

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
N° : ER-01



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : DE TECHNOLOGIE
OPTION : ENERGIE RENOUVELABLES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

AOUICHAT Farouk
ZERROUKI Ahmed amine

Intitulé

Contrôle et optimisation d'un système
photovoltaïque (PV) autonome

Soutenu devant le jury composé de:

Dr BENYETTOU Lotfi	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr MAYOUF Messaoud	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr ROUABHI Riyadh	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2020/ 2021

REMERCIEMENTS

Je me dois remercier ALLAH le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage qu'il m'a donnés pour l'achèvement de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier vivement mon promoteur Dr.MAYOUF

Messaoud

, qui a manifesté son entière disponibilité pour m'aider et de m'orienter. Je le remercier aussi pour la confiance et la compréhension qu'il m'atoujours prouvées.

Je remercie également tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous les membres de ma famille surtout ma chère mère et mon cher père pour leur aide inconditionnelle et pour leur soutien précieux durant ma formation, ce qui leur fait valoir ma grande reconnaissance.

Enfin, je remercie toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail

DÉDICACE

*Avant tous, je remercie **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail .*

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance à

*« A la pensée de mon très **cher père** et **mon frère** »*

*A **ma mère**, pour tous les sacrifices et son soutien moral, avec toute mon affection et ma reconnaissance; merci maman.*

*Je dédié aussi ce travail à ma **femme**, à l'âme de mon cœur, ma fille **amira**, et à ma fille , que j'attends avec impatience **MALAK***

*A mes frères : **kamel,antar**, pour leurs soutiens et leurs amour.*

A mes soeurs pour leurs soutiens morales et pour leurs amour et soins.

*A tous mes amis :**Noureddine, Mohamed amine ,Amir**, et mes collègues de la promo :Génie électrique.*

A tous les personnes que j'ai autant aimées.

FAROUK AOUICHAT

DÉDICACE

Avant tous, je remercie ALLAH le tout puissant de M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce travail à toute ma famille, ma mère, mon père, ma sœur, mon frère.

Ainsi qu'à Je dédie ce travail à mes amis et camarades de classe Et A tous mes amis (es) qui j'ai connus dans tous les Année universitaire.

AHMED AMINE ZERROUKI

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes solaires photovoltaïques

1.1. Introduction...	02
1.2. L'Énergie solaire...	02
1.2.1 Le soleil...	02
1.2.2 Le rayonnement solaire...	02
1.2.3 Types de l'énergie solaire	03
1.2.3.1 Énergie passive...	03
1.2.3.2 Énergie solaire thermique...	03
1.2.3.3 Énergie thermodynamique...	03
1.2.3.4 Énergies solaires photovoltaïques...	03
1.3 Panneaux solaires photovoltaïques	04
1.3.1 Cellules PV...	04
1.3.1.1 Cellules poly cristallin...	05
1.3.1.2 Cellules monocristallin...	06
1.3.1.3 Les cellules amorphes...	06
1.3.2 Association des cellules PV	06
1.3.2.1 Association en série...	06
1.3.2.2 Association en parallèle...	07
1.4 Installations photovoltaïques...	07
1.4.1 Systèmes autonomes « au fil du soleil »	08
1.4.2 Systèmes autonomes avec stockage...	09
1.4.3 Système autonome hybride...	10
1.4.4 Système PV raccordé au réseau électrique...	10
1.4.4.1 : Systèmes PV décentralisés...	10
1.4.4.2 : Systèmes PV centralisés...	11
Conclusion...	12
Chapitre 2 : Modélisation et simulation des convertisseurs DC/DC	
2.1 Introduction...	13
2.2. Procédure de modélisation...	13
2.3. Modélisation des convertisseurs DC-DC en boucle ouverte...	14
2.3.1. Hacheur à dévolteur (Buck)	14
2.3.1.1 Résultats de simulation...	15

2.3.2 Hacheur survolteur (Boost)	16
2.3.2.1 Résultats de simulation	17
2.3.3 Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)	17
2.3.3.1 Résultats de simulation	19
Conclusion	19
Chapitre 3 : Modélisation et simulation du panneau photovoltaïque	
3.1 Introduction	20
3.2 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	21
3.3 Paramètres d'une cellule photovoltaïque	22
3.3.1 Courant de court-circuit (I_{cc})	22
3.3.2 Tension de circuit ouvert (V_{oc})	22
3.4 Modèle idéal avec une seule diode (ISDM)	22
3.4.1 Identification des paramètres dans les conditions standards STC	23
3.4.2 Caractéristique (I-V) avec variations de l'éclairement et la température	25
3.4.3 Schéma bloc de simulation	26
3.4.4 Résultats de simulation	27
3.4.4.1 Influence de la température	27
3.4.4.2 Influence de l'éclairement	28
Conclusion	30
Chapitre 4 : Contrôle et optimisation du système photovoltaïque autonome	
4.1 Introduction	31
4.2 Système photovoltaïque autonome étudié	32
4.3 Dimensionnement du convertisseur DC/DC	32
4.3.1 Calcul de l'inductance L et le condensateur C_{in}	33
4.3.2 Modélisation dynamique	34
4.4 Modélisation de la batterie	35
4.5 Régulation de la tension	37
4.6 Algorithme de maximisation de puissance (MPPT)	38
4.7 Intégration du contrôle de charge de la batterie avec MPPT	39
4.8 Résultats de simulations	39
Conclusion	42
Conclusion Général	

Liste de Figures

Figure 1.1 Panneausolairephotovoltaïque	04
Figure 1.2 Cellule, Module, et Panneausolairephotovoltaïque.	04
Figure 1.3 Cellulephotovoltaïque	05
Figure 1.4 Principe de fonctionnement de lacellulephotovoltaïque.	05
Figure 1.5 Cellules PV connectées en série avec leurcaractéristiquecourant-tension.	06
Figure 1.6 Cellules PV connectées en parallèle avec leurcaractéristiquecourant-tension.	07
Figure 1.7 Installations photovoltaïques	08
Figure 1.8 Couplage directe d'un systèmePV	08
Figure 1.9 Système PV autonome avec stockagedebatterie	09
Figure 1.10 Système PV raccordé auréseau,décentralisé	11
Figure 1.11 Système PV raccordé auréseau,décentralisé	11
Figure 2.1 Hacheurdévolteur	14
Figure 2.2 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur enboucleouverte	15
Figure 2.3 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur enboucleouverte	15
Figure 2.4 Hacheur survolteur	16
Figure 2.5 Schéma bloc de simulation de l'hacheur survolteur enboucleouverte	16
Figure 2.6 Schéma bloc de simulation de l'hacheur survolteur enboucleouverte	17
Figure 2.7 Hacheurdévolteur-survolteur	18
Figure 2.8 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur enboucleouverte	18
Figure 2.9 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur enboucleouverte	19
Figure 3.1 Schéma équivalent électrique de lacellulePV	21
Figure 3.2. Circuit équivalent du modèle idéal de la cellulePV(ISDM)	23
Figure 3.3. Organigramme itératif de la méthode Newton– Raphson	25
Figure 3.4. Schéma bloc de simulation dupanneauPV	27
Figure 3.5. Influence de la température sur lacaractéristique $I=f(v)$	28
Figure 3.6. Influence de la température sur lacaractéristique $P=f(v)$	28
Figure 3.7. Influence de l'éclairement lacaractéristique $I=f(v)$	29
Figure 3.8. Influence de l'éclairement lacaractéristique $P=f(v)$	29
Figure 4.1. Circuit équivalent du systèmePVétudié	32
Figure 4.2. Tensions de la batterie en fonction de la capacité dedécharge[14].	36
Figure 4.3. Organigramme de l'algorithmemaximisationMPPT	39
Figure 4.4. Modèle de simulation du systemPV autonome	40
Figure 4.5. Résultatsdesimulation	41

Liste de Figures

Figure 1.1 Panneausolaire photovoltaïque	04
Figure 1.2 Cellule, Module, et Panneausolaire photovoltaïque.	04
Figure 1.3 Cellule photovoltaïque	05
Figure 1.4 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.	05
Figure 1.5 Cellules PV connectées en série avec leur caractéristique courant-tension.	06
Figure 1.6 Cellules PV connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension.	07
Figure 1.7 Installations photovoltaïques	08
Figure 1.8 Couplage direct d'un système PV	08
Figure 1.9 Système PV autonome avec stockage de batterie	09
Figure 1.10 Système PV raccordé au réseau, décentralisé	11
Figure 1.11 Système PV raccordé au réseau, décentralisé	11
Figure 2.1 Hacheur dévolteur	14
Figure 2.2 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur en boucle ouverte	15
Figure 2.3 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur en boucle ouverte	15
Figure 2.4 Hacheur survolteur	16
Figure 2.5 Schéma bloc de simulation de l'hacheur survolteur en boucle ouverte	16
Figure 2.6 Schéma bloc de simulation de l'hacheur survolteur en boucle ouverte	17
Figure 2.7 Hacheur dévolteur-survolteur	18
Figure 2.8 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur en boucle ouverte	18
Figure 2.9 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur en boucle ouverte	19
Figure 3.1 Schéma équivalent électrique de la cellule PV	21
Figure 3.2. Circuit équivalent du modèle idéal de la cellule PV (ISDM)	23
Figure 3.3. Organigramme itératif de la méthode Newton–Raphson	25
Figure 3.4. Schéma bloc de simulation d'un panneau PV	27
Figure 3.5. Influence de la température sur la caractéristique $I=f(v)$	28
Figure 3.6. Influence de la température sur la caractéristique $P=f(v)$	28
Figure 3.7. Influence de l'éclairement la caractéristique $I=f(v)$	29
Figure 3.8. Influence de l'éclairement la caractéristique $P=f(v)$	29
Figure 4.1. Circuit équivalent du système PV étudié	32
Figure 4.2. Tensions de la batterie en fonction de la capacité de décharge [14].	36
Figure 4.3. Organigramme de l'algorithme de maximisation MPPT	39
Figure 4.4. Modèle de simulation du système PV autonome	40
Figure 4.5. Résultats de simulation	41

INDEX DES NOTATIONS

G	Eclairement solaire, W/m^2
I_M	Courant instantané du point maximum MPP, A
i_{ph}	Courant photonique de la cellule PV, A
v_{I_d}	Courant de sortie de la cellule PV, A
I_{ss}	Courant de la diode, A
I_c	Courant de saturation de la diode, A
V_D	Température de la cellule PV, K
V_M	Tension de la diode, V
V_{OC}	Tension instantanée du point maximum MPP, V
V_{PV}	Tension du circuit ouvert, V
V_t	Tension aux bornes de la cellule PV, V
α_T	Tension aux bornes de la jonction p-n, V
β_T	Coefficient de température sur le courant PV
λ_T	Coefficient de température sur la tension PV
A_n	Coefficient d'éclairement sur la puissance PV
I_{MS}	Facteur d'idéalité de la diode
$I_{ph} I_{SC}$	Courant PV au point MPP dans les conditions STS, A
I_S	Courant photonique PV dans les conditions STC, A
P_{MPP}	PV short-circuit current at the STC, A
R_s	Puissance PV au point MPP dans les conditions STC, W
R_h	Résistance en série, Ω
V_{MS}	Résistance en parallèle, Ω
V_{ocs}	Tension PV au point MPP dans les conditions STC, V
	La tension PV du circuit ouvert dans les conditions STC, V

INTRODUCTION GENERALE

La croissance de la consommation mondiale d'énergie sous toutes ses formes, les risques de pénurie des matières fossiles, et les effets polluants associés et causés par sa combustion, sont au cœur de la problématique du développement durable et du soin de l'environnement dans une discussion pour l'avenir de la planète. Dans ce contexte, les nouvelles énergies renouvelables constituent une variante inévitable qui peut contribuer au maintien du taux de développement industriel, et ralentir la cadence du changement climatique actuel. Plusieurs sources d'énergies renouvelables sont en cours d'exploitation et de recherche, dont le but est de développer des techniques d'extraction de puissances visant à fiabiliser, baisser les coûts d'exploitation, et d'augmenter l'efficacité énergétique.

Parmi ces énergies renouvelables, l'ingénierie solaire photovoltaïque (PV) qui a attiré une attention considérable ces dernières années grâce à ces avantages. Ce mémoire traite le dimensionnement, la modélisation, la conception, l'optimisation, et le contrôle de la tension de la batterie d'un système photovoltaïque autonome.

Une brève description de l'énergie solaire photovoltaïque est présentée dans le premier chapitre, y compris le principe de fonctionnement du générateur photovoltaïque, les technologies des cellules PV et les installations photovoltaïques et ces avantages.

Le deuxième chapitre est consacré au développement des modèles mathématiques des convertisseurs électroniques de puissance idéals DC/DC utilisés souvent dans les systèmes photovoltaïques autonomes, en utilisant des modèles d'espace d'états commutés et non linéaires au niveau du système. L'objectif de ce chapitre est l'étude de la réponse des modèles développés en boucle ouverte afin de les utiliser dans la conception des schémas fonctionnels en boucles fermées.

Le chapitre 3 traite des caractéristiques de sortie du générateur PV et des modèles mathématiques pour simulation et analyse. Il s'appuie sur une compréhension des fiches techniques des produits photovoltaïques et fournit une approche simple pour construire un modèle mathématique pour la simulation.

Le chapitre 4 est destiné à l'étude et la modélisation du système photovoltaïque autonome complet, composé d'un générateur PV raccordé à la charge à travers un hacheur abaisseur de tension qui charge la batterie mise aux bornes de la charge. Ce chapitre fournit les étapes nécessaires pour spécifier, concevoir, simuler et évaluer les circuits de conditionnement d'énergie et accessoires ainsi que l'analyse en régime permanent et la vérification par simulation de notre application autonome d'énergie photovoltaïque. La conception, l'analyse et les évaluations du système de contrôle sont basées sur Matlab/SIMULINK.

A decorative border resembling a scroll, with a black outline and rounded corners. The top and bottom edges are slightly curved, and there are small circular accents at the corners, suggesting the scroll is unrolled.

Chapitre 1:
Généralités sur les systèmes solaires photovoltaïques

Chapitre 1***Généralités sur les systèmes solaires photovoltaïques*****1.1 Introduction**

Dès l'année 1839, le physicien français Alexandre Edmond Becquerel découvre que certains matériaux produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Il faut attendre 1905 pour qu'Albert Einstein explique concrètement ce phénomène, Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell Téléphone, parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire d'un système photovoltaïque [1]. La transformation de la lumière en énergie électrique porte aussi le nom d'effet photovoltaïque, Le mot « photo voltaïque » vient de grec « photos » et signifiant lumière et de « volta » du nom du physicien italien qui en 1800 découvrit la pile électrique [2]. Une brève description de l'énergie solaire photovoltaïque est présentée dans ce premier chapitre, y compris le principe de fonctionnement du générateur photovoltaïque, les technologies des cellules PV et les installations photovoltaïques et ces avantages.

1.2 L'Energiesolaire**1.2.1 Lesoleil**

Le soleil est assimilé à un corps noir rayonnant à une température de 6000 K, composé de gaz consistant en 70% d'hydrogène et 28% d'hélium, les 2% restants représentent la plupart des autres atomes présents dans l'univers. Son diamètre est de 1 391 000 km et se trouve à une distance de 150 000 000 km de la Terre[3].

1.2.2 Le rayonnementsolaire

Appelé le rayonnement électromagnétique émis par le soleil dans toutes les directions de l'espace, ce n'est que la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans s'enveloppe [4]. Il constitue la quasi-totalité de l'énergie émise par le soleil. Il est composé de grains de lumière appelés photons [5]. Autrement dit, le rayonnement solaire est l'ensemble

des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible.

