

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER - BISKRA

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

FILIÈRE: ÉNERGIE RENOUVELABLE

OPTION: **Solaire photovoltaïque**



Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de Master en génie électrique

Commande d'un système hybride contenant un panneau solaire et une batterie

Réalisé par:

Farouk NOUAR KHERKHACHI

Hocine AZAZLA

Devant le jury composé de:

Mohamed Yacine HAMMOUDI	MCA, Université de Biskra	Président
Messaoud MOHAMMEDI	MCB, Université de Biskra	Rapporteur
Boualaga RABHI	Pr, Université de Biskra	Examineur

Année Universitaire 2019/2020

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER - BISKRA

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE

FILIÈRE : ÉNERGIE RENOUVELABLE

OPTION : **Solaire photovoltaïque**



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme:

Master

en génie électrique

Thème

*Commande d'un système hybride contenant un
panneau solaire et une batterie*

Présenté par

Farouk NOUAR KHERKHACHI

Hocine AZAZLA

Avis favorable de l'encadreur:

Avis favorable du président de jury:

Cachet et signature

DÉDICACE

À

*mes très chers parents,
mes frères Nizar, Cherif et Akram et mes sœurs,
La mémoire de mes grand parents,
mes amis, surtout- Azzi Djamel - Kermiche Nadji et ,
tous ceux qui comptent pour moi.*

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à :

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail. Plus particulièrement, nous tenons à remercier :

Monsieur Messaoud MOHAMMEDI , directeur de mémoire, pour nous avoir accordé sa confiance pour la réalisation de ce projet à distance les unes des autres , et pour nous avoir guidées tout au long de cette étude.

Nizar , pour son aide précieuse en traduction.

Nos amies, pour nous avoir soutenues et comprises durant cette année, et pour avoir partagé une si belle complicité pendant ces années d'orthophonie.

Ce travail est une étude de la modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque (PV) alimentant deux hacheurs boost montés en cascade avec une batterie connectée directement sur le bus continu. Un rappel sur les générateur PV, les batteries aux plomb et leurs caractéristiques est présenté. La commande de notre système est assurée par une MPPT (P&O) pour commander le premier hacheur boost afin de garantir l'extraction de la puissance maximale du générateur PV. Le deuxième, est commandé par un régulateur PI pour assurer une tension de sortie constante. Sous environnement du Logiciel MATLAB-Simulink, la simulation de ce système et ses résultats sont obtenus.

Mots-clés : Générateur photovoltaïque, Batterie au Plomb, MPPT, Hacheur boost, Régulateur PI.

*T*his work is a study of the modeling and simulation of a photovoltaic (PV) system supplying two boost choppers cascaded with a battery connected directly to the DC-Link. A summary on PV generators, lead acid batteries and their characteristics is presented. The control of our system is ensured by an MPPT (P and O) to control the first boost chopper in order to guarantee the extraction of the maximum power from the PV generator. The second is controlled by a PI regulator to ensure a constant output voltage. Under the MATLAB-Simulink software environment, the simulation of this system and its results are obtained.

Keywords: Photovoltaic generator, Lead-acid battery, MPPT, Boost chopper, PI regulator.

Commande d'un système hybride contenant un
panneau solaire et une batterie

Farouk NOUAR KHERKHACHI

Hocine AZAZLA

October 12, 2020

TABLE DES MATIÈRES

<i>Introduction Générale</i>	1
1 Généralités et modélisation des panneaux solaires	3
1.1 Introduction	3
1.2 Rayonnement solaire	3
1.3 Cellule photovoltaïque	4
1.4 Module photovoltaïque	5
1.5 Panneaux solaires (générateur PV)	6
1.6 Zones de fonctionnement du module solaire	7
1.7 Système photovoltaïque	8
1.8 Modélisation du champ photovoltaïque	9
1.8.1 Modélisation d'une cellule solaire	9
1.9 Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(v)$ d'un générateur photovoltaïque	10
1.10 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	11
1.10.1 Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$.	11
1.10.2 Influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$	12
1.11 Convertisseur Boost en cascade (cascaded boost converter)	13
1.12 Association PV-hacheur	14
1.12.1 Modèle mathématique équivalent	14
1.12.2 Différents Techniques de la commande MPPT	15
2 Modélisation des batteries Plomb-Acide	18
2.1 Introduction	18

2.2	Définition d'une batterie plomb-acide	18
2.3	Batterie acide au plomb	19
2.4	Système de stockage	20
2.5	Caractéristiques principales d'une batterie	20
2.5.1	Capacité en Ampère heure	20
2.5.2	Profondeur de décharge	21
2.5.3	Tension d'utilisation	21
2.5.4	Le rendement	21
2.5.5	Taux d'autodécharge	21
2.6	Modélisation d'une batterie au plomb-acide	21
2.7	Composition d'une batterie solaire Plomb- Acide	22
2.8	Principe de fonctionnement	24
2.8.1	Charge de la batterie	24
2.8.2	Décharge de la batterie	26
2.9	Aspects théoriques de la modélisation	26
2.10	Modélisation de stockage	27
2.10.1	Modèle de la charge de la batterie	27
2.10.2	Modèle de la décharge de la batterie	28
2.10.3	Tension de la batterie	29
2.10.4	Courant de batterie	30
2.10.5	Rendement de la Batterie	31
2.11	Conclusion	31
3	Simulation du système hybride (PV/Batterie)	32
3.1	Introduction	32
3.2	Structure de la source hybride PV/Batterie	32
3.3	Caractéristique d'un panneau photovoltaïque	33
3.4	Simulation du hacheur parallèle	34
3.5	Simulation d'un panneau photovoltaïque avec MPPT et convertisseur DC-DC	35
3.6	Influence de l'éclairement	35
3.6.1	Cas $G=1000 W/m^2$ et $R=11 \Omega$	36
3.6.2	Cas de $G=800W/m^2$ et $R=14 \Omega$	39

3.7	Influence de la variation de la charge	42
3.7.1	Cas $R = 11 \Omega$; $R = 30 \Omega$	42
3.8	Déterminé paramètres de regulation PI	43
3.9	Conclusion	44

LISTE DES FIGURES

1.1	Analyse spectrale du rayonnement solaire.	4
1.2	Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule	5
1.3	Module photovoltaïque	6
1.4	Cellule, module, panneau et champ photovoltaïque	7
1.5	Zones de fonctionnement du module solaire	7
1.6	Schéma de conversion photovoltaïque avec convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT sur charge DC	8
1.7	Schéma électrique équivalent d'une cellule PV	9
1.8	Caractéristique I-V et P-V d'un GPV.	10
1.9	Caractéristique courant -tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.	11
1.10	Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.	12
1.11	Caractéristique courant - tension d'une cellule en fonction de la température	13
1.12	Caractéristique puissance - tension d'une cellule en fonction de la température.	13
1.13	Le convertisseur boost en cascade	14
1.14	Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.	15
1.15	Principe de la commande MPPT.	15
1.16	Recherche du PPM par la méthode (P&O).	17
1.17	l'algorithme de (P&O) classique.	17
2.1	Batterie au Plomb-Acide	19
2.2	Circuit équivalent de base pour la batterie	22
2.3	Construction d'une batterie monobloc	23

2.4	Principe de fonctionnement de l'accumulateur au Plomb	25
2.5	Évolution de la tension durant la charge d'un accumulateur au plomb	25
2.6	Évolution de la tension durant la décharge d'un accumulateur au plomb	26
2.7	Schéma électrique de batterie.	29
2.8	Variation de tension en mode de charge en fonction de l'état de charge.	30
3.1	Structure de la source hybride Panneau solaire/Batterie	33
3.2	Caractéristique courant-tension et puissance-tension d'une cellule.	33
3.3	Schéma bloc de simulation des convertisseurs BOOST	35
3.4	Schéma bloc d'un photovoltaïque munis de la MPPT.	35
3.5	Tension de sortie du générateur photovoltaïque	36
3.6	Courant de sortie du générateur photovoltaïque	36
3.7	Tension de sortie du convertisseur DC-DC	37
3.8	Courant de sortie du convertisseur DC-DC	37
3.9	Tension de sortie de la batterie	38
3.10	Courant de sortie de la batterie	38
3.11	Tension de sortie du générateur photovoltaïque	39
3.12	Courant de sortie du générateur photovoltaïque	39
3.13	Tension de sortie du convertisseur DC-DC	40
3.14	Courant de sortie du convertisseur DC-DC	40
3.15	Tension de sortie du batterie	41
3.16	Courant de sortie du batterie	41
3.17	Tension de sortie de charge	42
3.18	Courant de sortie de charge	42
3.19	Paramètres de regelature PI	43
3.20	Performances d'un système de commande	43
3.21	Performances d'un système de commande	43

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Mais dans les pays industrialisés, dès le XIX^{ème} siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses.

Des récentes estimations ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus ne sont toujours pas raccordé aux grands réseaux d'électricité (ce qui représente environ 44% de la population mondiale), pour la plus part située dans les pays du tiers monde dont l'Algérie, ou plus de 50% vivent encore sans électricité, 95% d'entre eux vivent dans la partie sud algérienne du fait des plus faibles revenus, de la présence des régions rudes et d'une faible densité de population.

Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

L'utilisation de source d'énergie renouvelable induit le concept de stockage d'électricité en raison de la disponibilité intermittente de telles ressources. L'utilisation du stockage d'électricité est très diversifiée : les applications stationnaires connectée ou non au réseau. En particulier, les sites géographiquement isolés et non raccordés au réseau intégrant une source renouvelable.

Le rôle d'un système photovoltaïque de production d'électricité sans interruption dans

les régions isolées n'est pas seulement d'apporter « une puissance énergétique », mais un outil de développement social et économique des zones rurales. Le nombre de kilowattheures produit peut apparaître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais ces quelques dizaines ou centaines de kilowattheures peuvent ranimer tout l'espoir d'un village ou d'une communauté.

Le générateur d'électricité d'origine photovoltaïque avec un système de stockage est assuré par des batteries au plomb pour cela le dimensionnement de stockage optimal basé sur la partie de modélisation des composants constituant ce système et la charge de l'utilisation.

L'intérêt de ce travail est la commande d'un système hybride qui contient un panneau solaire et une batterie .

Notre mémoire est structurée en trois chapitres, en plus une introduction générale et conclusion générale.

Dans le premier chapitre nous présenterons des généralités des panneaux solaire et leur modélisation.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des batteries aux Plomb.

Le dernier chapitre sera consacré pour la simulation et la commande du système hybride (panneau solaire avec batterie).

Pour clôturer ce manuscrit, une conclusion générale de ce travail sont données.

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS ET MODÉLISATION DES PANNEAUX

SOLAIRES

1.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation d'une partie du rayonnement solaire en électricité, la conversion de cette énergie peut se faire grâce aux cellules photovoltaïques. Cela est basé sur un phénomène appelé effet photovoltaïque. Dans ce chapitre nous exposons l'énergie solaire, le phénomène effet photovoltaïque et le principe de fonctionnement des cellules solaire ainsi que leurs caractéristiques principales . et consacré à la modélisation d'un système photovoltaïque. Nous présenterons les différents modèles mathématiques des sous-systèmes du système étudié [LAC06].

1.2 Rayonnement solaire

Le solaire émet en permanence dans toutes les directions de l'espace. Des rayonnements électromagnétiques composée de grains de lumière appelés photons, propagent à la vitesse de la lumière, et compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.22 micro m à 10 micro m. [Zem18] figure (I-1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9% dans la bande des ultraviolets (<0.4 micro m).

- 47% dans la bande visible (0.4 a 0.8 micro m).
- 44% dans la bande des infrarouges (>0.8 micro m).[Bou07]

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1.37 kilowatt au mètre carré (kW/m²), à plus ou moins 3%, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1.2kW/m². La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus.[Zem18]

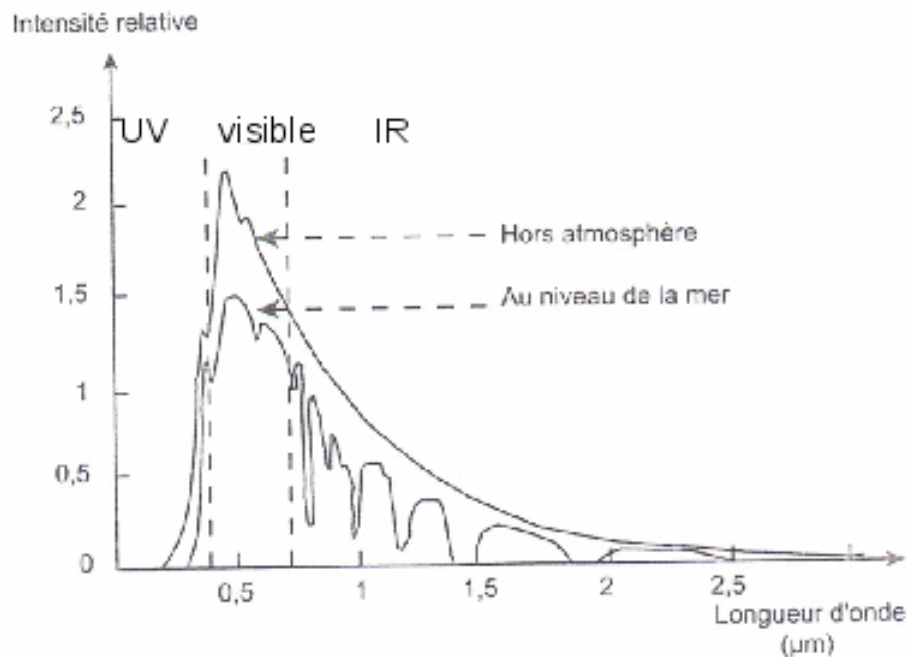


Fig 1.1: Analyse spectrale du rayonnement solaire.

1.3 Cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques (PV) sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », qui a été découvert par E. Becquerel en 1839 . Elles sont réalisées à

l'aide de matériaux semi-conducteurs à base de silicium(Si), de sulfure de cadmium (Cds), de tellure de cadmium (CdTe), etc . La cellule PV est composée de deux couches minces dopées différemment : une couche dopée de type P et l'autre dopée de type N voir la figure (1-2) . Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons et des trous. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. La tension ainsi générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule [Zem18].

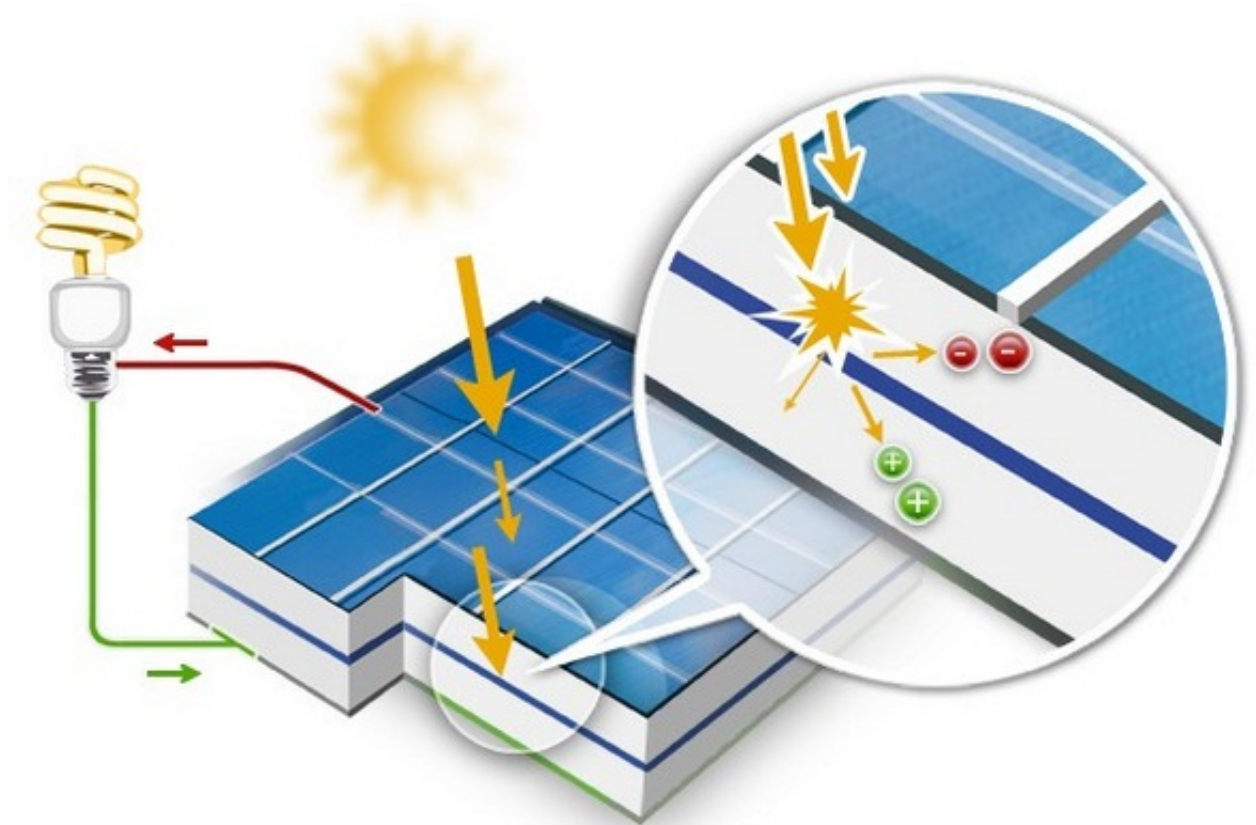


Fig 1.2: Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule

1.4 Module photovoltaïque

Les générateurs photovoltaïques ou les modules actuellement fabriqués délivrent des puissances variant entre plusieurs watts-crête et quelques dizaines de watts-crête (1m2

de cellules délivre environ 100W) [Bro04]. Donc la puissance disponible à la sortie d'une cellule PV est très faible. Pour obtenir des puissances électriques en adéquation avec les charges usuelles, il est nécessaire d'associer plusieurs cellules entre elles sous forme d'un module (figure (1.3)). [Bro04]



Fig 1.3: Module photovoltaïque

1.5 Panneaux solaires (générateur PV)

Le module solaire est à l'origine des systèmes solaires. Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de cellules en série et en parallèle, protégées de l'humidité par un capsulage de verre et de plastique. L'ensemble est ensuite muni d'un cadre et d'une boîte de jonction électrique. Les modules captent l'énergie solaire sous forme de lumière (ou d'ensoleillement) et la convertissent en énergie électrique à courant continu (C.C). Plus ils captent la lumière du soleil, plus ils produisent d'électricité. Les modules solaires sont le cœur du système ; ce sont des générateurs d'énergie. Ils peuvent également être connectés en série et en parallèle (champs photovoltaïque) afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. Les utilisations communes des générateurs photovoltaïques sont classiquement subdivisées en courant continu (12, 24 ou 48 Volts DC) et en courant

alternatif produit par un convertisseur (230 Volts AC monophasé ou 380 Volts AC triphasé) [Mao05].

