

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Génie mécanique et Electromécanique



N° Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
de MASTER
Spécialité : Electromécanique

Etude et conception d'un système de pompage photovoltaïque

Réalisé par :

- LOUIFI Dounia**
- KECHACHA Rayane**

Soutenu devant le jury :

Mr. B. MEHIMMEDATSI
Mme. S. BOUCHEKOUF
Mr. B. KAGHOUCHE

Président
Examineur
Promoteur

Année universitaire : 2021/2022

Dédicace

J'ai l'honneur, de dédier ce modeste travail à ceux que, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère, quels que soient les mots.

A l'homme de ma vie, mon précieux cadeau du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher papa.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non face mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : ma chère maman.

A mes deux anges ma sœur et mon frère qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mon cursus. Que dieu les protège et leurs offres tout le bonheur du monde.

A mes merveilleuses copines Khadidja et Youssra qui me partagent les magnifiques moments, et qui me font sentir le gout de la vie.

Sans oublier ma partenaire Rayane pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

Merci a tous pour votre amour et votre soutien.

Louifi Dounia

Dédicace

A mes très chers parents, Mon père **Foudil**, Ma mère **Siham** qui ont fait de moi ce que je suis par leurs soutien.

A Mon frère **Ismail** pour son encouragement.

A ma collègue **Dounia**, à toute ma famille et à tous mes amis.

Kechacha Rayane

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux,
qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent en particulier à notre promoteur

Dr. KAGHOUCHE Bassem, de nous avoir proposé ce passionnant sujet,
pour sa patience, ses encouragements, et surtout sa disponibilité.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer
notre travail.

Nomenclature

PV : Photovoltaïque

GPV : Générateur photovoltaïque

I_{ph} : Le photo-courant, proportionnel à l'irradiante, avec correction selon (A)

I_0 : Le courant de saturation de diode.

R_s : Résistance série (ohm)

V_t : Tension thermique de la diode

T_c : température de la cellule.

A : facteur d'idéalité de diode

K_b : constante de Boltzmann

q: la charge de l'électron

$R_{sh} (\Omega)$: la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction

$R_s (\Omega)$: la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.

N_p : Nombre des cellules en parallèle dans notre cas N_p

n_1 : Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1

n_2 : Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode2

V_{co} : La tension du circuit ouvert

I_{cc} : La somme des courants de court circuit.

S : Surface de cellule solaire.

E : Flux incidente

α : Rapport cyclique

P : la puissance

L : inductance

C : condensateur

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Etat de l'art sur les systèmes photovoltaïques	
Introduction	3
I.1 Energies renouvelables	3
I.2 Types d'énergies renouvelables	3
I.2.1 Energie éolienne	3
I.2.2 Energie hydraulique	4
I.2.3 Energie solaire	4
I.3 sources de lumière	5
I.3.1 Source solaire	5
I.3.2 Source artificielle	5
I.4 Cellule solaire et panneau photovoltaïque	5
I.4.1 Structure et Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	6
I.5 Technologies de cellules	6
I.5.1 Technologie de la 1^{ère} génération	6
I.5.1.1 Les cellules poly cristallines	7
I.5.1.2 Les cellules monocristallines	7
I.5.2 Technologie de la 2^{ème} génération	8
I.5.2.1 Les cellules amorphes	8
I.5.3 Technologie de la 3^{ème} génération	8
I.6 Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque	9
I.6.1 Modèle à une diode	9
I.6.1.1 Cas idéal	9
I.6.1.2 Cas réel	9

Sommaire

I.6.2 Modèle à deux diodes	10
I.7 Fonctionnement électrique d'une cellule solaire (photogénérateur)	11
I.8 Les panneaux photovoltaïques	12
I.8.1 Module photovoltaïque	12
I.9 Association et groupement des cellules	13
I.9.1 Association en série	13
I.9.2 Association en parallèle	14
I.9.3 Association en série-parallèle	14
I.10 La protection des systèmes photovoltaïques	14
I.11 Application de l'énergie photovoltaïque	15
I.12 Énergie photovoltaïque utilisée dans le pompage de l'eau	15
I.12.1 Pompage au fil du soleil	16
I.12.2 Pompage avec batteries	16
I.13 Les convertisseurs statiques	16
I.13.1 Les convertisseurs (DC/DC)	17
I.13.2 Type des hacheurs	17
I.13.2.1 Hacheur Buck ou dévolteur (série)	17
I.13.2.2 Hacheur Boost (parallèle)	18
I.14 Les convertisseurs DC/AC (les onduleurs)	18
I.14.1 Onduleur de tension	18
I.15 Moteurs d'entraînements	19
I.15.1 Moteur à courant continu	19
I.15.2 Moteur à courant alternatif	19
I.16 La pompe	20
I.16.1 La pompe volumétrique	20
I.16.2 La pompe centrifuge	20

Sommaire

Conclusion.....	21
-----------------	----

Chapitre II :Etude des dispositifs d'un générateur photovoltaïque GPV

Introduction.....	22
II.1 logiciel de simulation.....	22
II.2 Etude d'un système photovoltaïque	22
II.2.1 Cellule photovoltaïque.....	23
II.2.2Module photovoltaïque.....	25
II.2.3 Panneau photovoltaïque	28
II.3 Influence de la température et de l'éclairement sur le comportement des panneaux PV	29
II.3.1Influence de l'éclairement	29
II.3.2 Influence de la température	31
Conclusion.....	33