1.2.3 Types de l'énergiesolaire

Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter Sur Terre, il existe différents types d'énergies solaires [6-7]:

1.2.3.1 Energiepassive

Ce type d'énergie va être utilisé pour le chauffage, l'éclairage naturel et la climatisation des locaux. Il consiste à laisser entrer le rayonnement solaire naturellement dans une construction par l'intermédiaire de surface vitrées et/ou par la mise en oeuvre de façade du type double-peau ou encore mur trombe. Prévu dès la conception architecturale, le solaire passif n'engendre que de faibles surcoûts

1.2.3.2 Energie solairethermique

Cette énergie est la transformation des rayons du soleil en énergie thermique (chaleur). Cette énergie peut être utilisée directement soit pour le chauffage ou pour obtenir de l'eau chaude. Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Ceux-ci sont alors piégés par des capteurs solaires thermiques vitrés qui transmettent l'énergie solaire à des absorbeursmétalliques.

1.2.3.3 Energie thermodynamique

Cette énergie est l'un des modes de valorisation du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide à haute température qui va produire de vapeur à haute pression qui est ensuite turbinée

1.2.3.4 Energie solairesphotovoltaïque

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou-bien artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installationphotovoltaïque

connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers. [8]



Figure 1.1 Panneau solaire photovoltaïque

1.3 Panneaux solaires photovoltaïques

Un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

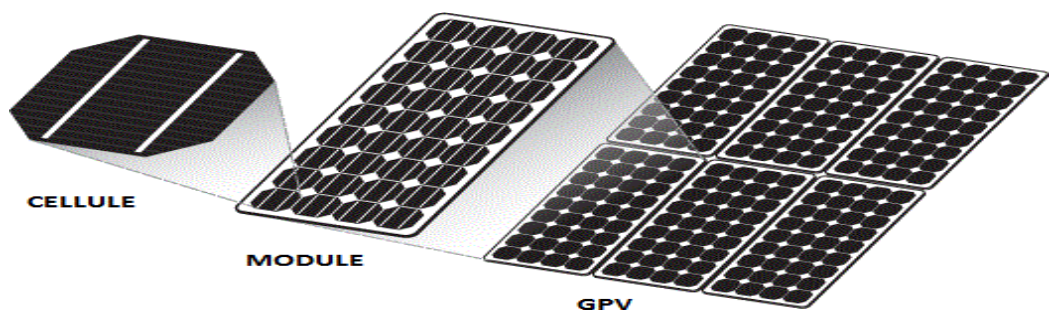


Figure 1.2 Cellule, Module, et Panneau solaire photovoltaïque.

1.3.1 Cellules PV

Le principal composant d'un panneau Photovoltaïque PV est la cellule Photovoltaïque, dans laquelle se produit la conversion du rayonnement solaire en courant électrique. La cellule est constituée d'une fine couche de matériau semi-conducteur, généralement du silicium traité adéquatement, qui comprend quatre électrons de valence (tétravalent), est dopée en ajoutant des atomes trivalents (par ex. bore - dopage P) sur une couche et de grandes quantités d'atomes pentavalents (par ex. Phosphore - dopage N) sur l'autre. La

région de type Présente un excès de trous, tandis que la région de type N'a un excès d'électrons. On distingue plusieurs types de cellules photovoltaïques :



Figure 1.3 Cellule photovoltaïque

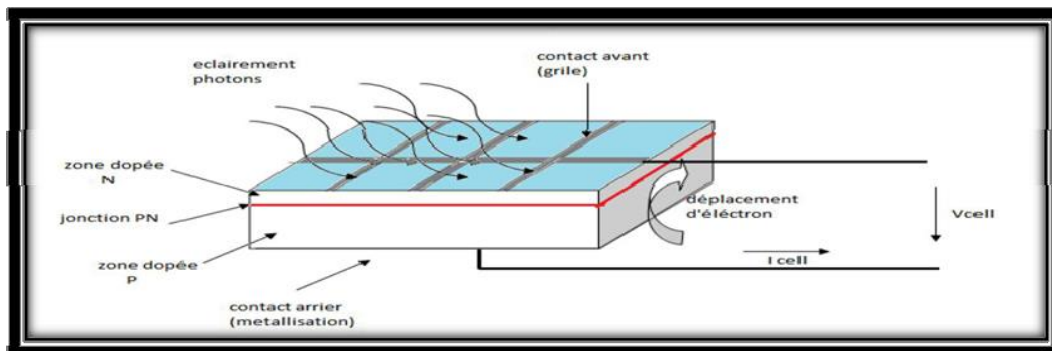


Figure 1.4 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

1.3.1.1 Cellules polycristallin

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

Avantages

- ✚ Bon rendement
- ✚ Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- ✚ Meilleur marché que le monocristallin

Inconvénients

- ✚ Rendement faible sous un faible éclaircissement.
- ✚ Rendement module commercial : 11 à 15%
- ✚ Rendement record en laboratoire : environ 20%

1.3.1.2 Cellules 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. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Avantages

- ✚ Très bon rendement (environ 150 Wc/m²)
- ✚ Durée de vie importante (+/- 30 ans)

Inconvénients

- ✚ Coût élevé
- ✚ Rendement faible sous un faible éclaircissement
- ✚ Rendement record en laboratoire : environ 25%

1.3.1.3 Les cellules amorphes

Avantages

- ✚ coût de production bien plus bas.

Inconvénients

- ✚ Rendement de seulement 6 % par module et de 14 % en laboratoire

Autre types:

- cellule multi jonction.
- cellule sans silicium en couche mince.

1.3.2 Association des cellules PV

1.3.2.1 Association en série:

En additionnant des cellules (modules) identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

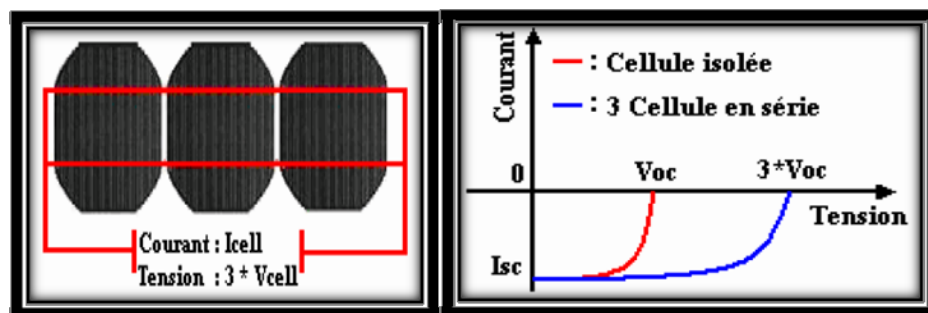


Figure 1.5 Cellules PV connectées en série avec leur caractéristique courant-tension.

1.3.2.2 Association en parallèle:

En additionnant des cellules (modules) identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule (module) et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en parallèle dans la branche

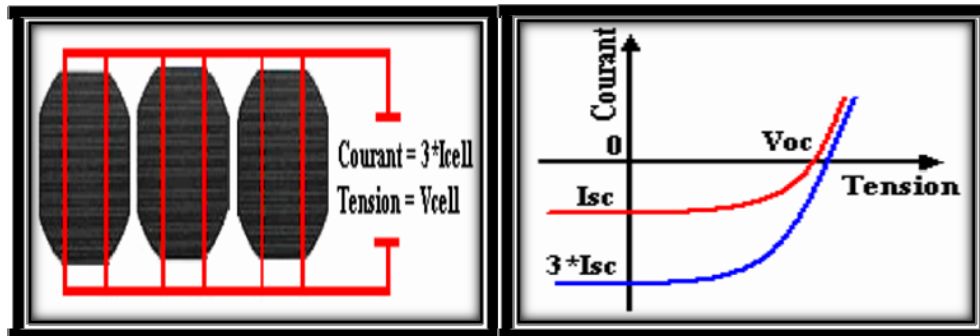


Figure 1.6 Cellules PV connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension.

1.4 Installations photovoltaïques

Les installations photovoltaïques peuvent être divisées en système autonome et en système connectés au réseau. Avec les systèmes autonomes la production d'énergie solaire est accordée sur le besoin énergétique. Mais comme la production d'énergie solaire est souvent décalée dans le temps par rapport au besoin énergétique des appareils électriques connectés des accumulateurs sont généralement utilisés en complément lorsque l'installation PV bénéficie de l'assistance d'une source d'électricité supplémentaire. Par exemple une éolienne ou un groupe électrogène diesel il s'agit alors d'une installation photovoltaïque hybride. Dans le cas des systèmes connectés au réseau électrique, ce dernier fait actuellement office d'accumulateur d'énergie. Toutefois, si la proportion de sources électriques fluctuantes Comme l'électricité éolienne et solaire augmente des accumulateurs supplémentaires seront nécessaires au sein du réseau [9].

1.8.1 Systèmes autonomes « au fil du soleil »

Ce sont les systèmes les plus simples puisque l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. Les systèmes PV autonomes sont conçus pour fonctionner indépendamment de l'électricité du réseau électrique, et sont généralement

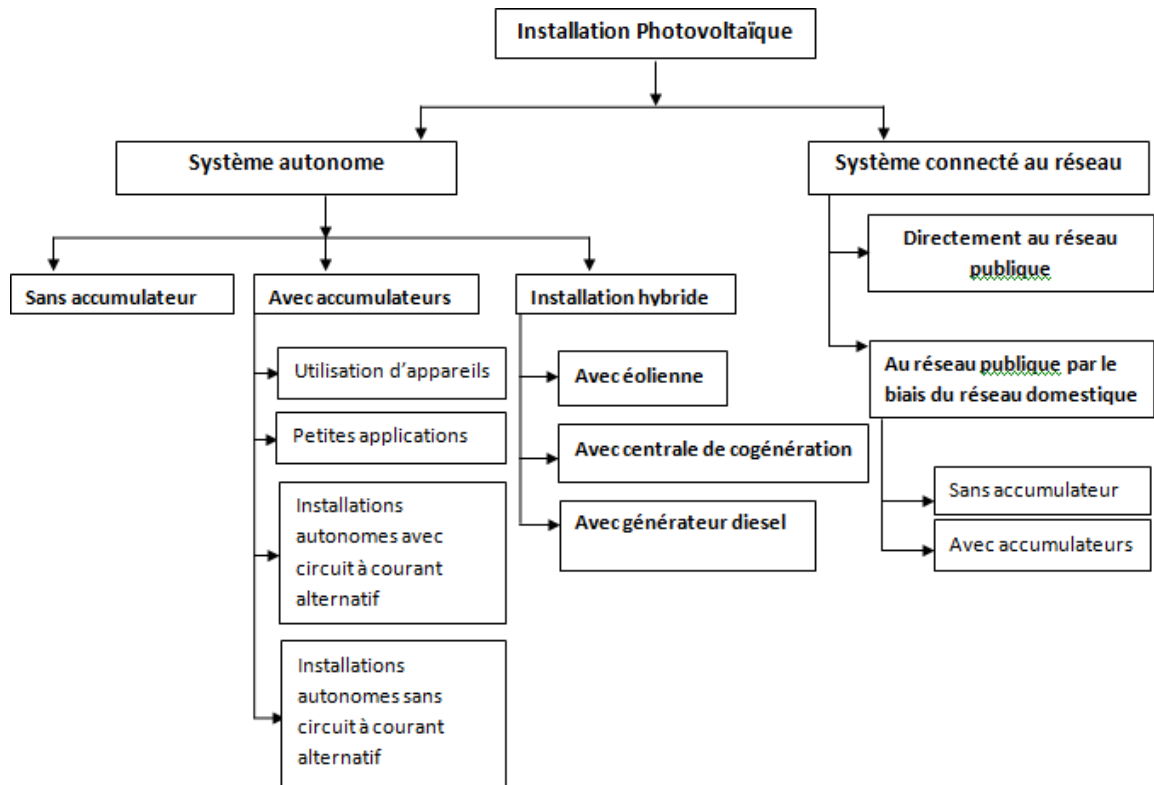


Figure 1.7 Installations photovoltaïques

conçus et dimensionnés pour alimenter certaines charges en courant continu et / ou courant alternatif. Le type le plus simple du système PV autonome est celui à couplage direct où la sortie DC d'un module PV est directement connectée à une charge CC. Dans les systèmes à couplage direct, la charge ne fonctionne que pendant les heures d'ensoleillement. Les applications courantes de ce système sont les ventilateurs, les pompes à eau et les petites pompes de circulation utilisées pour les systèmes de chauffage solaire de l'eau thermale[9].

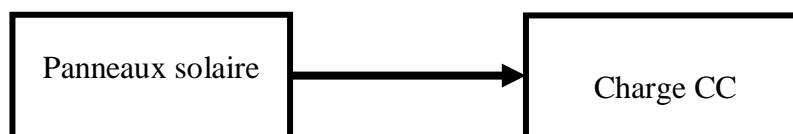


Figure 1.8 Couplage directe d'un système PV

1.8.2 Systèmes autonomes avec stockage

Dans les applications photovoltaïques autonomes, l'alimentation électrique du système est requise, Ainsi, le stockage doit être ajouté au système. Généralement, les batteries sont utilisées pour le stockage d'énergie. La batterie d'un tel système se charge le jour, et sert de « réservoir » d'énergie en permanence. Elle peut sans problème, à un instant donné, recevoir un courant de charge et débitant un courant de décharge de valeur différentes. Les appareils alimentés sont donc câblés sur la batterie au travers du régulateur de charge. Lorsque la batterie est pleine, ce dernier coupe la charge pour éviter qu'elle ne souffre desurcharge.

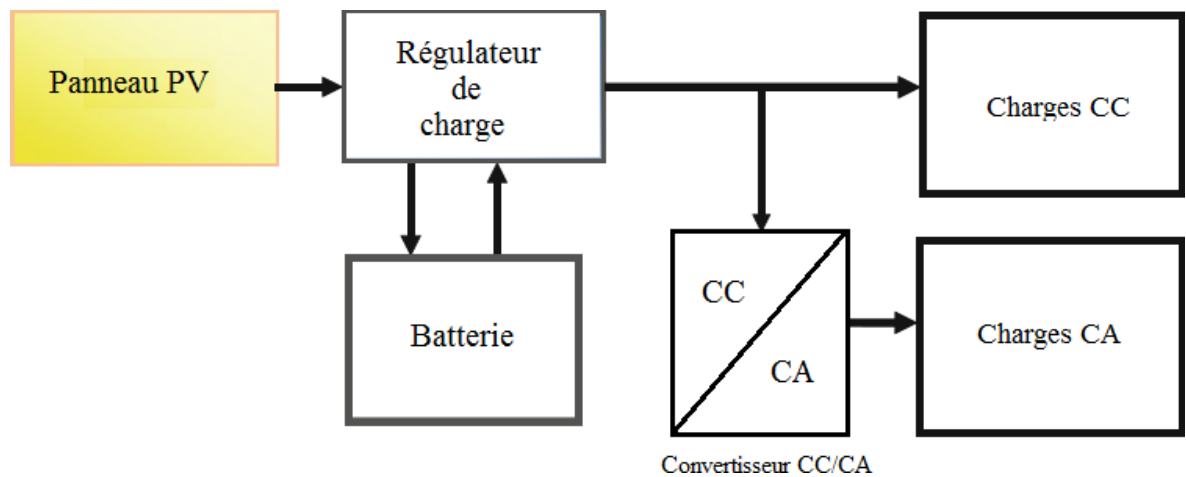


Figure 1.9 Système PV autonome avec stockage de batterie

La Figure 1.9 montre un schéma d'un système PV autonome typique alimentant des charges de type CC et CA. Il est composé des composants suivants :

- Les panneaux photovoltaïques : produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur : optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- Le convertisseur CC/CA : Transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- Les batteries : sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

Avantages du système PV autonome

Les avantages les plus importants du système PV autonome sont :

- L'approvisionnement fiable de la charge en électricité pendant le temps de fonctionnement,

- Ce système a une longue durée de vie
- Faibles dépenses d'entretien

1.8.3 Système autonome hybride

Étant donné que le système PV donne une puissance variable selon la saison, il est souhaitable de disposer d'une autre source autonome pour compléter l'apport photovoltaïque. On appelle ainsi ce système, un système autonome hybride.

1.8.4 Système PV raccordé au réseau électrique

Ces systèmes fonctionnent en parallèle avec les réseaux électriques existants, permettant l'échange d'électricité vers et depuis le réseau. L'énorme avantage de cette solution, c'est l'absence de batterie, et l'injection de l'électricité est directement dans le réseau. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Le compteur marche alors dans les deux sens. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers des onduleurs.

