

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



Université Abderrahmane MIRA de Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Automatique

Spécialité : Systèmes

THÈME

**Modélisation et optimisation de puissance d'un système
Photovoltaïque autonome**

➤ Réalisé par:

- Mr. TIDJET Billal
- Mr. GHILAS Farid

➤ Encadré par:

- Dr. BELKAID Abdelhakim

➤ Devant le jury:

- Pr. GUENOUNOU Ouahib
- Dr. HADJI Slimane

Promotion 2019-2020

Remerciements

Nous souhaitons adresser ici nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenant à remercier sincèrement Dr. BELKAID Abdelhakim, qui, en tant que promoteur de ce mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

On remercie les membres de jury d'avoir fait l'honneur en participant au jugement de ce travail.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

Dédicaces

En témoignage d'amour et affection, je dédie ce travail avec une grande fierté

*A mes très chers parents qui m'ont tout donné pour que je puisse
avoir un parcours honorable tout au long de ma vie estudiantine,
je le dédie à ma chère maman, qui m'a donné l'envie et
la volonté de réussir.*

*À ma chère sœur qui n'a jamais cessée de me soutenir
durant tout mon parcours.*

*Pour mon cher papa que dieu te bénisse et prolonge ta vie car tu
es la lumière qui éclaircie mon chemin.*

*Pour vous mes chers frères
Ma famille et mon oncle Nadir
qui m'ont tant encouragée
A tous mes amis pour leur sympathie, leurs bonnes humeurs et
leur soutien.
Que Dieu vous protège*

Billal

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père qui m'a inculqué la discipline, les valeurs de la réussite et du respect d'autrui.

Ma tendre mère, qui m'a enseigné la tendresse, la douceur.

A tous mes frères et sœurs.

A mon cher oncle Arab et ma tante Tounes

A tous mes amis et camarades sans exception qui m'ont été un soutien morale durant toutes mes études.

A tous mes proches

A tous ceux qui aiment partager le savoir sans rien en retour.

Merci infiniment.

Que Dieu vous protège.

Farid

La table des métiers

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 01 : Généralités sur la chaîne de conversion photovoltaïque

I.1 Introduction	3
I.2 Historique	3
I.3 Cellule photovoltaïque	4
I.3.1 Comment ça marche	5
I.3.2 La structure de la cellule PV	5
I.3.3 Principe de fonctionnement.....	6
I.3.4 Le rendement d'une cellule photovoltaïque	7
I.3.5 Les différents types de cellules photovoltaïques [12- 13].....	8
I.3.5.1 Cellule multi-jonction	8
I.3.5.2 Cellule en silicium monocristallin	9
I.3.5.3 Cellule en silicium poly cristallin	10
I.3.5.4 Cellule sans silicium en couche mince CIS :	10
I.3.5.5 Cellule silicium amorphe en couche mince	11
I.3.5.6 Cellule CZTS (cuivre zinc étain soufre)	12
I.4 Chaînes de conversion photovoltaïque.....	13
I.4.1 Systèmes PV autonomes	14
I.5 Conclusion.....	19

Chapitre 02 : Modélisation de la chaîne de conversion avec la commande MPPT associée

II.1 Introduction.....	20
II.2 Installation photovoltaïque autonome.....	20
II.3 Les Convertisseurs DC/DC.....	21
II.3.1 Hacheur série	21
II.3.2. Hacheur parallèle	22
II.3.3 Hacheur série-parallèle	23
II.4 Les commande MPPT.....	24
II.4.1 La méthode de perturbation et observation (P&O).....	24
II.4.2 La technique Incrémentation de la conductance (IncCond)	26

La table des matières

II.4.3 La commande par Mode Glissant (SMC)	27
II. 5 Description et modélisation du système photovoltaïque choisi	30
II. 5. 1 Description du système photovoltaïque	30
II. 5. 2 Modélisation du système photovoltaïque.....	30
II. 5. 2. 1 Modélisation du module photovoltaïque	30
II. 5. 2. 2 Modélisation du convertisseur type boost.....	33
II.6. Conclusion	36

Chapitre 03: Résultats de simulation et discussion

III.1 Introduction	37
III.2 Définition MATLAB	37
III.3 Définition simulink.....	37
III.4 Simulation d'un système photovoltaïque avec MPPT.....	38
III.4.1 Simulation du module photovoltaïque	38
III.4.2 Simulation du système photovoltaïque.....	40
III.4.2.1. Influence de l'éclairement:	41
III.4.2.2. Influence de la température:	43
III.4.2.3. Influence de la charge:.....	44
III.7 Conclusion	45
Conclusion Générale.....	46

Liste des figures

Chapitre 01

Figure I.1 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV	4
Figure I.2 : Production de cellules photovoltaïques de 1995 à 2013, par pays	5
Figure I.3 : Structure de la cellule PV	6
Figure I.4 : Le principe de la cellule PV	7
Figure I.5 : récapitulatif de l'importance de l'inclinaison et de l'orientation dans le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque	8
Figure I.6 : Cellule photovoltaïque multi-jonction.....	9
Figure I.7 : Cellule photovoltaïque monocristalline.....	9
Figure I.8 : Cellule photovoltaïque poly cristalline.....	10
Figure I.9 : Cellule photovoltaïque de type cuivre - indium - sélénium (CIS).....	11
Figure I.10 :Cellule photovoltaïque amorphe.....	11
Figure I.11 :Cellule CZTS (cuivre zinc étain soufre).....	13
Figure I.12 :Chaîne de conversion photovoltaïque.	14
Figure I.13 : Couplage direct GPV-charge.....	15
Figure I.14 : Système PV autonome alimentant des charges DC et AC (étage 1 est DC/AC).....	16
Figure I.15 : Système PV autonome alimentant des charges DC et AC (étage 1 est DC/DC).....	16
Figure I.16 : Système PV raccordé au réseau central	17
Figure I.17 : Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie	17
Figure I.18 : Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie	18
Figure I.19 : Schéma de principe d'une connexion à travers un convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT	18

Chapitre 02

Figure II.1 : Schéma du système PV autonome.	21
Figure II.2 : Circuit du convertisseur Buck.....	22
Figure II.3 : Circuit du convertisseur Boost.....	23
Figure II.4 : Circuit du convertisseur Buck-Boost.....	23
Figure II.5 :Le principe de l'algorithme P&O.	25
Figure II.6 :Algorithme de la méthode P&O	25
Figure II.7 : Le principe de commande IncCond.	26
Figure II. 8 : L'organigramme de la méthode IncCond.	26
Figure II.9 :Plan de phase en mode glissant.	27
Figure II.10 : Représentation de la fonction signe.	29
Figure II.11 :Panneau solaire avec contrôleur MPPT.	30
Figure II.12 :Circuit électrique équivalent d'un module PV.	31
Figure II.13 :Caractéristique I-V de la cellule PV	32
Figure II.14 : caractéristique P-V de la cellule PV	33
Figure II.15 : Schéma de base du convertisseur Boost a) structure globale, b) structure avec interrupteur fermé, c) structure avec interrupteur ouvert.	35
Figure II.16 : Réalisation Simulink du convertisseur Boost.	35
Figure II.17 : Réalisation SimpowerSystems du convertisseur Boost.	36

Liste des figures

Chapitre 03

Figure III.1: Modèle sous Simulink du module photovoltaïque.....	38
Figure III.2: Caractéristiques du module PV pour différents éclairagements, température constante 25 °C : (a) I-V et (b) P-V.....	39
Figure III.3: Caractéristiques du module PV pour différents températures, éclairage constant 1000 W/m ² : (a) I-V et (b) P-V.....	39
Figure III.4: Schéma bloc du système photovoltaïque avec la commande P&O.....	41
Figure. III. 5: Schéma bloc de l'algorithme P&O sur Simulink®.....	41
Figure III.6: Résultats de simulation pour un éclairage variable.....	43
Figure III.7: Résultats de simulation pour une température variable.....	44
Figure III.8: Résultats de simulation pour une charge variable.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques électriques du module PV	40
---	----

Liste des abréviations

Acronymes

DC/AC : Conversion continu/alternatif

DC/DC : Conversion continu/continu

GPV : Générateurs photovoltaïques

MPPT : Maximum Power Point Tracking

P&O : Perturbation et observation

PV : Photovoltaïque

N : la borne négative

P : la borne positive

STC : Standard Test Conditions

CIS : cuivre-indium-sélénium

CZTS : cuivre zinc étain soufre

PPM : Point de puissance maximale

SMC : Sliding Mode Control

I-V: Courant-tension

P-V : Puissance-tension

Symboles

ΔE : Changement d'erreur

$\Delta \alpha$: Changement du Rapport cyclique du convertisseur

V_{PV} : Tension du GPV

v_{pv} : Tension de cellule PV

G : Eclairement

E : Erreur

A : Facteur d'idéalité de la jonction

I_{pv} : Courant du GPV

P_{PV} : Puissance de la cellule photovoltaïque

V_{ppm} : tension au PPM

I_{ppm} : courant au PPM

d : Rapport cyclique du convertisseur

Liste des abréviations

P_{ppm} : puissance maximale

K : Constante de Boltzmann

ΔV : L'ondulation de la tension de sortie

Δi : L'ondulation du courant dans l'inductance

S : Surface de glissement

I_o, V_o : Courant et tension du bus continu

X : Variable d'état

λ_x : est un scalaire qui représente la pente de la surface de glissement.

r : Degré relatif, nombre de fois qu'il faut dériver la sortie pour apparaître la commande.

$e(x)$: Écart de la variable à régler

I_{pv} : Le courant fourni par la cellule.

V_{pv} : La tension à la borne de la cellule PV.

I_s : Le courant de saturation inverse d'une diode.

e : Charge d'électron.

U_n : Commande discontinue

U_{eq} : Commande équivalente



Introduction générale

Introduction générale

L'humanité au début des temps n'a disposé que d'énergies renouvelables pour recouvrir ses différents besoins énergétiques. Mais au cours d'ère d'évolution, l'homme a commencé à abandonner ces énergies en faveur des énergies fossiles de haute efficacité pour satisfaire les besoins de la croissance et de développement. Actuellement, la plus grande partie de l'énergie consommée provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation [1].

Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important. A ce sujet, Les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, ... apparaissent comme des énergies inépuisables et facilement exploitables. Si l'on prend l'exemple du soleil, une surface de 145000km² (4% de la surface des déserts arides) de panneaux photovoltaïques (PV) suffirait à couvrir la totalité des besoins énergétiques mondiaux [2].

La conception, l'optimisation et la modélisation des systèmes PV sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de l'éclairement et de la température ou de la charge induit à une dégradation de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque (GPV), en plus ce dernier ne fonctionne plus dans les conditions optimums. Dans ce contexte, de nombreux chercheurs se sont attachés à inventer des systèmes permettant de récupérer toujours le maximum d'énergie : c'est le principe nommé maximum power point tracker (MPPT) qui est l'objet principal de ce mémoire.

Dans ce travail nous nous sommes intéressés à l'étude et l'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque. Ce mémoire est partagé en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur la chaîne de conversion photovoltaïque. On commence par l'historique du photovoltaïque, la structure et le principe de fonctionnement de la cellule PV, en suite on montre les différentes technologies de cellule

PV. Après, on arrive aux systèmes PV, les différentes configurations et les principales parties qui les composent.

Le deuxième chapitre présente les trois types de montage de convertisseur DC/DC les plus utilisés dans les systèmes PV, suivi des principales commande MPPT rencontrées dans la littérature : la méthode de perturbation et observation (P&O), la technique d'incrément de la conductance (IncCond), et la commande par mode glissant (SMC). Il termine par la modélisation mathématique des composants de la chaîne de conversion PV choisie.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats de simulation dans le cas d'irradiation trapézoïdal et l'autre cas température trapézoïdal d'un panneau photovoltaïque avec MPPT et convertisseur DC-DC. Finalement nous terminerons ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I



**Généralités sur la chaîne
de conversion
photovoltaïque**

I.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

Ce chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire PV de la cellule au système globale de conversion. Il parle un peu sur l'histoire et la définition de l'effet photovoltaïque, il passe ensuite aux différentes technologies de la cellule PV et il termine par les différents configurations des systèmes PV.

I.2 Historique

L'effet photoélectrique, la conversion directe d'énergie lumineuse en électricité, fût découvert par le Français Edmond Becquerel dès 1839.

La production de la première cellule solaire en matériaux semi-conducteurs a été faite par Charles Fritts en 1883. Elle atteignait un rendement de 1 %, et utilisait de l'or, du sélénium, et des matériaux coûteux.

En 1875 « Wener Von Siemens » expose devant l'Académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

En 1887 « Heinrich Rudolph Hertz » présenta pour la première fois l'effet photoélectrique dans un article de la revue scientifique « Annalen der Physik ». On appelle effet photoélectrique l'émission des électrons par un matériau soumis à un éclairage ou à un rayonnement électromagnétique d'intensité propre aux matériaux.

Le sélénium puis le silicium (qui a finalement supplanté le cadmium-tellure ou le cadmium-indium-sélénium également testés pour des raisons de coût) se sont montrés aptes à la production des premières cellules PV.

La recherche porte aujourd'hui sur des polymères et matériaux organiques (éventuellement souples) remplaçant le silicium [3].

Les faibles rendements des cellules à cette époque ne permettent pas d'applications concrètes des cellules PV, jusqu'à 1954, où les travaux de Gerald Pearson, Darryl Chapin et Calvin Fuller pour les laboratoires Bell permettent enfin d'aboutir à un rendement de 6 %

C'est en 1958 que la première application réelle des cellules PV est trouvée, avec l'alimentation des émetteurs radio du satellite Vanguard. Le rendement de ces panneaux solaires était alors de 9 %

Les années 1960 voient le développement du PV avec l'essor des satellites spatiaux, puis dans les années 1970 c'est l'alimentation en électricité des lieux reculés qui permet les premières applications au sol.

C'est en 1958, que les premiers satellites avec panneaux solaires sont envoyés dans l'espace et au même moment une cellule avec un rendement de 9% est mise au point.

Mais il faudra attendre les années 70 pour que les gouvernements et les industries investissent dans la technologie PV. En effet des efforts ont été faits pour réduire les coûts de sorte que l'énergie PV soit également utilisable pour des applications terrestres. Et en 1973, la première maison alimentée par des cellules PV est construite à l'université de Delaware.

Ainsi au cours des années 80, la technologie PV terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts. La croissance de l'industrie fut spectaculaire, et notamment à travers de nombreux produits de faible puissance fonctionnant grâce à l'énergie solaire, tel que : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. En 1983 la première voiture, alimentée par énergie PV, parcourt une distance de 4 000 km en Australie [4-6].

I.3 Cellule photovoltaïque

Une cellule PV (photopile) contient un matériau semi-conducteur de type P-N. Elle se présente sous trois formes à savoir, la forme carrée, circulaire ou une dérivée des deux géométries. La taille de chaque cellule varie de quelques jusqu'à une centaine de centimètres carrés [6].

Les cellules se branchent en série dans le but d'avoir une différence de potentiel entre 6 à 24V. Chaque cellule peut être modélisée par le schéma électrique équivalent de la (Figure I.1):

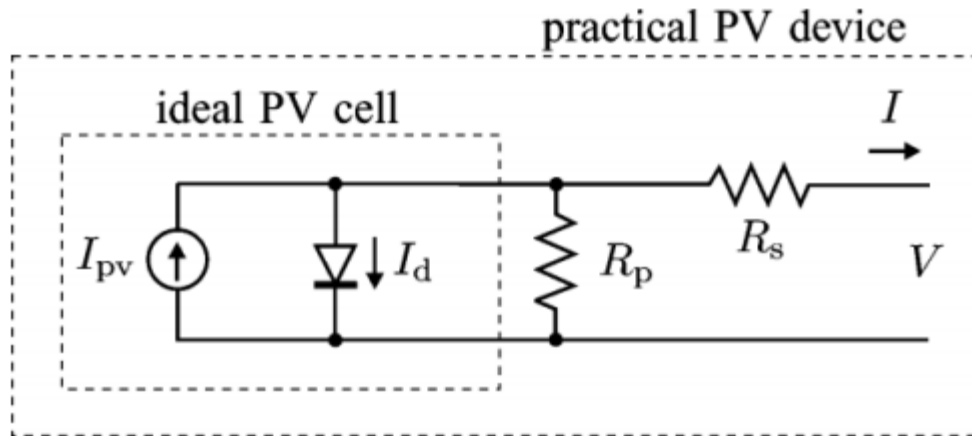


Figure I.1 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV.