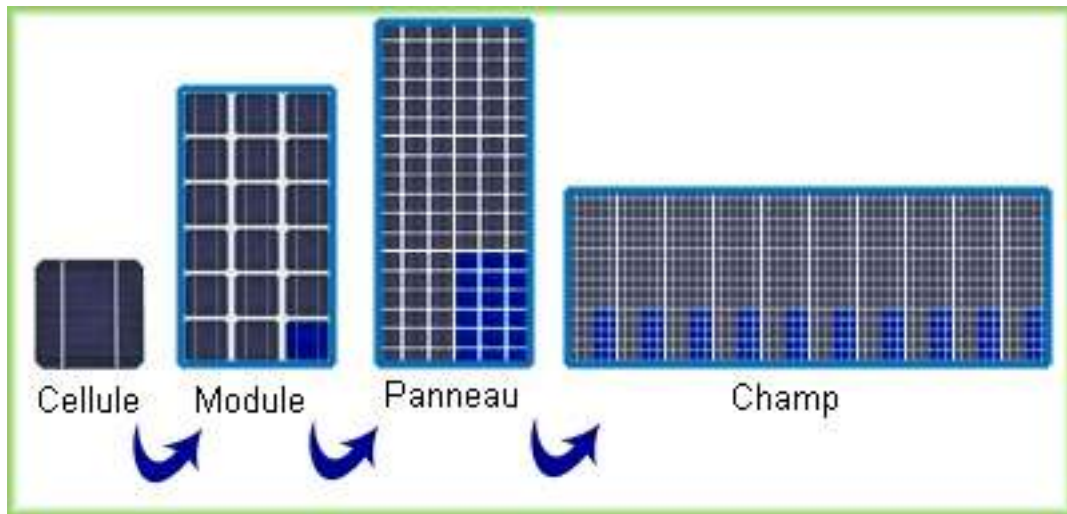


Fig 1.4: Cellule, module, panneau et champ photovoltaïque

1.6 Zones de fonctionnement du module solaire

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairage et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (1.5) représente trois zones essentielles :

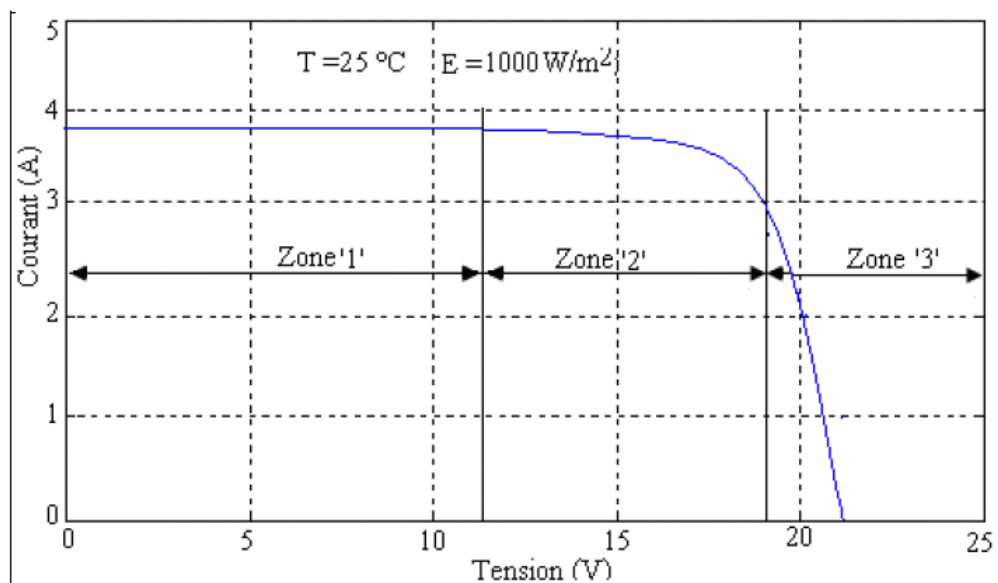


Fig 1.5: Zones de fonctionnement du module solaire

- La zone (1) : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- La zone (2) : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- La zone (3): qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension [BEN12].

1.7 Système photovoltaïque

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT comme le montre la figure (1.6). Un système photovoltaïque se compose de quatre blocs, le premier bloc représente la source d'énergie (panneau photovoltaïque) dont le rôle est de convertir l'éclairement en courant continu, le second bloc est un convertisseur statique continu-continu qui permet de faire une adaptation d'impédance de sorte que le panneau délivre le maximum d'énergie, le troisième bloc représente le système de contrôle MPPT basé sur un algorithme qui permet d'agir sur le rapport cyclique pour extraire en permanence la puissance maximale. Le quatrième bloc représente la charge.

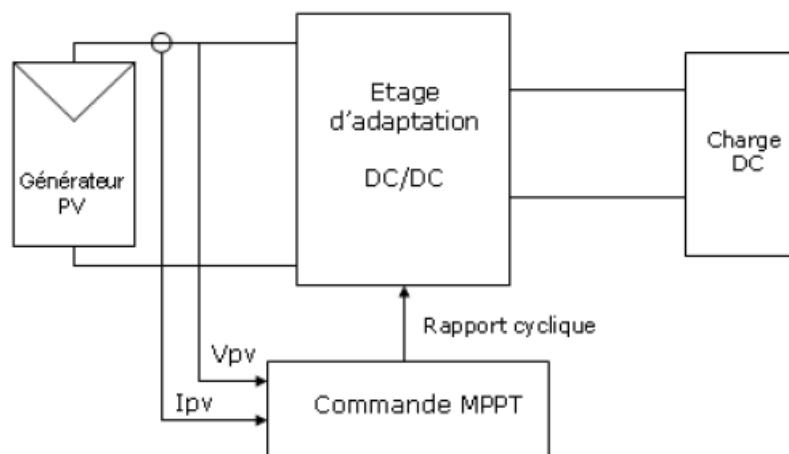


Fig 1.6: Schéma de conversion photovoltaïque avec convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT sur charge DC

1.8 Modélisation du champ photovoltaïque

1.8.1 Modélisation d'une cellule solaire

- **Cas réel** La figure suivante (figure 1-7) représente le modèle électrique d'une cellule solaire qui consiste en une source de courant idéale, branchée avec une diode et une résistance série R_s . la diode $D1$ décrit les propriétés de semi conducteur de la cellule . Le modèle à une diode (empirique) est actuellement le plus utilisé en raison de sa simplicité. Il permet d'exprimer l'intensité d'un module PV en fonction de la tension à ses bornes et des conditions climatiques (ensoleillement et température ambiante) [Ben98].

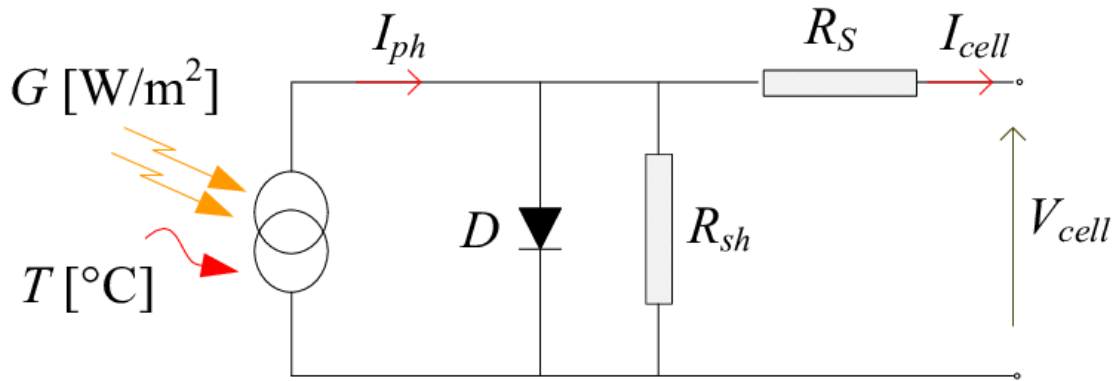


Fig 1.7: Schéma électrique équivalent d'une cellule PV

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation [Muk99]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp^{C_1 \cdot (V + R_s \cdot I)} - 1 - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \right) \quad (1.1)$$

Avec :

$$C_1 = \frac{q}{A \cdot K \cdot T_c} \quad (1.2)$$

- A : le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$).
- I_{ph} : photocourant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).
- I_0 : courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la jonction p - n de la cellule.
- R_{sh} : résistances shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

- R_S : résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi conducteur, ainsi les résistances ohmique et de contact au niveau des connexions des cellules.
- q : la charge de l'électron ($1.6 \times 10^{-19} C$).
- K : constant de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-19} J/K$).
- T_c : température de jonction (K).

1.9 Caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(v)$ d'un générateur photovoltaïque

La Figure 1.8 représente la courbe $I = f(V)$ et $P=f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de $G = 1000W/m^2$ et une température de $25^\circ C$.

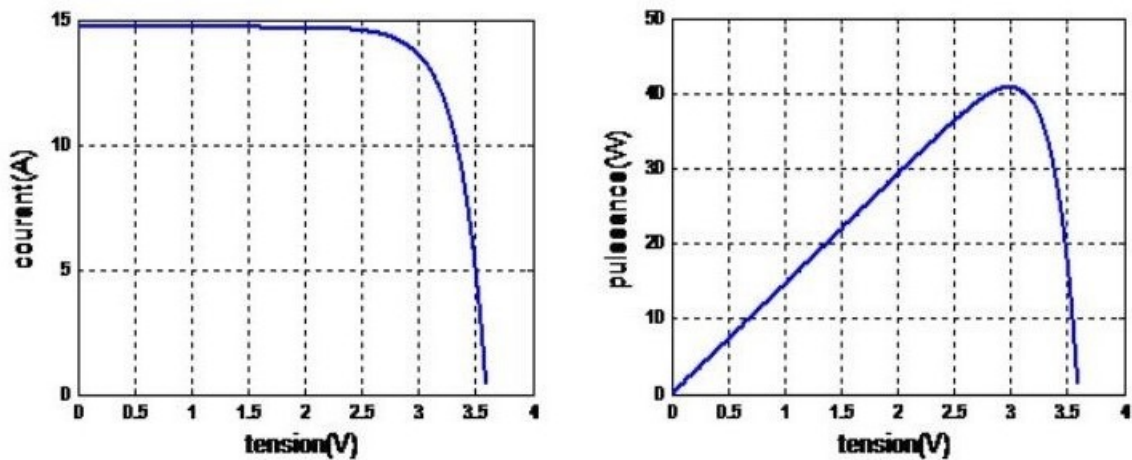


Fig 1.8: Caractéristique I-V et P-V d'un GPV.

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un module photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Par conséquent, le module photovoltaïque est considéré comme une source de puissance avec un point P_m . Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P où la puissance se trouve être maximale. Il est donc intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée.

Il est important de noter que certains régulateurs solaires réalisent une adaptation d'impédance afin qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point P_m [Bou07].

1.10 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

1.10.1 Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La Figure 1.9 montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement ; car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique

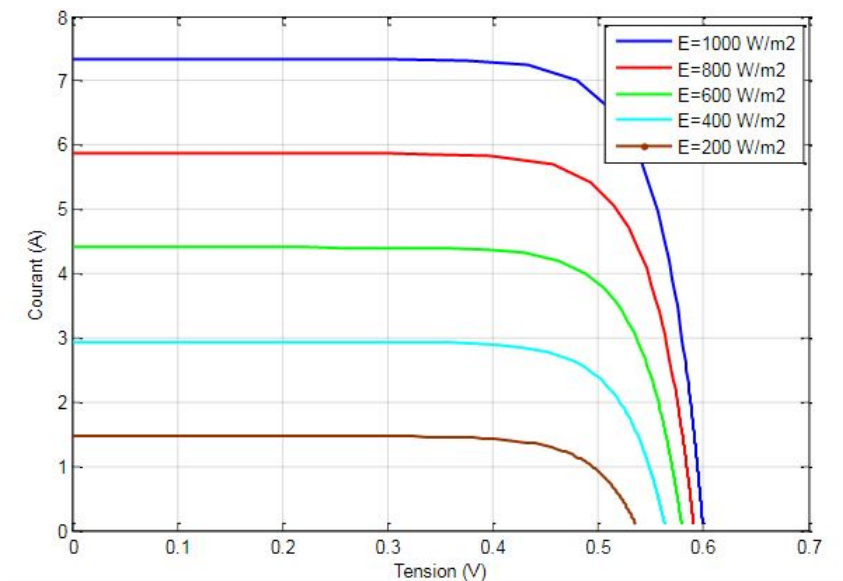


Fig 1.9: Caractéristique courant -tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

La Figure 1.10 illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$.

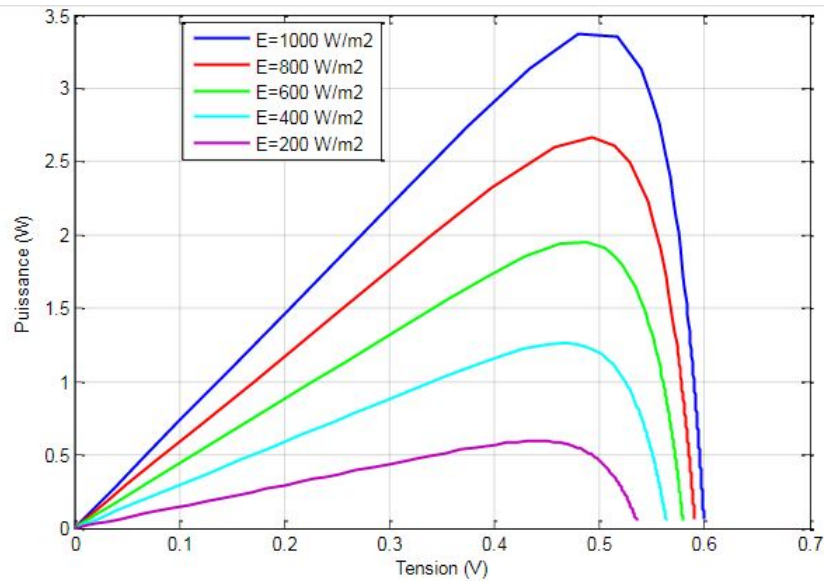


Fig 1.10: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

1.10.2 Influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La Figure 1.11 montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

La Figure 1.12 illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$.