Un système PV connecté au réseau peut être subdivisé en deux systèmes:

- Systèmes PV centralisés.
- Systèmes PV décentralisés

1.8.4.1 : Systèmes PV décentralisés

Dans ces systèmes, le stockage d'énergie n'est pas nécessaire car le rayonnement solaire fournit de la puissance aux maisons, et s'il y a un surplus d'énergie, il peut être injecté dans le réseau (figure 3.8). Dans ce cas, l'onduleur doit s'intégrer harmonieusement à l'énergie (tension et fréquence) fournie par le réseau. Pendant la nuit ou à des instants où la puissance PV est insuffisante, l'approvisionnement en électricité se fait directement du réseau électrique.

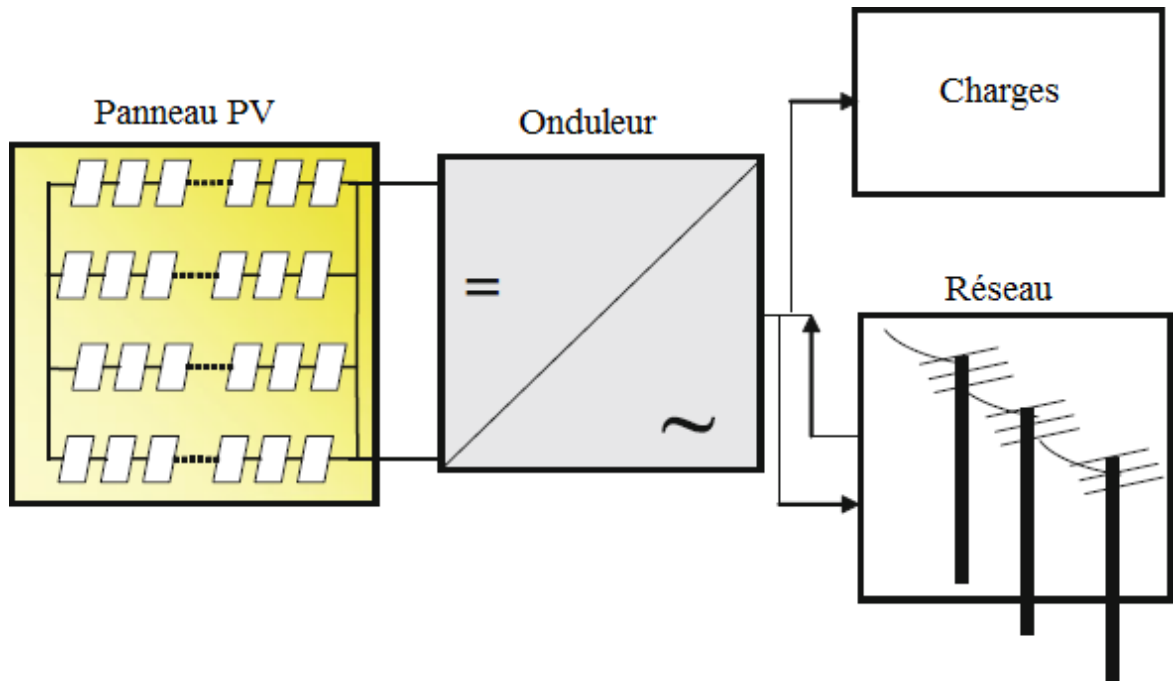


Figure 1.10 Système PV raccordé au réseau, décentralisé

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant.

1.8.4.2 : Systèmes PV centralisés

Ce sont des centrales photovoltaïques de puissance allant jusqu'à la gamme de MW. Avec ces systèmes, nous pouvons obtenir un réseau de moyenne ou haute tension. Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

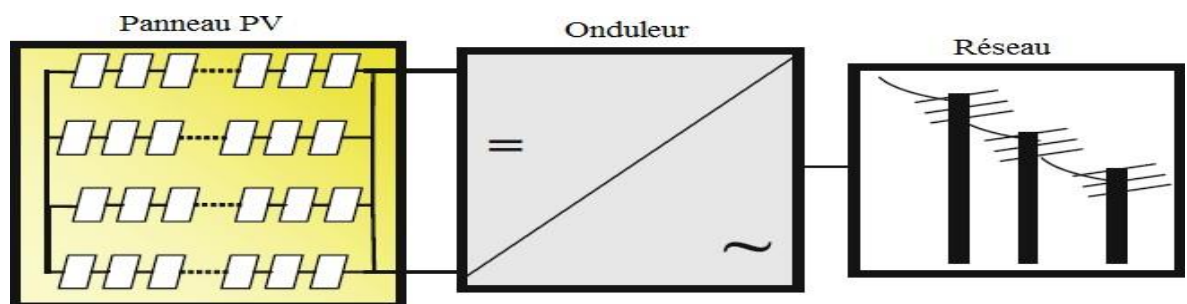


Figure 1.11 Système PV raccordé au réseau, décentralisé

Conclusion :

Nous avons donné dans ce chapitre, un aperçu général sur les différents composants d'un système photovoltaïque. On a étudié le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. En suite on fait un rappel sur les systèmes PV et production d'électricité photovoltaïque qui est basée sur un semi-conducteur (silicium), qui assure la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Chapitre 2:

Modélisation et simulation des convertisseurs DC/DC.

Chapitre 2***Modélisation et simulation des convertisseurs DC/DC*****2.1 Introduction**

La conception du contrôleur pour tout système nécessite des connaissances sur le comportement du système. Cela implique généralement une description mathématique de la relation entre les entrées et le processus, les variables d'état et la sortie. Cette description sous forme d'équations mathématiques qui décrivent le comportement du système (processus) est appelée modèle du système. Ce chapitre vise à développer les modèles mathématique des convertisseurs électroniques de puissance DC/DC utilisés souvent dans les systèmes photovoltaïques autonomes, en utilisant des modèles d'espace d'états commutés et non linéaires au niveau du système. L'objectif de ce chapitre est l'étude de la réponse des modèles développé en boucle ouverte afin de les utiliser dans la conception des schémas fonctionnels en boucles fermées.

2.2. Procédure de modélisation

Pour obtenir un modèle non linéaire pour les circuits électroniques de puissance, il faut appliquer les lois des circuits de Kirchhoff. Pour éviter l'utilisation des mathématiques complexes, les dispositifs de commutation sont considérés idéals. Par conséquent, des variables binaires auxiliaires peuvent être utilisées pour déterminer l'état des commutateurs. Il faut s'assurer que les équations obtenues par l'utilisation des lois de Kirchhoff doivent inclure tous les états admissibles en raison de l'activation ou de la désactivation des dispositifs à semi-conducteurs de puissance.

Les étapes suivies de modélisation des convertisseurs de puissance sont énumérées ci-dessous [10]:

- 1) Déterminer les variables d'état du circuit de puissance afin d'écrire son modèle d'espace d'états commuté, par exemple le courant d'inductance et la tension du condensateur.
- 2) Attribuer des variables entières aux états ON et OFF du semi-conducteur de puissance (u à chaque cellule de commutation).

3) Déterminer les conditions régissant les états des semi-conducteurs de puissance ou de la cellule de commutation.

4) Les principaux modes de fonctionnement du convertisseur sont supposés de conduction continue, discontinue, ou les deux. L'application des lois de Kirchoff et combine ensuite, toutes les étapes requises dans un modèle d'espace d'états, qui est le modèle souhaité au niveau dusystème.

5) Écrire le modèle sous forme d'équations différentielles nonlinéaires.

6) Implémenter les équations dérivées avec des blocs "SIMULINK" (la simulation du système en boucle ouverte est alors possible pour vérifier le modèle obtenu).

2.3. Modélisation des convertisseurs DC-DC en boucleouverte

2.3.1. Hacheur dévolteur(Buck)

Le convertisseur dévolteur avec des dispositifs de commutation idéaux sera considéré ici qui fonctionne avec la période de commutation de T et le cycle de service D Figure 2.1 [11]. Les équations d'état correspondant au convertisseur en mode de conduction continue (CCM) peuvent être facilement comprises en appliquant la loi de tension de Kirchoff sur la boucle contenant l'inductance et la loi de courant de Kirchoff sur le nœud auquel est connectée la branche du condensateur. Lorsque l'interrupteur idéal est sur ON, la dynamique du courant de l'inductance $i_L(t)$ de la tension du condensateur $v_c(t)$ est donnée par:

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V_{in} - v_o) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} (i_L - \frac{v_o}{R}) \end{cases}, \quad 0 < t < dT, \quad Q: ON \quad (2.1)$$

lorsque l'interrupteur est sur OFF, la dynamique du courant et tension sont présentés par :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (-v_o) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} (i_L - \frac{v_o}{R}) \end{cases}, \quad dT < t < T, \quad Q: OFF \quad (2.2)$$

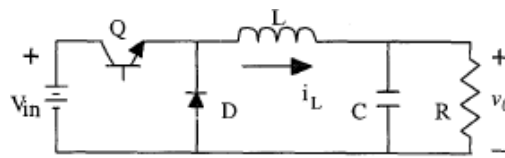


Figure 2.1 Hacheur dévolteur

Ces équations sont implémentées dans Simulink comme le montre le schéma bloc de la figure 2.2 [11] [12] [13].

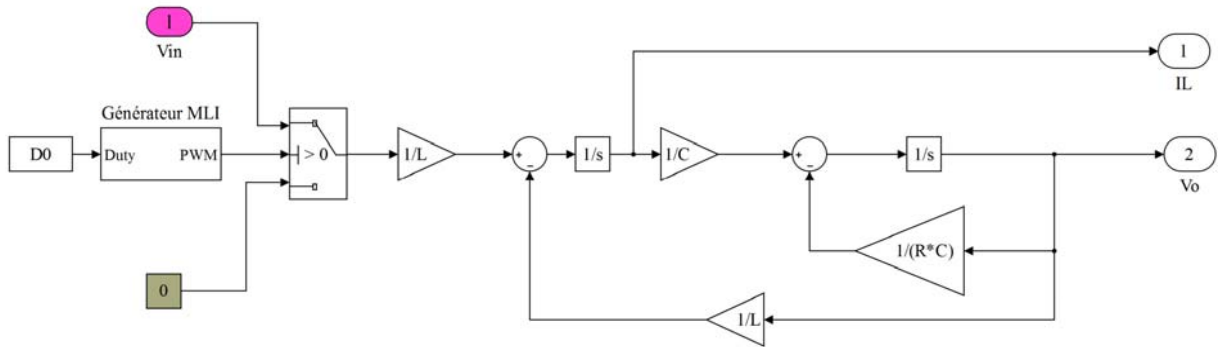


Figure 2.2 Schéma bloc de simulation de l’hacheur dévolteur en boucle ouverte

2.3.1.1 Résultats desimulation

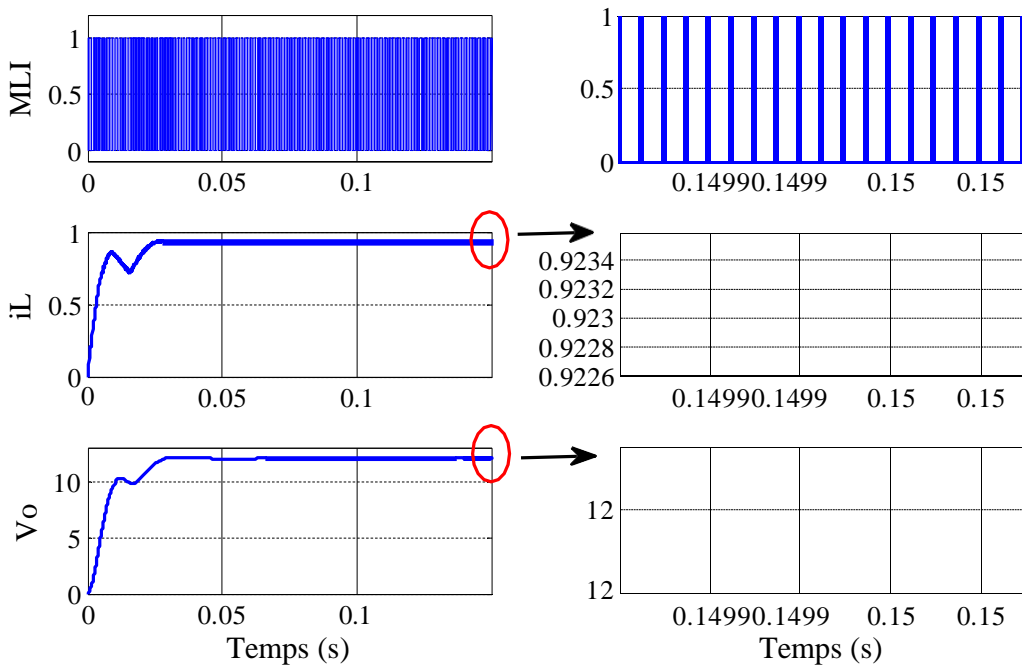


Figure 2.3 Schéma bloc de simulation de l’hacheur dévolteur en boucle ouverte
 $V_{in}=24V, L=69mH, C=220\mu F, R=13\Omega, f=100KHz, V_o=12V$

2.3.2 Hacheur survolteur(Boost)

Le circuit équivalent du convertisseur survolteur est représenté sur la figure 2.3 [10].

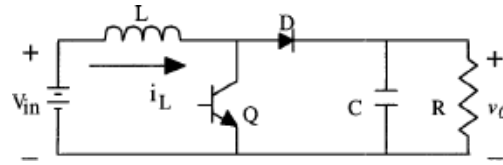


Figure 2.4 Hacheur survolteur

Pour une période de commutation de T et un rapport cyclique de D est donné. On suppose un mode de fonctionnement à conduction continue, lorsque l'interrupteur principal est sur ON sont représentées par les équations de l'espace d'état[1].

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in} - v) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C}(-v_o) \end{cases}, \quad 0 << t < DT, \quad Q : ON \quad (2.3)$$

Et lorsque l'interrupteur est sur OFF

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in} - v_o) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C^L} \frac{v_o}{R} \end{cases}, \quad DT < t < T, \quad Q : OFF \quad (2.4)$$

Le schéma bloc de simulation est alors représenté sur la figure 2.5 [10] [11] [12].