I.3.1 Comment ça marche

Une cellule PV est une composante électronique, exposée aux photons de la lumière et produit de l'électricité. Cet effet PV a été découvert en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel. Il a fallu attendre les années 1960, avec l'arrivée des satellites spatiaux pour que les cellules trouvent de réelles applications. Les panneaux solaires, formés par des assemblages de cellules, commencent à arriver sur les toits à la fin des années 1980. L'essor du photovoltaïque, avec de grands parcs de production électrique, n'a plus cessé depuis le début du XXI^e siècle [7].



Figure I.2 : Production de cellules photovoltaïques de 2010 à 2020, par pays [5]

I.3.2 La structure de la cellule PV

La (Figure I.3) présente les différentes couches d'une cellule PV : 1- verre, 2- revêtement anti-réflexion, 3- grille métallique conductrice (pôle +), 4- couche semi-

conductrice dopé N, 5- couche semi-conductrice dopé P, 6- couche conductrice en métal (pôle -). La jonction P-N se situe entre une couche avec porteurs de charges libres négative (N) et une autre couche porteurs de charges libres positives (P). Compte tenu que le silicium est très réflécheur, on place donc un revêtement anti-réflexion sur le dessus de la cellule. Enfin on trouve une couche de verre qui protège la cellule. Vu la fragilité des cellules, il est indispensable d'avoir ces couvertures de protections. L'épaisseur totale de la cellule est de l'ordre du millimètre. Afin d'obtenir une puissance suffisante. On aura besoin de relier plusieurs cellules entre elles, constituant alors le panneau solaire.

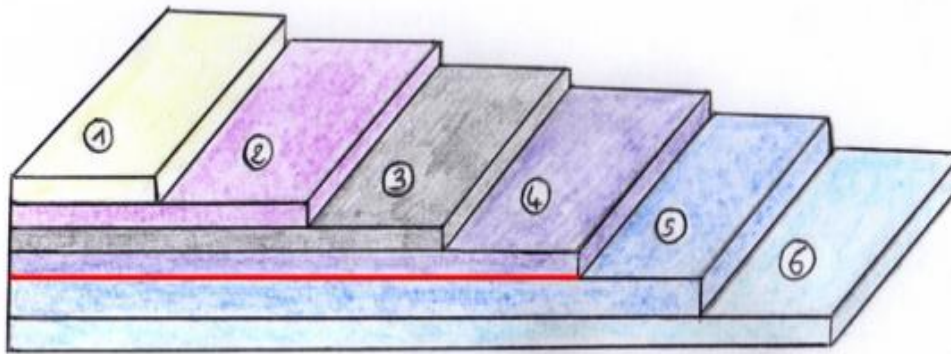


Figure I.3 : Structure de la cellule PV.

I.3.3 Principe de fonctionnement

Les « grains » de lumière qu'on appelle photons pénètrent très légèrement dans le silicium, déplaçant quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un seul sens. Les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant [6]. Donc la cellule PV est fondée sur les propriétés des semi-conducteurs percutés par les photons mettant en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionnent [4, 6, 8].

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron à la matrice, créant au passage un « trou ». Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se recombiner : l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le

Le principe d'une cellule PV est de forcer les électrons et les trous à se diriger vers des pôles opposés du matériau : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux pôles, à l'exemple d'une pile. L'une des solutions, couramment utilisée, pour extraire sélectivement les électrons et les trous utilise un champ électrique au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N [8].

La fabrication complexe demande une excellente maîtrise technique pour assurer dans la durée le meilleur rendement [6].

Afin qu'il y ait un courant électrique, il faut que les mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium. L'autre face est dopée à son tour des atomes de bore qui comportent moins d'électrons comme l'indique la (figure I.4) Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), et le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique [4].

Quand les photons viennent exciter les électrons, ce qui les migrent vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Une couche anti-reflet est alors rajoutée afin d'éviter la perte des photons en étant réfléchis par la surface [3-4].

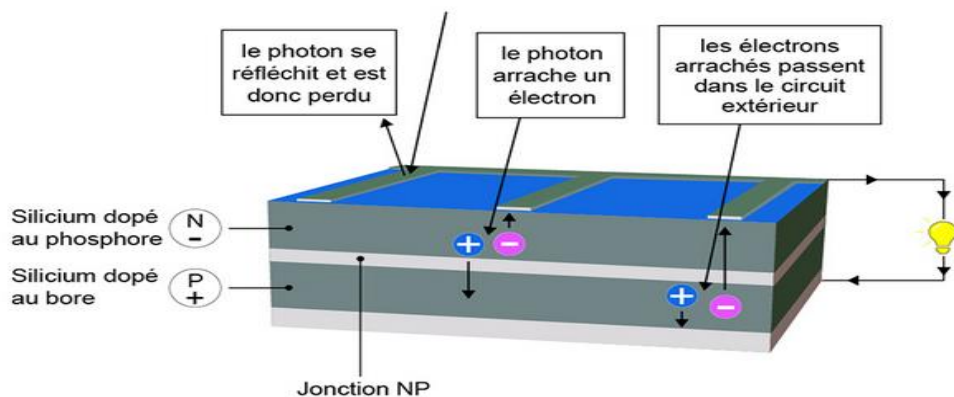


Figure I.4: Le principe de la cellule PV.

I.3.4 Le rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule est le rapport entre l'énergie électrique produite par cette dernière et l'énergie lumineuse reçue sur la surface correspondante

$$\eta [\%] = P_{\text{produite}}[\text{kW}] / P_{\text{incidente}}[\text{kW}]$$

Le rendement réel varie donc continuellement en fonction de l'énergie solaire incidente [9].

Le taux de rendement photovoltaïque indique le rapport entre la production produite et la puissance du rayonnement captée par les panneaux solaires. Ce taux de rendement est exprimé en pourcentage. Il varie en fonction de plusieurs facteurs, mais généralement, il se situe entre 6% et 20%.

Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit leurs caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de 1 000 W/m², température de 25 °C, conditions spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).

La puissance crête est définie comme la puissance électrique produite par la cellule (ou un panneau) lorsqu'elle est soumise aux conditions STC. Cette valeur est utilisée comme référence pour comparer les panneaux PV entre eux [10-11].

On obtient alors le rendement par la formule suivante :

$$\eta_{\text{STC}} [\%] = \text{Puissance crête [W/m}^2\text{]} / \text{Puissance du spectre STC [W/m}^2\text{]}$$

avec : Puissance du spectre STC = 1 000 [W/m²].

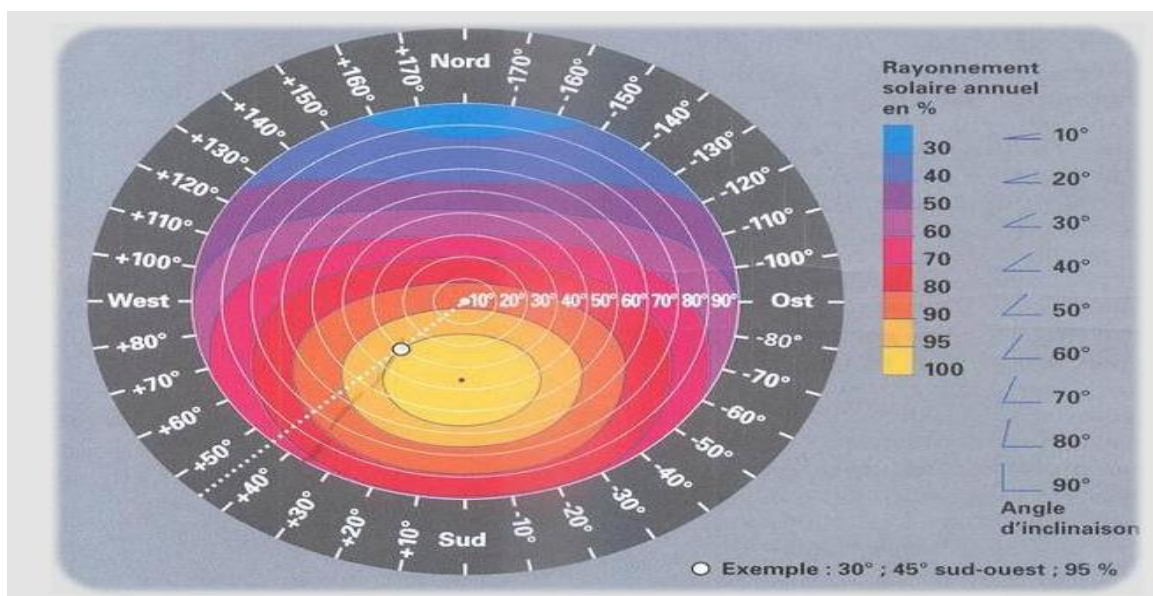


Figure I.5 : récapitulatif de l'importance de l'inclinaison et de l'orientation dans le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque.

I.3.5 Les différents types de cellules photovoltaïques [12- 13]

I.3.5.1 Cellule multi-jonction

Les cellules multi-jonction (Figure I.6) sont composées de différentes couches permettant de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion.



Figure I.6 : Cellule photovoltaïque multi-jonction

Avantages : Rendement inégalé

Inconvénients : Pas d'application commerciale

I.3.5.2 Cellule en silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules qui sont en général bleu uniforme (Figure I.7).

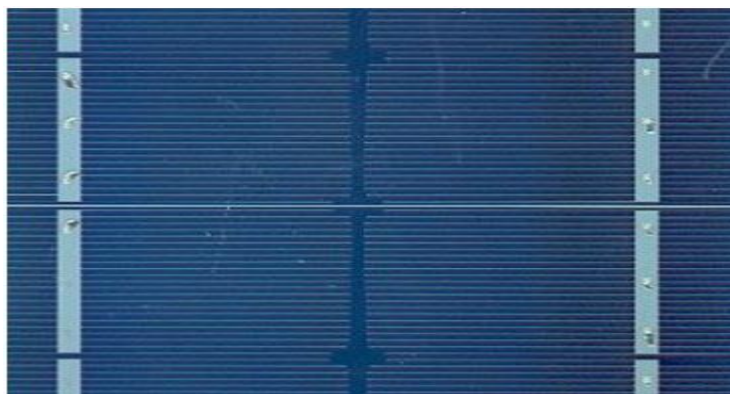


Figure I.7 : Cellule photovoltaïque monocristalline.

Avantage :

Très bon rendement (environ 150 Wc/m²)

Durée de vie importante (+/- 30 ans)

Inconvénients :

Coût élevé

Rendement faible sous un faible éclairement

I.3.5.3 Cellule en silicium poly cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux (Figure I.8).

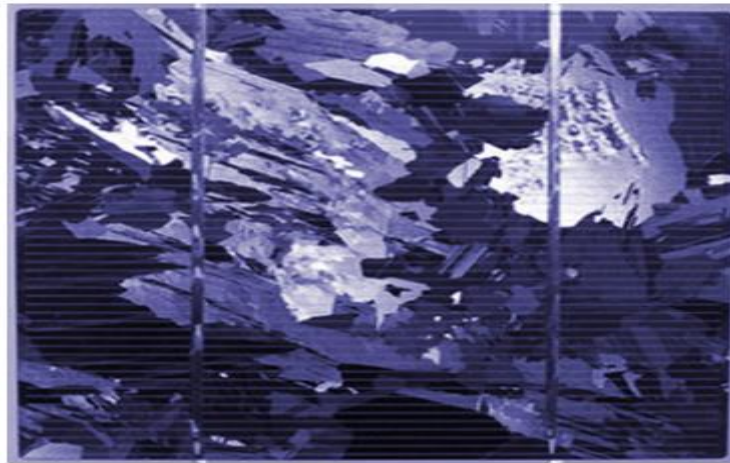


Figure I.8 : Cellule photovoltaïque poly cristalline.

Avantage :

Bon rendement (environ 100 Wc/m²)

Durée de vie importante (+/- 30 ans)

Meilleur marché que le monocristallin

Inconvénients :

Rendement faible sous un faible éclairement.

I.3.5.4 Cellule sans silicium en couche mince CIS :

Les cellules CIS (Figure I.9) représentent la nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type cuivre-indium-sélénium (CIS). Les matières premières nécessaires à la fabrication des cellules CIS sont plus faciles à se procurer que le silicium

utilisé dans les cellules PV classiques. De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules PV en couche mince [7].

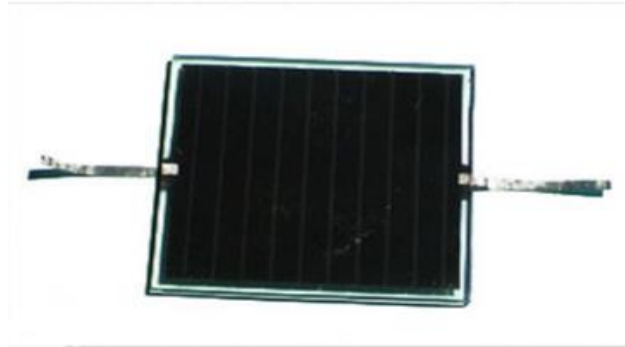


Figure I.9 : Cellule photovoltaïque de type cuivre - indium - sélénium (CIS).

Avantage :

Permet d'obtenir les meilleurs rendements par rapport aux autres cellules PV en couche mince

Permet de s'affranchir du silicium

Les matériaux utilisés ne causent pas de problème de toxicité

La cellule peut être construite sur un substrat flexible

Inconvénients :

Les cellules en couche mince nécessitent une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses

I.3.5.5 Cellule silicium amorphe en couche mince

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron (Figure I.10). C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires" [7].

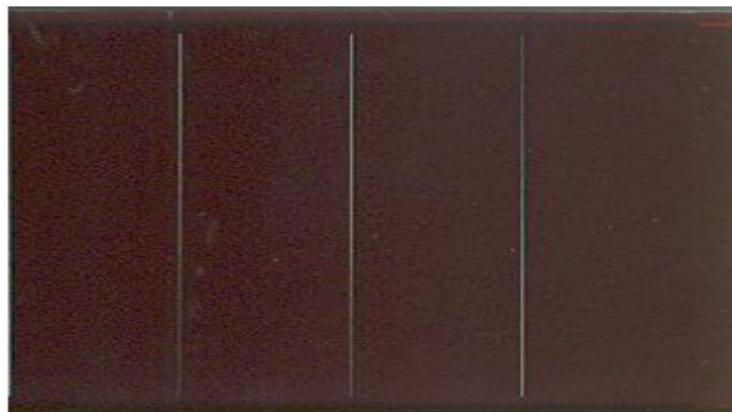


Figure I.10 : Cellule photovoltaïque amorphe.

Avantage :

Fonctionnent avec un éclairage faible

Bon marché par rapport aux autres types de cellules

Moins sensible aux températures élevées

Inconvénients :

Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m²), les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses

Durée de vie courte (+/- 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps

I.3.5.6 Cellule CZTS (cuivre zinc étain soufre)

Toujours en phase de développement et donc pas encore commercialisées, les cellules CZTS, fabriquées à partir de minerais non toxiques - contrairement au silicium - ont l'avantage d'être fines, et peuvent donc s'appliquer sur des supports souples.

Les cellules CZTS (Figure I.11) font partie de la catégorie des cellules solaires « en pellicule fine », qui constituent la nouvelle génération de la technologie solaire. Ces cellules solaires aussi minces qu'une pellicule de film sont fabriquées en apposant une mince couche de matériau absorbant l'énergie solaire sur un support comme le verre ou le plastique, qui a l'avantage d'être flexible.

L'équipe du Dr XiaojingHao de l'Australian Centre for Advanced Photovoltaics a réussi à obtenir en avril 2016 un rendement record de 7,6 % pour des cellules d'un cm². Ces résultats sont en constante amélioration. L'équipe obtenait un rendement de 5,5% en 2013, et de 6,6 % en 2015. L'objectif est d'atteindre les 20%, ce qui permettrait la mise sur le marché de cette technologie.

