maximale qu'on peut acquérir égale à  $50V$ . Alors, les deux configurations de sortie avec une seule batterie ( $12V$ ) et deux batteries en série ( $24V$ ) peuvent être utilisées.

### VI.2.10 Choix de capteur de courant :

Nous avons utilisé le capteur de courant à effet Hall pour mesurer le courant de panneaux PV le type utilisé c'est le type ACS712-30A montré sur la Figure (VI.13) qui nous fournit une tension exploitable pour alimenter la broche A2 de la carte ESP32. [11]

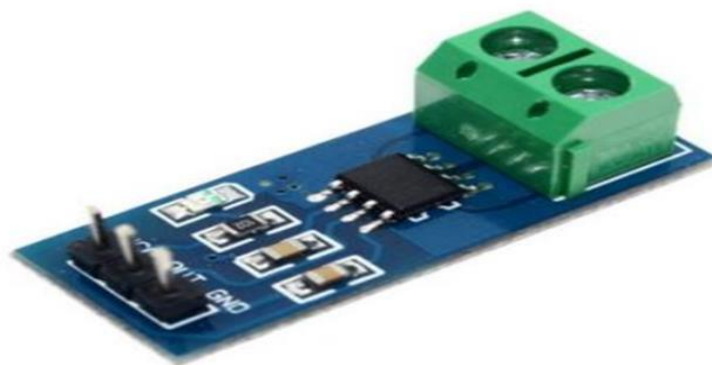


Figure IV.13 : Capteur de courant à effet Hall (ACS712-30A).

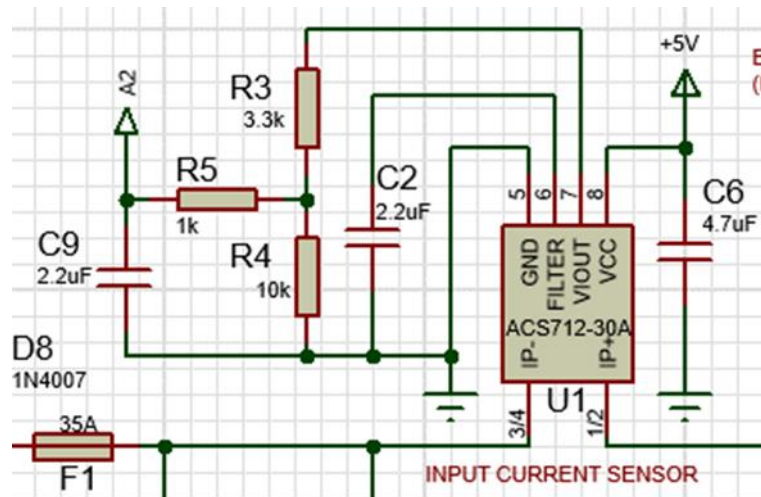


Figure IV.14 capteur de courant ACS712-30A

Cette figure (VI.14) précédente nous montre le schéma du capteur du courant dont le principe de fonctionnement est :

- $U_1$  est un circuit intégré de capteur de courant nominal ACS712-30A bidirectionnel et isolé de 30 A.
- $U_1$  est bidirectionnel, mais nous ne souhaitons l'utiliser que comme capteur de courant unidirectionnel pour maximiser la résolution ADC pour la détection de courant. La raison pour laquelle les broches -IP et +IP de  $U_1$  sont connectées à l'envers est due à sa réponse de remorquage de courant négatif. Lorsqu'il n'y a pas de courant  $V_{out} = V_{cc}/2$ . Ça signifie lorsqu'aucun courant ne traverse les broches de détection de courant -IP et +IP, la sortie analogique du courant capteur est la moitié du 5V  $V_{cc}$ , qui est d'environ 2,5V. Lorsque le remorquage actuel -IP à +IP ;  $V_{out} = 2,5 - (\text{Courant détecté} * 0,066)$ . On sait maintenant qu'à -30A,  $V_{out} = 2,5V$  ; à 0A,  $V_{out} = 0,52V$ . Maintenant, nous avons un étage près du sol et un plafond de 2,5 V que nous pouvons réduire à la référence de tension de l'ADC. Par ici nous n'avons pas besoin de changer de niveau et en même temps nous avons éliminé la moitié de la plage inutilisée du capteur.
- $R_3$  et  $R_4$  est un diviseur de tension qui réduit le plafond de 2,5 V que nous obtenons de la sortie analogique de l' $U_1$  à une tension légèrement inférieure à la référence de tension de 2,048 V de  $U_{10}$ . Cela empêche les lectures du capteur d'obtenir couper.
- $C_2$  est un condensateur de filtrage mentionné dans la fiche technique d' $U_1$  (ACS712). Augmenter les résultats  $C_2$  à une diminution sur  $U_1$  bande passante de détection de courant. Puisqu'on a affaire à du DC, on n'a besoin que d'une faible bande passante pour rejeter les bruits qui pourraient interférer avec notre détection actuelle. 10  $\mu F$  ont été suggéré pour un filtrage

maximal pour DC applications, mais il était également mentionné dans la fiche technique que  $10\mu\text{F}$  donnerait une montée et une réponse plus lentes temps. Je me suis finalement installé avec  $2.2\mu\text{F}$ .

- $R_5$  et  $C_9$  est un filtre RC pour réduire davantage les bruits captés par la sortie analogique de  $U_1$ .

### VI.2.11 Convertisseur analogique-numérique 16 bits I2C :

Le convertisseur analogique-numérique ADS1115 avec une carte ESP32. Il s'agit d'un convertisseur (ADC) 16 bits dont la fréquence d'échantillonnage peut aller jusqu'à 860 Hz. Il comporte un amplificateur à gain programmable (PGA) et un multiplexeur permettant de faire des mesures sur 4 voies simples ou sur 2 voies en mode différentiel. L'interface numérique est I2C. Ce convertisseur est intéressant pour les mesures physiques nécessitant une grande précision de numérisation (16 bits) ou un fort gain d'amplification (jusqu'à 24).[14]

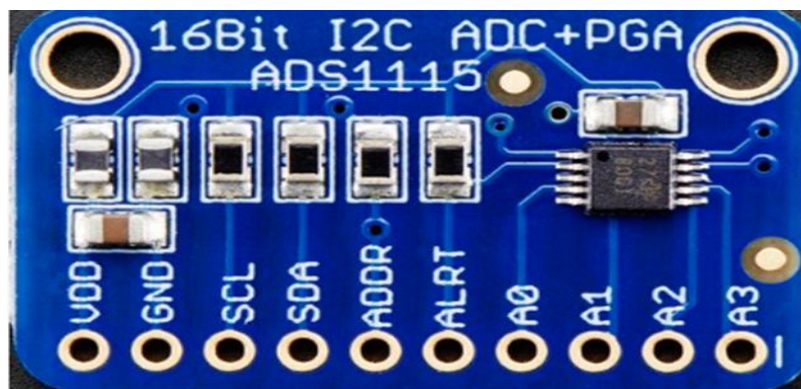
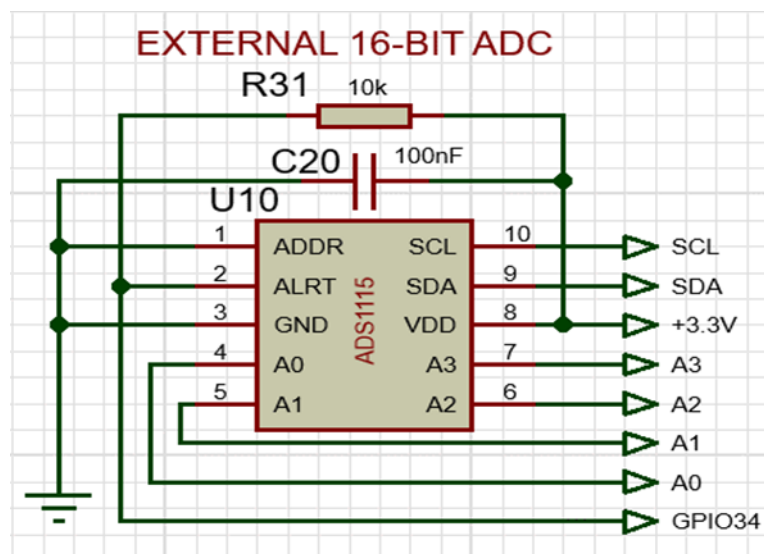