Chapitre III : Etude du système de pompage photovoltaïque

Introduction.....	34
III.1 Système de pompage photovoltaïque.....	34
III.1.1 Choix de la pompe	34
III.1.2 Composition du système.....	35
III.1.3 Générateur photovoltaïque	35
III.2 les convertisseurs statiques	36
III.2.1 Hacheur DC/DC Boost.....	36
III.2.2 Les convertisseurs DC/AC.....	40
III.3 Commandes MPPT et PWM.....	41
III.3.1 La commande MPPT	41
III.3.2 Rôle de la commande de poursuite MPPT.....	41
III.3.3 Algorithme de la commande MPPT	41

Sommaire

III.3.3.1 L'algorithme (P&O)	41
III.4 La commande MLI (DC/AC)	44
III.5 Implémentation du système complet	47
III.5.1 Résultat de simulation du démarrage à vide	47
III.5.2 Résultat de simulation d'un démarrage à charge	50
Conclusion	51
Conclusion générale	53
References bibliographiques	

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude des dispositifs d'un générateur photovoltaïque GPV

Tableau II.1 : Les caractéristiques du module Soltech 1-STH-215-pr	26
Tableau II.2 : Puissance maximum en fonction d'éclairement.....	31
Tableau II.3 : Puissance maximum en fonction de température.....	32

Chapitre III : Etude du système de pompage photovoltaïque

Tableau III.1 : Paramètres du convertisseur DC-DC Boost.....	37
---	-----------

Liste des figures

Chapitre I : état de l'art sur les systèmes photovoltaïques

Figure I.1 : Fonctionnement d'énergie éolienne.....	3
Figure I.2 : Fonctionnement d'énergie hydraulique.....	4
Figure I.3 : Système photovoltaïque.....	5
Figure I.4 : L'effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule.....	6
Figure I.5 : Cellule photovoltaïque poly cristalline.....	7
Figure I.6 : Cellule photovoltaïques monocristalline.....	7
Figure I.7 : Cellule photovoltaïque amorphe.....	8
Figure I.8 : Cellule solaire organique sur substrat souple.....	8
Figure I.9 : Circuit équivalent simple de la cellule PV.....	9
Figure I.10 : Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode.....	10
Figure I.11 .: Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes.....	10
Figure I.12 : Panneau photovoltaïque.....	12
Figure I.13 : Association série des cellules avec la caractéristique I(V).....	13
Figure I.14 : Association parallèle avec la caractéristique I(V).....	13
Figure I.15 : Caractéristique courant-tension de cellule série parallèle.....	14
Figure I.16 : Protection par diodes en série	15
Figure I.17 : Protection par diodes en parallèle.....	15
Figure I.18 : Système de pompage photovoltaïque.....	16
Figure I.19 : Principe de base d'un hacheur.....	17
Figure I.20 : Convertisseur buck.....	17
Figure I.21 : Convertisseur Boost.....	18
Figure I.22 : Onduleur triphasé.....	19
Figure I.23 : Pompe volumétrique.....	20
Figure I.24 : Pompe centrifuge.....	20

Chapitre II : Etude des dispositifs d'un générateur photovoltaïque GPV

Figure II.1 : Schéma électrique sur Simscape22

Figure II.2 : Cellules solaire disponible dans Matlab/simscape 2018.....23

Figure II.3: Schéma de simulation d'une cellule PV sur MATLAB / Simscape 2018.....24

Figure II.4 : Caractéristique I(V) d'une cellule solaire dans les conditions STC.....24

Figure II.5 : Caractéristique P(V) d'une cellule solaire dans les conditions STC.....25

Figure II.6 : Montage de 60 cellules en séries.....26

Figure II.7: Le module PV sur MATLAB / Simscape.....27

Figure II.8: Caractéristique courant-tension I(V) d'un module photovoltaïque dans les27

Figure II.9 : Caractéristique P(V) d'un module photovoltaïque dans les conditions STC.....28

Figure II.10 : La caractéristique I(V) d'un panneau PV dans les conditions STC conditions STC.....28

Figure II.11 : La caractéristique puissance- Tension P(V) d'un panneau PV dans les conditions STC.....29

Figure II.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I(V) d'un panneau PV.....30

Figure II.13 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique puissance- Tension P(V) d'un panneau PV.....30

Figure II.14 : Effet de la température sur la caractéristique courant-tension d'un panneau PV31

Figure II.15: Effet de la température sur la caractéristique puissance-tension d'un panneau PV32

Figure II.16 : Evolution du rendement de panneau en fonction de température.....32