Les CZTS présentent de nombreux avantages. Elles sont fines, et mesurent à peine 1 à 5 µm d'épaisseur, alors que les cellules au silicium en font 200 à 350 µm. Actuellement, près de 90% des panneaux installés sont composés de cellules au silicium, ayant un rendement moyen de 21%. Les cellules fines CZTS peuvent être utilisées sur tous types de supports, contrairement aux cellules au silicium, ce qui permet de concevoir des surfaces incurvées, transparentes, ou en superposition d'autres matériaux. [9]

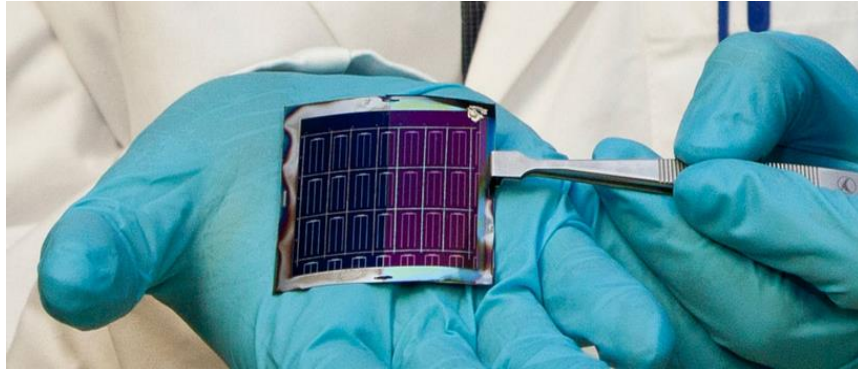


Figure I.11 : Cellule CZTS (cuivre zinc étain soufre).

Avantage :

Utilisation de matières premières courantes et non toxiques

Applicable sur des supports flexibles

Inconvénients :

Fiabilité inconnue

Rendement moyen

I.4 Chaînes de conversion photovoltaïque

La chaîne de conversion solaire PV ou tout court le système PV comporte en plus de l'élément principal qui est le générateur PV, qui représente plus de 20% du coût total de la chaîne [5], des éléments secondaires comme le système de stockage ainsi que l'étage d'adaptation de puissance. Généralement le système de stockage comprend un ou plusieurs batteries rechargeables.

Les batteries sont coûteuses et doivent être choisies avec prudence. Pour l'étage d'adaptation n'est autre qu'un convertisseur statique DC/DC ou DC/AC qui peut faire la régulation de charge de la batterie et/ou la poursuite du PPM du GPV. La durée de vie des modules PV est entre 20 et 30 ans, en l'occurrence de celle des batteries qui atteint 8 à 10 ans. Les systèmes peuvent être conçus pour des puissances très variables (allant de 20 Wc pour un système de signalisation routier jusqu'à plus de 100 MWc pour une centrale connectée au réseau).

Les systèmes PV peuvent être autonomes ou connectés aux réseaux publics, comme on peut rajouter aux GPV d'autres sources, par exemple éoliennes et/ou groupes électrogènes

pour éviter le surdimensionnement des panneaux et des batteries. Dans ce cas, le système PV est devenu système hybride. En dehors des applications spatiales à l'origine du développement des techniques PV et des applications en électronique (alimentation de calculatrice, de montres...), on trouve deux grandes familles d'applications :

- Les générateurs autonomes pour l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées du réseau de distribution (habitat, relais hertzien, pompage, balisage en mer, électrification rurale des pays sous-développés...) ont des puissances généralement moins de 100 kWc.
- Les centrales PV connectées au réseau (en très fort développement dans les pays industrialisés) ont atteint plus de 300 MWc en janvier 2014.

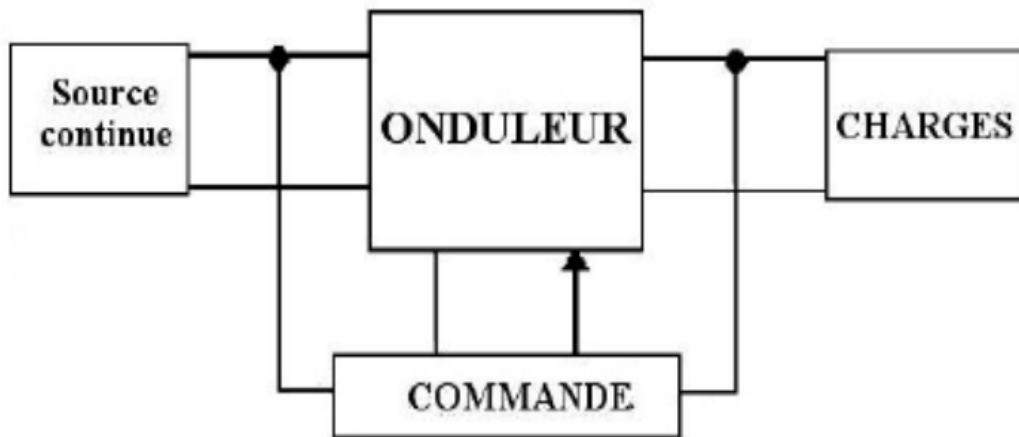


Figure I.12 : Chaîne de conversion photovoltaïque.

I.4.1 Systèmes PV autonomes

Pour les installations autonomes, les systèmes PV fonctionnent indépendamment des réseaux électriques : l'énergie produite par les panneaux solaires PV est utilisée immédiatement (pompage d'eau, ventilation, ...etc.) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou transformé en 230 V alternatif via un onduleur.

La configuration la plus simple des systèmes autonomes est le couplage direct où le GPV est directement connecté à la charge continue (Figure I.13). Dans cette connexion, la charge ne peut être opérationnelle que pendant les périodes d'ensoleillement suffisant. Ce qui

est faisable pour des applications qui ne nécessitent pas un fonctionnement la nuit ou dans l'obscurité comme le pompage de l'eau.



Figure I.13 : Couplage direct GPV-charge.

Pour des applications qui ont besoin de l'énergie électrique même la nuit et lors des moments d'obscurité, un système de stockage peut être ajouté au système. L'énergie produite par le dispositif solaire est emmagasinée dans l'accumulateur d'énergie en vue d'être utilisée au moment du manque de l'éclairage. En effet, c'est presque toujours la batterie qui dure le moins longtemps dans une application solaire. Alors, en vue d'améliorer la durée de vie d'une batterie, on doit empêcher la surcharge (éviter que la tension dépasse un certain seuil) et la décharge profonde (éviter que la batterie soit vidée de plus de 60% de sa charge). Cela est possible par le biais d'un contrôleur de charge. Ainsi, quand l'énergie produite est supérieure à l'énergie consommée, l'excédent d'électricité est stocké dans les batteries jusqu'à ce que la limite de charge des batteries soit atteinte. Inversement, quand l'énergie produite est inférieure à l'énergie consommée, les batteries fournissent la quantité d'énergie manquante jusqu'à la limite de décharge des batteries : un régulateur charge-décharge est alors indispensable. A titre d'exemple, quand la tension aux bornes de la batterie atteint 14,5 V (seuil haut typique pour une batterie au Plomb de 12 V nominale), le régulateur coupe la liaison panneau-batterie. Cette charge est rétablie vers 13,5 V. De même, quand la tension atteint 11,5 V (seuil bas typique pour 12V), le régulateur coupe la liaison batterie-utilisation, mettant ainsi la charge électrique hors service jusqu'à ce que la tension batterie soit revenue à un niveau de 12,5 V. Il rétablit alors l'utilisation

Les architectures les plus courantes des systèmes PV autonomes avec stockage d'énergie alimentant à la fois des charges DC et AC sont illustrées dans les (figures I.14) et

(I.15) La seule différence entre les deux réside dans le fait que la sortie du GPV est connectée à un convertisseur DC/AC pour la première, et à un convertisseur DC/DC pour la seconde.

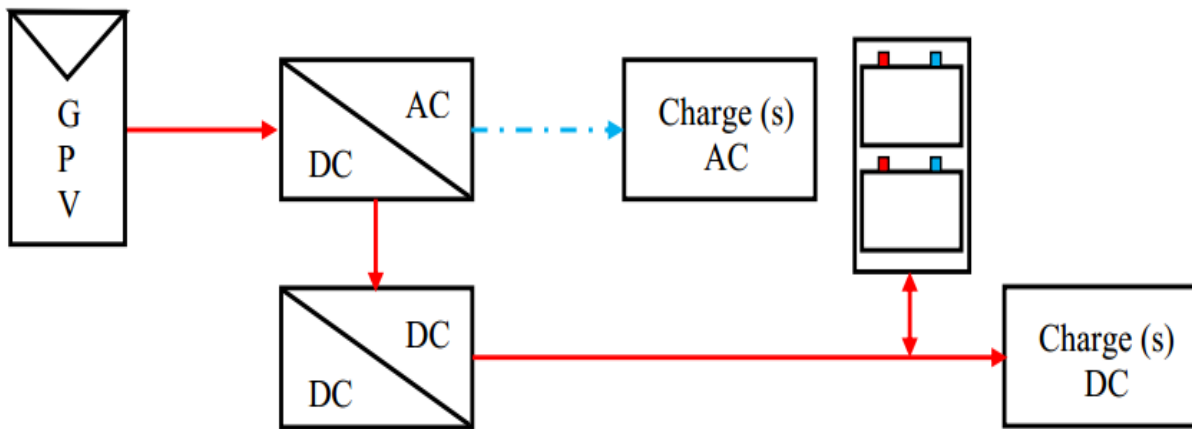


Figure I.14 : Système PV autonome alimentant des charges DC et AC (étage 1 est DC/AC).

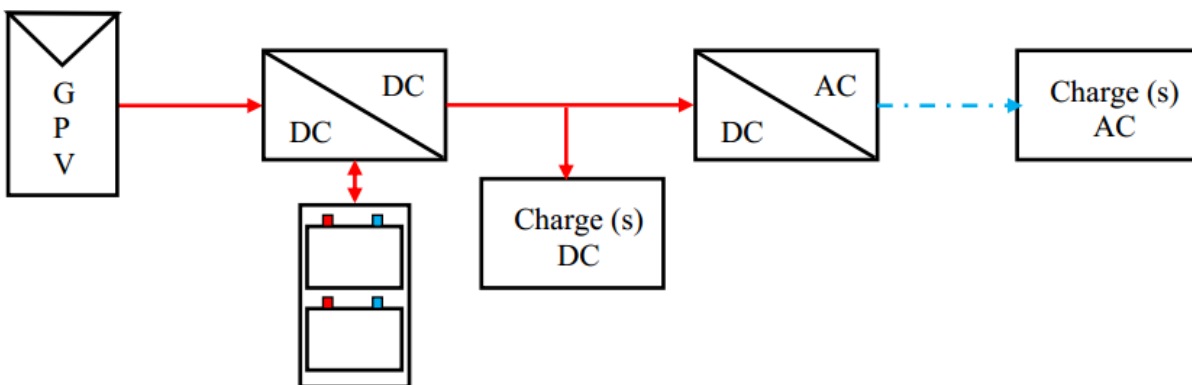


Figure I.15: Système PV autonome alimentant des charges DC et AC (étage 1 est DC/DC).

I.4.2 Systèmes PV connectés aux réseaux

Trois types de systèmes sont généralement connus dans les applications PV.

- (Figure I.16) montre un exemple typique de grande centrales PV qui ont pour objectif la fourniture d'électricité en haute (50 à 400 kV) ou en moyenne tension (3 à 50 kV) aux réseaux électriques (Grid dans la littérature Anglo-Saxonne). La totalité de l'énergie produite sera vendue et les charges sur place seront alimentées par le réseau public.

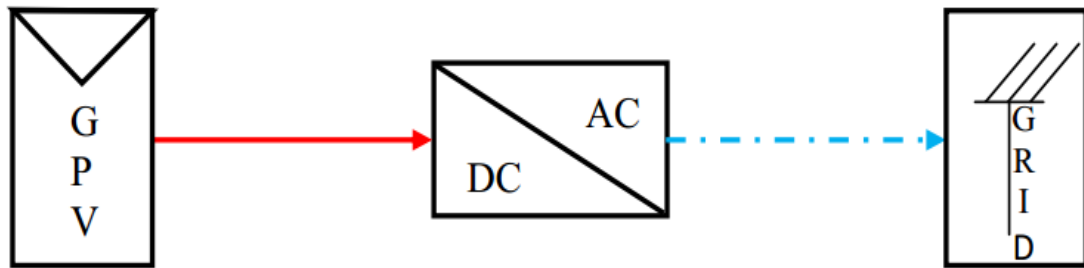


Figure I.16 : Système PV raccordé au réseau central.

- (Figure I.17) présente un exemple d'installation raccordé au réseau et produisant de l'électricité au lieu même de consommation tout en évitant les pertes de transport et de distribution. Dans ces systèmes, on peut être dispensé du coûteux et problématique stockage d'énergie. D'autre part, si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins.

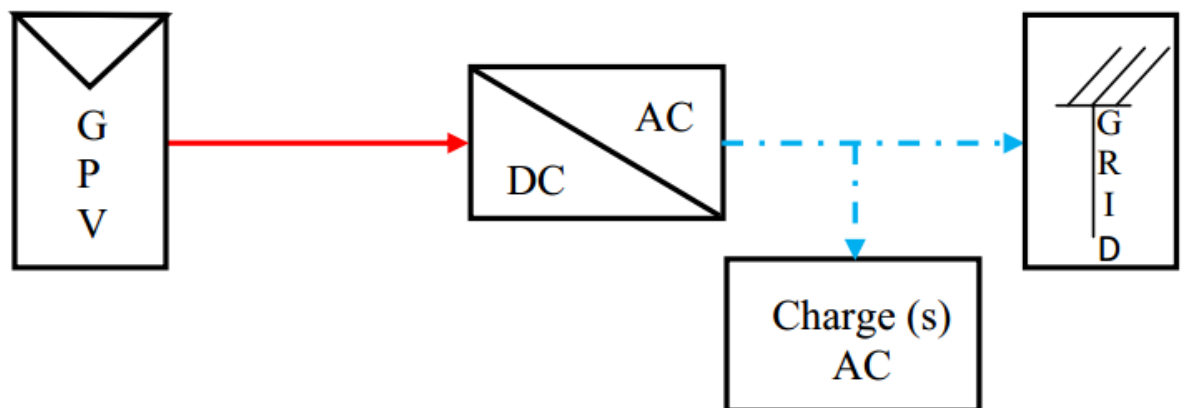


Figure I.17: Système PV raccordé au réseau sans stockage d'énergie.

- (Figure I.18) Cette topologie est connectée au réseau et en même temps admet un système de stockage qui peut être utile en cas de panne. L'énergie produite alimente les usagers sur place, le surplus sera stocké dans des batteries jusqu'à la limite de charge et puis ce qui reste sera injecté dans le réseau. Dans le cas où la production et le stockage ne suffisent pas pour approvisionner toutes les charges, on fait appel au réseau public.

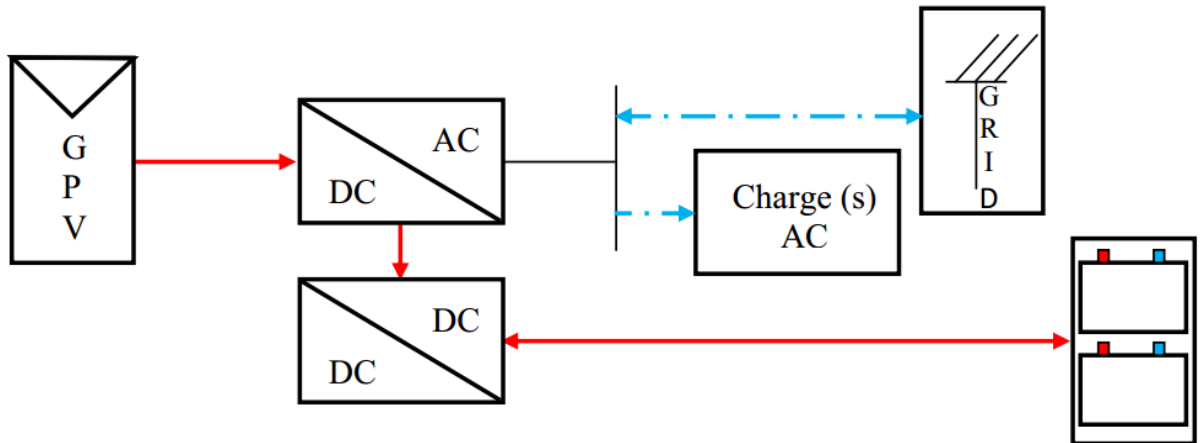


Figure I.18: Système PV raccordé au réseau avec stockage d'énergie

Il faut noter que l'utilisation de système de stockage dans les systèmes PV raccordés au réseau est interdite dans quelques pays européens comme l'Espagne et la France et est autorisé dans d'autres pays et les USA [14]. De plus, les réseaux triphasés sont préférés par rapport aux réseaux monophasés à cause de leurs avantages techniques et économiques. D'une part, un réseau triphasé avec neutre permet de proposer deux tensions d'utilisation différentes, 230 V entre phase et neutre ou 400 V entre deux phases et d'autre part, on peut réduire la section des câbles par deux en utilisant le triphasé.

