République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE DE MEDEA



Faculté des Sciences et de la technologie
Département de Génie Electrique et informatique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme Master en Génie Electrique

Option : commande et électronique industrielle

Thème

ETUDE ET REALISATION D'UN STATION SOLAIRE POUR ALIMENTER UN SCOOTER ELECTRIQUE

Présenté par:
CHETTOUF Noureddine
REBAI Nabil

Encadré par :
Dr. BOUDANA Djamel
Dr.BEN MANSOUR Khelifa

PROMOTION 2011-2012

Remerciement

Nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné, le courage, la patience, la volonté et la force nécessaires, pour affronter toutes les difficultés et les obstacles, qui se sont hissés au travers de notre chemin, durant toutes nos années d'études.

Nous exprimons nos remerciements à notre promoteur ***Dr .Boudana Djamel*** *et notre Co promoteur* ***Dr .Benmansour Khelifa,*** *qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidés pendant l'élaboration de ce mémoire, pour sa disponibilité et ses conseils précieux.*

Nous adressons nos sincères salutations et nos vifs remerciements à tous ceux qui nous encouragés et donnés les mains d'aides, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail afin que notre travail soit présentable.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur le Président de jury, pour l'honneur qu'il nous fait et aux membres du jury pour avoir accepté de corriger et d'évaluer ce travail.

Enfin nous exprimons notre reconnaissance à tous les Enseignants du département Electrotechnique qui nous ont guides pendant notre cursus Universitaire.

DEDICAES

D' une joie éclatante et d' un bonheur alarmant que je dédie cet humble travail, fruit de peines et de gloire :

A ma chère mère qui ne cesse de prier pour moi , qui, a éclairé mon chemin par son amour que dieu me la protège.

A mon très cher père qui a semé en moi la bonne volonté et l'objectivité, pour ces conseils et sa sérénité envers moi.

A mes très chers frères et sœurs : Le petit Adem , Nour elabsar et a tout la famille ***CHETTOUF.***

Sans oublier mon frère et binôme ***REBAI Nabil*** *et tout sa famille..*

A mes amis :Chikhe Abdou ,Hamza ,Omar M, Youcef B,Ismaine B, Khalad G , Mohamed, Mourad, Noureddine b, Zaki, Gouzlan, Imane, Nasira, Nadia b, Djamila, Afaf, Zola.

A toute la promotion 2011-2012 électrotechnique sans exception.

NOUREDDINE

Je dédie ce travail à

Je dédie ce modeste travail à

mes très chères parents, pour leurs soutient moral et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé pour terminer mes études, en leur espérant une longue vie et que dieu les gardes.

- *Mon père, ma mère.*
- *Mes frères et mes sœurs pour leur soutien.*
- *A mes grands-parents et que dieu les garde.*
- *A mes tantes et mes oncles.*
- *A toute ma famille de près ou de loin sans exception.*
- *A mes chers amis de mon quartier.*
- *A tous mes amis de près ou de loin sans exception.*
- *A mes chers amis de l'université de Médéa.*
- *A mon binôme* ***NOUREDDINE CHETTOUFE***
- *A mes amis (Mahfoud, hamza, Ahmed, Farid)*
- *A toute la promotion 2011-2012 électrotechnique sans exception.*

NABIL

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE……..……..1

CHAPITRE I

Généralité sur le scooter électrique

HISTORIQUE……..……4
I.1INTRODUCTION…….....……..…...6
I.2DEFINITION……...…….....….6
I.3 LES BLOCS DU SCOOTERELECTRIQUE……...……...……...…...7
I.3.1 Le Bloc Moteur Electrique…….…….…….....7
I.3.2 Le Bloc de Commande et de Contrôle…….....8
I.3.3 Le Bloc de Puissance……..9
I.4 LA CHAINE DE TRACTIONELECTRIQUE……...10
I.4.1 La source d'énergie…….....10
I.4.2. Le moteur électrique d'entrainement…….…...…...11
I.4.3 Le convertisseur statique (Le hacheur (DC-DC))……...…....11
I.5 IMAGE POPULAIRE……..……..…….…..12
I-6PERFOMANCES…….……....…….13
I.7AUTONOMIE……...…..…..13
I.8 COUT D'UTILISATION……..…….…..14
I.9 LE PRINCIPE DU SCOOTER ELECTRIQUE……...……..…14
I.9.1 Autre avantage……...…...15
a) Respectueux ……...……...……...15
b) Pratique……..…….....15
c) Économique……..15
I.10 COMMENT ROULER GRACE AU SOLEIL?.....15
I.11 L'ENTRETIEN DU SCOOTER ELECTRIQUE……...……..…16
I.12 LES ECONOMIES REALISEES…….……..…..17
I.13CONCLUSION…….…17

CHAPITRE II Etude et réalisation d'un capteur photovoltaïque

II.1INTODUCTION……...……18
II.2HISTORIQUE……...…… ……...….18
II.3 RAYONNEMENT SOLAIRE…….....….…..19
II.4 LA CONVERSION DE LA LUMIERE EN ELECTRICITE..…..….. .21
II.4.1 Cellule photovoltaïque…….. 21
II .4.2 Effet photoélectrique et jonction PN……. ...22
II .4.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque……... ……23
II.4.4 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque……... ...24
II .4.4.1. Paramètres de la cellule solaire……..……..25

II.5 CIRCUIT EQUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE……..…….26
II.5.1 Modélisation simple d'une cellule photovoltaïque……...…..26
II.5.2 Cellule idéale……...27
II.5.3 Cellule réelle……...……..28
a) Influence de l'ensoleillement ou l'irradiation sur la caractéristique courant-tension……..……..29
b) Influence de la température sur la caractéristique courant-tension…….……..……..30
c) Influence des résistances série et shunt sur la caractéristique courant tension……..….....31
d)Différents types de cellule solaires……..…....31
II.6 LE MODULE PHOTOVOLTAIQUE…….……...……32
II.6.1 Association en série……...……...……..33
II.6.2 Association en parallèle…….……..……....34
II.6.3 Caractéristiques d'un module photovoltaïque…….……..……34
II.6.4 Influence de la température et de l'éclairement sur la caractéristique d'un GPV……..…….……...35
a) Effet de l'éclairement sur le panneau photovoltaïque…….35
b) Effet de la température sur le panneau photovoltaïque…….……..36
II.6.5 Protections d'un GPV……..……..…….36
II.7 SYSTEME DE STOCKAGE……...…..……39
II.7.1 Les batteries…….……..……39
a) Principe général de fonctionnement d'une batterie…….…….....39
b) Caractéristiques du stockage par accumulateurs……..……...40
II.7.2 Accumulateurs au plomb……...……..……41
a) Bref historique……..……...41
b) Composition d'une batterie solaire plomb- Acide……..……..….. 41
c) Les caractéristiques d'une batterie au plomb……..……..…...42
d) Charge de batterie……..…….……43
II.7.3 Accumulateurs au lithium-ion.……...……..……44
II.7.4 Les accumulateurs Nickel Cadmium (NiCd)……...……..…..44
II.7.5 Les accumulateurs Nickel Métal Hydrures (NiMH)…….…..45
II.8 MODELISATION D'UNE BATTERIE……...….....45
II.9 ETAGE D' ADAPTATION……..…...…..47
II.10CONCLUSIONC……...……..…….48
CHAPITRE III
Architecteur générale d'une borne de recharge Solaire
III.1 INTRODUCTION……..…....49
III.2 ARCHITECTURE DE STATION SOLAIRE DE RECHARGE POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES……...…...…50
III.3 ETUDE DU MPPT…….…...….51
III.3.1 Optimisation du système panneau solaire……..…….51
III.3.2 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque……..….....51
III.3.3 Point de fonctionnement d'un panneau solaire…….……..51
III.3.4 Présentation des différentes stratégies MPPT…….…...……53
a) Algorithme « perturbation et observation »……....…….……..53

b) Algorithme « conductance incrémental »…….……...55
c) Algorithme ‘’Hill Climbing’’…….58
III.4 MODELE D’UN CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU (HACHEUR DC-DC)…….…….....58
III.4.1.Hacheur dévolteur « Buck Converter »…….….59
III.4.1.1. Modèle mathématique du circuit équivalent……60
III.4.1.2. Le rapport de conversion……...60
III.4.2. Hacheur survolteur (parallèle)……...62
III.4.3. Hacheur Buck – Boost…….…..63
III.5. REGULATEUR DE CHARGE…….……..…63
III.6.CONCLUSION……...……..…65

CHAPITRE IV
Etude pratique et simulation d’une chaine de conversion photovoltaïque

IV.1.INTRODUCTION…….……...……66
IV.2.LE MODULE D’UNE GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE…...66
IV.2.1.Le module d’une Générateur photovoltaïque…..……...…….……..68
a) Influence de l’éclairement……...…….....70
b) Influence de la température……...….71
c) Influence de la résistance série……....72
d) Influence de la résistance shunt……....73
IV.3.PRESENTATION D4UN SCOOTER ELECTRIQUE ALIMENTE PAR UNE STATION SOLAIRE……...……...…….…...73
IV.3.2.panneau photovoltaïque…….……74
IV.3.3.Les batteries…….…...75
IV.3.4.Contrôleur……..….76
a)Connecteur /Définition de fil…….……77
IV.4.INTRODICTION SUR LE MOTEUR BRUSHLESS……...78
IV.4.1.Fonctionnement…….…….…78
IV.4.2.Constitution du moteur Brushless…….……79
IV.4.3.Moteur Brushless à rotor extérieur…….……80
IV.5.L’ALIMENTATION ELECTRONIQUE DU MOTEUR BRUSHLESS……..…….80
IV.5.1.Commutateur de puissance…….……81
IV.5.2.Alimentation unidirectionnelle…….……..81
IV.6.CAPTEUR A EFFET HALL ……...…….82
IV.7.CONCLUSION…….……...……83
CONCLUSION GENERALE……...……..84
BIBLIOGRAPHIE

ملخص

يركز هذا العمل على تصميم وبناء محطة للطاقة الشمسية لشحن سكوتر الكهربائية. هذا الجهاز يتكون من بطاريات مشحونة مثبتة من الألواح الشمسية من خلال وحدة تحكم المسؤول. عندما شحن سكوتر، يتم نقل الطاقة بواسطة محول يسيطر عليها المتقدمة خصوصا 1 لهذا التطبيق. بالإضافة إلى إتباع إستراتيجية من نقطة التشغيل الأمثل. المحاكاة باستخدام ماتلاب / Simulink

Résumé :

Ce travail se focalise à l'étude et la réalisation d'une station photovoltaïque de recharge pour véhicule électrique. Ce dispositif consiste à charger des batteries fixes à partir des panneaux solaires via un régulateur de charge. Lors de la recharge du véhicule, l'énergie est transférée par un convertisseur régulé par une commande développé spécialement pour cette application. En plus une stratégie de poursuite du point de fonctionnement optimal a été développée. Des simulations effectuées sous Matlab/Simulink

Abstract:

This work focuses on the design and construction of a solar charging station for electric scooter. This device consists of fixed charge batteries from solar panels through a charge controller. When charging the scooter, the energy is transferred by a converter controlled by an especially developed for this application. In addition to pursuing a strategy of optimal operating point. Simulations using Matlab / Simulink

Tableau des figures

Figure I.1 La Vespa, premier scooter vraiment populaire……4

Figure I.2 Les parties nécessaires dans le scooter électrique……7

Figure I.3 Le Moteur roue (labo U-Médéa)……8

Figure I.4 Compteur de vitesse et indicateur de charge (labo U-Médéa)……9

Figure I.5 : hacheur (labo U-Médéa)……10

Figure I.6 : Batterie d'un scooter électrique (labo U-Médéa)……11

Figure I.7 : Schéma d'un scooter électrique (labo U-Médéa) ……12

Figure II.1 : Spectre solaire hors atmosphère……20

Figure II.2 : Les niveaux d'énergie des électrons……20

Figure II.3 : Cellule photovoltaïque……21

Figure II- 4 : Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque……23

Figure II.5 : structure et diagramme de bonde d'une cellule photovoltaïque sont éclairement……24

Figure II.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire……24

Figure II- 7 : Caractéristiques d'une jonction PN sous éclairement……27

Figure II- 8 : Caractéristique de la convention diode générateur……27

Figure II- 9 : Schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN……28

Figure II- 10: Circuit équivalent d'une cellule solaire photovoltaïque et schéma conventionnel d'une cellule ou d'un module photovoltaïque……29

Figure II-11 : influence de l'éclairement sur la caractéristique de la cellule……30

Figure II-12 : influence de la température sur la caractéristique de la cellule……30

Figure II-13 : influence de Rs sur la caractéristique de la cellule……31

Figure II-14 : influence de Rsh sur la caractéristique de la cellule……31

Figure II-15 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série……...…..33

Figure II-16 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en parallèle……...34

Figure II-17 : Caractéristique courant-tension pour différentes radiations incidentes Température de la cellule 25 °C…….....35

Figure II-18 : Caractéristique courant-tension pour différentes températures de jonction (radiation incidente 1000W/m²)…….....36

Figure II.19: composition d'un module…….....37

Figure II-20 : Exemples d'association sécurisée de deux modules PV commerciaux en parallèle avec leurs diodes de protections…….....37

Figure II-21: Effet de la diode by-pass sur la caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïques.....38

Figure II.22 : principe de production d'électricité dans un convertisseur électrochimique…….....40

Figure II.23 : Schéma d'une cellule acide plomb……...42

Figure II. 24 : Courbes de charge et de décharge d'une cellule élémentaire de batterie au plomb……..……..42

Figure II.25 : Différentes phases de charge de la batterie……..……44

Figure.II.26 : Modèle d'un circuit équivalent de batterie plomb-acide……..……45

Figure III.1 : Architecture de la borne de recharge……..……..50

Figure III.2 : Point de fonctionnement d'un module photovoltaïque en couplage Direct …….52

Figure III.3 : Caractéristique Ppv-Vpv d'un panneau solaire……..……..54

Figure III.4: Organigramme de la méthode de perturber et observer (P&O) ……...55

Figure III.5: Algorithme de la Méthode d'incrémentation de conductance……...…..57

Figure III.6 : Relation entre Ppv et le rapport cyclique α du convertisseur Statique…….58

Figure. III.7 : Tension $v_s(t)$ idéale du commutateur, rapport cyclique *D* et période de Commutation……..……...59

Figure. III.8 : Circuit idéal du convertisseur Buck…….……...59

Figure.III.9 : Forme d'onde de la tension d'inductance $\boldsymbol{V_l}$(t) pour un hacheur Dévolteur……..……60

Figure. III.10 : Rapport de conversion M en fonction du rapport cyclique D pour un convertisseur dévolteur……..….61

Figure III.11 : Structure d'un hacheur survolteur…….…..62

Figure (III.12): Buck –boost……..….63

III.13: Régulateur de courant…….…….64

Figure III.14 : Schéma synoptique régulateur de charge…….…..65

Figure IV.1 : schéma global de la simulation d'un GPV…….……67

Figure IV.2 : Modèle d'un module photovoltaïque sous MATLAB/simulink……...…..68

Figure IV.3: Caractéristique I-V d'une module PV (Ir=1kW/m², T=25°C)……..…….69

Figure IV.4: Caractéristique P-V d'une module PV (Ir=1kW/m², T=25°C)…….……..69

Figure IV.5: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V d'un module PV……70

Figure IV.6: Influence de l'éclairement sur la caractéristique P-V d'un module PV……..…70

Figure IV.7: Influence de la température sur la caractéristique I-V d'un module PV…….71

Figure IV.8: Influence de la température sur la caractéristique P-V d'un module PV……72

Figure IV.9: Influence de la résistance Rs sur la caractéristique I-V d'un module PV…….……..72

Figure IV.10: Influence de Rsh sur la caractéristique I-V d'un module PV……73

Figure IV-11- a:le scooteur électrique…….73

Figure IV-11- b:le montage d'une panneau photovoltaïque……...74

Figure IV-12 : Les panneau photovoltaïque……...74

Figure IV-13 : la batterie……....75

Figure IV-14 : Brushless Intelligent moteur Controller……76

Figure IV-15 : les différents Connecteur……..……77

Figure IV-16 : Moteur Brushless à rotor externe…….….80

Figure IV-17 : Structure générale de l'alimentation d'un moteur Brushless……..……...81

Figure IV-18 : Alimentation unidirectionnelle…….…….82

Figure IV-19 : Capteur à effet hall…….…….....83

Liste de tableau

Tableau IV-1: caractéristiques d' une panneau photovoltaïque…….…….....74

Tableau IV-2: caractéristiques de batterie……...…..……..75

Tableau IV-3: Brushless Intelligent moteur Controller……..77

Introduction générale

En raison de la forte croissance de la consommation mondiale d'électricité durant les dernières décennies, les voies classiques de sa production parviennent pour la plupart à saturation sans parler de l'impact néfaste qui va en s'aggravant sur l'environnement. En effet, à ce jour, la plupart de l'énergie électrique est produite par combustion de ressources non renouvelables (charbon, pétrole, gaz, nucléaire) dont le délai d'épuisement est au mieux estimé à quelques décennies. De plus, ce type de production d'énergie reste très polluant et contribue de manière significative à l'émission de gaz à effet de serre dont la conséquence sur le réchauffement atmosphérique est l'impact le plus visible. En contre partie, le développement des sources d'énergies renouvelables et non polluantes permet dès aujourd'hui une production de plus en plus significative et assez diversifiée. En effet, selon la disponibilité des gisements potentiels d'énergie renouvelable (hydraulique, vent, soleil, géothermie …), plusieurs sites de génération massive d'énergie électrique, sont déjà opérationnels et d'autres sont planifiés à court et moyen termes à travers le monde. Parmi ces derniers, ceux utilisant l'énergie solaire comme source primaire semblent être les plus prometteurs à long terme tant la disponibilité de celle-ci est quasi-inépuisable (la densité de puissance du rayonnement solaire au niveau du sol avoisine les 1000 W/m2). Le captage et la conversion de cette énergie en électricité, est effectué selon deux procédés différents, liés aux deux principales composantes énergétiques du rayonnement solaire: thermique et lumineuse. Dans le dernier cas l'énergie solaire est directement convertie en électricité grâce à l'effet photovoltaïque (PV). Ce dernier étant mis en œuvre moyennant une cellule fabriquée à base de semi-conducteurs [5], qui exposée à la lumière, génère une force électromotrice dont l'amplitude est équivalente à celle d'une diode à l'état passant. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle, donne lieu à un générateur électrique de courant continu (DC) (GPV), dont la caractéristique courant-tension (I-V) est non linéaire et présente un point de puissance maximale.

L'objectif de ce travail, consiste justement en l'étude et la réalisation d'une application assez originale d'un GPV, consistant en une borne solaire de recharge de batteries pour scooter électriques. Dans cette optique et après l'établissement de l'architecture de base de la chaîne de conversion, une étude détaillée du GPV lui-même est présentée. Un modèle global de ce dernier est alors établi, avant de procéder à l'évaluation de son comportement à travers une simulation numérique sous Matlab/Simulink. L'association de celui-ci au premier étage de conversion de l'énergie électrique produite (DC-DC) adopté, est alors sondée. Il s'agit d'un hacheur élévateur (Boost), dont le choix est justifié selon plusieurs critères. Quant à la commande de celui-ci, elle est entièrement définie selon la stratégie MPPT (Maximum Power Point Tracking) fixée et dont l'implémentation l'a été de manière analogique. Le rôle essentiel alloué à ce dernier consiste donc à optimiser le point de fonctionnement du GPV en fonction de l'énergie solaire incidente ainsi que les fluctuations inhérentes à la charge. Dans ce cas, cette dernière étant essentiellement constituée d'un kit tampon de batteries de stockage de l'énergie électrique fournie, lesquelles alimentent à leur tour les batteries du véhicule utilisateur, à travers le régulateur de charge proprement dit. De ce fait, la topologie choisie pour ce dernier correspond à celle d'un hacheur abaisseur à base d'IGBT, servant d'étage de puissance intégré à une boucle de commande en courant, laquelle est en cascade avec une boucle externe de commande en tension. Cette configuration permet en effet de bien maîtriser les phases de charge à courant constant d'une part et tension constante d'autre part et dont l'alternance caractérise la plupart des cycles de charge imposés. Avant d'entamer la réalisation de l'ensemble de l'installation ainsi conçue, l'analyse du fonctionnement de chacun des étages la constituant, a été menée par simulation numérique sous Matlab/Simulink et ce en adoptant une modélisation reproduisant l'architecture réelle.

Dans le premier chapitre, nous présentons une image générale d'un scooter électrique et le principe de fonctionnement, ainsi que les déférents blocs et la chaine de traction électrique.

Le deuxième chapitre, après avoir présenté les différentes sources d'énergies renouvelables existantes, nous focalisons notre attention sur la production d'électricité photovoltaïque avec son principe de conversion. La modélisation énergétique complète du système est établie dans ce chapitre. Le modèle de chaîne de production photovoltaïque est mis au point en vue de l'estimation de la production d'énergie à partir des données de température et d'ensoleillement.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation de point maximale de la puissance pour chaque variation de l'éclairement, ainsi que la définition de quelques algorithmes de « tracking » qui ont été proposés dans la littérature

Dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats de simulation de la caractéristique I-V et P-V d'un module photovoltaïque lors de la variation de l'éclairement et de température, le courant de charge de la batterie et la tension aux bornes de la batterie pendant la charge. .

HISTORIQUE

Le premier véhicule s'apparentant à un scooter a été fabriqué en 1902 par la marque française Auto. En 1903, les premiers scooters ont aussi leurs ancêtres aux États-Unis, lorsque Cushman et Salsbury ont créé quelques uns des premiers deux-roues motorisés qui incarnent le scooter moderne. La firme Salsbury produisit le premier scooter automatique avec une transmission variable continue (TVC). Le léger Cushman, ramassé et peu pratique, a été utilisé par les forces armées des États-Unis dans le corps de parachutiste comme véhicule terrestre durant la Seconde Guerre mondiale. Ce modèle très utilisé sur les aéroports militaires US par les mécaniciens et armuriers a probablement inspiré les ingénieurs de Piaggio qui entretenaient les avions US basés en Italie (1945).



Figure I.1 La Vespa, premier scooter vraiment populaire

La Vespa, originellement produite par Piaggio après la guerre a rapidement popularisé le scooter à moteur lorsqu'un moyen de locomotion économe était nécessaire. Construit à base de pièces d'avions avec des techniques aéronautiques et supprimant la courroie en installant le moteur dans l'axe de la roue aboutissant à une redéfinition du véhicule pour 35 ans. En dépit de la suprématie de Vespa sur la marche du scooter, il y eut compétition avec Lambretta, qui offrait des modèles rivalisant avec ceux de Vespa.

La première vague de scooters, des années 1950 au milieu des années 1970 constitue un véritable phénomène de société; chaque pays voit naître des dizaines de

constructeurs locaux, y compris les grandes marques nationales de motocycles européennes, plus ou moins bien inspirés.

Partout, des clubs d'utilisateurs se forment qui organisent promenades, rallye et concours. Jugés dangereux par les parents, supplantés dans le cœur de la jeunesse par les nouvelles motos de loisirs japonaises qui envahissent l'Europe dans la seconde moitié des années 1970, les scooters connaissent une traversée du désert, à l'exception notable de la Vespa, appréciée des coursiers et des professionnels pour ses aspects pratiques et sa robustesse proverbiale.

Dans les années 1980 de nouvelles versions de scooters ont été lancées sur le marché, avec un certain succès populaire, particulièrement au Japon et en Extrême-Orient. Cette nouvelle vague de scooters a commencé à s'étoffer en devenant plus sportifs, en améliorant les parties cycles, jusqu'à aujourd'hui. Avec la sortie du Honda Ruckus une nouvelle tendance avant-gardiste a été proposée. Le style classique de la Vespa reste très populaire. En revanche, il reste le plus commun et le plus copié de tous les dessins de scooter. Pratiquement, tous les constructeurs aujourd'hui proposent deux styles dans leurs gamme, une rétro l'autre plus sport et moderne. [1]

I.1 INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de donner quelques généralités et définitions utilisées par la communauté scientifique travaillant sur ce vaste domaine qui est le scooter électrique. On commence par les blocs nécessaires du scooter, ensuite le principe de fonctionnement du scooter et comment rouler grâce au soleil. Enfin l'entretien du scooter électrique.

I.2 DEFINITION

Le scooter (du verbe anglais « to scoot » signifiant « patiner », donc « patinette ») ou scooter (Québec), est une motocyclette caractérisée par des petites roues (d'un diamètre souvent inférieur à 36 cm), un cadre ouvert formant plancher (un large espace entre les roues permet d'y placer les pieds et éventuellement des bagages) et un carénage. Les scooters sont souvent équipés d'une transmission automatique. [1]

Un scooter électrique est un véhicule à deux roues, muni d'un moteur électrique alimenté par des batteries. Ce type de véhicule encore peu connu en Algérie. Les scooters électriques sont très populaires dans de nombreux pays, notamment en Asie. Ils offrent de nombreux avantages en comparaison avec le scooter thermique. [2]

La propulsion dans un scooter est assurée par un moteur fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique. Autrement dit, la force motrice est transmise aux roues par un moteur électrique selon la solution de transmission retenue.

Compte tenu des progrès scientifiques et technologiques accomplis dans le domaine de l'électronique de puissance, les systèmes de gestion de l'énergie, etc.… beaucoup d'idées et de nouvelles conceptions sont explorés pour développer ce mode de propulsion.