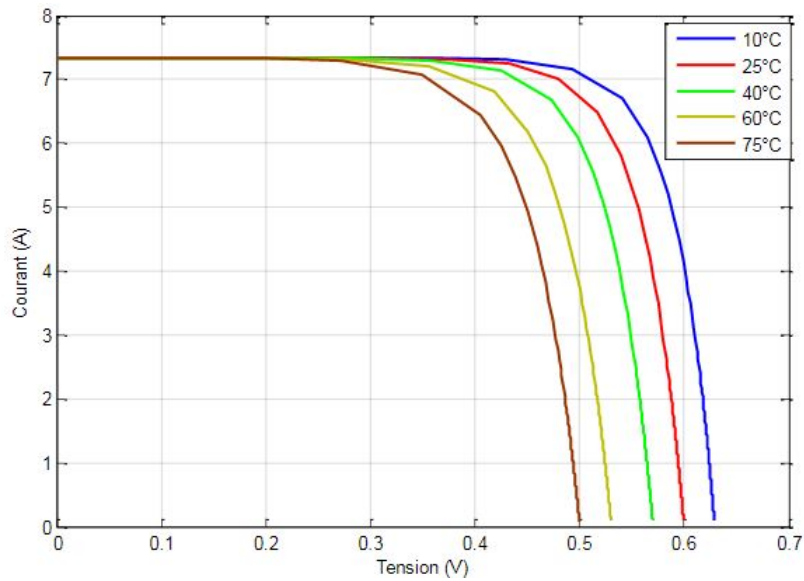


Fig 1.11: Caractéristique courant - tension d'une cellule en fonction de la température

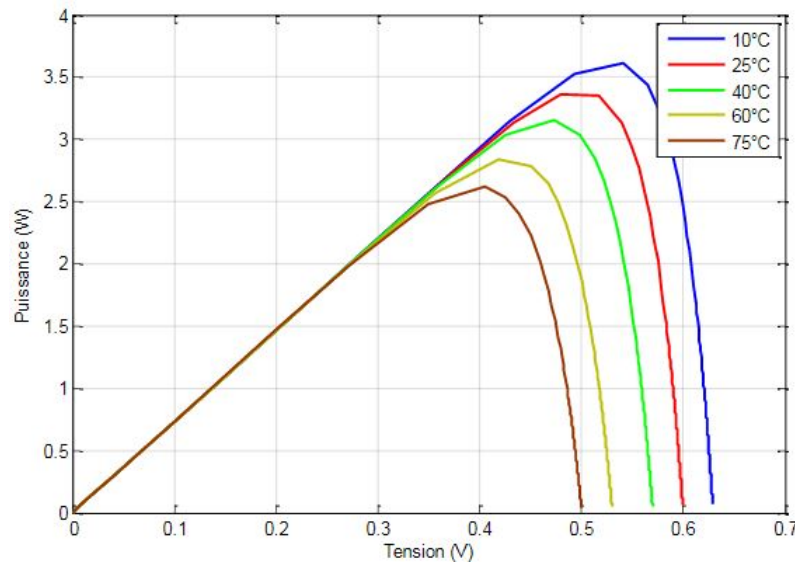


Fig 1.12: Caractéristique puissance - tension d'une cellule en fonction de la température.

1.11 Convertisseur Boost en cascade (cascaded boost converter)

De la même façon que les autres topologies et avec le même cahier de charge, on peut grâce aux différentes équations déduites dans l'étude théorique de dimensionner le convertisseur boost en cascade représenté dans la figure 1.13.

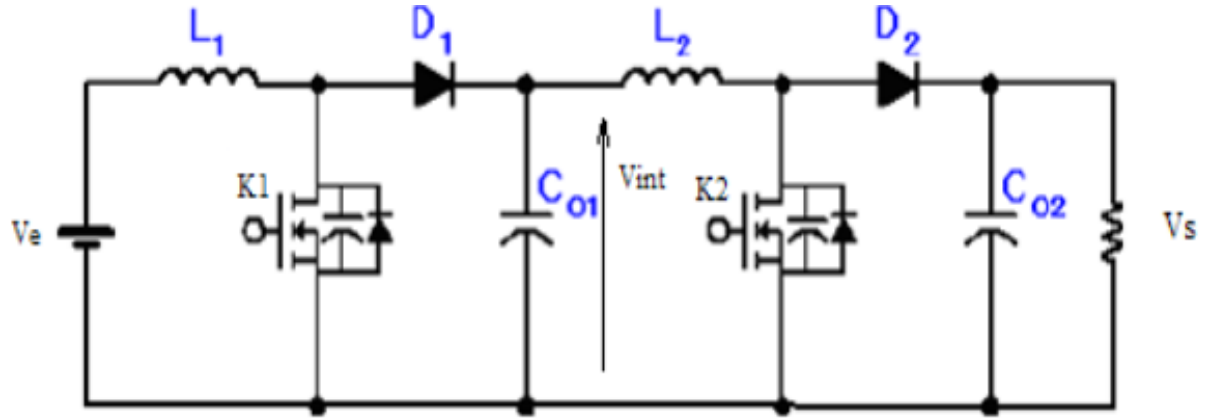


Fig 1.13: Le convertisseur boost en cascade

De la relation qui relie la tension de sortie à celle d'entrée, on trouve:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 - \alpha_1} \times \frac{1}{1 - \alpha_2} \quad (1.3)$$

1.12 Association PV-hacheur

1.12.1 Modèle mathématique équivalent

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{PPM} et I_{PPM}). La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT. Il peut être représenté par le schéma de la Figure (1.14).

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP [HBG⁺19].

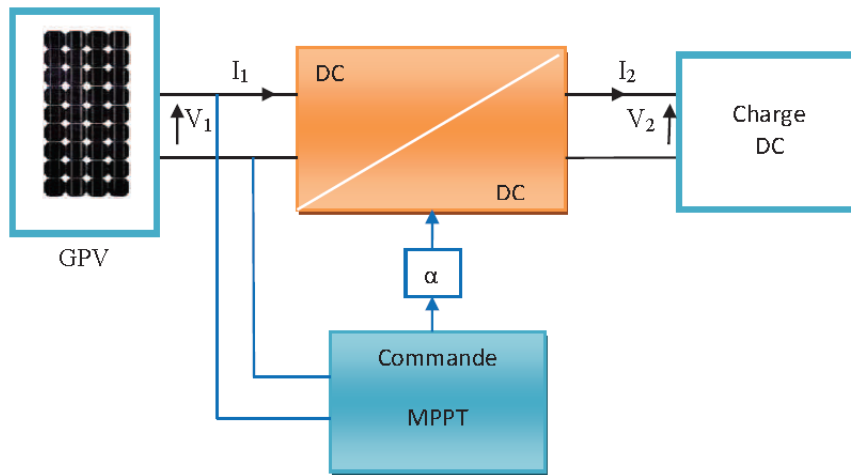


Fig 1.14: Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.

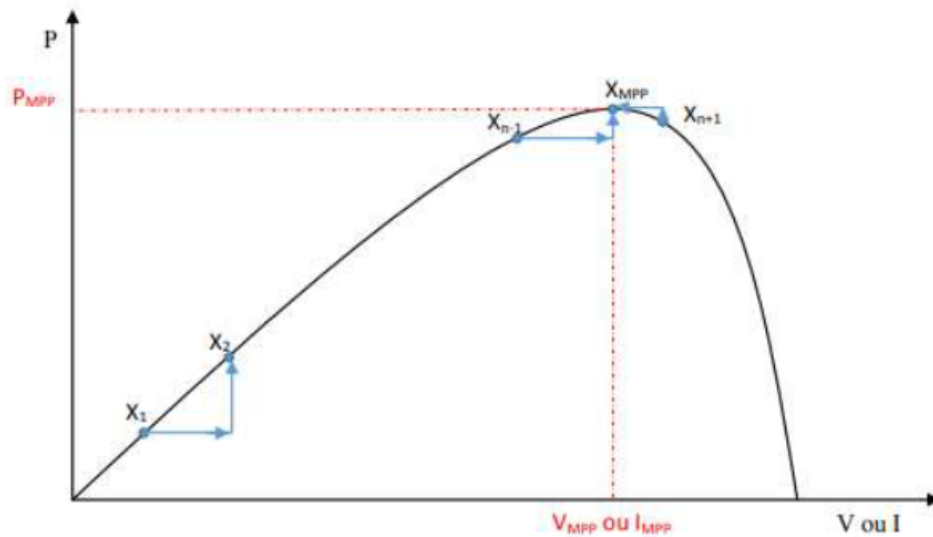


Fig 1.15: Principe de la commande MPPT.

1.12.2 Différents Techniques de la commande MPPT

La définition mathématique de l'optimum d'une fonction est le point par lequel sa dérivée par rapport à une variable donnée s'annule. Tous les algorithmes de calcul du point de puissance maximum consultés se basent sur ce principe. Dans la littérature, nous pouvons trouver différents types d'algorithmes effectuant la recherche du PPM :

- Algorithme perturbation et observation (P&O) .
- Algorithme incrémental de la conductance (INC) .
- la logique floue .

- Les algorithmes à base de réseau de neurones .
- les algorithmes d'identification en temps réel du MPP .

Dans notre travail on s'intéresse par la méthode Perturb & Observ (P&O), nous rappelons brièvement le principe de cette méthode.

- A - Algorithme perturbation et observation (P&O) :

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité de réalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension V_{ref} , ou du courant I_{ref} , et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ($P=VI$) . Cependant, la variable idéale qui caractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation du rayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV . Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur sur la tension V_{PV} , ce qui engendre une variation de la puissance . Figure 1.18 montre qu'on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , 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 $P(V)$, 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 [Bou07].

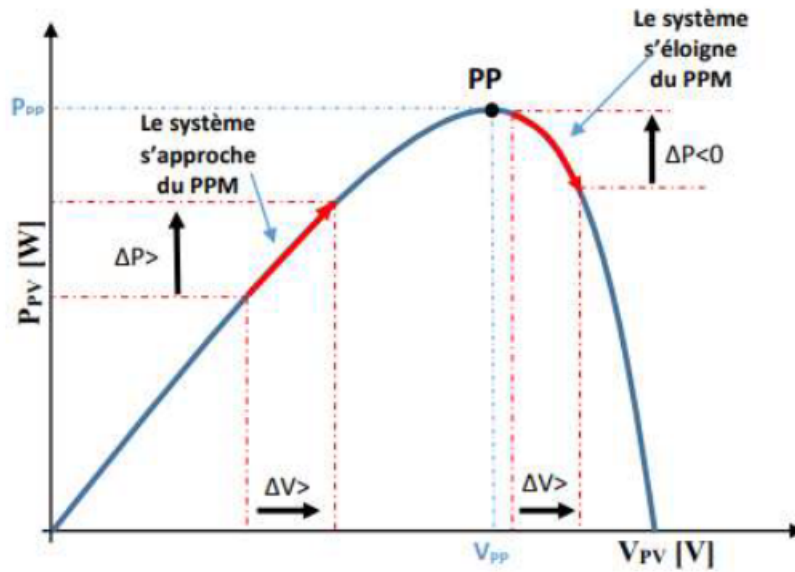


Fig 1.16: Recherche du PPM par la méthode (P&O).

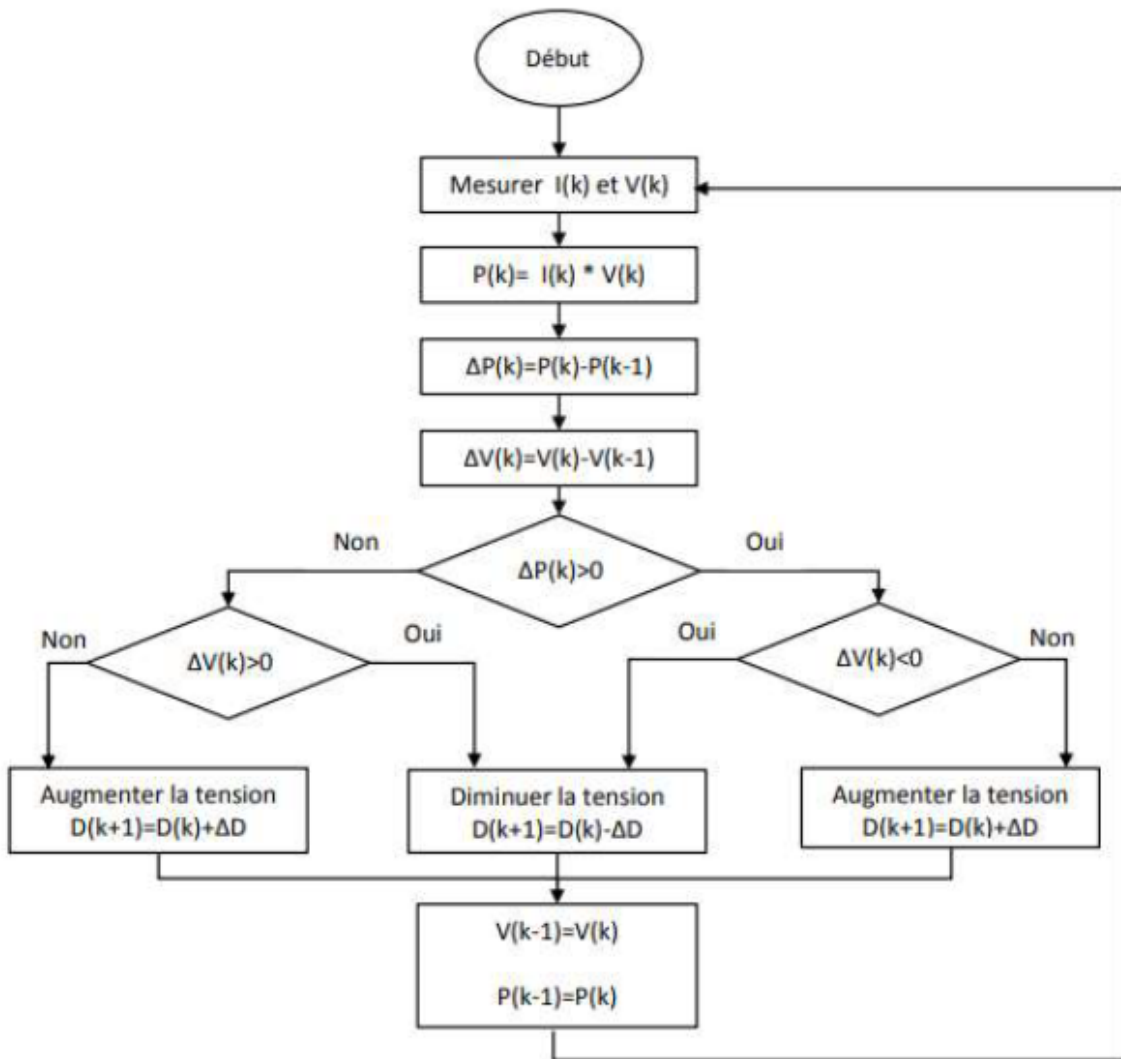


Fig 1.17: l'algorithme de (P&O) classique.

CHAPITRE 2

MODÉLISATION DES BATTERIES PLOMB-ACIDE

2.1 Introduction

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. Vu l'importance du stockage électrochimique de l'énergie solaire, une étude théorique des différents types de batteries est menée, en particulier la batterie au plomb qui est la moins coûteuse comparativement aux autres batteries .

2.2 Définition d'une batterie plomb-acide

Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont constitués de plaques positives et négatives, assemblées en alternance.

Ces plaques sont recouvertes de matières actives-bioxyde de plomb pour la positive et plomb spongieux pour la négative. Ces électrodes plongent dans une solution d'acide sulfurique, la quantité de matières formées donne une capacité plus ou moins grande.

Le nombre de plaques de chaque polarité, leur surface, ainsi que la quantité d'acide disponible dans l'électrolyte (composé chimique liquide ou gélifié dont le rôle est de fournir les ions sulfates nécessaires aux réactions d'oxydoréduction produites lors des recharges et décharges d'une batterie) sont des paramètres qui définissent la capacité de l'élément



Fig 2.1: Batterie au Plomb-Acide

(aptitude pour une batterie chargée de restituer un certain nombre d'ampères heure, en régime de courant de décharge constant, sous une tension d'arrêt et une température définies). [Ach99]

2.3 Batterie acide au plomb

Les batteries acides sont des dispositifs de stockage d'énergie communs pour les systèmes PV. Les batteries au plomb peuvent être de 6V ou 12V dans un conteneur en plastique résistant du type à cellule noyée ou du scellé / gel. Ces batteries ont une forme immobilisée d'électrolyte. Les batteries au plomb-acide sans entretien et scellées sont également appelées batteries au plomb-acide à régulation de soupape ou batteries au plomb-acide captives à électrolyte. Les batteries scellées sont de deux types, à savoir de type électrolyte gélifié et de type mat de verre absorbé. Les batteries à électrolyte immobilisées auront moins d'électrolyte comparés aux batteries à électrolyte noyées. Au cours du processus de charge, les gaz hydrogène et oxygène sont produit à partir de l'eau en raison de réactions chimiques négatives et des plaques positives. Ces gaz se recombinent pour former de l'eau, ainsi, le besoin d'ajout d'eau est éliminé. [KAW19]

2.4 Système de stockage

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

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

2.5 Caractéristiques principales d'une batterie

2.5.1 Capacité en Ampère heure

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que :

- Rapports de charge et décharge : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.
- Température : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie .

- La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) .
- Profondeur de décharge : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

2.5.2 Profondeur de décharge

Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

2.5.3 Tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

2.5.4 Le rendement

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

2.5.5 Taux d'autodécharge

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

2.6 Modélisation d'une batterie au plomb-acide

Le model dynamique et statique de notre batterie est basé sur une amélioration du modèle proposé par l'étude de t. copetti et Al qui a été développé dans le centre ciemat en

Espagne. Ce modèle est basé sur l'approche électrique montré dans la figure 2.2, talque la batterie est représentée par une source de tension « V_{oc} », représentant son comportement en circuit ouvert formée par l'énergie électrochimique, et une chute de tension due à sa résistance interne. On note que la source de tension en circuit ouvert varie en fonction de l'état de charge de la batterie $V_{oc}(EDC)$, la tension aux bornes de la batterie V_{bat} est exprimée par l'équation 2.1 .

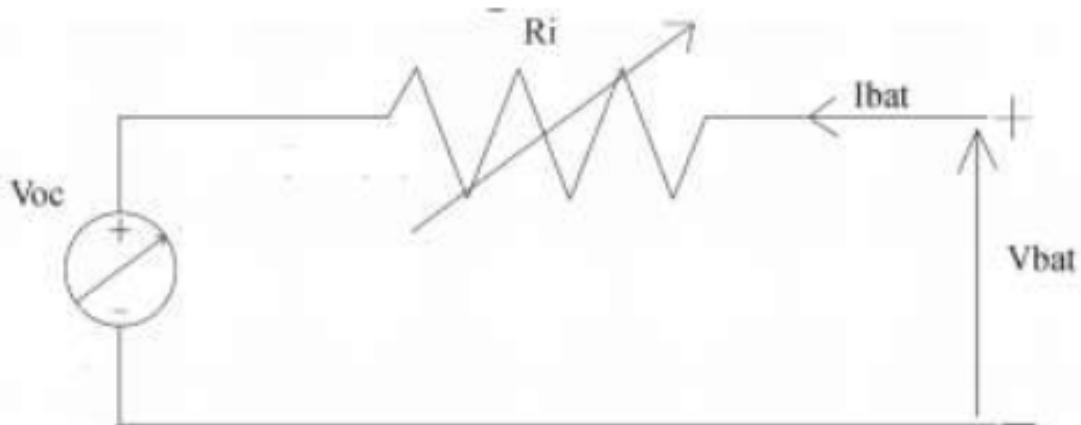


Fig 2.2: Circuit équivalent de base pour la batterie

$$V_{bat} = R_i \cdot I_{bat} + V_{oc} \quad (2.1)$$

2.7 Composition d'une batterie solaire Plomb- Acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de Plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de Plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte .[BEN12]

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

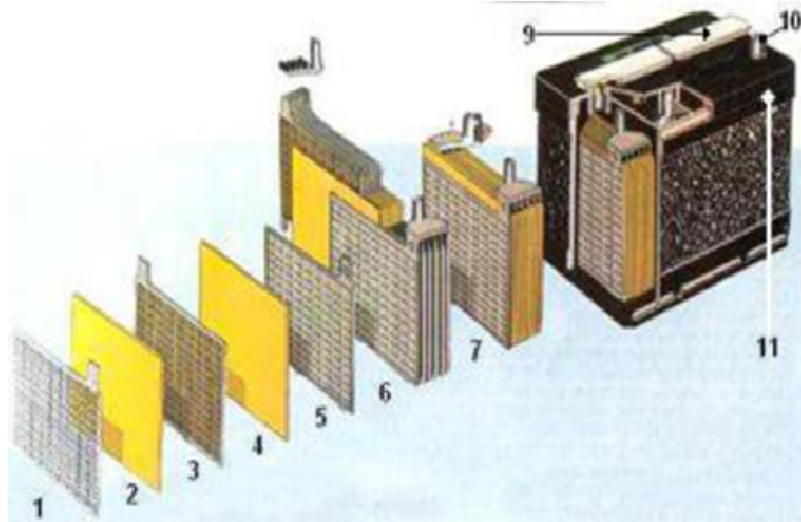


Fig 2.3: Construction d'une batterie monobloc

Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la Batterie [Sau11]. L'alliage en question est en plomb avec 2-6% d'Antimoine. Moins la contenance en Antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge.

Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille. Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation.

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

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

Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément". Un élément dans un container plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie. Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus

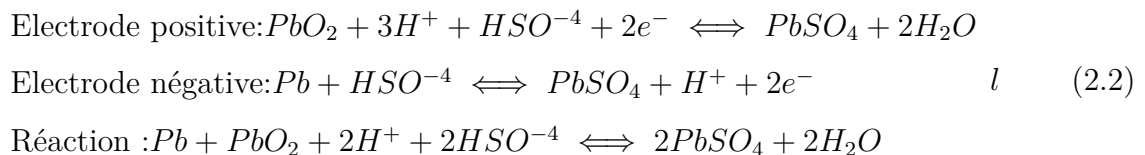
grande quantité d'ampères heure que la batterie peut fournir. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension qui varie entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en conceptions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85%. (pour plomb- Acide)

Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques. Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6. Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de bornes externes dans la partie supérieure de la batterie.

Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte. Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnés de manière à avoir une chute de tension très faible quel que soit le régime .

2.8 Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons. L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge, on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale, voir figure 2.4 [Moh08]:



2.8.1 Charge de la batterie

Pendant la charge, les ions sulfates, du sulfate de Plomb, sont progressivement libérés sous forme d'ions HSO-4 dans l'électrolyte. Il en résulte une augmentation de la concen-

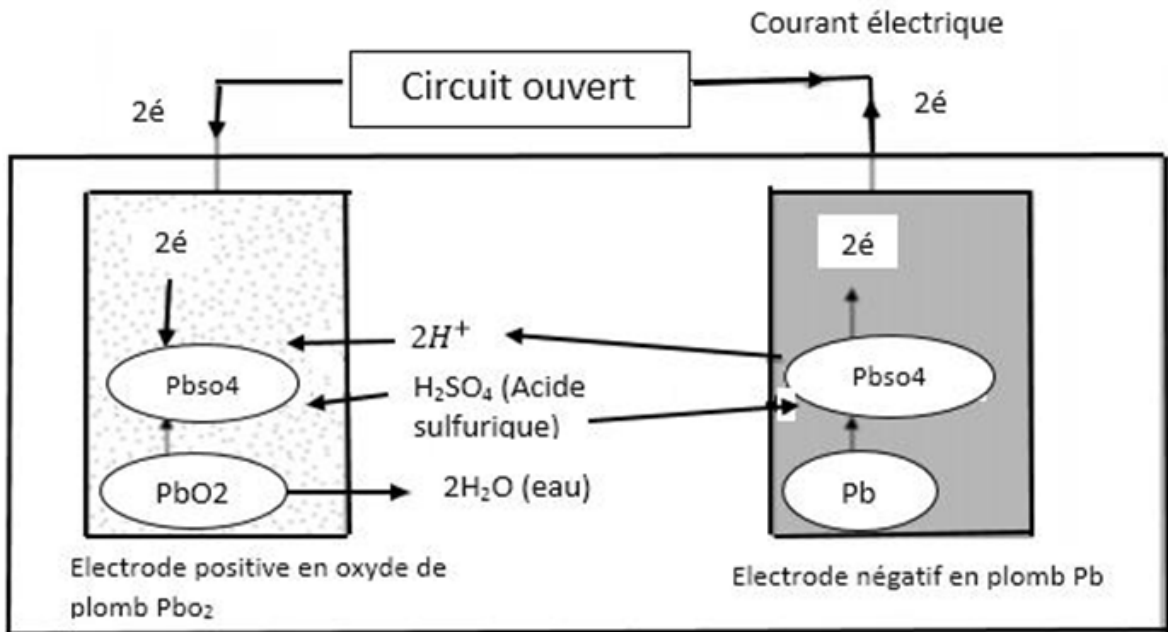


Fig 2.4: Principe de fonctionnement de l'accumulateur au Plomb

tration d'acide sulfurique dans l'électrolyte. La concentration d'acide croît rapidement à proximité de l'interface réactionnelle. Ce phénomène est amplifié, côté positif, par une consommation d'eau. En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension, Les plaques complètement polarisées ne retiennent plus de courant, car la densité de matériel actif baisse. Ce courant tend alors à électrolyser l'eau, produisant de l'oxygène et de l'hydrogène . Ce phénomène est appelé gazéification . [MTM12]

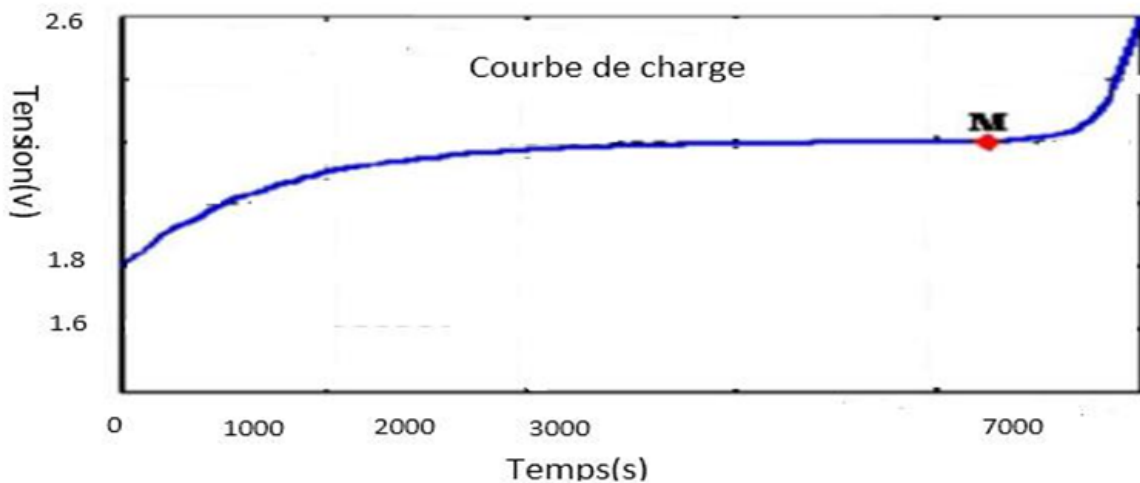


Fig 2.5: Évolution de la tension durant la charge d'un accumulateur au plomb

2.8.2 Décharge de la batterie

La capacité dépend du régime auquel est effectuée la décharge. Plus le temps de la décharge n'est court, donc le régime élevé, plus la capacité est faible. La fin de décharge est déterminée par une tension d'arrêt fixée de la façon suivante :

Sur la courbe de tension en fonction du temps lors d'une décharge, une chute brutale de la tension vers la fin de décharge est observée. La tension d'arrêt est une valeur choisie avant cette chute. Cette valeur dépend du régime de décharge. [Moh08]

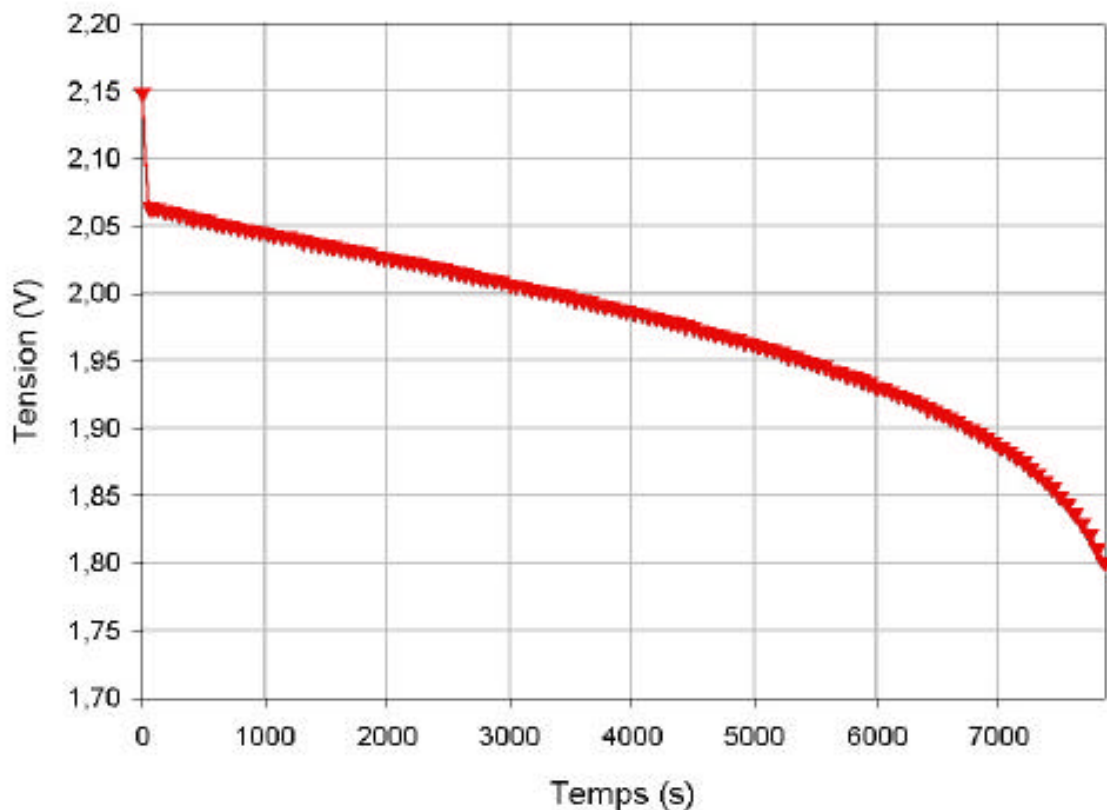


Fig 2.6: Évolution de la tension durant la décharge d'un accumulateur au plomb

2.9 Aspects théoriques de la modélisation

Le choix d'un modèle mathématique qui simule le comportement de la batterie est déterminé par le type des problèmes à étudier. Ce modèle peut être considéré simplement pour effectuer une analyse des divers flux d'énergie se faisant à l'intérieur et à l'extérieur du système de batterie. Il permet aussi de résoudre le choix de la taille du système à installer. L'étude de la modélisation du système de stockage électrique est considérée par plusieurs auteurs très complexes.

En effet, la littérature offre de nombreuses solutions, généralement des équations empiriques, et il est difficile souvent de les appliquer. La plupart des modèles proposés utilisent des grandeurs et des paramètres, dont les valeurs doivent être ajustées, particulièrement à chaque type de batterie. Ceci exige nécessairement des expériences coûteuses avant de concevoir un système, gênant ainsi l'utilisation répandue de ces modèles. Les conditions de fonctionnement produites par les systèmes photovoltaïques sont liées à l'état du système de stockage. A notre avis, un bon équilibre entre la précision et la simplicité est réalisé par l'utilisation d'un modèle généralement basé sur l'observation du phénomène physico-chimique de la charge et de la décharge du système de stockage.

Le modèle mathématique donné par l'équation (2.5), décrivant au mieux les phénomènes physiques de la charge et de la décharge est donné ci-après [YMY07]:

$$V = n.E \pm n.R.I \quad (2.3)$$

2.10 Modélisation de stockage

Vue la grande diversité de type d'éléments de batterie ainsi le nombre très varié de paramètres qui interviennent, une représentation très empirique du comportement de la batterie peut être établie. Le système de stockage utilisé dans une installation photovoltaïque est une batterie d'accumulateur au plomb. Jusqu'à maintenant, il existe plusieurs modèles de la charge de batterie qui ont été proposés.

Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle qui permet de calculer la capacité de stockage en fonction de la puissance produite par le générateur photovoltaïque et la charge demandée.