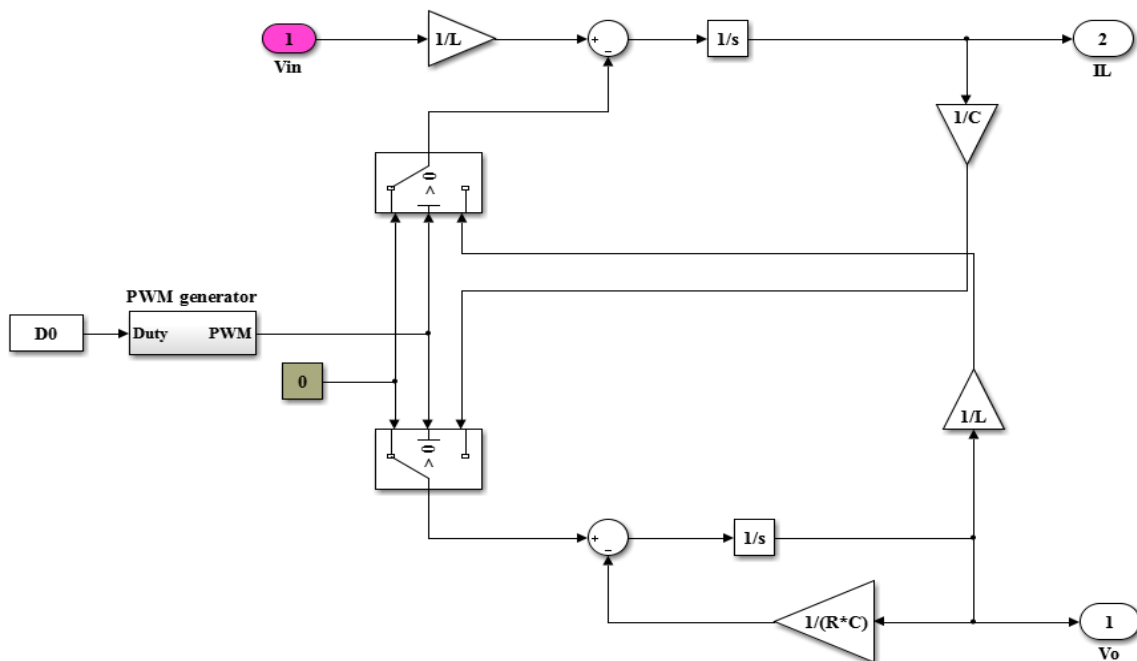


Figure 2.5 Schéma bloc de simulation de l'hacheur survolteur en boucle ouverte

2.3.2.1 Résultats desimulation

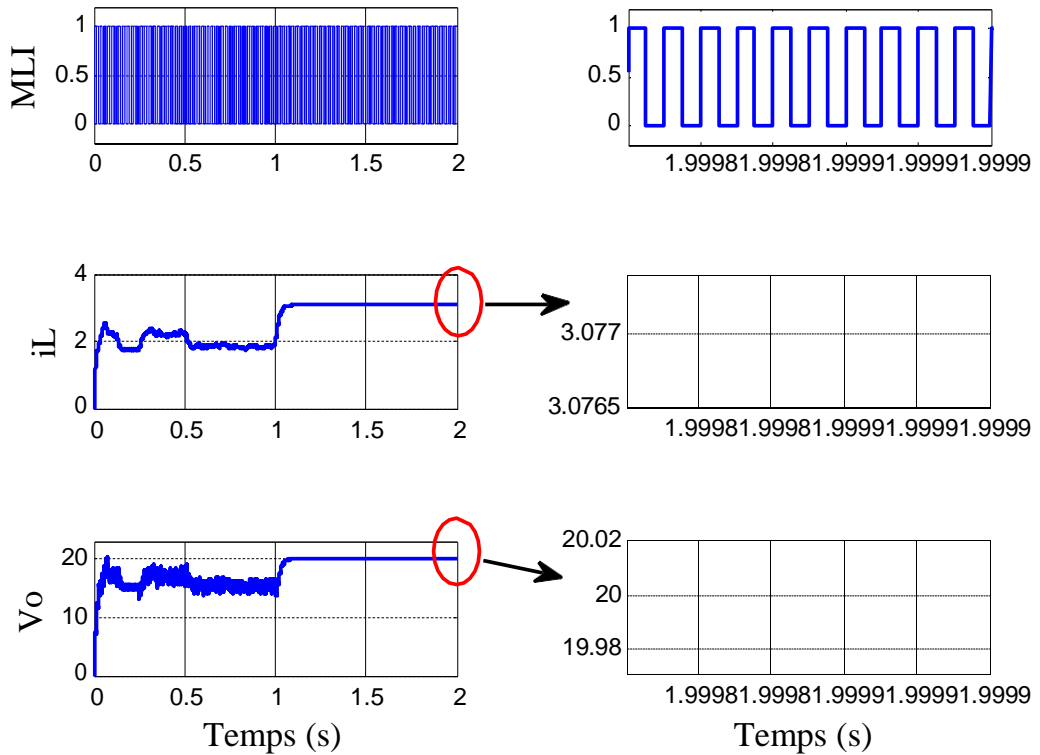


Figure 2.6 Schéma bloc de simulation de l’hacheur survolteur en boucle ouverte
 $V_{in}=10V, L=69mH, C=220\mu F, R=13\Omega, f=100KHz, V_o=20V$

2.3.3 Hacheur dévolteur-survolteur(Buck-Boost)

L’hacheur dévolteur-survolteur est représenté sur la figure 2.7. Pour une période de commutation T et un rapport cyclique D , et en supposant un mode de fonctionnement à conduction continue, lorsque l'interrupteur est sur ON, les équations de l'espace d'état sont données par, [10]

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (V)_{in} \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} (-v_o) \end{cases}, \quad 0 < t < dT, \quad Q : ON \quad (2.5)$$

Et lorsque l'interrupteur est sur OFF

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} (v)_{o} \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{C} (-i - \frac{v_o}{R}) \end{cases}, \quad dT < t < T, \quad Q : OFF \quad (2.6)$$

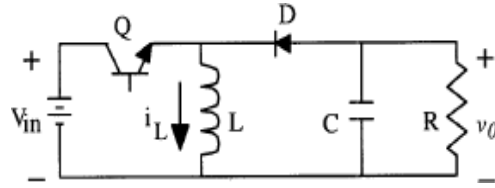


Figure 2.7 Hacheur dévolteur-survolteur

Le schéma bloc de simulation est alors représenté sur la figure 2.8 [11] [12] [13].

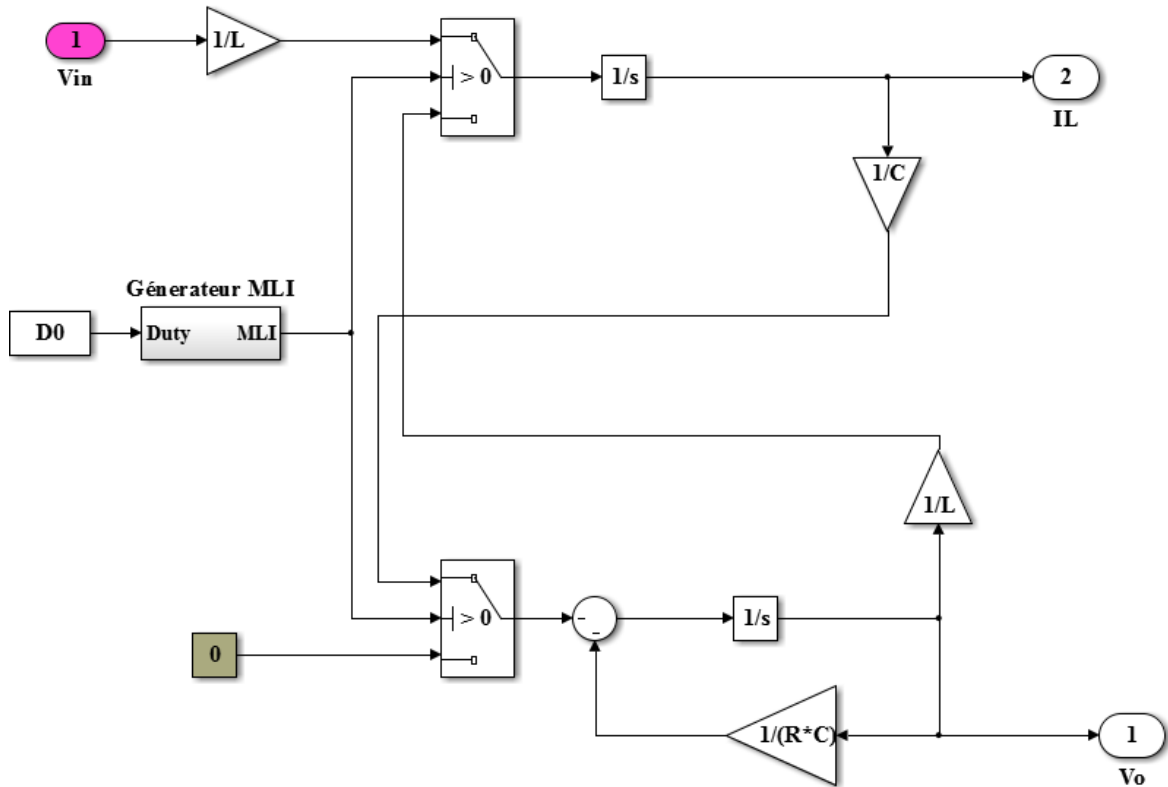


Figure 2.8 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur en boucle ouverte

2.3.3.1 Résultats desimulation

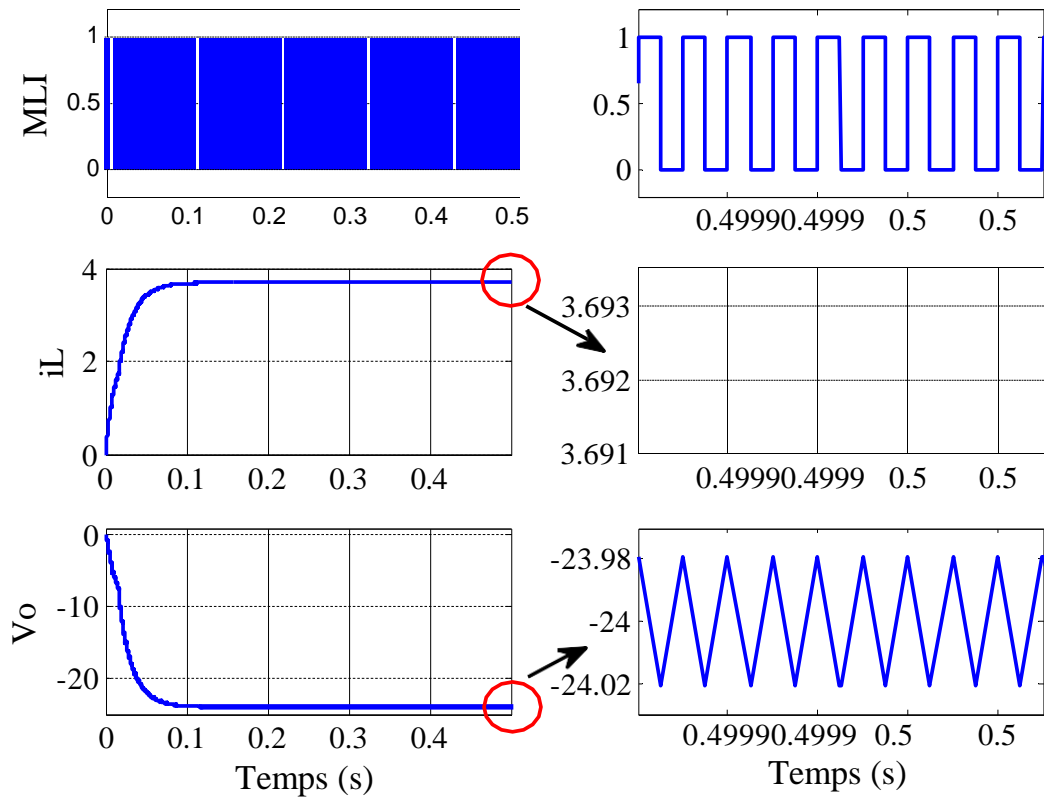


Figure 2.9 Schéma bloc de simulation de l'hacheur dévolteur-survolteur en boucle ouverte
 $V_{in}=24V$, $L=69mH$, $C=220\mu F$, $R=13\Omega$, $f=100KHz$, $V_o=-24V$

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons développé les modèles mathématiques des convertisseurs électroniques de puissance DC/DC utilisés souvent dans les systèmes photovoltaïques autonomes. En vue de suivre les différentes grandeurs électriques en régime transitoire et permanent en réponse de la tension appliquée à l'entrée de chaque convertisseur, nous avons implantés et exécutés ces modèles sous formes de schémas bloc de simulation dans l'environnement Matlab SIMULINK.

Chapitre 3:

Modélisation et simulation du panneau photovoltaïque.

Chapitre 3

Modélisation et simulation du panneau photovoltaïque

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons modéliser et simuler le fonctionnement électrique d'un module photovoltaïque dont l'objectif est de comprendre l'influence de la température interne, et l'éclairement solaire sur les grandeurs électriques comme le courant, la tension, et la puissance. Les courbes du courant en fonction de la tension (I–V) et la puissance en fonction de la tension (P–V) sont couramment utilisées pour illustrer les sorties des cellules PV, des modules, et les panneaux photovoltaïques. Des modèles de calcul peuvent être développés pour représenter les caractéristiques de sortie PV pour différentes valeurs de température et éclairement solaire. Ces modèles sont classés selon leurs circuits équivalents en deux types principaux: le modèle à une diode (SDM) et le modèle à double diode (DDM). Différentes approches de modélisation ont été présentées dans la littérature. Par exemple, dans [2], un modèle à diode unique avec des résistances parallèles et en série a été détaillé. La même approche a été appliquée dans plusieurs études telles que [3, 4]. Dans lequel, ces deux caractéristiques internes sont considérées comme très importantes et nécessitent sa détermination judicieuse. Les modèles conçus dans [5, 6] ne tiennent en compte que la résistance en série tandis que la résistance parallèle est considérée comme très grande et peut être ignorée. Pour simplifier encore plus le modèle, le modèle idéal avec une seule diode (ISDM) est choisi dans ce mémoire. Les deux résistances sont supprimées en supposant que celle en série est très petite et celle en parallèle est très grande. Après une brève description des caractéristiques électriques et les paramètres renseignant une cellule photovoltaïque à quatre paramètres qui est plus fréquemment utilisé, et vue de comprendre l'influence de l'éclairement solaire et la température interne sur le rendement énergétique du module photovoltaïque, nous allons simuler notre module composé de 36 cellules pour différentes conditions météorologiques ce qui permettra de tracer les courants et les puissances en fonction de la tension.

3.2 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

La figure (3.1) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairement. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma. Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule :

- La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles;
- La résistance shunt (R_p) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

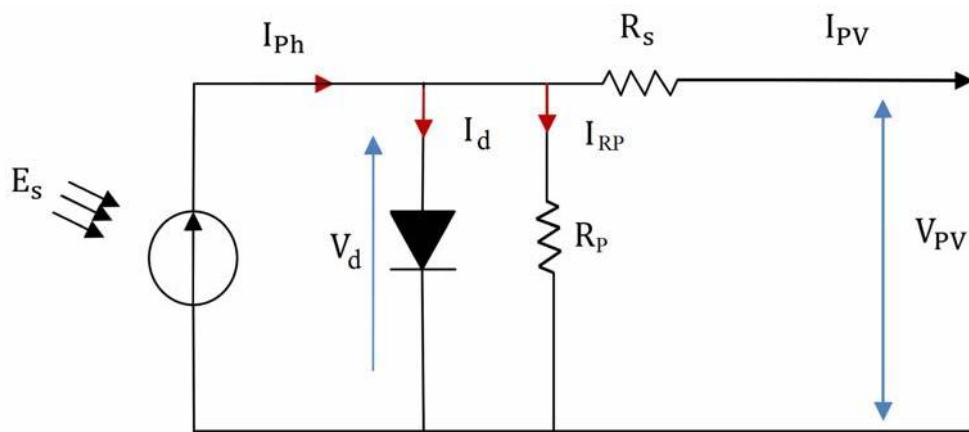


Figure 3.1 Schéma équivalent électrique de la cellule PV

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\frac{(V_{pv} + I_{pv} \times R_s)}{\lambda \cdot K \cdot T}} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} * R_s)}{R_p} \quad (3.1)$$

Où I_{sat} est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin (k), e est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C), n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$), I_{pv} est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court circuit), R_p est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la

jonction, R_s est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions .

3.3 Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes:

3.3.1 Courant de court circuit (I_{cc})

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_s nulle et R_p infinie), ce courant se confond avec la photo courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (3.1), on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\frac{(I_{cc} \cdot R_s)}{\lambda \cdot K \cdot T}} - 1 \right] - \frac{(I_{cc} \cdot R_s)}{R_p} \quad (3.2)$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme

$I_{sat} \left[e^{\frac{(I_{pv} \cdot R_s)}{\lambda \cdot K \cdot T}} - 1 \right]$, devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit est

alors :

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right)} \quad (3.3)$$

3.3.2 Tension de circuit ouvert (V_{oc})

C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[e^{\frac{(V_{oc})}{\lambda \cdot K \cdot T}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (3.4)$$

3.4 Modèle idéal avec une seule diode (ISDM)

Compte tenu des objectifs envisagés dans ce mémoire, le choix du circuit équivalent du panneau solaire n'affecte pas le comportement global des systèmes. En effet, et pour des raisons de simplification, nous avons choisi le modèle idéal avec une seule diode (ISDM) qui est le modèle le plus simple. Sur la base de la structure de jonction p-n pour la cellule PV et la

diode, le modèle n'a qu'une source de courant en parallèle avec une diode, comme le montre la figure 3.2.