On peut attendre d'un scooter électrique une vitesse de 45 km/h pour une autonomie de 40 à 70 km. Les prochaines générations de scooter électriques devraient avoir des performances comparables aux scooters de 125 cm^3 : vitesse jusqu'à 110 km/h et une autonomie de 100 km (l'autonomie d'un scooter X9 125 cm^3 est comprise entre 280 et 300 km pour une vitesse atteignant 120 km/h)

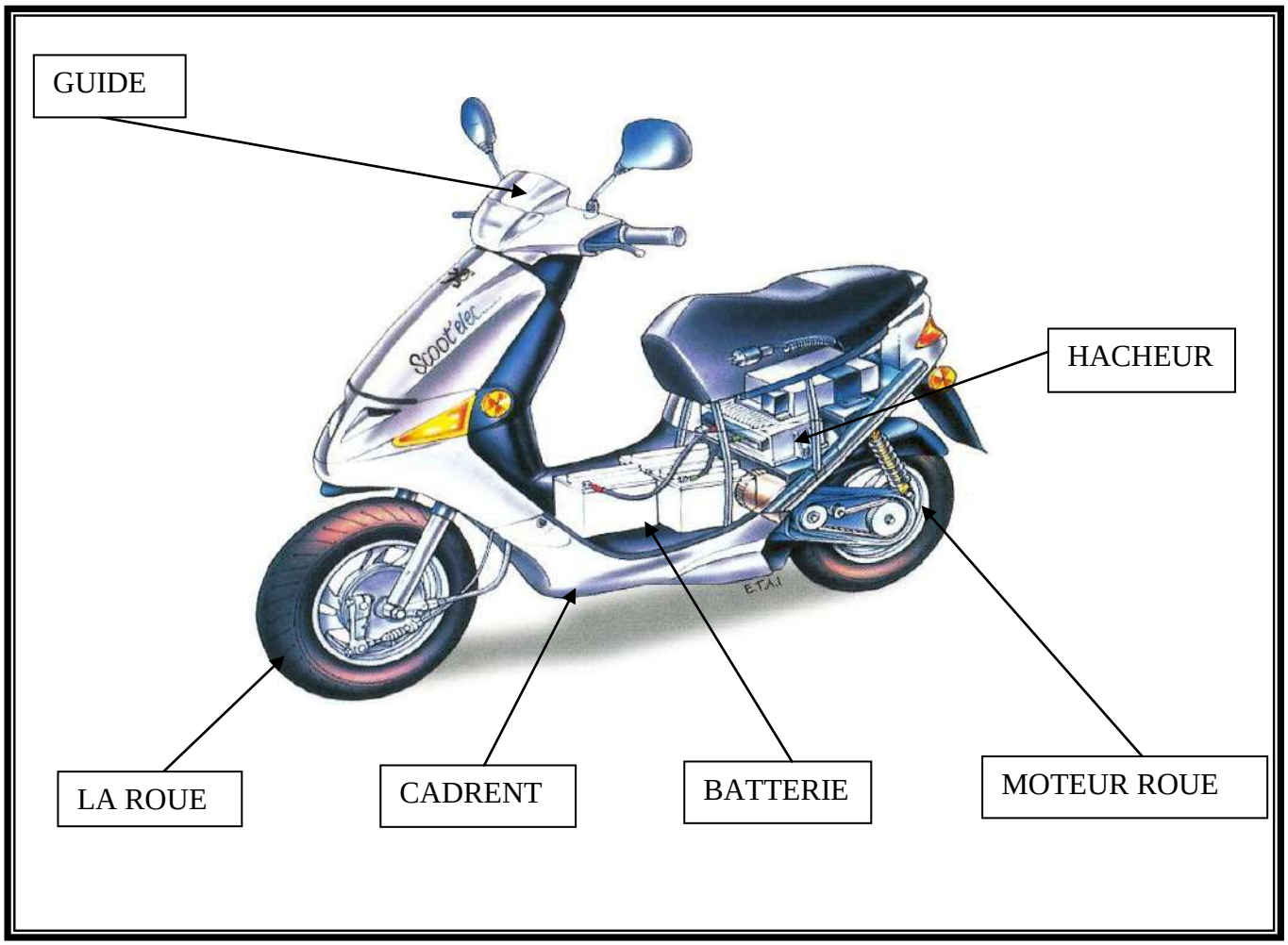


Figure I.2 Les parties nécessaires dans le scooter électrique

I.3 LES BLOC DE LA SCOOTER ELECTRIQUE

Le système d'un scooter électrique est constitue par trois blocs :

I.3.1 Le Bloc Moteur Electrique

Le moteur électrique est l'élément indispensable du scooter électrique, il doit être robuste, fiable et pratiquement sans entretien, ce qui est plus indiqué pour le moteur à induction. Selon le type de propulsion, il peut y avoir un ou plusieurs moteurs. Par ailleurs, différents types de moteurs peuvent être utilisés pour la propulsion, et cela dépend de plusieurs paramètres et contraintes du type de propulsion

Le moteur est l'un des éléments fondamentaux nécessaires au fonctionnement de scooter. Transformant une énergie non-mécanique — généralement chimique ou

électrique dans le cas de scooter — en une énergie mécanique, il produit un travail capable de mettre en mouvement le scooter. Ses performances sont généralement mesurées en termes de puissance (cheval-vapeur ou kilowatt) et de couple (Newton-mètre).

Placé dans le moyeu de la roue arrière, il est totalement étanche. Le moteur électrique est de dernière génération : il fonctionne par induction, c'est-à-dire sans frottements (pas de «balais» ni de «charbons»).

Contrairement aux moteurs à essence et aux moteur électrique traditionnels, sa durée de vie est longue (50.000 Km).



Figure I.3 Le Moteur roue (labo U-Médéa)

I.3.2 Le Bloc de Commande et de Contrôle

Le bloc de commande et de contrôle ″Contrôleur″ est le cerveau du système de propulsion, son rôle est de capter les informations d'état du système (vitesse de rotation, courants, etc.) de les traiter et d'agir en conséquence pour la génération des

signaux de commande, appliquées au moteur électrique afin de gérer au mieux la consommation d'énergie. [3]

Les commandes désignent l'ensemble des éléments d'une scooter permettant au conducteur de la conduire. Cette tâche serait néanmoins bien plus délicate si le conducteur n'était pas informé de l'état physique dans lequel se trouve le scooter. C'est la raison pour laquelle les commandes sont associées à des afficheurs.



Figure I.4 Compteur de vitesse et indicateur de charge (labo U-Médéa)

I.3.3 Le Bloc de Puissance.

Les convertisseurs de puissance permettent maintenant d'élargir le champ d'application des machines électriques. Un convertisseur de puissance est un dispositif de puissances qui assure la liaison entre la source ″batteries″ et la machine à commander en modulant l'énergie disponible pour le besoin.

Ce type de convertisseur fait varie uniquement la fréquence et permet d'obtenir ainsi une vitesse de rotation variable.



Figure I.5 hacheur (labo U-Médéa)

I.4 LA CHAINE DE TRACTION ELECTRIQUE

La chaine de traction électrique est l'organe principal du véhicule électrique

I.4.1 La source d'énergie

Le stockage de l'énergie électrique est le problème majeur du scooter électrique. Parmi les problèmes les importants du véhicule électrique est celui de la source d'énergie. La batterie et généralement un générateur électrochimique. Sont principe de fonctionnement et identique à celui des batteries de démarrage de servitude et d'éclairage que nous connaissons. [4]

Cette éléments permettant de stocker de l'énergie doivent remplir les conditions suivantes : [5]

- Une bonne puissance massique (rapport puissance/poids en W/kg) permettant de bonnes accélérations.
- Une bonne énergie massique (en Wh/kg) étant synonyme d'une bonne autonomie.
- Une tension stable engendrant des performances régulières.
- Une durée de vie élevée, calculée en nombre de cycles chargement/déchargement, conduisant á une diminution du coût pour l'utilisateur.
- Disposer d'un faible entretien et constituer d'éléments facilement recyclables.



Figure I.6 Batterie d'un scooter électrique (labo U-Médéa)

I.4.2. Le moteur électrique d'entrainement

Le moteur électrique est l'élément indispensable du scooter électrique. Les fabricants des scooters électriques emploient habituellement différents types de moteurs d'entraînements en tant qu'élément indispensable dans la chaîne de traction. Ceux-ci peuvent être de divers types tels que :

Le moteur à courant continu (MCC), à induction (MAS), synchrone à aimant permanent (MSAP), reluctance variable (MRV) etc. [6]

I.4.3 Le convertisseur statique (Le hacheur (DC-DC))

Un hacheur est un convertisseur de courant qui permet d'obtenir à partir d'une source de tension à courant continu de valeur sensiblement constante, des tensions et des courants contrôlés, réglables, différents des valeurs d'entrée et adaptés aux besoins nécessaires à l'alimentation de divers récepteurs (moteurs, batteries, etc.). Dans un scooter électrique, les hacheurs ont deux usages essentiels :

- Ils sont indispensables dans l'alimentation des moteurs de propulsion quand ceux-ci sont des moteurs à courant continu ;
- Ils sont nécessaires pour adapter la tension de la batterie principale à celle des auxiliaires électroniques utilisés (capteurs, régulateurs, etc.).

En effet, on ne peut envisager le branchement brutal d'un moteur à courant continu sur une source d'énergie à tension fixe (batterie d'accumulateur par exemple) pour les raisons suivantes :

- Aucun réglage du couple moteur ni de la vitesse du moteur ne serait possible.
- Le régime transitoire à la mise sous tension directe du moteur serait destructif tant du point de vue électrique (surintensité) que mécanique (sur couple) ; L'utilisation d'un hacheur permet en effet de maintenir le courant du moteur à la valeur souhaitée tout en assurant le réglage progressif et sans perte notable de la tension du moteur. Il permet également de régler le couple et la vitesse du moteur et donc du scooter en traction mais aussi en freinage électrique.

I.5 IMAGE POPULAIRE

Le scooter incarne la douceur de vivre à l'italienne, c'est-à-dire une notion de liberté, de plaisir et d'indépendance, mais également les modes (contraction de« modernist »), un mouvement de la jeunesse anglaise - plus précisément autour de Brighton issu des années 1960-1970 - a utilisé le scooter comme un véritable signe de reconnaissance. Ils se déplaçaient en meute, et avaient la particularité d'orner leurs véhicules de plusieurs rétroviseurs et de phares. [1]



Figure I.7 Schéma d'un scooter électrique (labo U-Médéa)

I-6 PERFOMANCES

Les performances des scooters électriques sont comparables voire supérieures aux performances des scooters thermiques avec en bonus un véhicule plus respectueux, plus agréable et économique. Le scooter électrique développe un fort couple au démarrage pour un départ rapide.

Les scooters électriques se rechargent en quelques heures sur une simple prise de courant domestique.

I.7 AUTONOMIE

L'autonomie d'un scooter électrique peut aller de 25 jusqu'à plus de 90 kilomètres. Elle dépend de plusieurs paramètres :

- La capacité des batteries
- La consommation en courant du moteur
- La consommation en courant des accessoires électriques
- Le poids du scooter
- Le poids du conducteur
- Le poids déplacé par le scooter
- La vitesse de conduite
- Le type de terrain parcouru (pente, descente, plat, sable, gravier, bitume)
- La présence ou non d'un récupérateur d'énergie
- Et dans les scooters alimentés par les panneaux solaires il faut déterminer le poids des panneaux

En adoptant une conduite souple et en anticipant sa conduite, ou en se servant du moteur pour ralentir la course (effet de recharge des accumulateurs), il est possible de rallonger l'autonomie de son scooter électrique, qui consomme de l'électricité uniquement lors de l'accélération.

Les modèles les plus récents intègrent généralement un mode "éco", permettant de rouler autour de 30 km/h et un mode "full", qui permet d'atteindre la vitesse maximale de 45 km/h. En basculant judicieusement entre ces 2 modes, il est possible de rallonger l'autonomie de plusieurs dizaines de kilomètres.

I.8 COUT D'UTILISATION

La consommation d'un scooter électrique n'est que de 66 centime aux 100 km, ce qui est bien plus avantageux qu'avec un scooter thermique. Le prix du carburant à la pompe augmentant régulièrement, le scooter électrique devient de plus en plus intéressant en tant qu'alternative.

Les compagnies d'assurance proposent des forfaits spécifiques très attractifs, car les scooters électriques sont à la fois moins polluants (bonus écologique) et moins sujets aux vols et dégradations. On considère également que les conducteurs de véhicules de ce type sont plus responsables et matures. [2]

I.9 LE PRINCIPE DU SCOOTER E'LECTRIQUE

Le scooter électrique ressemble à un deux roues classique, sauf qu'il ne possède pas de moteur thermique (à essence). La propulsion est assurée par un moteur électrique situé dans le moyeu de la roue arrière.

L'absence de moteur thermique engendre un grand confort de conduite, puisque qu'il n'y a quasiment plus de nuisances sonores ni de vibrations.

La conduite est souple et douce. En fonction de la puissance du moteur du scooter électrique, il peut y avoir une accélération supérieure à une 2 roue à essence.

En effet, le rendement d'un moteur électrique est bien meilleur que celui d'un moteur thermique, puisque ce dernier consomme la majorité de l'énergie (l'essence) pour produire de la chaleur, et non pour mettre le véhicule en mouvement.

En termes de maintenance (entretien, réparation), le scooter électrique présente de nombreux avantages :

Pas de moteur thermique, ce qui supprime la quasi-totalité des vibrations, évitant ainsi les nombreux problèmes mécaniques que les vibrations entraîne après plusieurs mois d'utilisation.

Pas de système de transmission (chaîne ou courroie, pignons, boîte de vitesse, etc… puisque le moteur électrique est directement dans la roue) ce qui élimine toutes les révisions liées à la transmission, à la vidange, au remplacement de filtres et de joints, à la bougie, au circuit d'échappement, à l'allumage, etc…

Pas de boîte de vitesse ou de variateur mécanique, pas de système d'échappement et pas de système de transmission, ce qui limite le risque de panne. La simplicité de la conception d'un scooter électrique fait que les pannes et les maintenances nécessaires sont bien plus rares. [7]

I.9.1 Autre avantages

a) Respectueux

- Pas d'émission de gaz polluant, de fumée ou de particules. (certains scooters thermiques polluent 144 fois de plus qu'une automobile)
- Peu de bruit pour une meilleure qualité de vie
- Les déchets comme l'huile moteur sont supprimés avec l'utilisation d'un moteur électrique aucune odeur puisque pas de rejet

b) Pratique

- Une simple prise électrique de 230V, ou 120V comme en Amérique suffit pour recharger le véhicule
- Une autonomie suffisante pour une utilisation quotidienne
- Une conduite fluide et sans à-coup (gestion électronique paramétrable)
- Un démarrage en moins d'une seconde même en hiver
- Indébridable par l'utilisateur: il est possible toutefois d'en augmenter sa puissance, sa vitesse ou son autonomie soit en augmentant la tension des batteries, en changeant le contrôleur ou encore le moteur pour un plus puissant ou les trois selon les spécifications du fabriquant

c) Économique

- La technologie électrique permet de réduire l'entretien du véhicule.
- Un carburant au tarif imbattable : l'électricité (en moyen 66 centimes les 100 km)
- Pas de gaspillage, le moteur consomme uniquement lors des phases d'accélération.
- Des tarifs d'assurance avantageux [2].

I.10 COMMENT ROULER GRACE AU SOLEIL ?

L’énergie solaire peut être exploitée pour la recharge des batteries. La réussite de la transition écologique dans le domaine du transport tourne essentiellement autour de la question des batteries et de leur recharge : autonomie, bornes de recharges, etc. Le développement des scooter électriques passe par l’exploitation de différentes ressources énergétiques propres. Les défis majeurs du marché actuel sont l’autonomie (qui passe par une capacité de stockage accrue des batteries) et la mobilité (qui passe par l’accessibilité de la recharge)

Les capteurs solaires peuvent participer à la solution de ces 2 problématiques :
Le soleil est accessible à tous et de façon mobile. Un scooter solaire est équipé de plaques photovoltaïques.
Les plaques sont intégrées à la carrosserie ou bien elles sont installées en surimposition.

I.11 L'ENTRETIEN DU SCOOTER E'LECTRIQUE

L'entretien d'un scooter électrique se fait sur les parties classiques d'un deux roues (le système de freinage et d'éclairage, les pneus, le châssis et la carrosserie) ainsi que sur la partie spécifique à l'électrique : la batterie, le contrôleur électronique (le boîtier en aluminium, sur le flan arrière de la moto qui assure toute la gestion de la moto) ainsi que sur le moteur électrique.
La batterie: avec l'arrivée des batteries au lithium, l'entretien ou le remplacement régulier de la batterie n'a plus lieu d'être. Les batteries au lithium ont la même durée de vie que le scooter (environ 1500 cycles de charge, soit en moyenne 50.000 km). Contrairement aux batteries à base de plomb, elles ne doivent pas être remplacées tous les 12 ou 18 mois car celles-ci perdent rapidement de l'autonomie au fil du temps, et l'autodécharge s'accélère (la batterie du scooter se décharge, même lorsqu'on ne s'en sert pas).
Le contrôleur électronique : C'est le «cerveau» du scooter électrique. Il gère la puissance du moteur, sa consommation, la coupure du moteur lors du freinage, la limitation de la vitesse du scooter en mode «réserve», lorsque la batterie est presque entièrement déchargée, etc…
Celui-ci tombe rarement en panne, sauf si par exemple il est passé au nettoyeur haute pression et que de l'eau s'infiltre à l'intérieur, ou dans le cas d'un choc violent. Dans ce cas il suffit de le remplacer, ce qui prend quelques minutes à un spécialiste.
Le moteur électrique. Il s'agit, sur les scooters électriques les plus récents, de moteurs à induction, c'est-à-dire sans frottements. Soumis à une utilisation normale, leur durée de vie est en principe égale à celle du scooter. Si ce n'est pas le cas, leur remplacement est une opération rapide, sans comparaison avec le remplacement d'un moteur à essence sur un scooter thermique.

I.12 LES ECONOMIES REALISE'ES

A l'usage, un scooter électrique est bien moins cher qu'un scooter à moteur thermique. Pour les sceptiques sur le CO2, ce qu'on ne peut nier, c'est l'énorme économie d'énergie du scooter électrique par rapport au thermique. Son carburant (l'électricité) est moins onéreux que celui d'un scooter thermique (l'essence), et le rendement du moteur électrique est bien meilleur. Le moteur thermique à un rendement de 20%, alors que le moteur électrique à un rendement de 90% c'est plus de 4 fois. On est donc à 120 fois moins d'énergie pour un trajet pour un scooter électrique.

Les batteries ayant encore des puissances limitées, l'électrique réfléchit encore beaucoup à l'économie d'énergie : coefficient de pénétration dans l'air, poids, pneus spéciaux pour limiter le frottement. Toutes ces démarches sont vitales pour l'électrique, et intéressantes pour le thermique. [7]

I.13CONCLUSION

Dans ce chapitre, Nous avons donné des définitions et généralités sur la chaine de traction électrique afin de choisir la configuration et la puissance nécessaire pour un scooter électrique. Les ordres de grandeur des puissances maximales permettent de constater qu'il est possible de réaliser une motorisation électrique sur de nombreux scooter.

Dans le chapitre suivant, nous présentons une étude sur le capteur photovoltaïque; et le système de stockage d'un scooter électrique.

IV.1.INTRODUCTION

Les logiciels de simulations sont des outils puissants pour tester et évaluer l'exécution théorique des systèmes. Les conditions d'exécution du dispositif à tester peuvent être facilement contrôlables. La simulation nous permet de passer de la conception du système théorique à la réalisation pratique avec plus d'assurance car les changements lors de la conception peuvent être faits facilement dans un système simulé, ceci nous permet d'expérimenter un ensemble large de variations et de choisir enfin la solution optimale.

Pour simuler les méthodes numériques de MPPT (Incrémentation de la Conductance simple et améliorée) on utilise le logiciel de MathWork de Matlab qui inclut l'outil de simulation Simulink. Simulink tient compte de la division d'un système simulé en un certain nombre de sous-ensembles. Ces sous-ensembles peuvent être modélisés et examinés individuellement et interconnecté plus tard. Ceci permet d'établir des sous-ensembles physiques comme le panneau solaire, les batteries, le convertisseur DC/DC, et l'algorithme MPPT choisi.

Ensuite, nous présentons les caractéristique des différentes parties d'un scooter électrique :station solaire , le système de stockage, le bloc de commande et le moteur roue.

IV.2.SCHEMA GLOBAL DE LA SIMULATION

Ce schéma global est constitué de plusieurs sous-systèmes coordonnés entre eux et le sens des flèches contenant les variables nous aide à mieux comprendre le fonctionnement du système et à savoir qui contrôle qui. Par exemple la tension V du panneau solaire est une variable fixée par le rapport cyclique du hacheur donc V est sortante du convertisseur DC/DC et est entrante dans le panneau solaire. Donc ce schéma obéit aux équations de chaque sous systèmes que nous avons vue précédemment mais pas au circuit électrique réel.

.

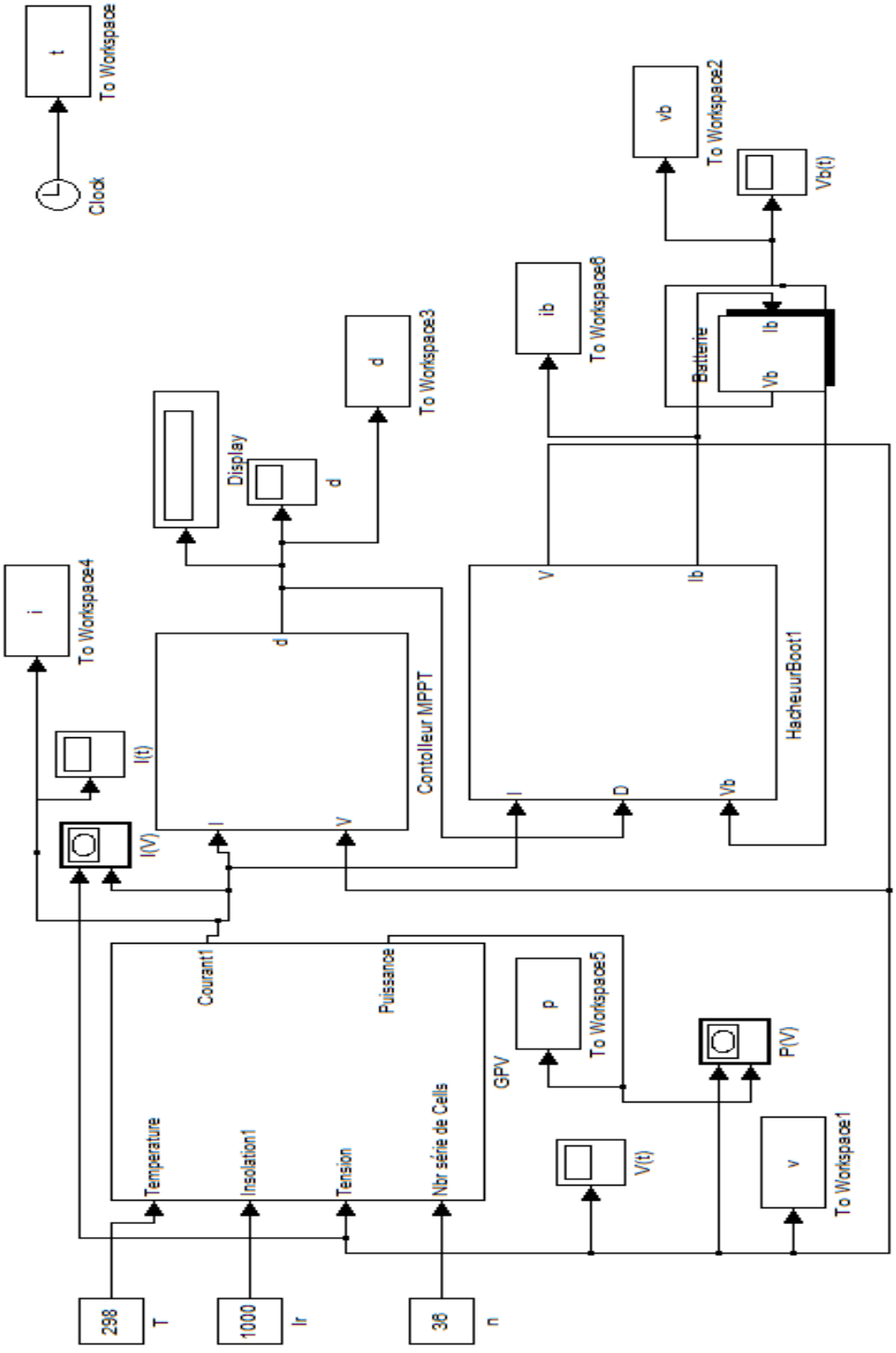


Figure IV.1 : schéma global de la simulation d'un GPV

IV.2.1.Le module d'une Générateur photovoltaïque

Un module photovoltaïque est constitué généralement de 36 cellules mises en série. Le courant de ce denier sera dans ce cas équivalent à celui d'une seule cellule alors que sa tension correspond à la somme des tensions correspondantes (figure IV.2). C'est sur cette base qu'un premier modèle du module a été établi initialement.

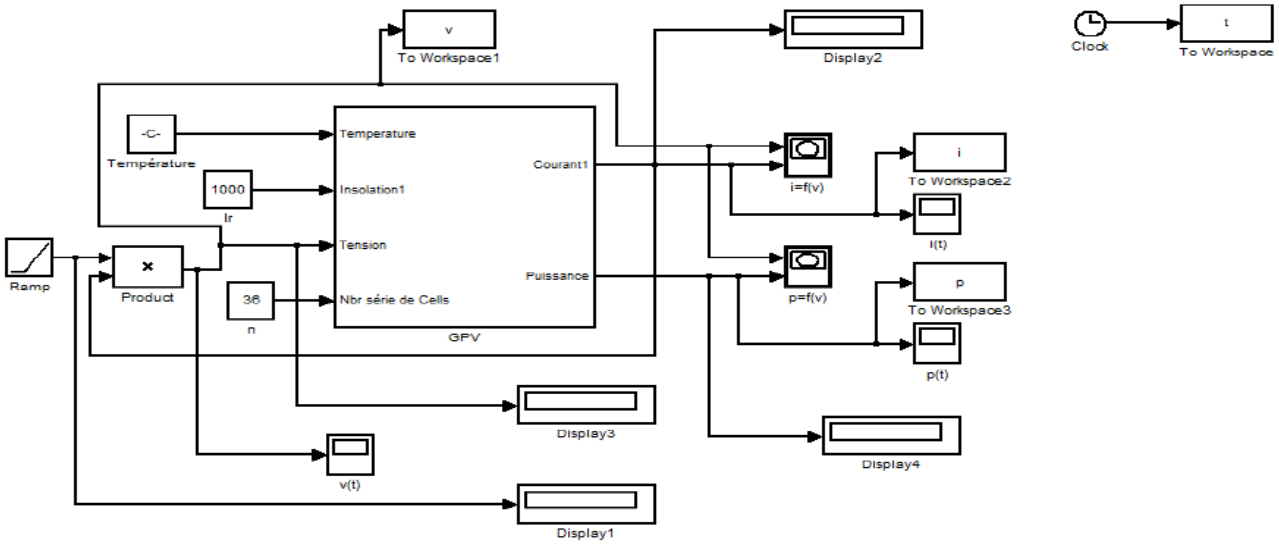


Figure IV.2 : module photovoltaïque sous MATLAB/simulink

Les figures IV.3, IV.4 montrent les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule photovoltaïque au silicium monocristallin avec Rs=0.015Ω et Rsh=30Ω, pour un éclairement de 1000 w/m2 et une température de 25°C.