Figure VI.15 Convertisseur analogique-numérique 16 bits I2C

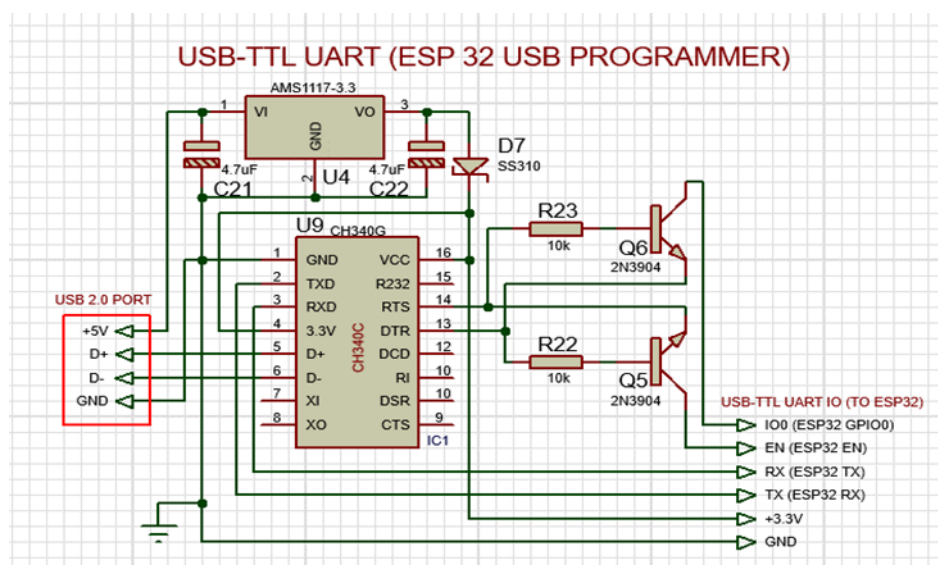


**Figure VI.16 : schéma proteus de convertisseur ADC 16 bits I2C**

- U<sub>10</sub> est un ADC 16 bits ADS1115 est alimenté par la carte ESP32
- C<sub>20</sub> est un condensateur de dérivation standard pour réduire le bruit de ligne à U<sub>10</sub>
- R<sub>31</sub> est une résistance de rappel pour la broche d'alerte d'U<sub>10</sub>. La broche d'alerte est un comparateur programmable que j'envisage à utiliser à l'avenir dans une mise à jour du micro logiciel, à partir du moment où il n'est pas utilisé.
- A<sub>0</sub>-A<sub>3</sub> sont les entrées analogiques du CAN externe U<sub>10</sub>.
- U<sub>10</sub> a une référence de tension définie (V<sub>ref</sub>) équivalente à 2,048 V, elle a été réglée universellement pour s'adapter à l'analogique de U<sub>1</sub> plage de sortie (capteur de courant ACS712-30A).
- U<sub>10</sub> est une ADC externe très stable, précis et précis qui donne des valeurs de capteur plus propres par rapport à en utilisant l'ADC interne d'un MCU. [13]

## VI.2.12 UART USB-TTL CH340 :

CH340 est une puce de conversion de bus USB et peut réaliser une conversion USB en interface série, une conversion USB en Conversion infrarouge IrDA ou USB en interface d'imprimante. En mode d'interface série, CH340 fournit un signal de liaison MODEM commun, utilisé pour agrandir Interface série asynchrone de l'ordinateur ou mise à niveau directe du périphérique série commun vers le bus USB.

**Figure VI.17 schéma proteus de UART USB-TTL CH340**

- U<sub>9</sub> est une puce UART USB-TTL CH340C pour la communication série USB et la programmation de l'ESP32 via USB.
- U<sub>4</sub> est un régulateur 3,3 V pour l'entrée 5 V du port USB. Ceci est nécessaire car notre ESP32 utilise une logique 3.3V.
- C<sub>21</sub> et C<sub>22</sub> sont des résistances de masse standard pour le régulateur U<sub>4</sub>.
- D<sub>7</sub> est une diode Schottky avec un faible Vf pour empêcher le courant de remorquage vers le port USB lorsque le système est alimenté par des panneaux solaires ou des batteries. 1N4007 peut être utilisé comme alternative.

## **VI.3 La Partie commande**

### **VI.3.1 la carte ESP32 :**

ESP32-WROOM-32 est un module MCU Wi-Fi + BT + BLE puissant et générique qui cible une grande variété d'applications, allant des réseaux de capteurs à faible consommation aux tâches les plus exigeantes, telles que l'encodage de la voix, streaming de musique et décodage MP3. Au cœur de ce module se trouve la puce ESP32-D0WDQ6\*. La puce intégrée est conçue pour être évolutive et adaptatif. Il y a deux cœurs de processeur qui peuvent être contrôlés individuellement et la fréquence d'horloge du processeur est réglable de 80 MHz à 240 MHz. La puce dispose également d'un coprocesseur basse consommation qui peut être utilisé à la place du CPU pour économiser de l'énergie tout en effectuant des tâches qui ne nécessitent pas beaucoup de puissance de calcul, telles que la surveillance de périphériques. ESP32 intègre un riche ensemble de périphériques, allant des capteurs tactiles capacitifs, des capteurs Hall, SD interface de carte, Ethernet, SPI haut débit, UART, I2S et I2C.

L'intégration de Bluetooth®, Bluetooth LE et Wi-Fi permet de cibler un large éventail d'applications, et que le module est polyvalent : l'utilisation du Wi-Fi permet une large portée physique et une connexion directe à Internet via un routeur Wi-Fi, tout en utilisant Bluetooth permet à l'utilisateur de se connecter facilement au téléphone ou de diffuser balises à basse énergie pour sa détection. Le courant de veille de la puce ESP32 est inférieur à 5  $\mu$ A, ce qui la rend adaptée à applications électroniques alimentées par batterie et portables. Le module prend en charge un débit de données allant jusqu'à 150 Mbps, et une puissance de sortie de 20 dBm au niveau de l'antenne pour assurer la plage physique la plus large. En tant que tel, le module offre spécifications de pointe et les meilleures performances pour l'intégration électronique, la portée, la consommation d'énergie, et connectivité.

Le système d'exploitation choisi pour ESP32 est freeRTOS avec LwIP ; TLS 1.2 avec accélération matérielle est intégré en tant que Bien. La mise à niveau sécurisée (cryptée) par liaison radio (OTA) est également prise en charge, afin que les utilisateurs puissent mettre à niveau leurs produits même après leur libération, à moindre coût et effort.



**Figure VI.18** carte ESP32-S , 38 pins

VL3.1.1 Définitions des broches :

VL3.1.1.1 Disposition des broches :