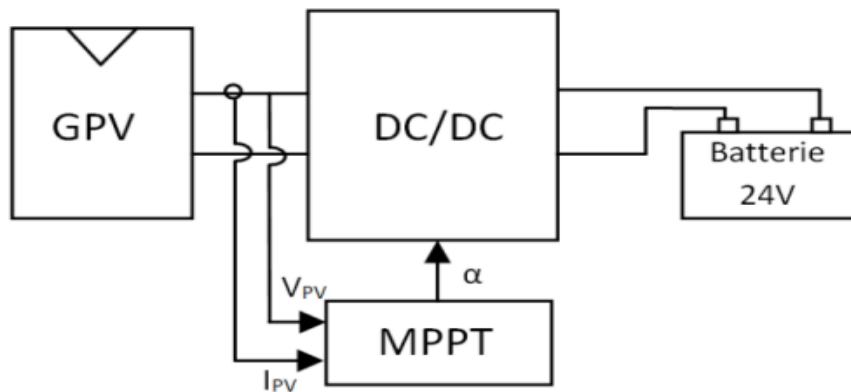



Figure I.19: Schéma de principe d'une connexion à travers un convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT

I.5 Conclusion

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par la cellule photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

Ce chapitre a présenté la définition de l'effet photovoltaïque, comment la cellule PV fonctionne ainsi que ses différentes technologies. Les différentes configurations des systèmes PV, les systèmes autonomes et les systèmes raccordés au réseau public sont aussi illustrés.

Chapitre II



**Modélisation de la
chaîne de conversion
avec la commande**

II.1 Introduction

Le présent chapitre a pour objectif la modélisation mathématique du système PV global comportant un module solaire alimentant une charge continue à travers un convertisseur MPPT. Le convertisseur électronique à MPPT est un convertisseur DC-DC doté d'une commande pour la poursuite du point de puissance maximale. Tout d'abord, on cite les topologies de base des convertisseurs DC-DC, ainsi que quelques techniques MPPT les plus utilisées. Ensuite, on passe aux modèles mathématiques nécessaires à l'étude du comportement et de la simulation du système PV choisi.

II.2 Installation photovoltaïque autonome

Un système ou une installation PV autonome est une chaîne d'alimentation électrique, constitué d'un seul ou de plusieurs panneaux solaires, d'un ensemble de batteries pour le stockage d'énergie électrique, d'un ou de plusieurs convertisseurs DC/DC(continu-continu) pour fournir les tensions d'alimentation adéquates pour les batteries et les charges continues, la commande MPPT qui génère le rapport cyclique du convertisseur DC/DC pour la poursuite du point de puissance maximale, et d'un convertisseur DC/AC(continu-alternatif) pour l'alimentation des autres appareils à courant alternatif. La (figure II.1) présente ce type de système :

- Les panneaux photovoltaïques : sont la source d'alimentation de l'installation
- Le convertisseur DC/DC (hacheur): permet d'obtenir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.
- La commande MPPT : permet d'extraire la puissance maximale produite par les modules photovoltaïques quelque soit les conditions de fonctionnement.
- L'onduleur ou le convertisseur DC/AC sert d'interface entre la source PV continue et les charges alternatives si elles existent.

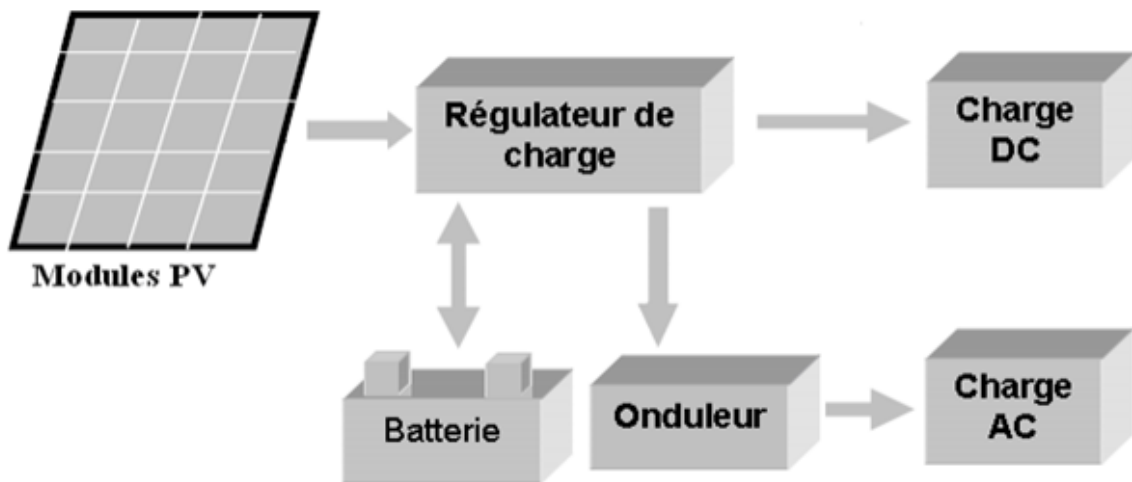


Figure II.1: Schéma du système PV autonome.

II.3 Les Convertisseurs DC/DC

Le convertisseur DC-DC (hacheur) utilisé généralement dans les systèmes PV est soit [15]:

- hacheur série (Buck Converter)
- hacheur parallèle (Boost Converter)
- hacheur série-parallèle (Buck-Boost Converter, Cuk Converter, Sepic Converter, etc)

Le choix du type de hacheur dépendra des batteries dans lesquelles nous stockerons l'énergie.

Le rendement de conversion de puissance des convertisseurs statiques est généralement élevé pour éviter la dissipation de la puissance et pour éviter les échauffements excessifs dans les composants électroniques. Pour cette raison toute la conversion de puissance échangée doit être réalisée autour des composants de stockage d'énergie (inductance et condensateurs) et les commutateurs. Les commutateurs de puissance utilisés dépendent du niveau de la puissance à convertir ou à commander. Les MOSFETS (transistors à effet de champ d'oxyde de métal) sont habituellement utilisés à la puissance relativement basse (quelques kW) et les IGBTs (transistors bipolaires à gâchette isolée) à des puissances plus élevées. Les thyristors ont été généralement utilisés et acceptés dans les plus hauts niveaux de puissance.

II.3.1 Hacheur série

Le hacheur série est un convertisseur DC/DC dont l'interrupteur commandable est en série avec la source d'alimentation (Figure II.2), il permet de transférer l'énergie d'une source de tension fixe vers une charge de type courant (résistive, inductive, induit de MCC). La tension de sortie V_o est donnée en fonction de la tension PV V_{pv} par [16]:

$$V_o = d.V_{pv} \tag{II.1}$$

Avec d est le rapport cyclique du convertisseur ($0 < d < 1$)

Alors, le convertisseur Buck produit une tension égale ou inférieure à la tension d'entrée.

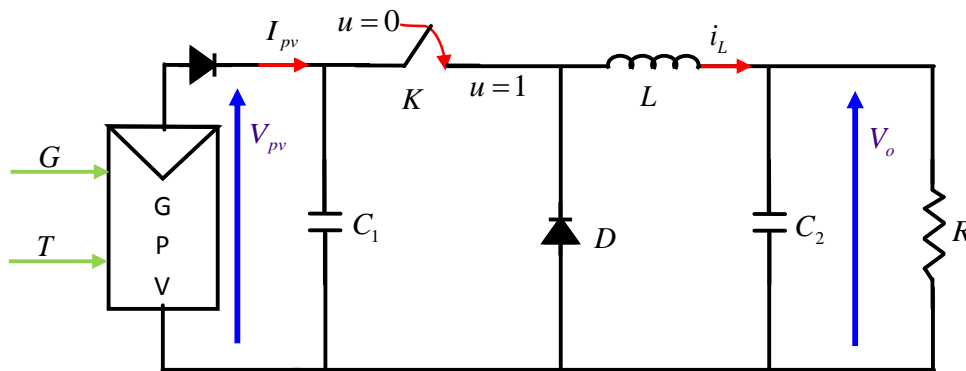


Figure II.2 : Circuit du convertisseur Buck.

II.3.2. Hacheur parallèle

Le hacheur parallèle est un convertisseur DC/DC dont l'interrupteur commandable est en parallèle avec la source d'alimentation, il permet de transférer l'énergie d'une source de courant (inductance en série) vers une charge de type source de tension (condensateur en parallèle). La tension de sortie V_o est donnée en fonction de la tension d'entrée V_{pv} par [17]:

$$V_o = \frac{1}{1-d} V_{pv} \tag{II.2}$$

Le convertisseur Boost produit une tension de sortie supérieure ou égale à la tension d'entrée car d se situe théoriquement entre 0 et 1 et pratiquement entre 0.1 et 0.9.

La (figure II.3) Présente la structure du convertisseur Boost.

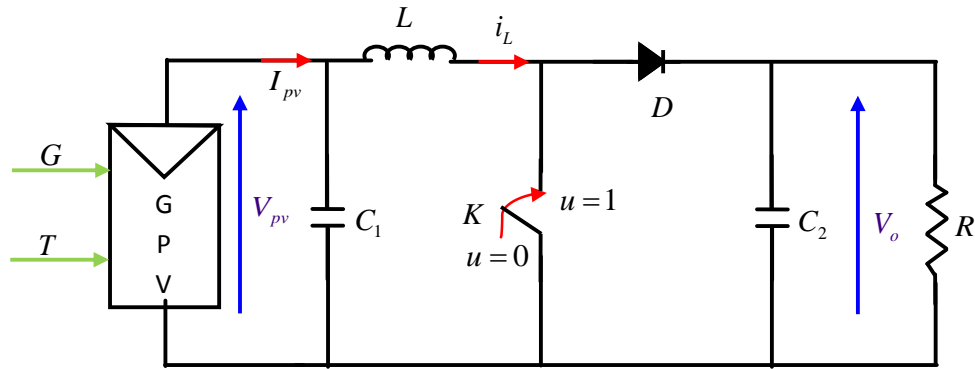


Figure II.3 : Circuit du convertisseur Boost.

II.3.3 Hacheur série-parallèle

Le hacheur série-parallèle est un convertisseur DC/DC qui permet l'échange de puissance entre une source d'entrée de type tension continue (filtrage capacitif en parallèle) et une charge de sortie continue de type source de tension (condensateur en parallèle avec la charge résistive). La tension de sortie V_o est donné en fonction de la tension d'entrée V_{pv} par :

$$V_o = \frac{d}{1-d} V_{pv} \quad (\text{II.3})$$

Le convertisseur Buck-Boost produit une tension de sortie qui peut être soit supérieure (pour $d > 0.5$) ou inférieure (pour $d < 0.5$) à la tension de source.

La (figure II.4). Présente la structure du convertisseur Buck-Boost.

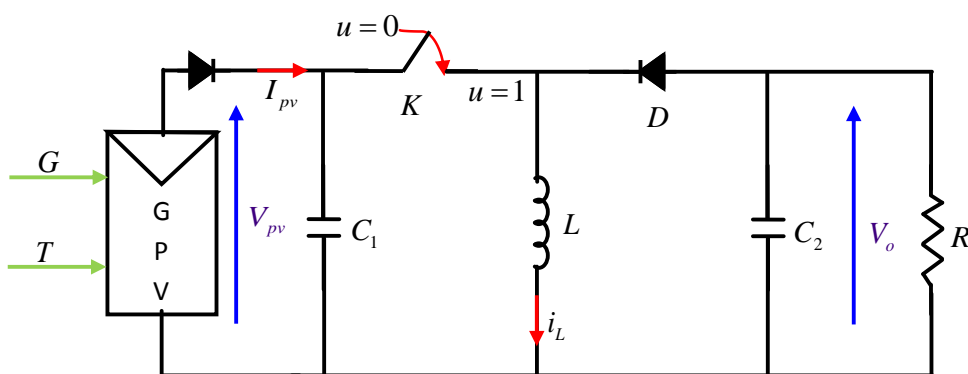


Figure II.4 : Circuit du convertisseur Buck-Boost.

II.4 Les commande MPPT

Il existe un grand nombre de publications scientifiques qui présentent des commandes de suivi du point de puissance maximale (PPM) plus ou moins complexes. Il ya des méthodes

classiques et des méthodes intelligentes, parmi les méthodes classiques on cite la méthode de perturbation et observation (P&O), incrémentation de la conductance (IncCond), méthode de fraction de la tension du circuit ouvert, méthode de fraction du courant de court circuit, etc.

Parmi les méthodes intelligentes, on cite la méthode basée sur la logique floue, réseaux de neurones, mode glissant, algorithme génétique,...

Ces méthodes sont basées sur des algorithmes de recherche itérative pour trouver le mode de fonctionnement optimale du module solaire pour que la puissance générée soit maximale en permanence sans interruption de fonctionnement du système. La puissance extraite du module est calculée à partir des mesures de courant I et de tension V du module et la multiplication de ces deux grandeurs $P_{pv} = I_{pv} * V_{pv}$. Ces mesures sont utilisées par diverses méthodes qui poursuivent le PPM réel.

La puissance délivrée par un GPV dépend fortement du niveau d'ensoleillement, de la température des cellules, de l'ombrage et aussi de la nature de la charge alimentée. Elle est de ce fait très imprévisible. La courbe caractéristique de puissance du GPV présente un point de puissance maximale PPM (Maximum Power Point en Anglais) correspondant à un certain point de fonctionnement de coordonnées V_{ppm} pour la tension et I_{ppm} pour le courant.

Vu que la position du PPM dépend du niveau d'ensoleillement et de la température des cellules, elle n'est jamais constante dans le temps.

II.4.1 La méthode de perturbation et observation (P&O)

Le principe de la commande P&O consiste à inciter une perturbation de faible valeur sur la tension V_{pv} , ce qui engendre automatiquement une variation de la puissance [18]. La (figure II.5), montre que si une augmentation de la tension provoque un accroissement de la puissance, le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM, si au contraire la puissance décroît, il est à droite. De la même manière, on peut faire un raisonnement pour une diminution de la tension. En résumé, pour une perturbation de la tension, si la puissance augmente, la direction de la perturbation est maintenue. Si non, elle est inversée pour que le point de fonctionnement converge vers le PPM.

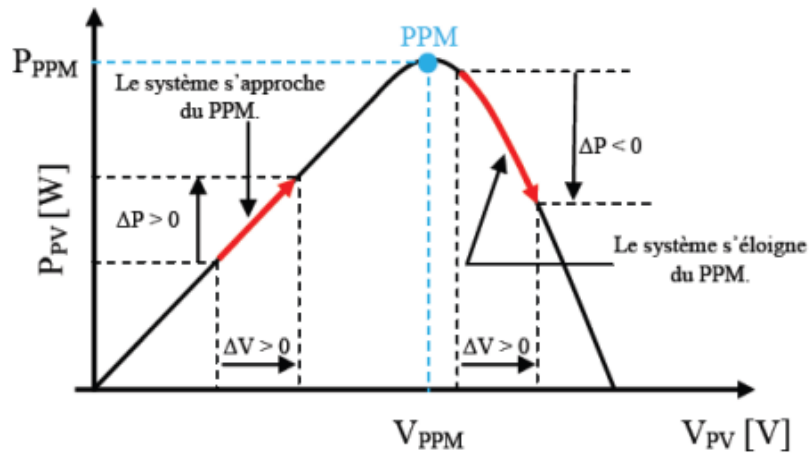


Figure II.5: Le principe de l'algorithme P&O.