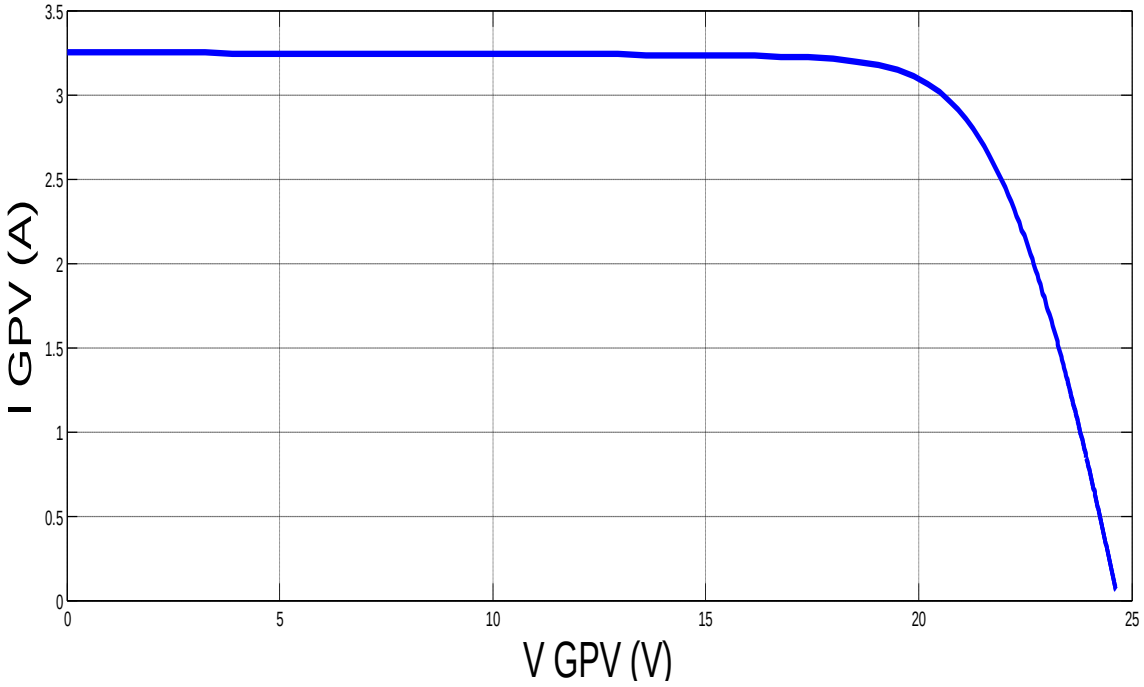


Figure IV.3: Caractéristique I-V d'une module PV (Ir=1kW/m², T=25°C).

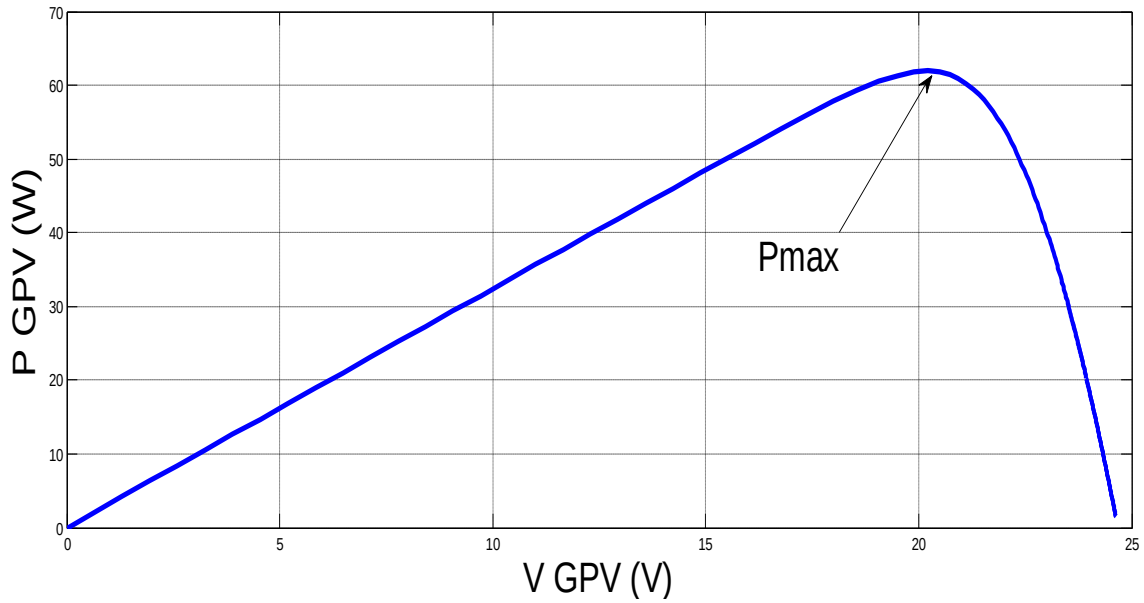


Figure IV.4: Caractéristique P-V d'une module PV (Ir=1kW/m², T=25°C).

a) Influence de l'éclairement

Les figures IV.5, IV.6 montrent l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque à une température constante (T=25° C).

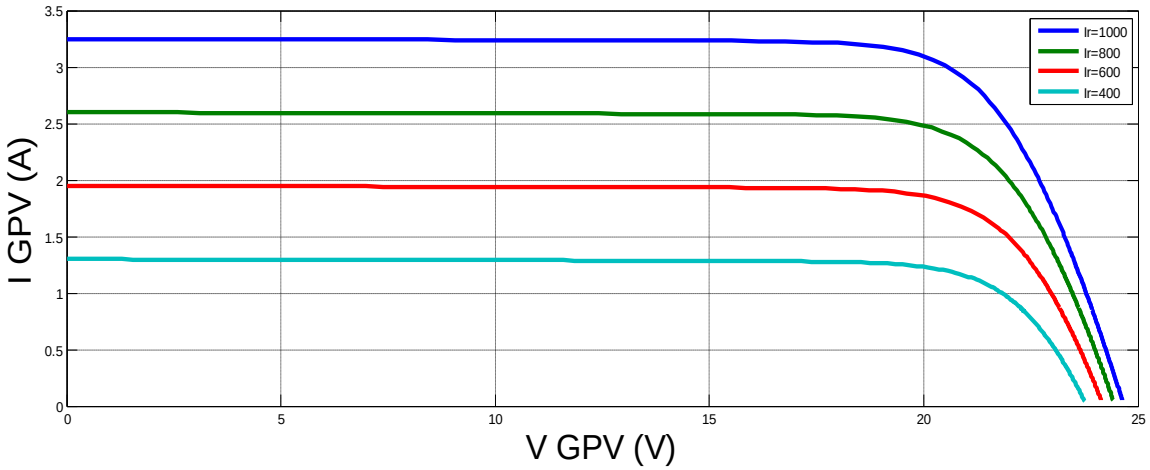


Figure IV.5: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I-V d'une module PV**.**

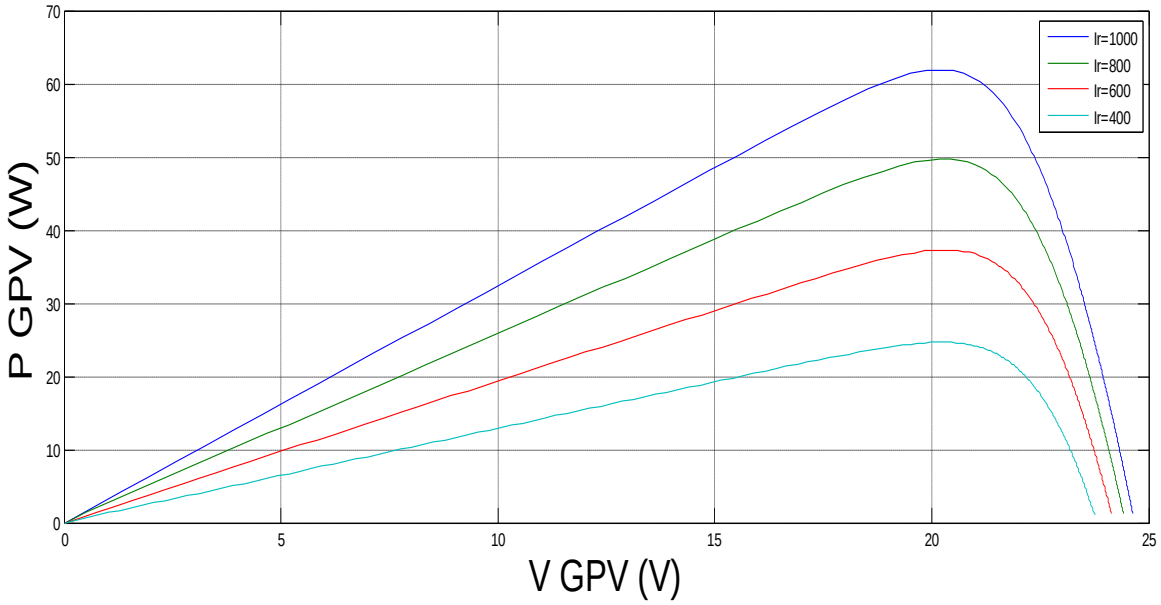


Figure IV.6: Influence de l'éclairement sur la caractéristique P-V d'une module PV.

On remarque que la tension de circuit ouvert (Vco) ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant de court-circuit (Icc) qui augmente fortement avec ce dernier. Ceci implique que la puissance optimale de la cellule est pratiquement proportionnelle à l'éclairement.

b) Influence de la température

Les figures IV.7, IV.8 montrent l'influence de la température sur les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule photovoltaïque pour un éclairement de 1000 W/m². On remarque que lorsque la température augmente, la tension du circuit ouvert Vco diminue alors que le courant de court-circuit Icc augmente.

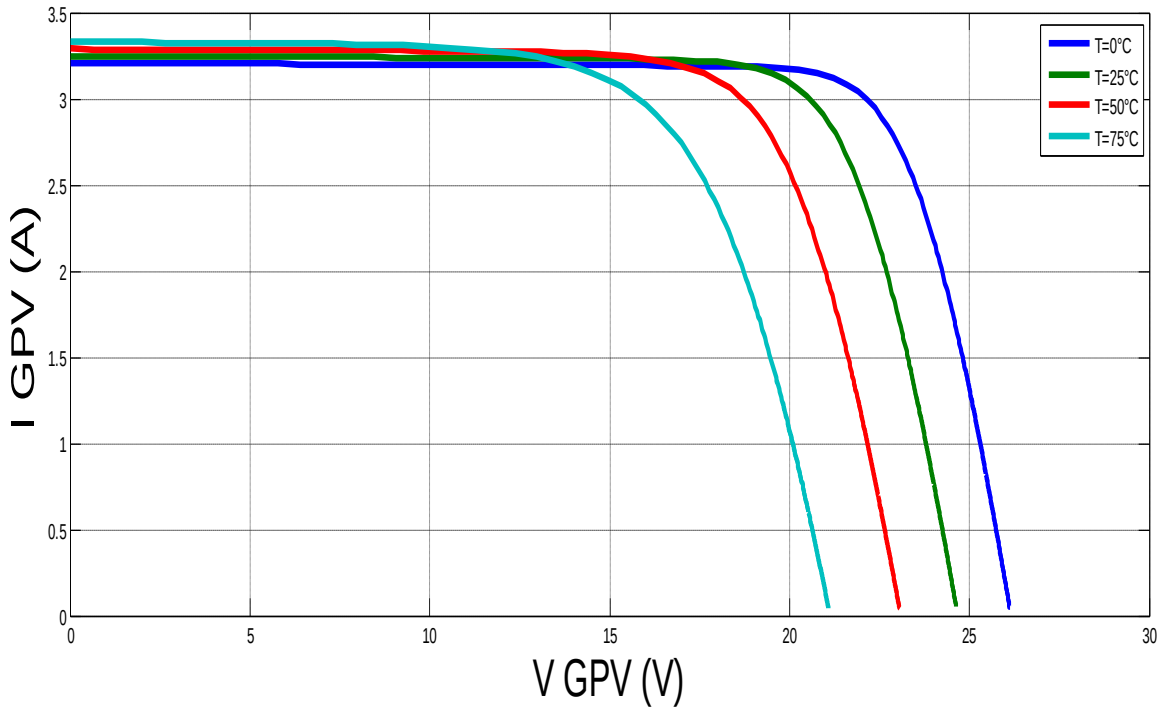


Figure IV.7: Influence de la température sur la caractéristique I-V d'une module PV.

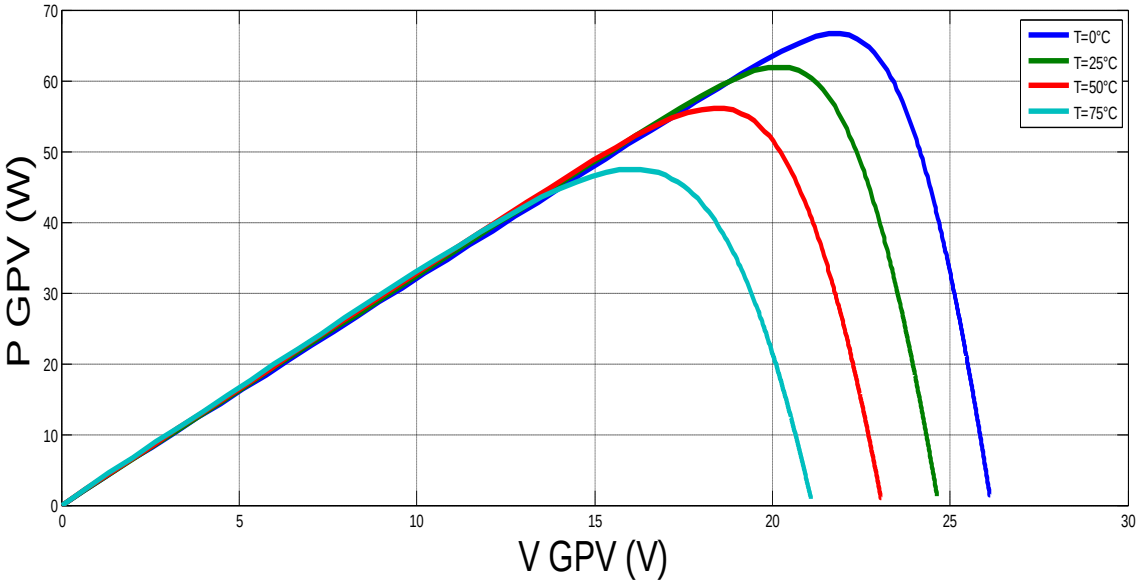


Figure IV.8: Influence de la température sur la caractéristique P-V d'une module PV.

c) Influence de la résistance série

Les performances d'une cellule sont d'autant plus dégradées que Rs est grande, la figure IV.9 montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique I-V. Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la courbe I=f(V) dans la zone ou la cellule fonctionne comme une source de tension, à droite du point de puissance maximale.

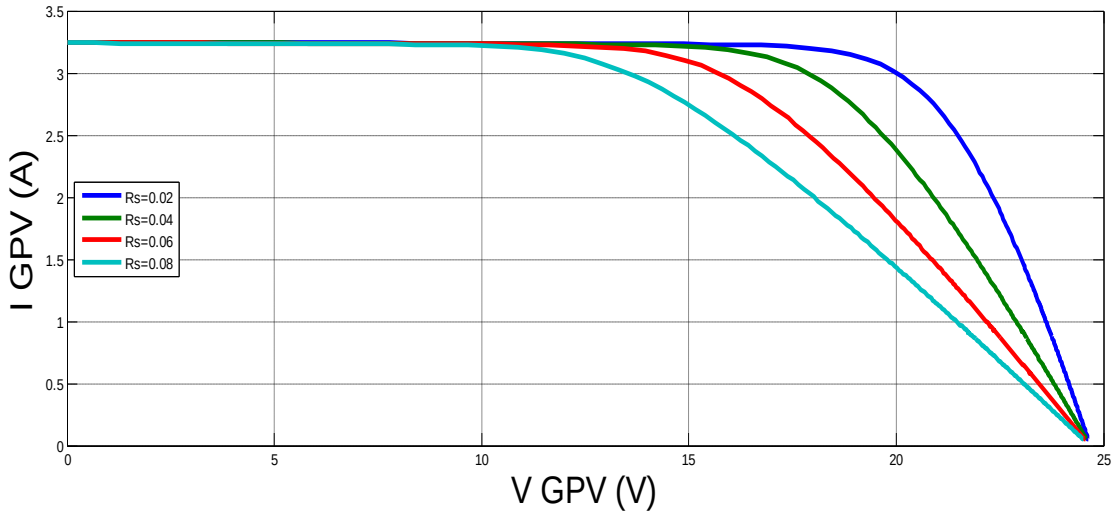


Figure IV.9: Influence de la résistance Rs sur la caractéristique I-V d'une module PV.

d) Influence de la résistance shunt

La figure IV.10 montre l'influence de la résistance Rsh sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque.

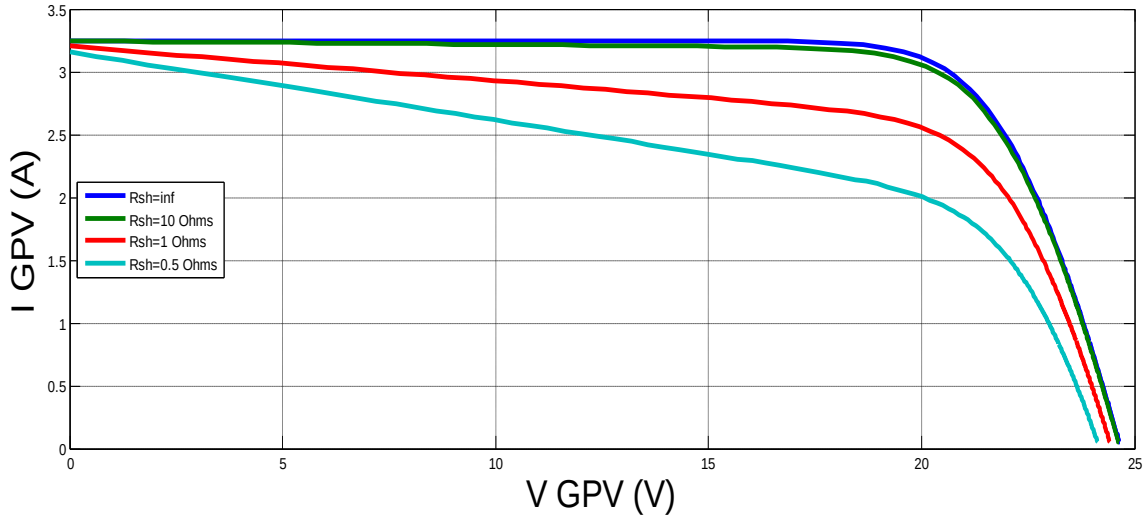


Figure IV.10: Influence de Rsh sur la caractéristique I-V d'un module PV.

IV.3.PRESENTATION D'UN SCOOTER ELECTRIQUE ALIMENTE PAR UNE STATION SOLAIRE

La figure (IV-11-a) représente l'mage d'un scooter électrique qui nous utilise pour notre projet.

La figure (IV-11-b) montre le schéma proposé pour l'installation de panneau photovoltaïque sur le châssis, La première étape représente la soudure avant-bras sur le châssis, ce qui nous permet de mettre le panneau photovoltaïque facilement.





Figure IV-11- a:le scooteur électrique

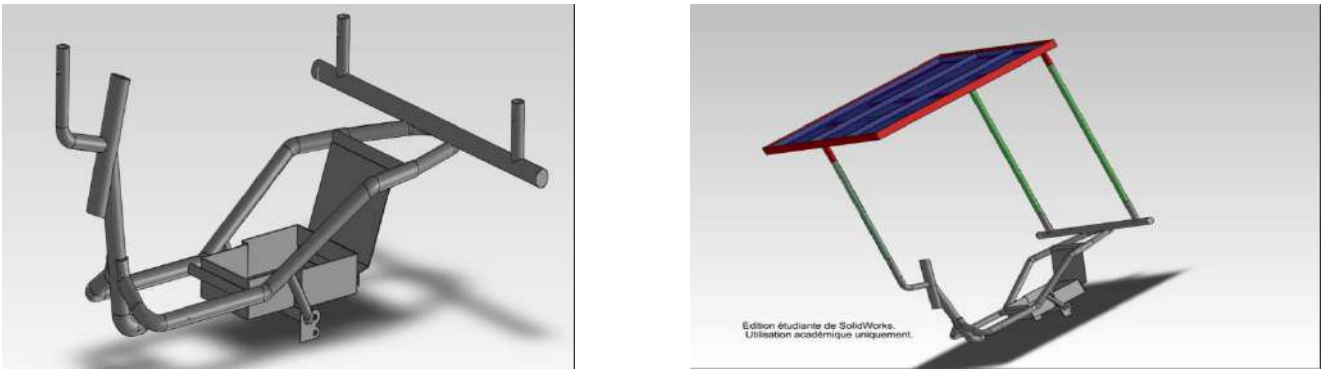


Figure IV-11- b:le montage d'un panneau photovoltaïque

IV.3.1.panneau photovoltaïque

Dans le schéma proposé on a utilisé trois panneaux du modèle de la figure(IV.12). Le tableau(IV.1) montre les caractéristiques du panneau utilisé.



Figure IV-12 : Les panneaux photovoltaïques.

TEMPERATURE	**25°C**	**47°C**
PUISSANCE(P)	**43W**	**39.1W**
CO URANT (I)	**2.49A**	**2.56A**
TENSION (V)	**17.3V**	**15.3V**
NOMBRE DE CELLULE	36 cellules	
TAILLE DE COQUE	1220mm*300mm*40mm	
POIDE	5.442 Kg	
MODEL	M53RATING INFORMATION	

Tableau IV-1: caractéristiques d'un panneau photovoltaïque.

IV.3.2.Les batteries

Pour alimenter le moteur roue on utilise quatre batteries de 12V figure(IV-13).



Figure IV-13 : la batterie

Le tableau(IV.2) montre les caractéristiques des batteries utilisées.

Point d'origine	La Chine (continent)	**Nom de marque**	Zhenlong
Numéro de Type	6-DZM-20	**Type**	batterie d'acide de plomb/gel battery/VRLA
Tension nominale	12V	**Taille**	181*76*170mm
Capacité nominale	30Ah	**Certificats**	CE/ROHS

Tableau IV-2: caractéristiques de batterie.

- **Spécifications**

Bonne exécution d'acide de plomb de la batterie 6-DZM-20 (VRLA), qualité, entretien libre, basse décharge spontanée, aucune fuite.

IV.3.3.Contrôleur

Un contrôleur est un dispositif électronique embarqué qui possède deux fonctions principales. La première est d'utiliser le courant continu de la batterie pour faire tourner le moteur. Il alimente successivement les 3 phases du moteur en tenant compte de la vitesse de rotation demandée. Grâce à lui vous pouvez augmenter ou diminuer la vitesse de rotation de la roue et donc rouler plus ou moins vite. Le contrôleur possède un calculateur intégré que l'on peut paramétrer. Sa seconde fonction est d'alimenter le récepteur et les servos avec un courant continu stabilisé.

La figure(IV.14) montre le boitier et la carte de commande du contrôleur.

Les caractéristiques du contrôleur sont données par le tableau (IV.3).

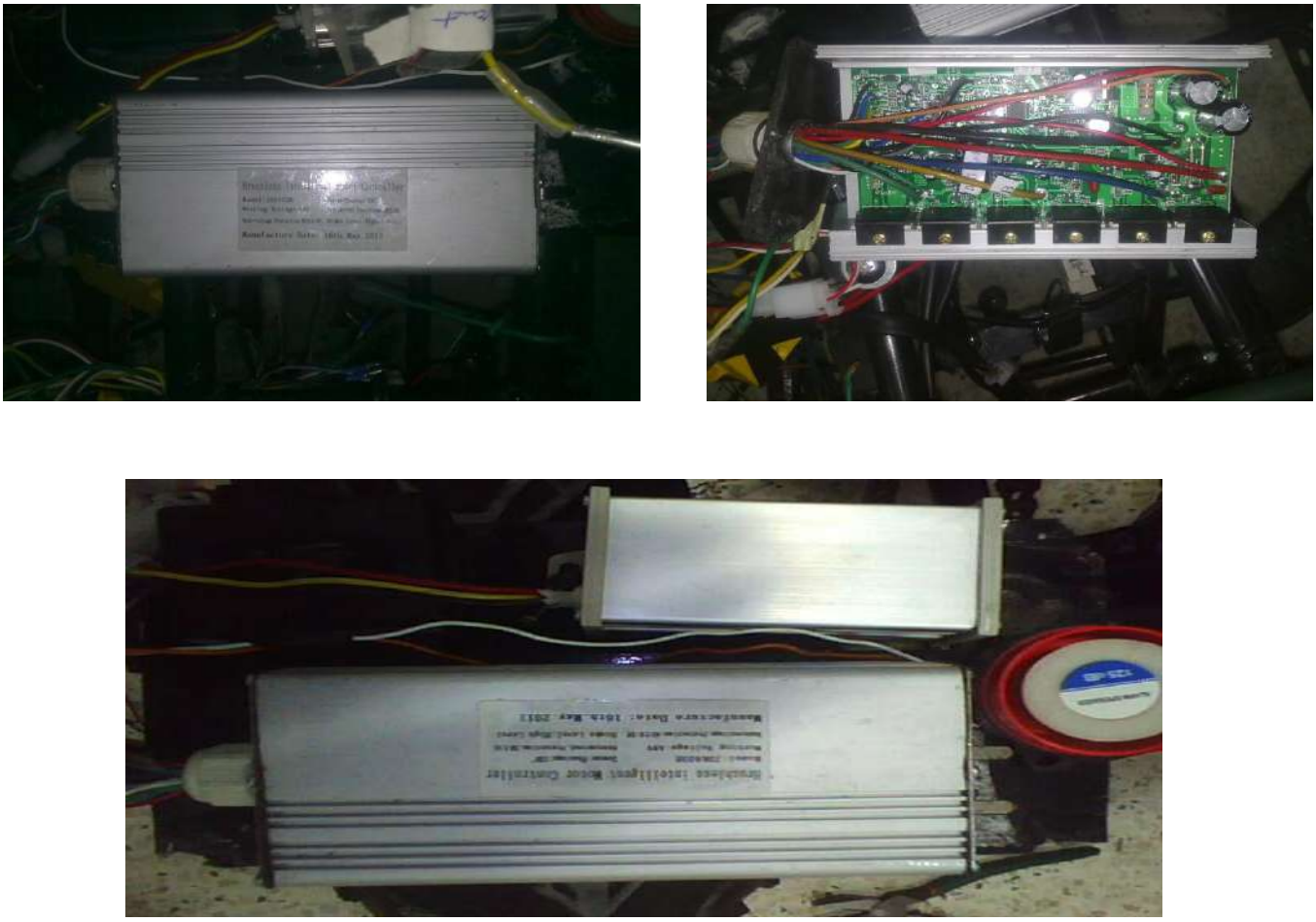


Figure IV-14 : Brushless Intelligent moteur Controller

Brushless Intelligent moteur Controller	
Modal	JDK403R
Tension de fonctionnement	48V
La protection à minimum de tension	42±0.5V
Seuser phases	120
Protection contre les surintensités	30±1A
De niveau de freinage	Niveau élevé
Manufacture Date 16.may.2011	

Tableau IV-3: Brushless Intelligent moteur Controller.