Chapitre III : Etude du système de pompage photovoltaïque

Figure III.1 : Système de pompage photovoltaïque.....34

Figure III.2 : Caractéristique I(V) du panneau.....35

Figure III.3 : Caractéristique P(V) du panneau.....36

Figure III.4: Couplage de l'hacheur Boost avec le panneau PV.....37

Figure III.5 :Tension de sortie d'un hacheur en fonction du temps37

Figure III.6 : Courant de sortie d'un hacheur en fonction du temps38

Figure III.7 : Puissance de sortie d'un hacheur en fonction du temps38

Figure III.8 : Tension de sortie d'un hacheur en fonction du temps.39

Liste des figures

Figure III.9 : Courant de sortie d'un hacheur en fonction du temps.....	39
Figure III.10 : Puissance de sortie d'un hacheur en fonction du temps.....	39
Figure III.11 : Couplage de l'onduleur avec système PV (panneau PV et hacheur).....	40
Figure III.12 : Tension composés à la sortie de l'onduleur.....	40
Figure III.13 : Organigramme de la méthode P&O.....	42
Figure III.14 : Schéma de simulation d'un hacheur Boost commandé par MPPT.....	43
Figure III.15 : Tension sortie de l'hacheur avec la commande MPPT.....	43
Figure III.16 : MLI sinus triangle.....	44
Figure III.17 : Schéma bloc de technique MLI.....	44
Figure III.18 : Signal de commande MLI pour l'onduleur.....	45
Figure III.19 : Schéma de simulation du l'onduleur triphasé avec la commande MLI.....	45
Figure III.20 : Tensions de sortie de l'onduleur : U_a , U_b , U_c	46
Figure III.21 : Tensions de sortie de l'onduleur : U_a , U_b , U_c obtenues après filtrage.....	46
Figure III.22 : Schéma synoptique du système de pompage photovoltaïque.....	47
Figure III.23 : Couplage du moteur asynchrone avec système PV.....	47
Figure III.24 : Couple électromagnétique T_e	48
Figure III.25 : Courant de sortie du rotor trois phases.....	48
Figure III.26 : Courant de sortie du stator trois phases.....	48
Figure III.27 : Tension de sortie du stator.....	49
Figure III.28 : Flux(R_q) en fonction de temps.....	49
Figure III.29 : Vitesse de rotation.....	49
Figure III.30 : Couple électromagnétique T_e	50
Figure III.31 : Vitesse de rotation	50

Introduction
Générale

Introduction générale

La population mondiale ne cesse de croître et devrait augmenter pendant plusieurs décennies dans un avenir prévisible. Par conséquent, la demande de l'humanité en énergie électrique devrait croître même en une vitesse plus rapide. Pour cela, la production mondiale de l'électricité est en forte augmentation au détriment des ressources énergétiques, à savoir le charbon, le gaz et le pétrole car la majorité de l'énergie électrique provient de la décomposition de ces combustibles fossiles et qui sont épuisables et polluantes [1]. De plus, ces sources d'énergie peuvent avoir un impact négatif substantiel sur l'environnement naturel. Les émissions du gaz CO généré par combustion partielle des combustibles fossiles et de la combustion de la biomasse se transforme en CO₂, qui représente l'un des gaz à effet de serre les plus nocifs [2]. Ce gaz est l'un des facteurs responsables de l'augmentation de la température mondiale. Ce problème est étroitement lié à la stabilité environnementale de la planète et peut être partiellement atténuée par la constante recherche des énergies renouvelable.

Parmi les énergies renouvelables les plus prometteuses on trouve les panneaux solaires. L'énergie produite à partir de l'énergie solaire, notamment à partir Photovoltaïques GPV, peut être considérée comme la source d'énergie la plus durable et la plus abondante à la disposition de l'humanité. Les systèmes photovoltaïques sont largement utilisés tels que l'alimentation des réseaux électriques, le pompage solaire, l'alimentation des satellites...etc.

Dans ce contexte s'inscrit ce projet, qui a été mené pour étudier un système de pompage photovoltaïque en utilisant un moteur asynchrone MAS avec une adaptation entre la source et la charge.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre, est dédié pour mettre en évidence les dispositifs principaux des systèmes photovoltaïques. En commençant par une présentation des énergies renouvelables notamment les générateurs photovoltaïques PV. Puis, nous présentons les différents dispositifs d'un système PV utilisé pour le pompage de l'eau, à savoir la cellule solaire, le module PV, le panneau PV, les convertisseurs DC/DC (hacheur), DC/AC (onduleur) alimentant une un MAS triphasé entraînant une pompe centrifuge immergée.

Introduction générale

Dans le deuxième chapitre, nous étudierons les différents éléments composant un Générateur photovoltaïque ainsi nous étudierons l'influence des facteurs externes sur les caractéristiques du système.

Le troisième chapitre sera consacré à la simulation des différents éléments constituant le système complet et à l'interprétation des résultats. Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

*Etat de l'art sur les systèmes
photovoltaïques*

Introduction

Les progrès réalisés dans le développement du domaine photovoltaïque a conduit d'utiliser davantage cette source d'énergie renouvelable dans plusieurs applications. Parmi ceux, on cite le pompage photovoltaïque.

En effet, ce chapitre sera dédié pour introduire un système photovoltaïque dont la cellule PV, le module PV et le panneau vont être présentés. Ensuite, nous allons présenter les éléments nécessaires pour réaliser un système de pompage PV.