L'organigramme de cette commande P&O est illustré sur la (figure II.6), il indique qu'il faut deux capteurs pour mesurer les valeurs de la tension et du courant. A cause de son implémentation simple, la méthode P&O est habituellement utilisée malgré qu'elle présente des problèmes d'oscillations autour du PPM. En plus, et pour des variations brusques des conditions climatiques ou/et de la charge, cette méthode présente parfois des erreurs d'interprétation dans la direction qu'il faut suivre pour atteindre le PPM.

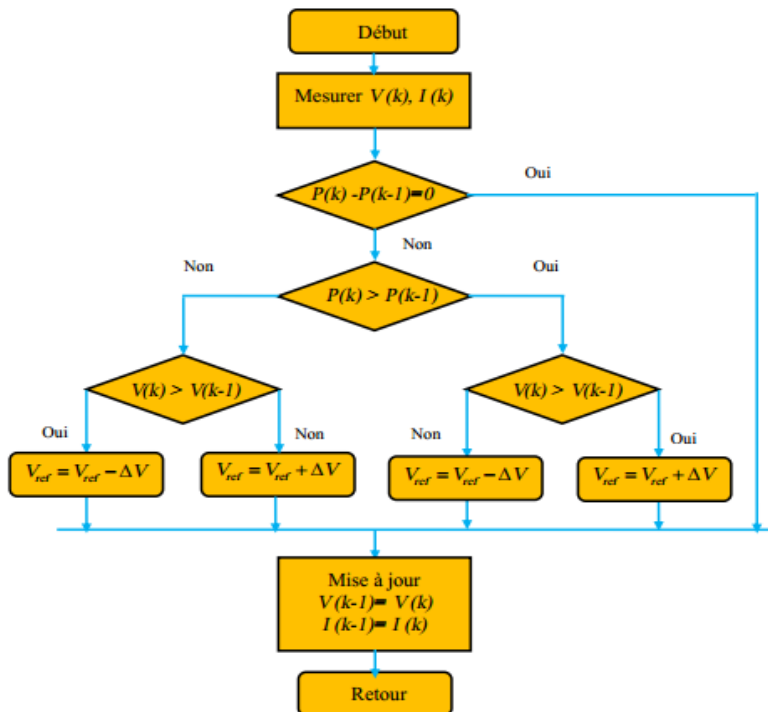


Figure II.6: Algorithme de la méthode P&O.

II.4.2 La technique Incrémentation de la conductance (IncCond)

Le principe de cette méthode (figure II.7) est basée sur la comparaison entre la conductance et la variation de la conductance (incrément) du module PV qui sont définies respectivement par:

$$G = \frac{I_{pv}}{V_{pv}} \tag{II.4}$$

$$dG = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \tag{II.5}$$

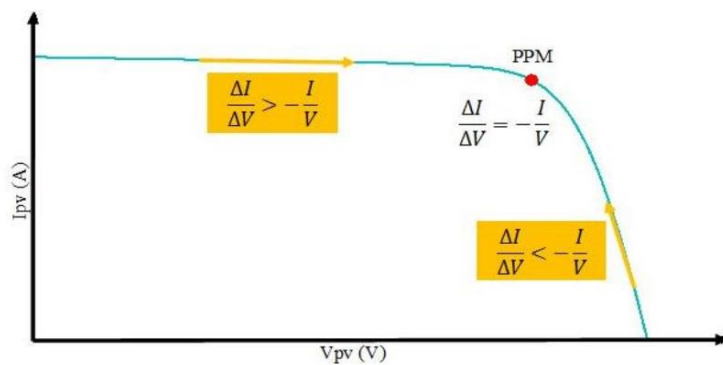


Figure II.7: Le principe de commande IncCond.

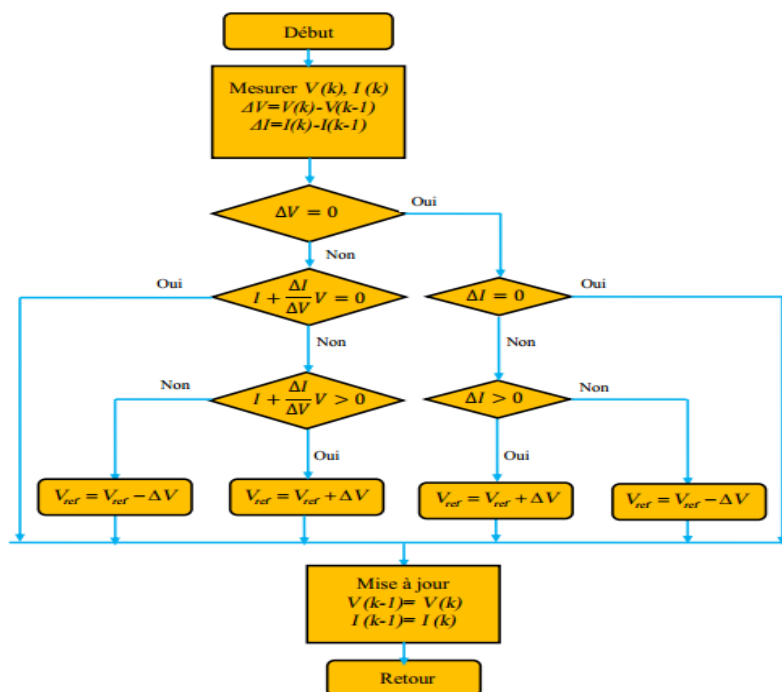


Figure II. 8: L'organigramme de la méthode IncCond.

La dérivée de la puissance peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = \frac{d(I_{pv} * V_{pv})}{dV_{pv}} = I_{pv} * \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} * \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} * \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (\text{II. 6})$$

La (figure II.8) montre l'organigramme de cette méthode, où V_{ref} représente la tension de référence.

II.4.3 La commande par Mode Glissant (SMC)

La méthode SMC (Sliding Mode Control) est une commande non linéaire introduit initialement pour le contrôle des systèmes à structure variable. Ses capitaux privilèges sont la robustesse, facile à mettre en œuvre et la stabilité. Ces possessions font que cette loi de commande est adaptée à de nombreuses applications industrielles. La méthode SMC est du type tout ou rien, le signal généré est soit 1 ou 0. Donc, l'état du système définit l'état de commutation de l'organe de contrôle. L'idée est de diviser l'espace d'état par une frontière de décision appelée surface de glissement, qui délimite deux sous espaces correspondant à deux états possibles de l'organe de commande. La stabilisation sur la surface de glissement est obtenue à l'aide d'une commutation à chaque franchissement de la frontière de décision (Figure II.9).

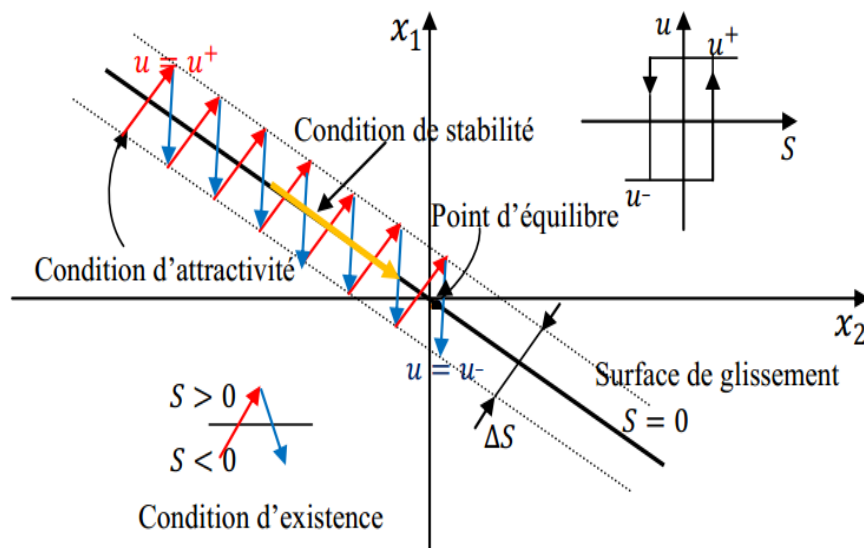


Figure II.9:Plan de phase en mode glissant [19].

Le SMC repose donc essentiellement sur l'utilisation d'une commande discontinue ayant pour but de maintenir l'évolution du système sur une surface de commutation (surface

de glissement) judicieusement choisie. La synthèse doit donc viser à rendre la surface de glissement attractive (condition d'attractivité) depuis tout point de l'espace d'état. Une fois la surface atteinte, il faut assurer le glissement le long de cette surface (condition de glissement) et la stabilité du système (condition de stabilité). En d'autre terme, il faut trouver la condition pour laquelle la dynamique du système glisse sur la surface vers le point d'équilibre désiré. La forme d'une commande à structure variable peut être donnée par :

$$\begin{cases} u_i = u^+ & \text{si } s_i(x) > 0 \\ u_i = u^- & \text{si } s_i(x) < 0 \end{cases} \quad (\text{II.7})$$

Avec $(i = 1, \dots, m)$: les composantes du vecteur de commande.

Sur la surface, la dynamique du système est indépendante de celle du processus initial, ce qui implique que ce type de contrôle entre dans le domaine des commandes robustes. Ces notions de stabilité sont démontrées en tenant compte du principe de stabilité suivant le critère de LYAPUNOV (théorème 1) rappelé ci-dessous.

Théorème 1 :

Soit $V(x)$ une fonction différentiable de \mathbb{R}^n dans \mathbb{R}^n , dite fonction de Lyapunov, qui satisfait les conditions suivantes :

$$\begin{cases} V(0) = 0 \\ V(x) > 0 & \forall x \neq 0 \\ V'(x) \leq 0 & \forall x \neq 0 \end{cases} \quad (\text{II.8})$$

Si ces trois conditions sont satisfaites, $x=0$ est un point d'équilibre stable. Si la dernière condition devient $V'(x) < 0$ pour $x \neq 0$, le point $x=0$ est asymptotiquement stable.

Dans le cas de la commande par mode glissant, cette fonction de LYAPUNOV est déduite à l'aide d'une pseudo-sortie qui est la surface de glissement $S(x,t)=0$.

La mise en œuvre de la commande SMC repose sur deux étapes: le choix de la surface de glissement et la détermination de la loi de commande.

Une forme générale des surfaces de glissement a été proposée dans la référence.

$$S(x) = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \lambda_x \right)^{r-1} e(x) \quad (\text{II.9})$$

Où: $e(x)$: Écart de la variable à régler, $e(x) = x_{\text{ref}} - x$

λ_x : est un scalaire qui représente la pente de la surface de glissement.

r : Degré relatif, nombre de fois qu'il faut dériver la sortie pour apparaître la commande.

$S(x)=0$: est une équation différentielle linéaire dont l'unique solution est $e(x)=0$.

La surface $S(x)$ représente le comportement dynamique désiré du système

La détermination de la loi de commande comporte deux termes : Le premier concerne la linéarisation exacte (U_{eq}) et le deuxième est stabilisant (U_n). Ce dernier est très importante dans le réglage par mode glissant. Il permet d'éliminer les effets d'imprécisions du modèle et de rejeter les perturbations extérieures

$$U = U_{eq} + U_n \quad (\text{II.10})$$

U_{eq} Correspond à la commande proposée par Filipov. Elle sert à maintenir la variable à contrôler sur la surface de glissement $S(x) = 0$ La commande équivalente est déduite, en considérant que la dérivée de la surface est nulle $S'(x)=0$.

La commande discrète U_n est déterminée pour vérifier la condition de convergence en dépit de l'imprécision sur les paramètres du modèle du système.

La solution la plus simple vérifiant cette condition est donnée par la fonction signe illustrée à la (Figure II.10).

$$U_n = k \text{sign}(S(x)) \quad (\text{II.11})$$

Où k est un gain.

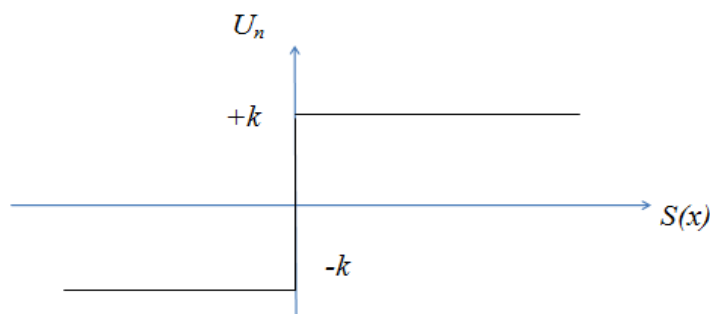


Figure II.10: Représentation de la fonction signe.

Le phénomène de broutement (chattering en anglais) est le principal inconvénient de cette commande. En régime permanent, ce dernier apparaît comme une oscillation de haute fréquence autour du point d'équilibre, à cause de la nature très discontinue de la fonction signe. Ce phénomène de chattering est un sérieux obstacle pour les applications de commande par mode glissant, car les oscillations dues à ce phénomène peuvent nuire le fonctionnement du circuit de puissance.

II. 5 Description et modélisation du système photovoltaïque choisi

II. 5. 1 Description du système photovoltaïque

Le système solaire PV autonome est composé de trois parties essentielles; le PVG sensible aux conditions météorologiques, un convertisseur de puissance DC/DC et la technique MPPT qui jouent le rôle d'adaptation d'impédance (optimisation), et enfin on a une charge résistive (R), et cette charge peut ne pas être résistive mais charge inductive ou capacitive (Figure II.11).

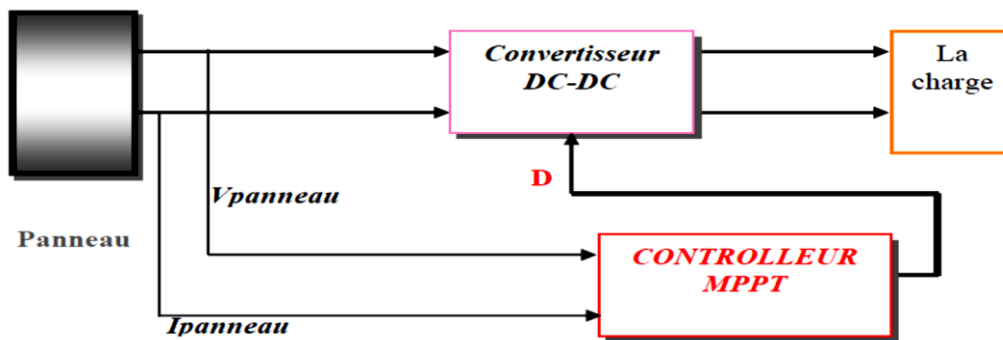


Figure II.11: Panneau solaire avec contrôleur MPPT.

II. 5. 2 Modélisation du système photovoltaïque

II. 5. 2. 1 Modélisation du module photovoltaïque

Pour établir un modèle mathématique d'un module PV, il faut tout d'abord chercher le circuit électrique équivalent illustrant le comportement physique de celui-ci. De nombreux modèles ont été développés par divers chercheurs. Le comportement de la cellule est très fortement non linéaire à cause des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations.

La (figure II.12) présente le circuit électrique équivalent du modèle à une diode pour un module PV qui n'est qu'un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle. Le modèle consiste en un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, d'une diode en antiparallèle pour les phénomènes de polarisation, une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle R_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.

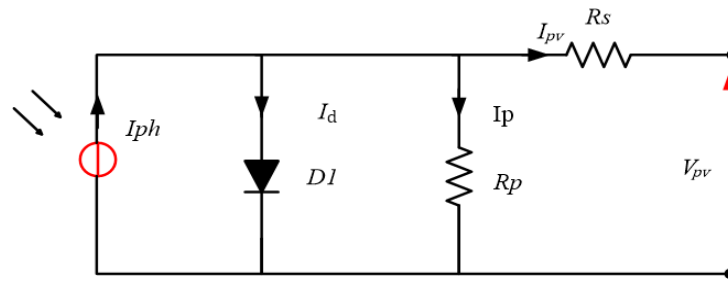


Figure II.12:Circuit électrique équivalent d'un module PV.