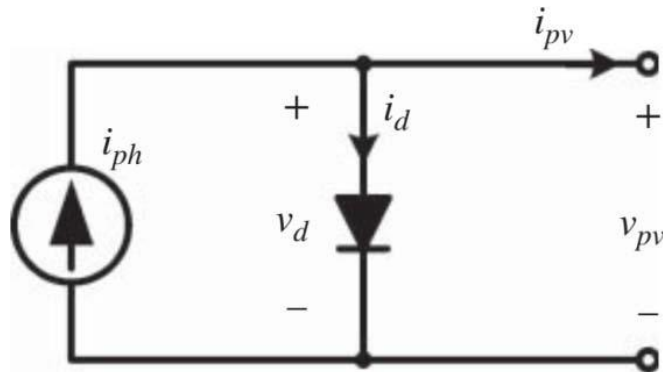


Figure 3.2. Circuit équivalent du modèle idéal de la cellule PV (ISDM)

Pour les conditions d'essai standard (STC) de température interne de la cellule et de l'éclairement solaire, les caractéristiques courant-tension sont exprimées comme suit:

$$i_{pv} = i_{ph} - i_{sd} \left[e^{\frac{qv_{pv}}{kT_c A}} - 1 \right] \quad (3.5)$$

Les valeurs des constantes de la jonction p-n, des paramètres du modèle, et des variables sont répertoriées dans le tableau 1 de l'annexe.

3.4.1 Identification des paramètres dans les conditions standards STC

Lorsque la borne du circuit équivalent de figure 3.2 est court-circuitée, le courant de diode \$i_d\$ est égal à zéro. La valeur du courant photonique \$i_{ph}\$ est égale au courant de court-circuit \$I_{SCS}\$ disponible dans la fiche technique du produit. Lorsque le circuit est ouvert, le courant de sortie de la cellule PV \$i_{pv}\$ est égal à zéro. La valeur du courant de diode \$i_d\$ devient égale au courant \$i_{ph}\$ qui est \$I_{SCS}\$ dans les conditions STC. Cela peut être exprimé par l'équation (3.6) qui comprend deux paramètres inconnus de \$I_{SS}\$ et \$A_n\$:

$$i_{SCS} = i_{SS} \left[e^{\frac{v_{OCS}}{V_{TCS} A_n}} - 1 \right] \quad (3.6)$$

Où \$V_{TCS}\$ est la tension thermique dans les conditions STC, qui est constante et exprimée par la formule (3.7).

$$v_{TCS} = \frac{kT_{CS}}{q} \quad (3.7)$$

En utilisant l'équation (3.5), les caractéristiques (I–V) du point de puissance maximale (MPP) sont donc exprimées dans les conditions STC par l'équation (3.8).

$$i_{MS} = i_{SCS} - i_{ss} \left[e^{\frac{v_{MS}}{v_{TCS} A_n}} - 1 \right] \quad (3.8)$$

Les paramètres inconnus i_{ss} et A_n peuvent être déterminés en résolvant les deux équations non linéaires (3.6) et (3.8). Ils peuvent également être combinés pour former une seule équation:

$$\frac{e^{\left(\frac{v_{MS}}{v_{TCS} A_n} - 1\right)} - 1}{e^{\left(\frac{v_{OCS}}{v_{TCS} A_n} - 1\right)} - 1} = 1 - \frac{i_{MS}}{i_{SCS}} \quad (3.9)$$

Nous définissons une nouvelle variable A_{inv} comme la réciproque de A_n :

$$A_{inv} = \frac{1}{A_n} \quad (3.10)$$

L'équation (3.9) peut être réorganisée dans l'équation (3.11) qui est une équation non linéaire.

$$f(A_{inv}) = e^{C_1 A_{inv}} - C_2 e^{C_2 A_{inv}} - 1 + C_3 = 0 \quad (3.11)$$

Où les constantes sont calculées comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{v_{MS}}{v_{TCS}} \\ C_2 = \frac{v_{OCS}}{v_{TCS}} \\ C_3 = 1 - \frac{i_{MS}}{i_{SCS}} \end{array} \right. \quad (3.12)$$

Nous utilisons la méthode de Newton – Raphson pour résoudre l'équation (3.11). La dérivation de $f(A_{inv})$ est exprimée par l'équation (3.13):

$$f'(A_{inv}) = C_1 A_{inv} e^{C_1 A_{inv}} - C_3 C_2 A_{inv} e^{C_2 A_{inv}} \quad (3.13)$$

Les valeurs de A_n étant généralement comprises entre 1 et 2, A_{inv} peut s'attribuer une valeur initiale de 0,7. La tolérance choisie est ($Err = 10^{-6}$). L'itération numérique Newton – Raphson est donnée par l'équation (3.14).

$$A_{inv}(n+1) = A_{inv}(n) - \frac{f[A_{inv}(n)]}{f'[A_{inv}(n)]} \quad (3.14)$$

L'organigramme itératif conçu pour l'identifier les paramètres est illustré sur la figure 3.3. La valeur de A_{inv} est continuellement mise à jour jusqu'à ce que la sortie de $f(A_{inv})$ soit proche de zéro, et la valeur résultante de A_n représente, par conséquent, le facteur d'idéalité ISDM.

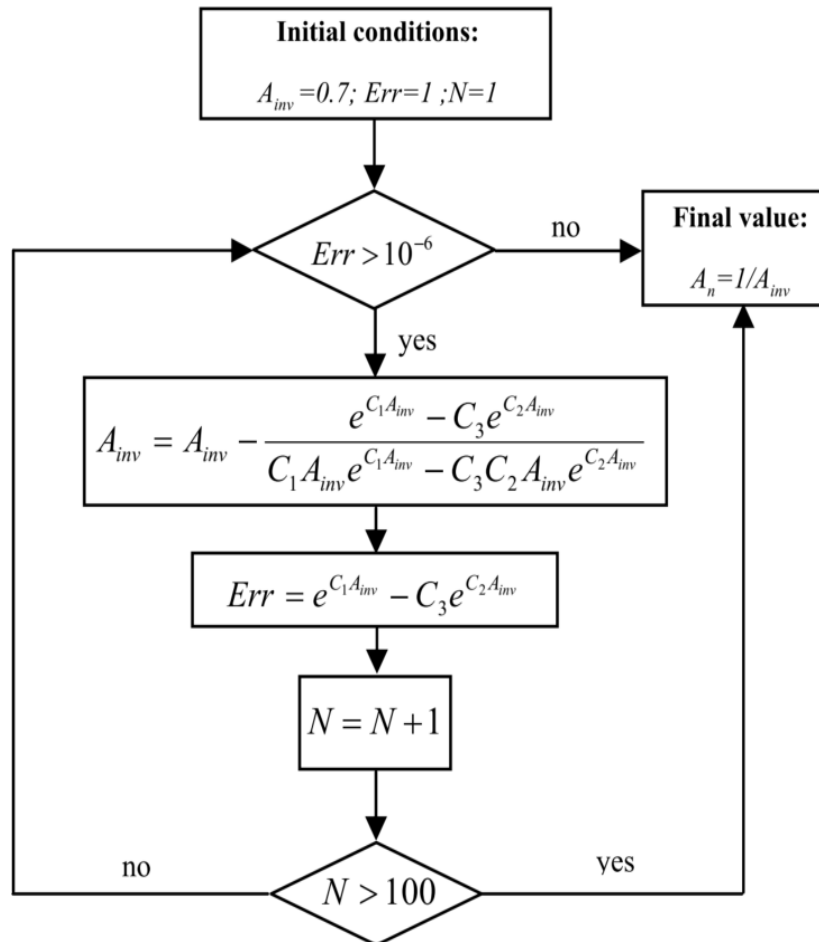


Figure 3.3. Organigramme itératif de la méthode Newton – Raphson

3.4.2 Caractéristique (I-V) avec variations de l'éclairement et latempérature

En réalité, les caractéristiques (I-V) du modèle de simulation devraient répondre aux variations à la fois de la température interne de la cellule et l'éclairement solaire. Le fabricant des cellules photovoltaïques fournit généralement des coefficients de correction par des tests expérimentaux. Les coefficients de température pour le courant de sortie PV, la tension et la puissance sont notés respectivement α_T , β_T et λ_T . En partant de l'hypothèse que le facteur d'idéalité A_n est constant quelles que soient les variations environnementales, l'expression de i_{ph} devrait être [13]:

$$i_{ph}(G, \Delta T) = \frac{G}{G_{STC}} i_{SCS} (1 + \alpha_T \Delta T) \quad (3.15)$$

Où G est le rayonnement solaire actuel et G_{STC} est le rayonnement solaire dans les conditions STS. ΔT est la différence entre la température de la cellule TC et la température TCS dans les conditions STC qui est de 25 ° C ou 298 K. La correction de la tension en circuit ouvert pour l'éclairement solaire et les variations de température de la cellule est donnée par l'équation(3.16):

$$v_{OC}(G,\Delta T)=v_{OCs}(1+\beta_T\Delta T)v_T \tag{3.16}$$

La valeur du courant de saturation de la diode $i_s(G,\Delta T)$ peut être déterminée à partir des conditions du circuit ouvert, car le courant i_{ph} est égal au courant de diode i_d :

$$i_s(G, \Delta T) = \frac{i_{ph}(G, \Delta T)}{e^{\left[\frac{qv_{oc}}{kT_n A_n} \right] - 1}} \tag{3.17}$$

L'équation donnant les caractéristiques (I–V) de la cellule photovoltaïque avec les variations de la température de la cellule et d'éclairement solaire peut s'écrire:

$$i_{pv} = i_{ph}(G,\Delta T) - i_s(G,\Delta T) \left[e^{\frac{qv_{pv}}{kT_n A_n}} - 1 \right] \tag{3.18}$$

La tension V_{pvM} et le courant I_{pvM} du module photovoltaïque sont donnés en fonction de la tension V_{pv} et du courant I_{pv} par les relations suivantes:

$$I_{pvM} = N_s I_{pv} \tag{3.19}$$

$$V_{pvM} = N_p v_{pv} \tag{3.20}$$

Où N_s est le nombre de cellules en série et N_p est le nombre de cellules parallèles. Les paramètres de la cellule PV peuvent être estimés à l'aide des spécifications du module PV indiquées dans le tableau 1.

3.4.3 Schéma bloc desimulation

La figure 3.4 représente le schéma bloc de simulation du panneau photovoltaïque.

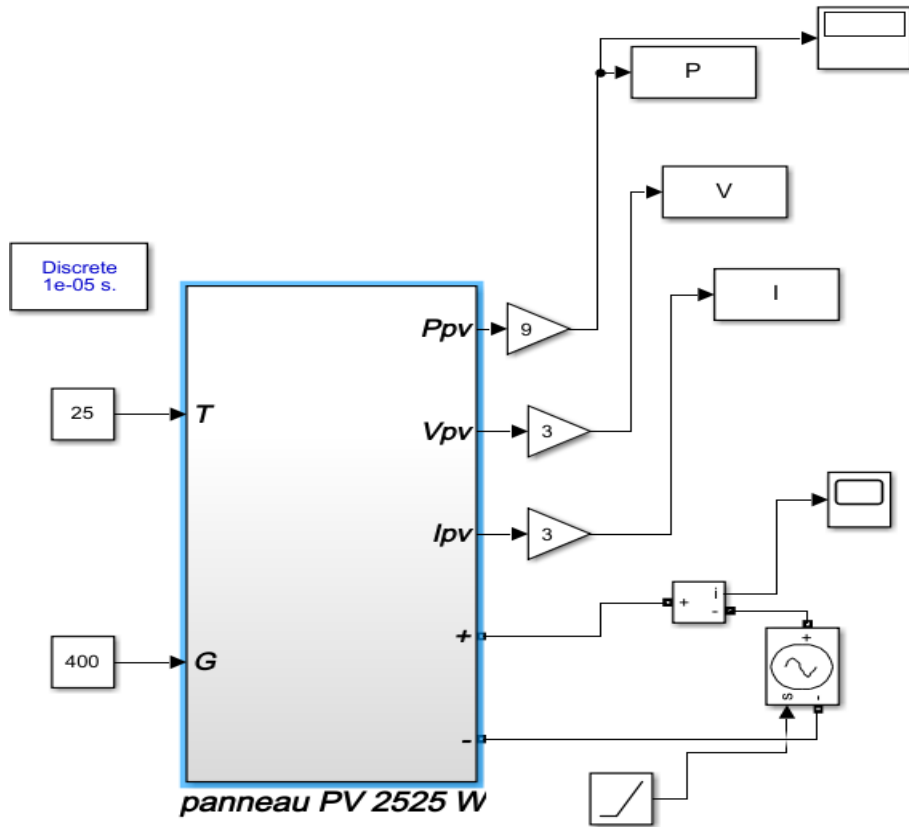


Figure 3.4. Schéma bloc de simulation du panneau PV

3.4.4 Résultats desimulation

Les caractéristiques de sortie du panneau photovoltaïque sont représentées par les courbes (I–V) et (P–V) illustrées dans les figures (3.5) à (3.8) qui illustrent l'impact de changement de température et l'éclairement solaire, respectivement.

3.4.4.1 Influence de latempérature

Les figures (3.5) et (3.6) montrent l'influence de la température sur les caractéristiques du panneau PV lors du changement de la température. Le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvre. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution en fonction de la tension pour différentes valeurs de température, ceci montre que la puissance délivrée par le module, et la tension de circuit ouvert sont inversement proportionnels avec la température interne du module.

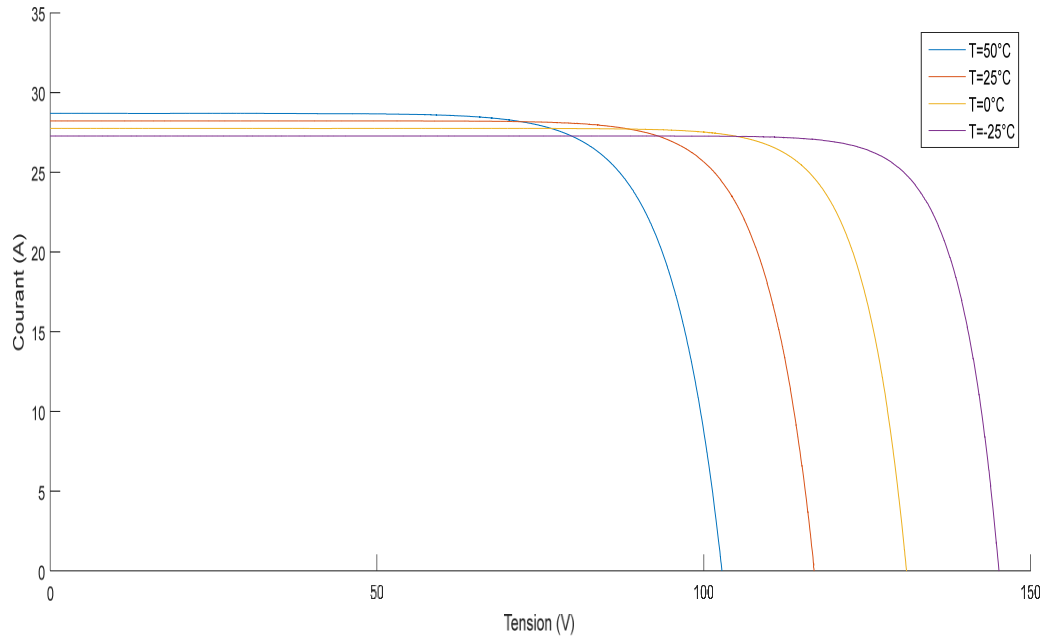


Figure 3.5. Influence de la température sur la caractéristique $I=f(v)$

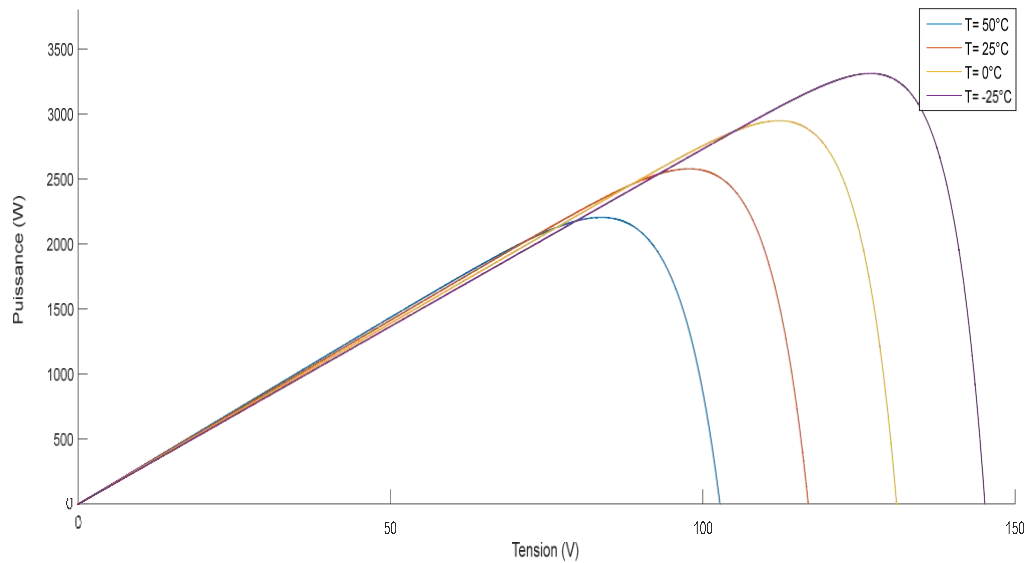


Figure 3.6. Influence de la température sur la caractéristique $P=f(v)$

3.4.4.2 Influence de l'éclairement

Les figures (3.7) et (3.8) montrent l'influence de l'éclairement sur les caractéristiques du panneau PV lors de variation de l'éclairement. 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. La puissance délivrée par le générateur photovoltaïque augmente proportionnellement avec l'éclairement solaire.