2.10.1 Modèle de la charge de la batterie

Quand la puissance de générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, la capacité des batteries au temps t peut être décrite par :

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1).(1 - \sigma) + (P_{pv}(t) - P_L(t)/\eta_{inv}).\eta_{bat} \quad (2.4)$$

$C_{bat}(t)$ et C_{bat} sont les quantités de la charge et la décharge des batteries au temps (t) et ($t-1$) respectivement, σ est le taux horaire de la charge spontanée, P_{pv} est la puissance du

générateur PV, P_L est la charge demandée au temps t , η_{inv} et η_{bat} sont les rendements de l'onduleur et de la batterie successivement. Pendant la charge de la batterie, le rendement est 0.65'0.85 selon le chargeant courant), par contre pendant le processus de décharge, le rendement de batterie a été mis égal à 1 . [BS96]

2.10.2 Modèle de la décharge de la batterie

Quand la demande de charge est plus grande que la puissance produite, la capacité des batteries au temps t peut être exprimée comme suite [BS96]:

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t - 1).(1 - \sigma) + (P_L(t)/\eta_{inv} - P_{pv}(t)) \quad (2.5)$$

A tout moment, la quantité de charge des batteries est sujette aux contraintes suivantes :

$$C_{batmin} \leq C_{bat}(t) \leq C_{batMax} \quad (2.6)$$

Ici, la capacité de la batterie maximale prend la valeur de la capacité nominale de

la batterie ($C_{batmin} = C_{batMax}$) et la capacité minimum est déterminée par la profondeur de la charge (DOD) [Chi94]:

$$C_{batmin} = DOD.C_{bat.N} \quad (2.7)$$

La valeur maximale de l'état de charge (SOC) est égale à 1, et le minimum est déterminé par le maximum de profondeur de décharge.

Selon les caractéristiques des fabricants, la durée de vie des batteries peut être prolongée au maximum si DOD prend les valeurs de 30-50% [BHHX03].

La capacité de stockage est une fonction de la charge demandée et de son autonomie. Elle peut être estimée par la relation suivante :

$$C_{bat} = \frac{E_L.N_a}{\eta_{bat}.Fdish.DOD} [Wh] \quad (2.8)$$

$$C_{bat}[Ah] = \frac{C_{bat}}{Vb} \quad (2.9)$$

Avec :

C_{bat} : La capacité de stockage de la batterie

N_a : Le nombre de jours d'autonomie

V_b : La tension du système

DOD : la profondeur de décharge

2.10.3 Tension de la batterie

Le modèle suivant, décrit la relation entre le voltage, courant et l'état de charge. Le schéma électrique de la batterie est représenté dans la figure 2.7 [CD92]. Pour n batteries

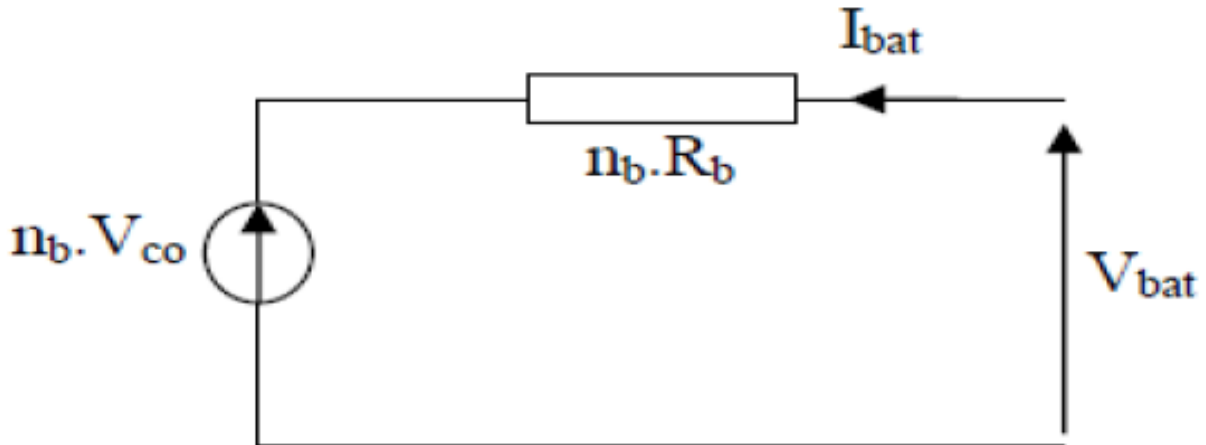


Fig 2.7: Schéma électrique de batterie.

en séries, nous pouvons écrire l'équation :

$$V_{bat}(t) = n_b \cdot V_{co}(t) + n_b \cdot I_b(t) \cdot R_{bat}(t) \quad (2.10)$$

Où V_{bat} est la tension de circuit ouvert au temps t , et R_{bat} est la résistance interne de batterie, la tension de circuit ouvert est exprimée comme un logarithme de la fonction de l'état de charge. Tel que :

$$V_{co}(t) = V_F + b \cdot \log SOC(t) \quad (2.11)$$

Où V_F est la force électromotrice ; b est un constant empirique. La variation de V_{co} En fonction de l'état de charge (SOC) est représentée par la figure suivante :

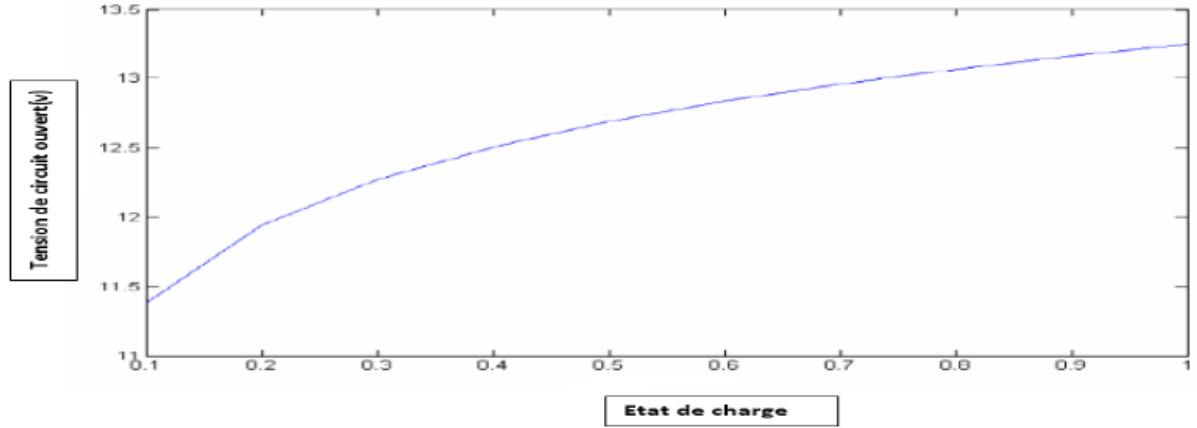


Fig 2.8: Variation de tension en mode de charge en fonction de l'état de charge.

La variation de la résistance interne d'une batterie, R_{bat} , est principalement dû à deux composants, à savoir, la résistance de l'électrode, R et la résistance de l'électrolyte :

$$R_{bat}(t) = R_{electrode} + R_{electrolyte} \quad (2.12)$$

La variation de $R_{electrode}$ et $R_{electrolyte}$ en fonction de l'état de charge SOC peut être exprimée par [CD92]:

$$R_{electrode} = r_1 + r_2 \cdot SOC(t) \quad (2.13)$$

$$R_{electrolyte} = [r_3 - r_4 \cdot SOC(t)]^{-1} \quad (2.14)$$

Où r_1, r_2, r_3 et r_4 sont des constantes empiriques [CD92] .

2.10.4 Courant de batterie

Quand la puissance du générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, le courant de charge des batteries au temps t peut être décrit par :

$$I_{bat} = \frac{P_{pv}(t)}{V_{bat}(t)} - \frac{E_L(t)/\eta_{inv}}{V_{bat}(t)} \quad (2.15)$$

Quand la puissance du generateur PV ne peut pas rencontrer la demande de la charge, le courant de décharge des batteries est :

$$I_{bat} = \frac{E_L(t)/\eta_{inv}}{V_{bat}(t)} - \frac{P_{pv}(t)}{V_{bat}(t)} \quad (2.16)$$

2.10.5 Rendement de la Batterie

Le rendement de la batterie se calcule par la relation suivante :

$$\eta_{bat} = \frac{P_{fourni}}{P_{incid}} \quad (2.17)$$

En pratique, le rendement est considéré constant égale à 85%, la tension nominale est de 2V et la capacité de l'ordre de 100A/h. donc la puissance fournie par une batterie peut s'écrire comme suit :

$$P_{fourni} = \eta_{bat} \cdot P_{incid} \quad (2.18)$$

avec :

P_{incid} : Puissance du générateur .

2.11 Conclusion

Ce type de modélisation permet d'accéder à certains paramètres de fonctionnement de la batterie comme l'état de charge, l'état de santé, le potentiel. Cependant, elle ne donne aucun renseignement sur l'état de la matière active et ne permet pas de bien comprendre les phénomènes physico-chimiques mis en jeu. Or la connaissance de ces phénomènes permet de mieux comprendre le fonctionnement de la batterie et d'interpréter les améliorations dues à certaines stratégies de charge ou de décharge. Une approche de compréhension est donc nécessaire.

CHAPITRE 3

SIMULATION DU SYSTÈME HYBRIDE (PV/BATTERIE)

3.1 Introduction

*D*ans ce chapitre, on va introduire une commande MPPT et un régulateur PI dédiés aux deux hacheurs boost montés en cascade et alimentés par un panneau solaire; où le panneau solaire est la source principale et une batterie insérée directement sur le bus continu, est une source secondaire.

3.2 Structure de la source hybride PV/Batterie

Le schéma globale de la source hybride Panneau solaire/Batterie est représenté sur la figure (3.1).

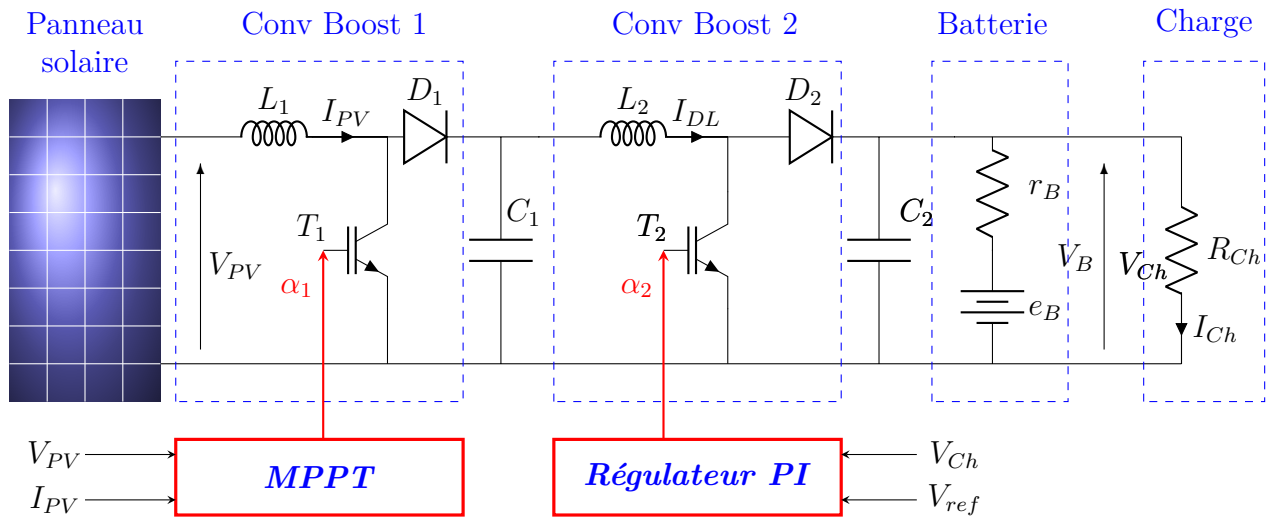


Fig 3.1: Structure de la source hybride Panneau solaire/Batterie

3.3 Caractéristique d'un panneau photovoltaïque

La figure (3.2) montre les caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'une cellule photovoltaïque dans les conditions standard de fonctionnement ($G = 1000 \text{ W/m}^2$).

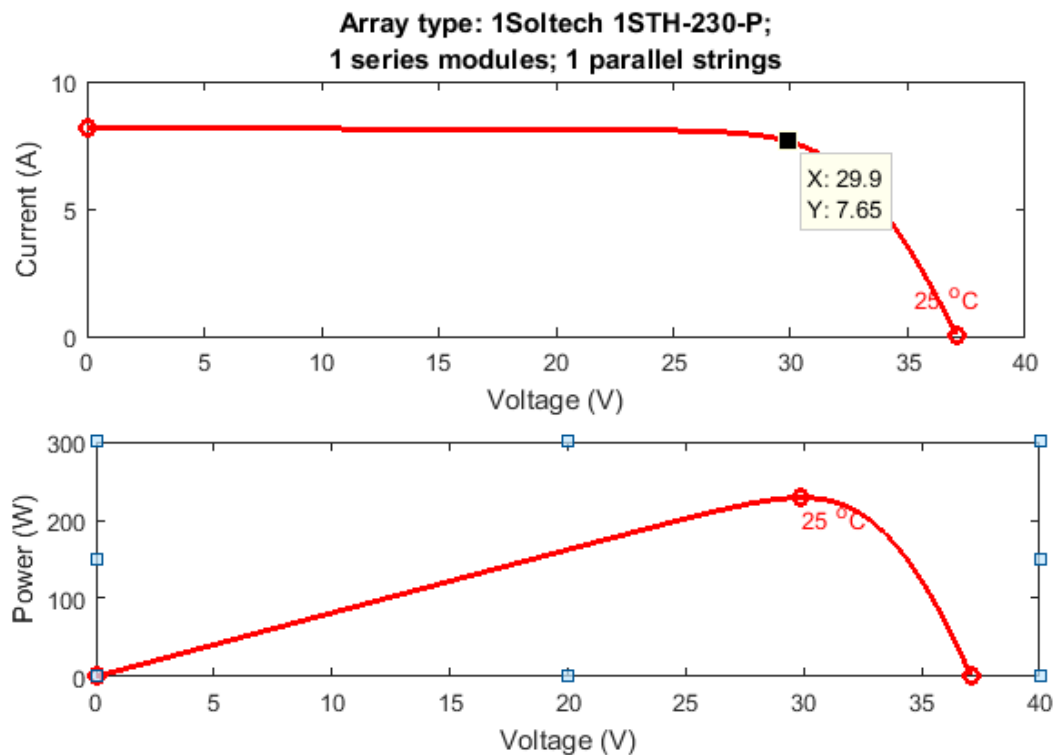


Fig 3.2: Caractéristique courant-tension et puissance-tension d'une cellule.

Sur la figure $I = f(V)$ on voit bien qu'à partir d'un certain seuil de la tension, le

courant a tendance à diminuer, tandis que la figure $P = f(V)$ met en évidence l'existence d'un point de fonctionnement optimal pour lequel la puissance est maximale.

3.4 Simulation du hacheur parallèle

Pour montrer le rôle des convertisseurs (BOOST) nous avons simulé ce dernier sous l'environnement Matlab-Simulink.

D'après l'étude des convertisseur dans le premier chapitre, le convertisseur Boost en cascade (cascaded boost converter) et en appliquant les relations que nous avons eu, nous obtenons les paramètres de l'hacheur boost.

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 - \alpha_1} \times \frac{1}{1 - \alpha_2} \quad (3.1)$$

Pour la tension d'entrée de $V_e = 29V$ et $V_s = 48V$

$$\frac{48}{29} = \frac{1}{1 - \alpha_1} \times \frac{1}{1 - \alpha_2} = 1.65 \quad (3.2)$$

Si on prend $\alpha_1 = 0.5$ pour qu'on puisse calculer α_2 , alors on déduit que $\alpha_2 = 0.69$

De la relation qui donne les contraintes sur l'interrupteur commandé et la diode du 1^{er} étage, on peut trouver:

$$I_{k1.max} = I_{d1.max} = I_1 + 0.5 \times \frac{\alpha_1 \times V_e}{L_1 \times F}$$

Si on admet que avec $\Delta I = I_{d1.max} - I_1 = I_{k1.max} - I_1 = 1 A$ et que $F = 10 kHz$, on trouve que :

$$L_1 = 72.52 \times 10^{-3} H$$

De la relation de l'ondulation de la tension d'entrée :

$$\Delta V_{int} = \frac{\alpha_1 \times I_e}{C_1 \times F}$$

Avec $\Delta V_{int} = 0.1V$, et si on veut avoir un rendement typique $\eta = V_e \times I_1 / V_s \times I_2$ de 80%, avec $I_2 = I_s$ se qui nous donne:

$$C_1 = 382.5 \times 10^{-6} F$$

De la même façon et à partir de la relation:

$$I_{k2.max} = I_{d2.max} = I_2 + 0.5 \times \frac{\alpha_2 \times V_e}{(1 - \alpha_2) \times L_2 \times f}$$

On trouve : $L_2 = 5.34 \times 10^{-3} H$

Aussi on peut calculer C_2 à partir de :

$$\Delta V_{int} = \frac{\alpha_2 \times (1 - \alpha_2)}{C_2 \times f}$$

Ce qui nous donne :

$$C_2 = 127.2 \times 10^{-6} \text{ F}$$

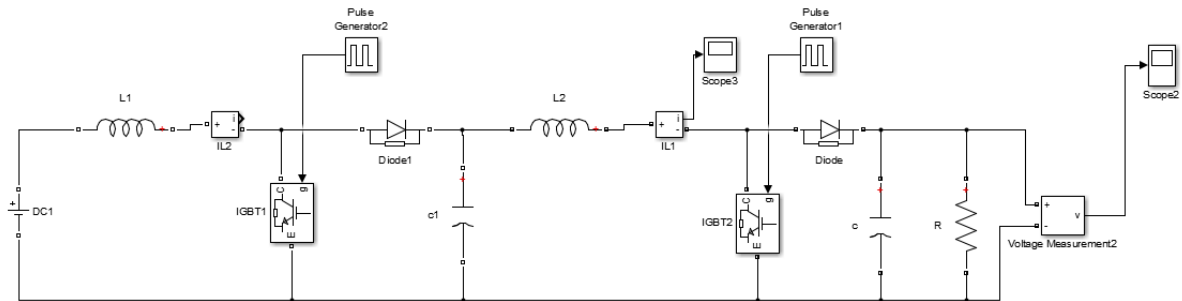


Fig 3.3: Schéma bloc de simulation des convertisseurs BOOST

3.5 Simulation d'un panneau photovoltaïque avec MPPT et convertisseur DC-DC

La figure (3.4) illustre les blocs de SIMULINK qui schématise le convertisseur boost du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT.