En appliquant la loi des nœuds de Kirchhoff, on peut écrire :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_P \quad (\text{II.12})$$

Le courant qui passe dans la résistance parallèle est donné par l'expression (II.13) :

$$I_P = \frac{V_{PV} + I_{PV} \cdot R_S}{R_P} \quad (\text{II.13})$$

Le courant traversant la diode est donné par l'équation (2.3) :

$$I_D = I_s \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{nVT}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.14})$$

Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G). Ce courant correspond également au courant de court-circuit :

$$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{G}{1000} \right) \quad (\text{II.15})$$

La tension thermique donnée par l'expression (II.16)

$$V_T = \frac{KT}{e} \quad (\text{II.16})$$

Avec :

I_{pv} : Le courant fourni par la cellule.

V_{pv} : La tension à la borne de la cellule PV.

I_s : Le courant de saturation inverse d'une diode.

e : Charge d'électron ($1.602 \times 10^{-19} C$),

K : constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} J/K$)

Chapitre 02 : Modélisation de la chaîne de conversion avec la commande MPPT associée

n : Facteur de non idéalité de la jonction comprise entre 1 et 5 dans la pratique.

T : La température effective de la cellule en kelvin.

En utilisant les équations ci-dessus, on peut en déduire l'expression du courant délivré par la cellule photovoltaïque :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{nVT}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_p} \quad (\text{II.17})$$

Le modèle de l'expression (II.17) est nommé aussi « modèle implicite avec cinq paramètres » (I_{ph}, I_s, R_s, R_p, n).

En pratique, la caractéristique courant/tension ($I = f(V)$) de la cellule peut être construite, point par point, en utilisant une résistance ajustable.

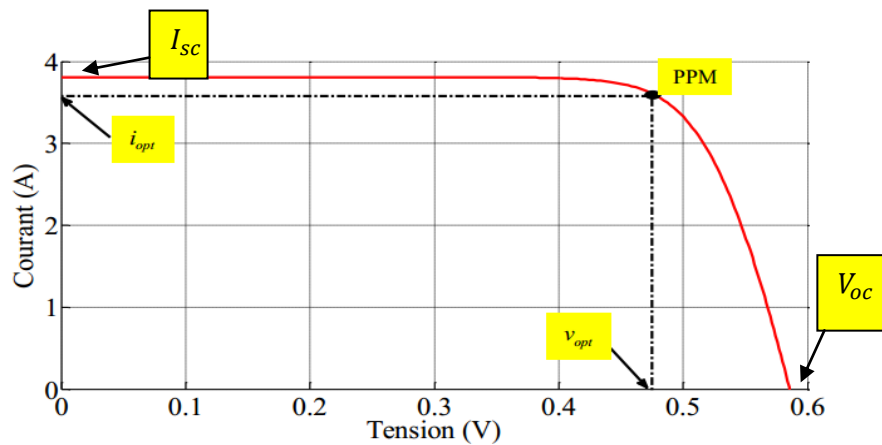


Figure II.13:Caractéristique I-V de la cellule PV.

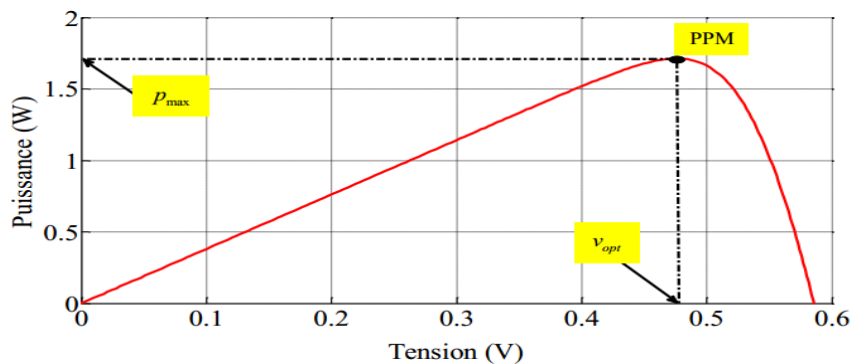


Figure II.14:caractéristique P-V de la cellule PV.

On peut conclure que la cellule PV présente une caractéristique I-V non linéaire allant du point de fonctionnement extrême correspondant au courant de court-circuit vers un autre point extrême correspondant à la tension en circuit ouvert tout en passant par le point de fonctionnement souhaité qui est le PPM. Trois modes de fonctionnement de la photopile peuvent être distingués en regardant sa caractéristique I-V. Cette cellule se comporte comme générateur de courant si sa tension est inférieure à 0,4 V. Elle a un fonctionnement de générateur de tension si son courant est moins de 3 A. Entre ces deux limites, on trouve le 3ème mode où se situe le point de fonctionnement optimal PPM.

II. 5. 2. 2 Modélisation du convertisseur type boost

Deux techniques servent pour la modélisation des convertisseurs statiques. Les modèles sont développés à l'aide du logiciel matlab/Simulink soit en utilisant les équations dynamiques des hacheurs, soit en se servant de la bibliothèque SimpowerSystems.

D'après la première méthode, le modèle mathématique du convertisseur boost est obtenu par l'application des lois des mailles et des lois des nœuds de Kirchhoff sur le circuit du hacheur, représenté en (figure II.3). Le hacheur admet deux régimes de fonctionnement selon l'état de l'interrupteur commandable (ouvert ou fermé). Nous devons faire la représentation du circuit équivalent par les deux états du commutateur et de tirer par la suite le modèle mathématique reliant les variables d'entrée à ceux de sortie. La (figure II.15) (a) montre la structure globale du convertisseur survolteur et les (figures II.15) (b&c) présentent les circuits équivalents dans les deux cas d'opération: l'interrupteur fermé pendant dT_s et l'interrupteur ouvert pendant $(1-d) T_s$.

La première séquence d'opération est lorsque l'interrupteur K est fermé ($0 < t < \alpha T_d$), le circuit du convertisseur devient celui de la (figure II.15)(b) et les équations qui régissent son fonctionnement sont :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{pv}}{L} \\ \frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_0}{RC_2} \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

La seconde séquence d'opération est lorsque l'interrupteur K est ouvert ($\alpha T_d < t < T_d$), le circuit du convertisseur devient celui de la (figure II.15) (c) et les équations qui régissent son fonctionnement sont :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{pv}}{L} - \frac{V_0}{L} \\ \frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_0}{RC_2} + \frac{i_L}{C_2} \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

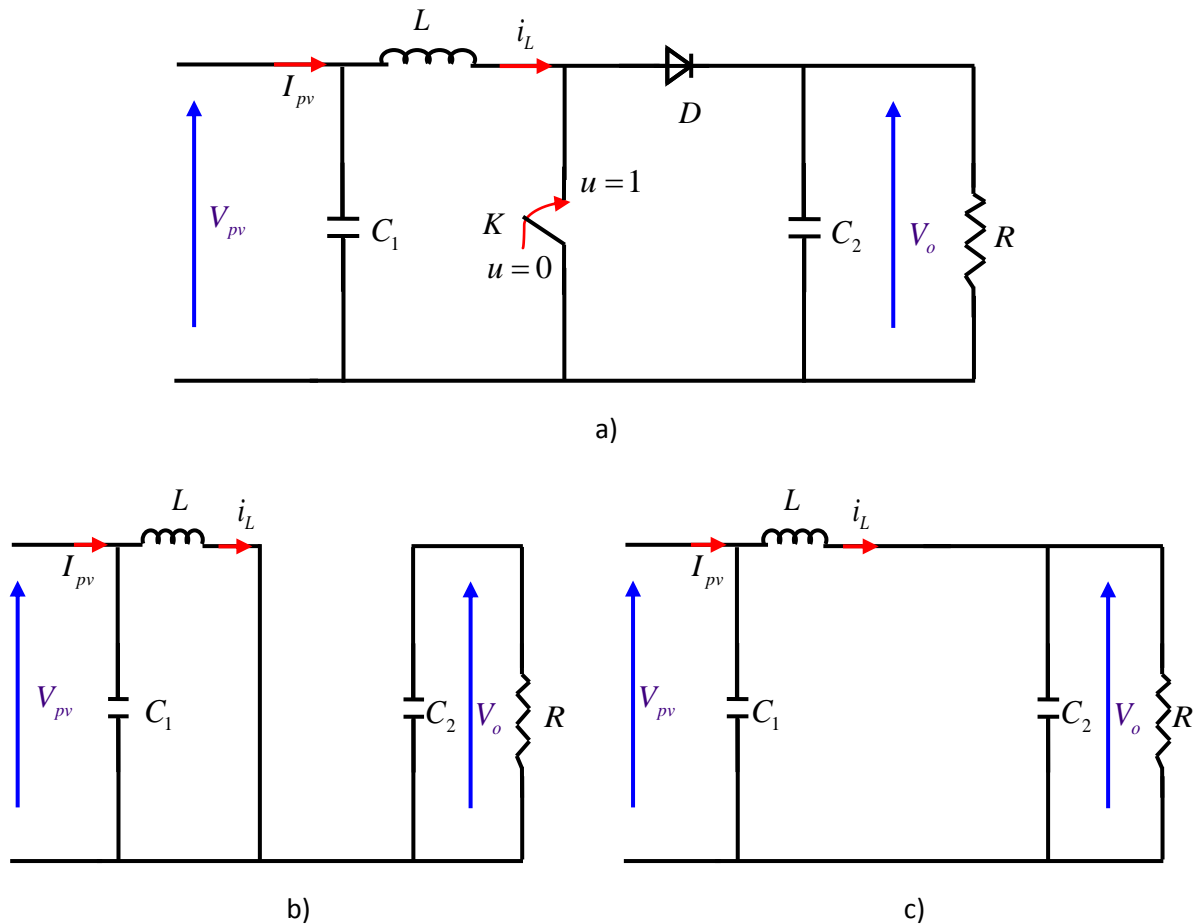


Figure II.15 : Schéma de base du convertisseur Boost a) structure globale, b) structure avec interrupteur fermé, c) structure avec interrupteur ouvert.

En combinant (1) et (2), les équations dynamiques de ce convertisseur peuvent s'écrire:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{pv} - V_0}{L} + \frac{V_0}{L} \cdot u \\ \frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_0}{RC_2} + \frac{i_L}{C_2} - \frac{i_L}{C_2} \cdot u \end{cases} \quad (\text{II.20})$$

où V_0 et i_L sont respectivement la tension du condensateur de sortie et le courant d'inductance. Le paramètre u est la position du commutateur.

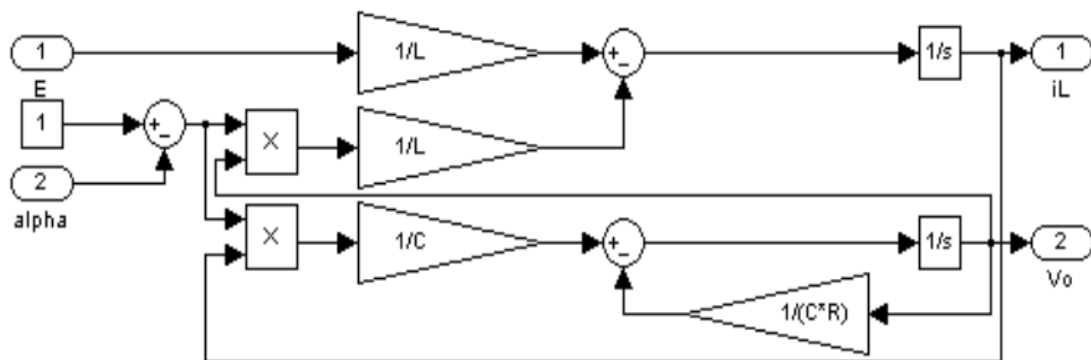


Figure II.16:Réalisation Simulink du convertisseur Boost.

Les paramètres du système sont : l'inductance de la bobine L en [H], la capacité du condensateur de sortie C_2 en [μ F] et la résistance de la charge R en [Ω]. Les variables d'état sont le courant dans la bobine et la tension aux bornes du condensateur C_2 . Le signal de contrôle u est compris dans le domaine discret de $\{0;1\}$ et il indique l'état de l'interrupteur S : ouvert pour 0 et fermé pour 1. Il peut être remplacé par sa valeur moyenne sur une période de découpage α qui représente le rapport cyclique $\alpha = T_{on}/T_s$ où T_{on} est le temps de conduction et T_s est la période de découpage. La figure II.16 présente la réalisation Simulink du convertisseur Boost.

La seconde méthode de modélisation est à base de la bibliothèque SimpowerSystems comme le montre la figure ci-après (Figure II.17).

SimPowerSystem est une bibliothèque supplément de Simulink. Il ajoute la fonctionnalité de simulation de l'électronique de puissance et des machines électriques de manière simple. Au lieu de connexions des signaux, SimPowerSystems utilise des portes électriques. Les portes gèrent à la fois les tensions et les courants et le circuit est dérivé directement du schéma réel. Ainsi, les convertisseurs peuvent être modélisés facilement, sans avoir le besoin de connaître les équations mathématiques exactes. Les modèles sont construits en utilisant les blocs de SimPowerSystems.

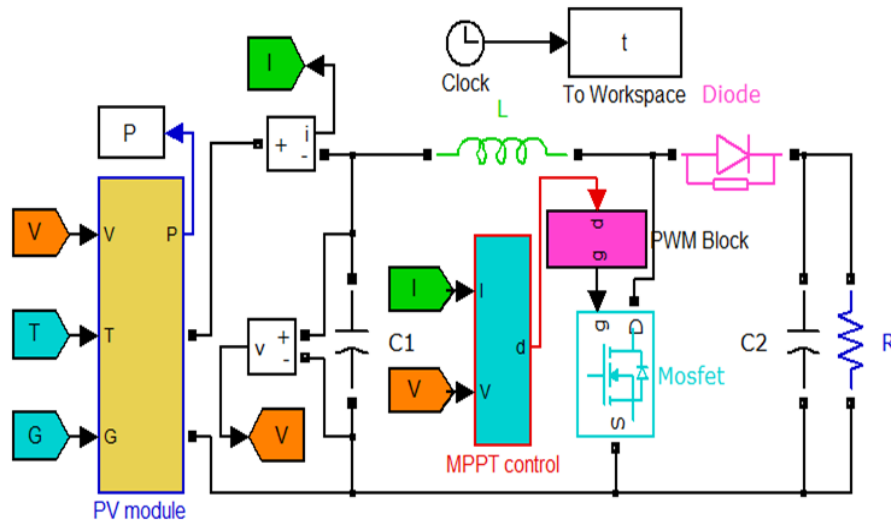


Figure II.17: Réalisation SimpowerSystems du convertisseur Boost.

II.6. Conclusion

Ce chapitre a présenté la structure d'un système PV autonome qui se compose en plus de la source solaire, un convertisseur DC-DC, une charge résistive, et un block de commande MPPT pour la poursuite du PPM. Trois principales topologies des hacheurs sont données, ainsi que quelques détails sur trois techniques MPPT sont illustrés. Ensuite, la modélisation de la chaîne de conversion choisie comportant un module PV et un convertisseur boost a été faite. L'implémentation de la commande P&O sous Matlab/Simulink sera faite dans le prochain chapitre.

Chapitre III



**Résultats de simulation
et discussion**

III.1 Introduction

Pour obliger un panneau solaire à travailler dans son mode de fonctionnement optimale, c'est –à –dire à sa puissance maximale quelque soit les conditions de charge et météorologiques, il faut insérer à sa sortie un étage d'adaptation d'impédance, dit aussi un convertisseur MPPT. Ce dernier n'est qu'un convertisseur DC-DC muni d'une commande MPPT. Le convertisseur peut prendre différentes structures et aussi la commande MPPT peut être une des diverses techniques existantes. Dans ce chapitre, on présentera une étude de simulation sous le logiciel MATLAB/Simulink d'un système photovoltaïque. Ce dernier comprend un générateur photovoltaïque, un convertisseur survolteur DC/DC Boost, une commande MPPT « perturbation et observation » ainsi qu'une charge résistive.

III.2 Définition MATLAB

MATLAB (*matrix laboratory*) est un langage de script [8] émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The Math Works, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB (environ 4 millions en 2019) [9] sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul.

III.3 Définition Simulink

Simulink est un logiciel de modélisation système multi-physique édité par l'entreprise américaine The Math Works. L'utilisation de Simulink est une plateforme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. Simulink est intégré à MATLAB, fournissant ainsi un accès immédiat aux nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données de MATLAB [10].