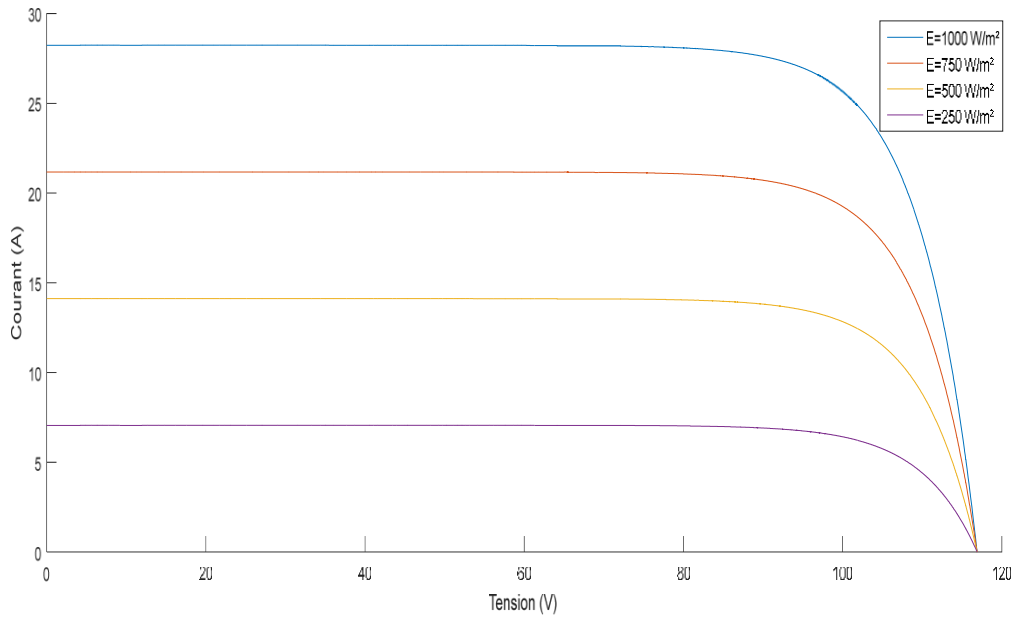


Figure 3.7. Influence de l'éclairement la caractéristique $I=f(v)$

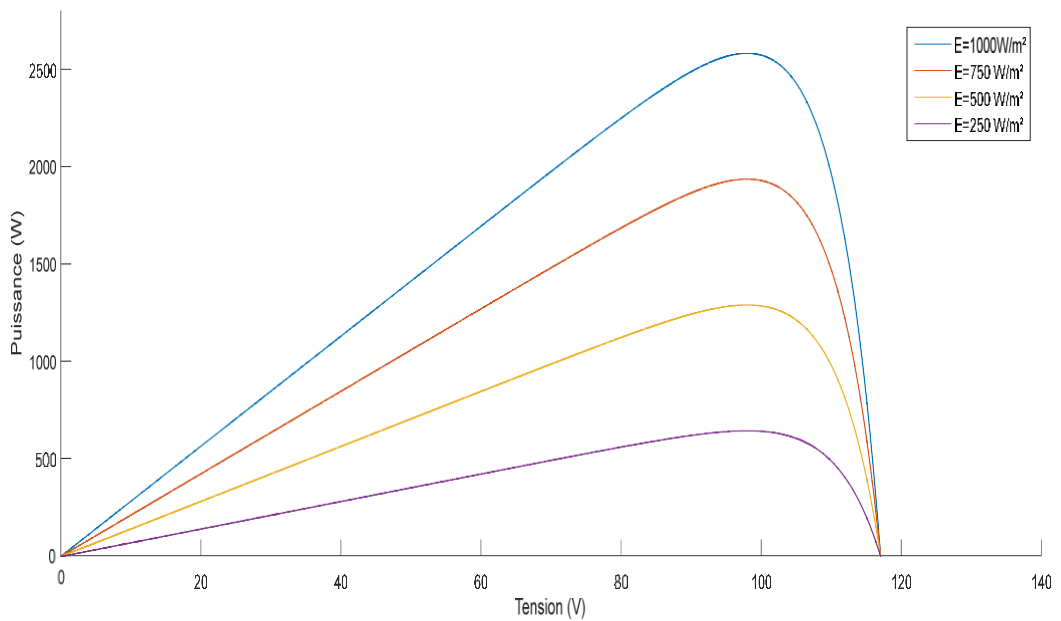



Figure 3.8. Influence de l'éclairement la caractéristique $P=f(v)$

Conclusion

Après avoir décrit les caractéristiques électriques et les paramètres relatifs au circuit équivalent de la cellule photovoltaïque, nous avons identifié et modélisé un panneau photovoltaïque idéal avec une seule diode, en se basant sur un algorithme itératif permettant de déterminer les différents paramètres de simulation à savoir, le facteur d'idéalité et le courant de saturation. En vue d'analyser le fonctionnement du module photovoltaïque, nous avons relevé les caractéristiques $I(V)$, et $P(V)$ pour différentes conditions météorologiques de changement de température et l'éclairementsolaire.

Dans le chapitre suivant, nous allons dimensionner et modéliser un système photovoltaïque autonome alimenté par un panneau PV composé de neuf modules, et débitant sur une batterie de stockage à travers un convertisseur DC/DC abaisseur de tension.



Chapitre 4:
Contrôle et optimisation du système photovoltaïque autonome.

Chapitre 4

Contrôle et optimisation du système photovoltaïque autonome

4.1 Introduction

Le dimensionnement des systèmes photovoltaïques est la préoccupation majeure des chercheurs et des professionnels de l'énergie. Cela vise à améliorer l'efficacité énergétique et à protéger les unités de conversion par une évaluation cohérente des circuits de conditionnement de puissance et des interconnexions pour l'application photovoltaïque. Dans ce contexte, ce chapitre décrit les étapes de dimensionnement et de contrôle d'un système d'alimentation photovoltaïque (PV) autonome avec stockage d'énergie, selon les spécifications pratiques de la charge, de l'unité de production photovoltaïque et de la batterie.

L'objectif principal est l'optimisation de la puissance issue du générateur PV d'une part, et le contrôle de la tension de la batterie d'une autre part. La liaison PV reliant le circuit de source PV au convertisseur côté PV (PVSC) fournit une fonction de filtrage pour maintenir une tension constante au niveau de la liaison. Le contrôleur de charge utilisé dans le convertisseur côté PV est un hacheur abaisseur de tension. Il transfère l'énergie PV à la batterie et alimente la charge. Le circuit de conditionnement de puissance PVSC est contrôlé en permanence par un algorithme de suivi du point de puissance maximale (MPPT) pour atteindre la puissance maximale. La tension de la batterie est correctement maintenue par le contrôleur de charge et spécifiée pour correspondre à la tension nominale de charge, afin d'éviter une éventuelle surcharge de tension. La sortie du générateur PV et les circuits de conditionnement de puissance, principalement constitués de convertisseurs de puissance à découpage, sont non linéaires. Un modèle moyenné est développé pour l'analyse dynamique et la synthèse du contrôleur, en utilisant une technique de linéarisation dans l'espace d'états. Un panneau photovoltaïque de neuf modules PV positionné en trois chaînes est utilisé dans cette application pour démontrer l'efficacité de la modélisation, de la conception, et du contrôle du système PV.

4.2 Système photovoltaïque autonome étudié

Le circuit équivalent étudié pour l'analyse et la simulation est illustré sur la figure 4.1. Le convertisseur abaisseur est le contrôleur de charge qui transfère la puissance PV à la batterie et alimente la charge. Le circuit équivalent de la batterie est formé par une source de tension V_{OC} en série avec une résistance R_{bat} , et une capacité équivalente aux bornes du bloc batterie C_{BAT} . Le courant de charge I_{load} désigne toutes les charges continues raccordées aux bornes de la batterie.

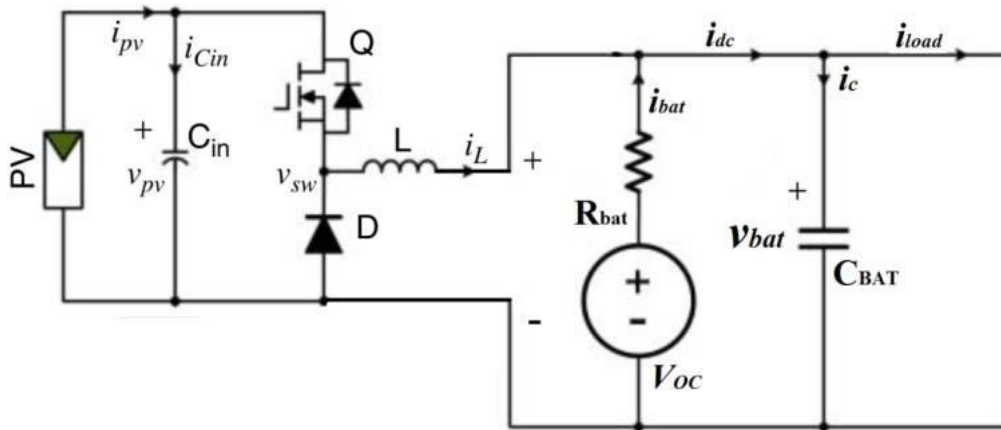


Figure 4.1. Circuit équivalent du système PV étudié

4.3 Dimensionnement du convertisseur DC/DC

Dans le système PV de la figure 4.1, l'hacheur abaisseur de tension DC-DC est contrôlé en utilisant une technique de modulation de largeur d'impulsion (MLI), dans laquelle le rapport cyclique D est choisi comme étant la variable de contrôle du système. Une topologie abaisseur doit être envisagée si la tension de sortie du convertisseur n'est jamais supérieure à la tension aux bornes du générateur PV (V_{MPP}), lorsque la variation de tension des deux côtés a été prise en compte. La condition de fonctionnement peut être exprimée par $V_o(\max) \leq V_{MPP}(\min)$, avec V_o est la tension à vide de la batterie, et $V_{MPP}(\min)$ désigne la valeur la plus basse de la tension aux bornes du générateur PV au point de fonctionnement optimum MPP qui peut être estimée à partir de la température ambiante la plus élevée et de l'éclairement minimal. La valeur la plus élevée de la tension de sortie, $V_o(\max)$, peut être déterminée à partir du profil de charge. Pour les applications de charge de batterie, la tension de batterie devient la tension de sortie du convertisseur V_o , qui varie de la tension de coupure à 0% de l'état de charge (SOC) jusqu'à la tension du circuit ouvert qui correspond à 100% de l'état de charge [12].

4.3.1 Calcul de l'inductance L et le condensateur C_{in}

Dans les conditions de fonctionnement standards (STC) de température et éclairage solaire, et à la fréquence de commutation prédéfinie f_{sw} , le courant d'ondulation de l'inductance et la tension d'ondulation au niveau de la liaison PV doivent être spécifiés par les valeurs de crête à crête, ΔI_L et ΔV_{PV} , respectivement. L'analyse en régime permanent peut déterminer le rapport cyclique au point de fonctionnement nominal. Dans les conditions de fonctionnement STC, le générateur photovoltaïque doit être exploité au voisinage du point de fonctionnement optimum MPP, qui est représenté par la tension V_{MPP} et le courant I_{MPP} . Le rapport cyclique nominal peut être calculé par la formule (4.1)[12].

$$D_0 = \frac{V_{0-NOM}}{V_{MPP}} \quad (4.1)$$

La tension nominale V_{0-NOM} qui correspond au mode de fonctionnement continu du convertisseur (CCM) peut être spécifiée à partir du profil de charge. La valeur de l'inductance, L, et la capacité, C_{in} , peuvent être calculées en utilisant les équations (4.2) et (4.3), respectivement [12]:

$$L = \frac{V_{0-NOM}(1-D_0)}{\Delta I_L f_{sw}} \quad (4.2)$$

$$C_{in} = \frac{I_{MPP}(1-D_0)}{\Delta V_{pv} f_{sw}} \quad (4.3)$$

En appliquant les lois de base de Kirchhoff de la figure 4.1, la dynamique du système peut être révélée en mode de fonctionnement CCM. Lorsque la tension de la liaison PV est la variable de contrôle, la tension de sortie V_o est supposée constante pour la modélisation dynamique. Sur la base de l'état de conduction du dispositif de commutation Q, on distingue deux cas:

Q à l'état passant (ON)

$$L \frac{di_L}{dt} = v_{pv} - v_o \quad (4.4)$$

$$C_{in} \frac{dv_{pv}}{dt} = i_{pv} - i_L \quad (4.5)$$

Q à l'état bloqué (OFF)

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_0 \quad (4.6)$$

$$C_{in} \frac{dv_{pv}}{dt} = i_{pv} \quad (4.7)$$

4.3.2 Modélisation dynamique

Le générateur PV et les circuits de conditionnement de puissance sont non linéaires. À partir de l'expression dynamique de l'état de commutation ON/OFF, un modèle moyenné peut être dérivé en utilisant la méthode de moyennage de l'espace d'états, et de la technique de linéarisation pour dériver des modèles linéaires pour l'analyse dynamique et la synthèse du régulateur. L'approche de cette méthode exige que la fréquence du dispositif de commutation soit beaucoup plus élevée que la dynamique critique du système, qui est formée par des composants de stockage d'énergie, tels que le condensateur et l'inducteur. Dans cette condition, la dynamique de commutation non linéaire peut être négligée pour l'analyse dynamique et la synthèse du contrôleur. Au cours d'un cycle de commutation, le modèle d'espace d'état du système peut être dérivé de l'état ON/OFF de l'interrupteur Q. La valeur moyenne des signaux continus peut être utilisée pour former un modèle dynamique sans avoir besoin de représenter les ondulations de commutation. La dynamique du système peut être exprimée sous une forme générale montrant la dynamique du courant de l'inducteur et de la tension de la liaison PV [12].

$$\frac{di_L}{dt} = f(i_L, v_{pv}, d) \quad (4.8)$$

$$\frac{dv_{pv}}{dt} = g(i_L, v_{pv}, d) \quad (4.9)$$

Le modèle linéaire peut être dérivé par un processus de linéarisation:

$$\frac{d\tilde{i}_L}{dt} = \left. \frac{\partial f}{\partial v_{pv}} \right|_{SS} \tilde{v}_{pv} + \left. \frac{\partial f}{\partial i_L} \right|_{SS} \tilde{i}_L + \left. \frac{\partial f}{\partial d} \right|_{SS} \tilde{d} \quad (4.10)$$

$$\frac{d\tilde{v}_{pv}}{dt} = \left. \frac{\partial g}{\partial v_{pv}} \right|_{SS} \tilde{v}_{pv} + \left. \frac{\partial g}{\partial i_L} \right|_{SS} \tilde{i}_L + \left. \frac{\partial g}{\partial d} \right|_{SS} \tilde{d} \quad (4.11)$$

Où, $\tilde{v}_{pv}, \tilde{i}_L$, et \tilde{d} représentent les petits signaux en régime permanent (SS) de la tension du module PV V_{pv} , le courant de l'inductance i_L et le rapport cyclique d . En faisant la moyenne de la dynamique d'état des équations (4.4), (4.5), (4.7) et (4.8), nous obtenons:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} \left[dv_{pv} - v_o \right] \quad (4.12)$$

$f(v_{pv}, d, i_L)$

$$\frac{dv_{pv}}{dt} = \frac{1}{C} \left[di_{pv} - di_L \right] \quad (4.13)$$

$g(v_{pv}, d, i_L)$

Où le rapport cyclique de commutation d est la variable de contrôle. En raison des caractéristiques non linéaires de (4.12) et (4.13), une linéarisation est nécessaire pour dériver le modèle à petits signaux au point de fonctionnement nominal. En du régime permanent prédéfini, le modèle à petits signaux peut être dérivé en utilisant les équations (4.10) et (4.11), et exprimé sous forme d'espace d'états par l'équation (4.14) :

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{d\tilde{v}_{pv}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{D}{L} \\ -\frac{D}{C_{in}} & \frac{1}{R_{pv} C_{in}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_L \\ \tilde{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{v_{pv}}{L} \\ -\frac{1}{C_{in}} \end{bmatrix} \tilde{d} \quad (4.14)$$

Où D, V_{pv} et i_L sont considérés constants en régime permanent. Les signaux $\tilde{i}_L, \tilde{v}_{pv}$ sont les variables d'état et \tilde{d} représente la variable de contrôle, R_{pv} est la résistance du module PV définie comme le rapport entre la tension et le courant de la borne PV.