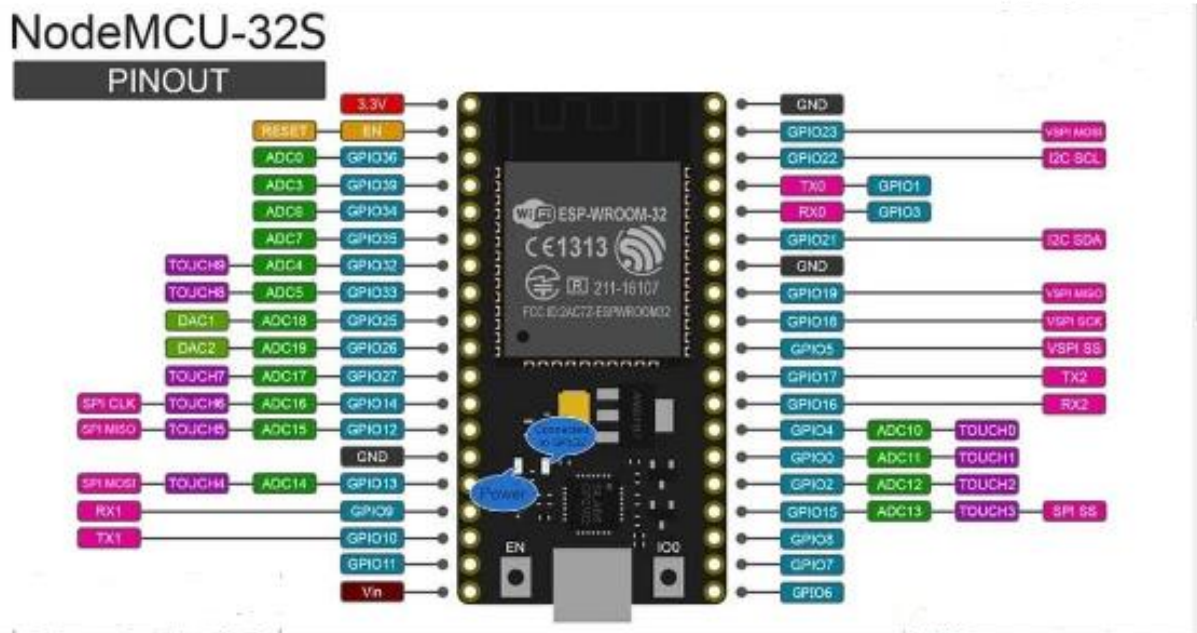


Figure IV.19 ESP32-WROOM-32 Disposition des broches.

VL3.1.1.2 Broche Description :

Tableau IV.2 : Définitions des broches de l'ESP32

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9

IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK

IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

### VI.3.1.2 les spécifications :

Tableau IV.3 : Spécifications ESP32

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
	Wi-Fi certification	Wi-Fi Alliance
	Bluetooth certification	BQB
	Green certification	RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
		A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 $\mu$ s guard interval support
	Frequency range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity

		Class-1, class-2 and class-3 transmitter
		AFH
	Audio	CVSD and SBC
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI®, compatible with ISO11898-1)
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating temperature range	-40 °C ~ +85 °C
	Package size	(18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm
	Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3

### VL3.1.3 Schémas périphériques :

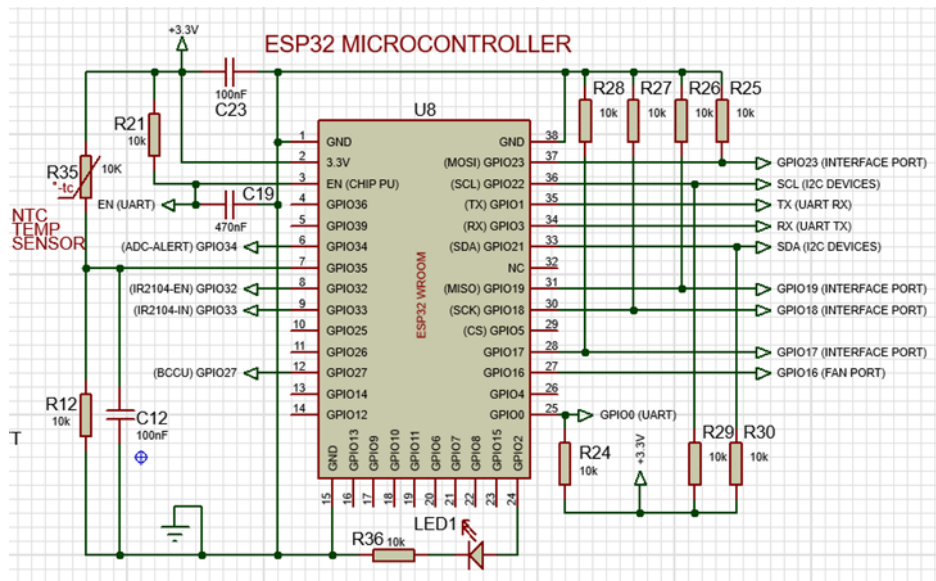


Figure IV.20 : ESP32 Schémas périphériques

- U<sub>8</sub> est l'ESP32 agissant le microcontrôleur pour le système.
- R<sub>25</sub>-R<sub>28</sub> sont des résistances pull-down pour les boutons pour empêcher les broches de flotter.
- R<sub>29</sub> et R<sub>30</sub> sont des résistances pull-up pour le port I2C.
- C<sub>19</sub> est une solution de condensateur au tristement célèbre problème de programmation automatique dans la programmation ESP32.
- C<sub>23</sub> est un simple condensateur de dérivation pour réduire les ondulations sur la ligne 3,3 V de l'ESP32.
- R<sub>21</sub> & R<sub>24</sub> est une résistance pull-up pour la broche EN de l'ESP32 (essentiel également pour l'UART).
- LED1 et R<sub>36</sub> est un simple indicateur LED connecté à la broche d'indicateur LED par défaut de l'ESP32. [13]

### Vl3.2 Logiciel IDE de l'Arduino :

L'Arduino IDE (Intégrates Développment Environnent) aussi connu sous le nom d'environnement de développement intégré, c'est un logiciel de programmation électronique multiplateforme que vous pouvez télécharger gratuitement pour Windows, Mac et Linux. Le logiciel a été pensé pour être facile d'utilisation y compris pour les débutants en programmation électronique. Notez que l'interface du logiciel est disponible en français et Anglais.

L'interface d'Arduino est très simple. Il s'agit d'une petite fenêtre graphique qui présente en haut un menu principal et au centre un éditeur de texte qui permet d'écrire en langage de programmation. Le langage utilisé pour programmer les cartes Arduino est le C++. Depuis l'éditeur de texte, vous pouvez donc saisir votre programme informatique. Vous pouvez également l'enregistrer, le vérifier, le compiler et même vous servir du logiciel pour le transférer sur votre matériel Arduino (connecté à votre ordinateur via un câble USB). Avec le matériel et la programmation fournis par Arduino, vous pouvez créer de nombreux objets du quotidien comme une station météo, un détecteur de position du soleil (pour panneaux solaires), un système de sécurité, etc. Vous pouvez également vous lancer dans la robotique (petits robots), la création de drones, l'automatisation de divers objets, etc... [10]

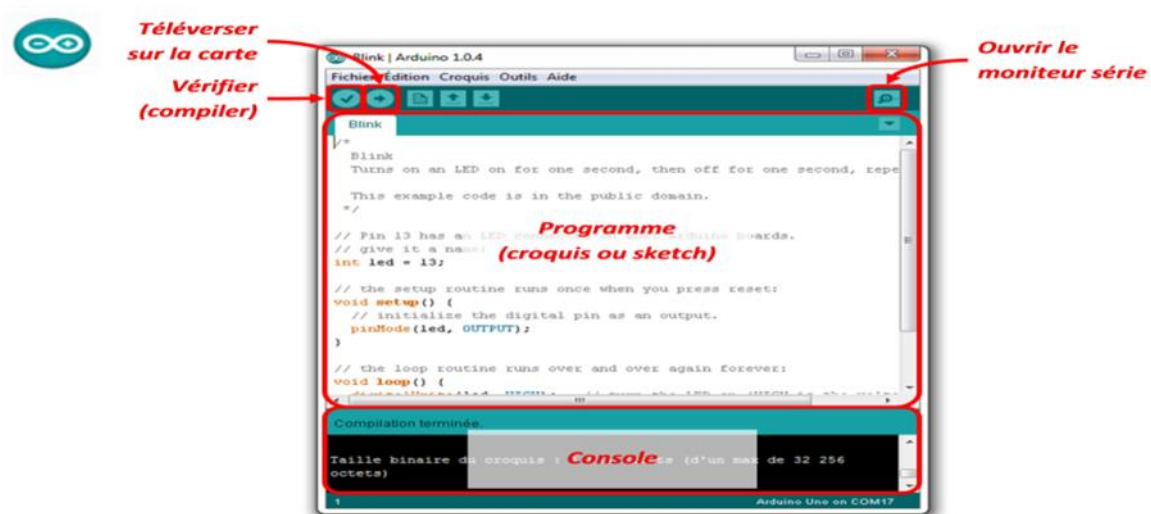
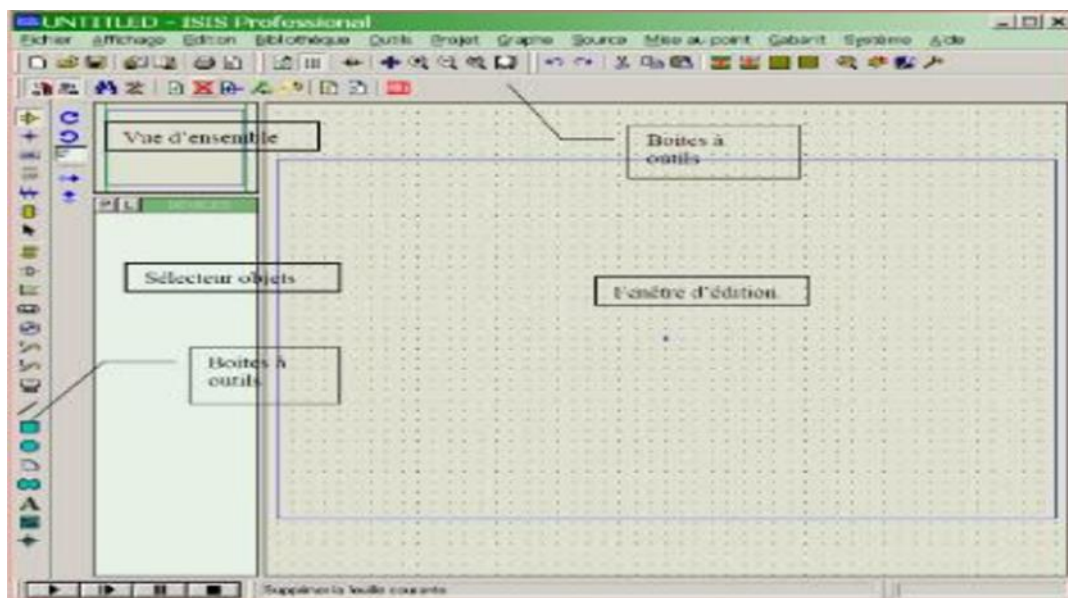