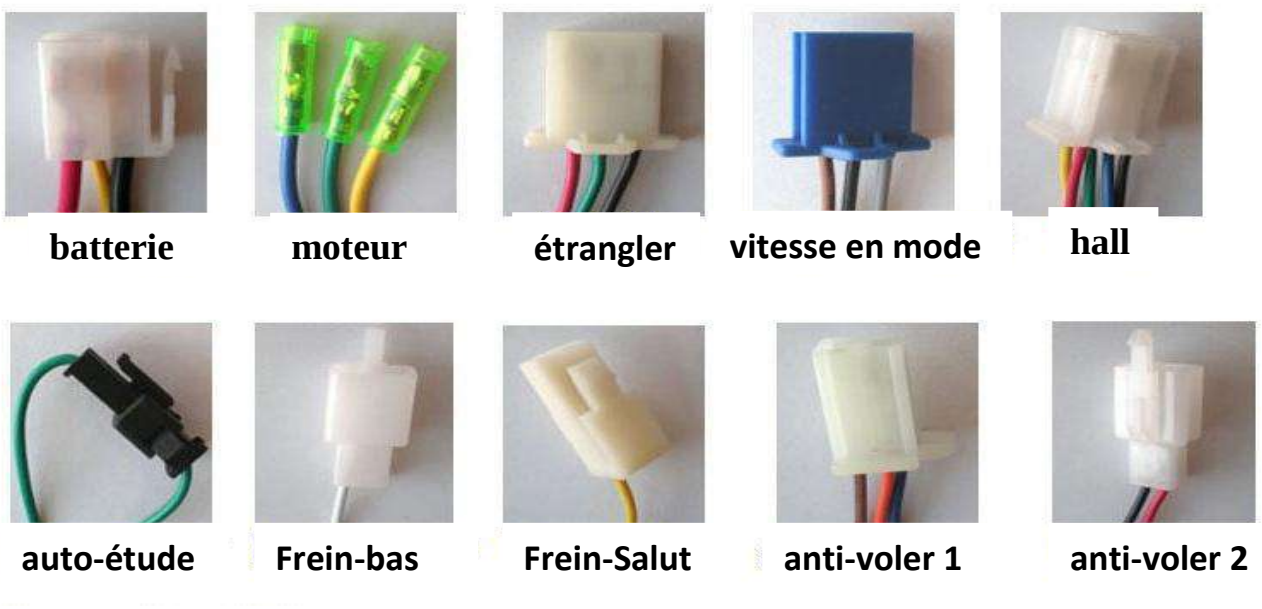


Figure IV-15 : les différents Connecteur.

a)Connecteur /Définition de fil

- batterie : rouge à ‘’+’’ ,noire à ‘’-‘’, slim jaune à ’’ serrure à clé ‘’
- vitesse en mode : crochet à la vitesse en mode de commutation (la plupart avec ‘’lent’’ ‘’ moyen" " rapide" trois bandes).
- auto-étude :plug-in à la première fois, le contrôleur aurait phases d'alignement automaticlly et la mémoire, puis branchez-out.
  si inverse de marche du moteur, assurez plug-in / Plug-out en même temps.

- anti-voler 1 : bleu-moteur de verrouillage, d'orange-serrure, brun-verrouillage de phase
- anti-voler 2 : fournir une alimentation anti-voleur
- Frein-bas : prendre la tension''- ''en tant que signal de frein

Frein-Salut : prendre la tension''+'' en tant que signal de frein

- étrangler : le contrôle de tous les accessoires(Lampes, clackson).
- hall : Lié avec les Capteur à effet Hall qui Situé à l'intérieur du moteur

IV.4.INTRODICTION SUR LE MOTEUR BRUSHLESS

Les moteurs à C.C ont été graduellement remplacées par des moteurs Brushless puisque les applications industrielles exigent des actionneurs plus puissants ont de faible encombrement. La souplesse à la commande, la longue durée de vie due à l'absence de la commutation mécanique ainsi qu'il présente moins de bruit acoustique sont les principaux avantages de ce moteur .Leur principal inconvénient est la nécessité d'avoir une électronique de contrôle. Mais cet inconvénient est dépassé grâce au progrès réalisé dans les domaines de l'électronique de puissance et l'arrivé des nouveaux calculateurs numériques très sophistiqués ce qui permet de réaliser des variateurs performants.

IV.4.1.Fonctionnement

Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation (de l'anglais *Brushless*) vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun collecteur tournant et donc pas de balais. Par contre un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques . Ce dispositif peut être, soit intégré au moteur pour les petites puissances, soit extérieur sous la forme d'un convertisseur de puissance (onduleur). Le rôle de l'ensemble capteur plus électronique de commande est d'assurer l'auto-pilotage du moteur c'est-à-dire l'orthogonalité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique, rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu.

IV.4.2.Constitution du moteur Brushless

Les moteurs Brushless sont constitués de 3 éléments principaux :

- Une partie fixe, le stator, muni de trois groupes de bobines, appelées les trois phases du moteur. Ces bobines fonctionnent comme des électro- aimants et permettent de générer diverses orientations du champ magnétique régulièrement réparties autour de l'axe central du moteur.
- Une partie tournante, le rotor, muni d'aimants permanents. Comme l'aiguille d'une boussole, ces aimants vont en permanence entraîner le rotor pour tenter de s'aligner sur le champ magnétique du stator. Pour une durée de vie optimale du moteur, le rotor est monté sur roulements à billes.
- Trois capteurs magnétiques à " effet Hall ". Ces capteurs permettent de connaître à chaque instant la position des aimants du rotor [41].

La machine à courant continu sans balais se présente généralement munie de ses capteurs de position. Ses connexions extérieures comprennent donc les bornes des enroulements et les bornes des capteurs.

Remarques

Il existe quelques réalisations des moteurs Brushless dans lesquelles il est intégré l'électronique effectuant les commutations. La machine ne comporte alors que deux fils comme un moteur à courant continu classique. On peut trouver également des moteurs Brushless qui ne possèdent pas de capteurs. C'est le cas des moteurs désigné pour la commande sans capteurs appelé aussi « Sensorless Control », dans ce cas le contrôleur utilise la force contre électromotrice crée par la rotation du rotor au passage devant les bobines pour déterminer la position du rotor, ceci sera détaillé plus tard. La machine ne comporte alors que trois fils comme une machine synchrone à aimant permanent.

IV.4.3.Moteur Brushless à rotor extérieur

La figure suivante présente le schéma d'un moteur à rotor extérieur :

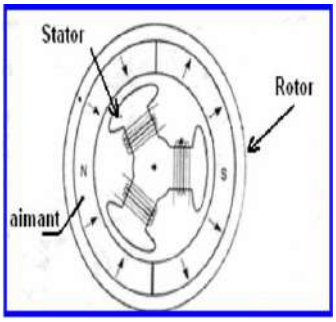


Figure IV-16 : Moteur Brushless à rotor externe

Les tôles utilisées au stator ressemblent à celles de l'induit de la machine à courant continu à balais. Ce type de stat or est simple à bobine r, car le fil se bobine directement sur le stator section par section. Le rotor est constitué d'aimants montés dans une cloche magnétique permettant la continuité du champ. Dans cette configuration, il n'y a plus de problème pour maintenir les aimants, car ils sont plaqués sur la cloche par l'action de la force centrifuge.

Cette structure est celle utilisée pour l'entraînement des lecteurs CD-ROM et elle est aussi fréquemment utilisée dans les applications de ventilation pour son faible coût et sa facilité de fabrication. Cependant, les machines à rotor extérieur ne sont utilisées que pour des applications à vitesse constante car le rotor a une inertie import ante de par sa position externe

IV.5.L'ALIMENTATION ELECTRONIQUE DU MOTEUR BRUSHLESS

La structure globale d'un moteur à courant continu sans balais comprend figure(IV.17):

- des capteurs, munis éventuellement de circuits de mise en forme, qui permettent de connaître la position du rotor à tout instant en général des capteurs à effet hall.
- un circuit logique qui élabore les commutation à appliquer aux différents phases du moteur compte tenu des signaux issus des capteurs.
- un commutateur de puissance qui alimente les enroulements en fonction des informations reçues par la logique de commande.

- une commande de la tension ou du courant permettant d'agir sur la vitesse du moteur.

Les trois premières fonctions permettent d'effectuer les commutations assurées par le système balais-collecteur dans un moteur à courant continu classique tandis que la dernière est analogue à celle qui est utilisée pour la commande de ces mêmes moteurs [41].

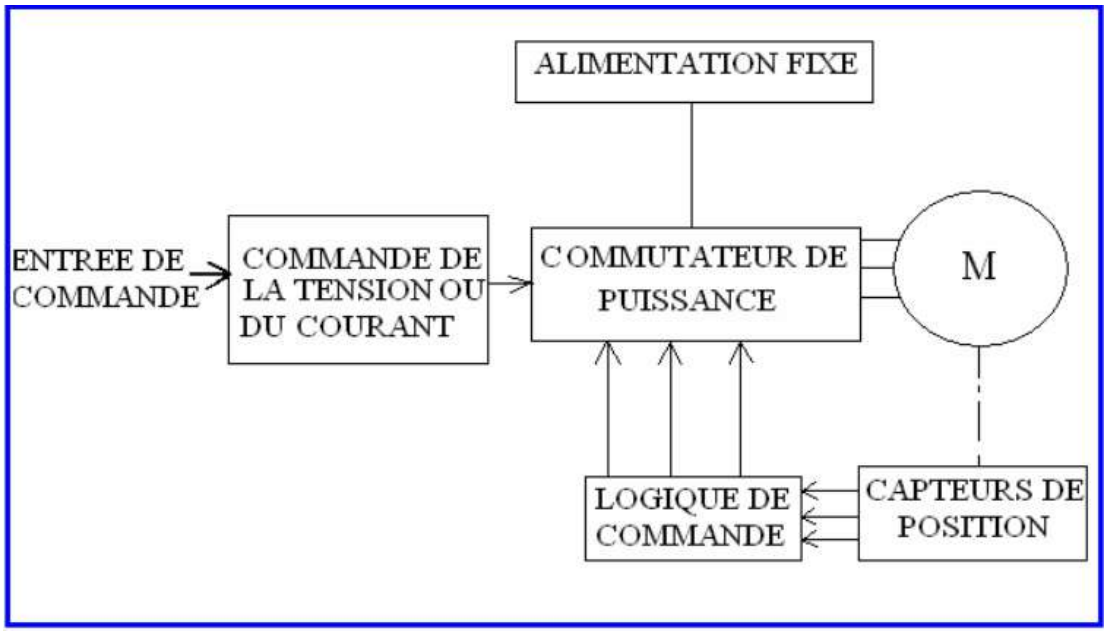


Figure IV-17 : Structure générale de l'alimentation d'un moteur Brushless.

IV.5.1.Commutateur de puissance

On prévoit en général l'inversion du sens du courant dans les phases (alimentation bidirectionnelle) car la machine est alors mieux utilisée. Le s enroulements peuvent être couplés en étoile ou en triangle. On rencontre aussi parfois des alimentations unidirectionnelles, mais uniquement lorsque les phases sont couplées en étoile avec neutre sorti [41].

IV.5.2.Alimentation unidirectionnelle

Dans ce cas, on a besoin d'un transistor et d'une diode par phase figure (IV-18). Lorsqu'un transistor est saturé, la tension d'alimentation est appliquée aux bornes de la phase. Quand on bloque le transistor, la force électromotrice induite dans l'inductance

du circuit impose la mise en conduction de la diode de roue libre qui court-circuite alors l'enroulement [41]. .

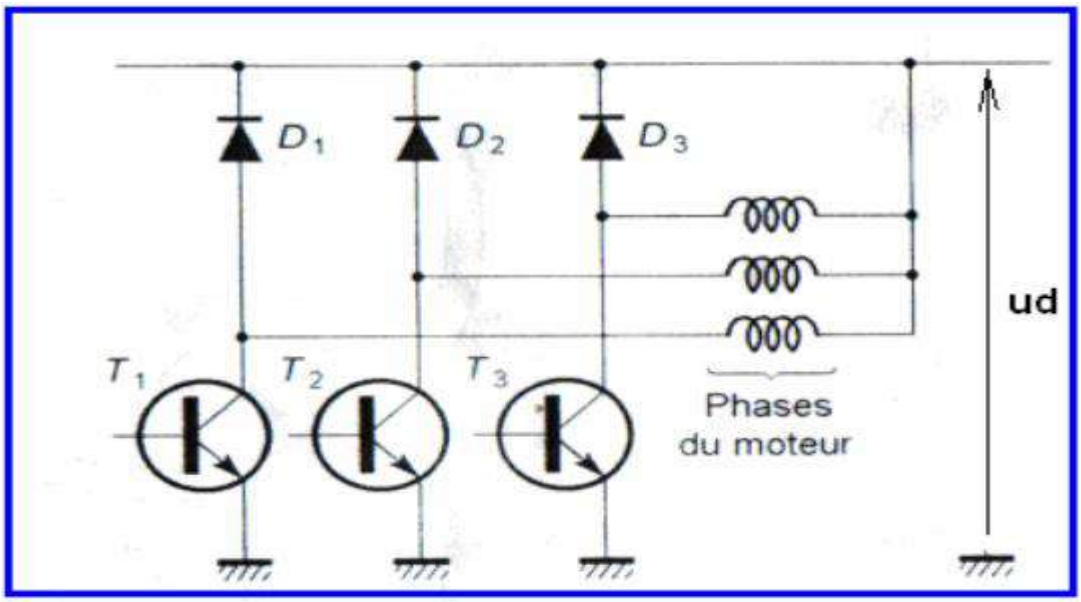


Figure IV-18 : Alimentation unidirectionnelle

IV.6.CAPTEUR A EFFET HALL

Si un courant I_0 traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction B est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension V_h, proportionnelle au champ magnétique et au courant I_0 apparaît sur les faces latérales du barreau. C'est la tension de Hall (du nom de celui qui remarqua le phénomène en 1879).

$$V_h = K_h * B * I_0 \qquad (IV.1)$$

Où K_h est la constante de Hall, dépendant du matériau utilisé.

L'effet Hall est du à la déviation des électrons par le cham p magnétique, créant une différence de potentiel appelée tension de Hall. [41]

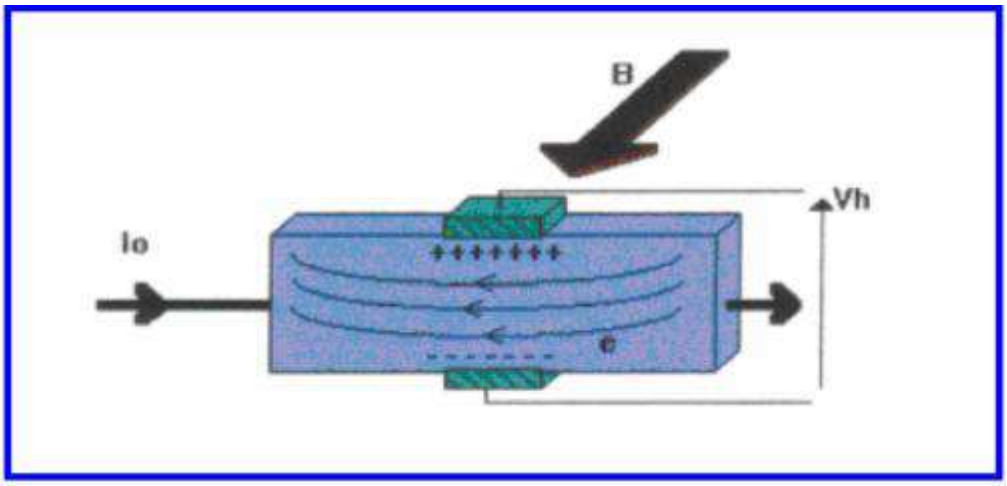


Figure IV-19 : Capteur à effet hall.

IV.7.CONCLUSION

La simulation du système photovoltaïque nous a permis de vérifier le bon fondement des relations et des modèles mathématiques de chaque partie de ce système. Ainsi nous avons pu faire simuler les panneaux solaires et avoir leurs caractéristiques.

Dans la deuxième partie on a proposé une installation d'un source d'alimentation de scooter électrique par un système photovoltaïque. Ensuite on a étudie les differentes partie électrique du scooter.

II.1INTRODUCTION

Une chaîne de conversion photovoltaïque de base, se compose essentiellement d'un générateur photovoltaïque (GPV) relié à un convertisseur à travers un bus de tension continu. Cette topologie, permet de transformer directement la lumière du soleil (ressource renouvelable et largement disponible) en énergie électrique sous forme continue (DC). Ce chapitre est ainsi entamé par la présentation d'un bref historique concernant l'émergence de la conversion photovoltaïque. Celle-ci est suivie par une étude détaillée sur le GPV et l'élément de base le constituant qu'est la cellule photovoltaïque. La modélisation de cette dernière par un circuit électrique équivalent, dont la topologie est synthétisée à partir des équations régissant son fonctionnement, est présentée. L'analyse des effets induits par les différents paramètres caractérisant le modèle en question est alors mené à travers l'évolution des caractéristiques I-V correspondantes.

II.2HISTORIQUE

La cellule solaire est l'élément de base des panneaux solaires qui produisent de l'électricité. Une cellule solaire (ou bien une cellule photovoltaïque) est un composant électronique qui, exposé à la lumière, génère de l'électricité, cet effet est appelé l'effet photovoltaïque, qui a été découverte par le français Edmond Becquerel en 1839. Ce n'est qu'en 1954 que les laboratoires BELL mettent au point une cellule au silicium capable de convertir directement en électricité l'énergie solaire avec un rendement de 6%.

En 1958, les cellules photovoltaïques trouvent une place dans l'industrie avec l'industrie spatiale américaine qui utilisera des cellules ayant un rendement de 9% pour alimenter ses satellites. Cependant, au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même est devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : (montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires).

Mais la technologie photovoltaïque ne connaît son véritable essor qu'à la fin des années 90 avec l'avènement de la connexion au réseau, technologie qui permet d'injecter sur le réseau public d'électricité, l'énergie produite par un générateur photovoltaïque et convertie par un onduleur en courant alternatif.

La recherche est très active dans le domaine du solaire photovoltaïque. Les prix diminuent constamment et les rendements progressent. En 20 ans, les rendements sont passés de 15% à 36% dans les laboratoires. Ce dernier chiffre serait celui atteint sur Terre par les cellules solaires utilisées par les robots martiens. Les rendements des systèmes disponibles commercialement sont quant à eux passés de 5% à plus de 20%. Les cellules solaires, ou génératrices solaire, sont désormais à la base de la partie alimentation embarquée sur les satellites qui gravitent autour de la terre.

II.3 RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement émis par le soleil a une nature ondulatoire. L'énergie qui parvient à la terre est essentiellement constituée d'ondes lumineuses dont la longueur d'onde est comprise entre 0.4 et 0.7 µm (spectre visible) puis 0.7 et 1.4 µm (spectre proche infrarouge) [8].

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire parvenu au niveau du sol est composé de :

- Rayonnement direct.
- Rayonnement diffus par l'atmosphère.
- L'albédo est la partie réfléchie par le sol.

Une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en [10].

Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38$ µm	6.4%.
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78$ µm	48.0%.
Infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10$ µm	45.6%.

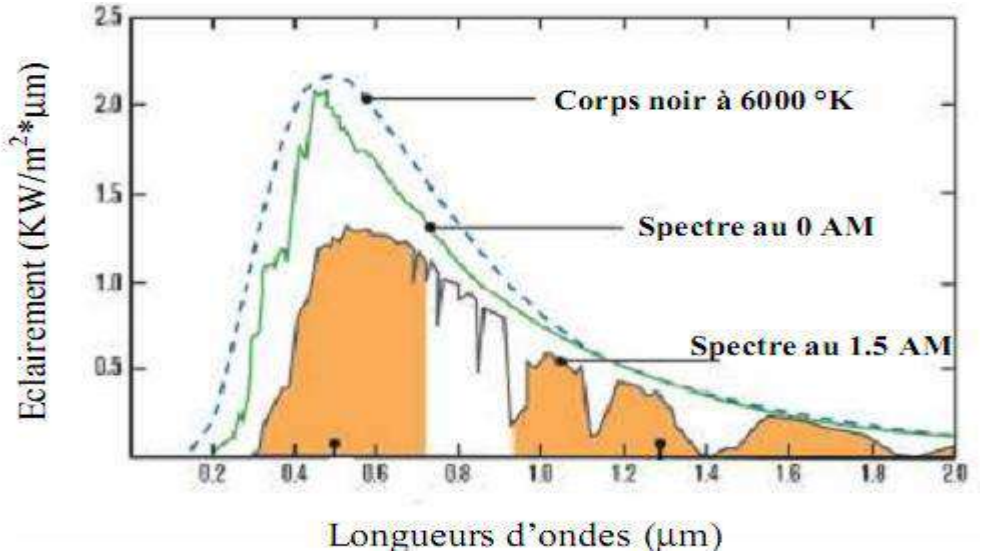


Figure II.1 : Spectre solaire hors atmosphère.

L'appareil qui mesure la durée d'ensoleillement est l'héliographe. Il se compose d'une sphère de verre qui permet de concentrer les rayons solaires sur une bande de carton bleu foncé, où le rayonnement laisse une trace de brûlure.

- **Interaction rayonnement matière [9]**

Lorsqu'un photon interagit avec un électron, il transfère intégralement son énergie à ce dernier, à la condition que le niveau énergétique final de l'électron soit autorisé et libre.

Dans un semi-conducteur, la largeur de bande interdite étant plus faible que pour les isolants, les photons du spectre solaire peuvent être absorbés si l'énergie du photon est supérieure à celle de gap et libère un électron dans le matériau.

Seul un matériau semi-conducteur possède une structure électronique permettant de générer des paires électron-trou utilisables.

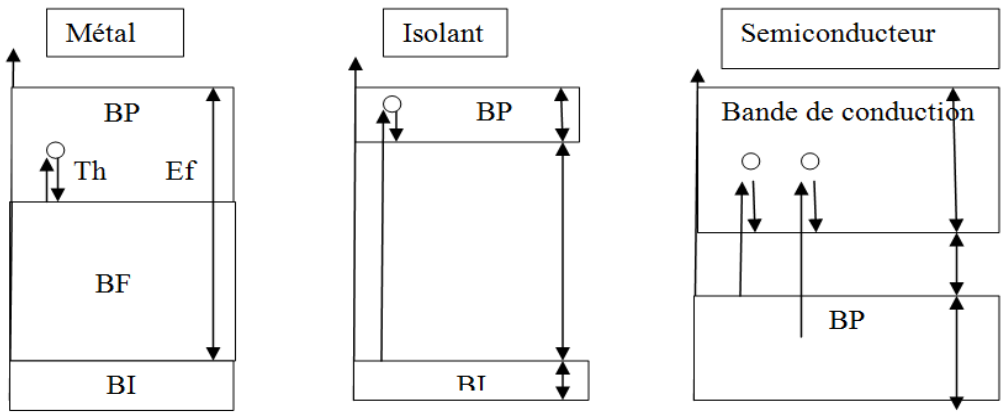


Figure II.2 : Les niveaux d'énergie des électrons.

II.4 LA CONVERSION DE LA LUMIERE EN E'LECTRICITE'

La conversion en question représente le cœur du phénomène photovoltaïque. Elle met en jeu trois phénomènes liés et simultanés [10]:

- L'absorption de la lumière dans le matériau.
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.
- La collecte des charges.

I.4.1Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et d'indium ($CuIn(Se)_2$ ou $CuInGa(Se)_2$), tellurure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée [12]



Figure II.3 : Cellule photovoltaïque.

II .4.2 Effet photoélectrique et jonction PN

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photoélectrique, c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charge (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est illuminé avec un rayonnement de longueur d'onde appropriée (l'énergie des photons doit être au moins égale à celle du gap énergétique du matériau), l'énergie des photons absorbés permet des transitions électroniques depuis la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électron-trou, qui peuvent contribuer au transport du courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'on le polarise.

Si on illumine maintenant une jonction PN, les paires électron-trou qui sont créées dans la zone de charge d'espace de la jonction sont immédiatement séparées par le champ électrique qui règne dans cette région, et entraînées dans les zones neutres de chaque côté de la jonction. Si le dispositif est isolé, il apparaît une différence de potentiel aux bornes de la jonction (photo tension); s'il est connecté à une charge électrique extérieure, on observe le passage d'un courant alors qu'on n'applique aucune tension au dispositif. C'est le principe de base d'une cellule photovoltaïque [11].

$$\text{Iob} = I_s\left(exp\left(\frac{qv}{nkT}\right) - 1\right) \qquad \text{(I.1)}$$

Is = courant de saturation de la jonction, dépend du matériau semi-conducteur,

V= tension directe aux bornes de la jonction,

q=charge de l'électron = 1,6.10-19-C,

k= constante de Boltzmann = 1,38.10-23JK-1,

T= température de la jonction en Kelvin,

Le facteur n, compris entre 1 et 2, représente le coefficient d'idéalité de la jonction P-N. La structure d'une cellule solaire est similaire à celle d'une jonction P-N avec une grande surface dont les paramètres on été choisis en fonction des contraintes liées à la génération des porteurs.

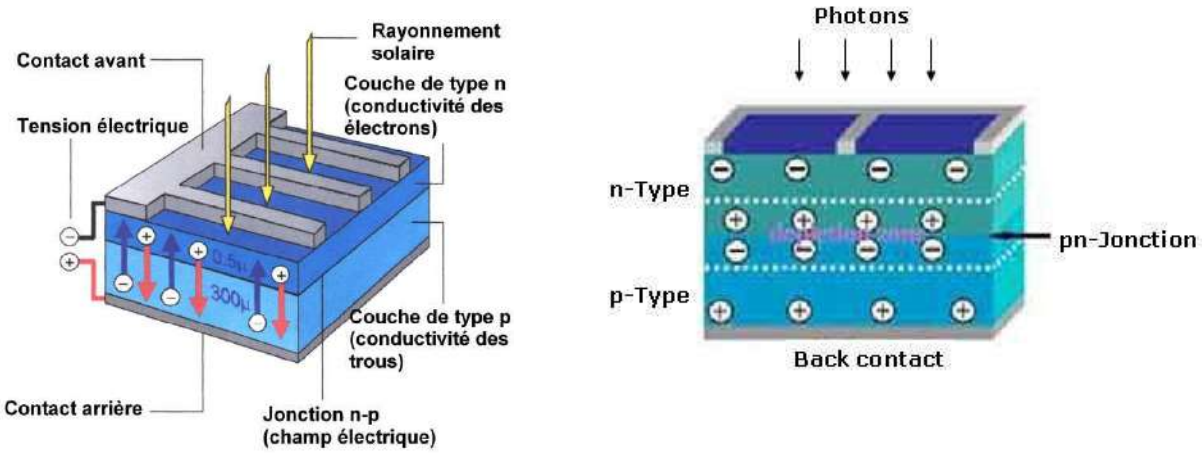


Figure II- 4 : Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque.

II.4.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Sous éclairement les paires électrons-trous générées dans la zone de charge d'espace (ZCE) sont instantanément séparées par le champ électrique y régnant. Les trous (charges positives) se voient accélérés vers la zone P, les électrons (charges négatives), vers la zone N. Trous et électrons deviennent alors majoritaires : c'est le photo courant de génération. Parallèlement, les porteurs minoritaires, trous générés de coté N et électrons générés cotés P, créent un gradient de concentration et diffusent dans le matériau. S'ils atteignent la ZCE sans se recombiner, le champ électrique leur fait traverser la zone déplétée afin d'atteindre la région où ils deviennent majoritaires : c'est le photocourant de diffusion [16].

Le courant délivré sur une charge par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit ainsi:

$$I=I_{ph}\text{-}I_{obs}(V) \qquad \text{(II .2)}$$

$$I=I_{ph}\text{-}I_{s}(exp\left(\frac{qv}{nkT}\right)-1) \qquad \text{(II. 3)}$$

La figure(II.5) donne la représentation schématique d'une cellule photovoltaïque sous éclairement et le diagramme de bondes correspondent.