4.4 Modélisation de la batterie

La batterie peut être considérée comme une source de tension variable, la valeur en régime permanent étant affectée par l'état de charge (SOC) et le taux de charge ou de décharge. Un modèle simple de la batterie peut être représenté par un circuit équivalent de Thévenin, qui est formé par une source de tension en série avec une résistance, comme le montre la figure 4.1. Le modèle donné par l'équation (4.15) peut simuler la valeur de la tension en régime permanent répondant aux variations du courant de décharge.

$$v_{bat} = V_{OC} - R_{bat} \cdot i_{bat} \quad (4.15)$$

BK-10V10T est un module spécifique de batterie utilisé dans le système photovoltaïque autonome étudié. Ces paramètres sont définis dans le tableau 3. La figure 4.2 illustre les caractéristiques de décharge données par la fiche technique du produit [13].

Pour une représentation générale, la capacité de décharge, C_{dis} peut être converti en état de charge (SOC), ce qui est la manière normale pour représenter la capacité de la batterie.

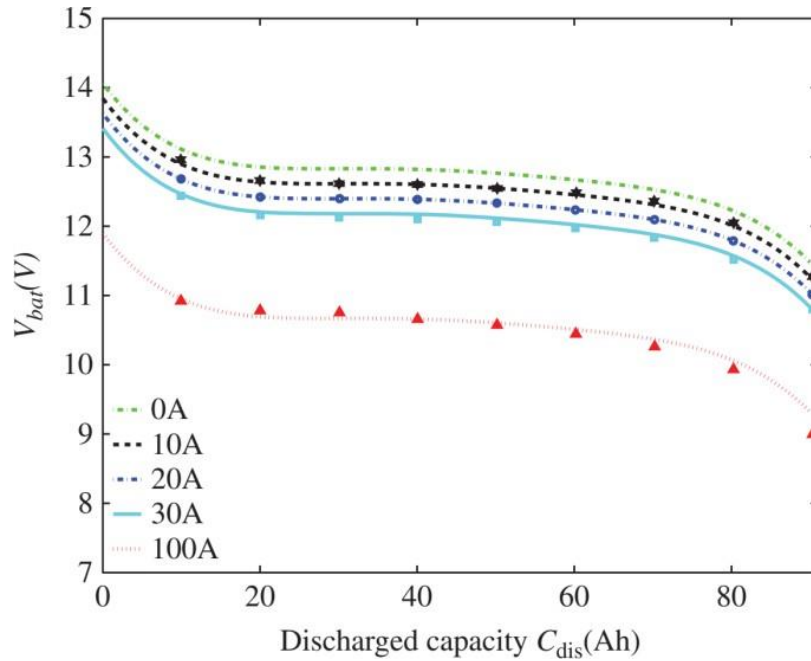


Figure 4.2. Tensions de la batterie en fonction de la capacité de décharge[13].

Pour le module BK-10V10T, la fonction polynomiale est dérivée dans l'équation (4.16), où les constantes polynomiales sont répertoriées dans le tableau 4.

$$V_{OC} = P_{S5} SOC^5 + P_{S4} SOC^4 + P_{S3} SOC^3 + P_{S2} SOC^2 + P_{S1} SOC + P_{S0} \quad (4.16)$$

Dans le circuit équivalent de la figure 4.1, le courant d'inductance du convertisseur abaisseur est noté i_L . La dynamique du circuit est donnée par les équations :

$$i_L + i_{bat} = C_{BAT} \frac{dv_{bat}}{dt} + i_{load} \quad (4.17)$$

$$R_{bat} C_{BAT} \frac{di_{bat}}{dt} + i_{bat} = i_{load} - i_L \quad (4.18)$$

Avec l'hypothèse d'une tension VOC constante en régime permanent, la dynamique de la liaison batterie peut être représentée par la fonction de transfert:

$$i_{bat}(s) = \frac{i_{load} - i_L}{R_{bat} C_{BAT} s + 1} \quad (4.19)$$

4.5. Régulation de la tension

Nous dérivons de l'équation (4.14) la fonction de transfert suivante:

$$\frac{\tilde{v}_{pv}(s)}{d(s)} = \frac{-\frac{i_L}{C_{in}} s - \frac{Dv_{pv}}{LC_{in}}}{s^2 - \left(\frac{1}{R_{pv} C_{in}}\right)s + \frac{D^2}{LC_{in}}} \quad (4.20)$$

La fonction de transfert dans l'équation (4.20) représente un système du second ordre, qui peut être normalisé par l'équation (4.21):

$$G(s) = \frac{k_0 (\beta s + 1)}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4.21)$$

Où la fréquence propre non amortie et le facteur d'amortissement sont exprimés respectivement en ω_n et ξ . On peut alors dériver les coefficients relatifs à l'équation (4.20).

$$\omega_n = \frac{D}{\sqrt{LC_{in}}} \quad (4.22)$$

$$\xi = \frac{\sqrt{L}}{2DR_{pv}\sqrt{C_{in}}} \quad (4.23)$$

$$k_0 = \frac{Dv_{pv}}{LC_{in}} \quad (4.24)$$

$$\beta = \frac{Li_L}{Dv_{pv}} \quad (4.25)$$

Nous proposons d'utiliser un régulateur PID standard pour réguler la tension de la liaison PV. Une fonction de transfert en boucle fermée $F(s)$ souhaité du premier ordre est adopté, avec la forme générale:

$$F(s) = \frac{1}{\alpha s + 1} \quad (4.26)$$

α est une constante à définir. Le régulateur peut alors être dérivé par l'expression (4.27) :

$$C(s) = \frac{\omega_n^2 (s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)}{k_0 s (\alpha\beta s + \alpha + \beta)} \quad (4.27)$$

Le régulateur PID défini par la fonction de transfert (4.27) peut être écrit sous la forme parallèle suivante:

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + \frac{k_d}{\tau s + 1} \quad (4.28)$$

Les paramètres du régulateur PID peuvent être dérivés des équations (4.27) et (4.28).

$$\tau = \frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} \quad (4.29)$$

$$k_i = \frac{\omega_n^2}{k_0 (\alpha + \beta)} \quad (4.30)$$

$$k_p = \frac{2\xi\omega_n (\alpha + \beta) - \omega_n^2 \alpha\beta}{k_0 (\alpha + \beta)^2} \quad (4.31)$$

$$k_d = \frac{(\alpha + \beta)^2 - 2\xi\omega_n (\alpha + \beta) \alpha\beta + \omega_n^2 \alpha^2 \beta^2}{k_0 (\alpha + \beta)^3} \quad (4.32)$$

4.6. Algorithme de maximisation de puissance (MPPT)

En régime permanent de température de la cellule et l'éclairement solaire, il y a un seul point de fonctionnement du générateur photovoltaïque où la tension et le courant donne la puissance maximale (MPP). Plusieurs techniques d'optimisation ont été proposées pour concevoir un algorithme MPPT. La technique Hill Climbing (HC) est l'un des algorithmes les plus connus grâce à sa simplicité; même il y a des oscillations autour du point MPP en régime permanent et une perte de recherche du MPP, lorsque les conditions climatiques changent rapidement [15]. Cette méthode consiste à monter au maximum le point de fonctionnement avec la caractéristique du générateur. La puissance PV de sortie P_{New} est périodiquement comparée à la valeur précédente P_{Old} . Nous augmentons ou diminuons la tension de référence en fonction du résultat de la comparaison pour calculer le rapport cyclique d correspondant via le régulateur PID. Une fois le point PPM est atteint, le système oscille autour de lui indéfiniment. L'organigramme de cet algorithme est illustré à la figure 4.3.

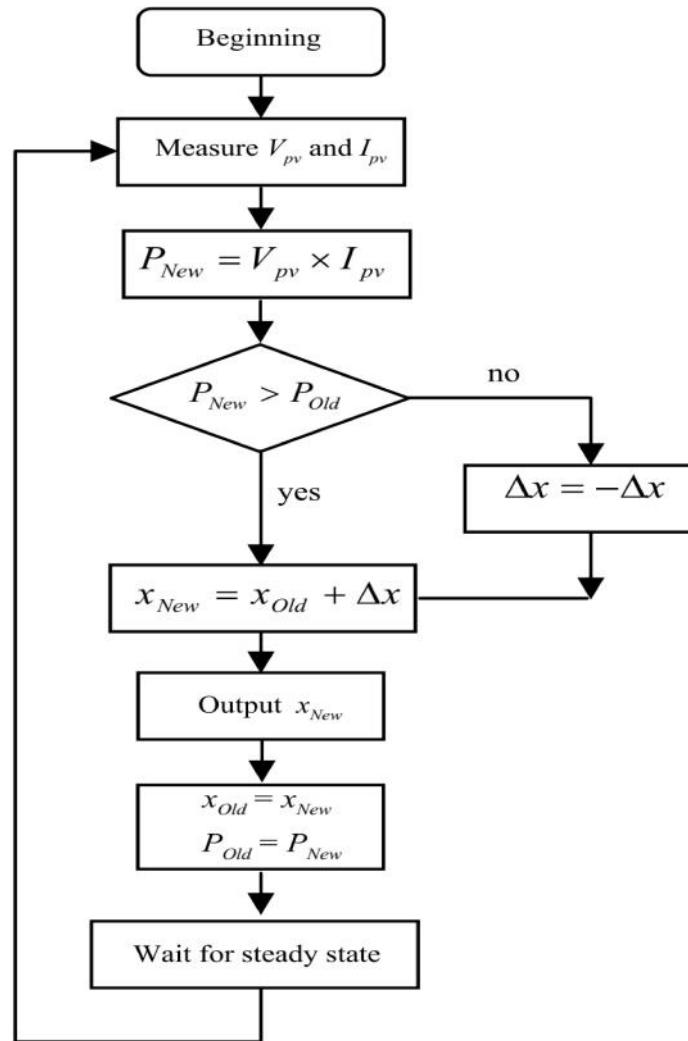


Figure 4.3. Organigramme de l'algorithme maximisation MPPT

4.7. Intégration du contrôle de charge de la batterie avec MPPT

Pour arrêter la génération PV en cas de surcharge de la capacité de charge de la batterie, le cycle de charge doit être maintenu avec la fonction MPPT. Lorsque la tension et le courant de la batterie atteignent leurs limites de charge, l'algorithme MPPT doit être arrêté pour réduire la production d'énergie PV. Les limites admissibles de tension de la batterie utilisée, inférieure (V_{min}) et supérieur (V_{max}) sont illustrées dans le tableau (2).

4.8. Résultats desimulations

Le modèle global de simulation du système étudié est présenté à la figure 4.4. Il comporte le générateur photovoltaïque, le convertisseur DC/DC abaisseur de tension, la liaison de batterie et le bloc-batterie, avec les blocs de contrôle et MPPT. Pour valider le modèle, nous le soumettons à certaines conditions de changement des conditions climatiques.

Les résultats de la simulation sont illustrés à la figure 4.5. L'état de charge initial SOC de la batterie a été réglé à 80%. Un courant de charge de 2,8 était constamment extrait de la liaison de la batterie. Avant 0,2 s, l'éclairement solaire était de 400 W/m² et la température des cellules solaires était de 25 ° C. Puisque la tension est inférieure à la limite de $V_{min}=54,45$ V, le MPP est suivi à 0,09 s pendant la période de démarrage et maintenu par l'algorithme MPPT en régime permanent. L'ondulation de tension provoquée par la perturbation active de l'algorithme MPPT est perceptible. Le SOC augmente progressivement en réponse au courant de charge. L'éclairement solaire augmente à l'instant 0,2 s de 400 à 1000 W/m² et redescend pour atteindre la valeur 800W/m² à l'instant 0,4 s. La puissance de sortie P_{pv} augmente considérablement, entraînant une augmentation du courant de charge I_{bat} . L'augmentation du SOC devient plus rapide qu'auparavant. Étant donné que le SOC est encore relativement faible, la tension de la batterie V_{bat} est toujours inférieure à la limite supérieure V_{max} . L'algorithme MPPT fonctionne en continu pour injecter la puissance la plus élevée dans la liaison de la batterie.