I.1 Energies renouvelables

L'énergie renouvelable est la forme finale d'énergie (électricité, chaleur ou carburant) obtenue à partir de sources d'énergie renouvelables. Le principal avantage des énergies renouvelables par rapport à l'extraction des combustibles fossiles est qu'elles peuvent être produites localement avec des coûts environnementaux limités. Cependant, les énergies renouvelables font face à plusieurs défis : des coûts d'exploitation élevés, des problèmes de stockage et des difficultés de raccordement au réseau [3], [4]

I.2 Types d'énergies renouvelables

I.2.1 Energie éolienne

L'énergie éolienne est produite à partir du vent depuis environ trois décennies. Les éoliennes terrestres sont situées à l'intérieur des terres, tandis que les éoliennes offshore sont installées au large de la mer [3]. L'éolienne transforme l'énergie cinétique du vent et en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Par la suite, la GADA transforme la puissance mécanique en puissance électrique [5].

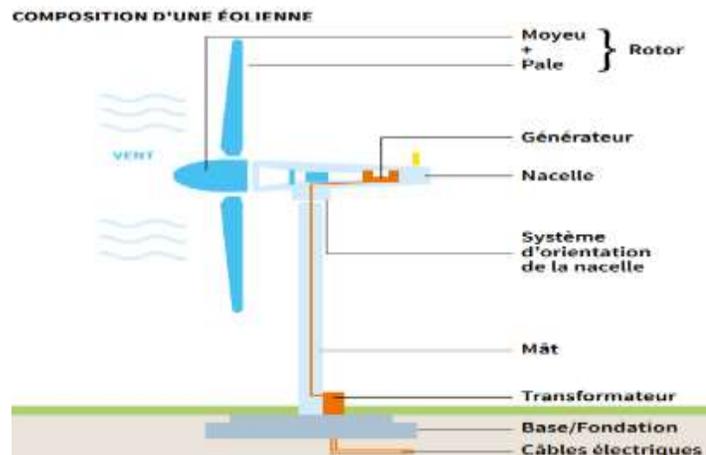


Figure I.1 : Fonctionnement d'énergie éolienne

I.2.2 Energie hydraulique

L'énergie hydroélectrique est produite à partir de l'eau écouler ou en chutant d'une hauteur. Cette eau va entrainer une machine tournante (turbine) qui à leur tour transforme l'énergie mécanique en une énergie électrique. Contrairement à l'éolien et au solaire, l'hydroélectricité est relativement indépendante des conditions météorologiques. Cependant, selon les saisons, le débit enregistré par la centrale est très variable [3].

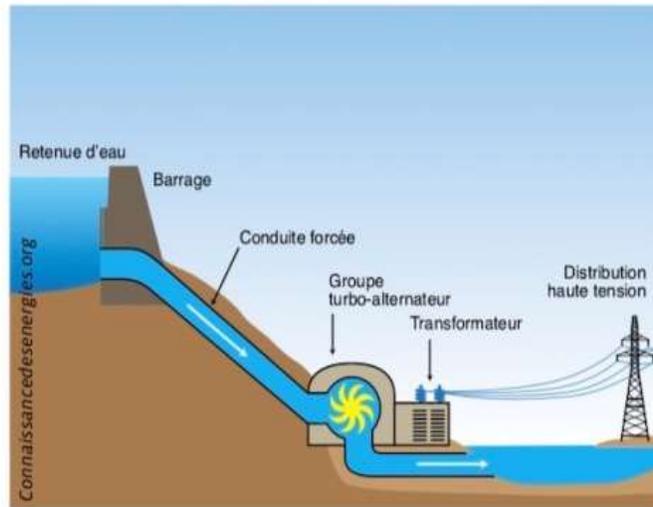


Figure I.2 : Fonctionnement d'énergie hydraulique

I.2.3 Energie solaire

Il existe deux types d'énergies solaires : le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Le premier consiste à convertir l'électricité à partir de la lumière du soleil. Ce sont les photons (les éléments constitutifs de cette lumière) qui libèrent les électrons des cellules photovoltaïques sur les panneaux solaires. Ces cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs dont le plus courant est le silicium. Le courant continu ainsi produit est ensuite converti en courant alternatif par un onduleur. Quant au solaire thermique, il peut produire de l'eau chaude grâce à des capteurs solaires. Il existe également des centrales solaires, qui utilisent un processus thermique à très haute température pour convertir l'eau en vapeur qui alimente les turbines et génère finalement de l'électricité [6].



Figure I.3 : Système photovoltaïque

I.3 sources de lumière [7]

La lumière, qu'elle soit d'origine naturelle (le soleil) ou artificielle (les lampes), est un rayonnement électromagnétique qui se propage dans l'espace et qui, en rencontrant un corps qui l'absorbe, peut réchauffer celui-ci, la lumière constitue ainsi une forme d'énergie.

I.3.1 Source solaire

C'est la lumière que la terre reçoit du soleil, lorsqu'elle arrive au niveau du sol, elle traverse les différentes couches de l'atmosphère afin d'arriver au sol avec différentes trajectoires. Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la température superficielle du soleil (environ 5800 K), ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm environ). L'éclairement ou la puissance de la lumière est mesurée par l'unité W/m^2 .

I.3.2 Source artificielle

La lumière artificielle, c'est l'éclairage que l'on produit grâce à des lampes et des projecteurs notamment. Elle a besoin d'alimentation électrique pour fonctionner elle offre un vaste champ de possibilités. L'intensité de cette lumière est mesurée par l'unité Lux.