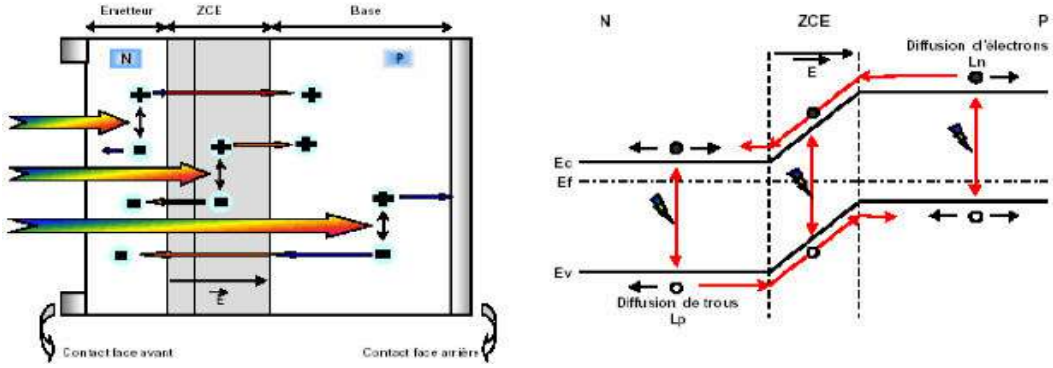


Figure II.5 : structure et diagramme de bonde d'une cellule photovoltaïque sont éclairement.

II.4.4 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Tenant en compte les différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique, l'équation (3) devient :

$$I(V)=I_{ph}-I_s\left(exp\left(\frac{V+Rs}{nVt}\right)-1\right)-\frac{(V+IRs)}{Rsh} \qquad \text{(II.4)}$$

Iph : courant photo-courant.

Is : courant de saturation.

V=KT/q : potentiel thermodynamique.

Rsh : la résistance shunt caractérisant les courants de fuit de la jonction.

Rs : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de Connexions

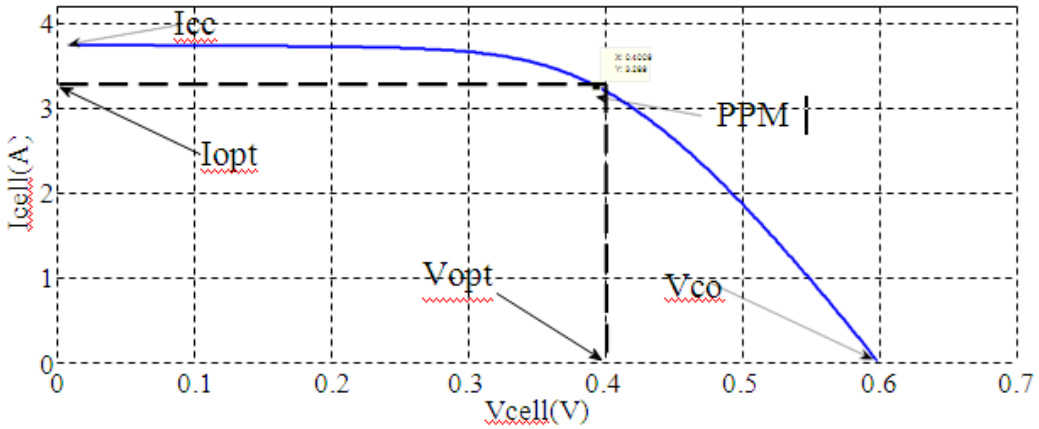


Figure II.6 : Caractéristique courant-tension d'une cellule solaire.

II.4.5 Paramètres de la cellule solaire

La cellule solaire est caractérisée par le rendement de conversion η , une tension à circuit ouvert *Voc* , un courant à court-circuit *Icc* et un facteur de suffisance *FF* . Ces paramètres sont déterminés à partir des caractéristiques courant-tension. Leurs déterminations permettent les comparaisons de différentes cellules éclairées en conditions identiques.

- **Courant de court-circuit , Icc**

Le courant de court-circuit est le courant obtenu quand les bornes de cellules sont peu circuites (V=0). Il augmente linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et est relié sur la surface éclairée, le spectre du rayonnement solaire et la température.

$$Icc=\alpha\ (T)\ *Ir*S \qquad \text{(II.5)}$$

- α : coefficient qui dépend de la température,
- Ir: Irradiance en (W/m2),
- *S*: surface de la cellule en m2,

- **Tension de circuit ouvert, Voc**

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant de cellules est nul. Il est lié à la résistance de shunt et à la barrière d'énergie. Sa valeur diminue avec la température et change peu avec l'insolation.

$$Vco=V_t*\ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\ -\ 1\right) \qquad \text{(II.6)}$$

- **Factor de suffisance, FF**

Le facteur de suffisance d'une cellule solaire est défini comme le rapport d'une puissance maximale à la puissance calculée en multipliant la tension de circuit-ouvert par le courant de court-circuit. Cela reflète combien de résistances en série et peu de résistances shunt dans la cellule solaire. Pendant que la cellule solaire se dégrade avec l'âge, sa résistance en série tend à augmenter le résultat en un facteur inférieur de suffisance.

$$FF=\left(\frac{I_m * V_m}{V_{co} * I_{cc}}\right) \quad \text{(II.7)}$$

Vm : tension correspondante à la puissance maximale fournie.

Im : courant correspondant à la puissance maximale fournie.

FF : facteur de forme : il détermine la qualité électrique de la cellule.

- **Rendement de la cellule, η**

Le rendement d'une cellule solaire est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule à la puissance lumineuse d'incident.

$$\eta = \frac{\text{Puissance fournie}}{\text{Puissance incidente}}$$

La résistance série *Rs* : elle prend en compte la résistivité propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule, à savoir l'émetteur, la base et les contacts métalliques.

La résistance shunt *Rsh* : également connue sous le nom de résistance de court-circuit. Elle traduit l'existence de shunts à travers l'émetteur [14].

II.5 CIRCUIT E'QUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE

II.5.1 Modélisation simple d'une cellule photovoltaïque

Une cellule solaire Photovoltaïque est une diode électronique PN de grande surface qui, exposée à la lumière (photons), génère une tension électrique (volts).

Les caractéristiques électriques en convention récepteur de la cellule pour différents éclairements sont données sur la figure ci-dessous

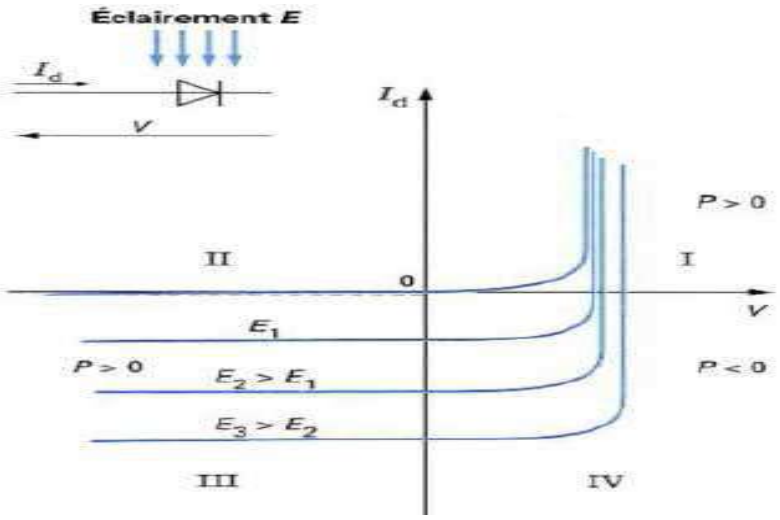


Figure II- 7 : Caractéristiques d'une jonction PN sous éclairement.

En convention récepteur, le quadrant IV correspond à un fonctionnement réel en générateur. Classiquement, on utilise pour une cellule photovoltaïque plutôt une convention générateur (on inverse la convention sur le signe du courant de la Figure (II-7), on obtient alors la caractéristique suivante :

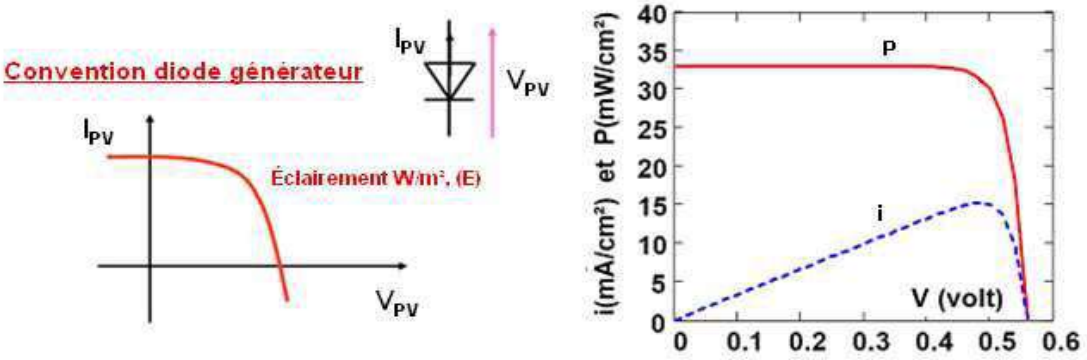


Figure II- 8 : Caractéristique de la convention diode générateur.

II.5.2 Cellule idéale

Le schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN idéale comprend une source de courant I_{ph}, qui modélise le courant photoélectrique, associée à une diode en parallèle qui modélise la jonction P-N dont la polarisation détermine la tension (figure ci-dessous).

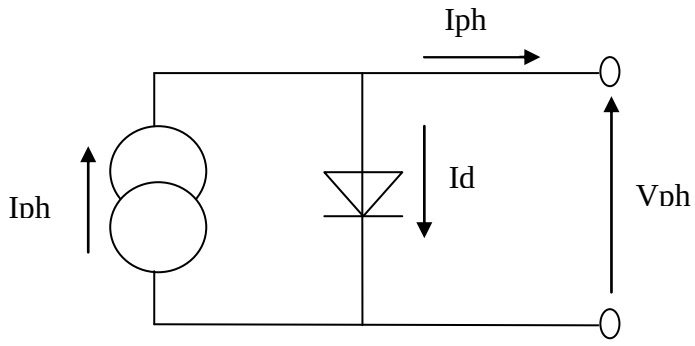


Figure II- 9 : Schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN.

I.5.3 Cellule réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dus à la fabrication et représentés sur le schéma équivalent par deux résistances:

- une résistance série Rs représentant les diverses résistances

de contacts et de connexions ;

- une résistance Rp (shunt) en parallèle sur le générateur de courant qui caractérise les divers courants de fuite dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.
- Une représentation avec deux diodes qui est plus fidèle aux caractéristique réelle de la cellule photovoltaïque.

L'équation caractéristique de la cellule réelle est alors donnée par :

$$I=I_{ph} - I_{s1}\left[exp\left(\frac{V+(I_{pv}.R_s)}{V_r}\right)-1\right] - I_{s2}\left[exp\left(\frac{V+(I_{pv}.R_s)}{V_r}\right)-1\right]-\frac{V+(I.R_s)}{R_P} \quad \text{(II.8)}$$

Avec : $V_r = \frac{m.K.T}{q}$

Où

$Iph=Iph/_{(T=298)}.[1+(T-298).5.10^{-4}]$

$Iph/_{(T=298)}=3.25A$

La caractéristique réelle et le schéma équivalent de la cellule sont représentés sur la figure(II.10)

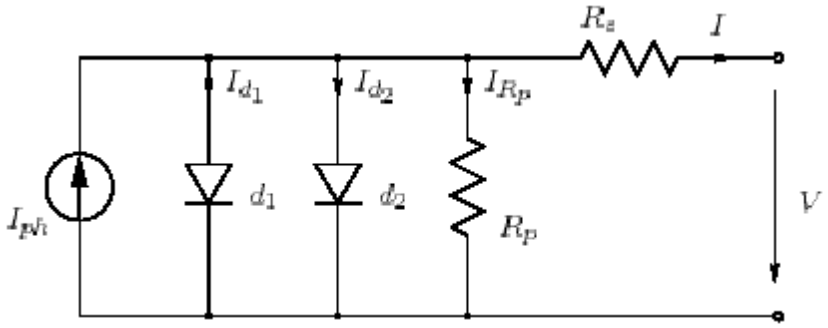


Figure II- 10: Circuit équivalent d'une cellule solaire photovoltaïque et schéma conventionnel d'une cellule ou d'un module photovoltaïque.

En notant :

I_{d1} et I_{d2} : Courant inverse de diode 1et 2

Is1 et Is2 : sont les courants de la saturation des diodes

I_{ph} : Photo-courant, dépendant de l'intensité de l'irradiation

Rp : Résistance en parallèle, représentant l'admittance parallèle du générateur de courant

Rs = Résistance en série, modélisant les pertes ohmiques du matériau et des contacts

V = Tension aux bornes de la cellule

I = Courant fourni par la cellule

m = Indice du matériau (compris entre 1 et 2 selon de la technologie)

k = Constante de Boltzmann

T = Température en Kelvin

q = Charge de l'électron

Une cellule photovoltaïque (PV) va ainsi produire de l'énergie de manière proportionnelle à l'intensité lumineuse qu'elle reçoit. La température est également un facteur influant sur les caractéristiques I-V d'une cellule photovoltaïque. [15]

II.5.4 Influence de l'ensoleillement ou l'irradiation sur la caractéristique courant- tension

L'apport d'énergie permettant la séparation électron-trou étant assuré par l'énergie lumineuse, il est donc normal que l'augmentation de l'ensoleillement entraîne automatiquement l'augmentation des paires électron-trou séparées. Le courant débité Iph restant proportionnel à l'ensoleillement [8].

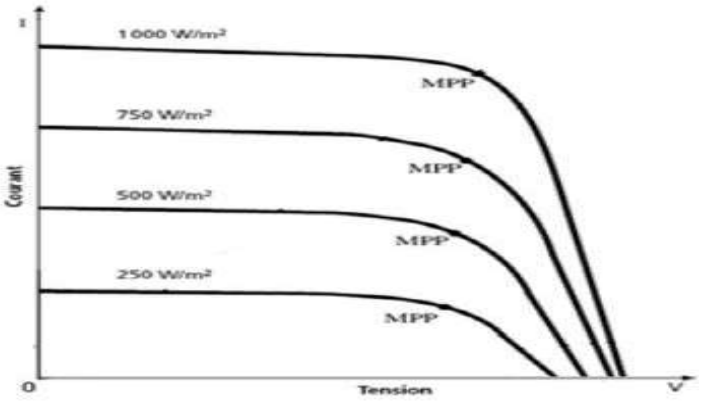


Figure II-11 : influence de l'éclairement sur la caractéristique de la cellule.

II.5.5 Influence de la température sur la caractéristique courant-tension

La température est un paramètre très important et souvent négligé dans le comportement des cellules photovoltaïque. Il faut noter que sur 100% d'énergie incidente une très faible proportion est réfléchie par la surface du capteur et 10 à 15 % en est extraite sous forme d'énergie électrique. En conséquence c'est plus de 85 % de l'énergie incidente qui devra être dissipée en chaleur. Cette dernière contribue de fait à une augmentation de la température de fonctionnement de la cellule si aucun dispositif de refroidissement n'est prévu. Dans ce cas et à défaut de surcharger l'installation, on suppose en général que le refroidissement par convection naturelle de l'air ambiant est suffisant pour maintenir la température à des seuils acceptables [11].

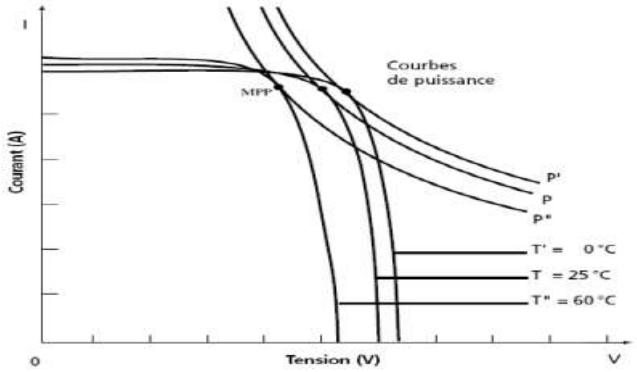


Figure II-12 : influence de la température sur la caractéristique de la cellule.

II.5.6 Influence des résistances série et shunt sur la caractéristique courant tension

L'augmentation de *Rs* se traduit par un fléchissement de l'évolution de la tension à partir du point de fonctionnement à vide (I=0) tandis que l'augmentation de *Rsh* se traduit par une pente plus accentuée avec une légère augmentation de la tension à vide.

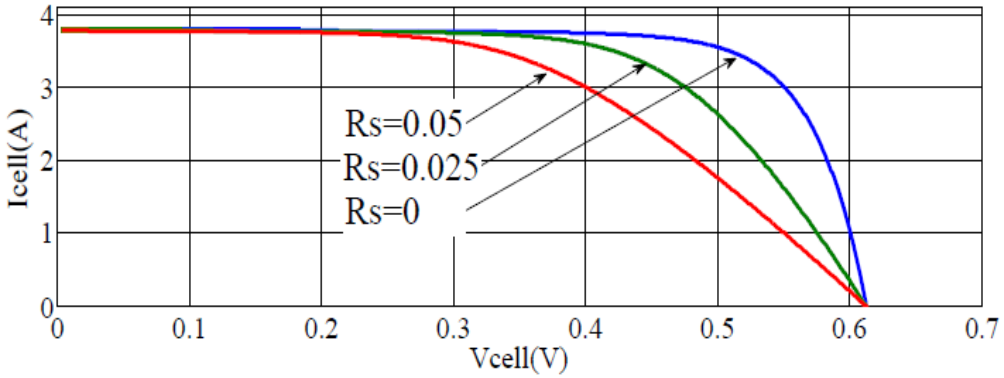
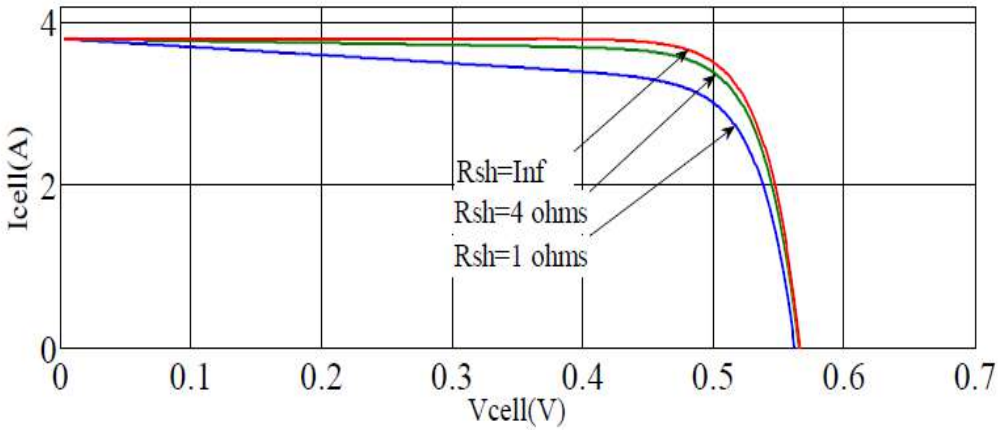


Figure II-13 : influence de Rs sur la caractéristique de la cellule.



.**Figure II-14 :** influence de Rsh sur la caractéristique de la cellule.

II.5.7 Différents types de cellule solaire

- **Cellule à silicium monocristallin**

Les cellules qui en sont composées sont les plus performantes sur le marché : elles présentent un bon rendement à fort et moyen éclairement. Toutefois, leur prix reste élevé.

- Rendement électrique des panneaux : 15% STC
- Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- Gamme d'éclairement : 100 à 1000 W/m^2
- Usage : tous usages extérieurs de forte et moyenne puissance [14].

➢ **Cellule à silicium multicristallin**

Ce type de cellules PV le plus répandu actuellement. Leurs caractéristiques électriques sont similaires aux monocristallines. Toutefois, leurs performances, sont moins bonnes notamment pour les éclairements modérés, par contre elles sont moins chères du fait que leur fabrication est moins complexe.

- Rendement électrique des panneaux : 12 à 14% STC
- Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- Gamme d'éclairement : 200 à 1000 W/m^2
- Usage : même usage que le silicium monocristallin [16].

➢ **Cellule à silicium amorphe**

Malgré un gap optique plus élevé que le silicium cristallin et donc une tension plus forte, son courant est nettement plus faible. Les cellules qui en sont fabriquées sont de ce fait moins puissantes que celles produites à base de silicium cristallin. Par contre, en couche très mince, les premières répondent à tous les éclairements, extérieur et intérieur. Leur technologie de fabrication est moins onéreuse et permet de réaliser de petits formats de panneaux.

- Rendement électrique des panneaux : 5 à 7 % STC (jusqu'à 9 %pour les multi-jonctions),
- Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 60 Wc,
- Gamme d'éclairement : de 20 lux à 1000 W/m^2 ,
- Usage : électronique professionnelle et grand public (montres, calculatrices…), électronique de faible consommation en extérieu [16] [9]

.

II.6 LE MODULE PHOTOVOLTAIQUE

Dans des conditions d'ensoleillement standard (1000W/m² ; 25°C ; AM1.5), une cellule photovoltaïque élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction P-N). Elle constitue donc un générateur

électrique de faible puissance insuffisante pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait réalisés par association, en série et/ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires [17]

II.6.1 Association en série

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

$$Vco_{ns} = n_S * V_{co}$$

Avec : $I_{cc_{ns}} = I_{cc}$

Ce type d'association est généralement le plus communisent utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série (Vco_{ns} = 0.6 V * 36 = 21.6 V)

Afin d'obtenir une tension optimale du panneau Vopt proche de celle d'une tension de batterie de 12V.

.

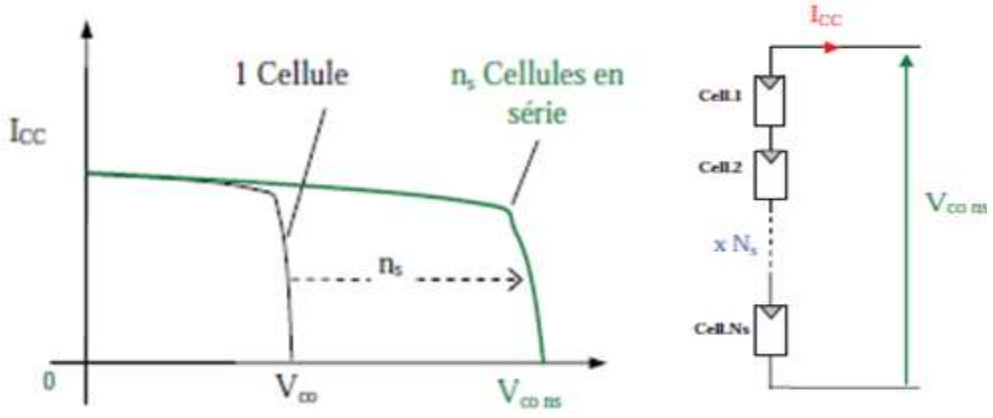


Figure II-15 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série.

II.6.2Association en parallèle

La mise en parallèle de n_p cellules permet d'accroître le courant de sortie du module photovoltaïque. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. L'équation suivante résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules [14].

$Icc_{np} = n_p * I_{cc}$

Avec : $V_{co_{np}} = V_{co}$

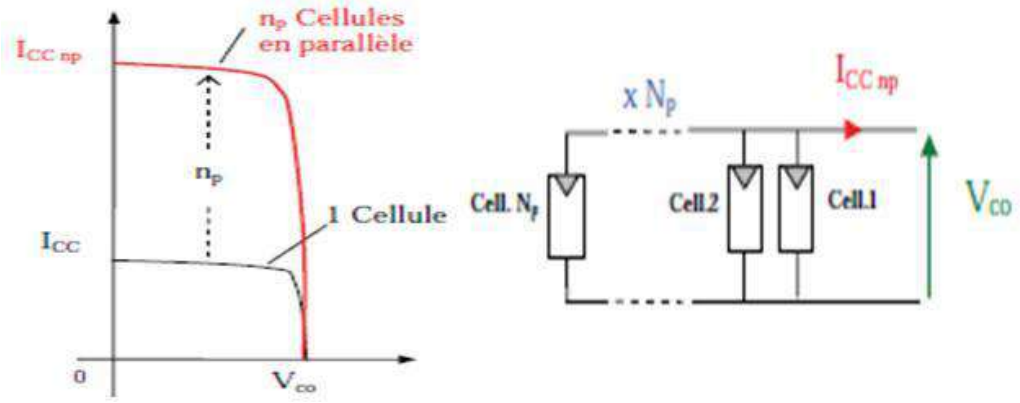


Figure II-16 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en parallèle.

II.6.3 Caractéristiques d'un module photovoltaïque

Le panneau solaire photovoltaïque étant une association de cellules, sa caractéristique I-V est directement liée à la caractéristique de la cellule solaire de base. De même que pour la cellule, la tension qui est présente lorsqu'il n'y circule aucun courant est appelée tension à vide (*Vco*). À l'opposé, le courant présent lorsqu'il n'y a aucune tension appelée est le courant de court-circuit (*Icc*). Dans ces deux situations, aucune puissance n'est extraite du panneau photovoltaïque. Entre les deux se situe le point de fonctionnement optimal permettant l'extraction d'une puissance maximale du panneau solaire photovoltaïque. La tension et le courant correspondants sont appelés tension à puissance maximale (*Vpmax*) et courant à puissance maximale (*Ipmax*). Le point de puissance maximale sert à déterminer le rendement nominal du panneau solaire el la puissance

en ce point est exprimée en Wc (watt crête).

II.6.4 Influence de la température et de l'éclairement sur la caractéristique d'un GPV

La caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque peut, en outre, varier en fonction de l'éclairement, la température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement [17].

a) Effet de l'éclairement sur le panneau photovoltaïque

Une baisse de l'ensoleillement provoque une diminution de la création de paires électron- trou avec un courant à l'obscurité inchangée. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction du photocourant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une baisse du courant solaire Icc proportionnelle à la variation de l'ensoleillement accompagnée d'une très légère diminution de la tension Vco et donc un décalage du point Pmax du panneau solaire vers les puissances inférieures. La figure suivante représente la caractéristique courant-tension pour différentes radiations incidentes et pour une température de la cellule de 25 °C.

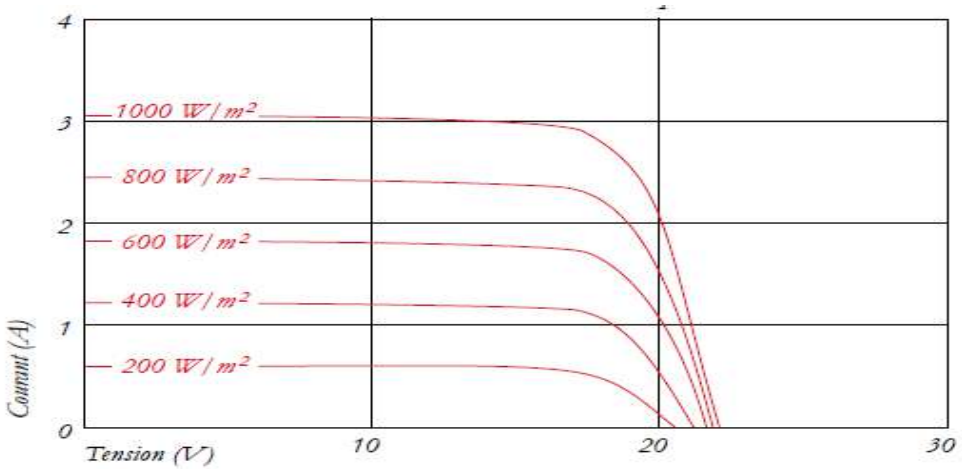


Figure II-17 : Caractéristique courant-tension pour différentes radiations incidentes Température de la cellule 25 °C.

b) Effet de la température sur le panneau photovoltaïque

Une élévation de la température (de jonction) des cellules solaires provoque

un important accroissement de leur courant à l'obscurité et facilite une légère augmentation de la création de paires électron-trou. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction du photocourant et du courant de diode à l'obscurité, il y'a une légère augmentation du courant *Icc* accompagnée d'une forte diminution de la tension *Vco* et donc un décalage du point *Pmax* vers les puissances inférieures.