Figure VI.21 : Logiciel IDE de l'Arduino

### Vl3.3 Présentation du logiciel PROTEUS :

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS, ARES, PROSPICE et VSM. [15]

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Et Par permet également de simuler ces schémas ce qui permet de détecter certaines erreurs lors de l'étape de conception.[19]



**Figure VI.22 : exemple sur Le logiciel ISIS de Proteus**

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complètement parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement. [19]

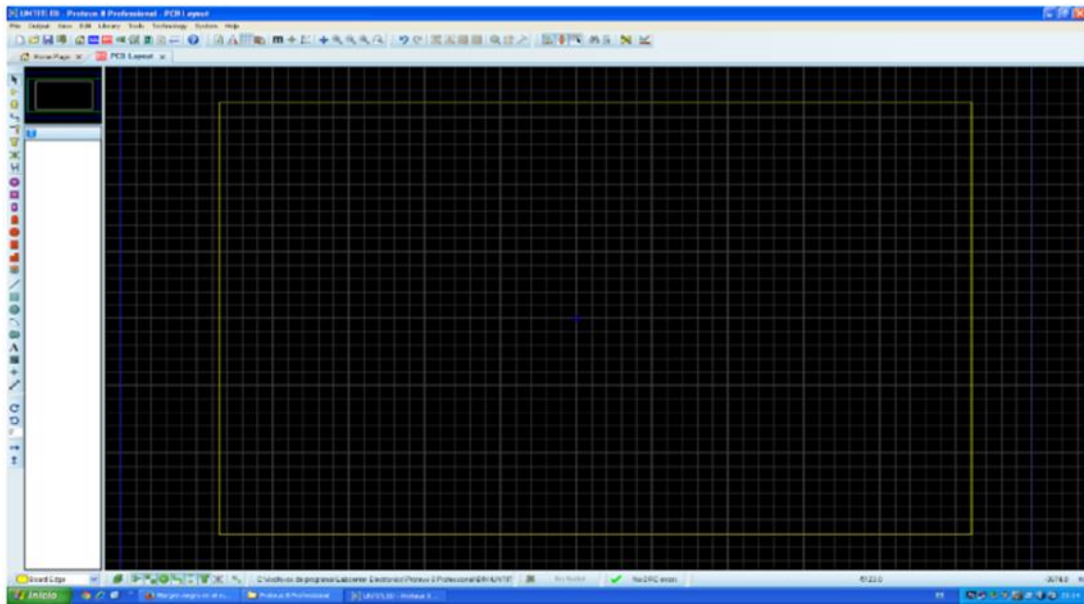


Figure VI.23 : exemple sur Le logiciel ARES de Proteus

**VL3.4 Schéma général de notre prototype :**

Le montage de notre projet avec ses différents blocs sous PROTEUS est illustré dans la figure (VI.20).

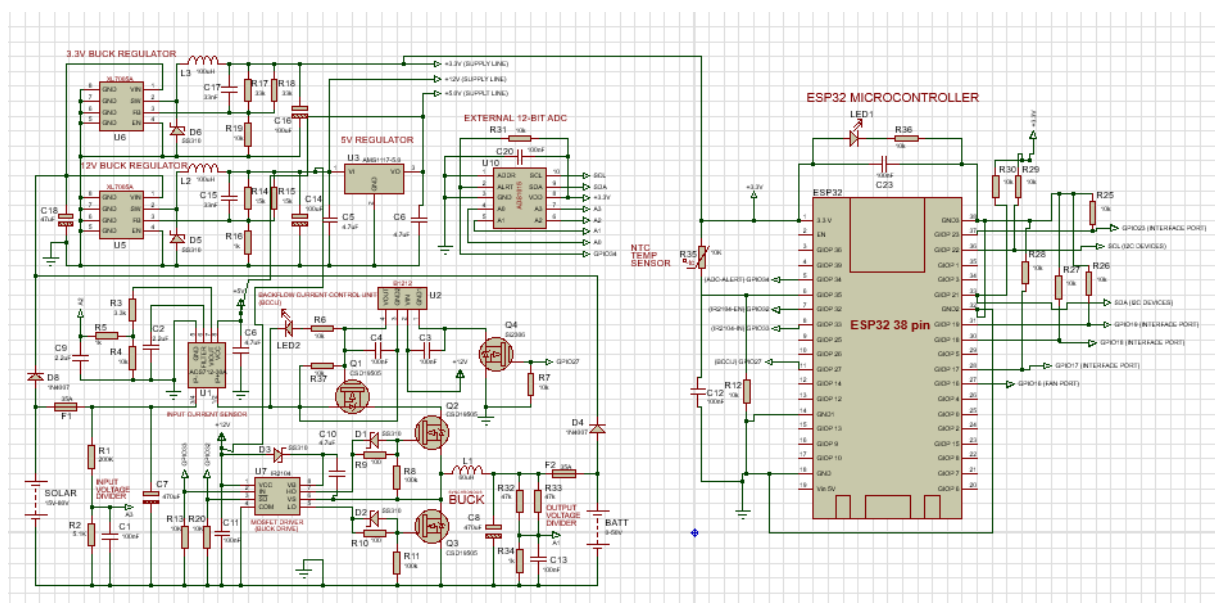


Figure VI.24 : Schéma général sous Proteus- ISIS

**VL3.5 Présentation du matériel de l'écran LCD I2C :**

Il s'agit d'un écran LCD 16X2 d'un convertisseur I2C qui permet la connexion à ESP32. Il se compose de deux parties : un écran LCD “classique” et au dos un module d’interface I2C.



Figure VI.25 : Structure d'un écran LCD-(16\*2) avec I2C.

### VL3.5.1 LCD 16X2 :

Un Afficheurs LCD (Liquide Crystal Display) est un module d'affichage électronique et a un large éventail d'applications. [17]

Dans un module LCD 16×2, il y a deux rangées d'affichage et dans une rangée seize caractères peuvent être affichés et dans un affichage trente-deux caractères peuvent être affichés. Ce module à cristaux liquides utilise l'interface parallèle HDD44780 (C'est un contrôleur utilisé pour afficher des affichages de texte monochrome).

