

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté De Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

Mémoire de Master

Présenté par

HALOUANE Chaker

HAMAIZI Chouaib

Filière : Electronique

Spécialité : Electronique des Systèmes Embarqués

**Thème : Conception et réalisation d'un
régulateur solaire de charge/décharge**

Soutenu le 22 / 09 /2022 devant le jury composé de:

MESSAOUDI	Noureddine	MCA	UMBB	Président
HARRAR	Khaled	MCA	UMBB	Encadrant
AKLIOUAT	Hacene	MAA	UMBB	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Sommaire

Présentation de l'entreprise	1
1. Mission Principale	1
2. Les activités de L'E.NA.GEO	1
2.1. La sismique	2
2.1.1. Sismique réflexion.....	2
2.1.2. Sismique de puits.....	2
2.2. Géophysique	2
2.3. Topographie	2
2.4. Forage	3
2.5. Géotechnique	3
2.6. Gravimétrie et magnétométrie	3
2.7. Traitement et interprétation des données géophysiques :	4
2.8. Le plan du Département Technique.....	4
Introduction générale	5
Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques	7
I.1 Introduction	8
I.2 Energie Solaire.....	8
I.3 Effet Photovoltaïque.....	9
I.4 Différents éléments d'un système photovoltaïque	9
I.5 Types d'installations des systèmes photovoltaïques	10
I.5.1 Systèmes isolés et autonomes.....	10
I.5.2 Systèmes connectés directement au réseau	11
I.5.3 Systèmes hybrides	12
I.6 Le Générateur photovoltaïque (PV).....	13
I.6.1 Module photovoltaïque.....	13

I.6.1.1	Composition d'un module solaire photovoltaïque	14
I.6.1.2	Caractéristiques d'un module solaire photovoltaïque.....	16
I.6.2	Cellule photovoltaïque	16
I.6.2.1	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	17
I.6.2.2	Association des cellules photovoltaïques.....	18
I.6.2.3	Filières technologiques d'une cellule photovoltaïque	21
I.6.2.4	Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	24
I.6.2.5	Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	26
I.6.2.6	Paramètres de la cellule photovoltaïque	28
I.6.3	Effet de température Sur la Caractéristique I-V.....	32
I.7	Les avantages et les inconvénients d'une installation photovoltaïque.....	32
I.7.1	Avantage.....	32
I.7.2	Inconvénients.....	33
I.8	Conclusion.....	33
Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs.....		34
II.1	Introduction	35
II.2	Stockage de l'énergie	35
II.3	Les batteries.....	36
II.3.1	Principe du couplage photo- générateur batterie.....	36
II.3.2	Montage de plusieurs accumulateurs sur le même système.....	37
II.3.3	Les différentes Caractéristiques principales d'une batterie	37
II.3.3.1	Rapports de chargement et déchargement.....	37
II.3.3.2	L'espérance de vie d'une batterie solaire	37
II.3.3.3	Capacité de la batterie.....	38
II.3.3.4	Etat de charge de batterie.....	39
II.3.3.5	L'influence de la température sur la batterie	39
II.3.3.6	La profondeur de décharge (DOD) de la batterie solaire	39
II.3.3.7	Le rendement	39
II.3.3.8	Le taux d'autodécharge	39
II.3.3.9	L'énergie	40
II.3.3.10	L'état de santé (SOH).....	40

II.3.4 Le principe de fonctionnement d'une batterie	40
II.3.5 Choisir une batterie solaire	41
II.4 Technologies et Types d'accumulateurs	41
II.4.1 Les batteries solaires au plomb	42
II.4.1.1 La batterie «plomb ouvert».....	43
II.4.1.2 La batterie solaire AGM.....	43
II.4.1.3 La batterie solaire Gel.....	44
II.4.1.4 Composition d'une batterie solaire plomb- Acide	45
II.4.1.5 Principe de fonctionnement.....	47
II.4.1.6 Processus de décharge	47
II.4.1.7 Processus de charge	48
II.4.2 Les Accumulateurs au Nickel- cadmium	49
II.4.3 La batterie solaire maison lithium.....	49
II.4.4 La batterie virtuelle	51
II.5 Connexion d'une batterie	51
II.6 Sécurité et bon fonctionnement des batteries	53
II.7 Conclusion.....	53
Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge	54
III.1 Introduction.....	55
III.2 Un régulateur de charge	55
III.3 Schéma de base d'un régulateur de charge	56
III.4 Différents types de régulateurs	56
II.4.1 Régulateur de charge PWM	56
III.4.2 Régulateur de charge MPPT.....	57
III.5 Etapes de charge d'un contrôleur de charge.....	58
III.5.1 Etape de charge à courant constant (Bulk)	59
III.5.2 Etape de charge à tension constante (Absorption).....	59
III.5.3 Etape d'entretien (Float).....	59
III.6 Réalisation et Présentation des éléments électriques utilisés :.....	60

III.6.1 La carte ARDUINO UNO	60
III.6.2 Batterie a gel.....	61
III.6.3 Un panneau solaire	62
III.6.4 Capteur de courant alternative à effet de Hall ACS712	63
III.6.4.1 Caractéristiques techniques de Acs712	64
III.6.5 Mesure des tensions	65
III.6.6 Afficheur LCD de type 2×16	65
III.6.7 Le Relais de 12 volts.....	67
III.7 Simulation pratique :.....	69
III.7.1 Bloc d'alimentation	70
III.7.2 Bloc de régulation.....	70
III.7.3 Bloc de mesure	70
III.7.3.1 Résistance shunt	71
III.7.3.2 Diviseur de tension.....	71
III.7.4 Bloc d'affichage.....	71
III.7.5 Bloc de puissance	73
III.8 L'organigramme de technique de charge décharge	74
III.9 Langage de programmation	75
III.10 Présentation de l'organigramme.....	75
III.11 Présentation du programme	77
III.12 Réalisation de simulation	80
III.12.1 Modèle de la batterie utilisée	81
III.12.2 Schéma globale	81
III.13 Résultats de la simulation	82
III.14 Conclusion	87
Conclusion générale	88
Annexe	90
Bibliographies & Webographie	94
Résumé.....	97

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Tableau I.1: Les principales caractéristiques et performances des cellules photovoltaïques les plus importantes	23
Tableau I.2: les paramètres d'un panneau solaire utilisé	30

Chapitre II: Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

Tableau II.1 : les paramètres d'une batterie à gel.....	39
Tableau II.2: les paramètres d'une batterie à gel.....	40
Tableau II.3: les types de batteries idéales pour le solaire (récapitulatif)	51

Chapitre III: Conception et réalisation du régulateur de charge décharge

Tableau III.1 : Les éléments électriques utilisés	70
---	----

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Figure I.1 : Système photovoltaïque autonome

Figure I.2 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque.

Figure I.3 : Installation photovoltaïque autonome.

Figure I.4 : Installation raccordée au réseau photovoltaïque.

Figure I.5 : Installation photovoltaïque hybride.

Figure I.6 : Module photovoltaïque

Figure I.7 : Composition d'un module solaire photovoltaïque

Figure I.8 : (a) Schéma d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de la diode by-pass et mise

Figure I.9 : Constituants d'une cellule solaire.

Figure I.10 : Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque

Figure I.11 : Association de n_s cellules PV en série.

Figure I.12 : Caractéristique courant tension de n_s cellule en série.

Figure I.13 : Association de n_p cellules en parallèle.

Figure I.14 : Caractéristique courant tension de n_p cellule en parallèle

Figure I.15 : Association des cellules mixtes (série-parallèle).

Figure I.16 : Caractéristique d'un assemblage série/parallèle de n_s et n_p cellules

Figure I.17 : Cellule en silicium poly cristallin

Figure I.18 : Cellule silicium amorphe

Figure I.19: Schéma équivalent électrique de la cellule photovoltaïque réelle.

Figure I.20 : Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ pour ($G=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$) d'une Cellule.

Figure I.21 : Différentes zones de la caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque

Figure I.22 : Caractéristique courant - tension-puissance d'un module PV

Figure I.23 : Effet de l'ensoleillement sur la caractéristique du module I-V à $T=25^\circ\text{C}$

Figure I.24 : Effet de la température sur la caractéristique du module I-V à un ensoleillement

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'une batterie

Figure II.2 : Durée de vie et rendement des différentes technologies de batteries

Figure II.3 : Batterie Plomb ouvert

Figure II.4 : Batterie solaire AGM

Figure II.5 : Batterie solaire Gel

Figure II.6 : Construction d'une batterie monobloc

Figure II.7 : Allure de la décharge d'un élément d'une batterie au plomb

Figure II.8 : Allure de la charge d'un élément de batterie au plomb.

Figure II.9 : Accumulateur lithium

Figure II.10 : Stockage de batterie virtuelle

Figure II.11 : Connexion en parallèle

Figure II.12 : Connexion en série

Figure II.13 : Connexion en série/parallèle

Chapitre III : Conceptions et réalisation du régulateur de charge /décharge

Figure III.1 : Schéma de base d'un régulateur de charge.

Figure III.2 : Contrôleur de charge PWM

Figure III.3 : Contrôleur de charge MPPT

Figure III.4 : Relation entre le courant et la tension pendant les 3 phases du cycle de

Figure III.5 : Les différents pièces d'une carte ARDUINO UNO

Figure III.6 : Une batterie a gel

Figure III.7 : Un panneau solaire

Figure III.8 : Connections du capteur de courant alternatif à effet de Hall ACS712

Figure III.9 : Circuit de mesure des tensions.

Figure III.10 : Face avant d'afficheur LCD

Figure III.11 : Un relais électromécanique de 12 Volts

Figure III.12 : photo du système

Figure III.13 : Schéma synoptique du dispositif

Figure III.14 : Liaison commande affichage

Figure III.15: Organigramme de l'algorithme Charge/Décharge

Figure III.16: Organigramme du Charge/Décharge de batterie Plomb a gel

Figure III.17: Déclaration des bibliothèques, des variables ainsi que les constantes

Figure III.18: la fonction Initialisation « setup » et configuration des (entrées / sorties)

Figure III.19: Echantillon de la boucle principale

Figure III.20: Echantillon de la boucle principale « mode Charge »

Figure III.21: Echantillon du programme « mode Décharge »

Figure III.22: Modèle de batterie Plomb a gel sous ISIS Proteus

Figure III.23: Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

Figure III.24: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en le mode Charge

Figure III.25: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus entrain de charge

Figure III.26: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en fin de charge

Figure III.27: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en mode Décharge

Figure III.28: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus entrain de Décharge

Figure III.29: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en fin de Décharge

Figure III.30: Caractéristiques électriques de Charge/décharge (a) V_{batt} , (b) I_{ch}

Liste des abréviations

Liste des abréviations

DTP: Département géophysique de la Direction des travaux Pétroliers

V.S.P: profile sismique verticale

GPS: Global Positioning System

AC: Alternative Current

CC: continue current

AGM: Absorbed Glass Mat

AsGa: Gallium Arsenide (Arséniure de Gallium)

CAN: Convertisseur Analogique Numérique

CAO: Conception Assisté par Ordinateur

CaTe: Cadmium-Telluride (Tellurure de Cadmium)

CIS: Copper-Indium-Selenide (Diséléniure d'indium de cuivre)

DC: Direct Current

DOD: Depth Of Discharge (Profondeur de décharge)

EOL: End Of Life

ESL: L'inductance Equivalente Série

ESR: Résistance Equivalente Série

EVA: Ethylène-Acétate de Vinyle

FLA: Flooded Lead Acid

GPV: Générateur Photovoltaïque

IDE: Environnement de Développement Intégré

LER: Laboratoire des Energies Renouvelables

Li-ion: ions de Lithium

MCC: Mode de Conduction Continu

MLI: Modulation de Largeur d'Impulsion

(PWM): (Pulse Width Modulation)

MPPT: Maximum Power Point Tracking

Nb Cycles NIC: Nombre de cycle non connu

Ni-Ca: Nickel Cadmium

Mi-MH: Nickel Métal Hydrures

NREL: National Renewable Energy Laboratory

PPM: Point de la puissance maximale

PV: Photovoltaïque

Liste des abréviations

PWMH: High Pulse Width Modulation

PWML: Low Pulse Width Modulation

SOC: State Of Charge (état de charge)

SOH: State Of Health (état de santé)

USB: Universal Serial Bus

VRLA: Valve Regulated Lead Acid

V_{ch}: tension de charge

V_{dech}: tension de décharge

IPH: Indicateur de la pauvreté Humaine

LCD: Liquid Crystal Display

GND: ground

REMERCIEMENTS

*Tout d'abord, nous adressons en premier lieu notre reconnaissance à notre **ALLAH** tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Nous adressons un grand remerciement à notre promoteur **Monsieur HARRAR Khaled**, "nous avons eu l'honneur d'être parmi vos étudiants et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour nous un modèle. Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité notre admiration. Veuillez bien monsieur recevoir nos remerciements pour le grand honneur que vous nous avez fait en acceptant l'encadrement de ce travail".*

Nous remercions les responsables de l'ENAGEO de leur acceptation, disponibilité et accueil.

*Nous remercions aussi **Mr. MAKKEB YAZID** chef département de soutien technique, et **Mr. BENCHABANA CHOUAIB** chef département de Formation, et **Mr. KHALDI RABEH** chef de service, à l'ENAGEO, pour leur aide et encouragements.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos **professeurs** pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

*Nous exprimons nos profonds remerciements à nos **parents** qui nous ont enseigné la patience, la politesse, le sacrifice et qui ont toujours été là pour nous.*

*Nous sommes conscients de l'honneur que nous ont fait les **membres du jury Mr. MESSAOUDI NOUREDDINE** et **Mr. AKLIOUAT HACENE** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Nous n'oublions pas de dire un grand merci à toutes les personnes, tous les professionnels qui ont contribué de près et de loin à l'enrichissement de notre travail et à notre épanouissement intellectuel.

Dédicace

Tant de fois avons-nous pensé à vous offrir quelque chose en signe de reconnaissance pour tout ce que vous avez consenti rien que pour nous voir réussir, cette fois c'est l'occasion :

*A notre mère et notre père chéris que
Nous dédions ce travail. Nos frères, nos sœurs
et toute notre famille.*

*Tous nos amis et tous qui m'ont aidé de près ou
de loin.*

*Une dédicace spéciale pour l'équipe de centre
de formation et l'atelier d'électronique de
l'entreprise nationale de géophysique ou nous
avons fait notre stage.*

Présentation de l'entreprise



L'Entreprise Nationale de Géophysique a été créée en 1981 (décret 81-172 du 01.08.1981) à partir des structures appartenant à Sonatrach (l'ex société Algérienne de Géophysique ALGEO), qui était une société mixte entre les Algéo-Américains a été créée en 1967 appelée "DTP": Département géophysique de la Direction des travaux Pétroliers,

1. Mission Principale

L'entreprise nationale de géophysique (ENAGEO) est une société par action (S.P.A) au capital Social de 7.000.000.000 Dinars Algériens (DA), dont le siège est situé à Hessi-Massoud (Wilaya de Ouargla), elle a pour missions principales la prospection sismique (la recherche pétrolière), les études Géotechniques, la topographie et les forages hydrauliques, ainsi que le traitement des données sismiques.

2. Les activités de L'E.NA.GEO

L'ENAGEO exerce une activité de prospection géophysique, qui représente la première étape du processus industriel pétrolier, c'est le secteur de l'exploration comprenant la sismique, le forage les services en cours de forage représente un ensemble de compétences appelées

Presentation de l'entreprise

techniques 3G (géologie, géophysique, gisements). La stratégie de l'entreprise c'est la maintenir sa position de leader sur le marché national tout en perçant le marché international.

2.1. La sismique

C'est une méthode de prospection qui permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à analyse des échos d'ondes sismique. Il ne faut pas la confondre avec la sismologie, qui est l'étude des ondes sismique et des séismes.

2.1.1. Sismique réflexion

La méthode de la réflexion sismique est l'une des méthodes les plus développées en géophysique, du fait de son utilisation à grande échelle pour la prospection de pétrole et de gaz naturel. Cette méthode utilise des appareils et des paramètres très ajustent pour permettre une plus grande résolution et une meilleure précision a des profondeurs plus faibles que pour la recherche. Le principe consiste a créer une onde acoustique a la surface est d'en mesurer numériquement l'écho a partir d'une série de capteurs sismiques également placés en surface. Les réflexions détectées seront causées par des changements de densité et de vitesse de propagation des ondes dans le milieu étudié. Les ondes de ce type ne se propagent pas le long des interfaces; elles sont soit réfléchies, soit réfractées vers discontinuité suivante. La réflexion sismique est devenue une véritable radiographie du sous-sol.

2.1.2. Sismique de puits

Cette activité a été renforcée depuis quelques années par l'introduction du V.S.P. (profil sismique verticale), qui permet d'étudies la réponse sismique de formation géologique traversées par un puits.

2.2. Géophysique

La géophysique est une grande discipline des sciences de la terre, elle concerne l'étude des caractéristiques physiques de la terre, ou d'autres planètes, utilisant des techniques de mesures indirectes. La géophysique se propose à l'aide d'hypothèses géologiques, de valider un model mathématique...

2.3. Topographie

L'E.NA.GEO dispose d'un potentiel d'intervention très important composé de 25 brigades topographiques, dotées d'équipements performants tels que le positionnement globale par

Presentation de l'entreprise

satellite ou GPS et de moyens logistiques leurs assurant une autonomie totale. Les différentes applications assurées par l'étude topographique sont :

- Levés de profils et études pour l'ensemble des activités géophysiques.
- Implantation des forages pétroliers et hydrauliques.
- Reconnaissances et choix des pistes d'accès aux puits.
- Etudes de projets de pipe pétrolière.
- Réseaux de conduites d'adduction d'eau.
- Etudes de routes et levés de terrains.
- Infrastructures industrielles et résidentielles.

2.4. Forage

Un forage est un trou creusé dans la terre ; l'équipement du trou, tel les tubages, et de manière générale les moyens techniques permettant de creuser varient en fonction de son dimensionnement et de ses objectifs. On fore pour explorer et/ou exploiter le sous-sol, par exemple, des forages sont réalisés pour : trouver et exploiter des ressources naturelles enfouies (eau, pétrole, ressources minières).

2.5. Géotechnique

L'ENAGEO a la capacité d'effectuer des études géotechniques complètes dans le but de réaliser des projets tels que :

- Complexe industriels ou pétrochimiques.
- Routes, voies ferrées, aéroports.
- Barrages, installation portuaires.
- Unités économiques, etc.

2.6. Gravimétrie et magnétométrie

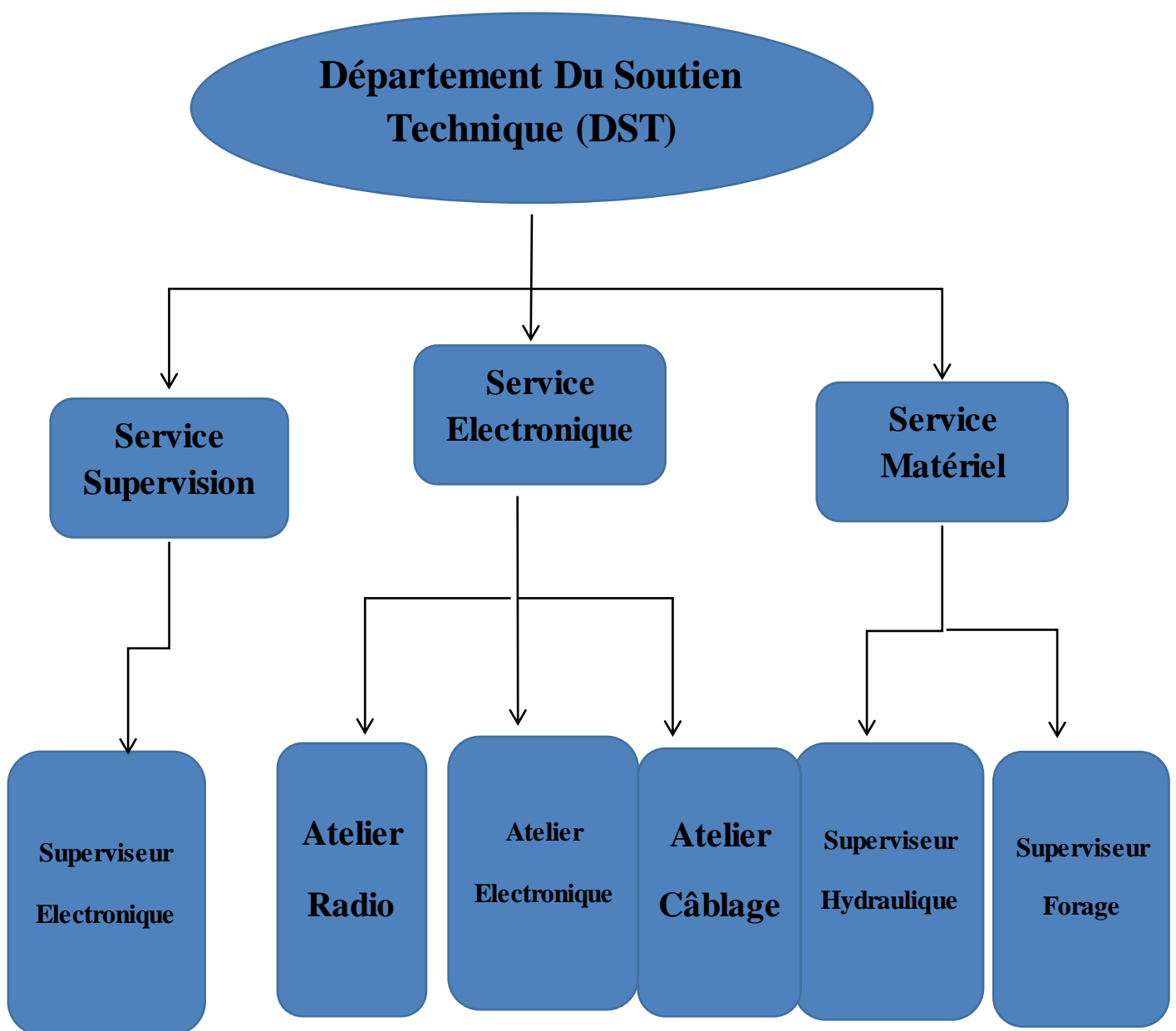
Le terme de gravimétrie désigne soit une méthode géophysique dite de potentiel qui étudie les variations spatiales du champ de pesanteur, soit un ensemble des méthodes d'analyse ou de séparation, basées sur les différences de densité.

2.7. Traitement et interprétation des données géophysiques :

L'ENAGEO dispose d'un centre de calcul situé à Ouled Fayet, wilaya d'Alger doté d'équipements informatiques, lui permettant de répondre aux demandes de ses clients en matière de traitements des données géophysiques.

L'Entreprise dispose également d'un département d'interprétation des données sismiques constitué d'ingénieurs spécialisés et disposant d'équipements modernes

2.8. Le plan du Département Technique



Introduction générale

L'énergie est un besoin primordial pour l'humanité, et face à la prévision d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz et charbon), la science s'est tout tournée vers l'énergie dite renouvelable. La source la plus importante d'énergie renouvelable est l'énergie issue du soleil qui permet d'avoir soit une énergie thermique soit une énergie photovoltaïque [1]. Dans le cadre de ce travail, Nous nous intéresserons seulement au deuxième type d'énergie.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes.

Une batterie solaire branchée directement sur un panneau solaire risque d'être endommagée si son niveau de charge dépasse les 90% [2]. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et la/les batteries solaires.

Le régulateur de charge solaire est l'élément central d'une installation solaire. Il surveille la production des panneaux, la consommation de la charge tout en optimisant la durée de vie des batteries. Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie [2]. La littérature propose quelques types de circuits pour les régulateurs de charge à base d'ARDUINO UNO. Selon l'application envisagée, les

Introduction générale

caractéristiques des panneaux solaires disponibles et les types de batteries utilisées, la conception et la simulation d'un régulateur de charge solaire adapté reste toujours un thème de recherche.

Ce travail a été réalisé au niveau de l'entreprise nationale de Géophysique E.NA.GEO a HASSI MASSAOUD.

L'objectif de notre travail est la conception et la simulation d'un régulateur de charge par panneaux photovoltaïques à base d'une carte ARDUINO UNO. Pour décrire cela, ce mémoire sera présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à un bref rappel sur les générateurs photovoltaïques des différentes puissances (cellules et modules), suivi par les types d'installations des systèmes photovoltaïques, la modélisation des cellules PV et ses paramètres électriques.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les différentes caractéristiques et performance des systèmes de stockage de l'énergie utiliser dans les centrales photovoltaïques.

Le dernier chapitre est consacré à la conception, à la simulation du régulateur de Charge à base de l'ARDUINO UNO.

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

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable. Elle désigne la transformation d'une source d'énergie lumineuse en électricité et son utilisation. Ce chapitre décrit le fonctionnement de l'énergie solaire photovoltaïque et donne les bases théoriques des différents éléments d'un système photovoltaïque et les types d'installations des systèmes photovoltaïques. On trouvera donc dans ce chapitre des définitions, des principes et des équations sur les cellules, les modules et les générateurs PV.

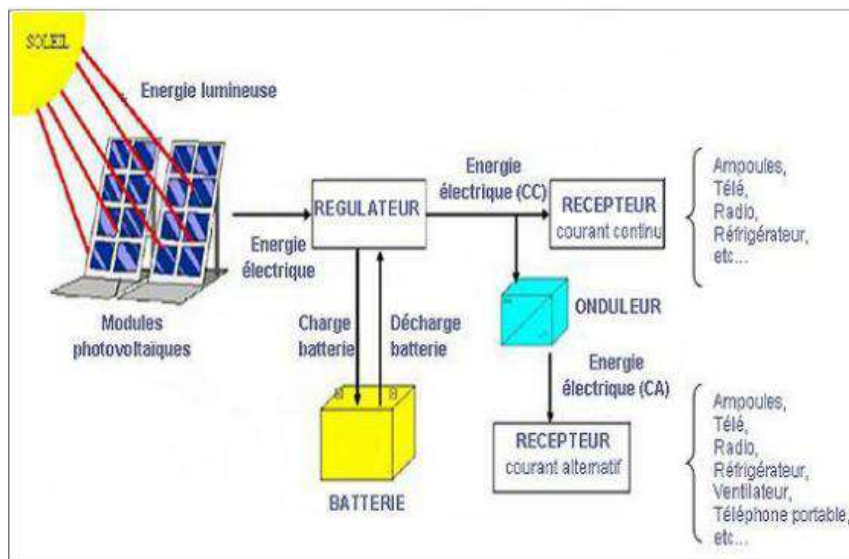


Figure I.1: Système photovoltaïque autonome [3]

I.2 Energie Solaire

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

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

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

➤ **Énergie solaire photovoltaïque:** Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux solaires photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, ...) des photons en électrons. [4]

➤ **Énergie solaire thermique :** Désigne l'énergie récupérée sous forme de chaleur à partir de la lumière du soleil. L'énergie solaire thermique peut être utilisée de façon passive ou active. On parle de solaire thermique passif pour les installations permettant de chauffer directement un bâtiment par ses surfaces vitrées (effet de serre) et/ou l'accumulation de chaleur sur des murs exposés au rayonnement solaire. Le solaire thermique actif consiste à récupérer la chaleur du soleil dans des panneaux solaires ou capteurs solaires thermiques dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ce fluide chauffé dans les panneaux solaires peut stocker sa chaleur dans un ballon à accumulation, qui alimente ensuite un circuit de chauffage [4].

I.3 Effet Photovoltaïque

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

I.4 Différents éléments d'un système photovoltaïque

En général, un système photovoltaïque est composé d'un ensemble de modules photovoltaïques, d'un régulateur de charge, d'une ou plusieurs batteries et un onduleur figure (I.2).