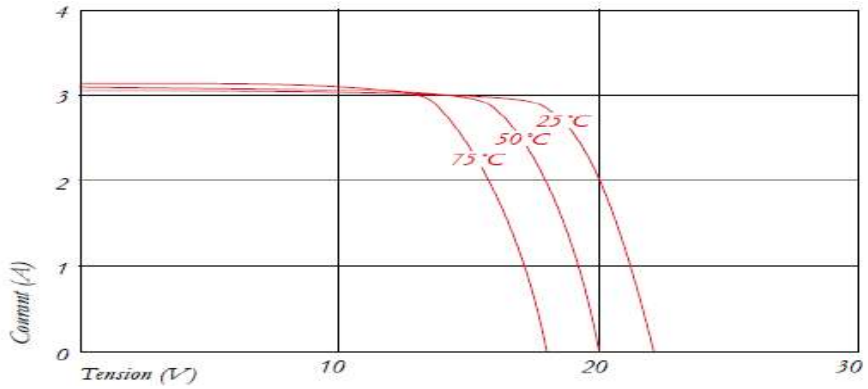


Figure II-18 : Caractéristique courant-tension pour différentes températures de jonction (radiation incidente 1000W/m²).

II.6.5 Protections d'un GPV

Pour protéger au mieux les cellules solaires des intempéries, elles sont réunies dans un module solaire. Ce dernier est constitué d'une face supérieure en verre trempé parfaitement transparent et d'une face inférieure recouverte d'un film spécial. Entre ces deux faces, les cellules solaires sont insérées dans une masse étanche transparente et résistante aux UV. C'est l'encapsulation par feuilletage de film polymérisé à chaud d'acétate de vinyle (EVA). Ensuite, c'est l'assemblage avec joint d'étanchéité dans un cadre autoporteur en aluminium anodisé permettant un montage aisé et la fixation de la boîte de jonction destinée à recevoir le câblage nécessaire à l'exploitation du panneau photovoltaïque.

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

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

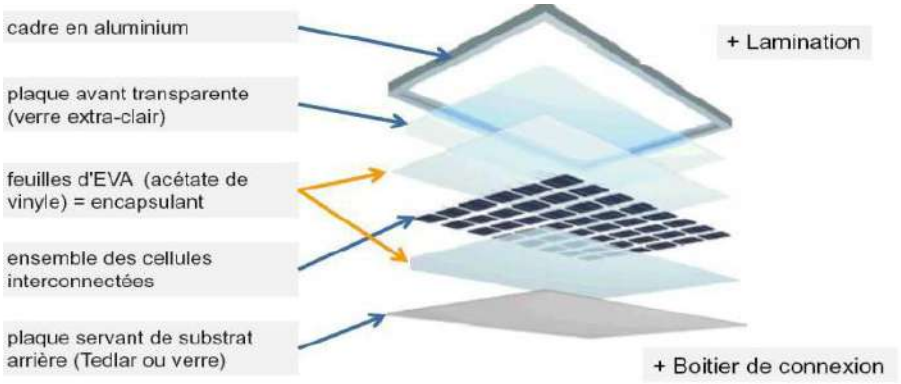


Figure II.19: composition d'un module.

La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallin connectés en série, comme l'illustre la figure suivante. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules connectées en série. Le nombre de cellules de chaque sous-réseau correspond à un compromis économique entre protection et perte d'une partie importante du GPV en cas de défaut partiel d'ombrage.

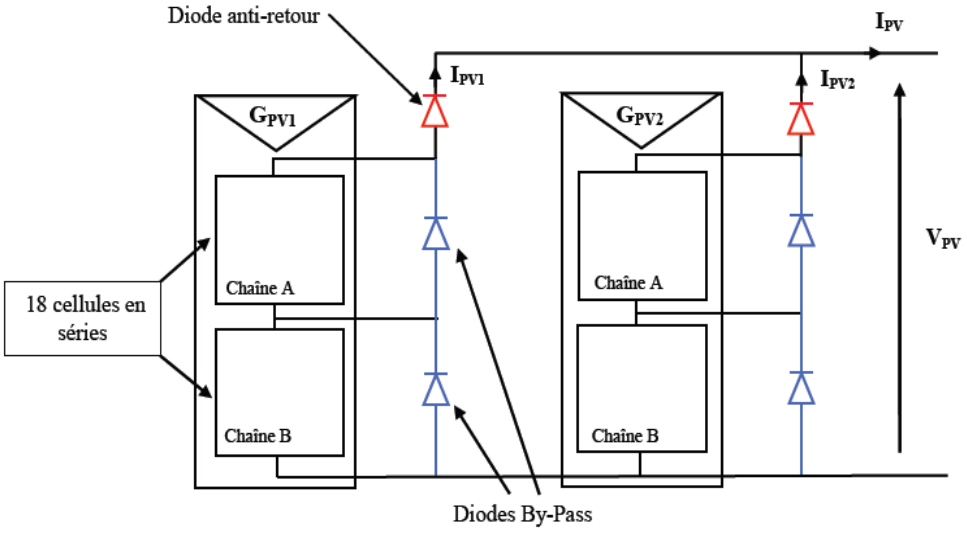


Figure II-20 : Exemples d'association sécurisée de deux modules PV commerciaux en parallèle avec leurs diodes de protections.

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association

de cellules en séries et de panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles:

- **La diode anti-retour** empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.

- **Les diodes by-pass** peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, comme illustré sur la figure II-21, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance [17].

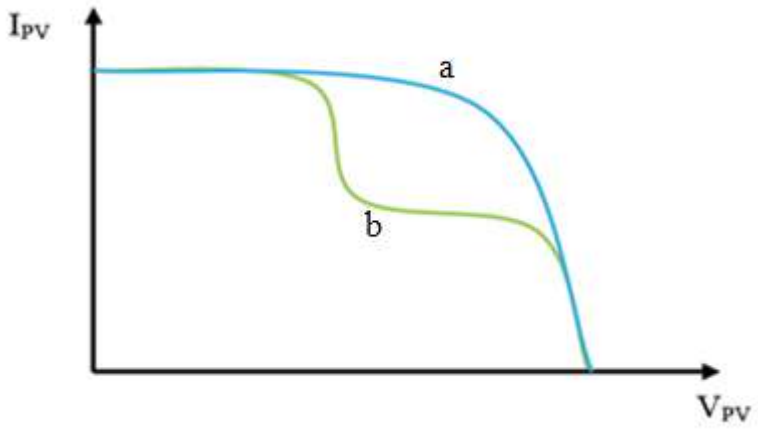


Figure II-21: Effet de la diode by-pass sur la caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïques.

a : Caractéristique d'un générateur PV lorsque les deux sous-réseaux sont identiques, sans effet des diodes by-pass.

b : Caractéristique d'un générateur PV lorsque l'un des sous-réseaux est isolé par la diode by-pass.

II.7 SYSTEME DE STOCKAGE

Dans cette partie le stockage électrochimique à l'aide de batteries d'accumulateurs sera présenté. Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique; car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation [19].

II.7.1 Les batteries [19]

Parfois, appelée "accumulateur", destinée à emmagasiner de l'électricité (en courant continu). Il existe quatre grandes familles d'accumulateurs :

- Accumulateurs de démarrage pour véhicules à moteur à combustion interne.
- Accumulateurs de traction pour la commande de véhicules de manutention au sol, les véhicules électriques, les sous-marins, etc.
- Accumulateurs stationnaires : ils sont utilisés comme source stationnaire de courant continu de secours en cas de rupture du secteur, ou de courant continu de commande (usines d'énergie électrique, télécommunications, appareils de signalisation, groupes de secours, éclairage de secours, etc.)
- Accumulateurs au Nickel-Cadmium : les accumulateurs étanches et rechargeables au Nickel-Cadmium se présentent sous trois formes : éléments boutons, éléments ronds et éléments prismatiques. Grâce à leur construction d'une grande résistance, ils peuvent être rechargés des centaines de fois, ne réclament pas d'entretien, supportent très longtemps le stockage et peuvent être incorporés dans des appareils dont ils deviennent partie intégrante.

a) Principe général de fonctionnement d'une batterie

Deux électrodes, l'une positive et l'autre négative, sont séparées par un électrolyte. Aux deux interfaces électrode-électrolyte interviennent des réactions électrochimiques [23].

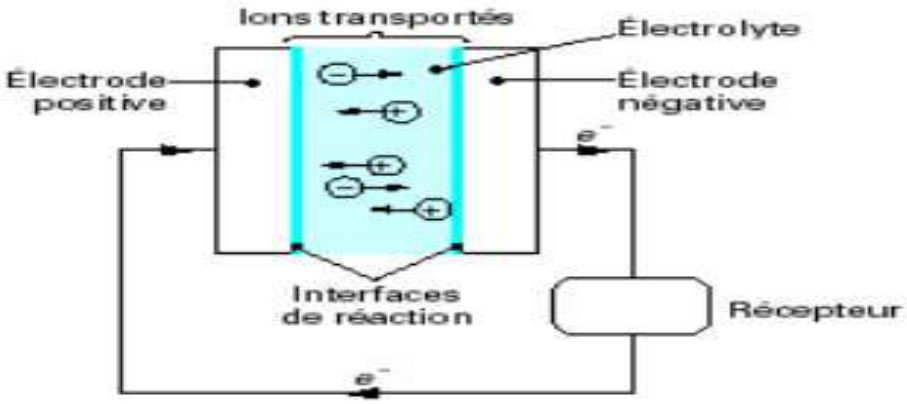


Figure II.22 : principe de production d'électricité dans un convertisseur électrochimique.

b) Caractéristiques du stockage par accumulateurs

- **Tension aux bornes de l'élément** : Elle est fonction de la charge ou de la décharge de l'élément et dépend de la technologie utilisée par le constructeur.
- **Taux de décharge** : Il est normalisé par la capacité estimée de la batterie, pour des durées de décharge indiquées
- **Profondeur de décharge** : C'est la quantité d'Ah extraite d'une batterie pleinement chargée. Elle est exprimée en pourcents de la capacité estimée.
- **Taux de charge** : Comme le taux de décharge, il est normalisé par rapport à la capacité estimée et la durée de charge. Le taux de charge est le rapport du courant consommé par la durée de temps nécessaire pour retrouver la charge complète de l'élément de batterie.
- **Etat de charge** : C'est une grandeur qui caractérise la disponibilité énergétique d'un accumulateur. Il peut être exprimé en pourcents de la capacité estimée.
- **Capacité de la batterie** : Lorsque l'on désire connaître l'autonomie d'un accumulateur, c'est-à-dire le temps durant lequel il peut débiter, on se rend rapidement compte que cette grandeur varie suivant le courant débité: on parle alors de régime de décharge.
- **Capacité estimée**: c'est une estimation faite par le constructeur quant à la quantité d'Ampère heure (Ah) que l'on pourrait extraire de la batterie.

- **Rendement :** Deux types de rendement peuvent être exprimés:

Rendement faradique: rapport des ampères-heures déchargés aux ampères- heures chargé -Rendement énergétique: rapport des wattheures déchargés aux wattheures chargés.

II.7.2 Accumulateurs au plomb

La batterie la plus simple et la moins couteuse. C'est avec ce type d'accumulateur que les essais présentés ont été menés.

a) Bref historique

L'histoire de l'accumulateur au plomb est plus que centenaire et remonte à la découverte du premier générateur électrochimique non réversible (pile) en 1800.

- La réversibilité (cas de l'accumulateur), a été observée pour la première fois en 1801 par le physicien Gautherot.
- En 1859, Gaston Plante reconnaît l'intérêt du plomb pour la construction de l'accumulateur.
- En 1881, l'accumulateur connaît un perfectionnement très important en constituant les matières actives par des oxydes de plomb, rapportés sur des grilles supports.
- Nombreux furent les techniciens qui apporteront ensuite leur contribution pour aboutir à l'accumulateur actuel.

b) Composition d'une batterie solaire plomb- Acide [20]

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 marquetée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

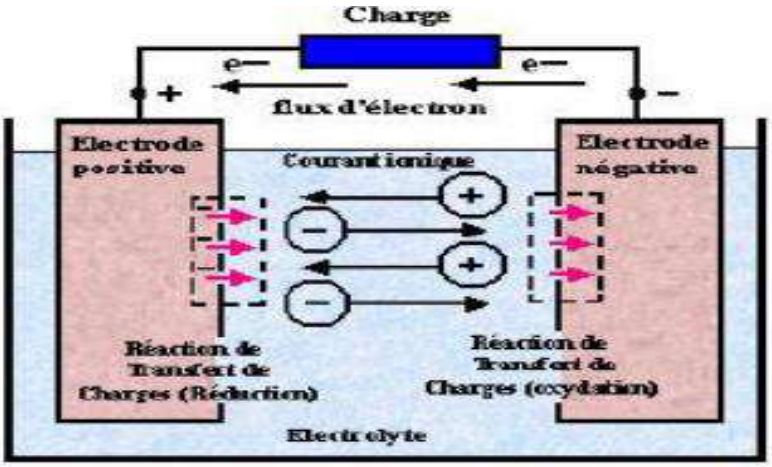


Figure II.23 : Schéma d'une cellule acide plomb.

Typiquement, la tension de cellule évolue en charge et en décharge de la manière suivante:

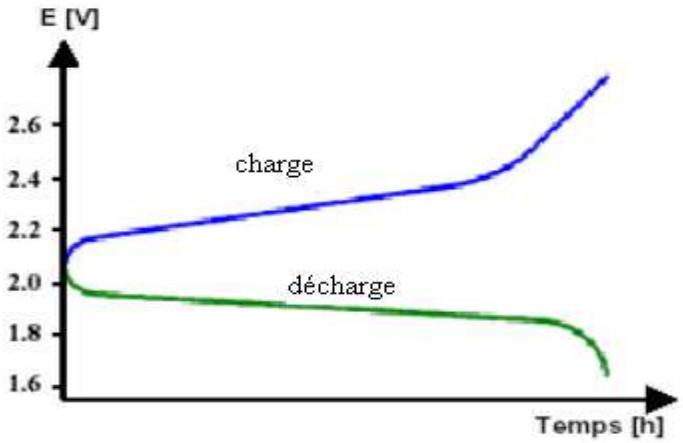


Figure II. 24 : Courbes de charge et de décharge d'une cellule élémentaire de batterie au plomb.

c) Les caractéristiques d'une batterie au plomb

- **La tension**

La tension nominale d'un élément au plomb est de 2V, et varie en fonction de l'état de charge. Un élément chargé présente une tension de 2,1V et peut être déchargé jusqu'à une tension de 1,9V sans risque, le minimum absolu étant fixé à 1,65V [10]. Une batterie est constituée de plusieurs cellules reliés en série afin d'assure un niveau de tension convenable aux applications électriques.

- **La capacité**

La capacité des batteries au Plomb peut aller de 1Ah à plus de 1000 Ah pour les batteries à électrolyte stabilisé et de 2Ah jusqu'à 4000Ah pour les batteries à électrolyte liquide [10].

- **La résistance interne**

La résistance des accumulateurs au plomb est négligeable dans le cas des fortes capacités. Ces derniers sont capables de fournir des courants très importants >2000A sous12V. Ce sont presque des générateurs parfaits d'où leur résistance interne très faible (inférieure au milli Ohms) [10].

- **L'autonomie**

C'est la durée pendant laquelle le récepteur reste correctement alimenté par la batterie. Elle dépend de la capacité de l'accumulateur et de l'énergie requise par le récepteur, indépendamment du photogénérateur [10].

d) Charge de batterie

La durée de vie des batteries dépend fortement des cycles de charge subis, une charge insuffisante restant la principale cause de défaillance. De ce fait, la puissance du chargeur doit être adaptée à la capacité de la batterie utilisée et au temps de charge disponible. Une batterie déchargée totalement ou partiellement doit pouvoir être rechargée complètement durant le temps disponible. Pendant la charge, la tension des éléments va augmenter en fonction du courant de charge appliqué et de la température. Dans le cas d'une charge normale, la tension des éléments passe d'environ 2 Volts/élément à environ 2,65 Volts/élément.

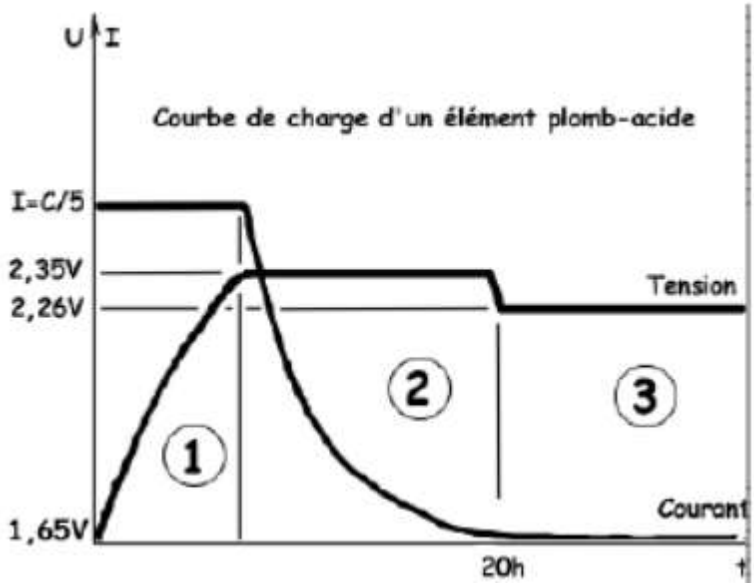


Figure II.25 : Différentes phases de charge de la batterie.

II.7.3 Accumulateurs au lithium-ion

L'utilisation grandissante des batteries en tant qu'élément de stockage d'énergie électrique, a conduit au développement de nouvelles technologies. Les efforts menés en matière de recherche et de développement ont permis de voir apparaître de nouvelles technologies de stockage électrochimique comme les systèmes Redox, les systèmes de stockage via l'hydrogène, ou les batteries au lithium, développées dans ce paragraphe[21].

La batterie Li-ion est bien cotée au niveau du rendement et de la fiabilité. Les approvisionnements en Li-ion se sont améliorés et les prix sont devenus compétitifs avec les équivalents à base de nickel. Par conséquent, plus d'équipements portatifs sont alimentés avec la batterie Li-ion et les fabricants des véhicules électriques ont opté pour ce type de batteries ces dernières années [22].

II.7.4 Les accumulateurs Nickel Cadmium (NiCd) [23]

La tension nominale est de 1,2V par élément. Ces accumulateurs sont plus intéressants pour le solaire, du fait de leur meilleure efficacité de charge à faible courant et de leur bonne tenue aux basses températures. Ils sont surtout utiles pour des capacités de stockage inférieures à 2Ah. Cependant, le cadmium est toxique pour l'environnement.

II.7.5 Les accumulateurs Nickel Métal Hydrures (NiMH) [23]

Ces accumulateurs sont dérivés des NiCd et ont été développés pour augmenter la capacité par unité de volume, favoriser les charges rapides, et éliminer le cadmium. Ils sont plus compacts que les NiCd. Les avantages des accumulateurs NiCd et NiMH pour le photovoltaïque sont : de petites capacités disponibles sous de multiples formes de 30 à 2000 Ah, leur compacité, une excellente tenue à la chaleur, une gamme de tensions disponible plus grande du fait de la valeur de 1,2V par élément. Cependant, ils présentent de nombreux inconvénients comme l'autodécharge, une charge difficile pour les NiMH à moins de 0°C, et un effet mémoire quand les accumulateurs sont peu sollicités.

II.8 MODELISATION D'UNE BATTERIE

Ce nouveau modèle de batterie comprend des éléments équivalents pour toutes les grandes caractéristiques de fonctionnement d'une batterie plomb-acide : La capacité électrochimique de la batterie est représentée par le condensateur dont la charge C_{bp} dont le résultat d'un flux d'électrons au cours du temps et est linéaire pour les conditions d'un courant constant dans une région de 10 à 90 pour cent du niveau de charge maximum. La valeur du C_{bp} est dérivée de l'expression générale de l'énergie dans un condensateur :

$$E_c = \frac{1}{2} C V_c^2 \qquad \text{(II-9)}$$

Avec C étant la capacité du condensateur et V_c étant la tension.

Contrairement à un condensateur, une tension de batterie ne sera pas égale à zéro à son état le plus bas de charge. (Figure.II.26)

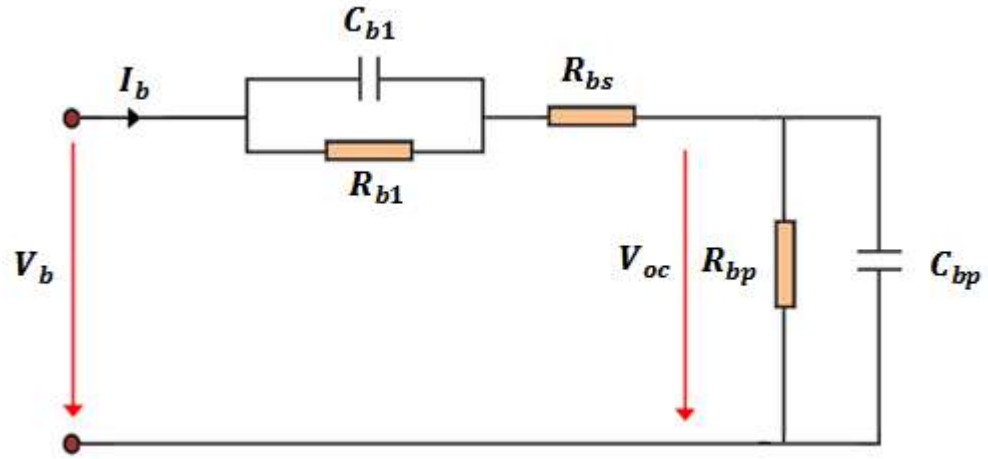


Figure.II.26 : Modèle d'un circuit équivalent de batterie plomb-acide.

Ceci est équivalent à un condensateur dont le niveau minimum de charge égale à l'énergie$E_{c,min}$. La capacité de la batterie entièrement chargée est représentée par un niveau maximum de charge de l'énergie $E_{c,max}$ Ceci est indiqué par l'équation suivante pour l'ensemble de l'énergie stockable dans une batterie.

$$E_b = E_{c,max} - E_{c,min} = \frac{1}{2}CV_{max}^2 - \frac{1}{2}CV_{min}^2 = \frac{1}{2}C_{bp}(V_{max}^2 - V_{min}^2) \quad \text{(II.10)}$$

L'énergie $E_b$est soit donnée par le fabricant de la batterie directement en kilowattheures (kWh), soit il est spécifié en ampères-heures (Ah - qui doit être transformé dans les unités utilisées pour la production d'énergie (kWh) par multiplication de la tension spécifié de fonctionnement).

Les tensions V_{max} et V_{min} sont la charge maximale et la charge minimale de la batterie en circuit ouvert respectivement. D'après l'équation (II.10) on a :

$$C_{bp} = \frac{2E_b}{V_{max}^2 - V_{min}^2} \quad \text{(II.11)}$$

La résistance interne de la batterie est représentée par les deux résistances série R_{bs}etR_{b1}. Larésistance en bloc d'électrolyte et de plaque est représentée par la résistanceR_{bs}, alors que la résistance R_{b1}représente la diffusion de l'électrolyte.

Les modèles également R_{b1}(avec le petit condensateur C_{b1}) l'effet de surtension ou de polarisation de la batterie. Ce que représente le phénomène de chutes de tension en circuit ouvert de la batterie dès que la charge est connectée.

De même, un saut brusque de tension peut être observé avec l'application d'un courant de charge.

Utilisation de la notation indiquée sur la figure (en dessus) la surtension peut être exprimé comme la différence entre la tension de la batterie en circuit ouvert V_{oc}et la tension terminale de la batterieV_b. R_{b1}etC_{b1}Forment un réseau RC parallèle avec une constante de temps $\tau = R_{b1}.C_{b1}$de sorte que :

$$V_b = V_{oc} + R_{b1}\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)i_b + R_{bs}.i_b \quad \text{(II.12)}$$

Une autre caractéristique très importante d'une batterie est d'autodécharge, représentée par la résistance R_{bp} en parallèle avec le condensateur principal C_{bp}. Elle est causée par l'électrolyse de l'eau à haute tension et par des fuites lentes à travers les bornes de la batterie à basses tensions. Le circuit de la figure (en dessus) décrit les

caractéristiques d'une batterie plomb-acide d'une manière complète mais pourtant très simplifiée .

L'impédance équivalente d'une d'entrée d'une batterie plomb-acide est représentée par :

$$Z(s) = R_{bs} + (R_{b1} \| C_{b1}) + \left(R_{bp} \| C_{bp}\right) = R_{bs} + \frac{R_{b1}}{R_{b1}.C_{b1}S+1} + \frac{R_{bp}}{R_{bp}.C_{bp}S+1} \qquad \text{(II.13)}$$

Pour l'utilisation dans le système du modèle mathématique, il est nécessaire de transformer (II-13) en un seul terme de la forme suivante:

$$Z(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_2}{b_2 s^2 + b_1 s + b_0} \qquad \text{(II.14)}$$

Où les coefficients a_i et b_j sont employés pour représenter les différents composants :

$$a_2 = R_{bs}R_{b1}R_{bp}C_{b1}C_{bp};$$
$$a_1 = R_{bs}R_{b1}C_{b1} + R_{bs}R_{bp}C_{bp} + R_{b1}R_{bp}C_{bp} + R_{bp}R_{b1}C_{b1};$$
$$a_0 = R_{bs} + R_{b1} + R_{bp};$$
$$b_2 = R_{b1}R_{bp}C_{b1}C_{bp};$$
$$b_1 = R_{b1}C_{b1} + R_{bp}C_{bp};$$
$$b_0 = 1$$

II.9 ETAGE D'ADAPTATION

Dans un système électrique comprenant une source et une charge, la recherche du point de fonctionnement optimal par des techniques d'optimisation reste une étape importante. Dans le cas du photovoltaïque, cette démarche est plus complexe du fait que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'ensoleillement et de la température ambiante, entre autres. Ces dernières années plusieurs dispositifs travaillant dans cette optique ont été développés [16].

La puissance maximale qui correspond au point de fonctionnement optimal est déterminée pour différentes densités énergétiques du rayonnement solaire incident, différentes variations de température et de la charge. La mise en oeuvre de la procédure de recherche du point de fonctionnement optimal (transfert du maximum de puissance du GPV vers la charge), peut être menée en intercalant un convertisseur statique pouvant jouer le rôle d'adaptateur d'impédance. Il se trouve, comme il sera établi ultérieurement qu'un hacheur peut justement remplir cette fonction. Le

paramètre d'adaptation dans ce cas, serait le rapport cyclique imposé à ce dernier dont la détermination automatique est dédiée à un algorithme MPPT.