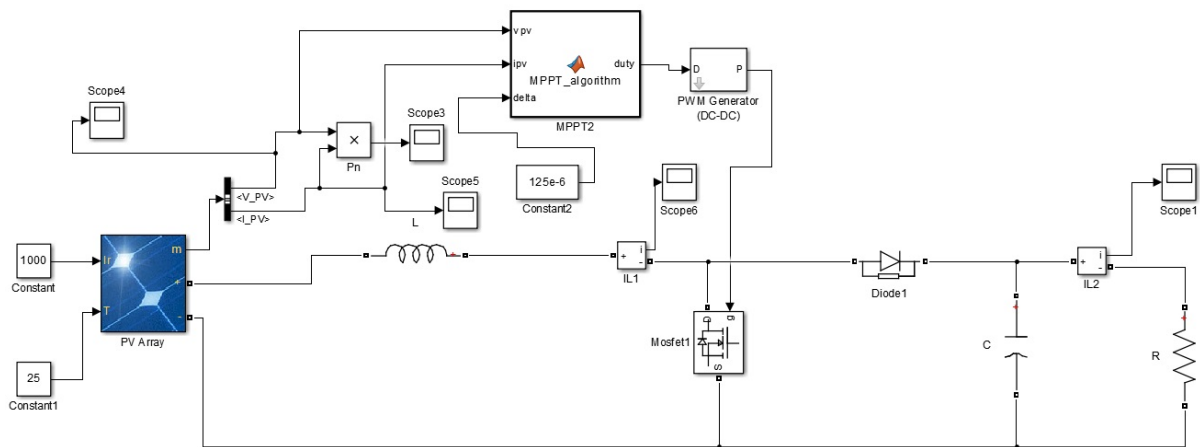


Fig 3.4: Schéma bloc d'un photovoltaïque muni de la MPPT.

3.6 Influence de l'éclairement

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT «Perturbation et Observation» qui alimente les deux boost en cascade, représentés par les

figures suivantes. Ces figures représentent la tension et le courant générés par le générateur photovoltaïque. Ainsi, la tension et le courant à la sortie du système photovoltaïque dans les cas ($G = 1000 \text{ W/m}^2$; $R = 11 \Omega$) et ($G = 800 \text{ W/m}^2$; $R = 14 \Omega$).

3.6.1 Cas $G=1000 \text{ W/m}^2$ et $R=11 \Omega$

3.6.1.1 Résultats a la sortie du générateur photovoltaïque

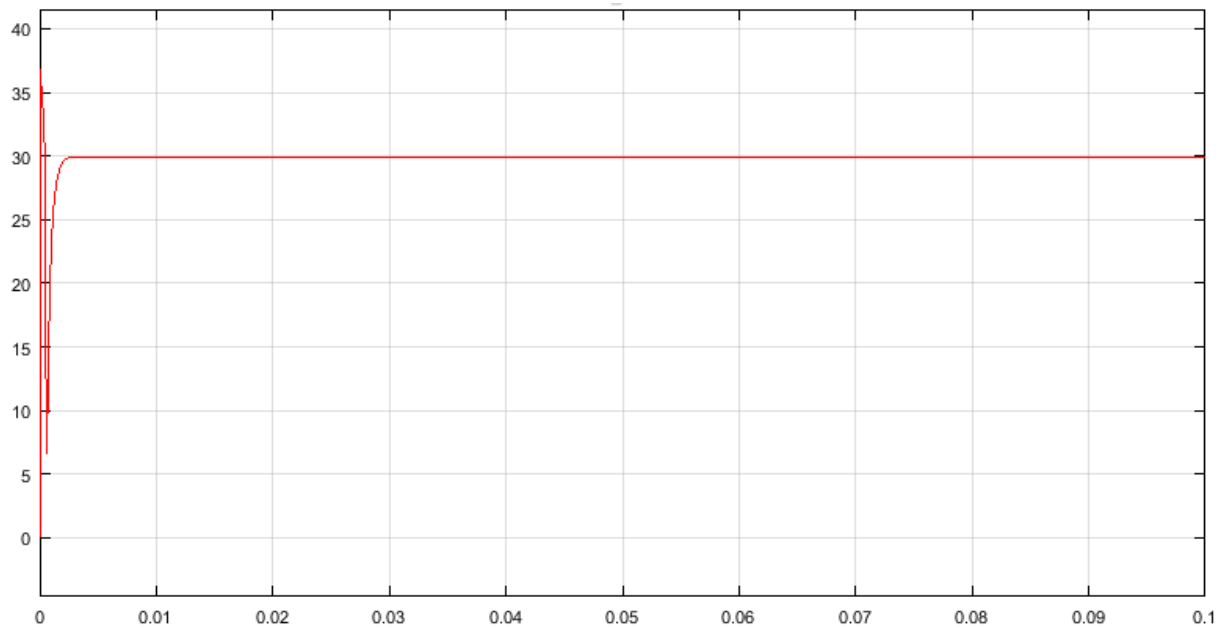


Fig 3.5: Tension de sortie du générateur photovoltaïque

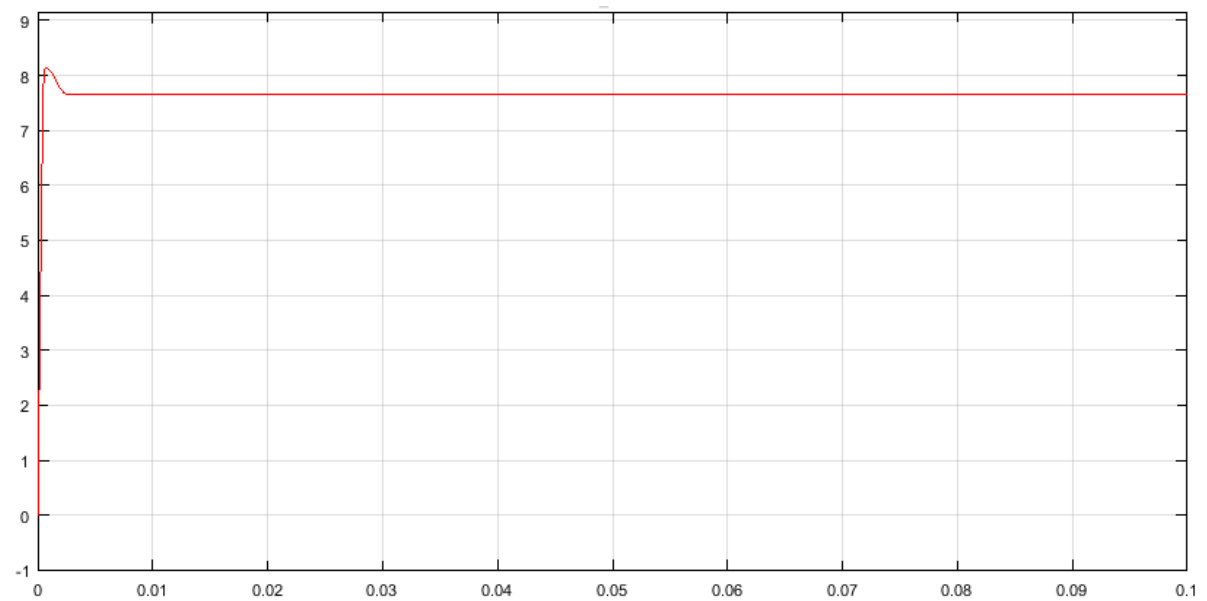


Fig 3.6: Courant de sortie du générateur photovoltaïque

3.6.1.2 Résultats a la sortie du convertisseur

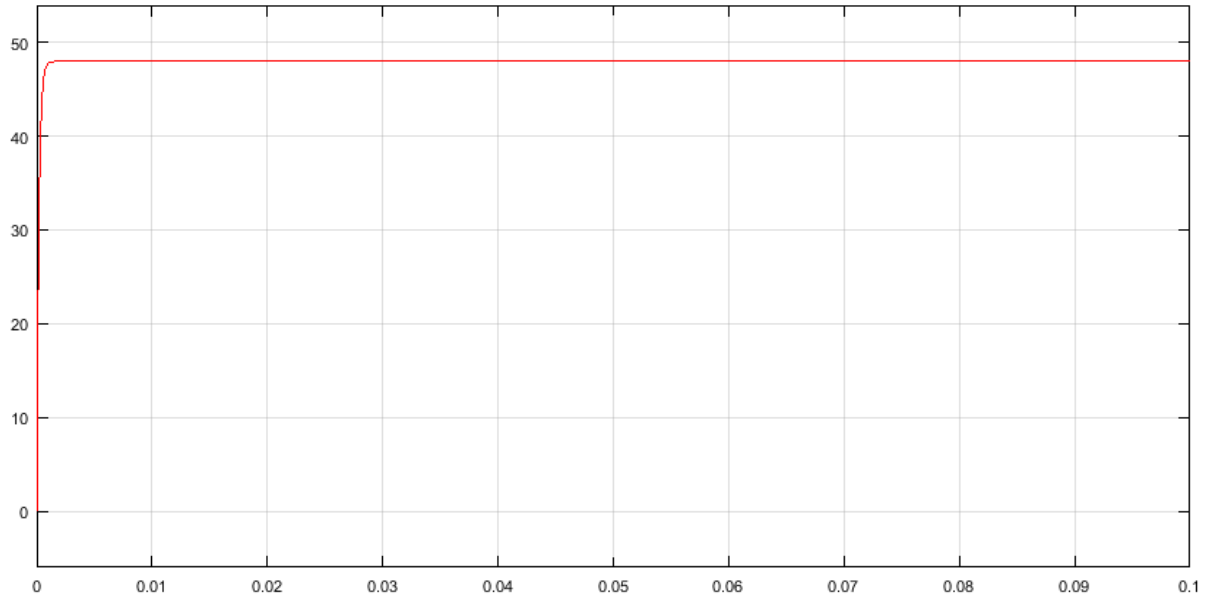


Fig 3.7: Tension de sortie du convertisseur DC-DC

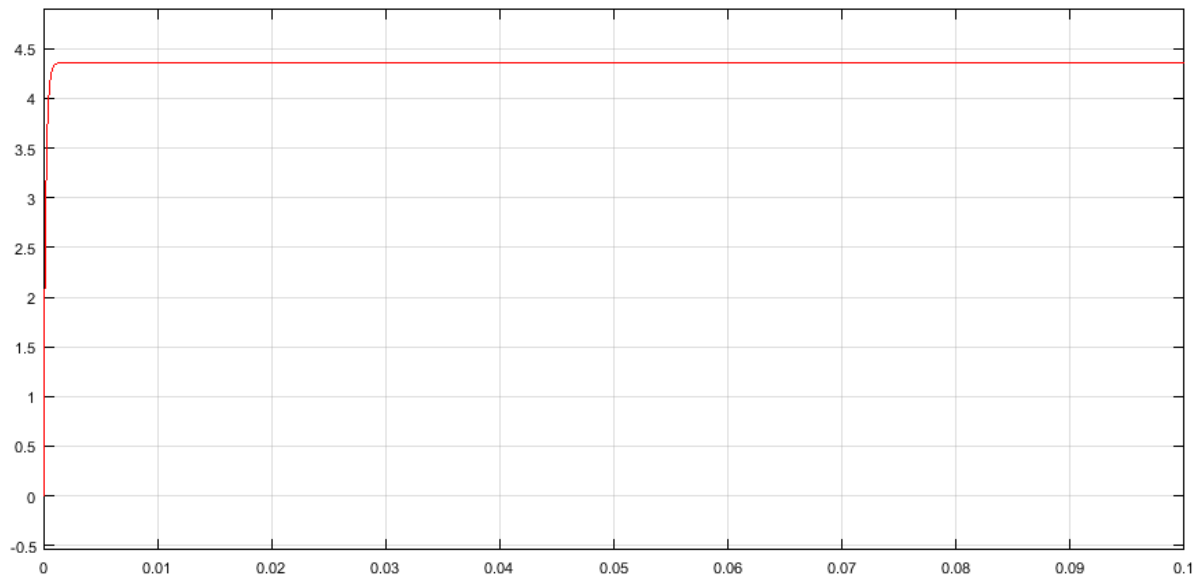


Fig 3.8: Courant de sortie du convertisseur DC-DC

3.6.1.3 Interprétation des résultats

A partir des courbes précédentes, on remarque que la tension à la sortie du convertisseur est environ deux fois supérieur à celle de la tension sortie du panneau et cela grâce au hacheur Boost qui a le rôle d'élever la tension.