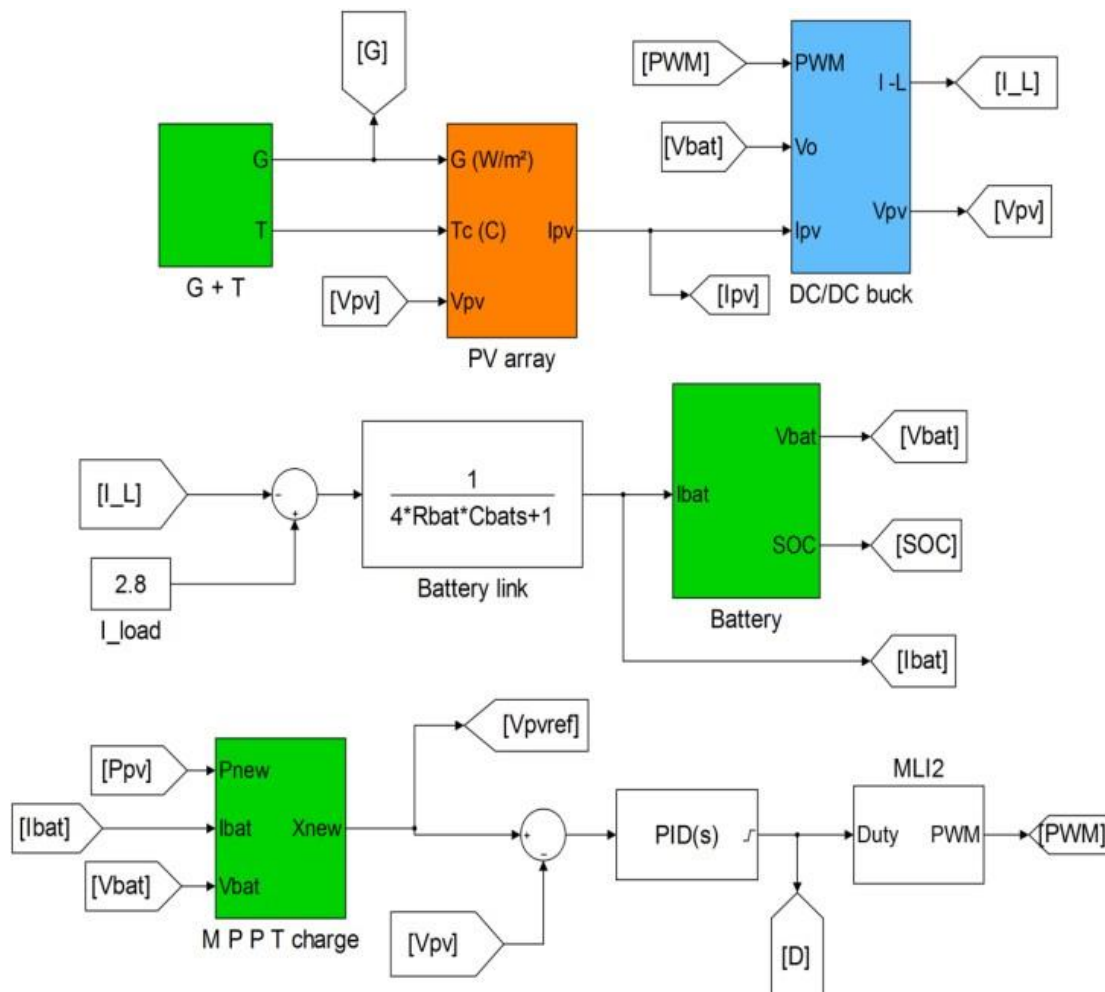


Figure 4.4. Modèle de simulation du system PV autonome

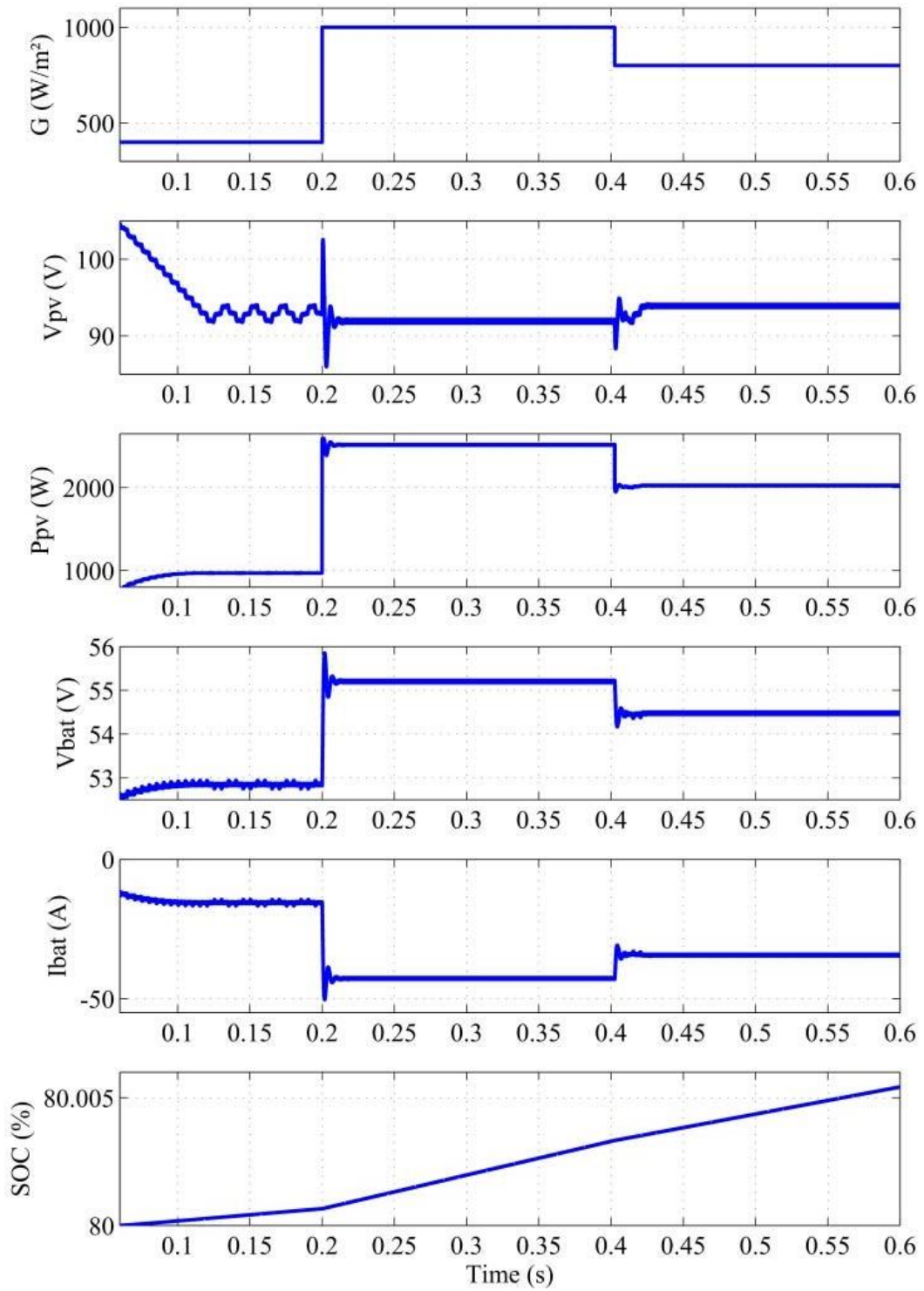


Figure 4.5. Résultats de simulation

Conclusion

Dans ce chapitre, un système photovoltaïque autonome avec stockage d'énergie a été dimensionné et modélisé en fonction des spécifications de charge, de l'unité de production photovoltaïque et du pack batterie. Étant donné que la sortie du générateur PV et les circuits de conditionnement de puissance ne sont pas linéaires, un modèle moyenné a été développé par la méthode de linéarisation pour l'analyse dynamique et la synthèse du régulateur. En utilisant une méthode spécifique, la fonction MPPT et cycle de charge de la batterie ont été intégrées, pour atteindre l'énergie maximale et spécifier la tension de la batterie pour qu'elle corresponde à la tension de charge. La batterie a été simulée en utilisant un modèle pratique. Le modèle de simulation pour le contrôleur et l'interface d'alimentation est développé à court terme pour capter les variations transitoires de la dynamique rapide, y compris la commutation rapide dans le convertisseur DC/DC. Les résultats de la simulation du fonctionnement du système montrent l'influence de l'algorithme MPPT, la régulation de la tension de la batterie et la variation de l'état de charge SOC en réponse aux changements de l'éclairement solaire et la température des cellules.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est le dimensionnement, l'optimisation, et le contrôle d'une chaîne photovoltaïque autonome.

Dans le but de comprendre un système photovoltaïque, une brève description a été présentée dans le premier chapitre comportant la constitution du générateur PV, le principe de fonctionnement, les technologies des cellules PV, ainsi que les différentes configurations électriques utilisées dans le domaine de conversion de l'énergie photovoltaïque.

Des modèles mathématiques des convertisseurs électroniques de puissance DC/DC utilisés souvent dans les systèmes photovoltaïques autonomes ont été développés et simulés en boucles ouvertes dont l'objectif est l'étude de la réponse des modèles développés en boucle ouverte afin de les utiliser dans la conception des schémas fonctionnels en boucles fermées.

Les caractéristiques de sortie du générateur PV et des modèles mathématiques pour simulation et analyse ont été détaillées dans le troisième chapitre, en s'appuyant sur des fiches techniques des produits photovoltaïques.

Dans le dernier chapitre, nous avons étudié un système photovoltaïque autonome complet, composé d'un générateur PV raccordé à la charge à travers un hacheur abaisseur de tension qui charge la batterie mise aux bornes de la charge. Ce chapitre fournit les étapes nécessaires pour spécifier, concevoir, simuler et évaluer les circuits de conditionnement d'énergie ainsi que l'analyse en régime transitoire et la vérification par simulation des objectifs dressés dans l'introduction de ce mémoire, qui sont l'optimisation de la puissance PV et la stabilité de la tension de la batterie en dépit des conditions météorologiques.

Perspectives :

A la fin de ce mémoire, on propose les perspectives suivantes :

- Développement des stratégies de contrôle et algorithmes MPPT susceptibles d'améliorer les performances, notamment en régime transitoire.
- Concevoir et développer des systèmes PV par un dimensionnement adéquat des composants, en vue de les intégrer dans le domaine de production décentralisée.
- Réalisation sur site des stratégies de contrôle proposées pour une éventuelle utilisation domestique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Eric Schiller - publ. En collab. Avec : iepf, université d'ottawa, eier, crepa. « le pompage photovoltaïque: manuel de cours a l' intention des ingénieurs et des techniciens »1998.
- [2] Brahim Lakehal « etude des propriétés électriques d'une photopile à base d'une structure schottky » magister en microelectronique, université de batna,2009.
- [3] Joukoff, Alexandre « climatologie du rayonnement solaire » institut royal météorologique,1991
- [4] Sarah BELAIDI « Etude et optimisation d'une installation photovoltaïque autonome». master academique Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou 2015 /2016
- [5] BENSEBA Ghalia, « Etude des différents paramètres in^uençant le rendement et la stabilité d'une cellule solaire organique » mémoire de magister Tizi-Ouzou2013.
- [6] SalaheddineBensalem « effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires » magister en énergétique et mécanique des fluides universiteferhatabbas, setif,2011
- [7] Yves Roulet-Ingénieur Environnement « différentes utilisations de l 'energie solaire et integration des capteurs solaires » département des infrastructures service des bâtiments, monuments et archéologie, mai2005
- [8] Olivier Delbard « dictionnaire de l'environnement et du développement durable » univers poche, 2011
- [9] Labouret, Anne, and Michel Viloz. «Energie solaire photovoltaïque»-4èmeédition.
Dunod, Paris, 2009 CH2
- [10] VitorFemaoPires, Jose Fernando A. Silva, Teaching Nonlinear Modeling, Simulation, and Control of Electronic Power Converters Using MATLAB/SIMULINK, IEEE Transactions on Education, vol. 45, no. 3, August 2002.
- [11] Juing-Huei Su, Jiann-Jong Chen, Dong-Shiuh Wu, Learning Feedback Controller Design of Switching Converters Via MATLAB/SIMULINK, IEEE Transactions on Education, vol. 45, November2002.
- [12] Daniel Logue, Philip. T. Krein, Simulation of Electric Machinery and Power Electronics Interfacing UsingMATLAB/SIMULINK,in7thWorkshopComputerinPowerElectronics,2000,pp.34-39.
- [13] N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins, Power Electronics Converters, Applications and Design, ISBN 9814-12-692-6.CH3+4
- [14] Khatib,T.,Elmenreich,W.(2016).ModelingofPhotovoltaicSystemsUsingMatlab:

Simplified Green Codes. John Wiley & Sons.

- [15] Bellia, H., Youcef, R., Fatima, M. (2014). A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 3(1): 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.nrjag.2014.04.001>
- [16] Alsayid, B., Jallad, J. (2011). Modeling and simulation of photovoltaic cells/modules/arrays. *International Journal of Research and Reviews in Computer Science*, 2(6):1327-1331.
- [17] Huang, P.H., Xiao, W., Peng, J.C.H., Kirtley, J.L. (2015). Comprehensive parameterization of solar cell: Improved accuracy with simulation efficiency. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(3):1549-1560. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2498139>
- [18] Walker, G. (2001). Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model. *Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia*, 21(1):49-55.
- [19] Zerhouni, F.Z., Zerhouni, M.H., Zegrar, M., Benmessaoud, M.T., Stambouli, A.B., Midoun, A. (2010). Proposed methods to increase the output efficiency of a photovoltaic (PV) system. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(2): 55-70.
- [20] Mouhadjer, S., Chermitti, A., Neçaibia, A. (2012). Comprehensive and field study to design a buck converter for photovoltaic systems. *Revue des Energies Renouvelables*, 15(2): 321-330.
- [21] Precup, R.E., Kamal, T., Hassan, S.Z. (Eds.). (2019). *Solar Photovoltaic Power Plants: Advanced Control and Optimization Techniques*. Springer.
- [22] Zainudin, H.N., Mekhilef, S. (2010). Comparison study of maximum power point tracker techniques for PV systems. *Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10)*, Cairo University, Egypt, Cairo University, Egypt.
- [23] Du, Y., Li, X., Wen, H., Xiao, W. (2015). Perturbation optimization of maximum power point tracking of photovoltaic power systems based on practical solar irradiance data. 2015 IEEE 16th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Vancouver, BC, Canada, pp.1-5. <https://doi.org/10.1109/COMPEL.2015.723650>.
- [24] Altas, I.H., Sharaf, A.M. (2008). A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems. *Renewable Energy*, 33(3): 388-399. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.002>
- [25] Ramaprabha, R., Mathur, B.L. (2011). Intelligent controller based maximum power point tracking for solar PV system. *International Journal of Computer Applications*, 12(10): 37-41. <https://doi.org/10.5120/1717-2303>

- [26] Messaoud, M., & Haddi, B. (2021). Optimum Parametric Identification of a Stand-Alone Photovoltaic System with Battery Storage and Optimization Controller Using Averaging Approach. *Journal European des systems automatisés*, 54(1), 63-71
- [27] Panasonic Industry Nickel Hybrid Battery. (2020). https://industrial.panasonic.com/content/data/BT/docs/edbd/ni_mh/Introduction_of_Nickel_Metal_Hydride_Battery_Web_20200203.pdf
- [28] Rekioua, D., Matagne, E. (2012). Optimization of photovoltaic power systems: Modelization, simulation and control. Springer Science & BusinessMedia.

ملخص

تعتبر الطاقة من العناصر الأساسية والضرورية للحياة، بسبب الاستهلاك الكبير و الطلب المتزايد عليها. لذلك أصبح من الضروري إيجاد مصادر أخرى لإنتاج الطاقة و استغلال الطاقات المتجددة على الخصوص كالطاقة الشمسية لما لها من مزايا عديدة. في هذه المذكرة ، سوف نقوم بدراسة و محاكاة نظام ضوئي ذاتي يقوم بشحن البطارية المرتبطة بالحمولة عن طريق مخفض كهربائي. الهدف المتوخى هو ضمان متابعة الطاقة القصوى التي يوفرها المولد الكهروضوئي من ناحية و تنظيم جهد البطارية من خلال المراقبة المستمرة لحالة الشحن. تمت محاكاة النظام لفترة قصيرة بواسطة / MATLAB/SMULINK لمعاينة السلوك الديناميكي للنظام.

Résumé

L'énergie est devenue un des éléments fondamentaux et nécessaire dans la vie, en raison de grande consommation et la hausse progression de la demande. Il est donc, nécessaire de trouver d'autres sources d'énergies et d'exploiter notamment les énergies renouvelables comme l'énergie solaire en raison de leurs nombreux avantages. Dans ce mémoire, nous allons étudier et modéliser un système photovoltaïque autonome débitant sur une batterie liée à la charge à travers un hacheur abaisseur de tension. L'objectif envisagé est assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque d'un coté et de réguler la tension de la batterie en contrôlant en permanence son état de charge. Les résultats de simulation sont obtenus par MATLAB/SIMULINK pour une courte durée pour visualiser le comportement dynamique du système.

Abstract

The energy has become one of the basic and necessary elements in life, due to high consumption and rising demand. It is therefore necessary to find other sources of energy and to exploit in particular renewable energies such as solar energy because of their many advantages. In this thesis, we will study and model a standalone photovoltaic system outputting to a battery through a DC/DC buck converter. The envisaged objective is to ensure the continuation of the maximum power supplied by the photovoltaic generator on the one hand and to regulate the voltage of the battery by constantly monitoring its state of charge. The simulation results are obtained by MATLAB / SIMULINK for a short time to visualize the dynamic behavior of the system.