II.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept d'un système photovoltaïque. Nous avons expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales ainsi que le fonctionnement des modules photovoltaïques et leur protection. Puis nous avons abordé le système de stockage et en fin l'étage d'adaptation.

Dans le chapitre suivant, nous nous attacherons à étudier l'architecture générale d'une borne de recharge solaire rapide et qui doit respecter le profil de charge des batteries

III.1.INTRODUCTION

L'adaptation d'impédance entre un générateur photovoltaïque (GPV) et une charge est un problème technologique qui signifie essentiellement le transfert du maximum de puissance du générateur photovoltaïque à la charge. La littérature propose une grande quantité de solution sur l'algorithme de contrôle effectuant une recherche de point de puissance maximale (PPM) lorsque le GPV et la charge sont connectés à travers un convertisseur statique DC-DC (Hacheur).

Un GPV présente des caractéristiques courant-tension non linéaires avec des PPM. Ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur la quelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très grand écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux borne du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée consiste à utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche qu'elle que soit la plus proche possible de P_{max} disponible [24].

Le circuit de base d'un système de poursuite de point de puissance maximale est un convertisseur DC-DC piloté par un circuit de commande, afin d'extraire la totalité de la puissance produite par le GPV.

.

III.2. ARCHITECTURE DE STATION SOLAIRE DE RECHARGE POUR LES VEHICULES ELECTRIQUES

La connexion directe entre la source et la charge n'offre aucun type de limitation et/ou de réglage de la tension de la batterie. Cette approche simple est loin de satisfaire un grand nombre de contraintes spécifiques à notre application. Ceci est d'autant plus crucial que la caractéristique non linéaire du GPV fait que des critères de performances importants de l'ensemble de l'installation exigent des stratégies de commande précises. La meilleure illustration à ce propos est liée au fait que la puissance extraite d'un GPV présente un maximum dont l'obtention passe par une certaine adaptation aux fluctuations inhérentes à la charge. De ce fait, l'architecture choisie doit assurer deux fonctions : la charge des batteries du véhicule électrique selon un profil de charge élaboré de manière à respecter les contraintes imposées (courant et tensions limites,…) et extraire le maximum de puissance à partir du GPV. Ces deux exigences pouvant induire une situation conflictuelle, une architecture permettant leur mise en œuvre de manière découplée a été adoptée. Ainsi, La station de charge proposée **(**Figure III.1**)** est constituée d'un étage de stockage (Batteries tampon) alimenté à travers un convertisseur statique dont la stratégie de commande est élaborée de manière à assurer l'extraction du maximum de puissance (MPPT) disponible au niveau du GPV. Les batteries de stockage ainsi chargées, constituent à leur tour un générateur à tension pratiquement constante servant à alimenter les batteries à recharger à travers un deuxième convertisseur de puissance jouant le rôle de régulateur. La commande de ce dernier est alors élaborée de manière à assurer un profil de charge optimal imposé, tout en assurant le non dépassement des limites préjudiciables au fonctionnement normal.[25]

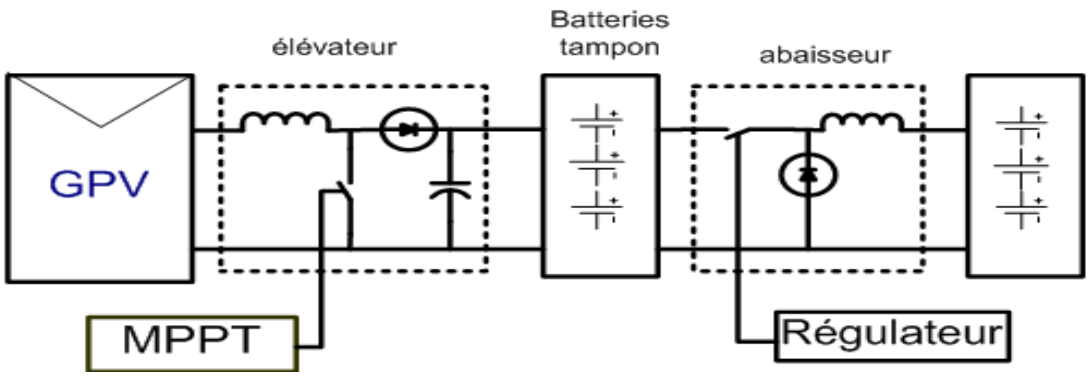


Figure III.1 : Architecture de la borne de recharge.

III.3 ETUDE DU MPPT

III.3.1 Optimisation du système panneau solaire

Dans cette partie on s'intéresse à l'optimisation du fonctionnement du système solaire. A cet effet, l'alimentation du groupe hacheur avec charge (résistance) par un générateur photovoltaïque est complétée par l'intégration d'un dispositif de suivi de la puissance maximale. Nous allons tout d'abord évoquer quelques méthodes de suivi de la puissance maximale, puis nous présentons la technique de commande adoptée pour la charge. Enfin, des simulations seront présentées tout en tenant compte de l'effet de changement des conditions météorologiques, à savoir l'ensoleillement et la température.

III.3.2 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes.

À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du convertisseur (hacheur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale. La méthode de suivi ou "Tracking" connue sous le nom MPPT (Maximum Power Point Tracking) est basée sur l'utilisation d'un algorithme de recherche du maximum de la courbe de puissance du panneau photovoltaïque. Contrairement au contrôle à tension fixe, le tracking n'est pas basé sur une valeur de référence prédéterminée mais il s'agit d'une recherche de la valeur de référence pour atteindre le maximum de la puissance sur la caractéristique courant–tension. À noter que le tracking joue un rôle très important parce qu'il maximise le rendement et réduit au maximum le coût.

III.3.3 Point de fonctionnement d'un panneau solaire

Un panneau photovoltaïque, sous un ensoleillement constant et uniforme, a une caractéristique courant–tension de telle sorte que pour chaque ensoleillement il n'y a qu'un seul point de fonctionnement qu'on l'appelle le point de puissance maximale (MPP: Maximum Power Point). Pour ce dernier, le panneau fonctionne au rendement maximal et produit sa puissance maximale. Quand on lie une charge directement à un

panneau photovoltaïque, ce point de fonctionnement n'est pas forcément le MPP mais sera l'intersection de la caractéristique courant–tension et la caractéristique de charge. Cette situation est représentée sur le schéma de la figure (III.2) qui suit.

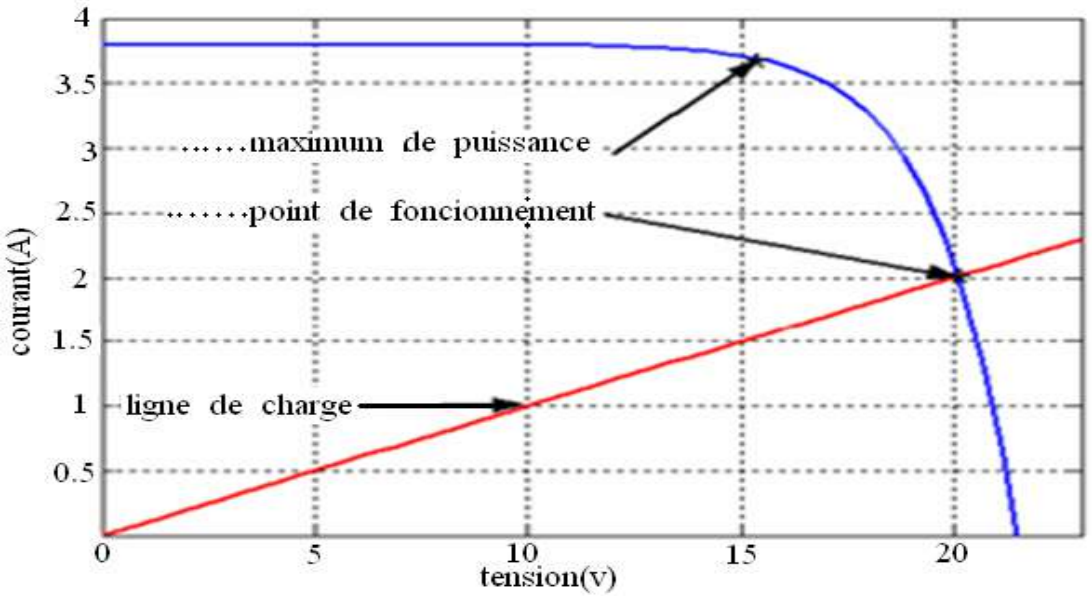


Figure III.2 : Point de fonctionnement d'un module photovoltaïque en couplage Direct.

Donc, en général le point de fonctionnement n'est pas au MPPT du panneau photovoltaïque. Alors dans les couplages directs des charges, les panneaux photovoltaïques sont souvent sur dimensionnés pour assurer une puissance suffisante à fournir à la charge ; ceci conduit à un système excessivement cher. Pour surmonter ce problème, le tracking de la puissance maximale peut être utilisé pour maintenir le fonctionnement du panneau photovoltaïque à sa puissance maximale. Le MPPT fait ceci en contrôlant la tension ou le courant du générateur indépendamment de celle de la charge. L'emplacement du MPPT dans la caractéristique courant tension du panneau photovoltaïque n'est pas connu à priori. Cependant, en fonction de l'intelligence de l'algorithme de tracking, le MPPT peut être localisé et suivi soit par des calculs de modèle ou par un algorithme de recherche. La situation est encore plus compliquée du fait que le MPPT dépend d'une manière non linéaire de l'ensoleillement et de la température.[26]

III.3.4 Présentation des différentes stratégies MPPT

Plusieurs algorithmes de tracking ont été proposés par les chercheurs. L'algorithme "Perturber et observer" (P&O : Perturb-and-Observe) est bien connu et il continue à être la méthode la plus employée dans les modules MPPT commerciaux vu son rendement.

Différentes méthodes et stratégies de tracking existent dans la littérature, parmi les quelles nous retenons celles qui coûtent moins cher pour être brièvement discutées, à savoir les algorithmes :

- Perturber et observer (P&O : Perturb-and-Observe)
- Accroissement de la conductibilité (INC : Incrémental Conductance)
- Algorithme "Hill Climbing"

Le rendement d'un module MPPT est défini comme suit :

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_m(t).dt}{\int_0^t P_{max}(t).dt} \quad \text{(III.1)}$$

Avec P_m, la puissance mesurée produite par les panneaux photovoltaïques sous le contrôle du MPPT et P_{max}, la puissance maximale qu'ils pouvaient produire sous la même température et le même ensoleillement [27].

a) Algorithme « perturbation et observation »

Le principe des commandes MPPT de type ***P&O*** consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte [28] [29] Ainsi, comme l'illustre la figure III.3, on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger

ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.[30]

En résumé, c'est suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM.

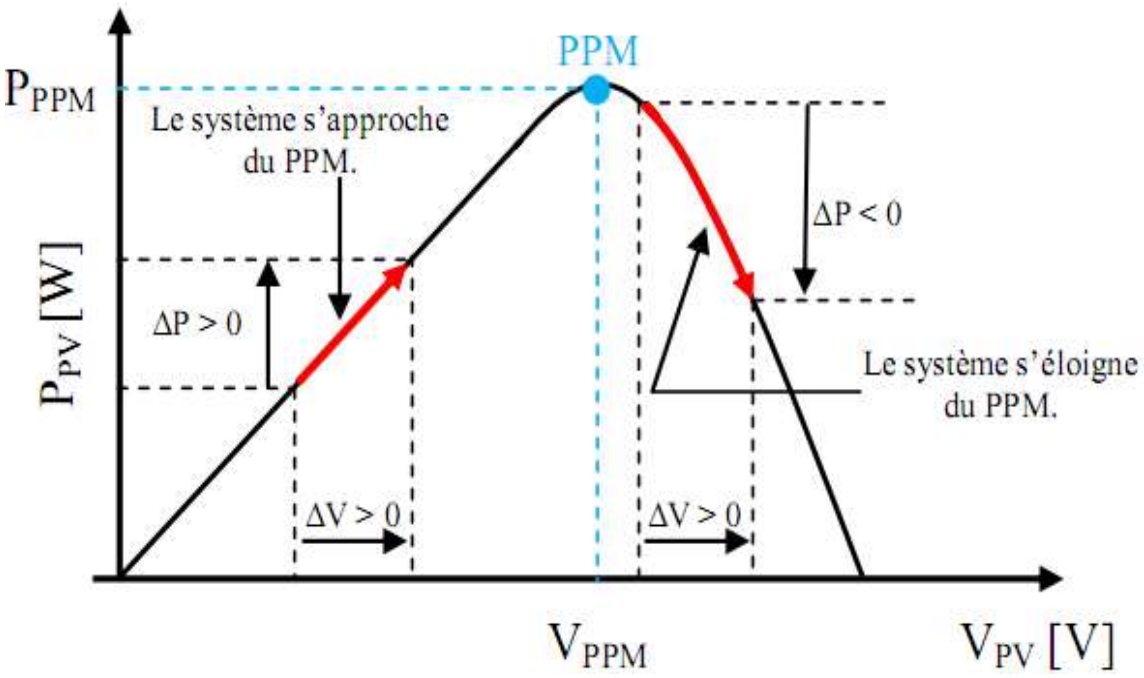


Figure III.3 : Caractéristique Ppv-Vpv d'un panneau solaire.

La figure (III.4) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

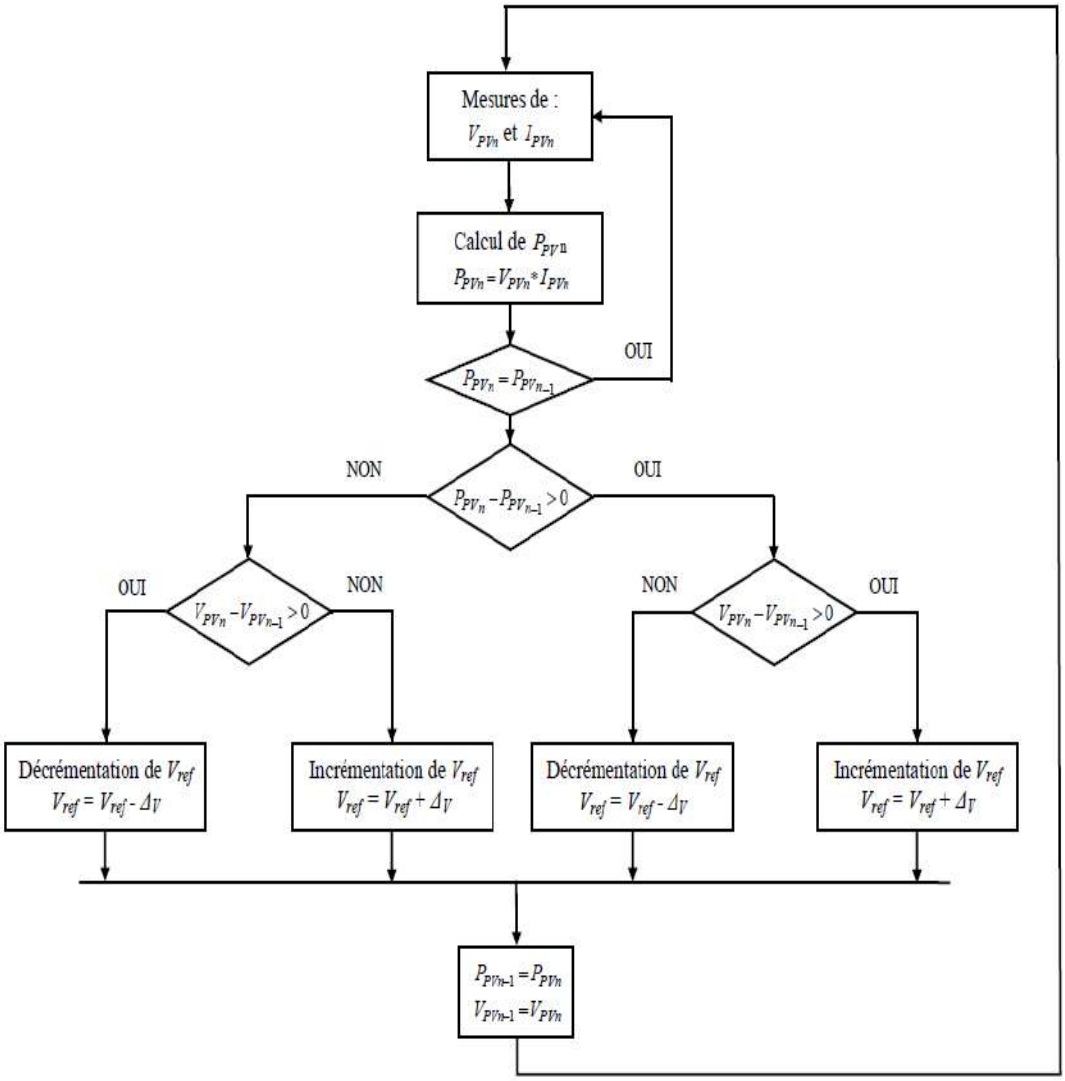


Figure III.4: Organigramme de la méthode de perturber et observer (P&O).

b) Algorithme « conductance incrémental »

La méthode d'incrémentation de la conductance a été proposée pour éviter les inconvénients de la méthode P&O de recherche du MPPT.

Elle est basée sur le fait que la dérivée de la puissance de sortie P_{pv} par rapport à la tension de panneau V_{pv} est égale à zéro au point maximum de puissance.

Ceci mène à l'ensemble d'équations suivantes:

$$\frac{\partial P_{pv}}{\partial V_{pv}} = \frac{\partial (I_{pv} V_{pv})}{\partial V_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{\partial I_{pv}}{\partial V_{pv}} = 0 \qquad \text{au MPP} \qquad \text{(III.2.1)}$$

$$\frac{\partial P_{pv}}{\partial V_{pv}} = \frac{\partial (I_{pv} V_{pv})}{\partial V_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} > 0 \qquad \text{à gauche du MPP} \qquad \text{(III.2.2)}$$

$$\frac{\partial P_{pv}}{\partial V_{pv}} = \frac{\partial (I_{pv} V_{pv})}{\partial V_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} < 0 \qquad \text{à droite du MPP} \qquad \text{(III.2.3)}$$

Ces équations peuvent être écrites comme :

$$\frac{\partial I_{pv}}{\partial V_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \qquad \text{au MPPT} \qquad \text{(III.2.4)}$$

$$\frac{\partial I_{pv}}{\partial V_{pv}} > -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \qquad \text{à gauche du MPPT} \qquad \text{(III.2.4)}$$

$$\frac{\partial I_{pv}}{\partial V_{pv}} < -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \qquad \text{à droite du MPPT} \qquad \text{(III.2.5)}$$

Les équations ci-dessus peuvent être employées comme algorithme de commande pour commander le point de fonctionnement du convertisseur en mesurant l'accroissement de la conductance et la conductance instantanée du convertisseur dI_{pv}/dV_{pv} et I_{pv}/V_{pv} respectivement.

L'organigramme de l'algorithme de commande est montré sur la figure (III.2.3).

Il peut être plus difficile de mettre en application cette méthode que les méthodes précédentes parce qu'elle implique des divisions dans lesquelles les dénominateurs peuvent être égaux à zéro.

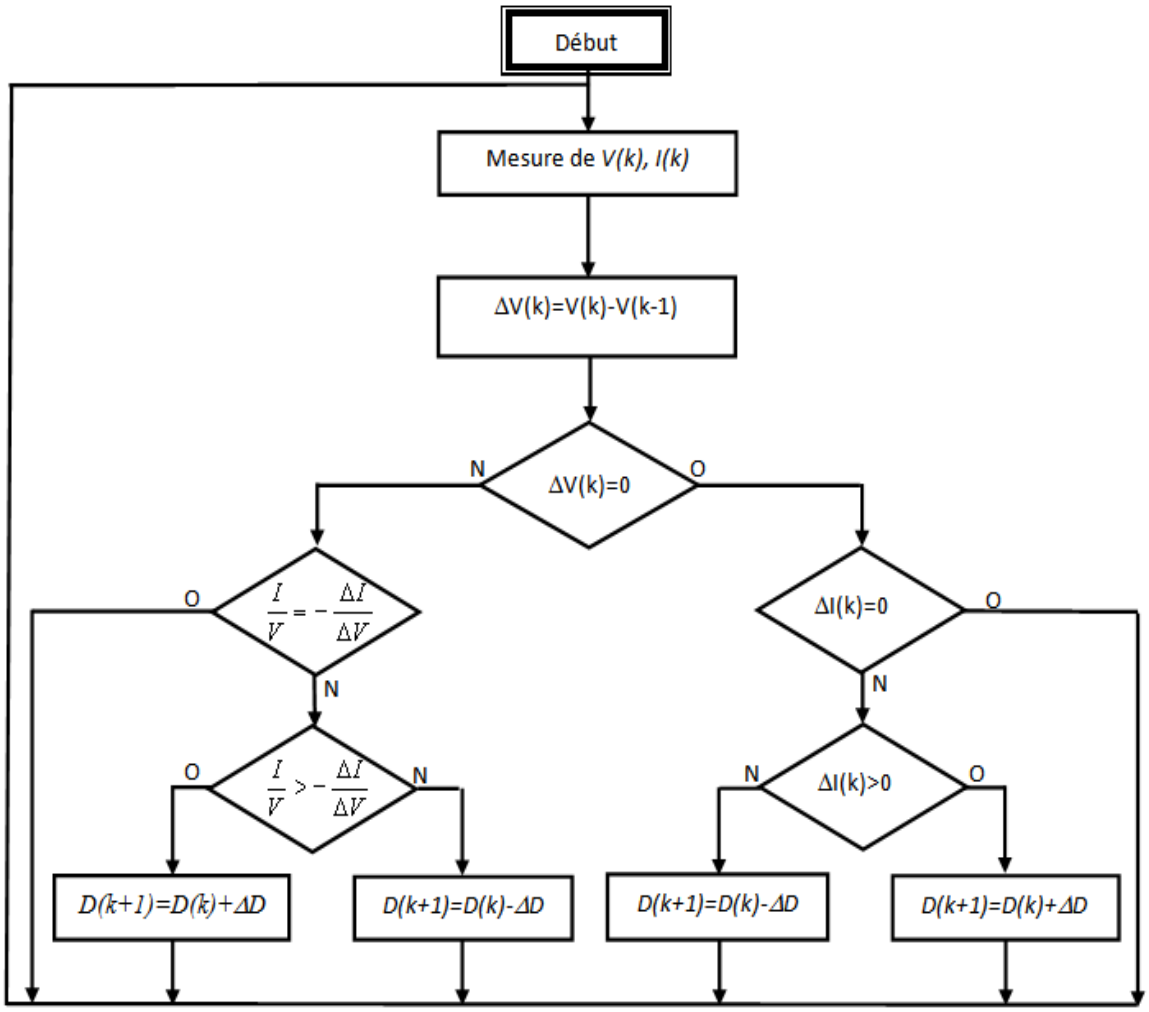


Figure (III.5): Algorithme de la Méthode d'incrémentation de conductance.

En réalité, cet algorithme est une correction de l'algorithme "P&O" puisqu'il est capable de calculer la direction dans laquelle la perturbation du point de fonctionnement devrait être pour atteindre le MPP, et il peut aussi déterminer l'atteinte du MPP. De plus, dans les conditions de changement rapide de l'ensoleillement, l'algorithme ne devrait pas prendre la mauvaise direction comme c'est le cas avec l'algorithme "P&O", et d'ailleurs, il n'oscille pas autour du MPP une fois qu'il l'atteint

c) Algorithme "Hill Climbing"

Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique. Mathématiquement, le PPM est atteinte lorsque dPpv/dα est forcé à zéro par la commande (figure III.4). [25]

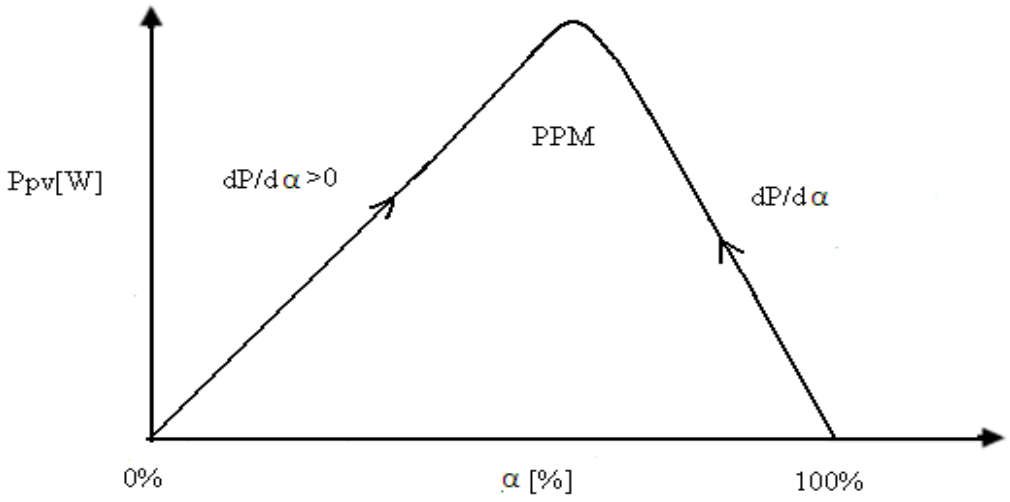


Figure III.6 : Relation entre p_{pv} et le rapport cyclique α du convertisseur Statique.

III.4 MODELE DU CONVERTISSEUR CONTINU-CONTINU (HACHEUR DC-DC)

Dans cette section, les principes de la conversion de la puissance et de la commutation sont introduits et les détails des différents circuits de convertisseurs DC-DC sont discutés. Les modèles mathématiques pour les convertisseurs buck, boost et buck/boost sont dérivés de représenter l'état stable du circuit et des comportements dynamiques.

Une cellule de commutation d'un convertisseur est constituée de condensateurs, des inductances et des interrupteurs. Tous ces dispositifs idéalement ne consomment pas d'énergie, qui est la raison de la haute efficacité de commutation des convertisseurs. L'interrupteur est réalisé avec un dispositif à semi-conducteurs en mode commuté, généralement un MOSFET.

Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est nul et donc la dissipation de puissance est égale à zéro. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à travers sera proche de zéro et donc la puissance dissipée sera très faible [33] [34] [35] [36].

Au cours de l'opération du convertisseur, le commutateur est commuté à une fréquence constante f_s avec un temps de fermeture DT_s, et un temps d'ouverture (1-D) T_s, où Ts est la période de commutation égal 1/ f_s et D est le rapport cyclique de commutation (D $\in$ [0, 1]) voir figure (III.5).