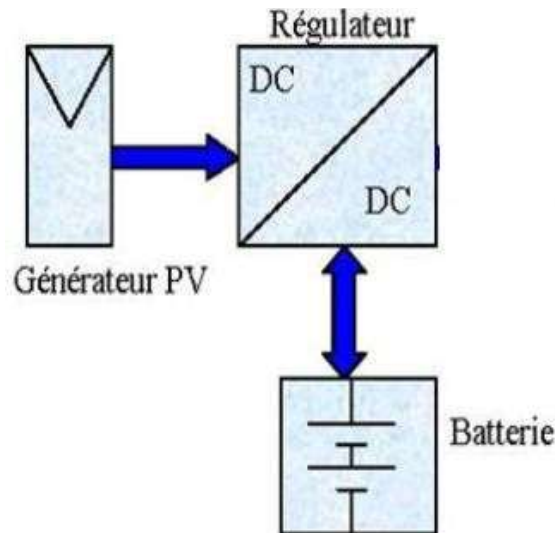


Figure I.2: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque (GPV) représente la partie de production d'énergie électrique. Le régulateur est un circuit électronique dont le rôle est de gérer les flux de courant : courant venant des panneaux en vue de charger la batterie et courant venant de la batterie vers les consommateurs. Il gère la charge et la décharge de la batterie en déconnectant le panneau quand les batteries sont chargées ou en coupant l'alimentation aux consommateurs quand la batterie est trop déchargée.

Les batteries sont utilisées pour le stockage d'énergie en vue d'une utilisation directe d'un courant continu (DC) avec une charge DC.

Dans le cas d'une utilisation en courant alternatif (AC), l'énergie DC sera convertie en énergie AC à travers un onduleur.

I.5 Types d'installations des systèmes photovoltaïques

Nous distinguons trois types de systèmes photovoltaïques :

Les systèmes autonomes, les systèmes connectés au réseau et les systèmes hybrides.

I.5.1 Systèmes isolés et autonomes

Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Aussi, l'autonomie du système est assurée par un système de stockage d'énergie. Comme le montre la figure (I.3), ces installations comprennent quatre éléments [5]:

- Un ou plusieurs modules PV.
- Le système de régulation.
- Une ou plusieurs batteries.
- L'onduleur

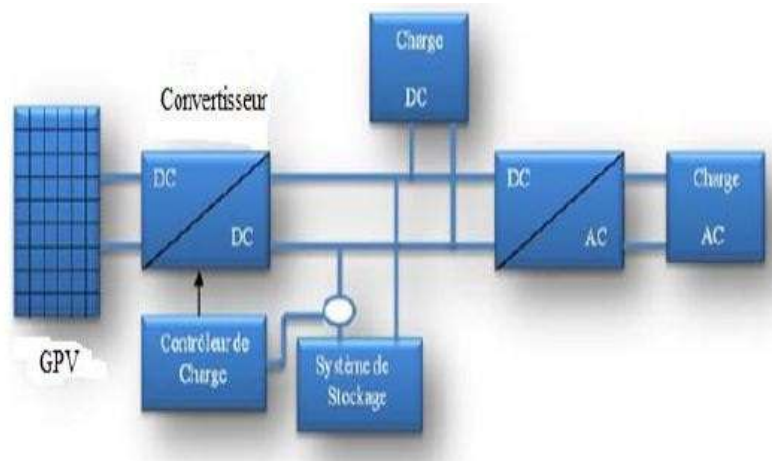


Figure I.3: Installation photovoltaïque autonome

I.5.2 Systèmes connectés directement au réseau

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu-courant alternatif (figure I.4).

Étant donné que l'énergie normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que l'on veuille une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place et le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [5].

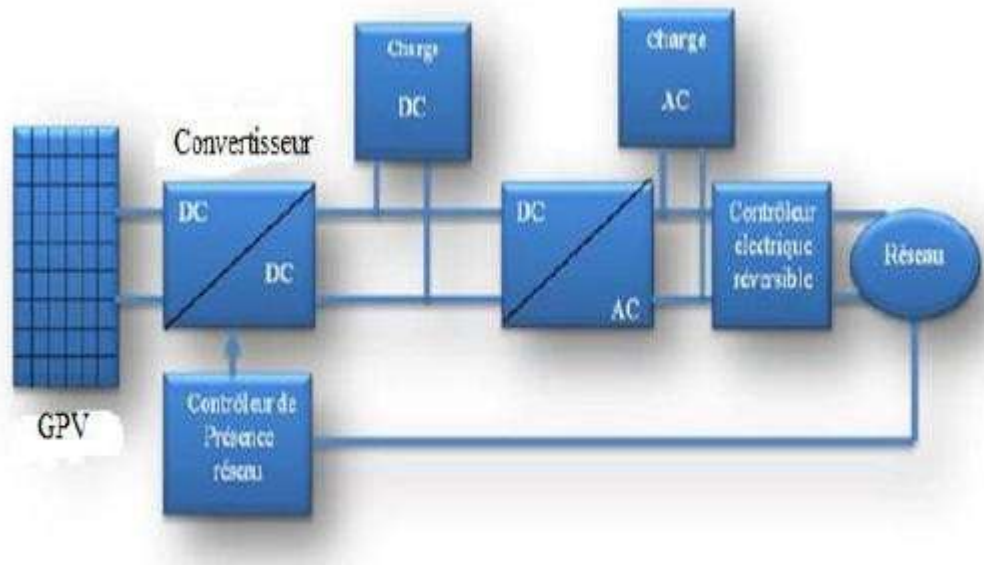


Figure I.4: Installation raccordée au réseau photovoltaïque

I.5.3 Systèmes hybrides

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires. En pratique, les modules de systèmes PV sont souvent alliés à une éolienne ou à une génératrice à combustible. De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie. Ils conviennent mieux lorsque la demande d'énergie est élevée (pendant l'hiver ou tout au long de l'année), lorsque l'énergie doit être fournie sur Demande ou si le budget est limité (figure I.5).

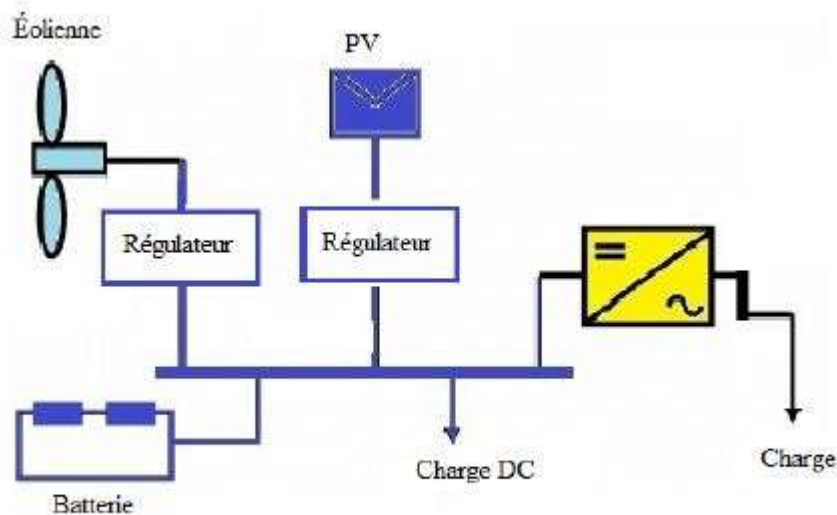


Figure I.5: Installation photovoltaïque hybride

I.6 Le Générateur photovoltaïque (PV)

Un générateur PV est défini par tout l'assemblage des cellules solaires, des connexions, des pièces de protection et des supports, etc. Le terme « générateur PV » peut être donc représenté par n'importe quel dispositif PV (cellules solaires, modules, panneaux,...).

I.6.1 Module photovoltaïque

Un module photovoltaïque est composé de plusieurs cellules solaires reliées les unes aux autres (figure I.6). Généralement, chaque cellule photovoltaïque ne peut pas produire qu'une tension continue nominale de 0,5V à 0,6V en circuit ouvert et une puissance nominale voisine de 1.5Wc. Pour satisfaire les besoins des charges couramment utilisées, il faut envisager un assemblage de plusieurs cellules photovoltaïques soit en série soit en parallèle.

Cet assemblage forme ce qu'on appelle « module solaire » ou « module photovoltaïque ». Le dimensionnement du système solaire détermine le nombre de modules à mettre soit en parallèle afin d'accroître le courant en conservant la tension, soit en série afin d'augmenter la tension en conservant le courant, et pour avoir une satisfaction en courant et en tension, un groupement mixte « série- parallèle » est obligatoire.

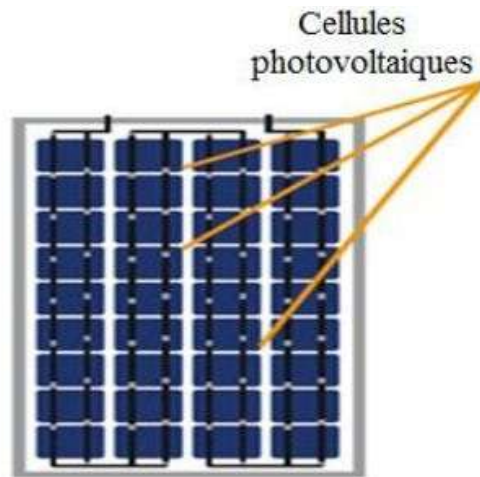


Figure I.6: Module photovoltaïque

I.6.1.1 Composition d'un module solaire photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de cinq éléments (Figure I.7) :

- Cadre aluminium : l'aluminium est recyclable à l'infini.
- Verre trempé : est un matériau recyclable à 100 %, utilisé pour la protection du module et il représente 75% de la composition du panneau.
- Feuille de l'EVA (EVA: Ethylène-Acétate de Vinyle) transparent : pour résister aux intempéries et à l'humidité.
- Cellules photovoltaïque : c'est le composant électronique qui produit de l'électricité principalement à base de Silicium, elle est réutilisable jusqu'à 4 fois.
- Feuille de Tedlar blanc : pour plus de résistance mécanique des grands modules.

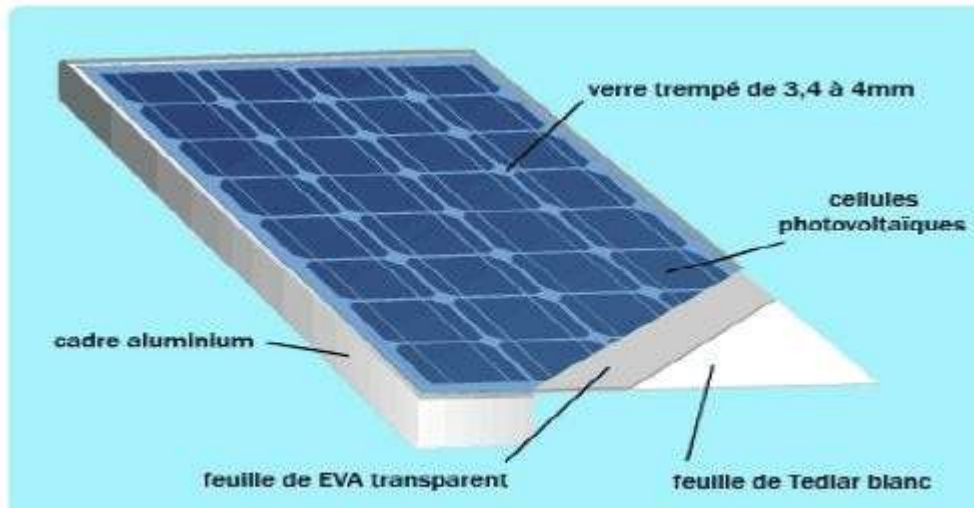


Figure I.7 : Composition d'un module solaire photovoltaïque

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en séries et en panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles (figure I.8).

- **La protection par diodes parallèles (diode by-pass) :** a pour but de protéger une série de cellules dans le cas d'un déséquilibre lié à la défectuosité d'une ou plusieurs des cellules de cette série ou d'un ombrage sur certaines cellules.
- **La diode série (diode anti-retour) :** placée entre le module et la batterie, empêche pendant l'obscurité le retour de courant vers le module.

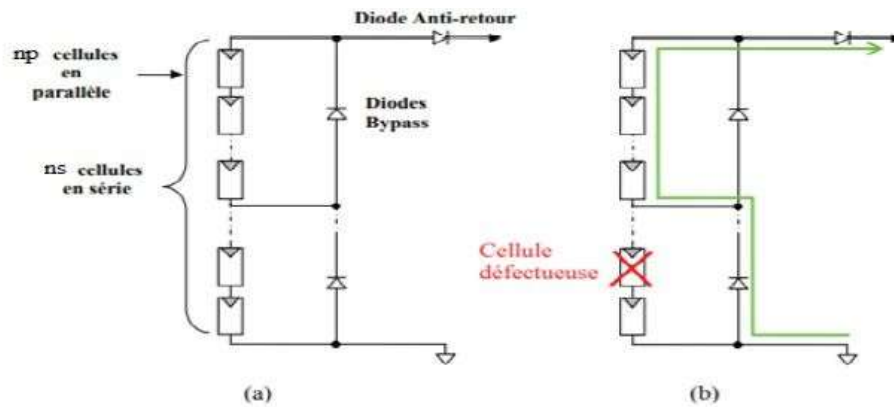


Figure I.8 : (a) Schéma d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de la diode by-pass et mise

I.6.1.2 Caractéristiques d'un module solaire photovoltaïque

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

- **Puissance maximale (P_m):** c'est la puissance électrique maximale que peut fournir le module dans les conditions standards ($T = 25^\circ\text{C}$ et un éclairement de 1000 W/m^2).
- **Tension à circuit ouvert (V_{co}) :** c'est la tension aux bornes du module lorsqu'il n'est pas connecté à une charge pour un éclairement " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit (I_{cc}) :** courant lorsque le potentiel appliqué au module est nul. C'est le plus grand courant que le module peut fournir, pour un éclairement " plein soleil ".
- **Point de fonctionnement optimum ($V_{m,}$) :** lorsque la puissance est maximale en plein soleil $m=V_m.I_m$.
- **La caractéristique I/V :** courbe représentant le courant (I) débité par le module en fonction de la tension (V) aux bornes de celui-ci.

I.6.2 Cellule photovoltaïque

La cellule PV (photopile) est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériau semi-conducteur et réaliser à partir de deux couches, une dopée P (Positif, dopée au Bore par exemple), et l'autre dopée N (Négatif, dopée au Phosphore par exemple). Créant ainsi une jonction PN, et transforme directement l'énergie lumineuse en

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Énergie électrique. Une cellule est constituée d'un empilage de couches : Verre de protection, couche antireflet, maille conductrice (cathode), Silicium dopé N, jonction NP, Silicium dopé P et un support métallique (anode), comme illustré par la figure suivante :

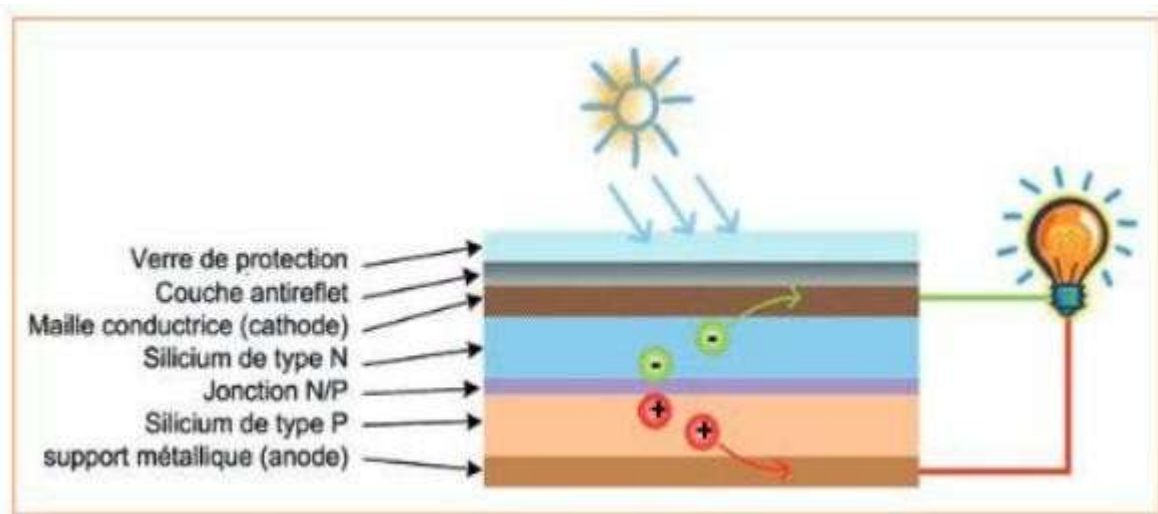


Figure I.9 : Constituants d'une cellule solaire

I.6.2.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

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

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

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

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées. Le fonctionnement des Cellules photovoltaïques est illustré sur la figure (I.10).

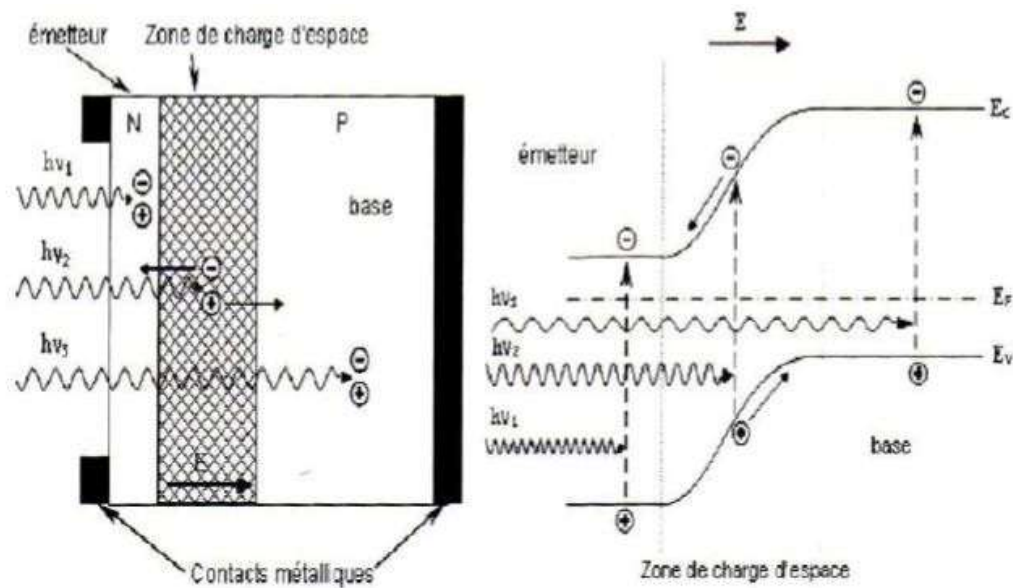


Figure I.10 : Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque [6]

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

- Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace, sont envoyés par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.
- Dans la zone de charge d'espace, les paires électron/trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura un photo-courant de génération [6].

I.6.2.2 Association des cellules photovoltaïques

Il existe trois types d'association des cellules PV :

• Association en série :

L'association de ns cellules en série (figure I.11) permet d'augmenter la tension (la somme des tensions) tout en conservant le courant d'une cellule.

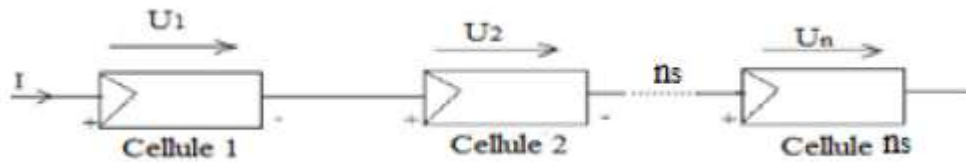


Figure I.11: Association de n_s cellules PV en série

La caractéristique $I(V)$ du module solaire dans ce cas a la forme suivante (figure I.12) :

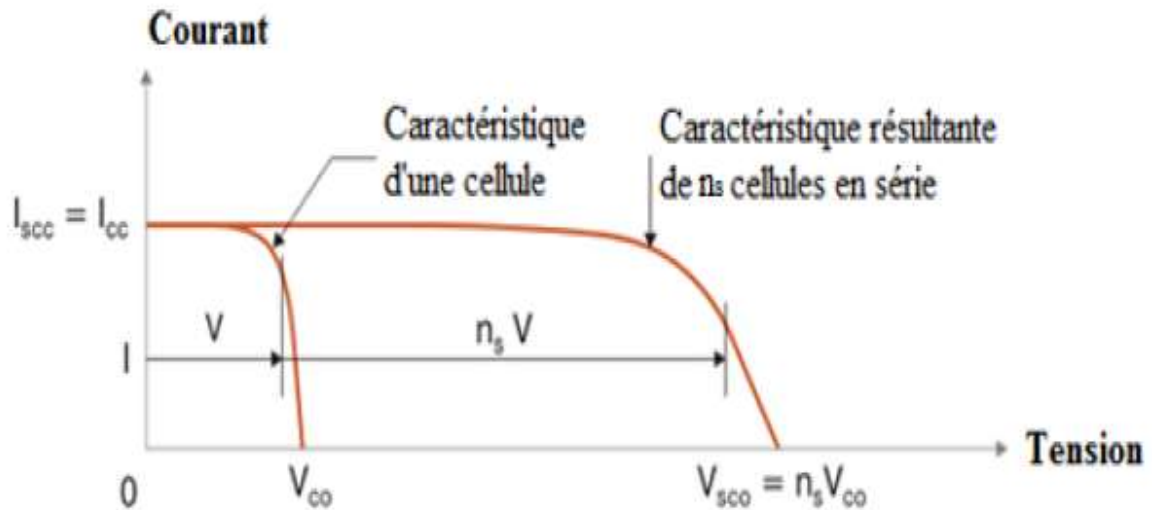


Figure I.12: Caractéristique courant tension de n_s cellule en série

• **Association en parallèle :**

L'association encellules en parallèle (figure I.13) permet d'augmenter le courant (la somme des courants) tout en conservant la tension d'une cellule.

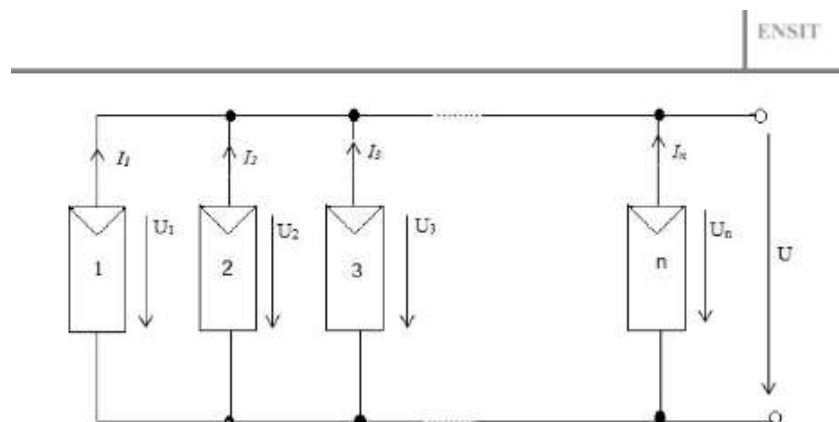


Figure I.13: Association de n_0 cellules en parallèle

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

La caractéristique $I(V)$ du module solaire dans ce cas a la forme suivante (figure I.14) :

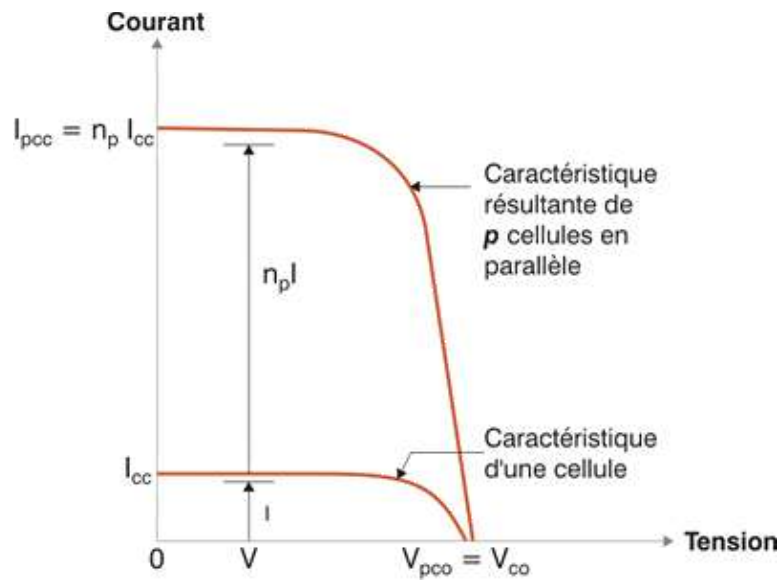


Figure I.14: Caractéristique courant tension de n_p cellule en parallèle

• Association mixte (série-parallèle) :

L'association mixte (figure I.15) est basée sur le branchement des cellules en série et en parallèle, qui permet d'augmenter le courant et la tension en même temps.

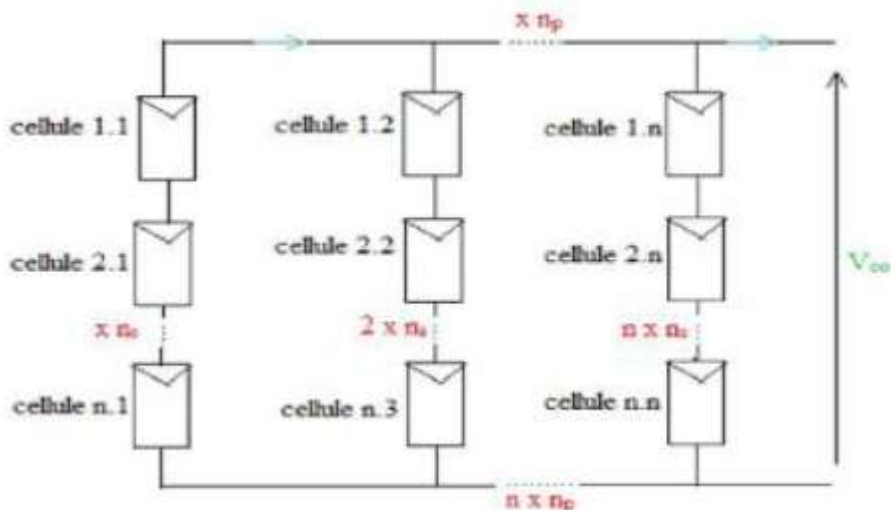


Figure I.15: Association des cellules mixtes (série-parallèle)

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

La caractéristique $I(V)$ d'un module solaire peut être considérée comme le résultat d'une association d'un réseau de $(n_s \cdot n_p)$ cellules en série/parallèle (figure I.16).

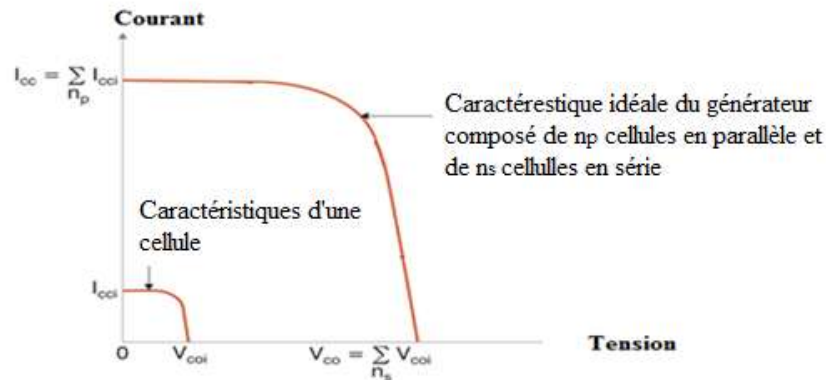


Figure I.16: Caractéristique d'un assemblage série/parallèle de n_s et n_p cellules

I.6.2.3 Filières technologiques d'une cellule photovoltaïque

Il existe trois générations des cellules photovoltaïques, beaucoup d'entre elles sont encore en phase d'expérimentation et de développement. Grâce au tableau (I.1) suivant, on peut découvrir quelle cellule photovoltaïque possède le meilleur rendement (selon les données publiées par le NREL, National Renewable Energy Laboratory) ou la plus faible épaisseur.