### VL3.5.2 le module PCF8574 i2c :

Le module PCF8574 peut être utilisé pour étendre les E/S numériques d'un MCU en utilisant le bus I2C, Le dispositif dispos d'un port d'E/S quasi-bidirectionnel de 8 bits (P0-P7). [18]

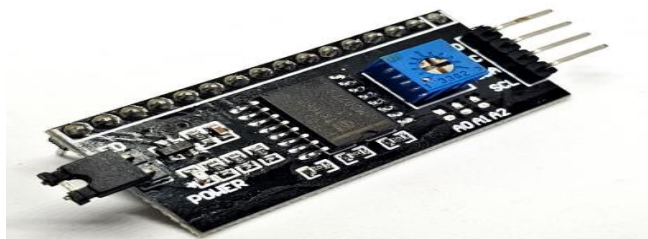
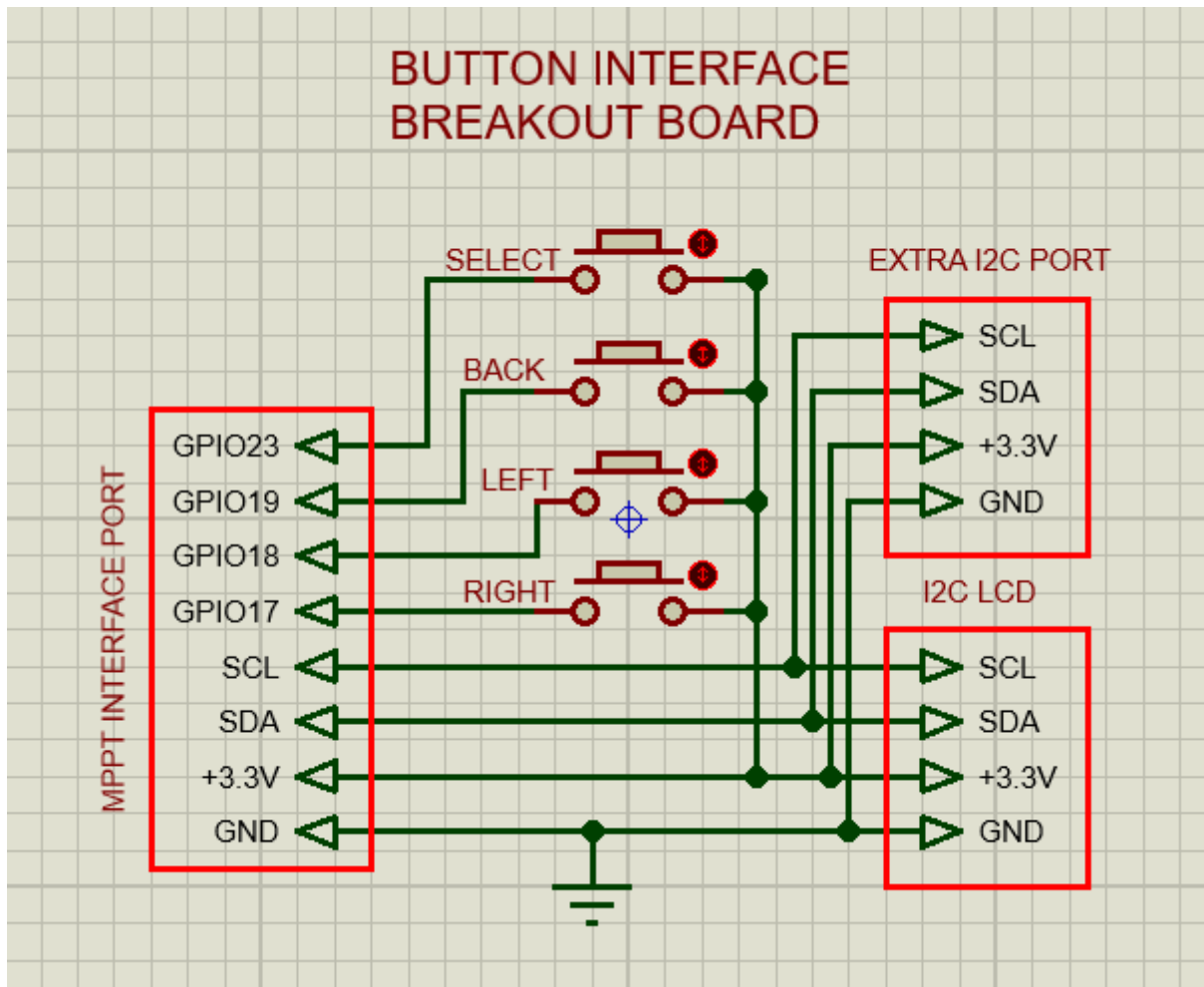


Figure VI.26 : Convertisseur i2c

### VL3.6 Ajout des boutons et de l'écran LCD :

Pour l'écran LCD J'ai choisi un écran LCD 16x2 caractères compatible Arduino avec un pilote de sac à dos I2C. J'ai aussi construit une simple carte de dérivation pour les boutons tactiles qui agit également comme un extenseur de port I2C. Connectez les quatre fils LCD à l'un des ports d'extension I2C de la carte de dérivation des boutons. Ensuite, connectez 8 fils de la carte de

dérivation de bouton au port d'interface de la carte MPPT principale voir la figure ci-dessous (V.2).



FigureVI.27 : carte d'interface de bouton

## **VI.4. Système de supervision :**

### **VI.4.1 la technologie IOT :**

#### **VI.4.1.1. Définition d'IOT (internet of things) :**

C'est la connexion entre Internet et les objets physiques, les lieux et les environnements. Le nom fait référence au nombre croissant d'objets connectés à Internet, permettant la communication entre les biens dits physiques et leur présence numérique. Ces formes de connectivité permettent la collecte de nouvelles et grandes quantités de données à partir du réseau, combinant ainsi de nouvelles connaissances et formes de connaissances.

#### **VI.4.1.2. IOT Builder :**

IoT (Internet of Things) Builder est le premier produit au monde à fournir un flux de travail complet pour la conception d'appareils IoT sur du matériel Arduino ou Raspberry Pi. Il peut être ajouté à Visual Designer pour les produits Arduino ou Visual Designer pour les produits Raspberry Pi. Il prend en charge la création à distance d'interfaces utilisateur pour les produits de conception intégrés. Le flux de travail est flexible et intuitif. Ajoutez d'abord des blindages électroniques, des capteurs et des cartes de distribution à la bibliothèque de périphériques, puis concevez le matériel conformément au schéma. Utilisez ensuite la bibliothèque de commandes pour créer des façades, ajouter et placer des boutons, des boutons, des graphiques et bien plus encore. Dans l'éditeur IoT Builder. Enfin, connectez l'interface utilisateur à l'électronique à l'aide d'un schéma fonctionnel de Visual Designer ou d'un code C (Arduino) / Python (Raspberry Pi).

## **VI.5. Application de télémétrie Wi-Fi :**

Le projet dispose d'une télémétrie Wi-Fi et d'une application téléphonique gratuite d'enregistrement de données basée sur un serveur. L'application téléphonique du MPPT est basée sur le Plateforme Blynk Legacy. Il est disponible à la fois sur Android et iOS. [13]

### **VI.5.1.application Blynk :**

Blynk est une société de logiciels qui fournit une infrastructure pour l'Internet des objets. En 2014, Blynk a lancé l'approche sans code de la création d'applications IoT et a acquis une popularité mondiale pour son éditeur d'applications mobiles. [20]

### VI.5.2. Caractéristiques de l'application MPPT Blynk : [13]

L'application Blynk a plusieurs caractéristiques tels que :

- Affiche un flux en direct de l'énergie récoltée à partir des panneaux solaires
- Affiche la puissance du panneau solaire (watts)
- Affiche les tensions et les courants des panneaux solaires.
- Affiche la charge de la batterie en %
- Affiche la tension et le courant de charge de la batterie
- Affiche l'énergie récoltée en kWh
- Affiche l'énergie économisée en devise (USD, Euro, Peso & etc....)
- Affiche les temps
- Trois graphiques différents en temps réel de toutes les données affichées.