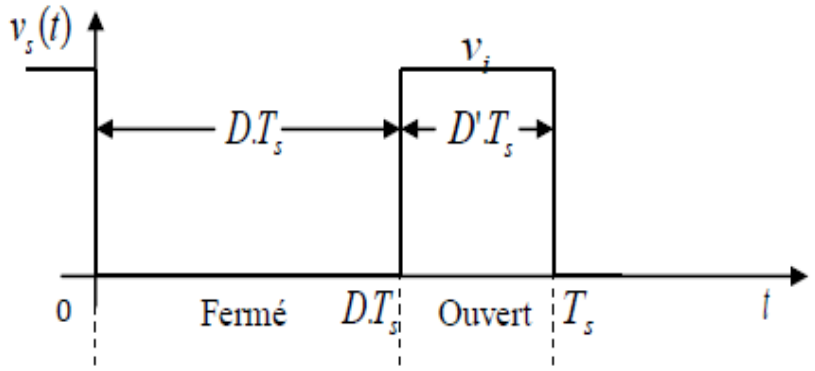


Figure. III.7 : Tension $v_S(t)$ idéale du commutateur, rapport cyclique *D* et période de Commutation.

Dans ce qui suit on va discuter les différents types de convertisseurs Continu-Continu (DC/DC) afin de les modéliser mathématiquement pour une utilisation facile de simulation.

III.4.1.Hacheur dévolteur « Buck Converter »

La figure III.6 présente le convertisseur buck ou convertisseur dévolteur (abaisseur de tension) ou hacheur série. Son rôle principal est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. Son rapport de conversion $M=V_0/V_i$ varie avec le rapport cyclique D du commutateur.

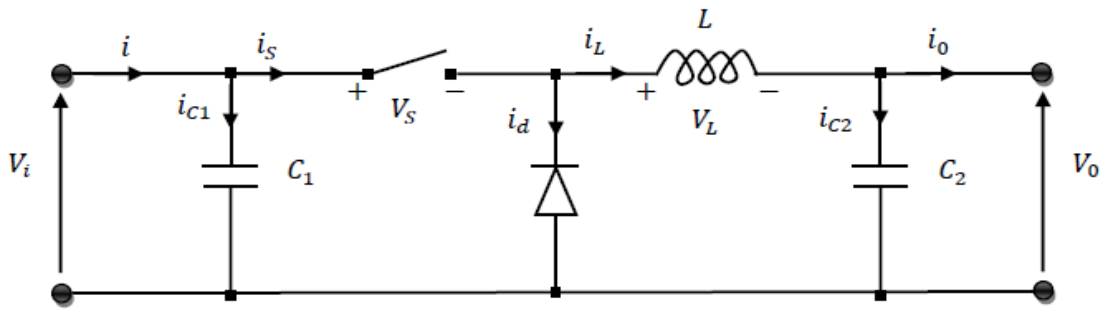


Figure. III.8 : Circuit idéal du convertisseur Buck.

III.4.1.1. Modèle mathématique du circuit équivalent

Pour avoir le modèle mathématique du convertisseur dévolteur, on l'analyse pour les deux états de commutation (commutateur ouvert et fermé). Quand le commutateur est fermé c.à.d. t ∈ [0, DTs], on a le équations suivantes :

$i_{c1}(t)=c_1 \frac{dv_i(t)}{dt}$ =i(t)-i_l(t) (III.3.1)

$i_{c2}(t)=c_2 \frac{dv_0(t)}{dt}$ =i_l(t)-i_0(t) (III.3.2)

$v_l(t)=L \frac{di_l(t)}{dt}$ =v_i(t)-v_0(t) (III.3.3)

2- Quand le commutateur est ouvert $t \in [D.T_S , T_S]$. On a les équations suivantes :

$i_{c1}(t)=c_1 \frac{dv_i(t)}{dt}$ =i(t) (III.3.4)

$i_{c2}(t)=c_2 \frac{dv_0(t)}{dt}$ =i_l(t)-i_0(t) (III.3.5)

$v_l(t)=L \frac{di_l(t)}{dt}$ =-v_0(t) (III.3.6)

C'est les équations de base utilisées pour obtenir tous les modèles mathématiques qui décrivent les différentes propriétés du convertisseur Buck

III.4.1.2. Le rapport de conversion

Les équations qui explicitent la tension aux bornes de l'inductance dans les deux périodes de fermeture et d'ouverture du commutateur, utilisant l'approximation des petites ondulations, donnent la figure. (III.7)

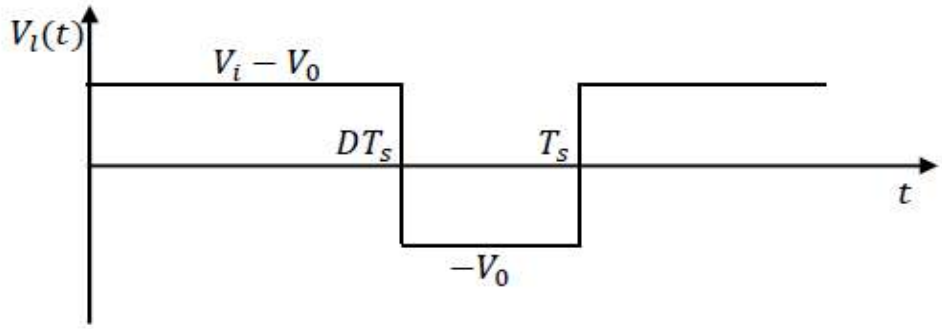


Figure.III.9 : Forme d'onde de la tension d'inductance V_l(t) pour un Hacheur Dévolteur.

L'expression de la tension moyenne d'inductance peut être facilement dérivée de la forme d'onde d'après la condition qui s'appelle inductor volt-second balance et capacitor charge balance, la tension moyenne d'inductance est égale à zéro en régime permanent donc:

V_l(t)=D (V_i-V_0) + D'(-V_0) = 0 (III.4.1)

En appliquant le principe de capacitor charge balance *(*l'équilibre des charges capacitives) on obtient les expressions suivantes pour les courants moyens du condensateur :

i_{c1}(t)=D (I -I_l) + D' I=0 (III.4.2)

i_{c2}(t)=D (I_l-I_0) + D'(I_l-I_0) =0 (III.4.3)

L'avantage de la combinaison des équations mène à trois équations simples qui décrivent les caractéristiques du courant continu à l'état d'équilibre d'un hacheur dévolteur.

dV_i= V_0 (III.4.4)

I= dI_l (III.4.5)

$I_l = I_0$ (III.4.6)

Le rapport de conversion de hacheur dévolteur est donné par la forme suivante :

M(D) = $\frac{V_0}{V_i}$ = D (III.4.7)

La figure III.8 illustre cette relation linéaire.

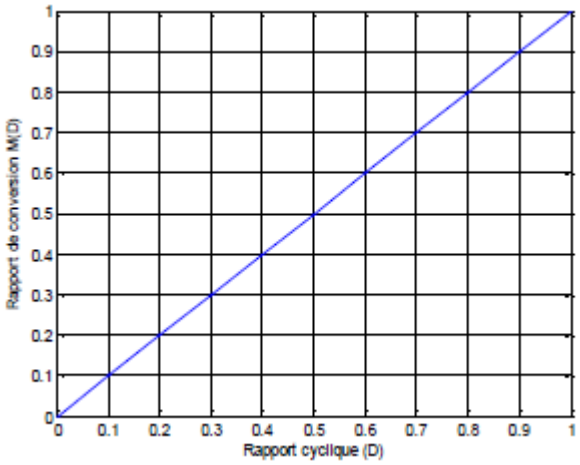


Figure. III.10 : Rapport de conversion M en fonction du rapport cyclique D pour Un convertisseur dévolteur.

L'équation montre bien que le convertisseur buck est un abaisseur de tension, car la tension de sortie du convertisseur est égale à la tension d'entrée multipliée par un coefficient qui varie dans l'intervalle [0, 1].

III.4.2. Hacheur survolteur (parallèle)

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée, d'où son nom. Cette structure demande un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (bipolaire, Mos, IGBT…) et une diode (amorçage et blocage spontanés) [37] [38] [39].

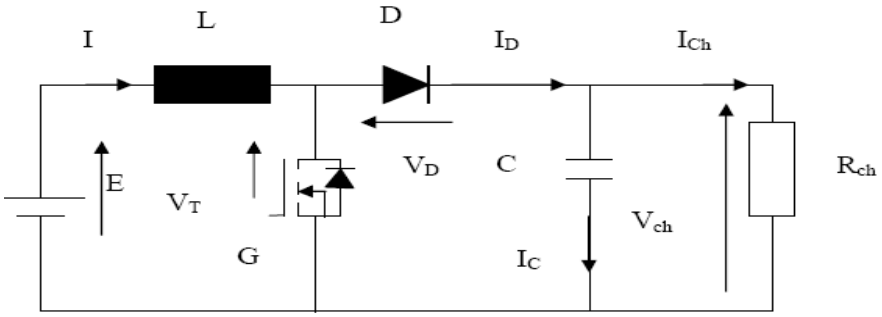


Figure III.11 : Structure d'un hacheur survolteur.

Le montage le plus simple consiste à mettre périodiquement en court-circuit l'inductance L pendant une durée $t_f = DT$ bien déterminée ; cette mise en court-circuit est assurée par un hacheur branché en parallèle avec une résistance. Enfin une inductance L atténue l'ondulation du courant i_c débité par la source. Nous supposerons que cette inductance est assez élevée pour que le courant i_c puisse être considéré comme constant ($i_c = I_c = Cte$).

De 0 à t_f $\quad V_{ch} = 0 \ , \ i_{ch} = 0$

De t_f à T $\quad V_{ch} = R.i_{ch} = R.I_{ch}$

D'où:

$$V_{ch\ moy}.T = RI_{ch\ moy}\,(T - t_f) \qquad \text{(III.5.1)}$$

Soit :

$$V_C = V_{ch\ moy} = R(1-D)I_{ch} = R.I_{ch} \quad \text{(III.5.2)}$$

Ainsi peut-on conclure:

$$I_{Ch\ moy} = V_C / R = E / (1-D)R \quad \text{(III.5.3)}$$

III.4.3. Hacheur Buck – Boost:

La configuration en buck-boost se rapproche du buck mais ici, la diode et la self sont inversées et la diode est mise dans l'autre sens. Quand K est fermé on charge toujours la self et lorsque ce switch s'ouvre, la self tire le courant à travers la diode D [40] [37] [38].

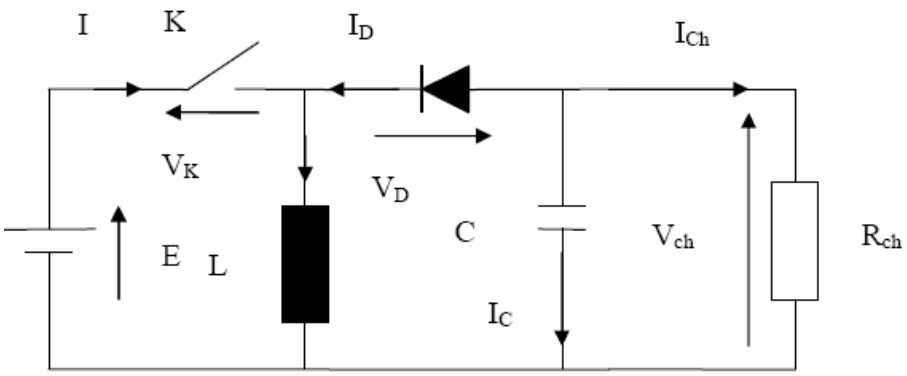
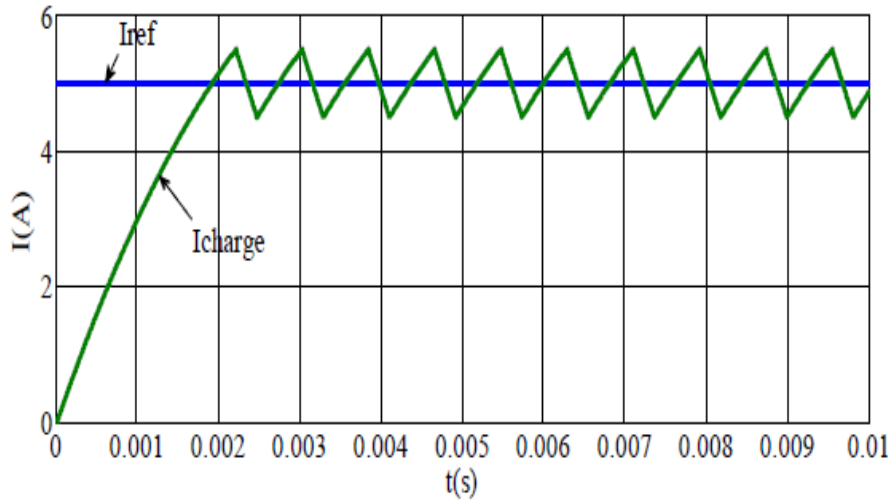


Figure (III.12): Buck –boost

III.5. REGULATEUR DE CHARGE

Pour garantir une durée de vie élevée d'une batterie il faut respecter le profil de charge correspondant. Pour un accumulateur au plomb le profil de charge usuel correspond à celui représenté au chapitre II ; Le courant de charge dans la première phase est limité à C/5(C étant la capacité usuelle en Ah de la batterie). Pour réaliser la première phase de charge à courant constant on a opté un hacheur série intégré à une

boucle de contrôle en courant permettant de contrôler le courant (figure III.8). Durant cette phase la tension au borne de la batterie augmente jusqu'à Vfc (la tension de fin de charge) fixé par le constructeur, la durée de cette phase est d'autant plus grande (petite) que le courant de charge est petit (grand). A la fin de cette phase la batterie est pratiquement chargé à 80% de ca capacité nominale et le reste de la charge (20% restant) est effectue à tension constante, qui est dans notre cas imposé grâce à une boucle de commande en tension, cette dernière comporte un régulateur de courant non linéaire consistant en un comparateur à hystérisés permettant de contrôler le courant instantané en le faisant osciller dans une fourchette fixée par l'hystérisés autour de la valeur de référence. Dans ce cas, la fréquence de travail ainsi le rapport cyclique de découpage sont variables et lies au point de fonctionnement.[25]



III.13: Régulateur de courant.

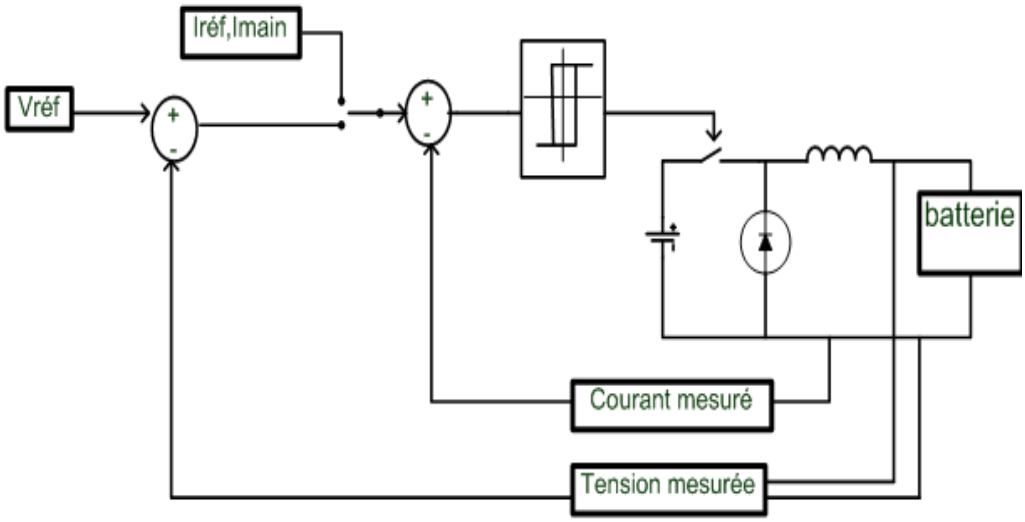


Figure III.14 : Schéma synoptique régulateur de charge.

III.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons vu la description de la structure de commande de la chaine de conversion photovoltaïque. Ensuite nous avons abordé les modèles mathématiques des différents composants qui constituent cette dernière (Panneau solaire, Convertisseur buck-Boost).

Dans le chapitre suivant, nous présentons la simulation et les schémas block d'un algorithme MPPT.

Nomenclature

TVC : transmission variable continue.

PV : Photovoltaïque

DC : Courant continu

GPV : Générateur photovoltaïque

I-V : Caractéristique courant-tension

P-V : Caractéristique puissance-tension

DC-DC : Conversion continu-continu

MPPT : Maximum Power Point Tracking

I : Le courant fourni par la cellule [A].

Iph : courant photo-courant.

Is : courant de saturation de la jonction, dépend du matériau semi-conducteur,

V : tension directe aux bornes de la jonction,

Q : charge de l'électron = 1,6.10-19-C,

K : constante de Boltzmann = 1,38.10-23JK-1,

T : température de la jonction en Kelvin,

Rsh : la résistance shunt caractérisant les courants de fuit de la jonction

Rs : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de Connexions

Voc : Tension à vide ou tension de circuit ouvert

Icc : Courant de court circuit [A].

FF : Facteur de forme

α : coefficient qui dépend de la température,

S: surface de la cellule en m2,

Ir : Irradiance ou éclairement ou ensoleillement solaire

T : Température

P : Charge positive

N : Charge négative

ZCE : Zone de charge d'espace

Vm : tension correspondante à la puissance maximale fournie.

Im : courant correspondant à la puissance maximale fournie.

n : Coefficient d'idéalité de la jonction P-N.

Iobs : Courant d'obscurité

$\mathbf{I_{d1}}$ **et** $\mathbf{I_{d2}}$: Courant inverse de diode 1et 2

Is1 et Is2 : sont les courants de la saturation des diodes

Vt : Potentiel thermodynamique,

$\boldsymbol{\eta}$: Rendement d'une cellule PV

$\mathbf{n_p}$: Nombre de cellules en parallèle

$\mathbf{n_S}$: Nombre de cellules en série

EVA : Acétate de vinyle

m : Indice du matériau (compris entre 1 et 2 selon de la technologie)

$\mathbf{C_{bp}}$: Condensateur de batterie principale

$\mathbf{C}$: Capacité de condensateur parallèle

$\mathbf{V_c}$: La tension de condensateur parallèle

$\mathbf{R_{bs}}$**et**$\mathbf{R_{b1}}$: résistances série interne de la batterie

$\mathbf{R_{bp}}$: Résistance en parallèle

NiCd: Nickel Cadmium

Li-ion : Batteries Lithium-ion

NiMH : Nickel Métal Hydrures

PPM : Point de puissance maximale

P&O : Algorithme « perturbation et observation »

INC : algorithme « accroissement de la conductibilité »

$\mathbf{v_{pv}}$: Tension aux bornes du générateur photovoltaïque

$\mathbf{p_{pv}}$: Puissance délivré par le générateur photovoltaïque

$\mathbf{I_{pv}}$: Le courant délivré par le générateur photovoltaïque

$\boldsymbol{\eta_{MPPT}}$: Le rendement d'un module MPPT

$\mathbf{P_m}$: la puissance mesurée produite par les panneaux photovoltaïques

$\mathbf{P_{max}}$: la puissance maximale

D : le rapport cyclique

M : rapport de conversion

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire, avait comme objectif l'étude et la réalisation d'un prototype de station de recharge solaire qui intègre des fonctions de contrôle de charge de batteries et des mécanismes de poursuite du Point de Puissance Maximale (PPM). Avant d'aborder la problématique liée à la conversion de l'énergie, solaire photovoltaïque, une analyse assez détaillée du générateur en question (GPV) a été menée.

Dans la première partie, nous nous sommes intéressés à la descriptions générale d'un scooter électrique, le principe de fonctionnement, les déférents blocs d'un scooter électriques , la chaine de traction.

Dans la deuxième partie, nous avons dans un premier temps, étudie l'élément de base du panneau solaire qu'est la cellule photovoltaïque et ses principales caractéristiques ont ainsi été sondées. l'assemblage de plusieurs cellules donne naissance à ce qu'on appelle le module photovoltaïque. Pour avoir plus de puissance, une multiplication des modules est nécessaire. L 'association des différents modules (en série pour multiplier la tension ou en parallèle pour multiplier le courant) dépend de l'application. Une protection du GPV est avérée nécessaire, pour ce faire deux diodes ont été ajoutées. Ensuite, nous avons analysé les différentes parties d'une chaine de conversion ou, nous avons trouvé qu'un système de stockage est très nécessaire pour la continuité du service (jour et nuit), ce dernier est assuré par des accumulateurs électrochimiques. Le principe de fonctionnement de quelques batteries a été détaillé (plomb-acide, Nickel-Cadmium, Lithium-ion).

Pour adapter le GPV à la charge, un étage d'adaptation a été mise en place, ce dernier peut être utilisé comme un support à un algorithme permettant d'extraire le maximum de puissance du GPV (MPPT).

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté et détaillé les différents éléments constituant une chaine de conversion photovoltaïque, nous avons mis en place une architecture générale de la station solaire de recharge.

Dans le quatrième chapitre, nous avons simulé les différentes parties de la chaine de conversion photovoltaïque , sur MATLAB \ Simulink, un modèle du GPV, un d'un

implémentation de l'algorithme MPPT. Pour valider les résultats de simulation, un banc d'essai a été réalisé. Et on a proposé une installation d’un source d’alimentation de scooter électrique par un système photovoltaïque. Ensuite on a étudie les différentes partie électrique du scooter.

Bibliographique

[3] P. Degobert “Pollution atmosphérique, réduction des émissions dues au moteur”, Techniques de l’Ingénieur, traité génie mécanique Doc. B 2 714.

[4] Yasmine barek. Mourad marref "commande en couple d'un actionneur asynchrone associe a un module de puissance intelligent: application a la motorisation d'un roue pour plate- forme mobile" mémoire d'ingénieur d'état école militaire polytechnique 2005

[5] LHOMME Walter. Gestion d’énergie de véhicules électriques hybrides basée sur la représentation énergétique macroscopique. Thése doctorat. Université de lille. 2007

[8] Belhadj Mohammed, « Modélisation D’un Système De Captage PhotovoltaïqueAutonome »Mémoire de Magister, Universitaire De Bechar, 2007-2008

[9]Anne Labouret, Michel Villoz, « Energie solaire photovoltaïque, le manuel du professionnel », édition Dunod, 2003.

[10] Renard EQUER, «énergie solaire photovoltaïque » édition 1997.

[11] C. Lerouge, et al., Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) aux Etats-Unis 2006,science physique Etats-Unis

[13] rahmani abdessamed, slama djamel wahid « optimisation de la technologie électronique d’une cellule et d’un panneau solaire photovoltaïque pour un stockage durable de l’énergie solaire » université de Médéa juillet 2011

Principe de fonctionnement d’une cellule photovoltaïque

[14] Malika Madani, « Réalisation des couches antireflets dans les cellules solaire à couche minces» Mémoire de Magister, Universitaire de Tlemcen, 2006.

[15] Hannes knopf master of science in electrical and computer engineering analyse ;simulation ,and evaluation of maximum power point tracking (mppt) methods for a solar powered Vehicle Portland state university 1999

[16] Anne Labouret, Pascal Cumunel, Jean-Paul Braun, Benjamin Faraggi « Cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque », édition ETSF.
[17] Ludovic Protin, Stéphan Astier ; « Convertisseurs photovoltaïques », Techniques de l'Ingénieur, D3 360.b
[18] Petibon Stephane *;* «Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques»,
[19] N. Achaïbou , « Introduction à l'Etude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque»,CDER,1997.
[20] M.Chikh, « Étude analytique conceptuelle des systèmes PV de puissance adopté aux site

[21] Julien LABBÉ «L'ydrogéne électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés »,Ecole des Mines de Paris, 2006

[22] Isidor Buchmann ,«Est-ce que les batteries au lithium-ion alimenteront le nouveau millénaire», isidor.buchmann@cadex.comwww.buchmann, 2001

[23] MAKHEBI.C, TOUMERT.M « Etude et réalisation d'un régulateur analogique et numérique de la charge/décharge d'une batterie associée à un système photovoltaïque », projet de fin d'étude, école national polytechnique ,2008.

[24]S .Aipuz,S Busquets-Monge,j .Bordonuau, j Gago, D .Gonzalez, and j.belcell, «Interfacing renewable energy sources to the utility grid using a three-level inverter» IEEE transaction on industrial Electronics, Vol.53,N°.5,pp.1504-1511,oct 2006.
[25] Mustapha FILALI - Abdelghani SI ABDELHADI
«étude et réalisation d'un station solaire autonome destinée à recharger les batterie des véhicules électrique »
[26] NAIMI Ahmed Hachemi. Mr. MORSLI Abdelkader. ZAOUI Aboubakr.
«étude technique MPPT pour les sources photovoltaïques application à une cascade source photovoltaïque onduleur multiniveaux»
Université Dr YAHIA FARES De Médéa, juin 2011
[27] A.Oi « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », Thèse de Doctorat , California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2005.

[28] F. Lasnier, T.G. Ang, «Photovoltaic Engineering Handbook», IOP Publishing Ltd, ISBN 0-85274-311-4,1980.

[29] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, «Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method», IEEE Transactions On Power Electronics, Vol.20, No. 4, pp. 16-19, Mar. 2004.

[30] Cédric.C «Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque»,Thèse de doctorat ,Université Toulouse, 2008.

[31] J. H. Lee, H. B. Bo, H. Cho, «Advanced incremental conductance MPPT algorithm with a variable step size», Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, EPE-PEMC 2006. 12th International, pp. 603-607, Aug. 2006.

[32] T. Y. Kim, H. G. Ahn, S. K. Park, Y. K. Le, «A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation», IEEE International Symposium on, Vol. 2, pp. 1011-1014, Jun. 2001.

[33]Abdelkader Morsli, «Etude d'un système solaire photovoltaïque utilisant des supercondensateurs », thèse de Magister, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

[34]Hannes Knopf**.**Analysis, «simulation, and evaluation of maximum power point tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle»**.** Master of Science in Electrical and Computer Engineering. Portland State University 1999.

[35]R. Gottschalg, M. Rommel, D.G. Ineld, and H. Ryssel, « Comparison of different methods for the parameter determination of the solar cell's double exponential equation»**,** In 14th European Photo-voltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Barcelona, Spain, 1997

[36]M.L.Sihamdi. « Etude et réalisation d'un contrôleur MPPT par la méthode « incrémentation de la conductance »avec un pic 16f876. PFE en électronique. Ecole Nationale Polytechnique. 2003.

[37] Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, BocarSadaSy, Eric Schiller. « Le Pompage Photovoltaïque » -Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens- Institut De L'énergie Des Pays Ayant en commun l'usage du français. 1998.

[38]K. Benlarbi, L. Mokrani, M. S. Nait-Said, « A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system », Solar Energy, 77 (2004), pp. 203-216.

[39]Walker, Geoff R. « Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV Model », Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC '00, Brisbane, 2000.

[40]Anne Labouret et Michel Villoz.Energie solaire photovoltaïque (le manuel du professionnel). Edition : DUNOD. Paris. 2003.

[41] DJEMAI Mourad et TELLAA Mawloud. «Commande de la vitesse et de la position d'un moteur à courant continu sans balais pour les applications en robotique», thèse d'ingénieur, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

Les sites internet

[1]http://fr.wikipedia.org/wiki/Scooter_%C3%A9lectrique

[2]http://fr.wikipedia.org/wiki/Scooter

[6]mlkssi.free.fr/TP1sti2d_fichiers/tp07/tp07.pdf

[7] http://www.velutz.com/comment-ca-marche/

[12]http://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovolta%C3%AFque