Les principaux inconvénients propres à chaque technologie sont également rappelés [8].

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Technologie	Abréviat- ion	Génération	Rendement record(%)	Epaisseur (μm)	Flexibilité	Inconvénients majeurs
Silicium monocristallin	SC-Si	1	25.0	200-350	Non	Poids rigidité
Silicium multi Cristallin	mC-Si	1	20.4	200-350	Non	Poids rigidité
Silicium amorphe	a-Si	2	13.4	1	Oui	Rendement
Tellure de cadmium	CdTe	2	18.3	2-8	Oui	Eléments toxiques et rares
Cuivre-indiumGalium-Sélénium	CIGS	2	20.4	1-2	Oui	Eléments Rares
Cuivre-Zinc Etain-soufre-Sélénium	CZTS	2	11.1	1.5	Oui	Rendement
Organique	OPV	2	11.1	0.1	Oui	Fatigue non maitrisé
Concentration solaire	CSP	3	37.8	nc	Non	Doit suivre le Soleil
Grätzel	DSC- DSSC	3	15.0	1	Oui	Rendement
Boîtes quantiques	QDSC	3	7.0	1.5	Oui	Rendement

Tableau I.1: Les principales caractéristiques et performances des cellules photovoltaïques les plus importantes (nc = non connu) [7]

Dans le cadre de notre travail de fin d'études, nous nous intéresseront seulement aux cellules de première génération qui seront utilisées pour alimenter notre chargeur de batteries. Ce choix est motivé par la disponibilité seulement des panneaux de cette génération au niveau du Laboratoire d'Energie Renouvelables (LER) de notre université.

La première génération des cellules se caractérise par une seule jonction p-n à base de Silicium sous forme cristalline, constituée généralement d'un substrat en Silicium massif réalisé par la technique du tirage et découpage basée sur les wafers de Silicium, une technique Simple, mais trop coûteuse en plus elle exige un silicium de grande pureté. La première cellule solaire a été réalisée en 1954 par les laboratoires Bell a donné un rendement de 6% qui

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

a été amélioré à 10% par la suite [8]. Généralement, on distingue deux familles dans cette filière : Les cellules monocristallines et les cellules multi-cristallines.

- **Silicium poly (ou multi - cristallin) :**

Cousin germain du précédent (composés de multi cristaux), il est un peu moins performant, essentiellement aux éclairagements modérés, et également moins onéreux.

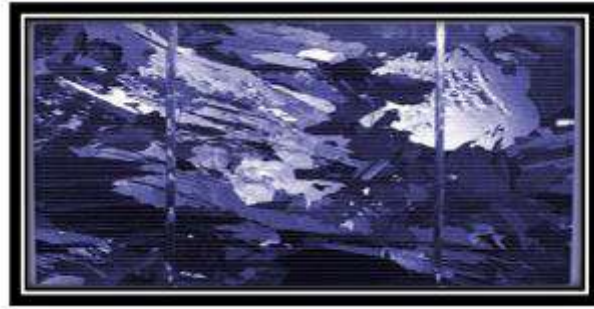


Figure I.17: Cellule en silicium poly cristallin [8]

Avantage :

- ❖ Rendement électrique des panneaux : 12- 14 % STC.
- ❖ Puissance des panneaux : 5 à 150 W c.
- ❖ Gamme d'éclairement : 200 à 1000 W/m.
- ❖ Rendement faible sous un faible éclairement [2].

- **Silicium amorphe :**

Nettement moins puissant au soleil que les deux précédents, ce silicium en couche très mince répond par contre à tous les éclairagements, extérieur et intérieur. Sa technologie de fabrication est théoriquement moins onéreuse (mais la production n'a pas atteint des niveaux comparables) et permet de réaliser des petits formats, grâce à la mise en série intégrée et la simplicité de découpe.

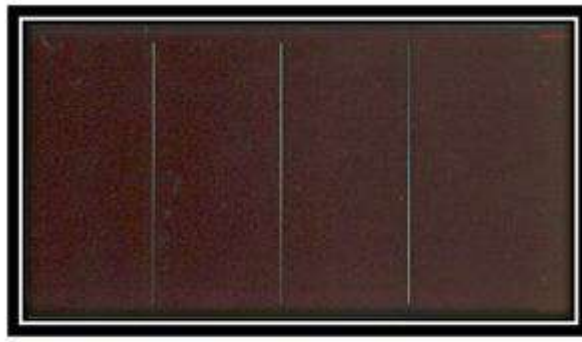


Figure I.18: Cellule silicium amorphe [9]

Rendement électrique des panneaux : 5- 7 % STC (jusqu'à 9 % pour les «multi jonctions »).

- ❖ Puissance des photopiles intérieures : 0 à 1 Wc.
- ❖ Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 60 Wc.
- ❖ Gamme d'éclairement : 20 lux (en intérieur) à 1000 W/m² (en extérieur).
- ❖ Usage électronique professionnel par le grand public (montres, calculettes...).

I.6.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque peut être schématisée par deux modèles, modèle à une diode et modèle à deux diodes en parallèle avec une source de courant, et sont basés sur l'équation de diode bien connue de Shockley. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant de la cellule photovoltaïque. Le modèle le plus largement utilisée grâce à sa simplicité et sa précision convenables pour la plupart des applications telles que l'analyse des performances d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement d'un système de charge photovoltaïque et l'étude des performances des algorithmes de recherche de la puissance maximale, est le modèle à une diode.

Lorsque la jonction est éclairée, elle présente la particularité de pouvoir fonctionner en générateur, en produisant un courant de court-circuit proportionnel à l'éclairement. Le circuit équivalent de ce modèle est représenté sur la figure(I.19).

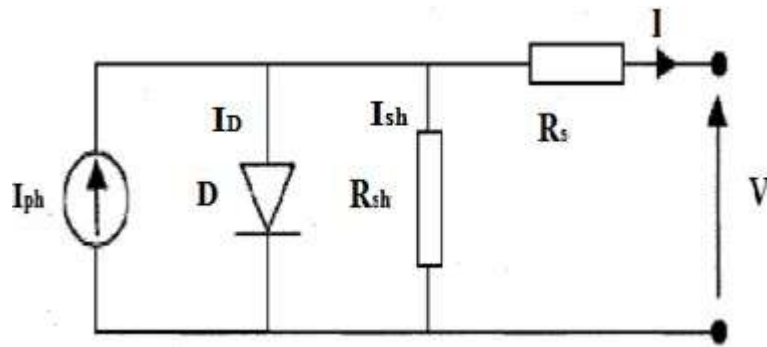


Figure I.19: Schéma équivalent électrique de la cellule photovoltaïque réelle

Ce modèle permet d'obtenir le comportement statique d'une cellule photovoltaïque sous polarisation. Toutefois, pour l'étude du comportement d'un générateur photovoltaïque en conditions réelles de fonctionnement, ce modèle permet de reproduire les principaux comportements interagissant avec le reste du système [9].

A partir de la figure(I14) et la loi de Kirchhoff on a la relation suivante :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{nV_{th}} - 1\right) \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (I.1)$$

Avec :

V_{th} = KT/q : représente la tension thermique du semi-conducteur (V),

K : La constante de Boltzman ($1,381 \times 10^{-23} \text{J/Kelvin}$),

T : La température effective des cellules (Kelvin),

q : La charge d'un électron ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$),

n : Le facteur de qualité de diode,

I₀ : Le courant de saturation de diode (A),

I : Le courant fourni par la cellule (A),

V : La tension aux bornes de cette même cellule (V),

I_{sh} : Courant traversant la résistance shunt,

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

ID : Courant traversant la diode,

I_{Ph} : La photo courant de la cellule dépendant de l'éclairement (A),

R_{sh}: La résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction (Ω),

R_s: La résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions (Ω).

I.6.2.4.1 Calcul de (I_{Ph}) :

Le courant de court circuit I_{cc} représente le courant maximum généré par la cellule. Il est produit lorsque elle est soumise à un court circuit $V=0$. Comme $R_s \ll R_p$ on peut admettre que $I_{ph} \approx I_{cc}$ pour ($G=1000W/m^2$) l'équation (1) devient :

$$I = I_{CC} - I_S \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{nV_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + VR_s}{R_p} \quad (I.2)$$

Pour la plus part des cellules solaires (dont la résistance série est très faible), on peut négliger le terme $I_0 \left[\exp \left(\frac{I_{sc} R_s}{nV_t} \right) - 1 \right]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court circuit est alors :

$$I_{sc} \approx \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (I.3)$$

Dans le cas idéal $R_s \rightarrow 0$ et $R_{sh} \rightarrow \infty$ ou dans le cas approximatif suivant :

$$R_{sh} = \frac{1}{G_s} \gg R_s \Rightarrow \frac{R_s}{R_{sh}} \ll 1 \Rightarrow 1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \approx 1 \quad (I.4.)$$

Le courant de court-circuit I_{sc} confonde avec le photo courant I_{ph} :

$$I_{sc} \approx I_{ph} \quad (I.5)$$

I.6.2.4.2 Calcule de (I_s) :

La tension en circuit ouvert V_{co} est calculée lorsque le courant est nul, comme suit :

$$V_{co} = nV_t \ln \left(1 + \frac{I_{CC}}{I_S} \right) \quad (I.6)$$

I.6.2.5 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$. La figure (I.20) présente un exemple d'une caractéristique courant-tension $I(V)$ et puissance tension $P(V)$ pour un éclairement et une température donnée.

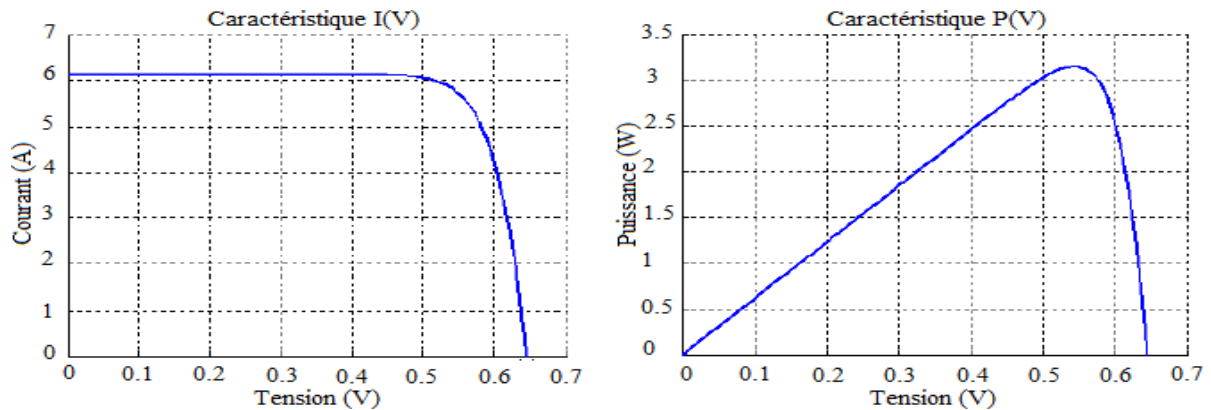


Figure I.20: Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ pour ($G=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$) d'une Cellule.

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température fixée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (I.21) représente les trois zones essentielles de cette caractéristique :

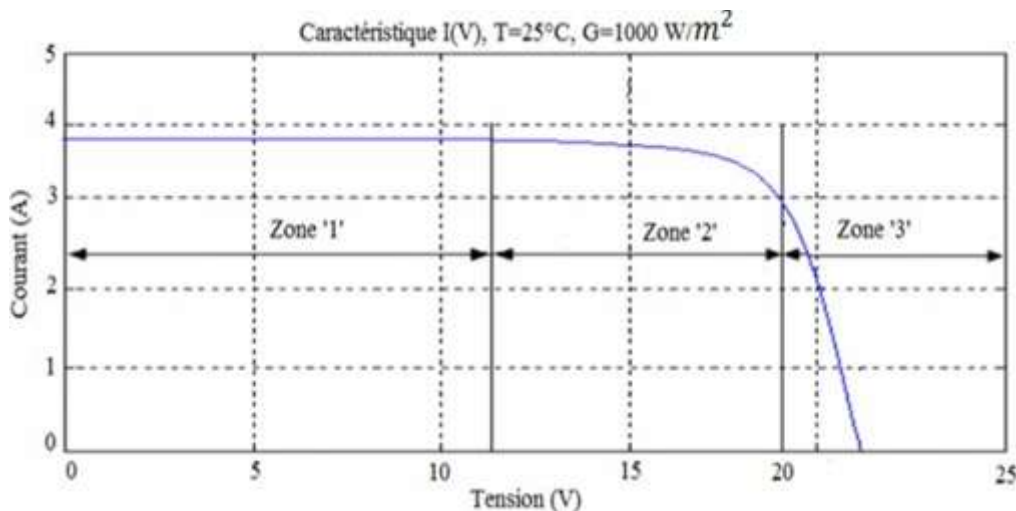


Figure I.21: Différentes zones de la caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque [10]

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

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

I.6.2.6 Paramètres de la cellule photovoltaïque

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

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

Les autres paramètres qui apparaissent sur la caractéristique $P(V)$ sont la tension optimale (V_{MPP}), le courant optimal (I_{MPP}) et la puissance maximale (P_{MPP}), comme montré sur la figure (I.22). Les paramètres les plus usuels sont les suivants:

- Puissance maximale (P_{max})
- Le facteur de forme (FF)
- Le rendement de conversion d'énergie (η)
- Facteur de qualité (A)

Puissance maximale nominale (P_{max})	105 W
Tolérance	+/- 3%
Tension à P _{max} (V_{mp})	18.7 V
Courant à P _{max} (I_{mp})	5.5 A
Tension en circuit-ouvert (V_{cc})	23.0 V
Courant de court-circuit (I_{sc})	5.9 A
Tension maximale de système	600 V
Dimensions (mm)	1196*546*35

Tableau I.2: les paramètres d'un panneau solaire utilisé

a. Puissance maximale :

C'est la puissance fournie au circuit extérieur par un module photovoltaïque sous éclairement et dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes du module). Cette puissance est maximale notée P_{max}(ou PMPP) pour un point de fonctionnement P_{max}(I_{MPP},V_{MPP}) appelé le Point de Puissance Maximum (PPM ou MPP en anglais) qui est désigné dans la figure (I.22).

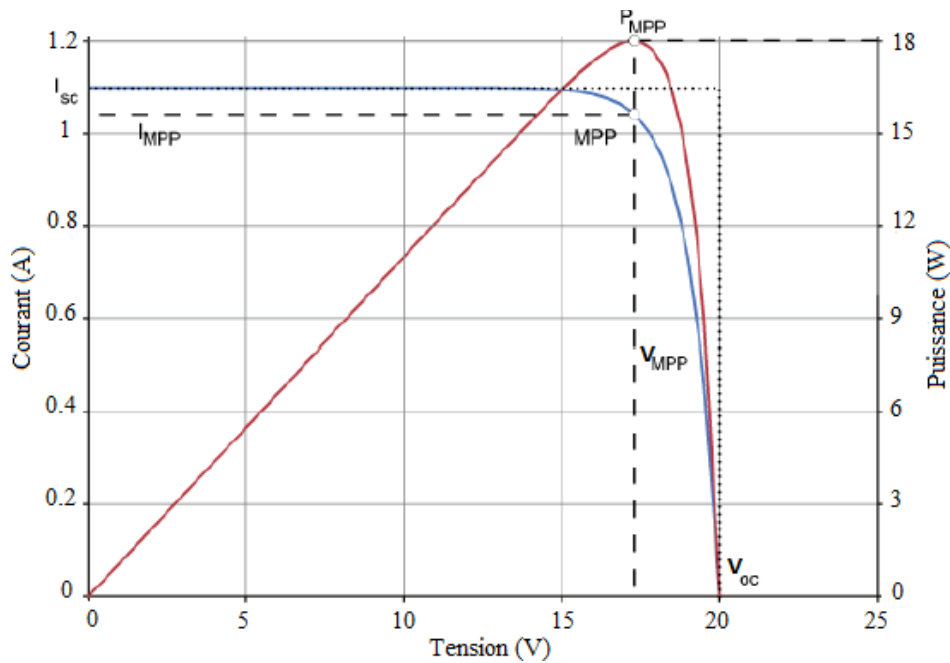


Figure I.22: Caractéristique courant - tension-puissance d'un module PV

b. Facteur de forme :

Est un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou Fill Factor (FF). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le produit ($I_{sc} \times V_{oc}$), Il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (I.7)$$

Plus la valeur de ce facteur sera grande plus la puissance exploitable le sera également.

c. Rendement :

Le rendement D'un générateur photovoltaïque Il est défini comme le rapport entre la puissance maximale produite par la cellule et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur la cellule. Si S est la surface de la cellule (en m^2) et E est l'éclairement - irradiation - (en W/m^2) le rendement énergétique s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{max}}{S \times E} \quad (I.8)$$

Ou d'après (I.7) :

$$P_{max} = FF \times I_{sc} \times V_{oc} \quad (I.9)$$

$$\eta = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{S \times E} \quad (I.10)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. Le rendement de conversion est un paramètre essentiel. En effet, la seule connaissance de sa valeur permet d'évaluer les performances de la cellule.

d. Facteur de qualité (n) :

Le facteur d'idéalité ou de qualité dépend de la tension de polarisation, il nous renseigne sur l'origine des courants circulant dans la jonction. Il prend la valeur (1) s'il s'agit d'un mécanisme de diffusion. Pour le mécanisme de recombinaison, il prend la valeur (2). Lorsque les deux courants sont comparables, le facteur (n) a une valeur comprise entre 1 et 2. S'il prend d'autres valeurs, cela signifie que d'autres mécanismes interviennent pour le transport du courant [11]

I.6.2.7 Effet de l'ensoleillement sur la caractéristiques I-V

La figure (I.23) présente la caractéristique I-V d'un module photovoltaïque pour différents ensoleillements à la température fixe. Comme on peut voir sur la figure, le courant du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension de circuit-ouvert change légèrement avec l'ensoleillement.

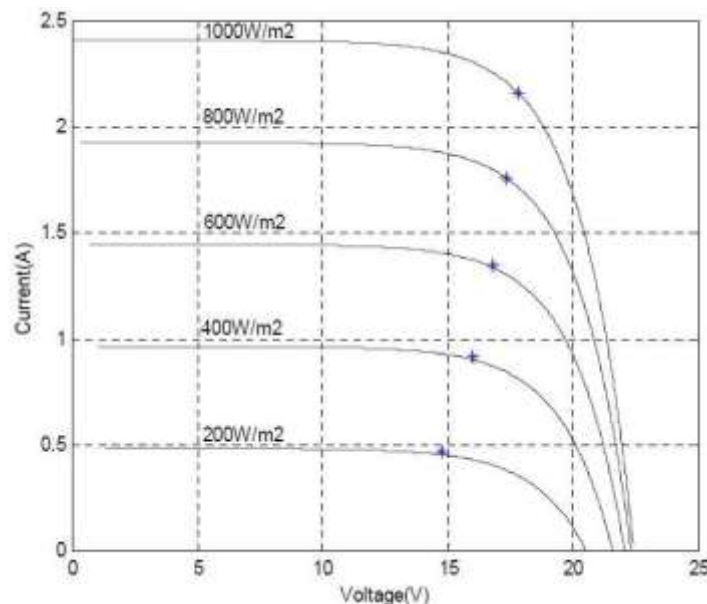


Figure I.23: Effet de l'ensoleillement sur la caractéristique du module I-V à T=25°C [12]

I.6.3 Effet de température Sur la Caractéristique I-V

On peut observer l'effet de la température sur la caractéristique I-V du module sur la figure I.24. Comme est montré sur la figure, la température a un léger effet sur le courant, mais une augmentation de la température cause une diminution apparente sur la tension de circuit ouvert.

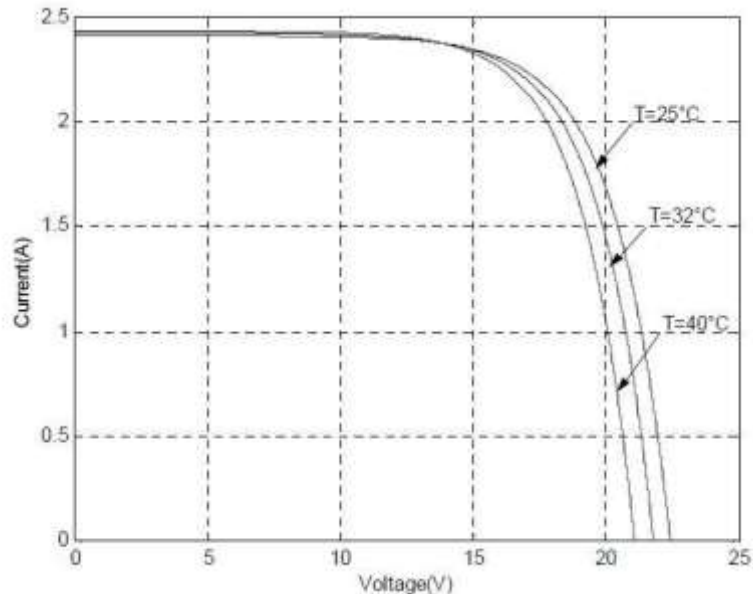


Figure I.24: Effet de la température sur la caractéristique du module I-V à un ensoleillement

I.7 Les avantages et les inconvénients d'une installation photovoltaïque

I.7.1 Avantage

- ❖ D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- ❖ Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- ❖ Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

- ❖ La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

I.7.2 Inconvénients

- ❖ La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- ❖ Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (Soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. · Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- ❖ Tributaire des conditions météorologiques.
- ❖ Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- ❖ Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

I.8 Conclusion

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

**Chapitre II : Conceptions sur les batteries
d'accumulateurs**

II.1 Introduction

Lors de la charge et de la décharge des batteries d'accumulateurs, des précautions particulières doivent être prises dues à la sensibilité de ces cellules. Ces dernières peuvent être gravement endommagées et perdront une partie si elles ont subi une série de cycle de décharge ou soumises à une surcharge. Pour cela, les chargeurs doivent être en mesure d'assurer une charge sûre afin d'aboutir à une telle garantie. Des différentes techniques sont disponibles afin de déterminer quand la charge peut démarrer et quelles sont les tensions et courants que doivent être autorisés ainsi et à quel moment la charge doit être achevée. Durant ce chapitre, nous exprimerons certaines techniques de charge, les plus populaires afin de trouver celles qui fonctionnent le mieux et nous terminerons ce chapitre par une présentation des différents blocs qui constituent notre dispositif.

II.2 Stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Par extension, le terme « stockage d'énergie » est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie. La maîtrise du stockage de l'énergie est particulièrement importante pour valoriser les énergies alternatives, telles que le solaire ou l'éolien, sûres et renouvelables, mais par nature intermittentes [13].

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

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

Les photo-générateurs, comme on l'a vu, ne produisent de l'énergie que s'ils sont exposés à la lumière et le courant produit dépend de la valeur de l'éclairement.

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

- S'il y a concordance entre la présence de la lumière et le besoin d'énergie, il n'est pas nécessaire de la stocker (exemples : une calculatrice, un ventilateur...).
- Si l'on stocke l'énergie sous une autre forme, on peut également se passer de stockage électrique (exemple: une pompe alimentée par énergie solaire stockée, l'eau dans un réservoir: la pompe fonctionnera à débit variable, en fonction de l'ensoleillement et sur une journée, ou une autre base de temps, elle aura stocké suffisamment d'eau pour les usagers).

Dans ces deux cas, on parle de fonctionnement «au fil du soleil» : il y a de la lumière, cela fonctionne ; il n'y en a plus, cela s'arrête.

Mais le plus souvent, on souhaite disposer d'énergie électrique dans l'obscurité pour de multiples raisons, et on doit alors la stocker :

- ❖ La montre ne doit pas s'arrêter la nuit (ni quand on la laisse un certain temps dans un tiroir).

On s'éclaire plutôt quand il fait nuit... etc.

II.3 Les batteries

Une batterie d'accumulateurs, ou plus communément une batterie, est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur électrique de tension et de capacité désirée. Ces accumulateurs sont parfois appelés éléments de la batterie ou cellules [14].

On appelle aussi batteries les accumulateurs rechargeables destinés aux appareils électriques et électroniques domestiques.

La batterie d'accumulateurs permet de stocker l'énergie électrique sous forme chimique et de la restituer sous forme de courant continu, de manière contrôlée.

II.3.1 Principe du couplage photo-générateur batterie

Certains pensent qu'il faut utiliser l'énergie issue directement du photo-générateur quand la lumière est présente, et «basculer» sur le stockage dans l'obscurité : c'est inutile.

Le plus rationnel est de monter le photo-générateur, la batterie, et le récepteur en parallèle avec des composants de régulation. Ainsi, la batterie sera le «réservoir d'énergie», que l'on remplira d'un côté par le photo-générateur et videra d'un autre par le récepteur. Ces deux

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

événements peuvent être simultanés ou non, peu importe, pourvu que la batterie ne soit jamais déchargée.

Autre avantage de ce montage photo-générateur/batterie/récepteur en parallèle. La batterie jouera le rôle de régulateur de tension pour alimenter le récepteur ; car le photogénérateur, n'est en fait qu'un générateur de courant qui peut travailler sur une large plage de tension (de 0 V à sa tension de circuit ouvert). La batterie impose la tension du montage parallèle et stabilisera ainsi la tension fournie au récepteur, ce qui est un avantage évident pour certains d'entre eux. Un tube fluorescent en 12 V continu, par exemple, se détériore assez vite s'il reçoit une tension trop faible (<10V).

II.3.2 Montage de plusieurs accumulateurs sur le même système

Les règles de montage série et parallèle s'appliquent également aux accumulateurs.

Deux batteries de 150 Ah de 12 V en série donneront 150 Ah-24 V, et les mêmes en parallèle donneront 300 Ah-12 V. Mais pour les montages en parallèle, il est impératif que les deux batteries soient des «sœurs jumelles» (même capacité), sinon on risque de voir la plus faible dépérir au profit de l'autre: sa résistance interne augmentera et la batterie «en meilleure santé» prendra la plus grande part du courant de charge, ce qui ne fait qu'accentuer le déséquilibre.

On préférera donc les montages sériels (addition de tensions), plutôt que les montages en parallèle (addition de capacités).

II.3.3 Les différentes Caractéristiques principales d'une batterie

Il existe plusieurs paramètres qui caractérisent une batterie, nous avons mentionné ci-dessus les plus importantes :

II.3.3.1 Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

II.3.3.2 L'espérance de vie d'une batterie solaire

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

Les batteries solaires sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaires. Leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne est inférieure à 40% de la capacité totale pour les batteries plomb et jusqu'à 80% pour les batteries lithium. Cette charge doit être rapide pour gagner en efficacité. Ensuite, cette énergie stockée doit être conservée. C'est la raison pour laquelle, une bonne batterie doit posséder le taux de déchargement le plus bas possible.

L'énergie solaire va charger les batteries de manière sporadique. Ainsi, les cycles de charges et de décharge ne seront pas complets et l'énergie peut rester quelque temps dans la batterie.