I.4 Cellule solaire et panneau photovoltaïque

L'élément de base d'un panneau photovoltaïque est la cellule solaire. Ce composant permet de transformer l'énergie contenu dans la lumière du soleil (photons) en énergie

électrique. Ce phénomène est connu sous le nom l'effet photoélectrique [8]. Pour les cellules solaires, la conversion photoélectrique se produit dans des matériaux semi-conducteurs.

I.4.1 Structure et Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La structure de base d'une cellule PV est une jonction PN, elles sont réalisées à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée par des atomes trivalent) et l'autre dopée N (dopée par des atomes pentavalent) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode, tandis qu'une plaque métallique (contact arrière) recouvre l'autre face de la zone P du cristal et joue le rôle d'anode. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN. Ainsi, les atomes se trouvent bombardés par les photons constituant la lumière, et sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches de valence ont tendance à être arrachés/décrochés de leurs orbites. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule, à travers une charge [9].

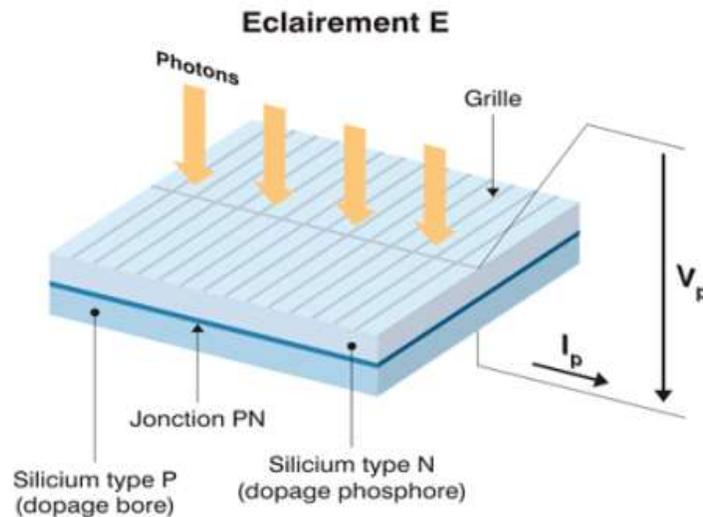


Figure I.4 : L'effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule.

I.5 Technologies de cellules

Il existe une grande variété de cellules PV, on peut distinguer trois grandes familles :

I.5.1 Technologie de la 1^{ère} génération

La première génération de cellules était basée sur une seule jonction P-N, utilisant Le silicium sous forme cristalline est généralement utilisé comme matériau semi-conducteur.

Méthode La production à base de plaquettes de silicium est très énergivore et donc très coûteuse. Elle Du silicium de haute pureté est également requis. On distingue aussi les cellules Base de silicium monocristallin et poly cristallin qui sont les plus répandues actuellement. [10]

I.5.1.1 Les cellules poly cristallines

Ce type est fabriqué par la technique de refroidissement du silicium creuset parallélépipédiques à fond plat. Alors, des cristaux irrégulièrement orientés forment avec un rendement de **22.3%**, aussi des caractéristiques suivantes :

- ✓ La conception est plus facile
- ✓ Cout de fabrication moindre
- ✓ La puissance 160 à 180 W_c par m^2

Mais malheureusement sous un éclairage réduit leur rendement faible et aussi ils ont sensibles aux élévations de température. [11]

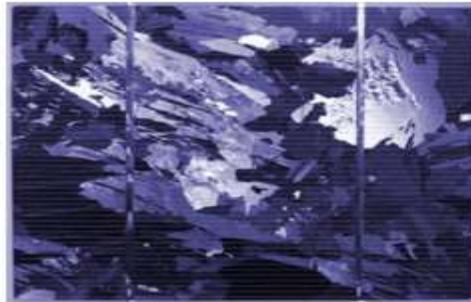


Figure I.5: Cellule photovoltaïque poly cristalline.

I.5.1.2 Les cellules monocristallines

Ce type est fabriqué par la même technique des cellules poly cristalline mais avec un contrôle strict et progressif du refroidissement du silicium ils ont un bon rendement de 26.1% mais l'inconvénient de ces cellules est :

- ✓ Cout élevé
- ✓ Rendement faible sous éclairage réduit [11].



Figure I.6: Cellule photovoltaïques monocristalline.

I.5.2 Technologie de la 2ème génération

Cette technologie est basée sur des couches du silicium sublime (plus fines) distingue plusieurs types de cellules de la 2ème génération [10]

I.5.2.1 Les cellules amorphes

Les modules PV en Si amorphe (a-Si) sont les cellules solaires primitives qui sont les premières à être fabriquées industriellement ils ont un rendement faible varie entre **5% à 9%** et son efficacité médiocre et presque instable. Les avantages de ce type sont [12] :

- ✓ Moins chère et disponible
- ✓ La capacité de l'utilisation à des températures plus élevé
- ✓ Un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs [12].

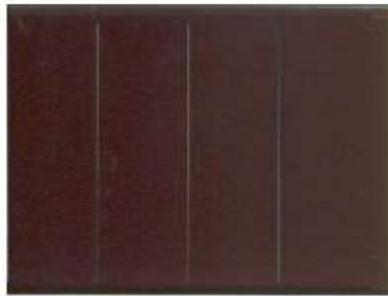


Figure I.7 : Cellule photovoltaïque amorphe.