III.4 Simulation d'un système photovoltaïque avec MPPT

III.4.1 Simulation du module photovoltaïque

On commence par la simulation du module PV pour tracer ses caractéristiques. Le schéma bloc dans l'environnement MATLAB/SIMULINK du module PV est illustré sur la (figure III.1). Les caractéristiques I-V et P-V du module PV pour une température constante et différents éclairagements sont tracées sur la (figure III.2) (a) et (b). Les caractéristiques I-V et P-V du module PV pour un éclairage constant de 1000 W/m^2 et différentes températures sont tracées sur la (figure III.3) (a) et (b).

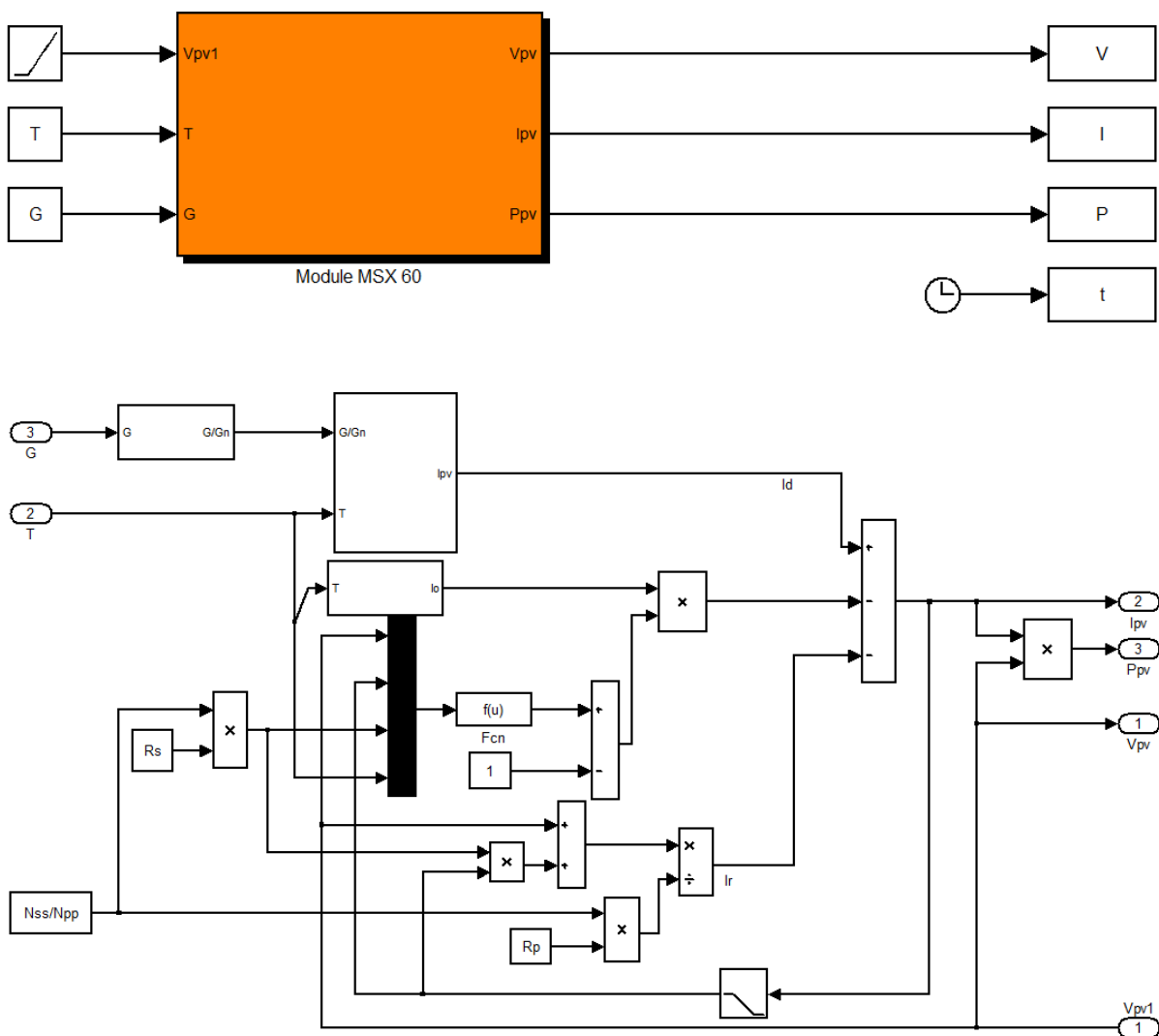


Figure III.1:Modèle sous Simulink du module photovoltaïque.

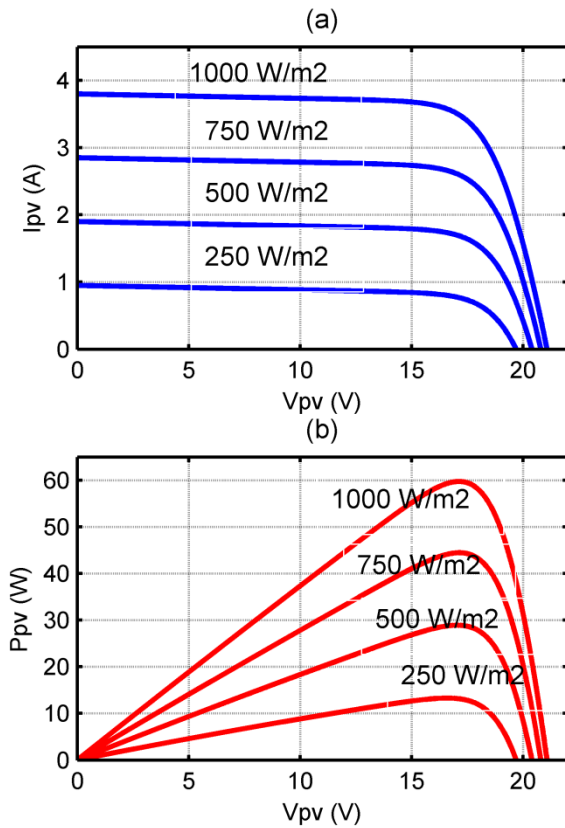


Figure III.2:Caractéristiques du module PV pour différents éclairagements, température constante 25 °C : (a) I-V et (b) P-V

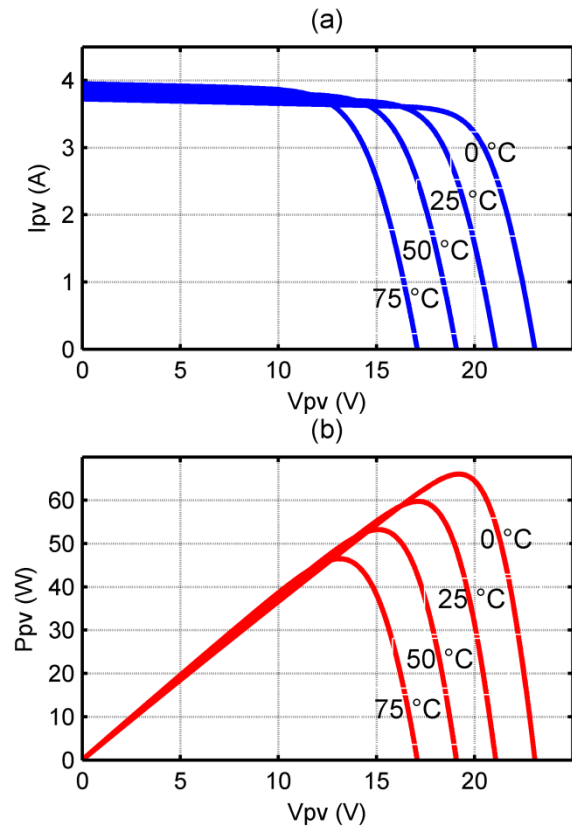


Figure III.3:Caractéristiques du module PV pour différents températures, éclairement constante 1000 W/m²: (a) I-V et (b) P-V

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'éclairage. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas beaucoup, elle reste quasiment identique. De plus, la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Mais, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue.

Notre étude est faite sur la base du module photovoltaïque (**MSX-60**). Il contient 36 cellules en silicium multi cristallines, et produit une puissance maximale de 60 W. Les principaux paramètres électriques de ce module sont donnés par le (tableau III.1):

Tableau III. 1 : Caractéristiques électriques du module PV

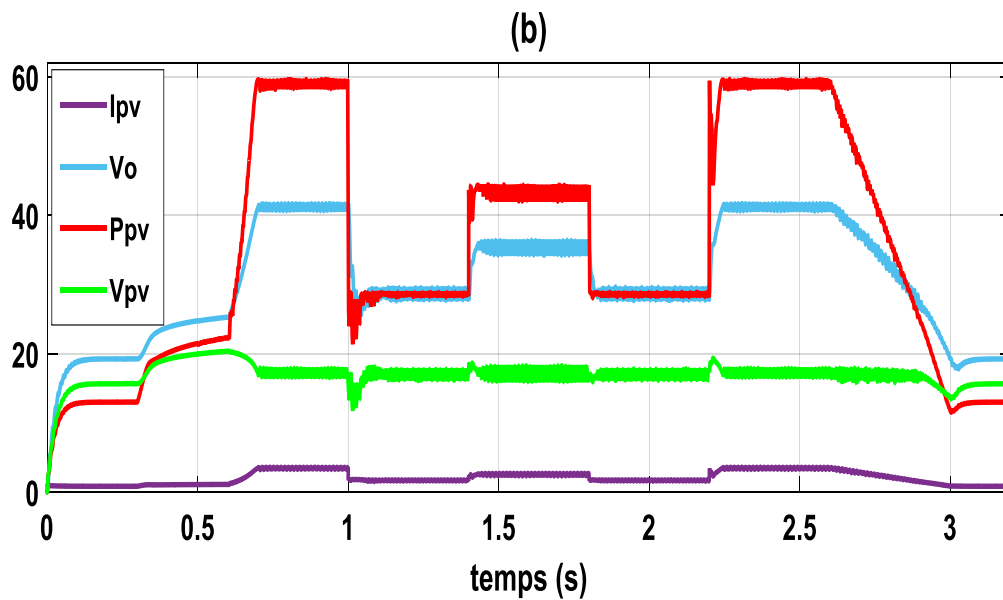
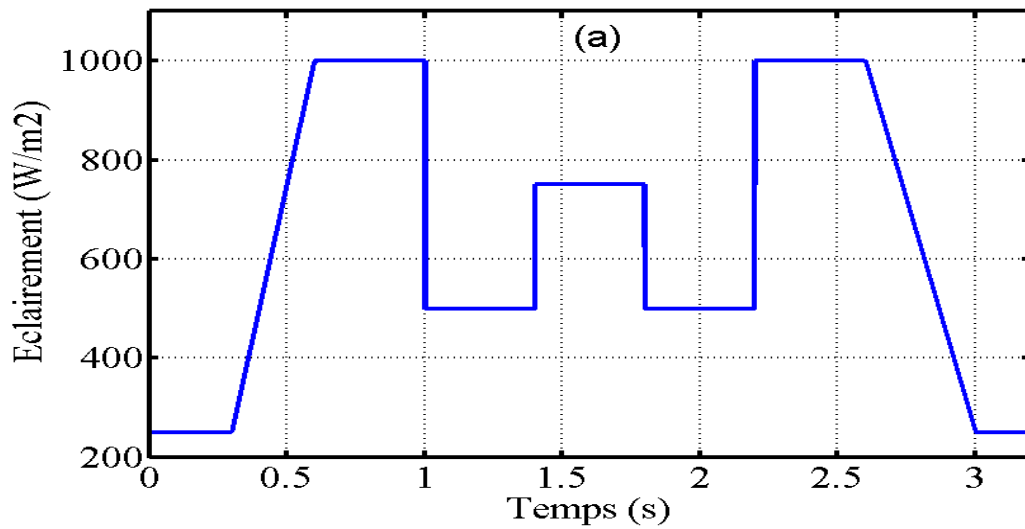
Module :	MSX60 :
Nombre de cellules en série (Ns)	36
Nombre de cellule en parallèle	1
Courant optimale (Ippm)	3.5 A
Tension optimale (Vppm)	17.1 V
Puissance maximale (Pmax)	60 W
Courant de court-circuit (Icc)	3.8 A
Tension de circuit ouvert (Vco)	21.1 V

III.4.2 Simulation du système photovoltaïque

Le présent système comporte en plus du module photovoltaïque, un convertisseur statique de type boost avec une commande de poursuite du PPM de type P&O, comme montré sur la (figure III.4) Le fonctionnement de ce système dépend essentiellement de l'éclairement, la température et de la charge. Le convertisseur et la charge sont réalisés par la bibliothèque de Simpowersystems, par contre le module PV ainsi que la commande P&O sont construites par des composants de Simulink. Le détail du modèle du panneau PV est illustré juste avant dans la (figure III.1).L'organigramme de la commande MPPT utilisée est schématisé sur la (figure III.5).

montrés dans la (figure III.6) (b). Le convertisseur utilisé est de type boost, un élévateur de tension, pour cela on voit que V_o est supérieure à V_{pv} . L'évolution de V_{pv} est presque constante parce que l'éclairement n'a pas d'effet important sur la tension contrairement au courant et la puissance.

L'évolution du rapport cyclique est donnée sur la figure III. 6(c) et le rendement de l'extraction du maximum de puissance qui est proche de l'unité est illustré sur la (figure III. 6) (d).



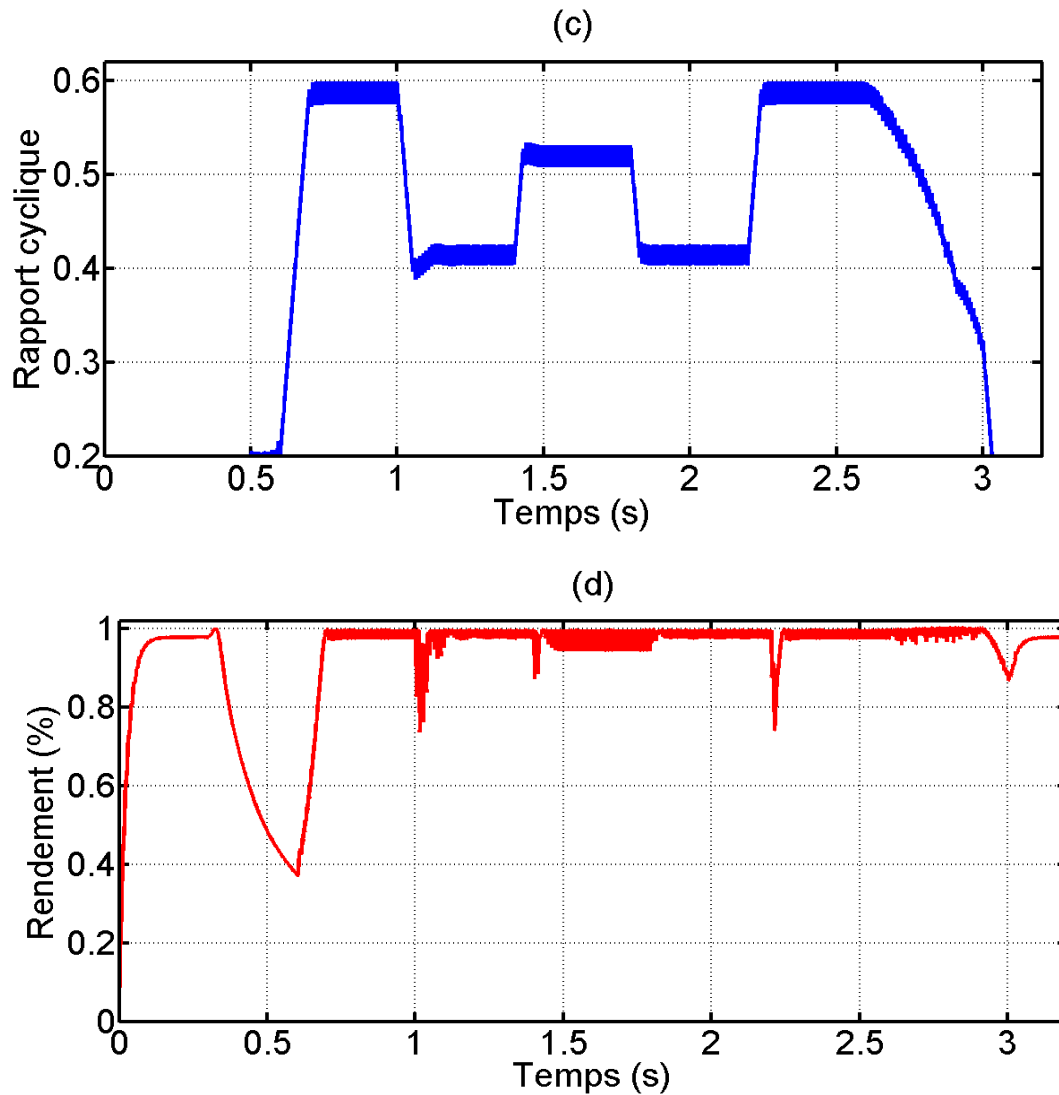


Figure III.6: Résultats de simulation pour un éclairage variable.