Paramètre	Les séries de batterie	Modes de charge	
		Charge flottante	Charge uniforme
voltage de charge (25C)	2V série	2.23~2.27V/PC	2.30~2.35/PC
	6V/12V séries	6.75~6.9V/PC 13.5~13.8V/PC	7.05~7.2 V/PC 14.1~14.4 V/PC
Courant de charge	2V série	Max current :0.25CA	Max current :0.25CA
	6V/12V séries	Suggested current : 0.10CA	Suggested current : 0.10CA
Température compensation coefficient	2V série	3mV/C	3 Mv/c
	6V/12V séries	9mV/C 18mV/C	9mV/C 18 V/C

Tableau II.1: les paramètres d'une batterie à gel

II.3.3.3 Capacité de la batterie

L'énergie stockée dans une batterie, appelée capacité de la batterie, est mesurée en watt heures (Wh), en kilo watt heures (kWh) ou en ampères-heures (Ahr). Elle détermine le volume d'énergie pouvant être emmagasinée par la batterie solaire puis redistribuée dans la maison.

La capacité en wattheures (Wh) d'une batterie solaire se calcule à partir de l'intensité de la batterie (donnée en ampère Ah) et en la multipliant par la tension exprimée en volt. et elle exprimée par l'équation suivante [15]:

$$Q = \int_{t_0}^t I_B(t) dt \quad (\text{II.1})$$

EXEMPLE : Une batterie de 12 volts ayant une capacité de batterie de 500 Ah permet de stocker environ $100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1\,200 \text{ Wh}$ ou 1,2 kWh

II.3.3.4 Etat de charge de batterie

Une bonne batterie doit avoir une tension comprise entre 12,3 et 12,6 V. Entre 10,6 et 12,1 V elle aura besoin d'être rechargée. En dessous de 10,6 V, votre batterie est HS et devra être changée. Au delà de 13 V votre batterie est en surcharge et le circuit de charge est en cause.

II.3.3.5 L'influence de la température sur la batterie

En été, la chaleur accélère le processus de vieillissement. Toutefois en été, les températures dépassent souvent 30° C. Les températures élevées entraînent l'autodécharge de la batterie, ce qui a pour conséquence un vieillissement de la batterie plus rapide. Voici le tableau qui présente l'influence de la température sur la durée de vie des batteries.

Température	Période (mois)
0 ~15	9
16 ~25	6
26 ~35	3
36~40	1

Tableau II.2: les paramètres d'une batterie à gel

II.3.3.6 La profondeur de décharge (DOD) de la batterie solaire

Le DOD est la quantité de capacité retirée durant la phase de décharge lors d'un cycle à partir d'une batterie pleinement chargée. Il est exprimé, en pourcentage (%), selon l'équation suivante [16]:

$$\text{DOD (\%)} = \left(\frac{\text{La capacité retirée d'une batterie chargée (Ah)}}{CX(\text{Ah})} \right) \times 100 \quad (\text{II.2})$$

Aussi, selon l'équation (II.4) et (II.5) la profondeur de décharge est le complément de l'état de charge :

$$\text{DOD (\%)} = (1 - \text{SOC}) \times 100 \quad (\text{II.3})$$

II.3.3.7 Le rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

II.3.3.8 Le taux d'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

II.3.3.9 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 15:

$$E = \int_{t_0}^t V_{\square}(t) I_B(t) dt \quad (\text{II.4})$$

$V_{\square}(t)$: Représente la tension terminale aux bornes de l'accumulateur et $I_B(t)$ le courant d'accumulateur.

II.3.3.10 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 batterie neuve. C'est un indicateur important pour suivre la dégradation des performances de la batterie afin d'estimer la durée de vie (Nb_Cycles) qui reste [19].

$$\text{SOH} (\%) = \text{SOH} \times 100 = \left(\frac{\text{La capacité d'une batterie utilisée (Ah)}}{\text{CX(Ah)}} \right) \times 100 \quad (\text{II.5})$$

Pour certain prédéfinition, la batterie est à sa fin de vie (EOL) lorsque elle a $\text{SOH}\% = 80$.

II.3.4 Le principe de fonctionnement d'une batterie

Le fonctionnement d'une batterie est simple :

1. vos panneaux solaires produisent du courant continu (DC) ;
2. ce courant passe dans un onduleur (ou micro-onduleurs) afin d'être converti en courant alternatif (AC) : ce processus est indispensable, car nos appareils ménagers fonctionnent avec du courant alternatif ;
3. la batterie entrepose l'énergie solaire, qui n'est pas directement consommé par un processus électrochimique ;
4. une fois que le besoin en électricité de la maison surpasse la production solaire, la batterie restitue l'énergie stockée au sein du foyer. [17]

Lorsqu'une batterie est ajoutée à une installation de panneaux solaires photovoltaïques, son installation est assez simple. Lorsque le courant électrique est produit par les panneaux solaires, celui-ci est un courant continu. Il passe donc ensuite par un onduleur. Ceci sert à

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

transformer le courant continu créé par les panneaux en courant alternatif. Ce procédé rend l'électricité produite utilisable par l'installation électrique du foyer. La batterie solaire est reliée à un onduleur ou possède directement un onduleur intégré. Le courant continu produit par les panneaux solaires est dirigé vers la batterie. Ensuite, lorsque l'énergie est extraite de la batterie, elle passe par l'onduleur. De cette manière, le courant est converti en courant alternatif pour être utilisé dans la maison.

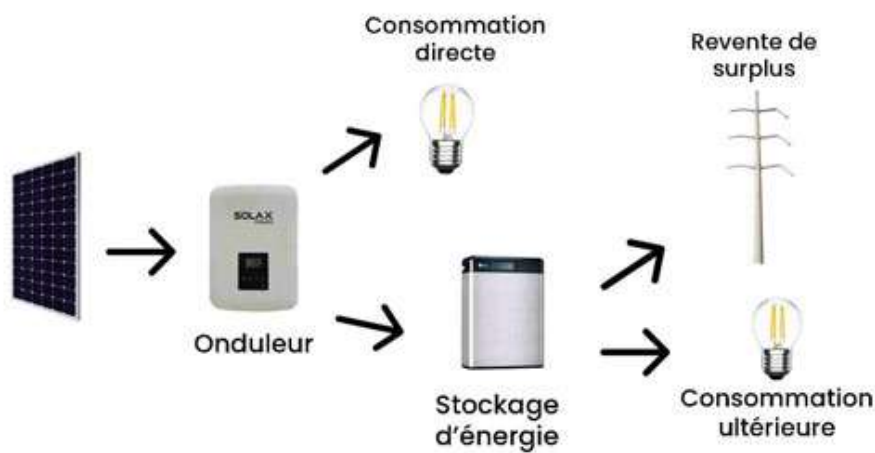


Figure II.1: Principe de fonctionnement d'une batterie

II.3.5 Choisir une batterie solaire

Les considérations relatives au choix d'une batterie incluent évidemment le coût, mais aussi la durée de vie, la capacité de stockage et la profondeur de décharge. [17]

II.4 Technologies et Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont généralement inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique [18].

Le choix de la technologie d'accumulateur va dépendre du coût d'investissement et de la durée de vie des batteries dans les conditions de fonctionnement correspondent à l'application choisie.

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

Les batteries de technologie Plomb acide sont actuellement les plus utilisées pour les applications photovoltaïques. Elles sont principalement avantagées par leurs faibles coûts pour des rendements satisfaisants. Leur inconvénient majeur est leur durée de vie qui est la plus courte des technologies comparées. Par contre La technologie Nickel-Cadium (Ni-Cd) présente un cout plus élève que les batteries au Plomb, pour une durée de vie supérieure mais un rendement plus faible. Des efforts sont nécessaires pour faire du Ni-Cd une technologie concurrentielle pour l'application photovoltaïque. La technologie Lithium-ion (Li-ion) s'annonce comme la concurrente la plus prometteuse. Sa durée de vie et son rendement sont parmi les meilleurs des accumulateurs électrochimiques. Le cout est encore important par rapport a la technologie Plomb mais une baisse significative dans les prochaines années est attendue de sorte que le Li-ion devienne la technologie la plus intéressante pour le applications PV.

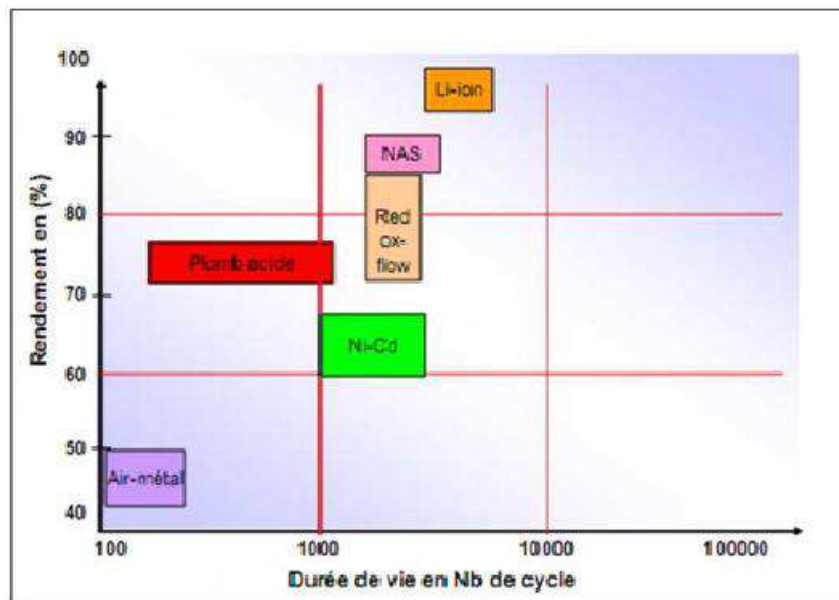


Figure II.2: Durée de vie et rendement des différentes technologies de batteries [19].

II.4.1 Les batteries solaires au plomb

Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont constitués de plaques positives et négatives, assemblées en alternance 20. Il existe plusieurs types de batteries au plomb : la batterie "plomb ouvert", la batterie AGM et la batterie gel, chacun de ces modèles présentant des caractéristiques différentes.

II.4.1.1 La batterie «plomb ouvert »

Jusqu'à tout récemment, la batterie plomb ouvert était la seule technologie de batterie solaire pratique pour stocker l'électricité solaire. Ce type de batterie solaire maison fonctionne notamment avec une solution d'acide sulfurique liquide. Il s'agit du même type de batterie que vous avez dans votre voiture, mais les versions de stockage solaire sont beaucoup plus volumineuses.

On l'entrepose plutôt dans des endroits frais ou climatisés, car la chaleur réduit considérablement sa durée de vie. Il faut aussi que le lieu soit aéré, car en se chargeant la batterie plomb ouvert libère de l'hydrogène. Evitez également de l'installer en plein air, au risque de la voir geler à cause du froid.



Figure II.3: Batterie Plomb ouvert

II.4.1.2 La batterie solaire AGM

Elle se présente sous la forme d'une batterie au plomb scellée. Son principal avantage est le fait qu'elle ne nécessite pas d'entretien. Elle présente en plus l'intérêt d'être étanche et de ne pas dégager d'hydrogène ni de chaleur durant les cycles de charge ou de décharge. Plus adaptée aux utilisations quotidiennes, elle peut faire l'objet d'une utilisation régulière, sans que ses performances en soient affectées.

Comme toutes les batteries au plomb, la batterie solaire AGM est particulièrement sensible à l'élévation de la température. Elle est également plus chère que sa version au plomb ouvert et

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

présente une faible durée de vie en cyclage en plus de présenter une profondeur de décharge de 80 % en général.

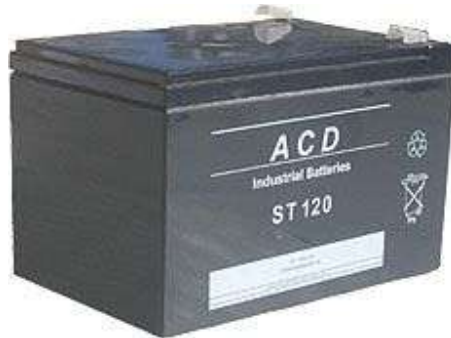


Figure II.4: Batterie solaire AGM

II.4.1.3 La batterie solaire Gel

La technologie de la batterie solaire gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de part ses caractéristiques plus performantes. Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb.

Les batteries gel, à l'instar des batteries AGM, sont étanches et ne nécessitent pas d'entretien sous forme d'ajout d'eau distillée. Elles supportent également mieux les décharges profondes. À 50 % de décharge, elles peuvent durer plus de 1000 cycles. En termes de durée de vie, cela représente entre 6 et 10 ans pour une application solaire.

Notez néanmoins que la batterie gel supporte mal une vitesse élevée de charge et de décharge. Il lui faut donc une application en décharge lente pour optimiser son nombre de cyclages. De plus, elle présente un prix élevé : environ le double de la batterie plomb ouvert. Il faudra également la conserver dans un lieu frais ou climatisé.



Figure II.5: batterie solaire Gel

II.4.1.4 Composition d'une batterie solaire plomb- Acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte [21] .

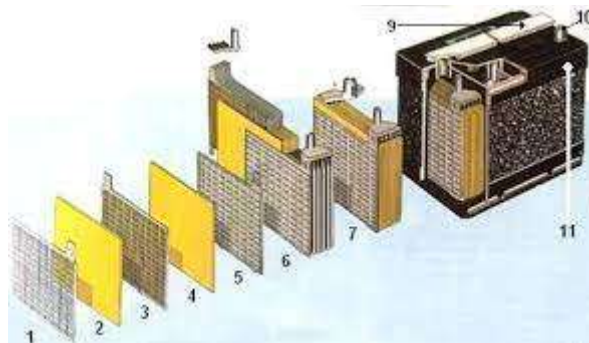


Figure II.6: Construction d'une batterie monobloc

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1 : Grille. | 7 : Élément complet |
| 2 : Séparateur. | 8 : Pont |
| 3 : Plaque positive. | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4 : Plaque négative. | 10 : Borne. |
| 5 : Barrette. | 11 : Bac. |
| 6 : Faisceau négatif. | |

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie [19].

L'alliage peut être en plomb avec 2-6% d'Antimoine. Moins la teneur en

Antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge.

Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Ces batteries plomb- Antimoine sont de type de "cycle profond".

Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille.

Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation.

Le Calcium fortifie aussi la grille et réduit l'autodécharge. Toutefois, le Calcium réduit la profondeur de décharge recommandée dans non plus de 25%. D'autre part, les batteries de plomb- Calcium sont de type "cycle peu profond".

Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommées.

Les séparateurs peuvent être des feuilles individuelles ou des "enveloppes". Les enveloppes sont des manchons, ouverts par en haut, qui sont uniquement placés sur les plaques positives.

Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément".

Un élément dans un conteneur plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie.

Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus grande quantité d'ampères heure que la batterie pourra fournir.

Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension qui varie entre

1,7 et 2 volts suivant l'état de charge dans les conditions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85%. (pour plomb- Acide). Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques. Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6.

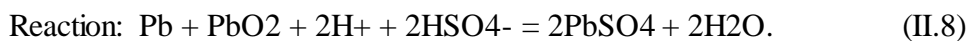
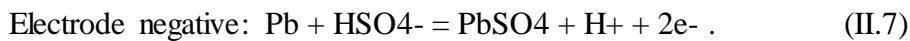
Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de terminaux externes dans la partie supérieure de la batterie. Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien

Chapitre II : Conceptions sur les batteries d'accumulateurs

visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte. Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnées de manière à avoir une chute de tension très faible quelque soit le régime [22]

II.4.1.5 Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces Deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale:



II.4.1.6 Processus de décharge

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 le montre la figure (II.7) .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. Pendant la décharge, la force électromotrice varie en fonction du temps comme l'indique la figure... Pendant une assez longue durée d'utilisation, elle reste remarquablement constante à la valeur de 2 V environ. A partir de point N, elle diminue brusquement (1.8 V), alors il faut recharger l'accumulateur, sous peine de voir apparaître la sulfatation des plaques.

En pratique, on ne descend pas en général en dessous de 20% de la capacité de la batterie.

Sinon, la sulfatation entraîne une perte de capacité et une augmentation de la résistance

Interne d'où baisse de tension [23].

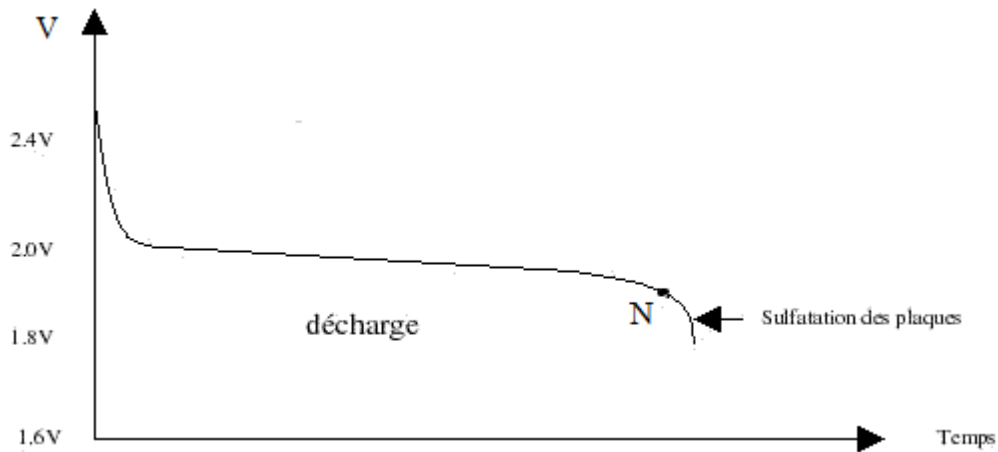


Figure II.7: Allure de la décharge d'un élément d'une batterie au plomb

II.4.1.7 Processus de charge

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).

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur. Si on trace graphiquement la différence de potentiel aux bornes en fonction du temps, on constate qu'après un court régime transitoire elle s'établit aux environs de 2,2 V.

En fin de charge (point M sur la figure II.8), on note un accroissement rapide de la tension. Les plaques, complètement polarisées, ne retiennent plus l'oxygène et l'hydrogène dégagés. La fin de charge est atteinte à 2,6 V.

En charge flottante (régulation de charge) on se limite 2.25 V et 2.35 V par élément [17].

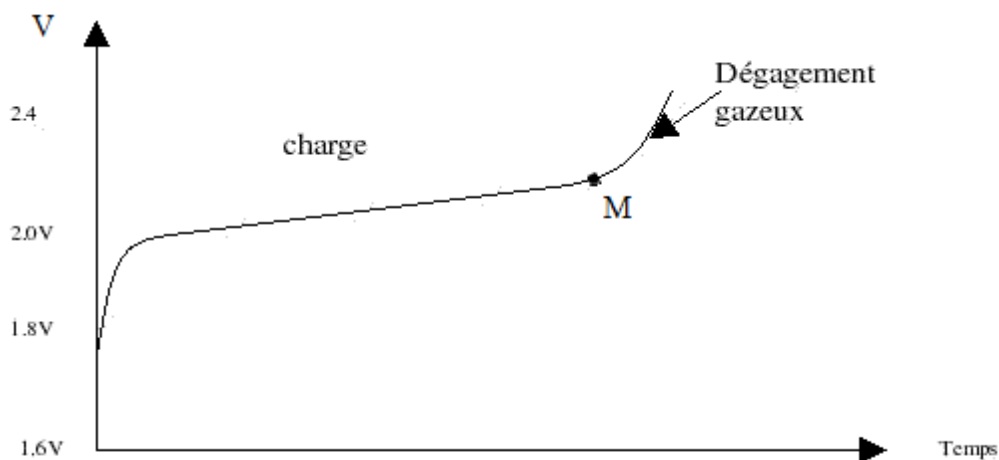


Figure II.8: Allure de la charge d'un élément de batterie au plomb

II.4.2 Les Accumulateurs au Nickel-cadmium

Les batteries de nickel-Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages [21] :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxique à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

II.4.3 La batterie solaire maison lithium

Les batteries solaires lithium comptent parmi les plus populaires du marché. En pleine expansion, cette technologie se retrouve partout dans notre quotidien : dans nos voitures et nos Smartphones. Elle incarne l'innovation d'aujourd'hui et de demain comme tend à le démontrer (la nouvelle batterie lithium Powerwall de Tesla).

Les batteries au lithium sont plus légères et plus compactes que les batteries au plomb. Elles peuvent également être déchargées plus profondément que les batteries au plomb. Elles sont particulièrement sollicitée pour leur durée de vie étendue : elles peuvent monter jusqu'à 6 000 cycles à un taux de décharge de 80%.

Côté bilan écologique, la batterie lithium fait aussi figure de bon élève comparativement aux batteries au plomb : son niveau de recyclage est proche de 70 %.

Leur principal inconvénient, du moins pour le moment, est qu'elles sont nettement plus onéreuses que les batteries au plomb pour un stockage identique, ce qui en fait un investissement encore peu rentable aujourd'hui.



Figure II.9: Accumulateur lithium [24]

	Lithium	Plomb ouvert	AGM	Gel
Durée de vie	Bonne durée de vie + 10 ans	Faible durée de vie (3-5 ans)	Faible durée de vie (4 ans)	Durée de vie moyennement bonne (6-10 ans)
Valeur de produit	Cher, mais recyclable à 70%	Peu cher	Faible recyclage	Prix élevé
Polyvalence	Légère et compacte	Besoin d'entretien et dégageant de l'hydrogène	Sans entretien et étanche	Pas d'entretien et étanche
Utilisation	Meilleure option pour l'exploitation de l'énergie solaire par sa polyvalence et sa durabilité	Meilleur choix pour une utilisation hors réseau	Meilleure option pour une utilisation de secours	Option idéal pour une utilisation en site isolé ou camping-car.

Tableau II.3 : les types de batteries idéales pour le solaire (récapitulatif)

II.4.4 La batterie virtuelle

Une alternative aux batteries solaires classiques est le stockage virtuel qui n'est donc plus physique, mais pour laquelle l'utilité reste toujours la même : stocker son surplus d'énergie dans le but de le réutiliser plus tard.

Dans le cas d'une batterie physique, l'électricité est stockée dans solution de stockage installée en complément de panneaux solaires.

Avec le stockage virtuel, c'est assez similaire. L'énergie en surplus n'est pas stockée dans une solution physique, mais directement réinjectée pour en faire bénéficier les autres via le réseau électrique.

Il n'y a pas de stockage d'énergie électrique à proprement parler, mais simplement une redistribution vers le réseau. Toutefois, cette énergie étant produite depuis l'installation au départ, Attention, cette redistribution ne vous est pas entièrement profitable, car il vous faudra compter les frais d'acheminement et taxes associées [25].

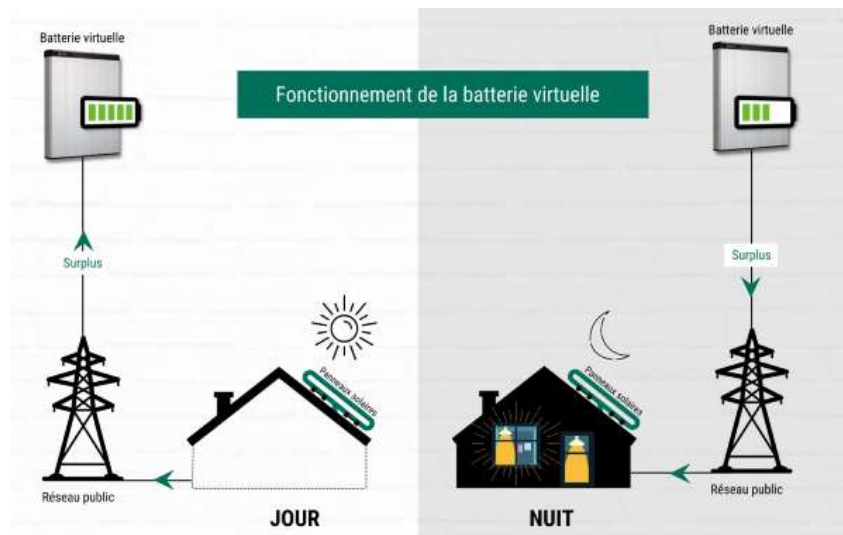


Figure II.10: stockage de batterie virtuelle

II.5 Connexion d'une batterie

Dans un système 12 V, plusieurs batteries peuvent être disposées dans une connexion ou une chaîne appelée mise en parallèle. Cela signifie que plusieurs batteries sont connectées pour augmenter l'ampérage total ou les ampères-heures disponibles pour le système. Cela permet de faire fonctionner l'électronique pendant une plus longue période sans avoir à recharger les batteries. Voici un schéma montrant une connexion parallèle de deux batteries 12 V [26].

Connexion parallèle
= 12 Volts et 800 A/H

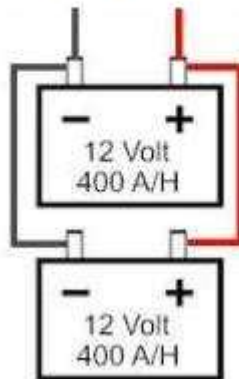


Figure II.11: connexion en parallèle

Dans d'autres cas, plusieurs batteries peuvent être connectées en série. La partie série fait référence à plusieurs batteries connectées en ligne bout à bout pour augmenter la tension disponible. Deux batteries de 12V connectées en série finissent par produire plus de tension ($12V + 12V = 24V$). Voici un schéma d'une connexion en série.

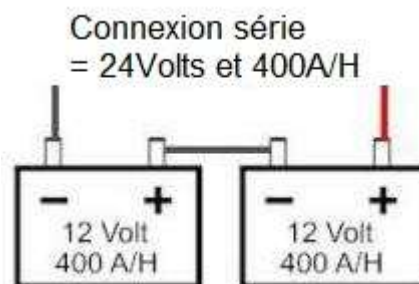


Figure II.12: connexion en série

Un autre style de connexion est appelé Série / Parallèle. Il permet d'augmenter le voltage total et l'ampérage total. ($12V + 12V = 24V$ et $6A + 6A = 12A$). Voici un diagramme montrant plusieurs batteries connectées en série / parallèle.

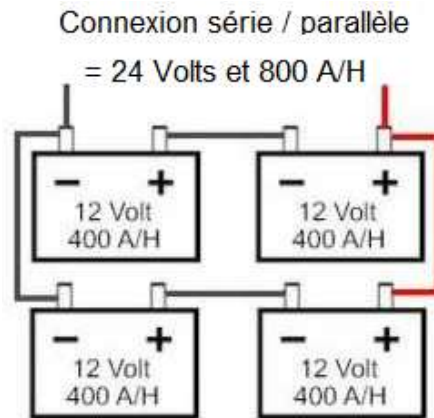


Figure II.13: connexion en série/parallèle

II.6 Sécurité et bon fonctionnement des batteries

La sécurité des personnes est primordiale dans l'usage des batteries, car celles-ci dégagent de l'hydrogène. Au contact de l'oxygène présent dans l'air, en présence d'une flamme, ce gaz provoque des explosions violentes. Il est donc impératif de ventiler le local pour éviter l'accumulation d'hydrogène. Dans les régions à basse température, il est nécessaire de prendre en compte le problème du gel dans le choix de type de batteries.

II.7 Conclusion

L'énergie issue directement des panneaux PV est utilisée soit par une batterie ou une charge, en passant par des circuits d'acquisition, d'adaptation et de régulation. Lorsque le dimensionnement est correct, la batterie sera le réservoir d'énergie, que l'on remplira d'un côté par les panneaux PV et videra d'un autre côté par le récepteur. Ces deux événements peuvent être simultanés ou non. La batterie impose la tension du montage du régulateur de charge et stabilisera ainsi la tension fournie à la charge (récepteur). Le choix du nombre de panneaux et de ses caractéristiques, de la batterie et la méthodologie de charge seront basés sur les concepts théoriques développés dans ce deuxième chapitre.