I.5.3 Technologie de la 3ème génération

C'est une nouvelle technologie connu aussi par les cellules solaires organiques Il y a trois types de ces cellules, les cellules Pérovskite les taux de rendement atteints sont de **25,2%**, les cellules colorant de Gratzel sont des cellules qui convertissent toute la lumière visible en énergie électrique avec un rendement de **12,5%** et Les cellules organiques sont particulièrement intéressantes en raison de leurs légèreté et flexibilité combinés à une mise en œuvre simple et économique par voie humide à faible impact environnemental [13].



Figure I.8 : Cellule solaire organique sur substrat souple.

I.6 Modèle électrique d'une cellule photovoltaïque

I.6.1 Modèle à une diode

I.6.1.1 Cas idéal

Le modèle électrique idéal d'une cellule photovoltaïque composé d'un générateur de courant qui produit un courant proportionnel à la puissance lumineuse incidente, et d'une diode parallèle qui correspond à l'aire de transition P-N du module PV. [14]

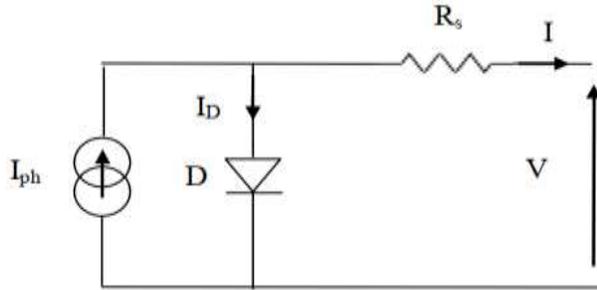


Figure I.9 : Circuit équivalent simple de la cellule PV.

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (I.1)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{V_t}\right) - 1 \right] \quad (I.2)$$

I : Courant fourni par la cellule (A)

V : Tension à la borne de la cellule (V).

I_{ph} : Le photo-courant, proportionnel à l'irradiante, avec correction selon T.

I_0 : Le courant de saturation de diode.

R_s : Résistance série (ohm)

$V_t = (AKbTc/q)$: Tension thermique de la diode.

T_c : température de la cellule.

A : facteur d'idéalité de diode

Kb : constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

Q : la charge de l'électron ($1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

I.6.1.2 Cas réel

Ce modèle contient une source de courant I_{ph} qui représente l'ensoleillement reçu par la cellule et une diode pour modéliser la jonction PN de la cellule. La résistance série R_s et la résistance shunt R_{sh} représente l'état non idéal de la cellule.

Le modèle réel englobe toutes les pertes et les différents phénomènes caractérisé par les résistances. [14]

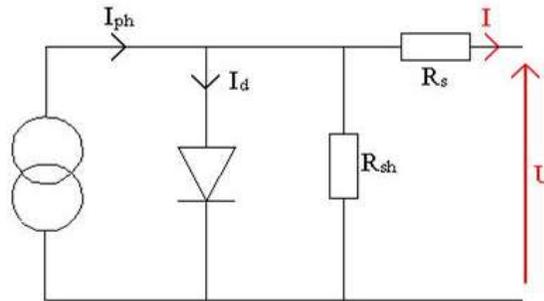


Figure I.10 : Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode

Le courant de la diode est donné par la relation suivante :

$$I_d = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+R_s \cdot I}{V_t}\right) - 1 \right] \tag{I.3}$$

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{I.4}$$

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+R_s \cdot I}{V_t}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V+R_s I}{R_{sh}}\right) \tag{I.5}$$

I.6.2 Modèle à deux diodes

Le modèle électrique le plus proche d'une cellule photovoltaïque est celui à deux diodes (double exponentiel), où la cellule est bien sûr présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant avec deux diodes en parallèle. Et pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, comme les modèles précédents, ce modèle est complété par les deux résistances série R_s et parallèle) [14], et R_{sh} comme le montre le schéma électrique équivalent de la figure (I.11)

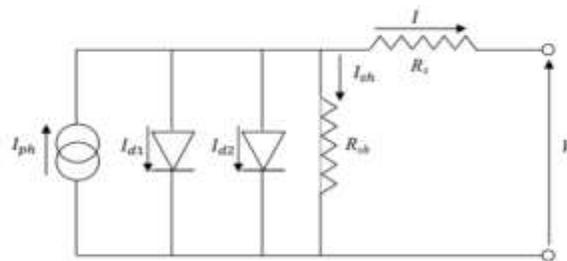


Figure I.11.: Schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (I.6)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V+R_s I)}{n_1 k_b T}\right) - 1 \right] - I_{02} \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V+R_s I)}{n_2 k_b T}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V+R_s I}{R_{sh}}\right) \quad (I.7)$$

I_{01} (A) : correspondant au courant de saturation de la diode1.

I_{02} (A) : correspondant au courant de saturation de la diode2.

k_b : la constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/K).

T (K) : la température effective de la cellule.

q: la charge de l'électron (1.602×10^{-19} C).

n_1 : Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1.

n_2 : Le facteur de non idéalité de la jonction de la diode2.