**Figure VI.28** :L'application Blynk

**VI.6. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons montré les différentes parties qui composent notre prototype. La simulation sous PROTEUS est importante pour nous car c'est un bon choix pour l'optimisation des pistes du PCB mais d'après l'avis de notre encadrant le logiciel ALTIUM DESIGNER est beaucoup plus performant et flexible dans la conception du PCB.

*CHAPITRE V : Résultats de la  
réalisation du régulateur De charge  
MPPT*

## V.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera la réalisation de notre régulateur de charge solaire MPPT

La réalisation de notre régulateur solaire a été effectuée au laboratoire de faculté des sciences et des technologies « FABLAB ». Nous avons procédé en deux étapes. La première est la réalisation du circuit imprimé, l'implantation des composants, et la programmation de l'ESP32. La seconde est l'impression 3D et le montage du boîtier.

## V.2 Le typon :

Nous avons utilisé le logiciel ARESS pour imprimé le PCB, après avoir configuré les paramètres correspondants, nous avons imprimé la face avant de notre circuit PCB en miroir afin qu'il sera transféré correctement, Le résultat est illustré dans la figure ci-dessous.

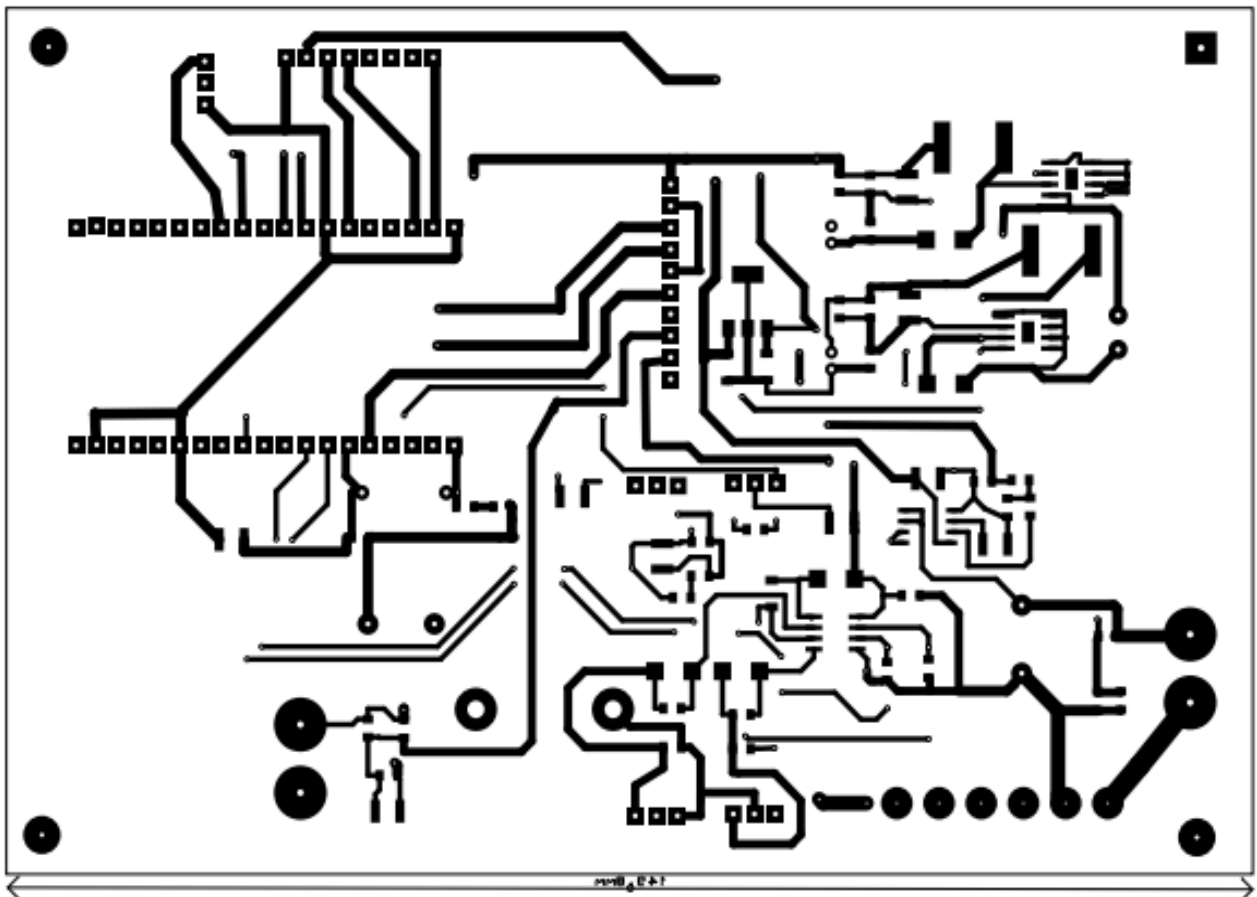
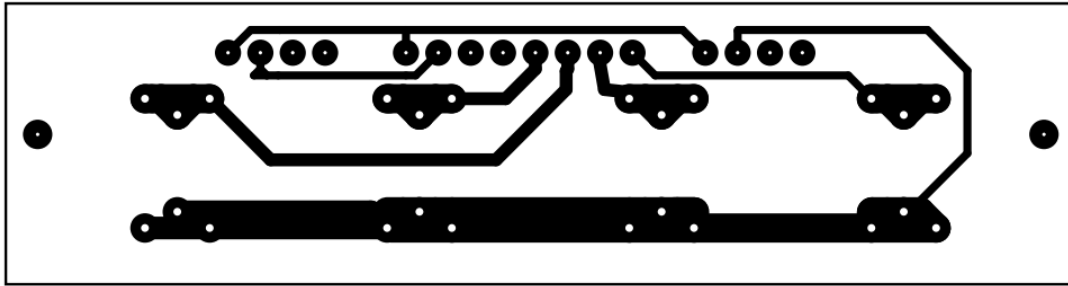


Figure V.1 typon de la carte électronique



**Figure V.2 :** typon carte d'interface de bouton

On notera qu'on a trouvé des difficultés dans l'impression double face du PCB à cause de la précision d'ajustement en face à face des deux circuits complémentaires. Pour cela on a effectué l'impression de seulement la face avant du PCB et la face arrière on a fait des ponts avec des fils, ce qui nous a retardés considérablement et nous a causé beaucoup de problème dans la partie soudure et essais des composants.

### **V.3 Transfert de la chaleur :**

C'est une étape très importante dans le processus de la fabrication des circuits imprimés. Cela devrait vérifier les points suivants :

- Le bon plaquage du typon sur la face sensible du circuit.
- Le sens de l'image.
- Nous avons utilisé le fer à repasser pour nous aider à transférer le schéma sur la plaque de cuivre.



Figure V.3 : transfert de la chaleur par fer à repasser

## V.4 La gravure :

Cette étape consiste à immerger la plaquette solarisée dans un bain à haute teneur en chlorure ferrique Pour enlever le cuivre non protégé par de la résine. Une fois la gravure terminée, le circuit Rincez les impressions à grande eau. Une fois le circuit sec, vérifiez que tout le cuivre à Éliminer et vérifier la continuité de la piste et court-circuiter avec un testeur voire la figure ci-dessous ( V.4).



Figure V.4 : utilisation du chlorure de fer pour la fabrication du PCB

## V.5 Le perçage :

On fixe la plaquette sur une planche en bois afin d'éviter tous mouvement de cette dernière pendant le perçage, et pour le diamètre des trous un foret de 0,8mm pour tout le pastis voir la figure ci-dessous (V.5).