Chapitre III: Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

III.1 Introduction

Les batteries rechargeables sont largement utilisées dans les systèmes photovoltaïques autonomes pour emmagasiner le surplus d'énergie. Ces batteries sont cependant si fragiles devant les phénomènes de surcharge, de décharge profonde et les dérives de température et de courant qu'il faut leur associer un régulateur de charge approprié pour assurer leur protection. L'importance d'un régulateur de charge dans un système photovoltaïque autonome n'est donc plus à discuter. Il doit cependant être réalisé avec le plus grand soin pour répondre aux exigences de coût, de simplicité, de généralité et de fiabilité.

Lors de la mise au point d'un tel composant, un certain nombre de problèmes se posent notamment parce qu'il existe plusieurs schémas possibles pour le contrôle de charge. Les contraintes supplémentaires imposées au régulateur de charge, telles que la possibilité de varier les paramètres de l'algorithme de contrôle, d'afficher numériquement les grandeurs utiles du système et la possibilité d'analyser son fonctionnement par ordinateur apportent des complications supplémentaires au problème de mise en oeuvre et favorisent les solutions à base de microcontrôleurs.

L'objet de ce chapitre est de présenter les étapes de conception et réalisation d'un régulateur de charge/décharge de batterie, fonctionnant sous le contrôle d'un ARDUINO UNO offrant la possibilité d'afficher numériquement les grandeurs utiles du système. Tout d'abord nous avons commencé par une approche théorique du système puis par la suite nous avons expliqué son principe de fonctionnement et les différentes phases de simulation.

III.2 Un régulateur de charge

Comme son nom l'indique, le régulateur de charge est 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 qui est l'élément le plus sensible et fragile de l'installation. Connecté au cœur du système, il est branché à la fois sur les modules solaires, la batterie et les appareils qui consomment l'électricité (la charge), si la batterie était à pleine charge et que les modules continuaient de lui fournir de l'énergie, il y aurait alors surcharge et la batterie se détériorerait. De même, il est recommandé de ne pas vider entièrement une batterie. Ainsi, même s'il s'agit d'une batterie à décharge profonde, il vaut mieux ne pas descendre en dessous de 50% à 80%

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

de décharge pour ne pas trop la dégrader. Le régulateur augmente donc sa durée de vie en lui évitant des états extrêmes.

III.3 Schéma de base d'un régulateur de charge

Le régulateur de charge (contrôleur de charge) est associé à un générateur photovoltaïque GPV et une batterie (figure 19), il a pour rôle de contrôler la tension et le courant venant des panneaux solaires vers la batterie, donc il assure la protection des batteries contre les surcharges 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.

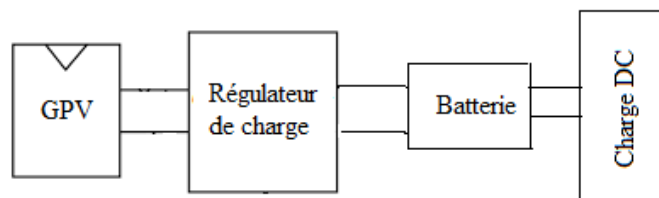


Figure III.1: Schéma de base d'un régulateur de charge

III.4 Différents types de régulateurs

Les deux types de contrôleurs de charge les plus couramment utilisés dans les systèmes d'énergie solaire actuels sont basés sur la modulation de largeur d'impulsion (MLI ou Pulse Width Modulation : PWM) et la poursuite du point de puissance maximale (MPPT).

III.4.1 Régulateur de charge PWM

Le contrôleur de charge (PWM) est le moyen le plus efficace pour obtenir une charge de batterie à tension constante en ajustant le rapport cyclique (α) des commutateurs (MOSFET). Dans le contrôleur de charge PWM, le courant du panneau solaire diminue en fonction de l'état de la batterie et des besoins de recharge. Lorsque la tension de la batterie atteint le point de consigne de régulation, l'algorithme PWM réduit lentement le courant de charge pour éviter le réchauffement et le dégazage de la batterie; cependant la charge continue à transférer le maximum d'énergie à la batterie dans les délais les plus brefs. La tension délivrée par le

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

générateur PV sera abaissée par le contrôleur PWM à une valeur proche de celle de la batterie [27].

Le contrôleur PWM est un commutateur qui connecte le panneau solaire à la batterie.

Lorsque l'interrupteur est fermé, le panneau et la batterie seront presque à la même tension.

En supposant qu'une batterie est déchargée, la tension de charge initiale sera d'environ 13V et, en supposant une perte de tension de 0,5 V sur le câblage plus le contrôleur, le panneau sera à $\approx 13,5V$. La tension augmentera lentement avec l'état de charge de la batterie. Lorsque la tension d'absorption est atteinte, le contrôleur PWM commence à déconnecter et à reconnecter le panneau afin d'éviter toute surcharge [29].



Figure III.2: contrôleur de charge PWM [28]

III.4.2 Régulateur de charge MPPT

Actuellement, le régulateur de charge solaire le plus utilisé est celui basé sur l'algorithme MPPT. 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 est basé sur un circuit convertisseur Buck synchrone. Il diminue la tension du panneau solaire à la tension de charge de la batterie. Il 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

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

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. Le contrôleur de charge MPPT est un convertisseur DC/DC qui convertit l'énergie à haute tension en énergie à basse tension. Par conséquent, si la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée, le courant de sortie sera supérieur au courant d'entrée, de sorte que le produit $P = VI$ reste constant. Ainsi, pour tirer le maximum d'énergie des panneaux solaires, le contrôleur de charge doit pouvoir sélectionner le point de courant-tension idéal dans la courbe courant-tension : le point de puissance maximale. MPPT fait exactement cela. La tension d'entrée du contrôleur PWM est en principe égale à la tension de la batterie connectée. Ainsi, les panneaux solaires ne sont pas utilisés à leur propre point de puissance maximale, dans la plupart des cas [29].

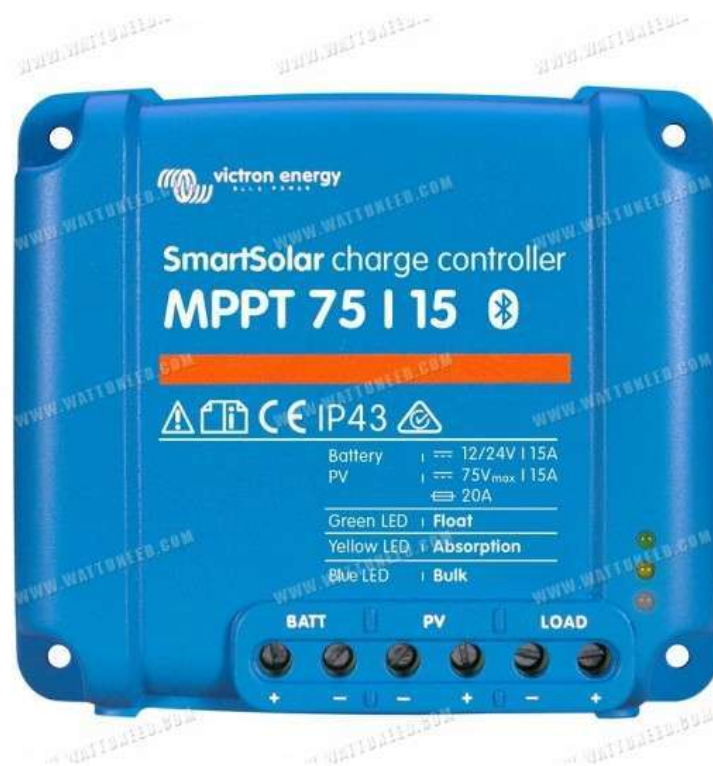


Figure III.3: contrôleur de charge MPPT

III.5 Etapes de charge d'un contrôleur de charge

La majorité des contrôleurs de charge passent par trois cycles ou étapes de charge

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

(Figure III.4), à savoir :

III.5.1 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 [27].

III.5.2 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 [27].

III.5.3 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 [27].

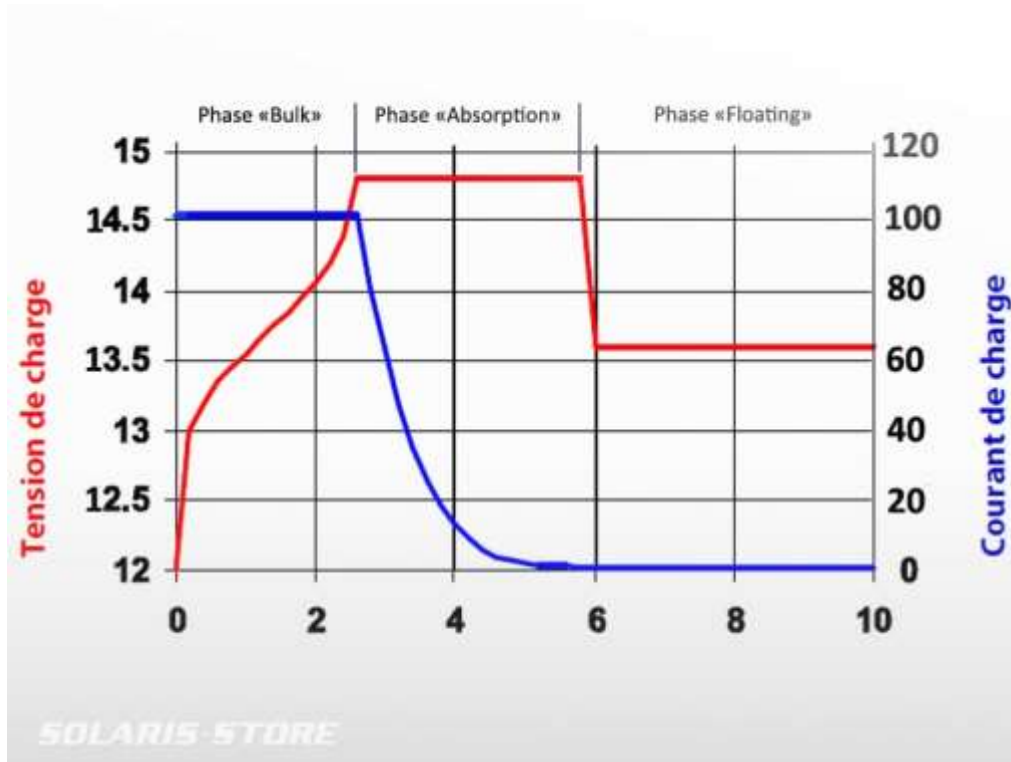


Figure III.4: Relation entre le courant et la tension pendant les 3 phases du cycle de charge [30]

III.6 Réalisation et Présentation des éléments électriques utilisés :

La conception et la fabrication d'un régulateur de charge solaire de A à Z imposent du matériel spécifique, une connaissance globale de différentes techniques employées, et surtout beaucoup de temps et de patience. Pour cela, il faut établir un cahier des charges, définir ses besoins et où à aboutir (type de cellules, puissance, modes et techniques de commande), Essayer d'autres modèles pour avoir une idée, tenter d'anticiper les évolutions futures, lister le matériel et suivre un plan.

III.6.1 La carte ARDUINO UNO

Un ARDUINO (UNO) est une petite carte avec une électronique programmable. Avec un ARDUINO contrôler divers composants électriques. (lumières, aux interrupteurs, aux moteurs et aux divers capteurs).

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

La carte ARDUINO UNO est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. Des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enfiler une série de modules complémentaires.

Le langage de programmation ARDUINO uses est très similaire au C ++, un langage courant dans le monde informatique. Le code pour lequel vous apprenez à écrire ARDUINO sera très similaire au code que vous écrivez dans un autre langage informatique.

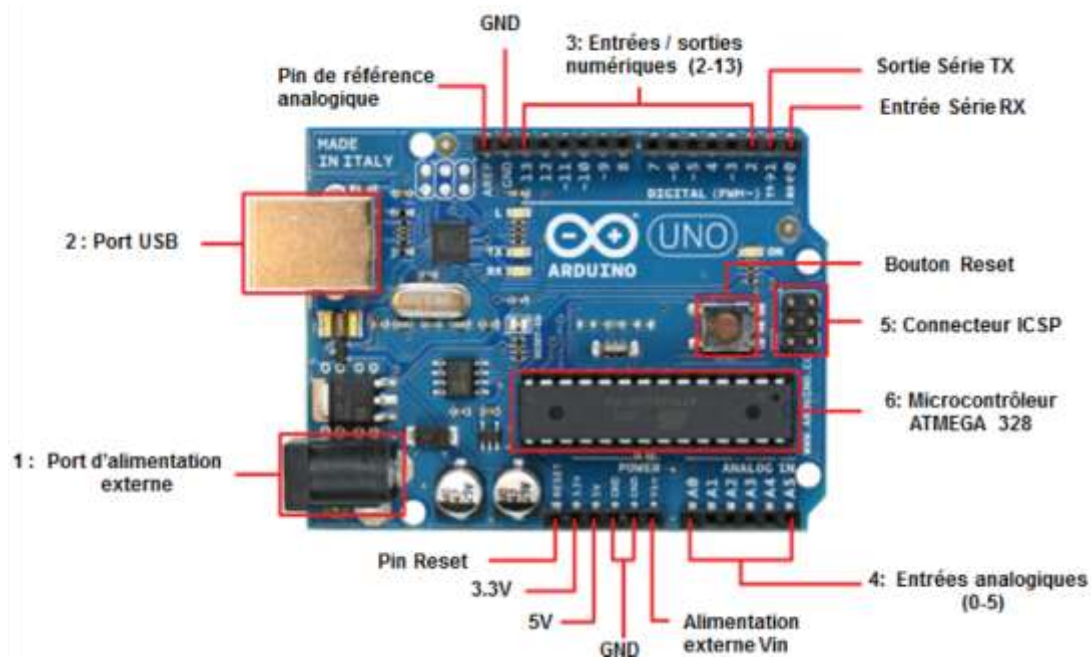


Figure III.5: les différentes pièces d'une carte ARDUINO UNO

III.6.2 Batterie a gel

La technologie de la batterie solaire gel a tendance à supplanter les autres modèles à base de plomb de part ses caractéristiques plus performantes. Sur le marché du solaire, elle est considérée comme l'évolution haut de gamme des batteries au plomb.

Les batteries gel, à l'instar des batteries AGM, sont étanches et ne nécessitent pas d'entretien sous forme d'ajout d'eau distillée. Elles supportent également mieux les décharges profondes. À 50 % de décharge, elles peuvent durer plus de 1000 cycles. En termes de durée de vie, cela représente entre 6 et 10 ans pour une application solaire.

Notez néanmoins que la batterie gel supporte mal une vitesse élevée de charge et de décharge. Il lui faut donc une application en décharge lente pour optimiser son nombre de cyclages. De

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

plus, elle présente un prix élevé : environ le double de la batterie plomb ouvert. Il faudra également la conserver dans un lieu frais ou climatisé.



Figure III.6: une batterie a gel

III.6.3 Un panneau solaire

Un panneau solaire est un dispositif plat d'environ 1 m² qui s'installe sur votre toiture. Il est destiné à récupérer l'énergie du rayonnement solaire pour la transformer en chaleur et :

- chauffer l'eau sanitaire via des capteurs thermiques
- produire de l'électricité grâce à des cellules photovoltaïques

Le panneau solaire peut aussi combiner ces deux fonctions (thermique et photovoltaïque). Il s'agit alors d'un panneau hybride.

Grâce à des matériaux dits "semi-conducteurs", les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité lorsqu'ils sont éclairés par le soleil. Les cellules qui les composent transforment l'énergie solaire en un courant continu.

Ce courant est transformé en courant alternatif par un onduleur pour :

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

- être directement consommé dans votre maison, c'est l'autoconsommation
- être réinjecté dans le réseau électrique, c'est la revente



Figure III.7: Un panneau solaire

III.6.4 Capteur de courant alternative à effet de Hall ACS712

Basé sur la puce ACS712 d'Allegro, ce capteur se branche en série avec la charge sur un circuit alternatif (AC) ou continu (DC) et permet de mesurer le courant qui traverse le capteur. Il utilise le champ magnétique généré par le courant (et donc l'effet hall) pour mesurer le courant qui le traverse. Le module propose en sortie une tension continue proportionnelle au courant à raison de 0.066V/A (66mV par ampère). Vous pouvez donc lire cette tension sur une entrée analogique de votre Arduino et obtenir une valeur de courant (A) voir une valeur de puissance (W, en multipliant le courant mesuré par la tension du circuit)

Ce capteur, fonctionnant par effet Hall, est donc sensible au champ magnétique qui pourrait fausser vos mesures. Le simple fait d'approcher un aimant de l'ACS712 modifie la tension de sortie du capteur. Il est également important de faire une lecture à vide (sans courant) pour

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

obtenir la valeur de calibration V_{ref} du module (qui devrait être $V_{cc}/2$ soit 2.5V). Enfin, si vous câblez correctement la charge vous lirez une augmentation de la tension en sortie mais si vous inversez le câblage vous lirez une diminution de la tension de sortie [31].

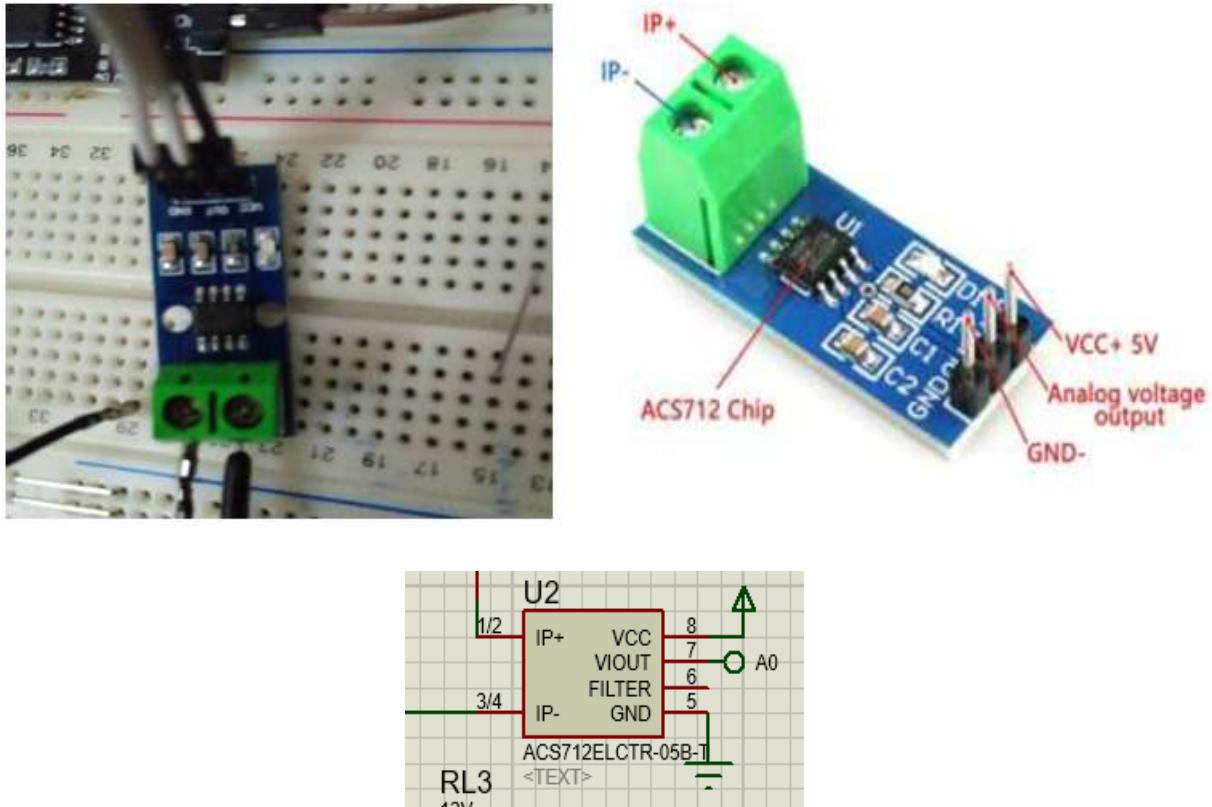


Figure III.8: Connexions du capteur de courant alternatif à effet de Hall ACS712

III.6.4.1 Caractéristiques techniques de Acs712

- Dimensions: 31x13x15mm
- Puçe: ACS712ELEC-30A
- Gamme de courant mesuré: -30A à +30A
- V_{ref} @ 0A: $V_{cc}/2$ soit 2.5V
- Sensibilité: 66mV/A
- Isolation: 2.1KV
- Consommation: 10mA
- Erreur: 1.5% @25°C
- Alimentation: 5VDC (4.5-5.5VDC)
- Poids: 2g

III.6.5 Mesure des tensions

Pour avoir une image de la tension du panneau PV ou aux bornes de la batterie, il suffit d'utiliser tout simplement un diviseur de tension constitué de deux résistances montées en série comme nous l'indique la figure suivante et ceci pour ne pas dépasser la valeur de 5v tolérée aux entrées du Microcontrôleur.

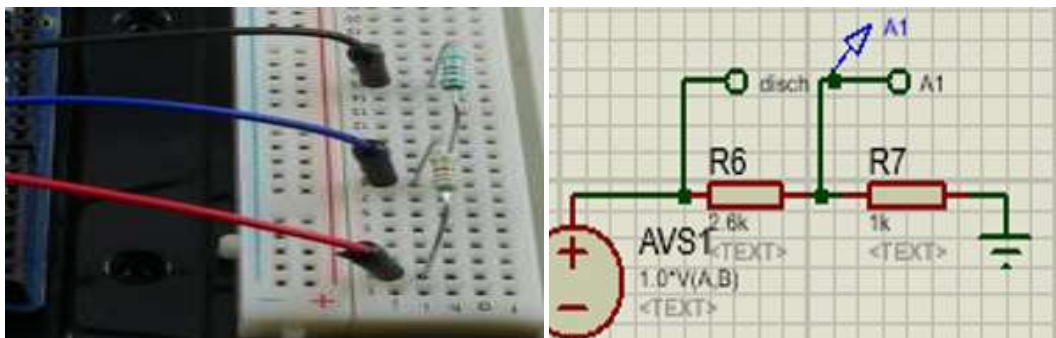


Figure III.9: Circuit de mesure des tensions

Pour déterminer les valeurs des résistances, il suffit de fixer la valeur d'une des deux et de calculer la valeur de la deuxième en appliquant certaines lois d'électroniques (loi d'ohm, des mailles et des nœuds) selon les équations suivantes :

$$30. \frac{R2}{R1 + R2} = 5 \quad (\text{III.1})$$

Ce qui donne :

$$R1 = 5R2 \quad (\text{III.2})$$

Si on prend, par exemple, $R1=100 \text{ k}\Omega$, on obtient une valeur de $R2$ égale à $18\text{k}\Omega$ environ.

III.6.6 Afficheur LCD de type 2×16

L'afficheur LCD est en particulier une interface visuelle entre un système (projet) et l'homme (utilisateur). Son rôle est de transmettre les informations utiles d'un système à un utilisateur. Il affichera donc des données susceptibles d'être exploiter par l'utilisateur d'un système.

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

Il s'agit d'un afficheur parallèle 16 caractères 2 lignes avec affichage rétro éclairé bleu (LCDD162BL) il est doté d'une liaison I2C ou série. Pour ce qui nous concerne, nous avons utilisé la liaison I2C.

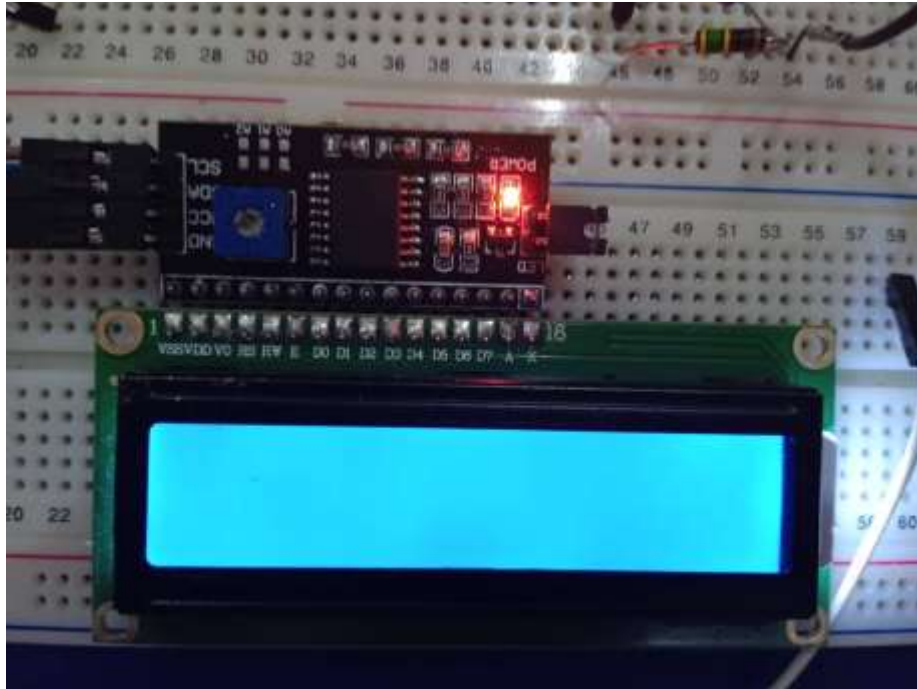


Figure III.10: Face avant d'afficheur LCD

Nous utilisons l'écran LCD pour afficher différentes informations :

- 1- message d'accueil
- 2- le fonctionnement de notre système
- 3- La tension du panneau et le niveau de la batterie.

Le processus de communication entre l'ARDUINO et l'écran LCD est respectivement comme suit.

Broche RS LCD à la broche digitale D12 ;

- Broche E LCD à la broche digitale D11 ;
- Broche D4 LCD à la broche digitale D4 ;
- Broche D5 LCD à la broche digitale D5 ;
- Broche D6 LCD à la broche digitale D6 ;
- Broche D7 LCD à la broche digitale D7 ;
- Les deux broches « A et K » sont pour l'allumage du néon bleu de l'écran.

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

De plus, on connecte trois bornes de la résistance variable 10 k Ohm + 5V, GND et la broche Ve de LCD respectivement afin de contrôler la contraste de LCD. Egalement on relie les broches d'alimentation (+ 5V et GND).

III.6.7 Le Relais de 12 volts

Un relais électromécanique est doté d'un bobinage en guise d'organe de commande. La tension appliquée à ce bobinage va créer un courant, ce courant produisant un champ électromagnétique à l'extrémité de la bobine (il ne s'agit ni plus ni moins que d'un électro-aimant). Ce champ magnétique est capable de faire déplacer un élément mécanique métallique monté sur un axe mobile, qui déplacera alors des contacts mécaniques [32]

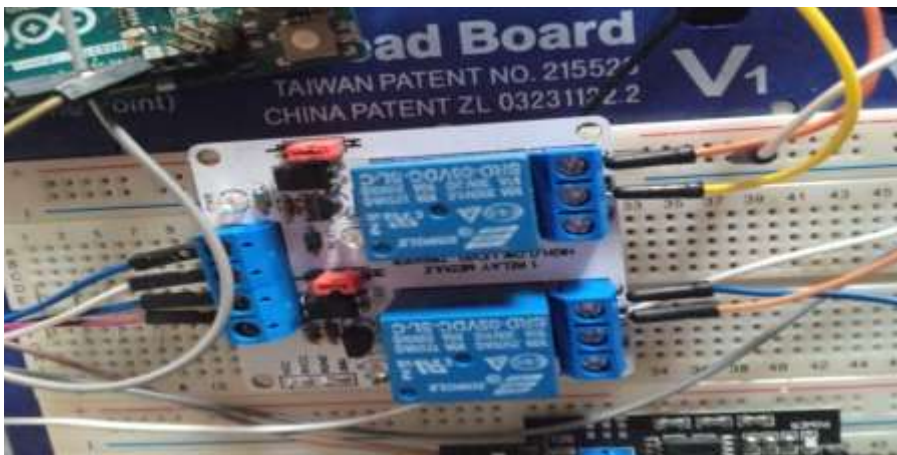


Figure III.11: un relais électromécanique de 12 Volts

Afin de commander les deux relais via les PINs « D8, D9 » de la carte ARDUINO, il nous faut une amplification des signaux de commande qui sont de niveau 5 Volts, la nature des relais utilisés exige un seuil de 12 Volts, les éléments utilisés nous aident à réaliser cet étage d'amplification et qui sont:

- Une résistance 1 kΩ « pour limiter le courant traversant la base du transistor » ;
- Un transistor BC548 de type NPN « pour amplification »;
- Une diode 1N4007 « pour protéger le circuit du courant inverse».