I (A) : le courant fourni par la cellule.

V (V) : la tension aux bornes de la cellule.

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

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

I.7 Fonctionnement électrique d'une cellule solaire (photogénérateur) [15]

- **Le courant de court-circuit I_{cc}**

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V+R_s I}{V_t}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V+R_s I}{R_{sh}}\right) \quad (I.8)$$

- **La tension en circuit ouvert V_{co}**

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse.

$$V_{co} = V_t \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (I.9)$$

- **La Puissance maximale P_{max}**

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale P_{max} , correspondrait donc à la tension maximale multipliée par le courant maximum

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (I.10)$$

- **Le facteur de forme FF**

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale)

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (\text{I. 11})$$

- **Le rendement η**

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente

$$\eta = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{incidente}} = \frac{P_{max}}{E \cdot S} \quad (\text{I. 12})$$

S : Surface de cellule solaire.

E : Flux incidente

I.8 Les panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques sont fabriqués à partir des modules PV (connectés en série et/ou en parallèle) eux-mêmes sont constitués de plusieurs cellules solaires. La combinaison des modules PV détermine la puissance délivrée par le panneau PV.

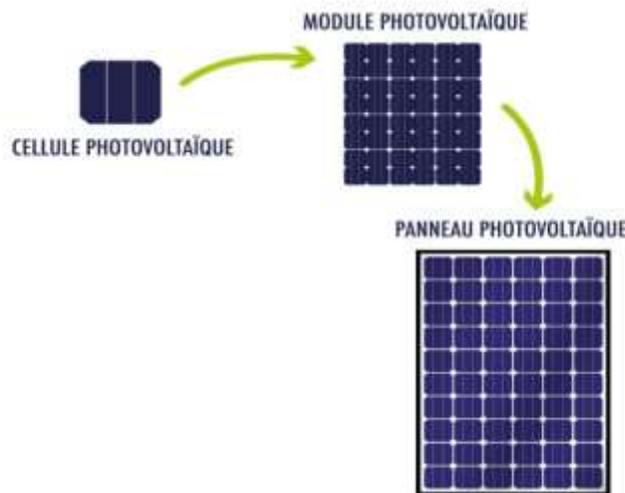


Figure I.12 : Panneau photovoltaïque

I.8.1 Module photovoltaïque

C'est une combinaison de plusieurs cellules solaires en série et/ou en parallèle pour permettre son utilisation à des tensions et courants réels tout en assurant son isolation électrique et sa protection des agressions extérieures par encapsulation. Cette protection nous permet de prolonger la durée de vie de nos panneaux PV.

I.9 Association un groupement des cellules

I.9.1 Association en série

Une association en série permet d'augmenter la tension (I.13), les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante est obtenue par l'addition des tensions à courant donné (I.13). [16]

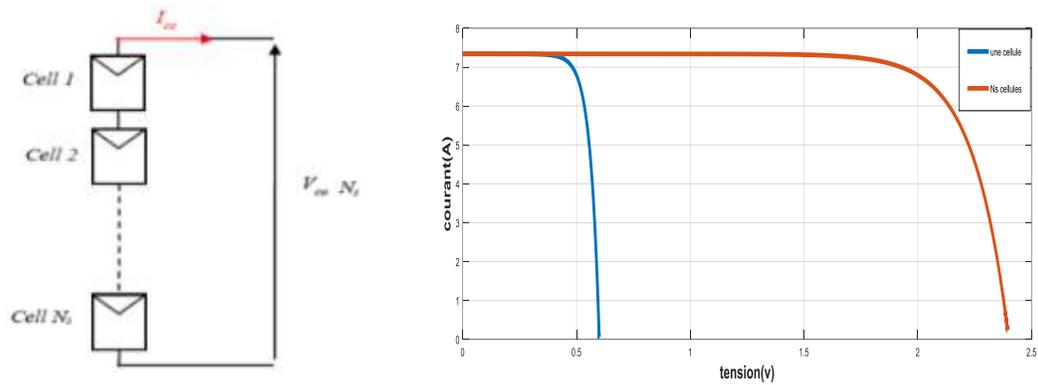


Figure I.13 : Association série des cellules avec la caractéristique I(V)

$$V_{cos} = N_s \times V_{co} \quad (\text{I.13})$$

$$I_{ccs} = I_{cc} \quad (\text{I.14})$$

- N_s : Nombre des cellules en série
- V_{cos} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.
- I_{cc} : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

I.9.2 Association en parallèle

Une association en parallèle permet d'augmenter le courant (I.14), les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée (I.14). [16]