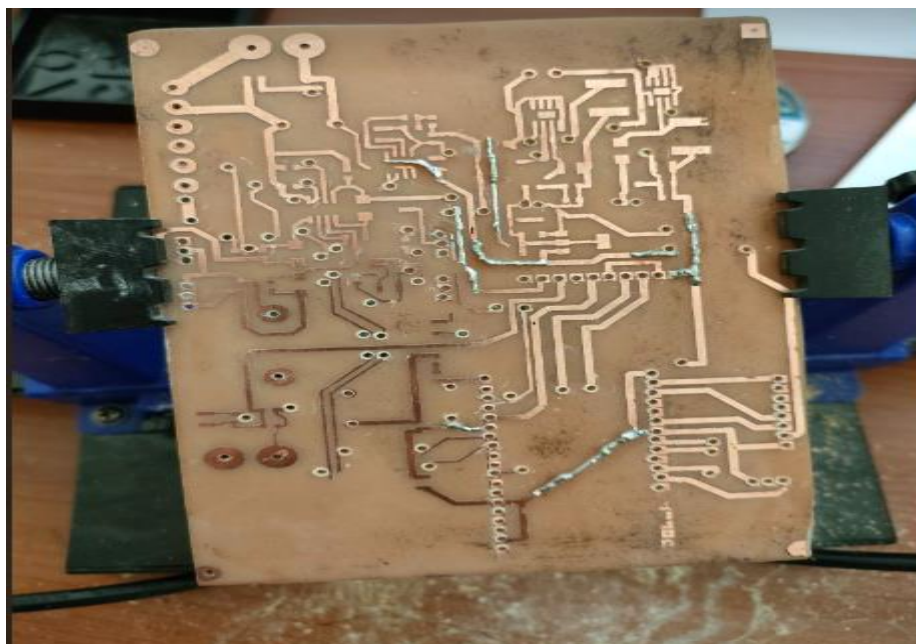


Figure V.5 : le perçage de la carte PCB

## V.6 La partie réalisation pratique :

Pendant la réalisation pratiques, nous avons pris ces photos de test ESP32 avec l'afficheur LCD, qui montrant les résultats obtenus.

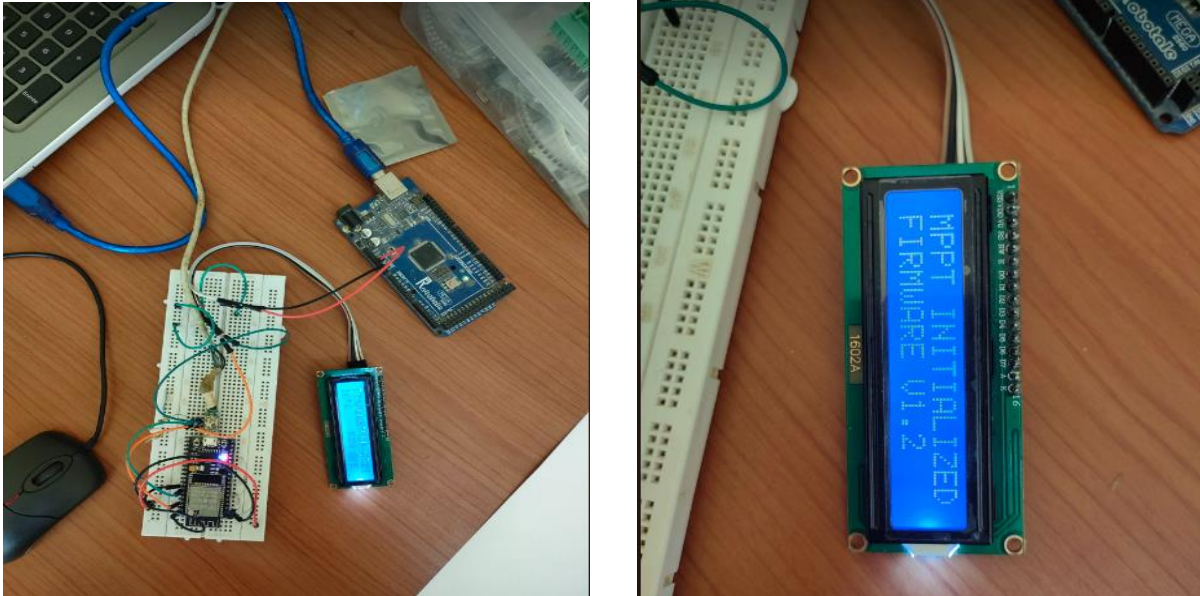


Figure V.6 : photo de notre projet sur plaque d'essai

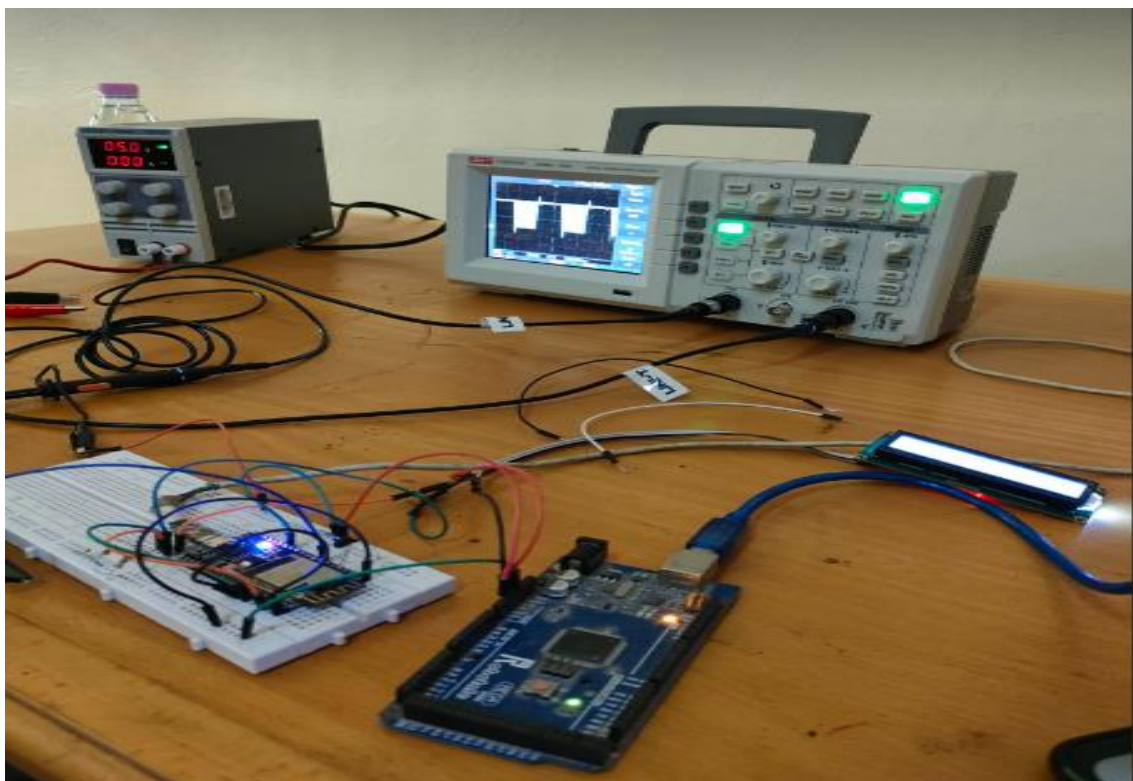


Figure V.7 : Une autre photo de notre projet



Figure V.8 : Photo de la carte sous test d'alimentation.

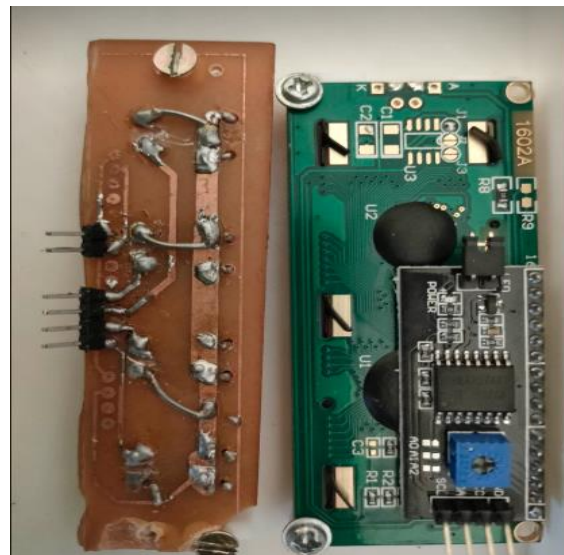


Figure V.9 : carte d'interface de bouton.