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

Le tableau qui suit présente tous les éléments utilisés pour monter cette simulation

Eléments	Types	Valeurs	Quantités
ARDUINO	UNO	/	1
Afficheur	LCD 16×2	/	1
CAPTEUR DE COURANT ACS712 - 30A	ACS712	30A	1
Relai électromécanique	SPDT	5V	3
Cellule rechargeable	Plomb a gel	13.5V	1
Resistance	R1	1kΩ	1
	R2	2.6k Ω	1
	R3	1k Ω	1
	R4	1k Ω	1
Diode	1N4007	/	3
Transistor	NPN BC547	/	3
Resistance variable	Potentiomètre	10kΩ	1
Moteur	Sumple DC Model	13.5V	1

Tableau III.1: Les éléments électriques utilisés

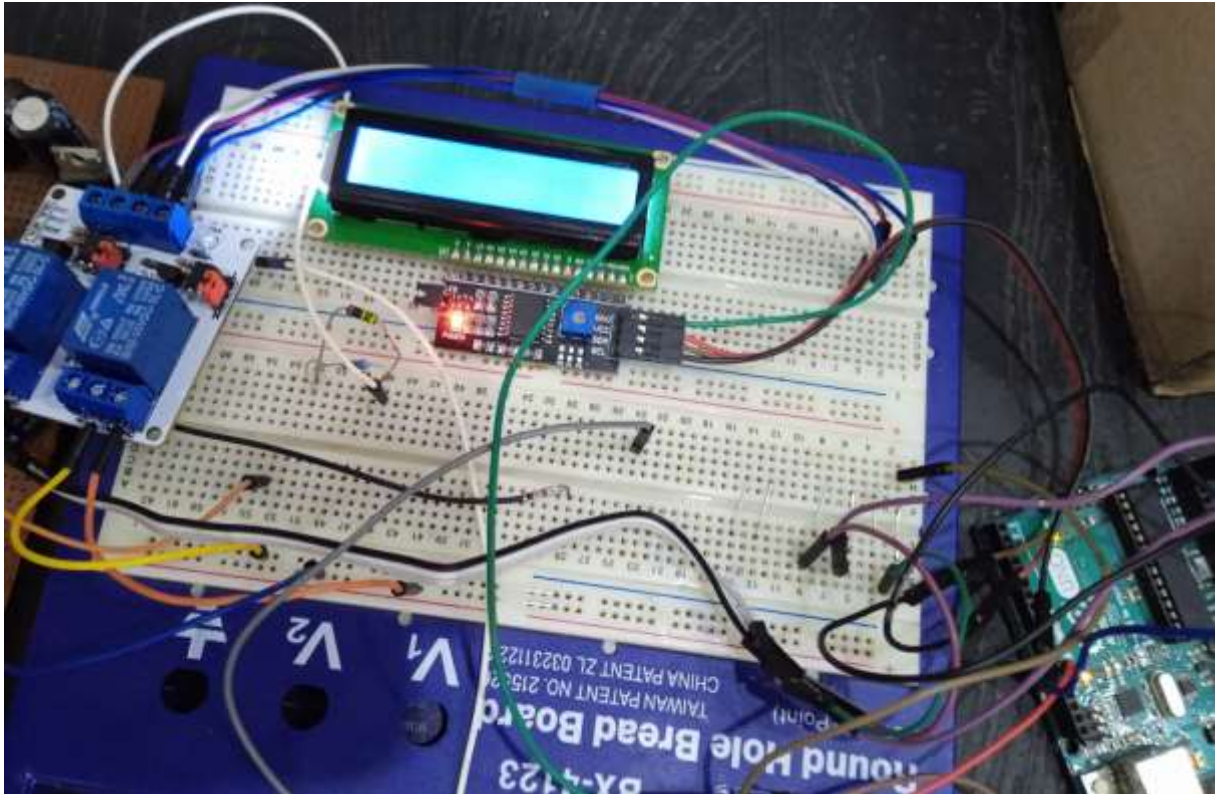


Figure III.12 : photo du système

III.7 Simulation pratique :

Sur (la figure III.13) on présente le schéma synoptique général d'un charge de cellule a gel pour un mini pack composé un cellule de Plomb a gel AGM pour une tension globale de 13.5 Volts « nominale ».

Selon un algorithme implémenté dans le microcontrôleur de la carte ARDUINO UNO [Annexe] qui présente le cerveau du dispositif, on a besoin de lire les tensions et les courants à tout moment et qui sont pris par la carte afin de générer des signaux de contrôle pour le mécanisme deux relais où ces derniers présentent le bloc de puissance qui sont alimentés avec 18 Volts. La tension d'alimentation est réglée à travers un régulateur de type Module de capteur de courant afin d'assurer une telle tension avec un courant de 2 ampères. Tous les événements seront affichés sur un LCD de type 2x16.

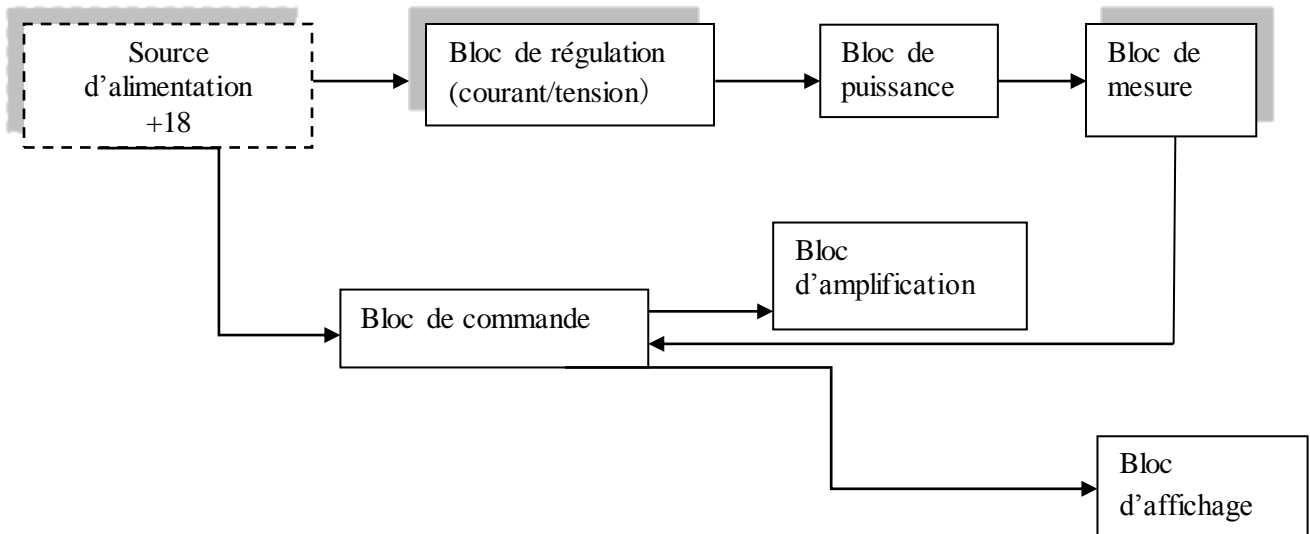


Figure III.13: Schéma synoptique du dispositif

III.7.1 Bloc d'alimentation

On utilise un Panneau de 18Volts comme une source d'alimentation et la carte ARDUINO sera alimentée sur la broche Vin.

III.7.2 Bloc de régulation

On a employé deux modes (Charge / Décharge), et pour cela on a utilisé circuits intégrés capteur de courant ACS712 pour la régulation du courant et le diviseur de tension pour la régulation de la tension.

III.7.3 Bloc de mesure

La carte ARDUINO UNO contient six entrées analogiques dont on a besoin que de deux broches analogiques, qui sont respectivement « Vbatt , Ibatt » l'une pour la tension de la batterie et l'autre pour le courant de charge) utilisant deux modules diviseur de tension et Résistance shunt.

III.7.3.1 Résistance shunt

Pour mesurer le courant de charge, on utilise la loi d'ohm. Le courant complet circulant dans la batterie est amené à traverser la résistance de shunt. Ensuite, par la loi d'ohm, on sait que la chute de tension à travers cette résistance est proportionnelle au courant qui la traverse. En outre, on choisit la valeur de la résistance shunt 2.2Ω , et on mesure la tension qui lui est appliquée en utilisant l'autre broche analogique ARDUINO « A1 », en conservant la loi précédente.

$$V = R \times I \quad (\text{III.3})$$

III.7.3.2 Diviseur de tension

La tension maximale des entrées analogiques de la carte ARDUINO est de l'ordre de 5 Volts, et on a une tension supérieure aux bornes de la batterie « 18 Volts en mode Charge », donc on doit avoir une équivalence entre ces deux tensions. Cela se fait exactement au moyen d'un circuit diviseur de tension. Ce circuit est connecté à la borne analogique A0.

$$\frac{V_{\text{arduino}}}{V_{\text{batterie}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{III.4})$$

Pour rendre la tension de sortie vouté la moitié de la tension d'entrée d'origine « $V_{\text{batterie}} = 18 \text{ Volts}$, $V_{\text{ARDUINO}} = 13 \text{ Volts}$ », on a réduit la tension de sortie de la moitié de la tension d'entrée d'origine, cette tension de sortie est ensuite envoyée à la broche analogique ARDUINO. On peut en ensuite récupérer la valeur d'origine lors de la programmation de l'ARDUINO cela s'effectue facilement à l'aide de deux résistances de même valeur en tenant compte de la puissance (P) de la résistance pour éviter une surchauffe des résistances, la valeur des deux résistances utilisées est

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega. \quad (\text{III.5})$$

III.7.4 Bloc d'affichage

Afin d'afficher les diverses quantités mesurées ainsi que d'autres informations utiles, on a utilisé un afficheur LCD Alphanumérique de type 16×2 avec 16 broches où les PINs (VSS,

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

VDD, RS, R/W, Ve, E, D0,D1,D2,D3,D4, D5, D6, D7, A et K) sont connectées aux bornes de la carte Arduino UNO comme le montre sur la figure III.13

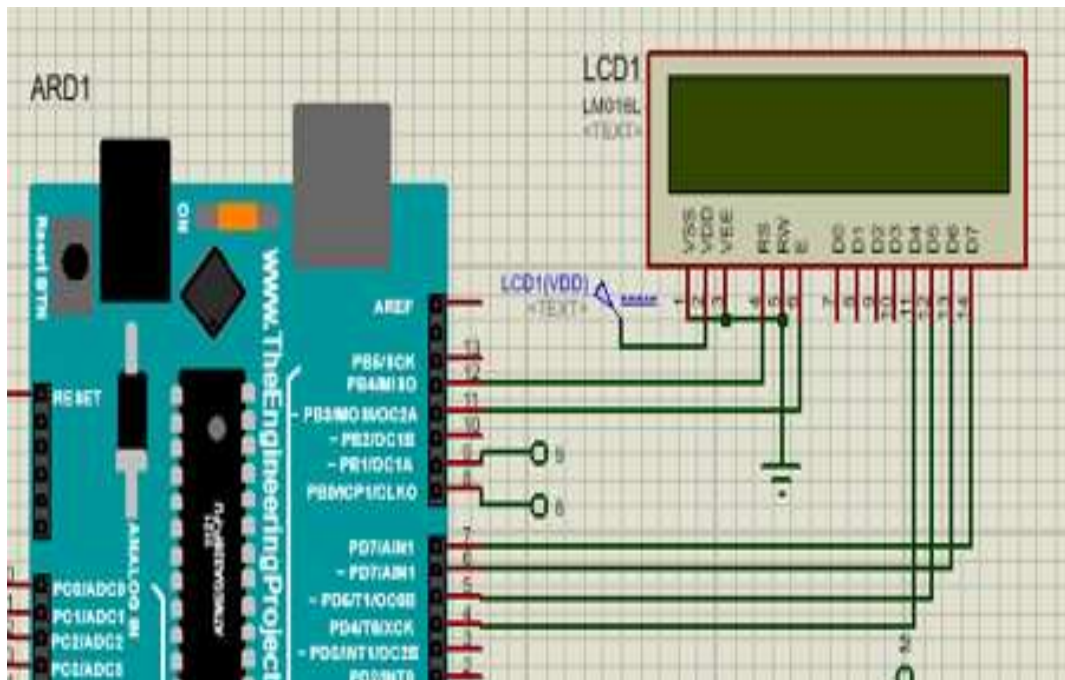


Figure III.14: Liaison commande affichage

L'écran LCD 16×2 présente 16 broches pour permettre la gestion de l'affichage et du contraste.

- VSS Relier à la masse de l'écran
- VDD Broche d'alimentation. Typiquement connectée à la broche 5V de l'ARDUINO.
- V0 Broche de contraste. Connecté à une sortie PWM ou à un potentiomètre.
- RS Registre Select. Permet de sélectionner la zone mémoire.
- RW Read or Write. Toujours à la masse.
- E enable. active ou non l'affichage
- D0 mode 8bits.4 bits de poids fort de la communication I2C
- D1 mode 8bits.4 bits de poids fort de la communication I2C
- D2 mode 8bits.4 bits de poids fort de la communication I2C
- D3 mode 8bits.4 bits de poids fort de la communication I2C
- D4 4 bits de poids faible de la communication I2C

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

- D5 4 bits de poids faible de la communication I2C
- D6 4 bits de poids faible de la communication I2C
- D7 4 bits de poids faible de la communication I2C
- A anode. borne + de la LED de rétro éclairage
- K katode. borne – de la LED de rétro éclairage

III.7.5 Bloc de puissance

Selon l'algorithme (Charge / décharge) utilisé pour piloter ce chargeur, le processus de commutation de charge se déroule en deux étapes.

- Etape de changement de phase du mode Charge au mode Décharge.
- Etape de déconnexion de la batterie.

Le premier relais est utilisé pour basculer entre les modes Charge et Décharge, et ce relais est alimenté par la broche ARDUINO « D8 ». Le relais est en mode Charge lorsqu'il est allumé et il passe du mode Charge au mode Décharge. De même, le deuxième relais est utilisé pour connecter ou déconnecter le chargeur de la batterie; Ce relais est alimenté par une broche ARDUINO « D9 », le relais déconnecte la batterie du chargeur et lorsqu'il est allumé, il connecte le chargeur à la batterie et pour le relais troisième reliée avec un Moteur est utilisé pour décharge la batterie,

On a choisi un relais électromécanique de 12 Volts de type SPDT comme indiqué Précédent sur Figure III.11.

III.8 L'organigramme de technique de charge décharge

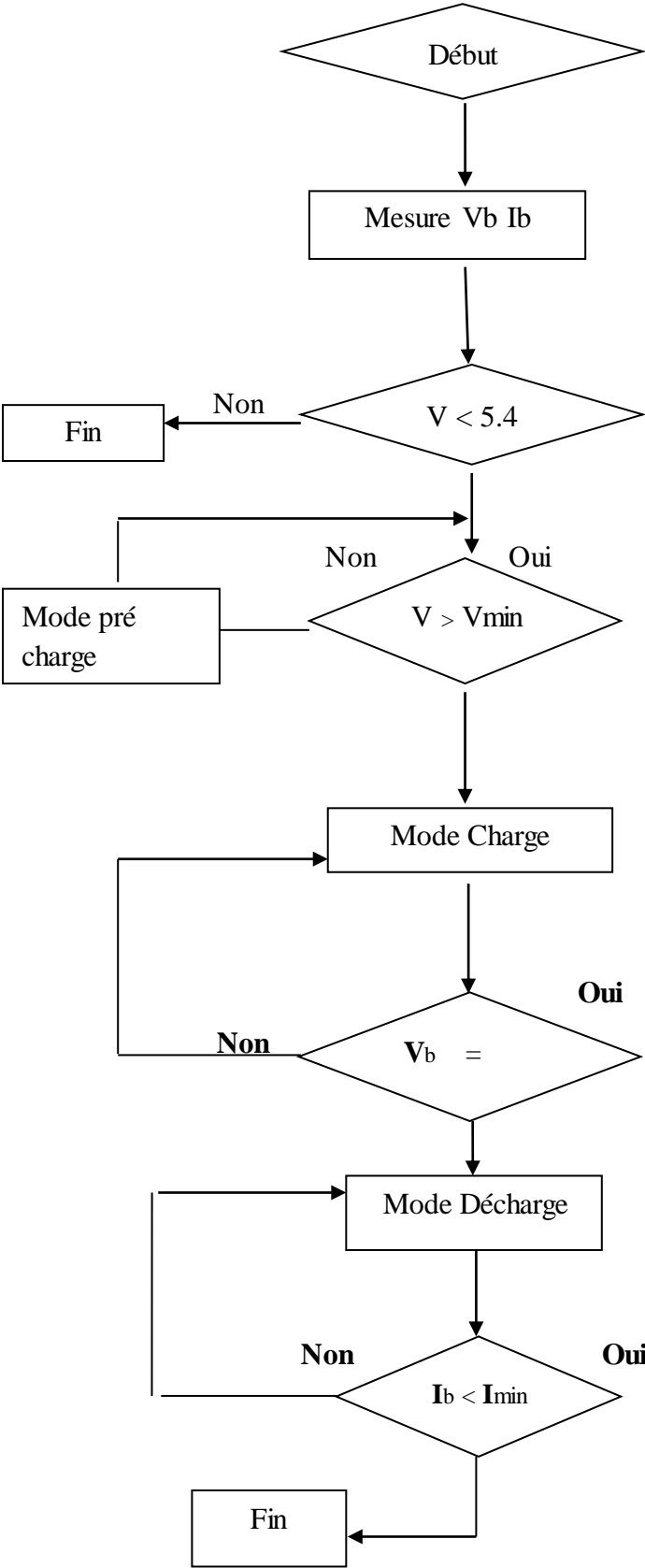


Figure III.15: Organigramme de l'algorithme Charge/Décharge

III.9 Langage de programmation

Afin de développer le programme contrôlant la charge de la batterie A gel, on utilise l'environnement de développement ARDUINO IDE qui est basé sur le langage C++, par la richesse des codes source accessibles et la disponibilité des bibliothèques qui facilitent l'utilisation des périphériques connectés à la carte ARDUINO. Le programme est injecté dans le microcontrôleur de la carte ARDUINO après l'avoir converti par le compilateur de l'IDE en code HEX.

III.10 Présentation de l'organigramme

Afin de faciliter la tâche de la programmation d'une telle carte « ARDUINO » on va passer tout d'abord par la réalisation d'un organigramme. Il est très essentiel pour élaborer un programme qui va permettre d'éviter plus facilement les erreurs, d'organiser le travail notamment s'il exécute un programme plus complexe.

L'organigramme ou logigramme se compose des formes qui ont une signification liée au texte. Ces éléments suivent un ordre exact.

Toute action est symbolisée par un rectangle et tout choix est symbolisé par un losange.

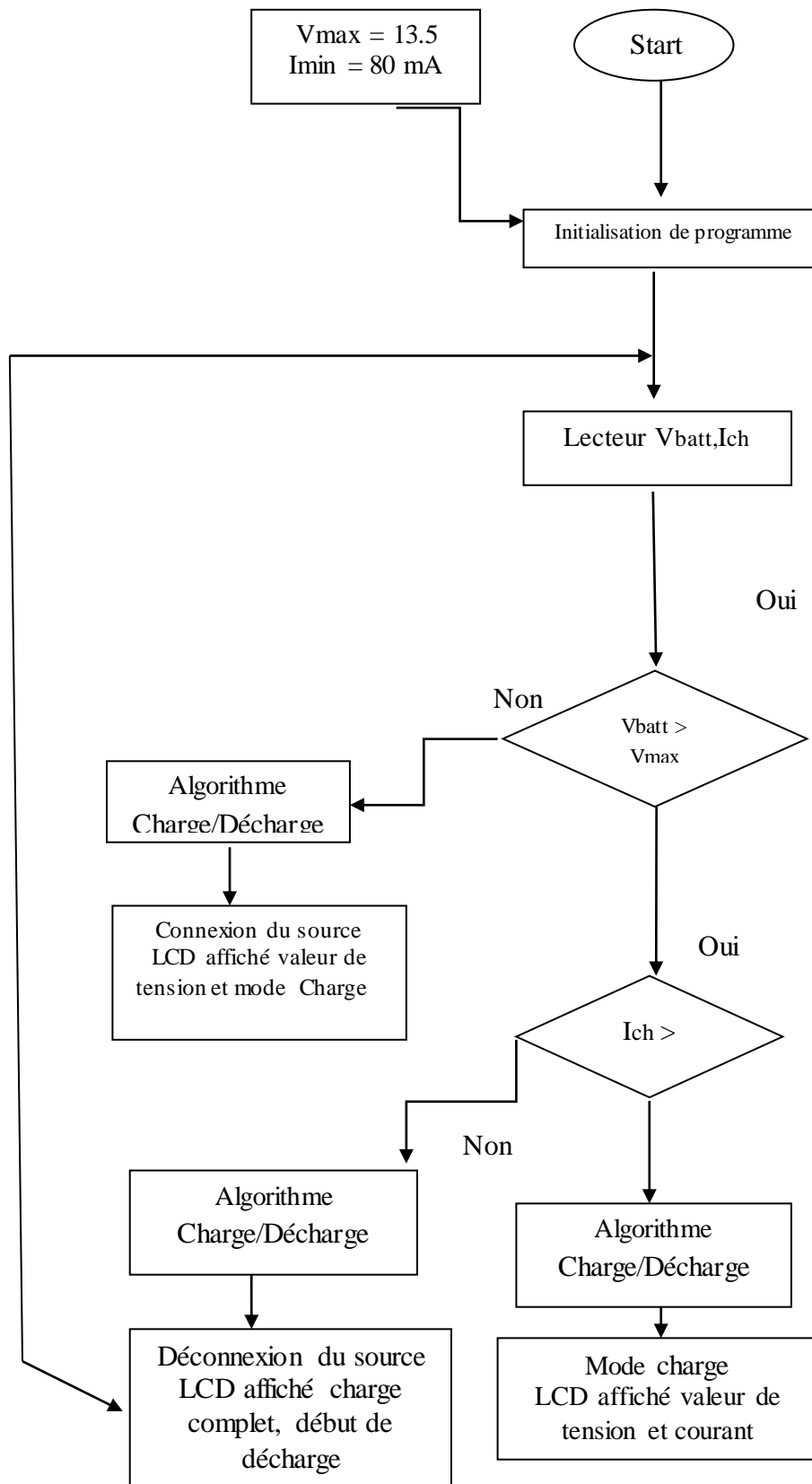
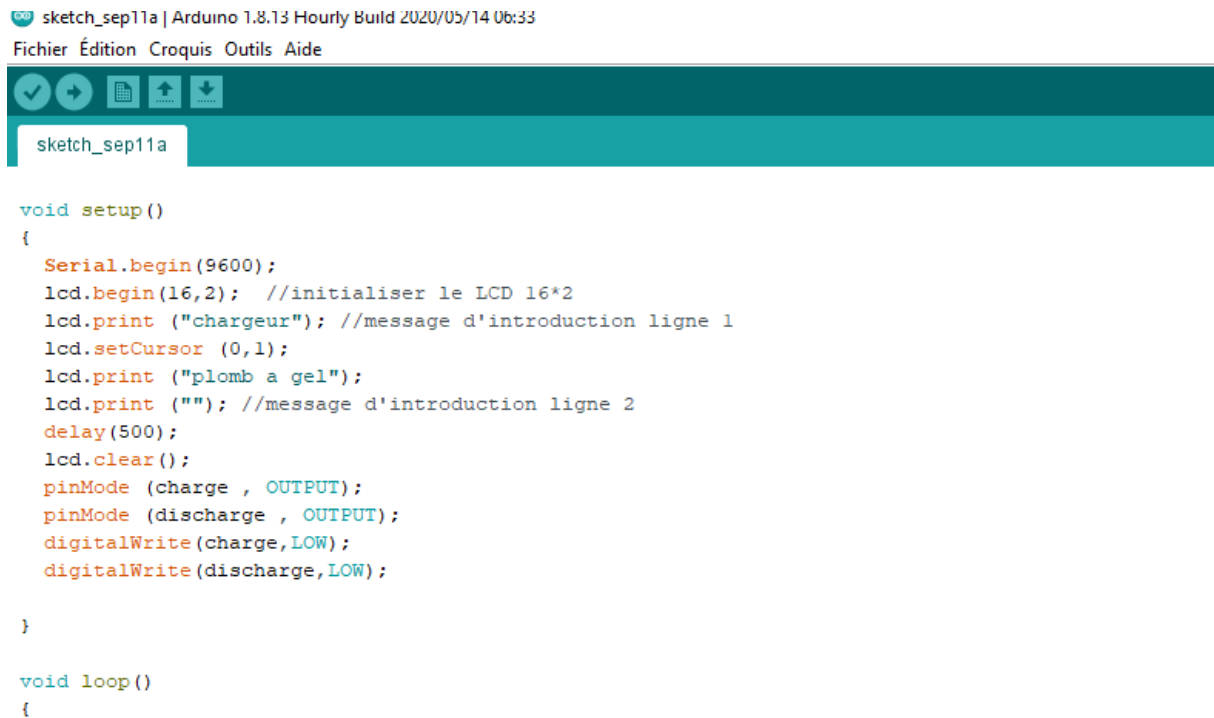


Figure III.16: Organigramme du Charge/Décharge de batterie Plomb a gel

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge



```
sketch_sep11a | Arduino 1.8.13 Hourly Build 2020/05/14 06:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_sep11a

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2); //initialiser le LCD 16*2
  lcd.print ("chargeur"); //message d'introduction ligne 1
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print ("plomb a gel");
  lcd.print (""); //message d'introduction ligne 2
  delay(500);
  lcd.clear();
  pinMode (charge , OUTPUT);
  pinMode (discharge , OUTPUT);
  digitalWrite(charge,LOW);
  digitalWrite(discharge,LOW);
}

void loop()
{
```

Figure III.18: la fonction Initialisation « setup » et configuration des (entrées / sorties)

La Figure III.19 montre le commencement de la boucle principale « loop » où on voit la déclaration de deux fonctions qui présentent les deux grandeurs à mesurer « la tension de la batterie et du courant de charge ». Pour convertir les valeurs analogiques en valeurs numériques sur une résolution de 10 bits, on multiplie nos grandeurs respectivement par la valeur 5 et la valeur 5000.



```
sketch_sep11a | Arduino 1.8.13 Hourly Build 2020/05/14 06:33
Fichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_sep11a

void loop()
{

  //initialement mesure la tension et le courant
  charge_voltage = (analogRead(voltagePin)*5)/1023; //mesurer la tension
  charge_voltage = (charge_voltage*13.5)/5;

  adcValue = analogRead(currentPin); //mesurer le courant
  adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
  charge_current = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);
```

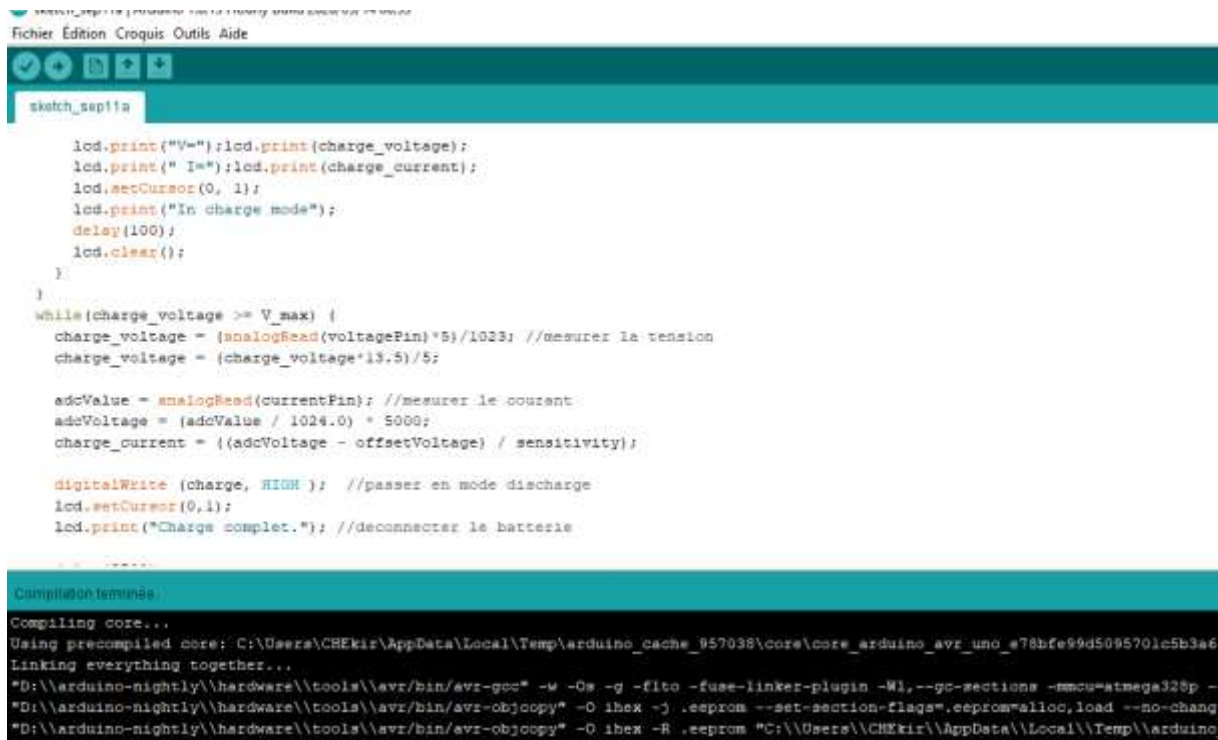
Figure III.19: Echantillon de la boucle principale

La figure III.20 présente la dernière partie de la boucle « while » de répétition si la tension dépasse V_{max} , le circuit passe en mode Décharge en réglant la broche de mode sur l'état haut. Le courant de charge peut varier en fonction des besoins de la batterie puisqu'une

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

tension de 13.5 Volts est appliquée à la batterie. Dans ce mode l'écran LCD affiche la valeur de la tension de la batterie et le courant de charge.