3.6.1.4 Résultats à la sortie d'une batterie

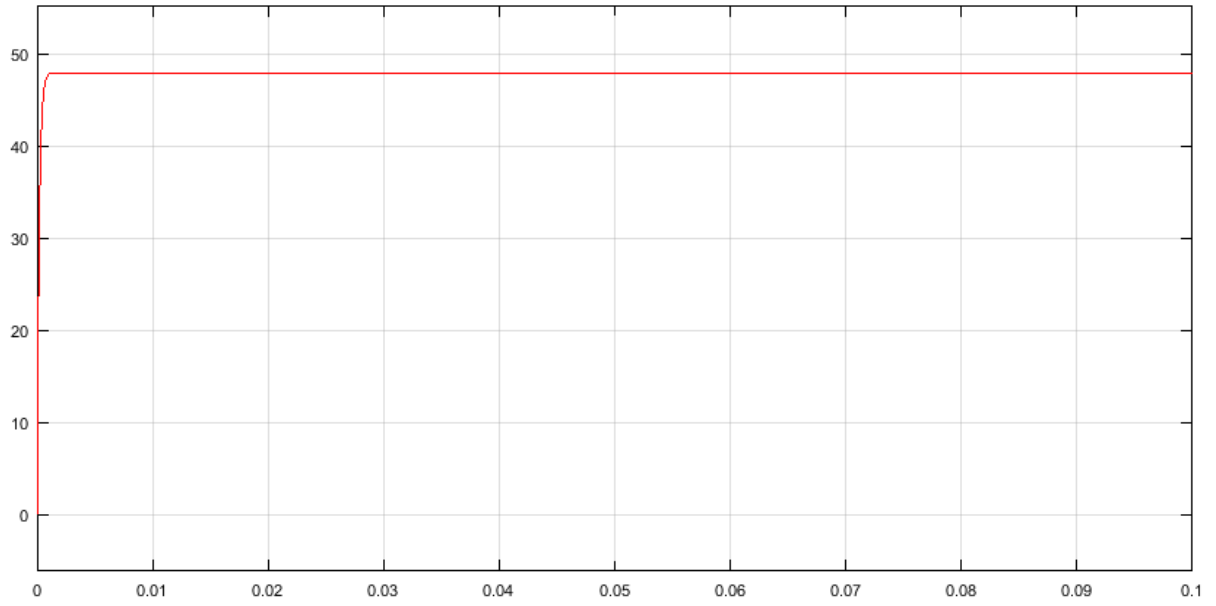


Fig 3.9: Tension de sortie de la batterie

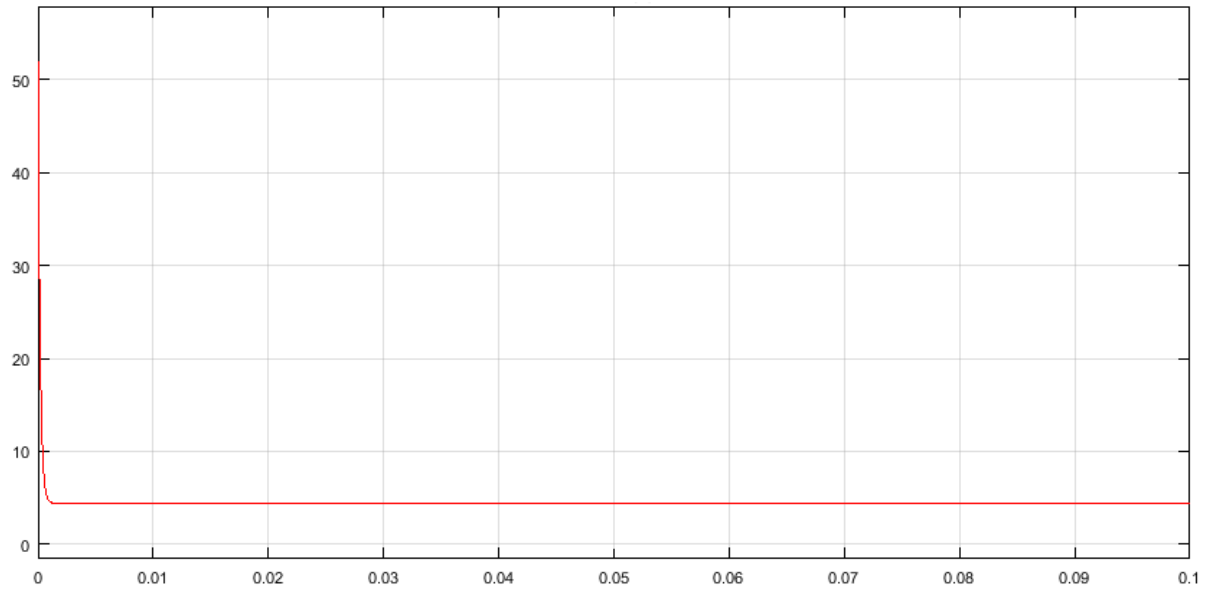


Fig 3.10: Courant de sortie de la batterie

3.6.2 Cas de $G=800W/m^2$ et $R=14 \Omega$

3.6.2.1 Résultats à la sortie du générateur photovoltaïque

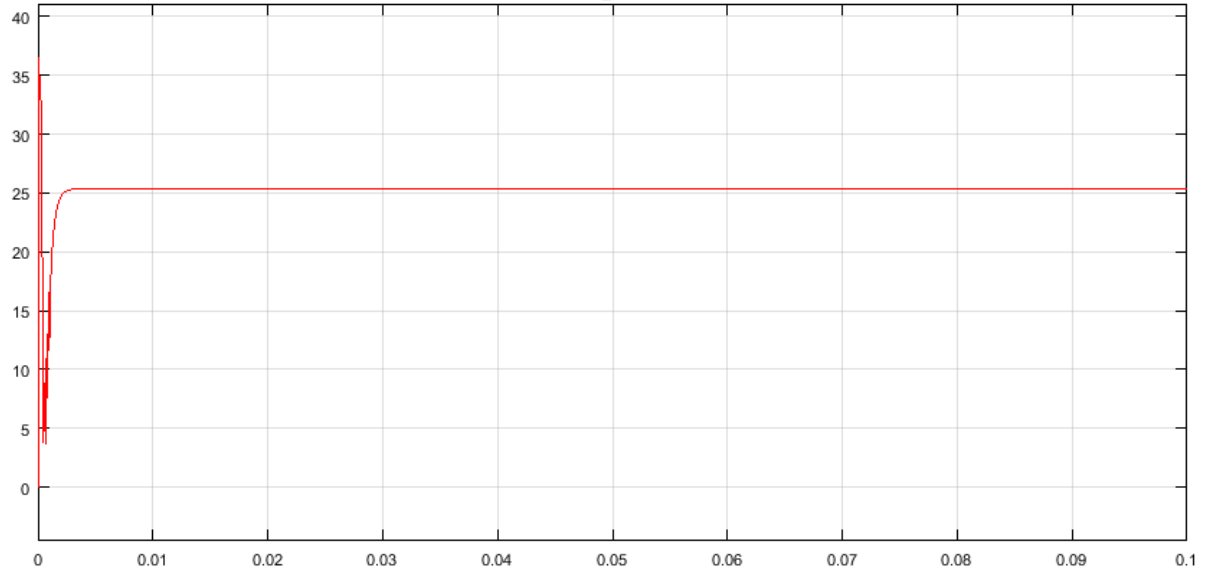


Fig 3.11: Tension de sortie du générateur photovoltaïque

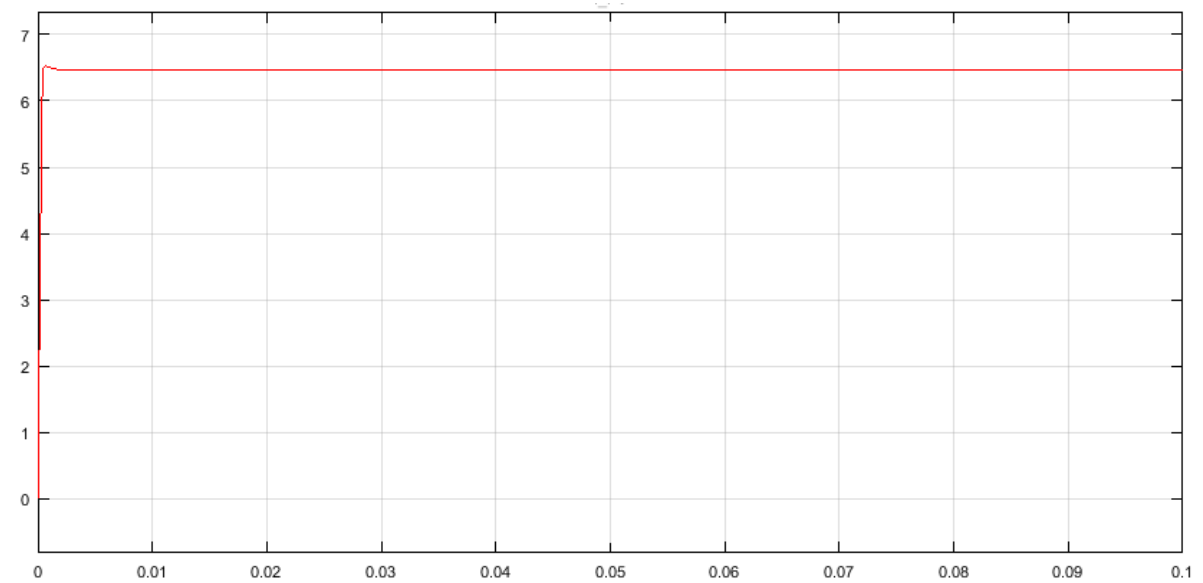


Fig 3.12: Courant de sortie du générateur photovoltaïque

3.6.2.2 Résultats a la sortie du convertisseur

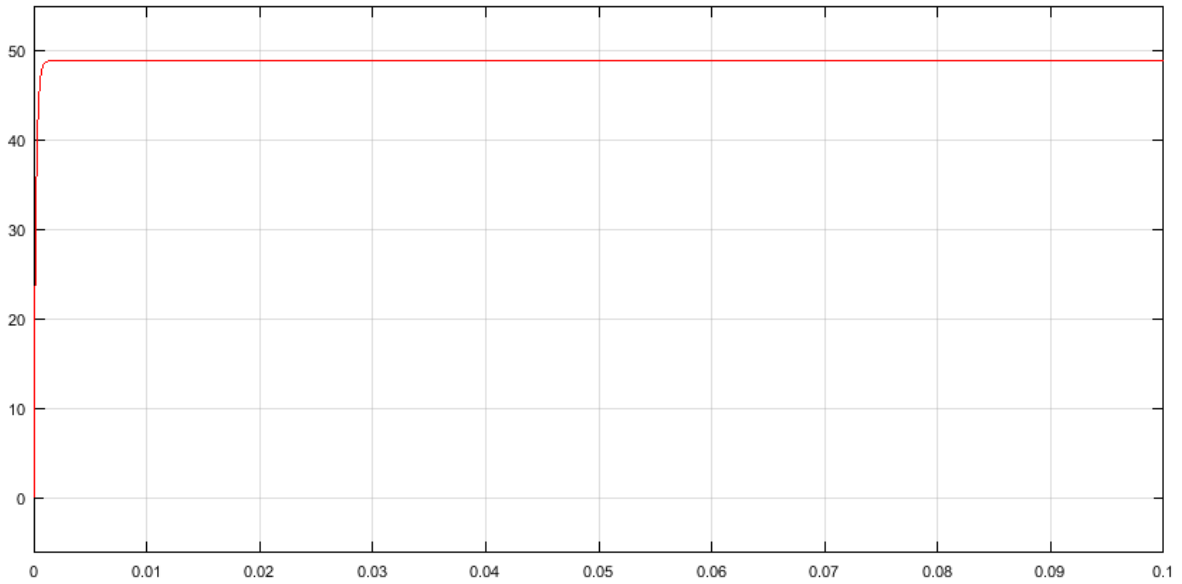


Fig 3.13: Tension de sortie du convertisseur DC-DC

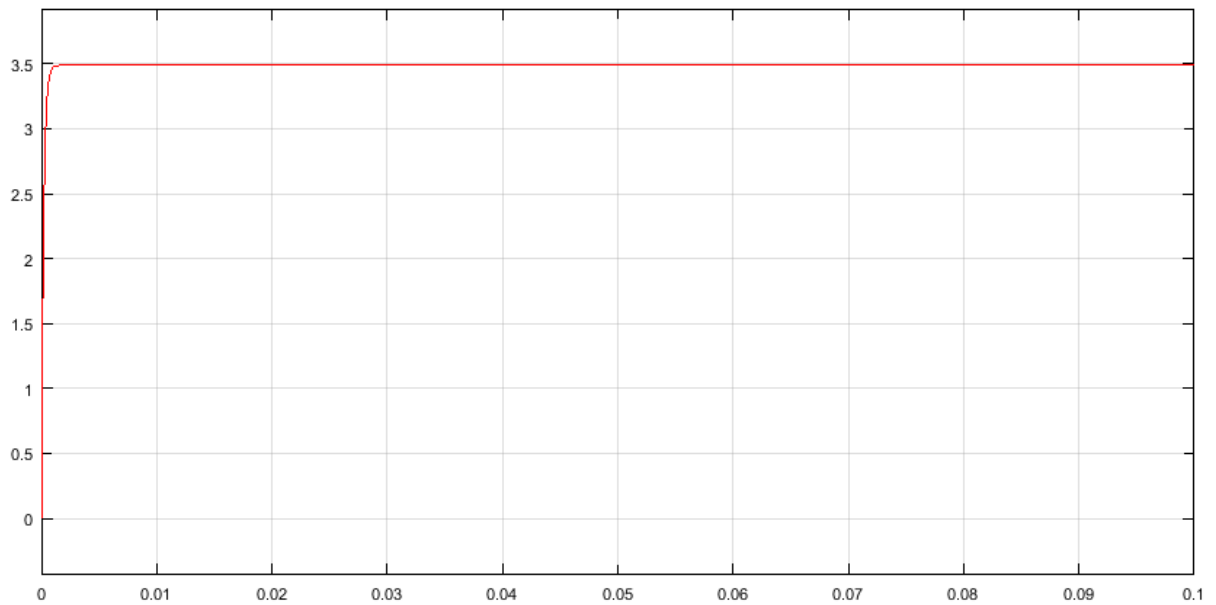


Fig 3.14: Courant de sortie du convertisseur DC-DC

3.6.2.3 Interprétation des résultats

A travers les courbes précédentes, on remarque que la tension de sortie du deuxième convertisseur est environ de quatre fois supérieur à celle de la sortie du panneau et cela grâce aux deux hacheurs Boost qui ont le rôle d'élever leurs tensions d'entrée.

3.6.2.4 Résultats à la sortie de la batterie

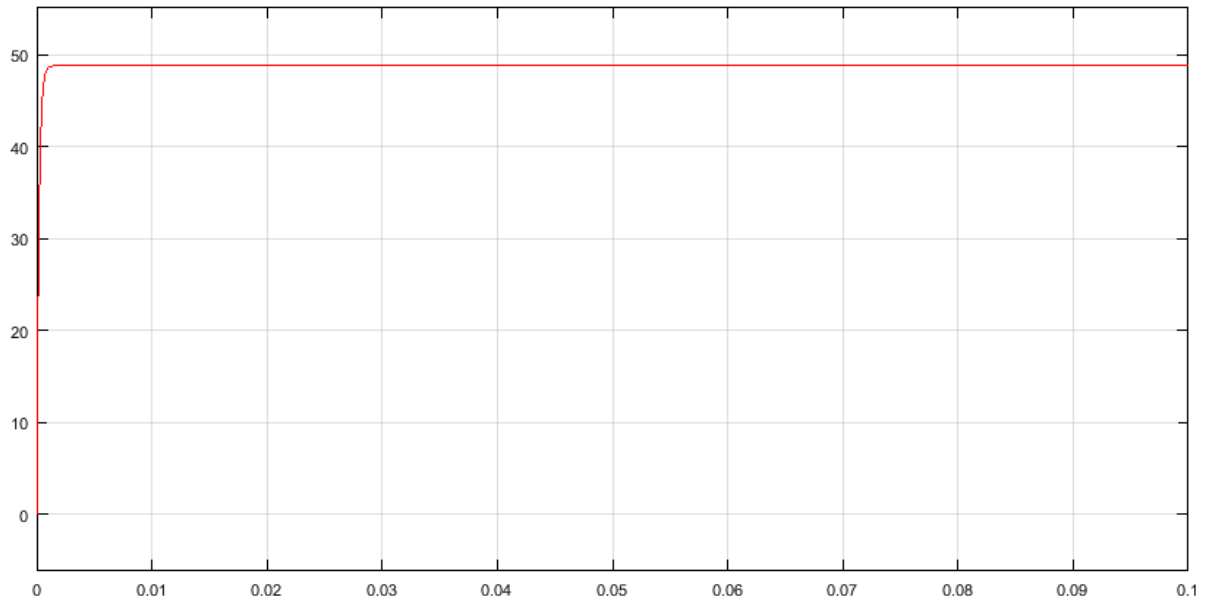


Fig 3.15: Tension de sortie du batterie

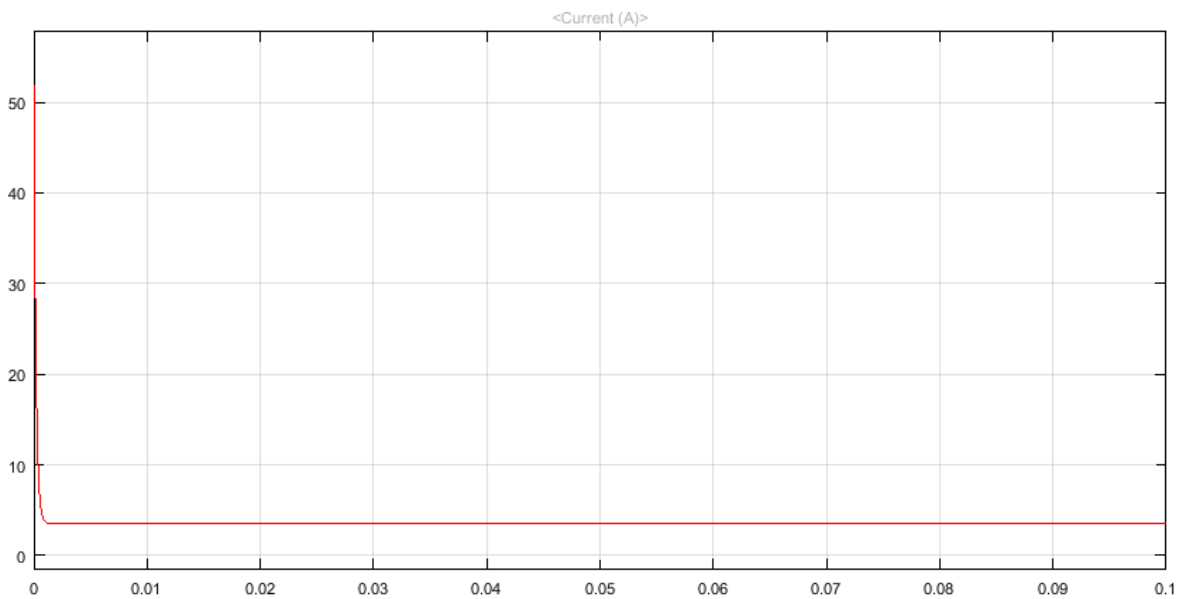


Fig 3.16: Courant de sortie du batterie

3.6.2.5 Interprétation des résultats

Il est remarquable que les valeurs de la tension a un lien direct et proportionnelle à l'intensité du rayonnement, comme le montre les figures (3.5); (3.7); (3.11) et la figure (3.13). Elles diminuent avec la diminution de cette dernière. De même pour la puissance, elle dépend de la tension avec une diminution des ondulations.