FigureV.10 : test de LCD i2c avec circuit imprimé

## V.7. Réalisation du boîtier :

la réalisation de cette dernière se fait en 2 étapes : on trace schéma nécessaire à travers logiciel. après on imprime notre boîtier

- A travers logiciel « SOLIDWORKS » nous avons conçu le modèle 3D suivant :

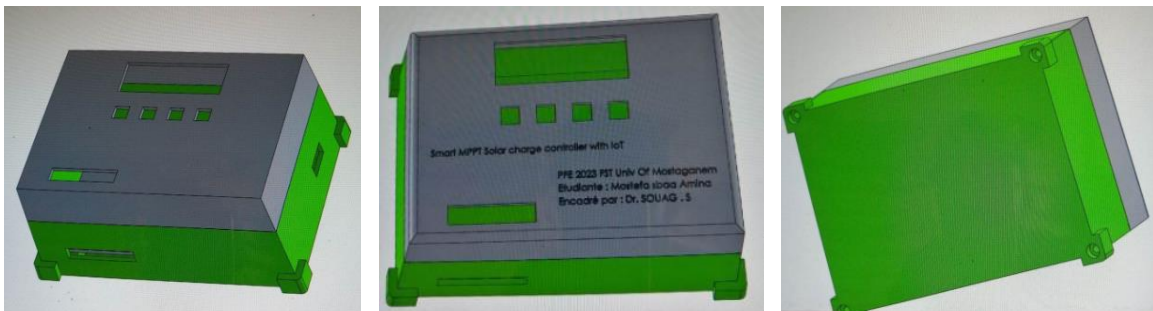


Figure V.11 : schéma du boîtier sous « SOLIDWORKS »

Après la finition du modèle 3D sur logiciel « SOLDWORKS » on enregistre le modèle sous format .STL et on lance l'impression sur l'imprimante en 3D voir figure suivante (V.12)

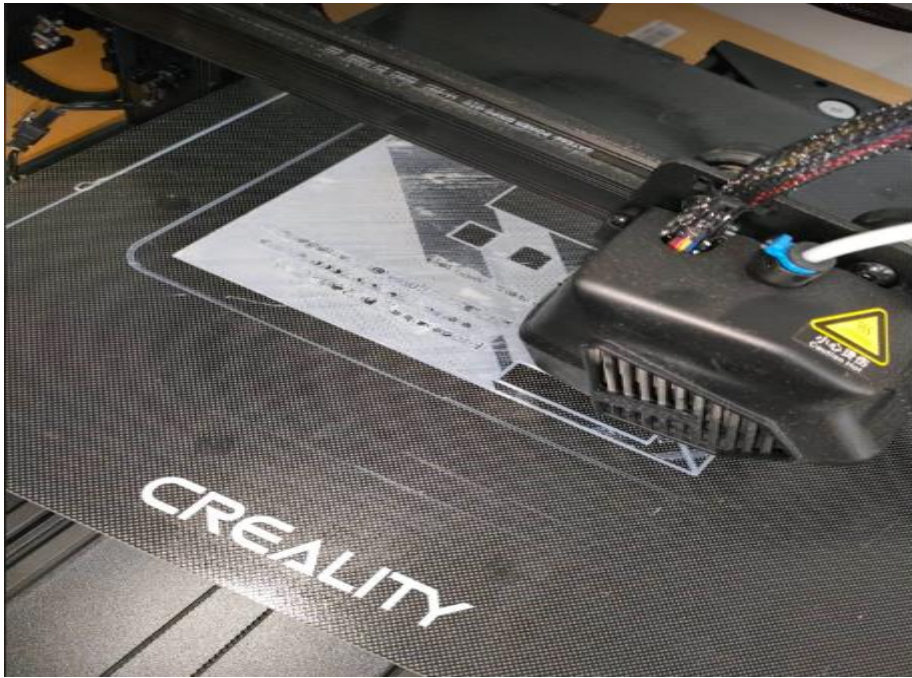


Figure V.12 : L'impression du boîtier à travers imprimante 3D



Figure V.12 : L'impression du boîtier à travers imprimante 3D

## V.8. Conclusion :

Notre régulateur de charge MPPT a bien fonctionné dans la partie commande surtout du côté esp32, affichage LCD et alimentation nous avons eu les différentes tensions correctement, sauf que la partie puissance nous avons trouvé des problèmes de fuite due à l'imperfection du circuit imprimé pour cela on conseil de fabriqué le PCB d'une façon professionnel pour dépasser ces faut problèmes et ce concentré sur le principale de notre travail.

## *Conclusion générale*

L'objectif principal de notre mémoire de fin d'études est la conception et simulation avec une réalisation pratique d'un régulateur de charge MPPT solaire qui intègre la technologie IOT et qui permet de transmettre l'état de fonctionnement du système d'énergie solaire photovoltaïque en temps réel et aussi on peut contrôler à distance à l'aide d'une connexion wifi.

Ce contrôleur MPPT est basé sur un circuit convertisseur Buck synchrone, le dimensionnement des différents composants constituant le circuit de puissance et les différents choix comme la fréquence du signal de travail, les caractéristiques des panneaux utilisés, les capteurs de tension et de courant, le type de batterie à utiliser et les mesures de protection à respecter, nous avons pu mener à terme ces opérations avec succès.

La carte utilisée par notre chargeur a été simulée sous PROTEUS et leurs circuits imprimés sous ARES.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le régulateur envisagé est bien adapté pour le contrôle de la charge de notre batterie, et la protéger contre toute charge et décharge excessive, en assurant une meilleure autonomie au système photovoltaïque et une longue vie à notre batterie. Et aussi on peut commander ce dernier à travers une carte électronique qui nous permet un contrôle à distance à l'aide d'une connexion wifi.

# Bibliographies

- [1] C.A. Osaretin and F.O. Edeko, « Design and implementation of a solar charge controller with variable output output,» Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol.12, no 2, pp. 41-43, January 2016. »
- [2] BRAHIMI Rania et BOUCHENIRE Yasmina «Etude et réalisation d'un régulateur de charge solaire» Mémoire Master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj2021
- [3] Salim ABOUDA « CONTRIBUTION A LA COMMANDE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES : APPLICATION AUX SYSTEMES DE POMPAGE » Docteur en co-tutelle de l'Université de Reims Champagne-Ardenne et de l'Université de Sfax 2015
- [4] NASRI SABRINE et BEN HAMIDA OUISSEM « ETUDE ET SIMULATION D'UN HACHEUR (BUCK-BOOST) » PROJET FIN D'ETUDE LICENCE Université BADJI MOKHTAR Annaba- 2021
- [5] Mimou Azzoug Chapitre II « Dimensionnement et conception des hacheurs Buck-Boost & Çuk »
- [6] M.N.Mchalikh et CH.Hmada, « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau », Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [7] BABACI Hanane et BENKHEDDA Issaad «Une étude comparative entre les différents MPPT's photovoltaïques UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU 2018
- [8] DEKKICHE ABDELILLAH « modèle de batterie générique et estimation de l'état de charge » MONTREAL, LE 2 MAI 2008
- [9] Edis Osmanbasic « Battery Management Systems–Part 3: Battery Charging Methods »
- [10] <https://www.futura-sciences.com/tech/telecharger/arduino-234>
- [11] MAMMAR Derar et Bouras Mohamed «Simulation et réalisation d'un contrôleur de charge solaire basé sur arduino » Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib 2022
- [12] international IOR rectifier «IR2104(S) & PbF » datasheet No.PD60046-S
- [13] ASCAS « 1kW Arduino MPPT Solar Charge Controller (ESP32+wifi) » AUTODESK instructables
- [14] <https://www.flegrand.fr/scidoc/docmml/sciphys/arduino/ads1115/ads1115.html>
- [15] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>
- [16] [https://fr.m.wikiversity.org/wiki/Transistor/Transistor\\_MOSFET](https://fr.m.wikiversity.org/wiki/Transistor/Transistor_MOSFET)
- [17] <https://plaisirarduino.fr/afficheur-lcd-comment-lexploiter/>
- [18] <https://passionelectronique.fr/tutorial-pcf8574/>
- [19] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>
- [20] <https://blynk.io/about>