Ce courant de charge rentre dans une boucle de surveillance et lorsqu'il atteint une valeur en dessous de Imin, on peut terminer le processus de charge en déconnectant la batterie du chargeur et l'écran LCD affiche (Charge complet) . Pour ce faire, on désactive simplement le relais de charge [34].



```
lcd.print("V=");lcd.print(charge_voltage);
lcd.print(" I=");lcd.print(charge_current);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("In charge mode");
delay(100);
lcd.clear();
}
}

while(charge_voltage >= V_max) {
charge_voltage = (analogRead(voltagePin)*5)/1023; //mesurer la tension
charge_voltage = (charge_voltage*13.5)/5;

adcValue = analogRead(currentPin); //mesurer le courant
adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
charge_current = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);

digitalWrite (charge, HIGH ); //passer en mode discharge
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Charge complet."); //deconnecter la batterie
}
```

```
Compilation terminée
Compiling core...
Using precompiled core: C:\Users\CHEKIR\AppData\Local\Temp\arduino_cache_957038\core\core_arduino_avr_uno_e78bfe99d5095701c5b3a6
Linking everything together...
"D:\arduino-nightly\hardware\ttools\avr\bin\avr-gcc" -w -Oe -g -fno -fuse-linker-plugin -Wl,--gc-sections -mmcu=atmega328p -
"D:\arduino-nightly\hardware\ttools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --no-chang
"D:\arduino-nightly\hardware\ttools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\CHEKIR\AppData\Local\Temp\arduino
```

Figure III.20: Echantillon de la boucle principale « mode Charge »

La figure III.21 présente la dernière partie de la boucle « while true », si la tension dépasse Vmax, le chargeur passe en mode Décharge en réglant . Dans ce mode, l'écran LCD affiche la valeur de la tension de la batterie et le courant de Décharge.

Dans ce mode le relais deuxième est actif pour décharge la batterie, pour ce la l'écran LCD affiche la batterie est faible.

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

```
sketch_sep11a | Arduino 1.8.13 Hourly Build 2020/05/14 06:33
ichier Édition Croquis Outils Aide

sketch_sep11a
}

while(1){
  here:
  digitalWrite(discharge,HIGH);
  charge_voltage = (analogRead(voltagePin)*5)/1023; //mesurer la tension
  charge_voltage = (charge_voltage*13.5)/5;

  adcValue = analogRead(currentPin); //mesurer le courant
  adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
  charge_current = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);
  while(charge_voltage < (V_max*0.37)){
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("low battery");
    delay(100);
    lcd.clear();
  }
  lcd.print("V=");lcd.print(charge_voltage);
  lcd.print(" I=");lcd.print(charge_current);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("discharge mode");
}

compilation terminée.
compiling core...
sing precompiled core: C:\Users\CHEKir\AppData\Local\Temp\arduino_cache_957038\core\core_arduino_avr_uno_e78bfe9
inking everything together...
D:\arduino-nightly\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc" -w -Os -g -flto -fuse-linker-plugin -Wl,--gc-sections -mm
D:\arduino-nightly\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,
D:\arduino-nightly\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\CHEKir\AppData\Local
```

Figure III.21: Echantillon du programme « mode Décharge »

III.12 Réalisation de simulation

L'environnement CAO connu sous le nom de ISIS Proteus présente une plate forme de réalisation ; il permet de faire des testes sans craindre de gaspiller des composants électriques et de créer des défauts réels afin d'éviter d'endommager nos cartes. Ce CAO électronique perfectionné conçu par Labcenter Electroniques permet ainsi de dessiner des schémas électroniques, de les simuler et de réaliser les circuits imprimés.

La figure si dessous présente la réalisation virtuelle globale sous l'environnement ISIS Proteus avec l'utilisation de la carte Arduino Uno .Cette utilisation est argumentée ultérieurement.

III.12.1 Modèle de la batterie utilisée

Le logiciel «ISIS Proteus» ne contient pas de librairie ou de paquets « en anglais packages » pour batteries rechargeables tel que Plomb a gel on a donc modélisé à partir du composant « AVCVS » la source de tension contrôlée par tension arbitraire afin de simuler la courbe de charge de cette batterie. La figure III.22 présente le modèle de la batterie rechargeable Plomb a gel 13.5Volts.

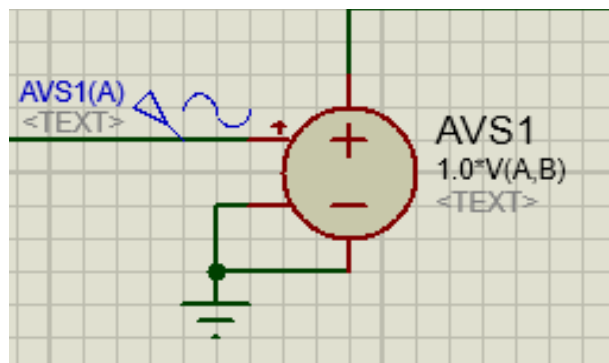


Figure III.22: Modèle de batterie Plomb a gel sous ISIS Proteus

III.12.2 Schéma globale

Sur la figure qui suit, on distingue les différents composants et connexions du Panneau réalisé avec la présence de batterie Plomb a gel simulé où on remarque que la carte utilisée comme cerveau est l'Arduino Uno. Il existe plusieurs broches qui ne sont pas utilisées ; ce qui prouve qu'il y a une grande possibilité d'ajouter autres capteurs pour améliorer le dispositif ainsi que le programme à l'avenir.

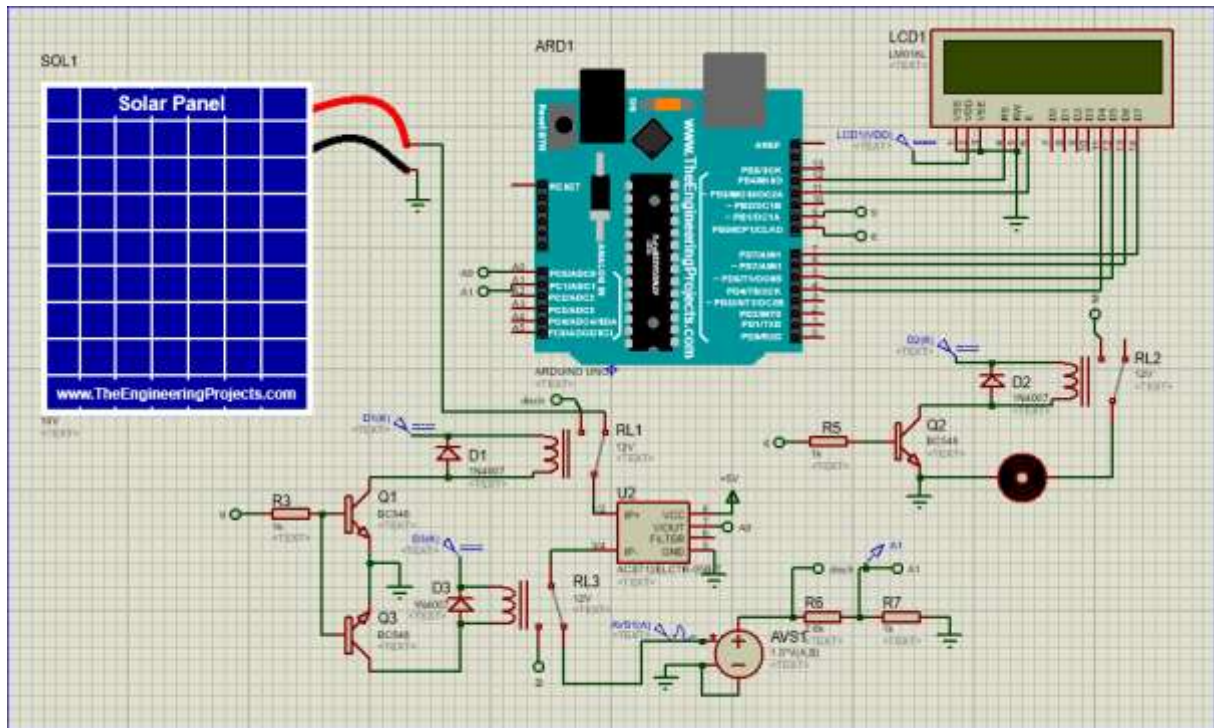


Figure III.23: Schéma global du dispositif réalisé sous ISIS Proteus

III.13 Résultats de la simulation

Après la réalisation de ce dispositif virtuellement, on a effectué un test de simulation avec le logiciel mentionné précédemment. Les figures III24 III25 et III26 présentent des imprimés écran de tous les modes cités précédemment et qui ont lieu pendant le processus de charge/décharge de la batterie et affichés sur l'écran LCD.

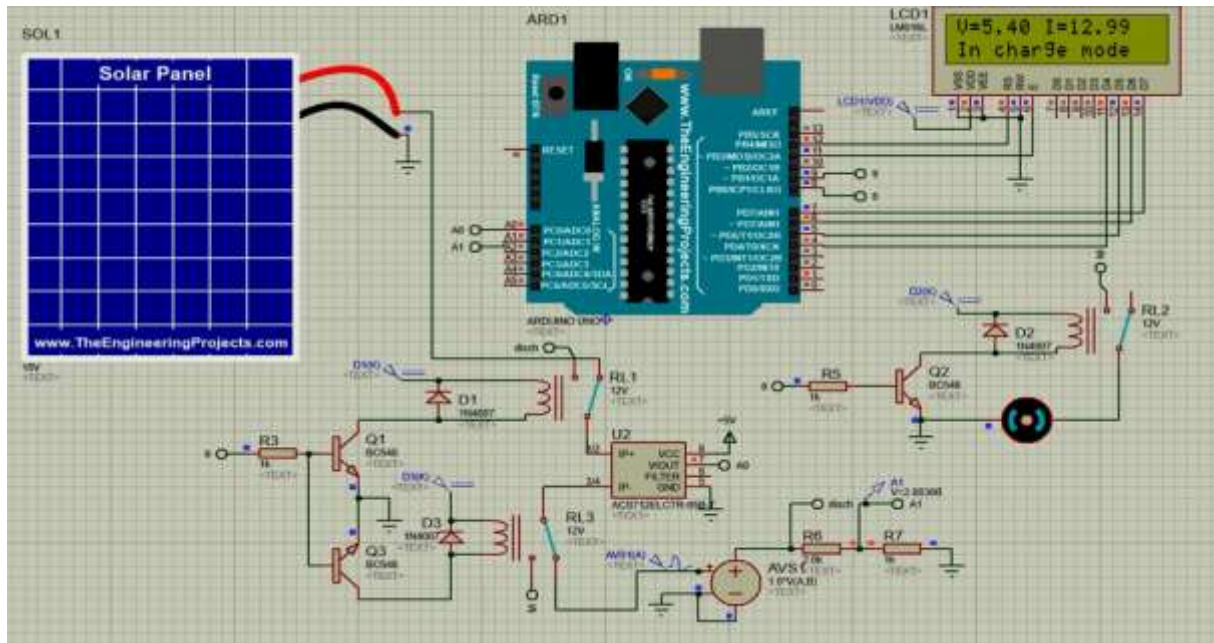


Figure III.24: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en le mode Charge.

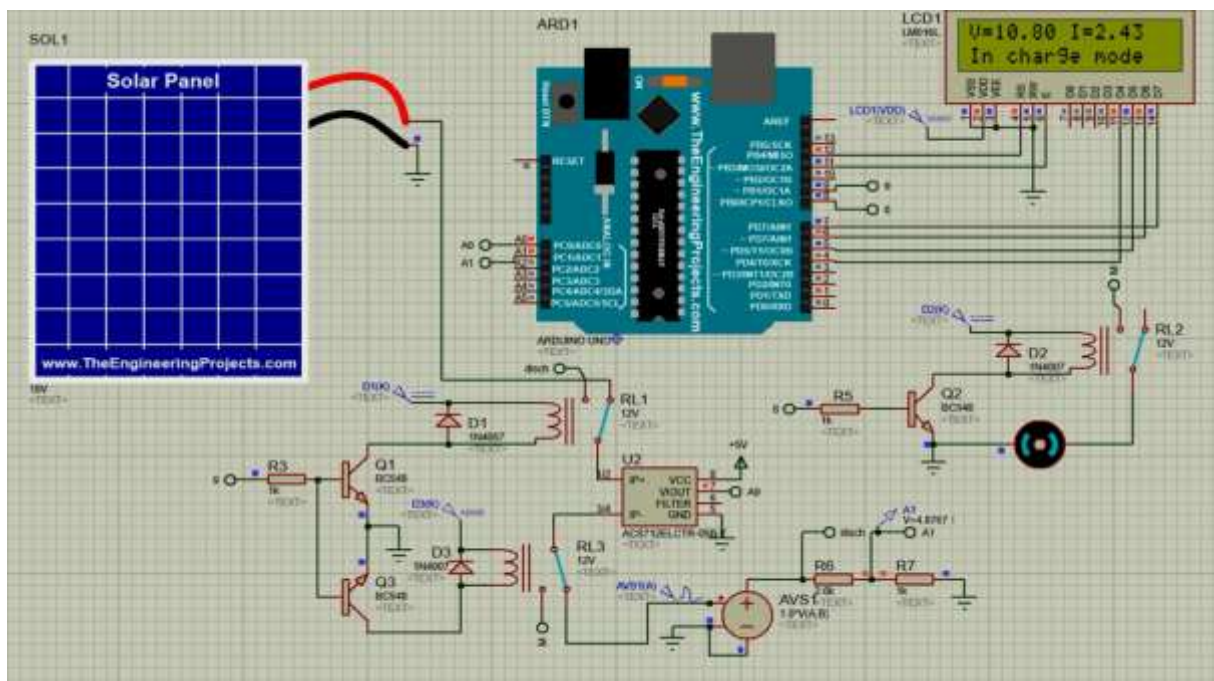


Figure III.25: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus entrain de charge

On remarque sur la figure III.24 et III.25 que les commutateurs mécaniques des relais(1,3) électromécanique est actif dans le mode Charge.

Et la valeur de tension en augmentant et en même temps le courant est à diminuer jusqu'à la fin de charge.

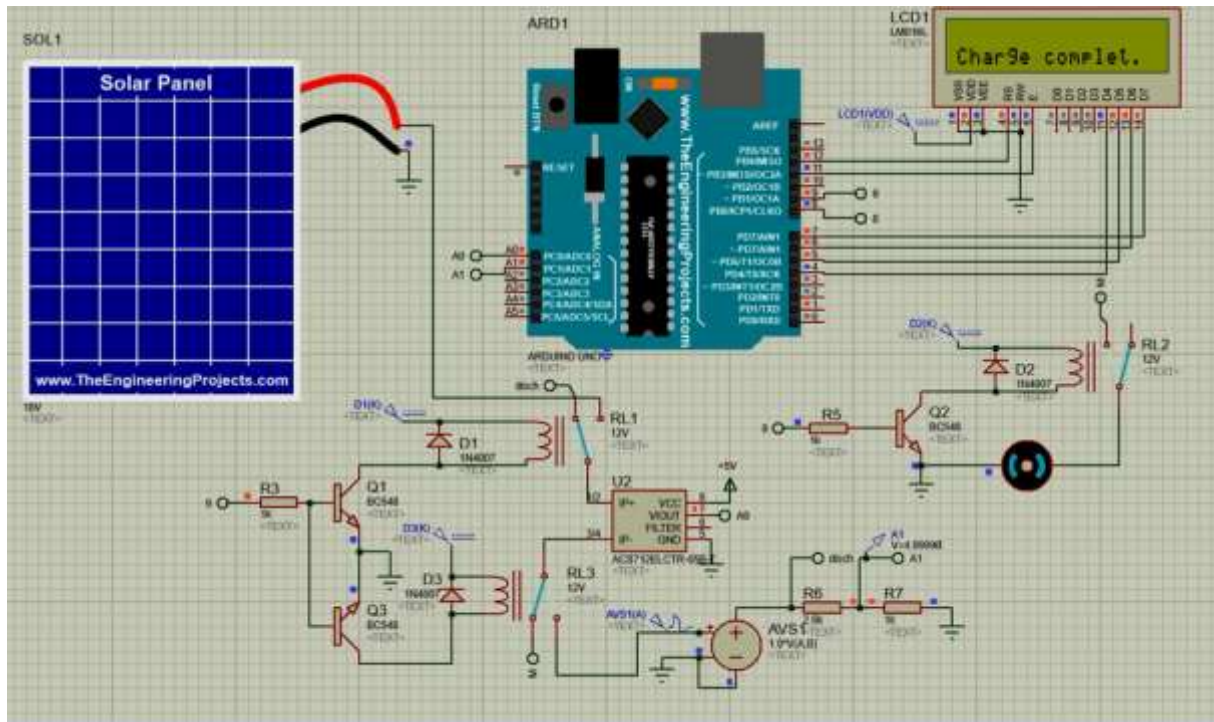


Figure III.26: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en fin de charge

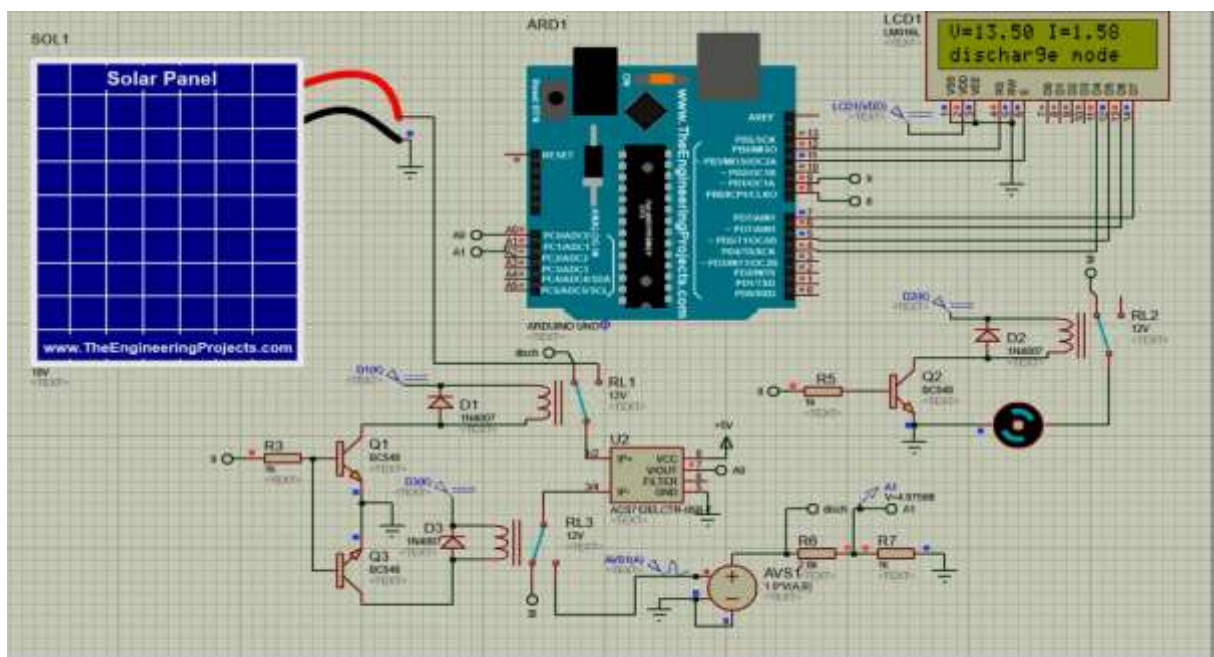


Figure III.27: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en mode Décharge

On remarque sur la figure III.26 et III.27 que le mode Charge est terminé et le programme passe au mode Décharge. donc la position des commutateurs mécaniques des relais électromécanique change afin de passer d'un mode Décharge, et le Moteur est commencé de sa marche.

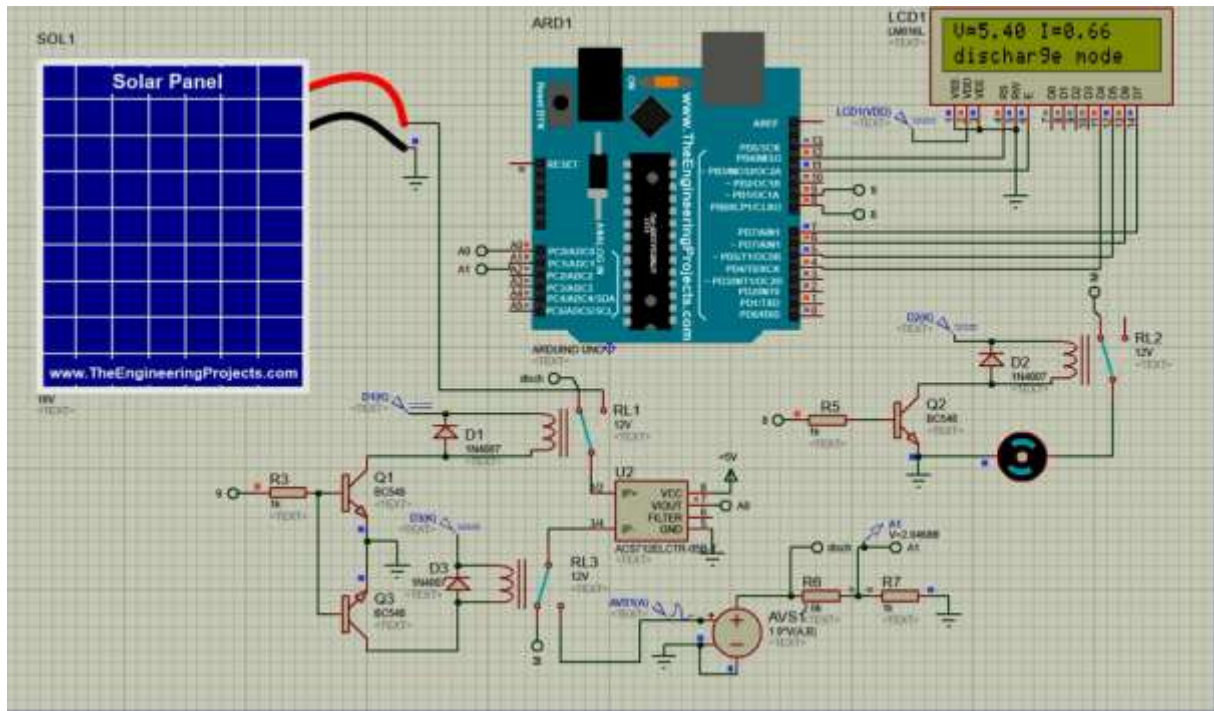


Figure III.28: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus entrain de Décharge

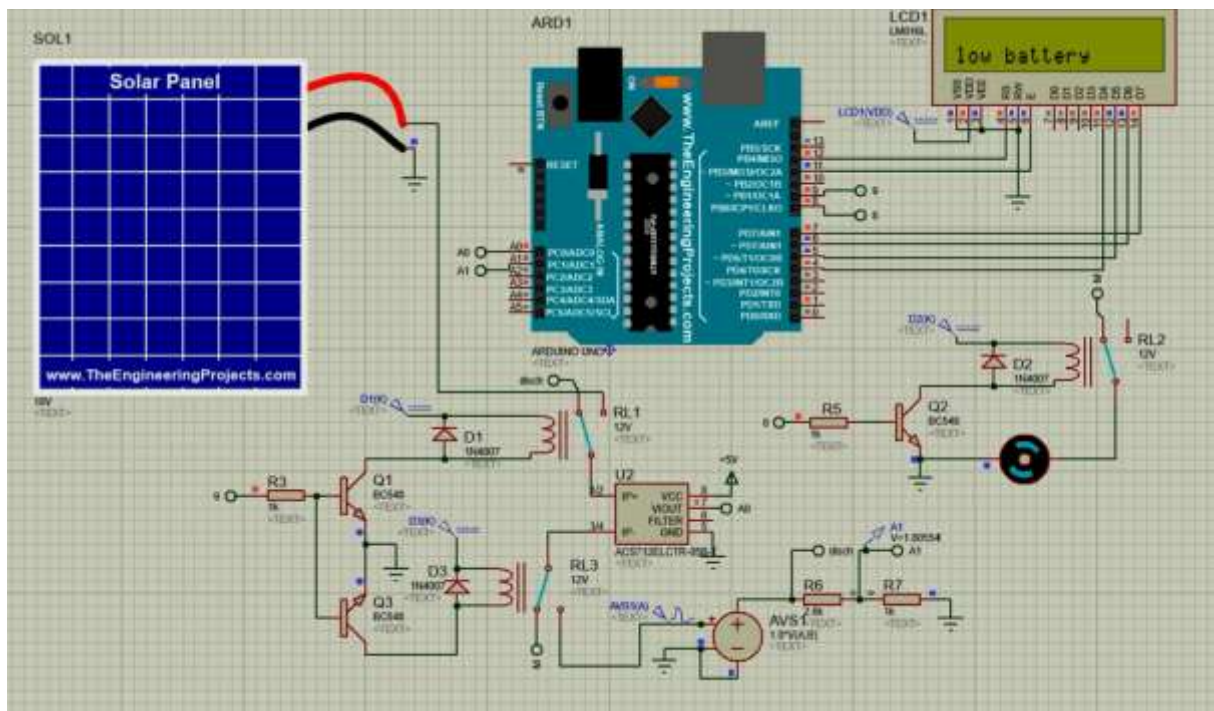


Figure III.29: Imprimé écran de la simulation du programme sous ISIS Proteus en fin de Décharge

En mode Décharge nous constatons sur les Figures précédents III.28 et III.29 que le Moteur tourne et en même temps la valeur de tension et de courant diminuent jusqu'à ce que la batterie apparaisse faible.