3.7 Influence de la variation de la charge

On fait varier la charge pour un éclairement constant $G = 1000 \text{ W/m}^2$. Pour voir la réponse du système en fonction du temps, on fait un changement brusque de la charge à l'instant $t = 0.05 \text{ s}$ de $R = 11 \Omega$ à $R = 30 \Omega$.

3.7.1 Cas $R = 11 \Omega$; $R = 30 \Omega$

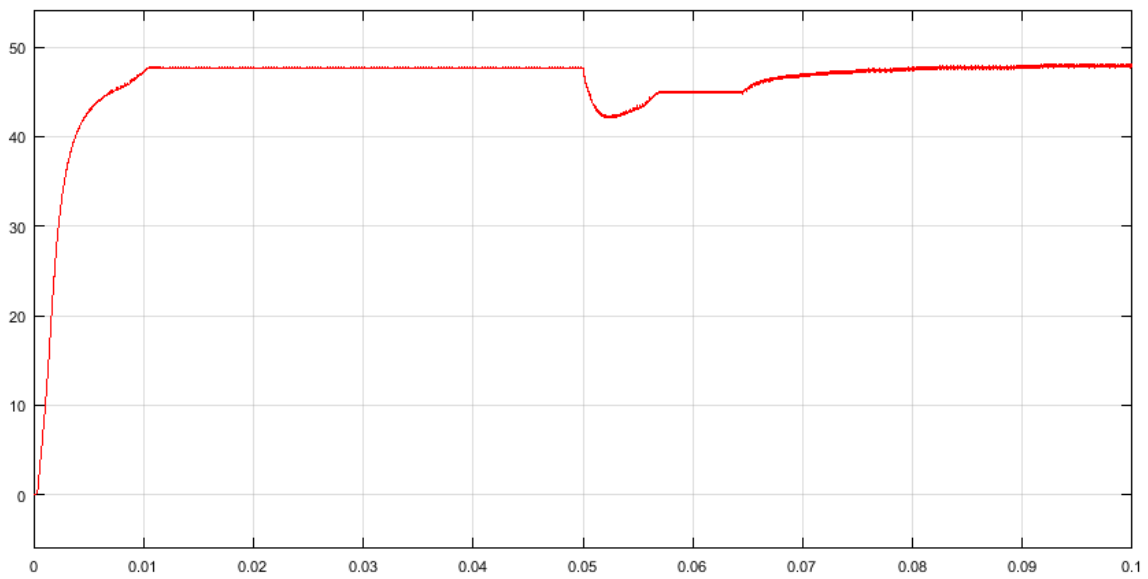


Fig 3.17: Tension de sortie de charge

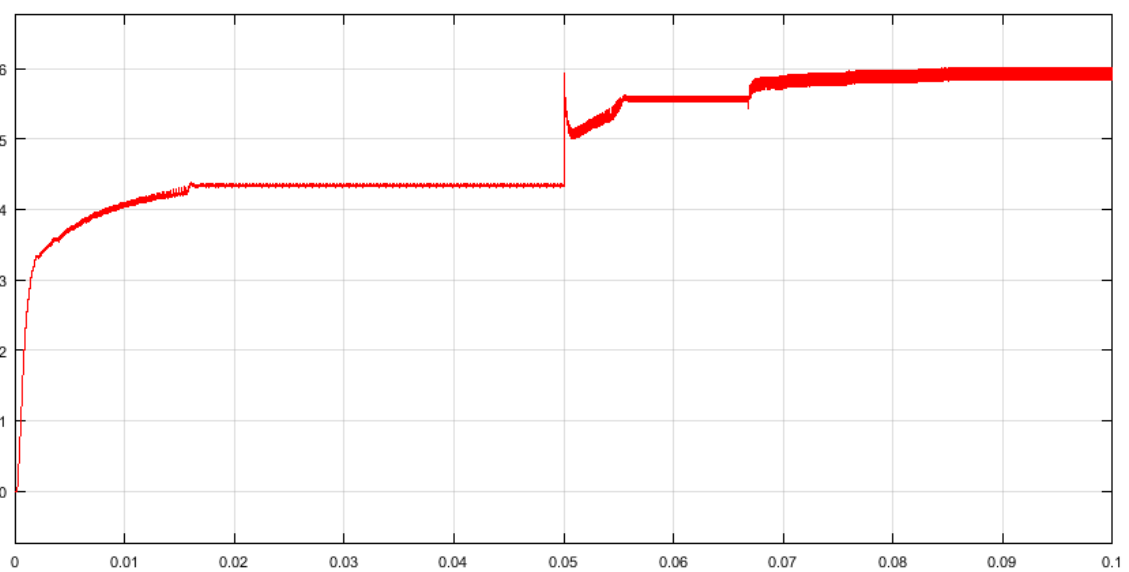


Fig 3.18: Courant de sortie de charge

3.8 Déterminé paramètres de regelature PI

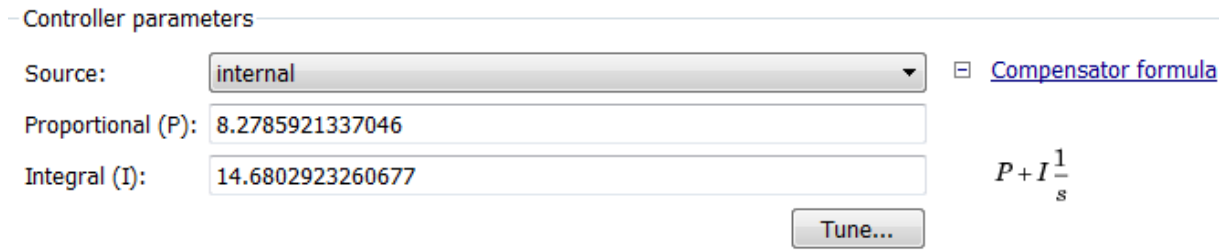


Fig 3.19: Paramètres de regelature PI

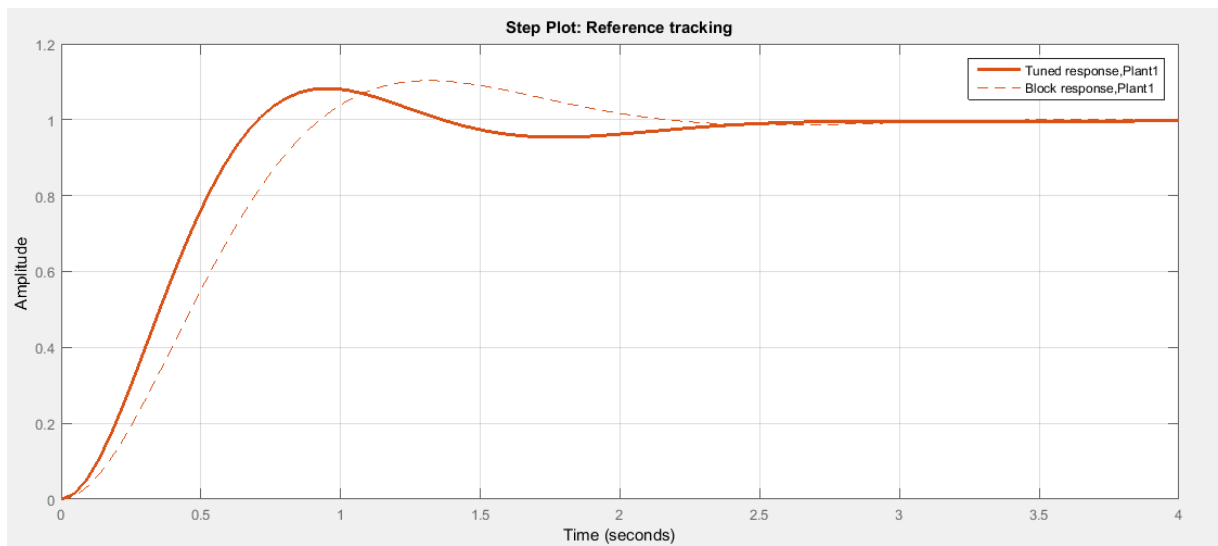


Fig 3.20: Performances d'un système de commande

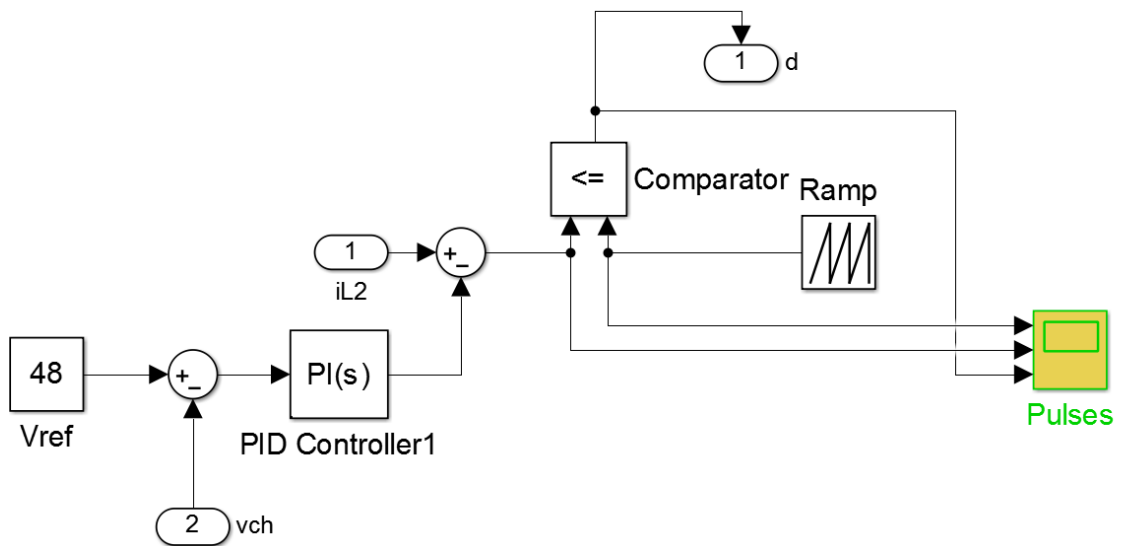


Fig 3.21: Performances d'un système de commande

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons simulé notre modèle du panneau photovoltaïque ainsi que les différents modes de charge et de décharge de la batterie. Pour obtenir une tension constante quelle que soit la différence de charge.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail était l'étude de la modélisation d'un système hybride (photovoltaïque - batterie). La modélisation des différents composants a été réalisée. Les résultats obtenus ont permis de montrer une bonne simulation concernant le panneau photovoltaïque ainsi que l'élément de stockage. L'association de ces composants pour former le modèle complet exige beaucoup de temps.

Dans un premier chapitre, on a donné la modélisation de l'ensemble composé de : générateur photovoltaïque, hacheur boost commandé par la MPPT «Perturbation et Observation» est présentée. Les modèles SIMULINK sont construits pour les différentes composantes du système photovoltaïque.

On a étudié, dans le deuxième chapitre les différentes caractéristiques des batteries ainsi que les différents types et modèles mathématiques de batteries existants.

Enfin, on a présenté une simulation de notre système hybride (Photovoltaïque - batterie) basant sur la modélisation d'un panneau photovoltaïque et sur le modèle de batterie au plomb-Acide pour obtenir les résultats de simulation.

D'après les résultats obtenus de la simulation, on remarque :

- Les performances du générateur PV se dégradent avec l'augmentation de la température, la diminution de l'intensité de l'éclairement et les variations de la charge. Les performances du générateur PV sont évaluées à partir des conditions standards : éclairement $G = 1000 \text{ W/m}^2$ température 25°C .
- Le convertisseur boost DC-DC et la commande MPPT effectuent correctement leurs rôles. Le convertisseur fournit dans les conditions optimales une tension à sa sortie

supérieure à celle fournie par le générateur PV.

- La commande MPPT adapte le générateur PV à transférer la puissance maximale à la charge.
- Les résultats montrent que l'utilisation de la commande MPPT permet d'améliorer d'une manière considérable le rendement des installations photovoltaïques.
- L'importance du régulateur PI dans notre système photovoltaïque est très important pour garder la tension de la charge constante.
- En cas de changement brusque de la charge, la batterie contribue à la l'alimentation de la charge et la stabilité de la tension de sortie.

BIBLIOGRAPHY

- [Ach99] N Achaïbou. Introduction à l'étude du système de stockage dans un système photovoltaïque. *Rev. Energ. Ren.: Valorisation*, pages 1–6, 1999. (page 19).
- [AD] MOHAMMED SALAH AMAMRA and YAHIA DJEDIDI. *optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque*. PhD thesis. No citations.
- [BEL09] Djamel BELLALA. *Contribution à l'Optimisation des Systèmes de Conversion d'Energie. Application aux Systèmes Photovoltaïques*. PhD thesis, Université de Batna 2, 2009. No citations.
- [Ben98] Ali Benatiallah. *Etude expérimentale et simulation des performances d'une installation photovoltaïque de faible puissance*. PhD thesis, Thèse de Magister, Université de Tlemcen, 1998. (page 9).
- [BEN11] Mohamed BENCHERIF. *Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension*. PhD thesis, 2011. No citations.
- [BEN12] Ibrahim BENDJAMAA. *Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque*. PhD thesis, 2012. (pages 8, 22).
- [BHXX03] Ai Bin, Yang Hongxing, Shen Hui, and Liao Xianbo. Computer aided design for pv/wind hybrid system. In *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of*, volume 3, pages 2411–2414. IEEE, 2003. (page 28).

- [Bou07] Djamil Boukhers. Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque. application au pompage. 2007. (pages [4](#), [11](#), [16](#)).
- [Bro04] Benoit Brousse. *Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique*. PhD thesis, Limoges, 2004. (page [6](#)).
- [BS96] Bogdan S Borowy and Ziyad M Salameh. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and pv array in a wind/pv hybrid system. *IEEE Transactions on energy conversion*, 11(2):367–375, 1996. (page [28](#)).
- [CD92] A Chaurey and S Deambi. Battery storage for pv power systems: an overview. *Renewable Energy*, 2(3):227–235, 1992. (pages [29](#), [30](#)).
- [Chi94] M Chikh. *Étude analytique conceptuelle des systèmes PV de puissance adopté aux site isolés de L'Algérie*. PhD thesis, thèse de magister, CDER, 1994. (page [28](#)).
- [CT07] B Chouki and B Trek. Optimisation floue neuronale et génétique d'un système photovoltaïque connecté au réseau. *Mémoire ingénieurs. Biskra*, 2007. No citations.
- [HBG⁺19] Ahmed HAKOUMI, Abdeldjalil BENAMAR, Touhami GHITAOUI, et al. *Commande MPPT et contrôle d'un systemephotovoltaïque 3KW par la logique floue*. PhD thesis, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019. (page [14](#)).
- [KAW19] CHAMI KAWTHER. Modélisation d'une batterie liée à un système photovoltaïque. 2019. (page [19](#)).
- [LAC06] Alain Bilbao Learreta, Corinne Alonso, and Cedric Cabal. Réalisation de commandes mppt numériques. *Report. Tarragona, Spain: Rovira i Virgili University*, 2006. (page [3](#)).
- [Mao05] Rachid Maouedj. Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de tlemcen et de bouzaréah. *Mémoire De Magistère Décembre*, 2005. (page [7](#)).
- [Moh08] Belhadj Mohammed. Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome. *Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes*, 2008. (pages [24](#), [26](#)).

- [MTM12] W Merrouche, H Tebibel, and A Malek. Développement sous proteus® d'un régulateur basé sur un algorithme de charge efficace et sécurisée pour batteries au plomb dans un système photovoltaïque. *Revue des Energies Renouvelables SIENR*, 12:175–186, 2012. (page 25).
- [Muk99] R Patel Mukund. Wind and solar power systems, 1999. (page 9).
- [Sal17] Bekkouche Salim. Etude de la dégradation photocatalytique et de l'adsorption du phénol sur tio2 p25. 2017. No citations.
- [Sau11] Dirk Uwe Sauer. Electrochemical storage for photovoltaics. *Luque, A e Hegedus, A. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. 2nd ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons*, pages 896–953, 2011. (page 23).
- [YMY07] A Ould Mohamed Yahya, A Ould Mahmoud, and I Youm. Modélisation d'un système de stockage intégré dans un système hybride (pv/eolien/diesel). *Revue des énergies renouvelables*, 10(2):205–214, 2007. (page 27).
- [Zem18] Djemai Ilyas Zemghassene. *Recharge d'une batterie avec un panneau photovoltaïque et poursuite du point de puissance maximale*. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2018. (pages 3, 4, 5).