III.4.2.2. Influence de la température:

La température est le second paramètre le plus important dans le comportement du panneau solaire. Pour voir en fonction du temps la réaction du système sur le changement brusque de la température, on garde l'éclairage constant est égal a 1000 W/m^2 et on applique une perturbation sur la température suivant le profil de la (figure III.7) (a).

Les courbes correspondantes de puissance P_{pv} , courant I_{pv} , tension V_{pv} et de la tension de charge V_o sont montrés dans la (figure III.7) (b). On remarque toujours que V_o est supérieure à V_{pv} pour la même raison, le convertisseur utilisé est un boost. L'évolution de I_{pv} est à-peu-près constante parce que la température n'a pas un grand effet sur le courant contrairement à la tension. La variation de la température influe négativement sur la puissance

comme montré par les figures ci-dessous.

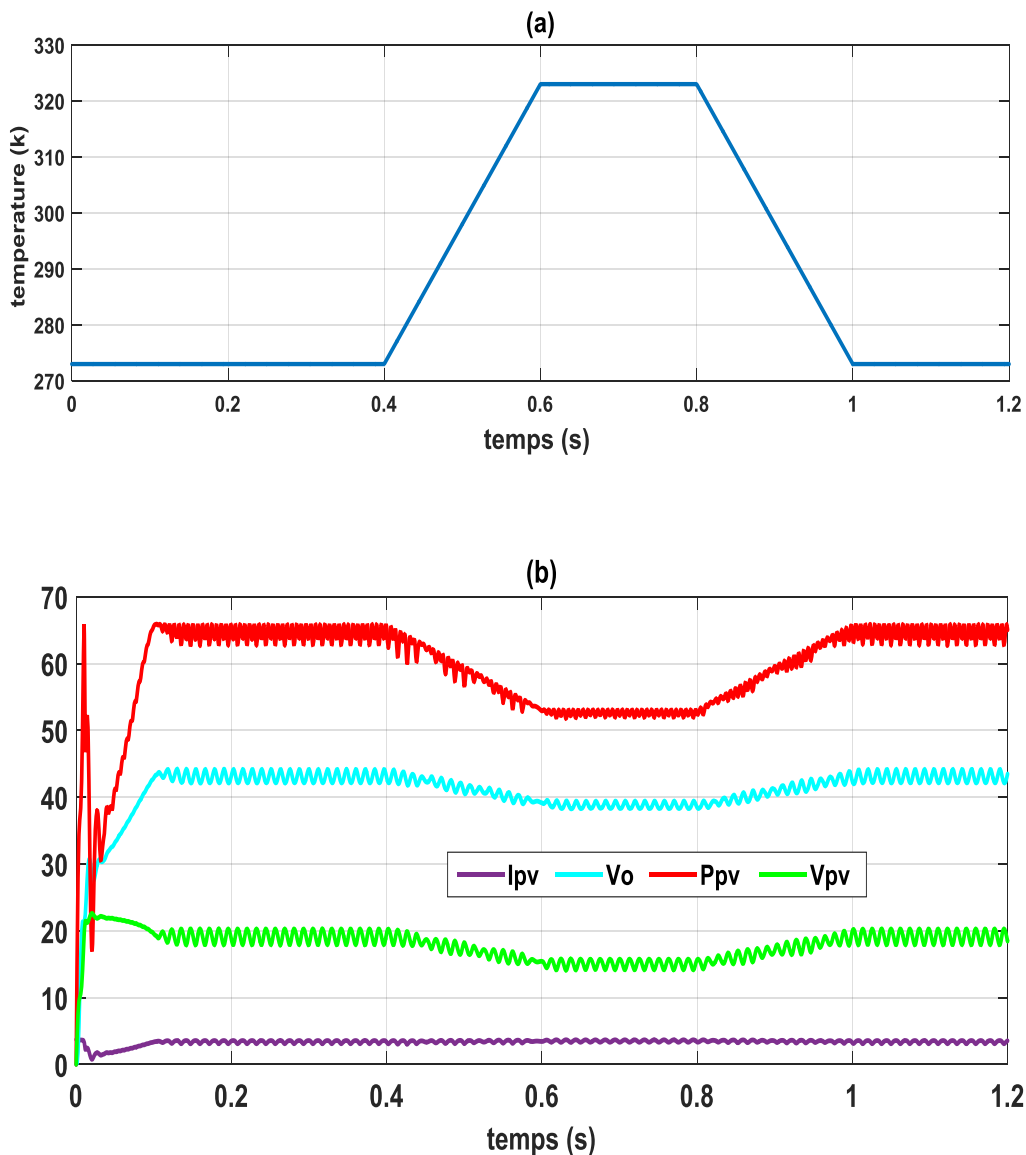


Figure III.7: Résultats de simulation pour une température variable.

III.4.2.3. Influence de la charge:

Le troisième test concerne la variation de la charge tout en fixant les conditions météorologiques aux valeurs STC. La (figure III.8) (a) présente le profil de variation de la charge. Les résultats de simulation correspondantes, à savoir la puissance Ppv, le courant Ipv, la tension Vpv et la tension à la sortie du convertisseur Vo, sont exposés dans la (figure III.8) (b). On remarque toujours que Vo est supérieure à Vpv pour la même raison, parce que le convertisseur utilisé est un boost. L'évolution des grandeurs du panneau Ipv, Vpv et Ppv sont inchangés, ce qui explique que la charge n'a pas d'influence sur le comportement du panneau.

La commande agit sur le rapport cyclique du convertisseur de telle sorte à garder une impédance adaptée aux bornes de la source PV.

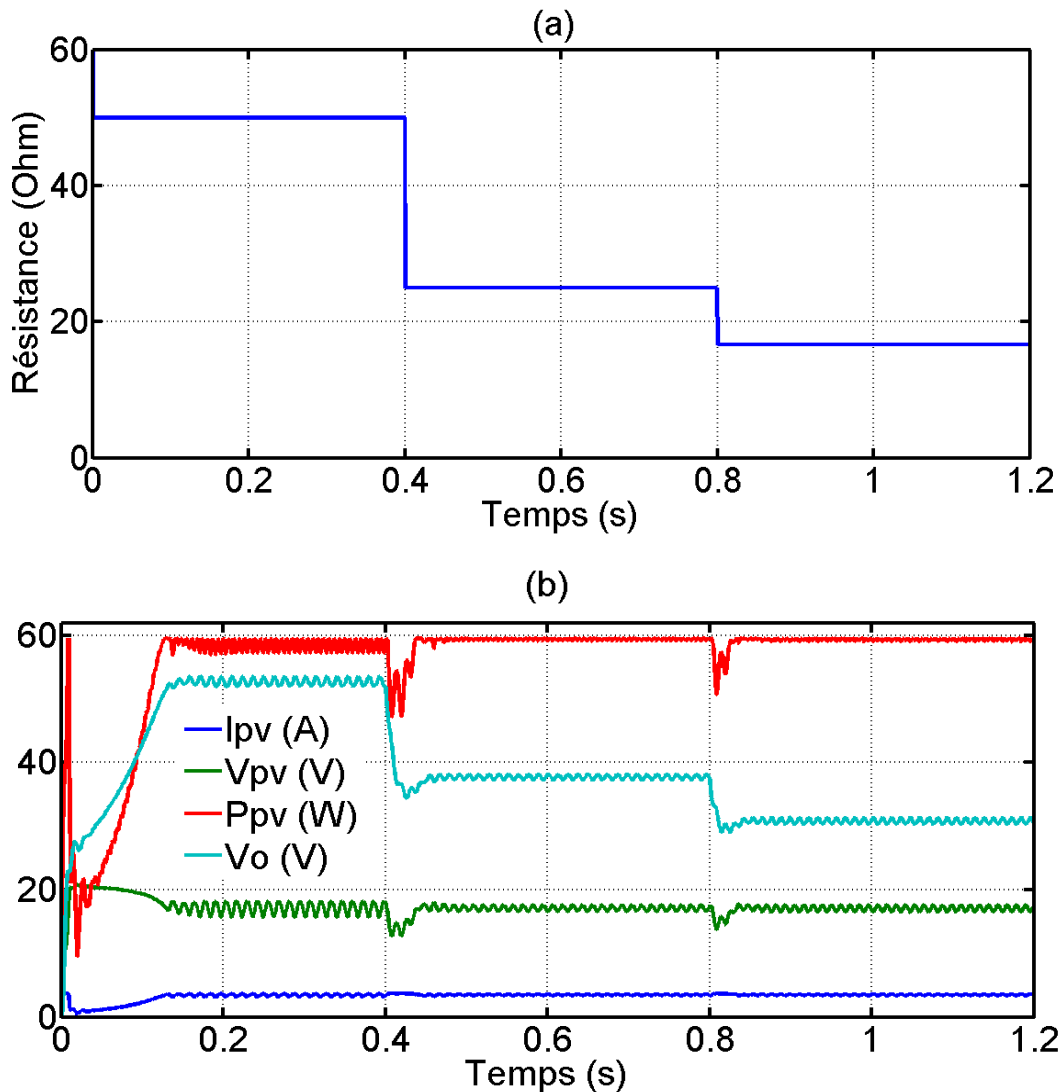


Figure III.8: Résultats de simulation pour une charge variable.

III.7 Conclusion

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'éclairement et la température ont influence sur les résultats des grandeurs du panneau, à savoir la tension, le courant, et la puissance de sortie du générateur.

La simulation du système photovoltaïque complet a été faite à partir de modèles mathématiques élaborées précédemment. La variation de l'éclairement, celle de la température et le changement de la résistance sont considérés. Les résultats sont satisfaisants.

A blue scroll graphic with a white border and a white shadow. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text "Conclusions générale" is centered on the scroll.

Conclusions générale

Conclusion Générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites sur les énergies renouvelables. Une des énergies renouvelables qui peut honorer la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite.

Cela explique pourquoi son utilisation connaît une croissance significative dans le monde. Avant d'aborder la problématique de conversion, nous avons tout d'abord étudié le contexte et la problématique de l'énergie solaire photovoltaïque. Ceci s'avérer nécessaire pour acquérir une connaissance approfondie du comportement d'un générateur photovoltaïque.

Nous avons établi des programmes de simulation sous l'environnement Matlab permettant de tracer la caractéristique I-V et P-V pour différents éclairagements et températures.

Pour mieux analyser les contraintes de l'exploitation d'un système photovoltaïque, nous avons analysé dans le simulateur Matlab le fonctionnement d'un système PV en utilisant le convertisseur boost doté d'une commande MPPT de type P&O, en prenant en compte les variations des conditions météorologiques (éclairagements, température...) et même de la charge.

Les résultats obtenus sont satisfaisantes, soit en régime statique, soit en régime dynamique. Le temps de poursuite et la précision d'achèvement du point de puissance maximale pour divers conditions de fonctionnement sont bons. En perspective, ce travail sera poursuivi par une réalisation pratique de la commande MPPT utilisée afin de valider les résultats obtenus.

Les Références

- [1] Disponible sur le lien <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>.
- [2] K. Kassmi et M. Hamdaoui et F. Olivié 'Conception et modélisation d'un système Photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique', université de Maroc , revue des énergies renouvelables, pp 451 – 462, 2007 .
- [3] Disponible sur le lien <http://tpeenergiephotovoltaique.e-monsite.com/pages/la-cellule-photovoltaique/principe-de-fonctionnement-de-la-cellule-photovoltaique.html> consulté le 20/04/2020».
- [4] Raymond Guidot, Histoire des objets, p. 415, (ISBN 9782754104067).
- [5] Disponible sur le lien [«https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaique-comment-ca-marche](https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaique-comment-ca-marche) consulté le 01/05/2020 ».
- [6] Disponible sur le lien [«https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaique/fonctionnement-cellule-photovoltaique»](https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaique/fonctionnement-cellule-photovoltaique).
- [7] Thibaut Desrues « Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions silicium et contacts en face arrière ». Thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2009.
- [8] Jean-Claude MULLER, Electricité photovoltaïque, Technique de l'ingénieur, BE8578 Jan 10, 2007.
- [9] Disponible sur le lien [«https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovolta%C3%AFque»](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovolta%C3%AFque)
- [10] Disponible sur le lien : [«https://energie-plus-le-site.be/théories/photovoltaïque6/rendement-et-puissance-crête-des-cellules-photovoltaïques/»](https://energie-plus-le-site.be/théories/photovoltaïque6/rendement-et-puissance-crête-des-cellules-photovoltaïques/).
- [11] Disponible sur le lien : [« https://www.myshop-solaire.com/le-rendement-des-panneaux-solaires-photovoltaïques-_r_80_a_223.html»](https://www.myshop-solaire.com/le-rendement-des-panneaux-solaires-photovoltaïques-_r_80_a_223.html).
- [12] Article rédigé par Romain Guillo le 22 juin 2017.

- [13] Disponible sur le lien «https://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques ».
- [14] Disponible sur le lien « https://www.researchgate.net/figure/Chaine-de-conversion-photovoltaique_fig1_258049781 ».
- [15] A. Belkaid, J-P.Gaubert, A. Gherbi, « An Improved Sliding Mode Control for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems », *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, Vol. 18, No. 1, 2016, pp. 86-94.
- [16] A. Belkaid, I. Colak, K. Kayisli, R. Bayindir « Indirect sliding mode voltage control of buck converter», pp: 90-95, 8th International Conference on Smart Grids, Paris/France, 17-19 June 2020. DOI: 10.1109/icSmartGrid49881.2020.9144974
- [17] UnalYilmaz, Omer Turksoy, AhmetTeke. Improving a battery charger architecture for electric vehicles with photovoltaic system. *International journal of Energy Research*. 2020; pp:1-19, DOI: 10.1002/er.5211.
- [18] Femia N.,Petroni G.,Spagnuolo G.,Vitelli M., (2005), Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*; 20 (4): 963–73.
- [19] A. Belkaid, «Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome» Thèse de Doctorat, 2015, Université de Sétif , Algérie.

Résumé :

La puissance de sortie d'un GPV dépend d'un certain nombre de paramètres parmi lesquels l'intensité du rayonnement solaire, la température des cellules, etc. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions à base des techniques MPPT. Il existe des méthodes MPPT conventionnelles souvent utilisées, à savoir la méthode de perturbation et d'observation (P&O). Ce mémoire présente une étude de la technique MPPT afin d'analyser, simuler, et évaluer le système global d'alimentation PV sous des conditions de fonctionnement variables. Pour ce faire les modèles mathématiques des composants du système PV (GPV, convertisseur DC/DC, charge) ont été développés. Les résultats de simulation sont obtenus à l'aide de l'outil Matlab Simulink.

Mots clés : PV, convertisseur DC-DC, BOOST, MPPT. P&O, Optimisation.

Abstract:

The output power of a GPV depends on a number of parameters, including the intensity of solar radiation, the temperature of the cells, etc. Due to the strongly non-linear electrical characteristics of PV cells and their combinations, the efficiency of PV systems can be improved by solutions based on MPPT techniques. There are conventional MPPT methods that are often used, namely the perturbation and observation (P&O) method. This dissertation presents a study of MPPT techniques to analyze, simulate, and evaluate the overall PV power system under varying operating conditions. To do this, mathematical models of the components of the PV system (GPV, DC / DC converter, load) have been developed. The simulation results are obtained using the Matlab Simulink tool.

Keywords: PV, DC-DC converter, BOOST, MPPT, P&O, Optimization.