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

Les valeurs des tensions pour les figures précédents sont en unité de Volt par contre les valeurs de l'intensité de courant des mêmes figures sont en unité de Milliampère. Lors de la Simulation, on obtient les caractéristiques électriques de la charge/décharge représentée par le courant de charge et de la tension de la batterie en fonction de temps, que l'on voit dans la figure III.30

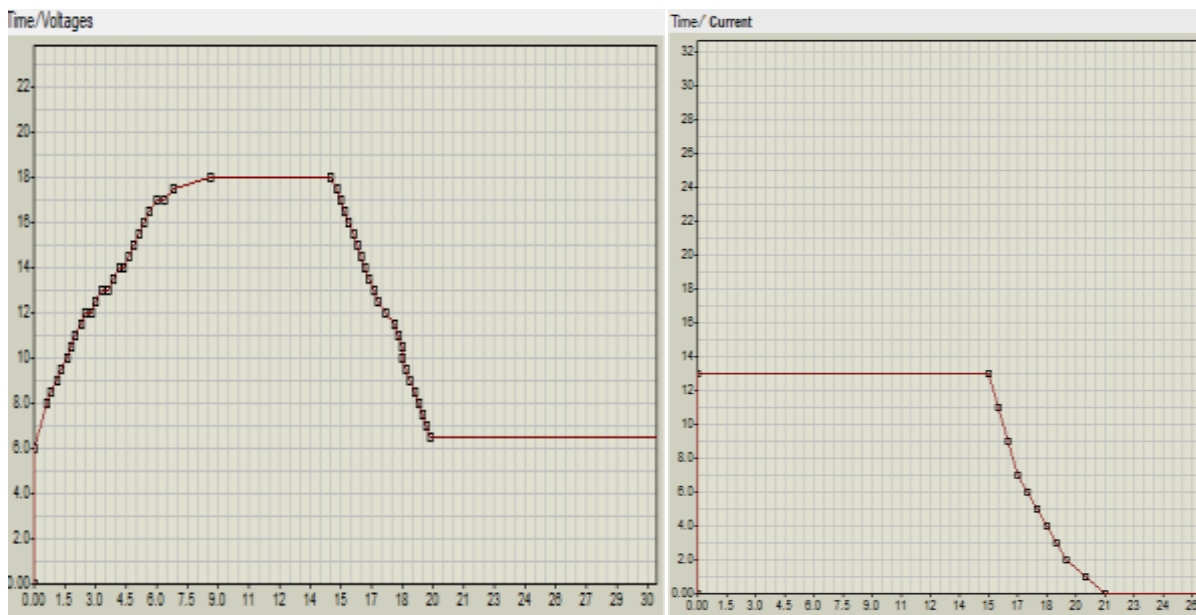


Figure III.30 : Caractéristiques électriques de Charge/décharge (a) Vbatt, (b) Ich

Sous l'environnement ISIS, la figure III.30 (a) confirme les seuils de tension atteints pratiquement pour la cellule que montée.

Dans l'environnement IDE de l'Arduino UNO le croquis utilise 4734 octets (1%) de l'espace de stockage du programme. Le maximum est de 253952 octets.

Les variables globales utilisent 137 octets (1%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 8055 octets pour les variables locales. Le maximum est de 8192 octets pour ce type de Microcontrôleur « ATmega2560 ».

Pour une carte Arduino Uno, le croquis utilise 4480 octets (13%) de l'espace de stockage Du programme. Le maximum est de 32256 octets pour la gamme des microcontrôleurs

Chapitre III : Conception et réalisation du régulateur de charge/décharge

ATmega328P.

Les variables globales utilisent 137 octets (6%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 1911 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octet.

Pour une carte Arduino de type mini, le croquis utilise 4480 octets (14%) de l'espace de Stockage du programme. Le maximum est de 30720 octets pour un microcontrôleur ATmega328.

Les variables globales utilisent 137 octets (6%) de la mémoire dynamique, ce qui laisse 1911 octets pour les variables locales. Le maximum est de 2048 octets.

D'après les valeurs et les pourcentages cités pour les trois types de cartes populaires dans le domaine des programmations des cartes Arduino, ces dernières cartes montrent une souplesse au niveau de la mémoire dynamique surtout la carte Arduino Méga qui a marqué une utilisation minime de l'ordre de 1%.

En ce qui concerne l'utilisation de l'espace de stockage, les différentes cartes comparées sont au delà du niveau de la saturation du stockage avec une supériorité remarquée par la carte Arduino Méga.

Donc le programme réalisé pour charger une batterie Plomb a gel [Annexe], peut être implantable dans les trois cartes Arduino «Méga, Uno, Mini ».

III.14 Conclusion

Au cours de ce chapitre, les différents blocs de notre système de charge décharge ont été présentés. Suivi par la présentation des circuits électroniques et les éléments utilisés et les circuits imprimés des deux cartes réalisées, et les détails des algorithmes et des organigrammes implémentés. Après on a passé en revue le développement de l'organigramme du régulateur de charge décharge pour une cellule afin de simplifier la programmation de ce dernier dans l'environnement IDE de l'Arduino et donner quelques explications pour les différentes étapes on a traité aussi cette justification par une simulation sous l'environnement ISIS Proteus où on a présenté quelques figures et que l'utilisation de la carte Arduino uno dans tel programme n'est pas une obligation.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de notre mémoire de fin d'études est l'étude de comment concevoir et simuler d'un régulateur de charge décharge pour un système photovoltaïque.

Pour ce qui est de la conception est basé sur des étapes permet de charger la batterie rapidement afin d'augmenter sa charge et atteindre un niveau prédéfini quand la tension de cette pack de cellule augmenté pour arriver à un certain niveau, le dimensionnement des différents composants constituant le circuit de puissance, et les caractéristiques des panneaux utilisés, et 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.

On a commencé par approfondir et mettre à jour nos connaissances sur le domaine de l'énergie solaire, suivie par des notions de base concernant l'effet photovoltaïques, principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques, ensuite nous avons exposé l'algorithme de charge/décharge à suivre, en partant par des définitions préliminaires des différents paramètres relatifs à la batterie en question (batterie au plomb a gel).

Enfin, nous avons développé l'ensemble du dispositif expérimental, où nous avons décrit en détail chacune des pièces qui composent notre régulateur solaire.

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le régulateur envisagé est bien adapté pour le contrôle de l'état de charge de notre batterie, afin de la protéger contre toute charge et décharge excessive, en assurant une meilleure autonomie au système photovoltaïque et un prolongement de la durée vie notre batterie en diminuant ainsi le coût du système.

Cependant, on peut dire que notre travail nous a permis d'améliorer nos capacités pratiques, il nous a aussi permet d'enrichir nos connaissances dans le domaine des circuits intégrés et des circuits programmables.

Cependant, malgré la satisfaction sur les résultats obtenus puisqu'ils répondent adéquatement aux objectifs fixés au départ. Nous sommes tout de même conscient que, comme dans tout projet, il y'aurait place à l'amélioration.

Conclusion générale

Nous estimons que ce travail sera enrichi par plus de recherche et investigations notamment sur les points suivants :

- ❖ Élargir l'utilisation de notre dispositif pour d'autres applications (charges alternatives), en introduisant dans le système un onduleur « convertisseur DC/AC ».
- ❖ Tenir compte des températures de la batterie, en établissant un seuil maximal à ne pas dépasser et en affichant constamment sa valeur.

En fin, nous espérons que ce modeste travail peut être un fond documentaire appréciable et aussi une modeste référence dans le domaine du photovoltaïque.

Annexe

Présentation de la carte Arduino UNO :

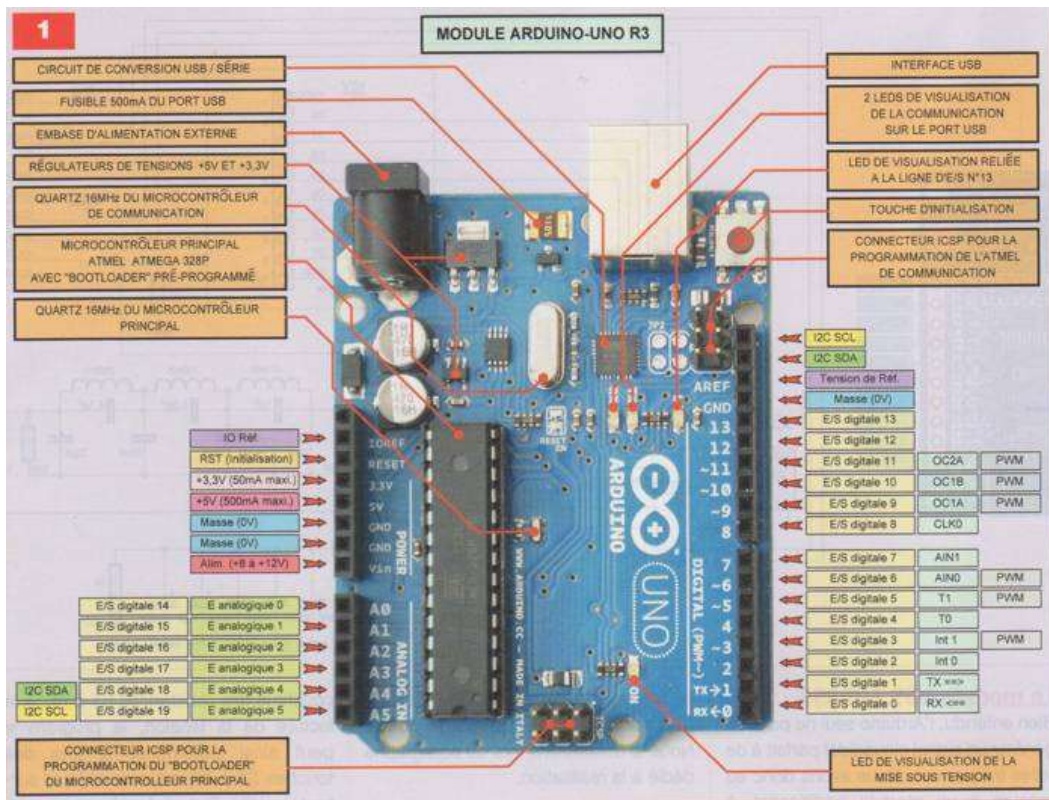


Figure a : Schema de carte Arduino Uno

Annexe

ACS712 Module Pin Outs and Connections

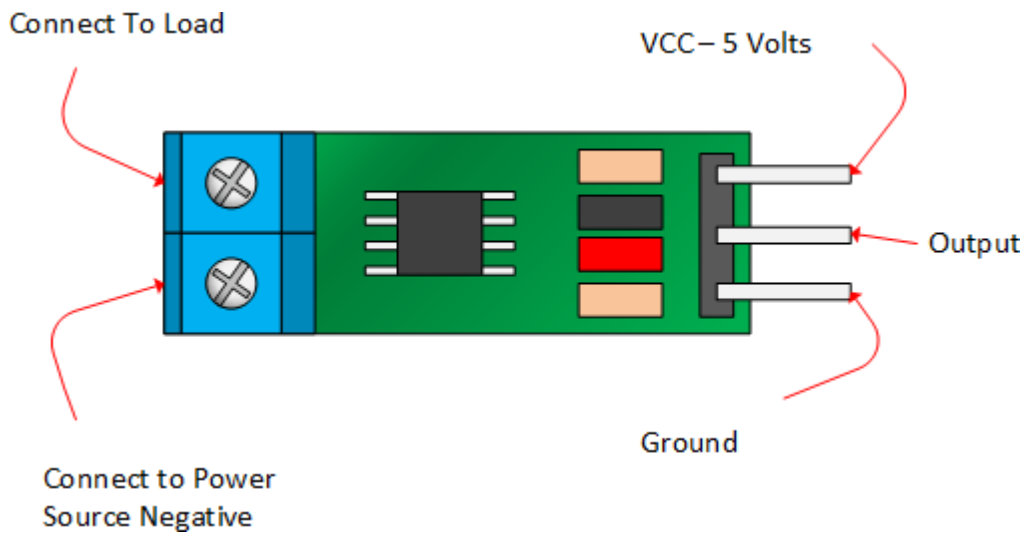


Figure b: Schéma de ACS712

Les Logiciels Utilisés

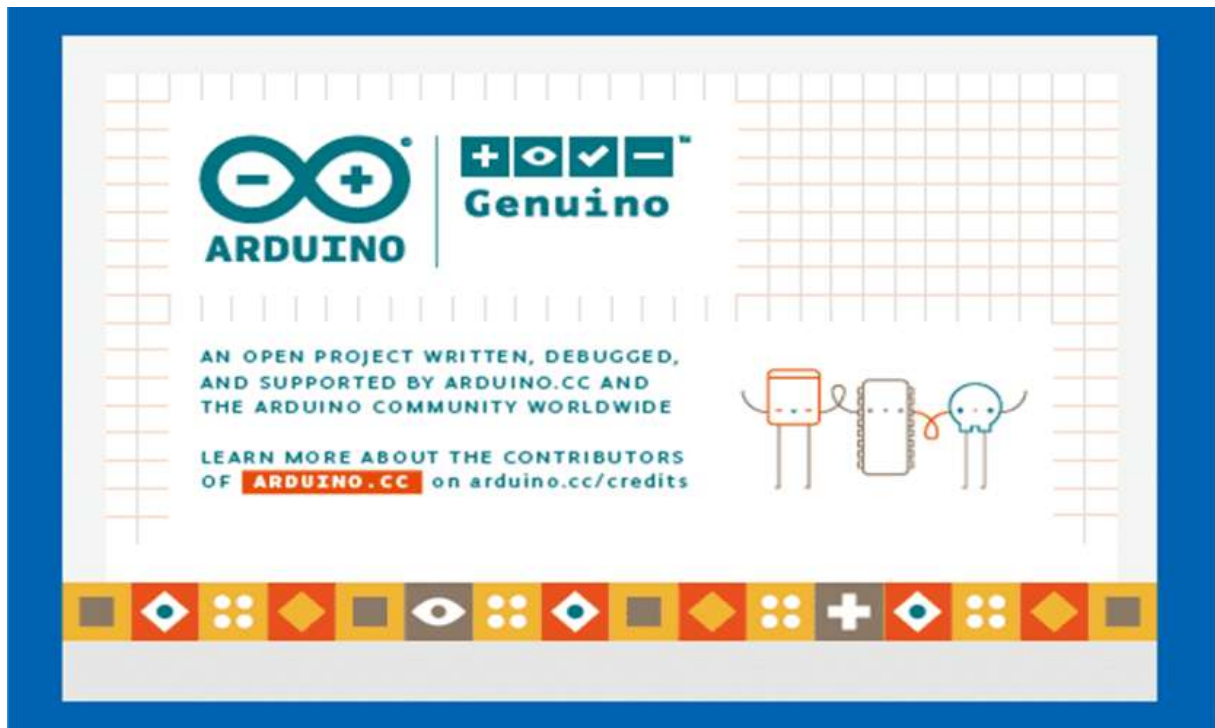


Figure c: IDE d'ARDUINO

Pour la simulation virtuelle de la carte

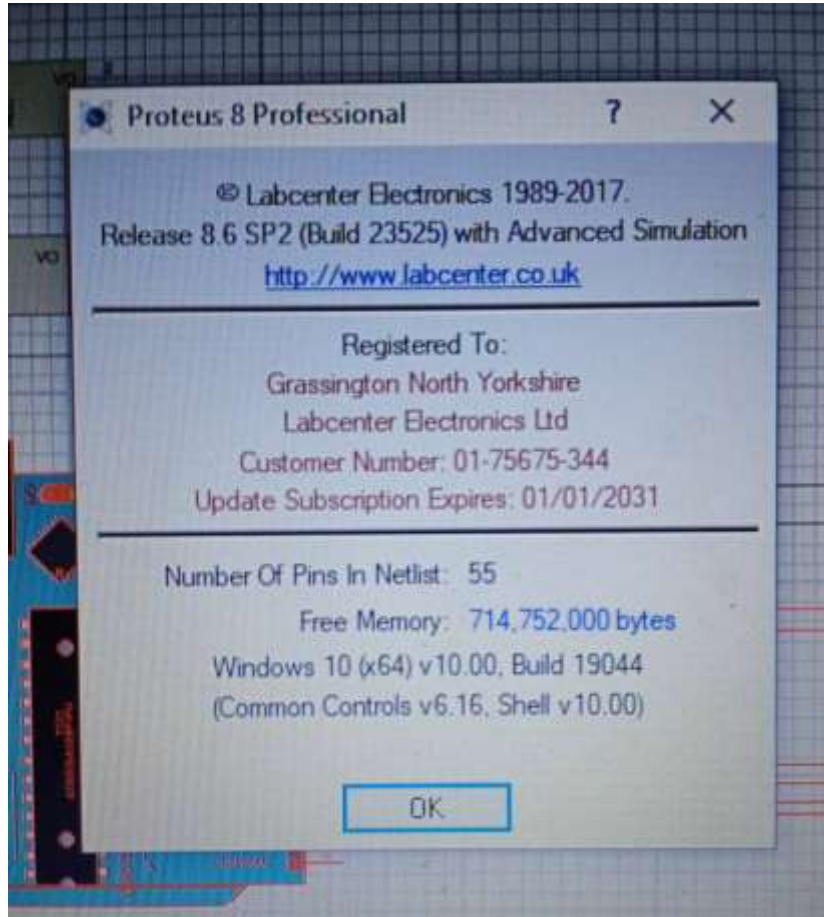


Figure d: ISIS PROTEUS

Annexe

Pour batterie que chois dans notre stage



Figure e: La batterie a gel

Specification

Item	Gel Battery
Warranty	3years
Chargeable	Yes
Application	Solar Energy Storage Systems
Type	12V 250Ah
Size	520*269*220mm
Nominal Voltage	12.8Volts
Brand Name	Ahtech
Certification	CE
Weight	52-68kg
Cycle Life	2000 Times
OEM/ODM	Acceptable

Figure f: les caractéristique d'une batterie a gel

Bibliographies & Webographie

- [1]. M. Madani. "Implémentation d'un algorithme MPPT dans une FPGA en utilisant la carte ML605," Mémoire de Master, Département d'Electronique, Université Mohamed Boudiaf, M'sila, Algérie, 2018.
- [2]. https://www.sines.fr/Regulateur_charge_solaire.html / Juin 2019 (consulté le 20/06/2022).
- [3]. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/energie-renouvelable-energie-solaire-6679> (consulté le 21/06/2022).
- [4]. <https://www.climamaison.com/lexique/energie-solaire.htm#:~:text=%C3%89nergie%20solaire%20thermique%20%3A,de%20fa%C3%A7on%20passive%20ou%20active> (consulté le 22/06/2022).
- [5]. N. Kehoul et K. Khentache, (2012, BEJAIA,Algérie) .*Etude comparative des modèles d'une cellule photovoltaïque*. [En ligne] Disponible <http://univ-bejaia.dz/dspace/123456789/8733>.
- [6]. K. AMARA. (2015, tizi-ouzou,Algérie) .*Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension*. [en ligne] Disponible <https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/437>
- [7]. <http://energies2demain.com/wpcontent/uploads/polycristaline.jpg> (consulté le 25/06/2022).
- [8]. https://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Cellule_au_silicium_polycristallin (consulté le 25/06/2022).
- [9]. M.Ouada, A.Tarfaya, M.S. Meridjet et D. Dib, "Etude et caractérisation sous Matlab/Simulink d'un générateur photovoltaïque," *Le 2ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables*, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa, Algérie, Octobre 2012.
- [10]. M. Boussaid, (2012, telemcen,Algérie). Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules. Photovoltaïques [En ligne] disponible

Bibliothèque et webographie

https://www.researchgate.net/publication/334634539_Modelisation_des_phenomenes_de_vieillesse_des_modules_Photovoltaïques

[11]. S. Guitouni, (2017-01-12 ; Constantine ,Algérie).*Elaboration et étude de structures à base de couches minces de ZnO et de chalcogénures (CIS, CZTS) pour des applications photovoltaïques* [enligne] disponible <http://depot.umc.edu.dz/handle/123456789/9513>

[12]. S. DJERIOU. ‘‘ Simulation d’un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone ‘’, *thèse de magister*, Université de Sétif ,2011.

[13]. www.techno-science.net (consulté le 24/06/2022).

[14]. Cyril Valent, À quoi correspond le nombre de cellules d'une batterie ? sur le site 01net.com du 30 novembre 1999 (consulté le 22/06/2022).

[15]. A. Dekkiche.(2008,QUEBEC,Canada). *Modèle de batterie générique et estimation de l'état de charge*. [Enligne]. Disponible <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/120>

[16]. A. Boutte, ‘‘Identification des paramètres internes d’une batterie pour des applications photovoltaïques,’’ *Thèse de Doctorat*, Département d’électronique, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran, Algérie, 2015.

[17]. <https://www.edfenr.com/actualites/la-batterie-pour-panneau-solaire-est-elle-une-vraie-solution-aujourd'hui/>(consulté le 29/06/2022).

[18]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Lithium-Ionen-Accumulator.jpg>

[19]. Energy Storage Association .*Technologies and comparisons*.(2007), Energy Storage Association, [enligne] .disponible <http://electricitystorage.org/>,

[20]. N. Achaïbou.*Introduction à l'Etude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque*. Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l’Observatoire, Bouzaréah, Alger ,1999.

[21]. R. JONES..*Bringing Nickel-Hydrogen Down to earth* .Batteries International ,Avril 1993.

[22]. A. Bouden .’’Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque’’.
Mémoire de Magister. Université Mentouri de Constantine, 2008.

[23]. Si SM.cherif « Etude et réalisation d’un régulateur photovoltaïque à base du pic

Bibliothèque et webographie

16F84A », DEUA ELN, UMMTO, 2008.

[24]. http://fr.wikipedia.org/wiki/Accumulateur_%C3%A9lectrique

[25]. <https://www.libow.fr/blog-avis/blog/la-verite-sur-les-batteries-virtuelles/>(consulté le 29/06/2022).

[26]. <https://www.solaris-store.com/14-batterie-solaire> (consulté le 23/06/2022).

[27]. C.A. Osaretin and F.O. Edeko, “Design and implementation of a solar charge controller with variable output,” *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 12, no 2, pp. 41-43, January 2016.

[28]. <https://suministrosdelosol.com/en/solar-charge-controllers/263-charge-controller-bluesolar-pwm-light-12v24v-30a.html> (consulté le 29/06/2022).

[29]. <https://www.wattneed.com/en/charge-controller/4188-victron-smartsolar-mppt-controller-75-10-15-100-15-20-0712971136236.html> (consulté le 29/06/2022).

[30]. <https://www.solaris-store.com/content/44-principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire> (consulté le 27/06/2022).

[31]. <https://letmeknow.fr/fr/autres-capteurs/1565-capteur-de-courant-acs712-30a-0726146001625.html> (consulté le 29/06/2022).

[32]. M.Sadok. ”Détermination des Paramètres, Performances et Etude de la Dégradation des Modules Photovoltaïques en milieu saharien”. *Thèse doctorat*. Université Boubaker BELKAID – TLEMCEM,2011.

[33]. <https://www.aranacorp.com/fr/gerez-un-ecran-lcd-16x2-avec-arduino/> (consulté le 28/06/2022).

[34]. Site d’inspiration <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/two-step-lithiumbattery-charger-circuit-with-cc-cv-mode> (consulté le 30/06/2022).

Résumé

ملخص

تعتبر وحدة التحكم بالشحن ، أو منظم الشحن الشمسي ، من أهم ملحقات التركيب الكهروضوئي في النظام لأنها تحمي البطارية من التلف من خلال تحسين عملية شحن بطاريات التخزين ، وذلك بفضل هذه الميزة ، فهي تساعد على إطالة عمر البطارية. الحياة عن طريق إبطاء تفريغ البطارية ، لمنع التفريغ العميق. من الضروري بالفعل منع انخفاض شحن البطارية إلى أقل من 40% إلى الارتفاع فوق 95% لإطالة عمرها. يأتي في نوعين: PWM و MPPT. الغرض من مشروعنا هو كيفية دراسة تصميم ومحاكاة منظم الشحن والتفريغ تحت جهد 18 فولت كجهد اسمي ، والذي يتحكم في شحن وتفريغ البطارية. وفقاً لخوارزمية الشحن التي تضمن الشحن الآمن بناءً على برمجة ARDUINO UNO مثل IDE و PROTEUS 8 Professionnel. الكلمات الرئيسية : تعديل عرض النبض، أقصى تتبع لنقطة الطاقة، إلكتروني مفتوح المصدر، بيئة تطوير متكاملة، مجموعة برامج للإلكترونيات.

Résumé

Le contrôleur de charge, ou un régulateur de charge solaire est un des accessoires d'une installation photovoltaïque les plus importants dans le système car il protège la batterie contre les dommages par optimiser le processus de charge des batteries de stockage , grâce a ce cette fonctionnalité, il permet de prolonger la durée de vie de la batterie en ralentissant la décharge de la batterie, pour éviter toute décharge profonde. Il faut en effet éviter que la charge de la batterie descende en-dessous de 40 % à la monte au-dessus de 95 % pour allonger sa durée de vie.

il se présente par 2 types : PWM et MPPT. Le but de notre projet est comment étudier de conception et simulation d'un régulateur de charge décharge sous une tension de 18 Volts comme tension nominale, qui contrôler la charge et décharge d'une batterie. Selon l'algorithme de charge qui assure un chargement sécurisé basé sur la programmation du ARDUINO UNO tel qu'IDE et PROTEUS 8 Professionnel.

Mots-clés: Modulation de largeur d'impulsion, Suivi du point de puissance maximale, Électronique open-source, Environnement de développement intégré, Suite logicielle pour l'électronique.

Résumé

Abstract

The charge controller, or a solar charge regulator, is one of the most important accessories of a photovoltaic installation in the system because it protects the battery against damage by optimizing the charging process of storage batteries, thanks to this feature. , it helps extend battery life by slowing battery discharge, to prevent deep discharge. It is indeed necessary to prevent the battery charge from falling below 40% to rising above 95% to extend its life.

it comes in 2 types: PWM and MPPT. The purpose of our project is how to study the design and simulation of a charge-discharge regulator under a voltage of 18 Volts as the nominal voltage, which controls the charge and discharge of a battery. According to the charging algorithm which ensures secure charging based on the programming of the ARDUINO UNO such as IDE and PROTEUS 8 Professional.

Keywords: Pulse Width Modulation, Maximum Power Point Tracking, Open-Source Electronic, Integrated Development Environment, Software suite for electronics.