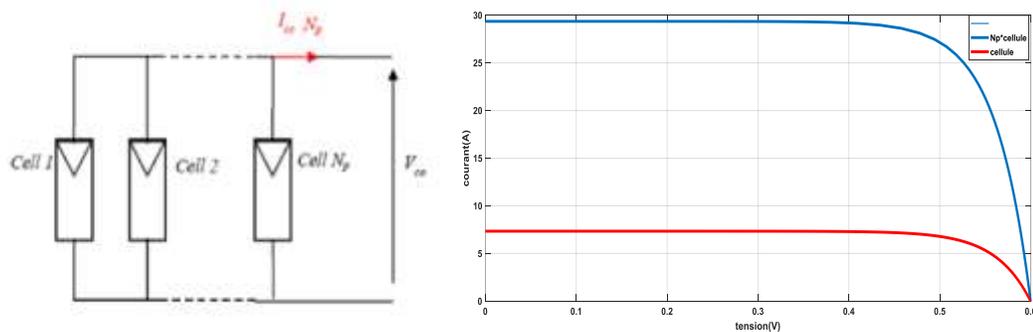


Figure I.14 : Association parallèle avec la caractéristique I(V)

$$I_{ccp} = N_p \times I_{cc} \quad (I.15)$$

$$V_{co} = V_{cop} \quad (I.16)$$

- N_p = nombre des cellules en parallèle dans notre cas $N_p=4$
- V_{cop} : la tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.
- I_{ccp} : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle

I.9.3 Association en série-parallèle

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension.

L'ensemble de ces deux assemblages donne une augmentation de tension et de courant en même temps [16]

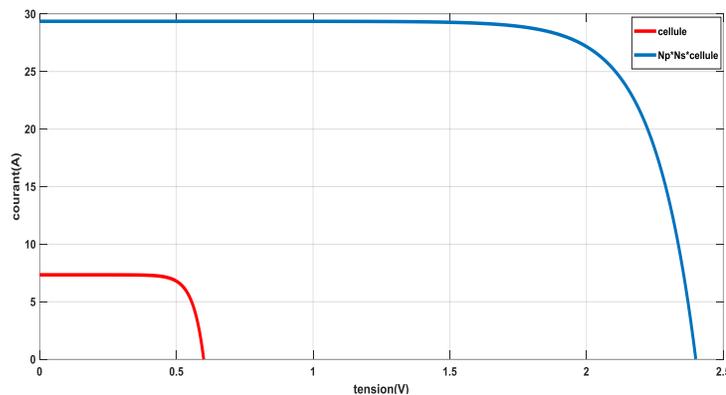


Figure I.15 : Caractéristique courant-tension de cellule série parallèle

I.10 La protection des systèmes photovoltaïque [17]

Pour protéger les cellules qui sont des éléments fragiles et les modules contre les chocs électriques, Les modules doivent être protégé par des diodes.

- **Les diodes en série ou (diode anti retour)** : placés en série avec le module est intégré dans chaque série pour le protégé contre les surtensions et empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les photopiles.
- **Les diodes en parallèles** : dans un couplage série un module qui ne peut plus produire d'énergie (masquage, défaillance) doit être protégé pour ne pas devenir récepteur et s'endommager irrémédiablement, donc placés des diodes en parallèles sur chacun des modules du générateur. Elles permettent de dévier le courant produit par les autres modules de la série.

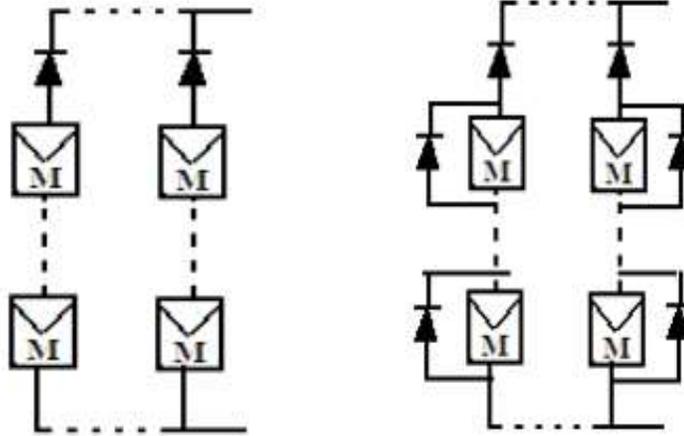


Figure I.16: Protection par diodes en série **Figure I.17:** Protection par diodes en parallèle

- **La protection contre la surtension et la foudre :** les modules photovoltaïques sont exposés aux foudre et surtension, les impacts directs et indirects de foudre présentent un risque élevé pour le system photovoltaïque et les sur tensions sur les systèmes PV ont pour origine les tensions générées par couplage capacitif ou inductif. Il est nécessaire de coordonner de manière adéquate les concepts de protection contre la foudre et contre les surtensions. En règle générale, un système de protection contre la foudre destinée à un générateur PV se compose des éléments suivants :
 - ✓ Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF).
 - ✓ Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel.
 - ✓ Blindage magnétique et câblage.
 - ✓ Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée.

I.11 Application de l'énergie photovoltaïque

L'ériger photovoltaïque une énergie renouvelable et écologique, le photovoltaïque est très prometteur car elle est disponible en tout point du globe. De plus, comparé à d'autres formes de production d'énergie (éolien, nucléaire, solaire thermique, biomasse...), les applications du PV en tant que source d'énergie autonome sont aujourd'hui fortement diversifiées tels que l'alimentation du réseau par l'énergie électrique produite par les panneaux PV, le pompage PV, etc. [18].

I.12 Energie photovoltaïque utilisé dans le pompage de l'eau

Dans ce mémoire nous nous intéressons à l'étude d'un pompage solaire via les panneaux PV. Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant l'énergie solaire

pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable [19] Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque il existe deux techniques pompages au fil du soleil et pompage avec batteries.

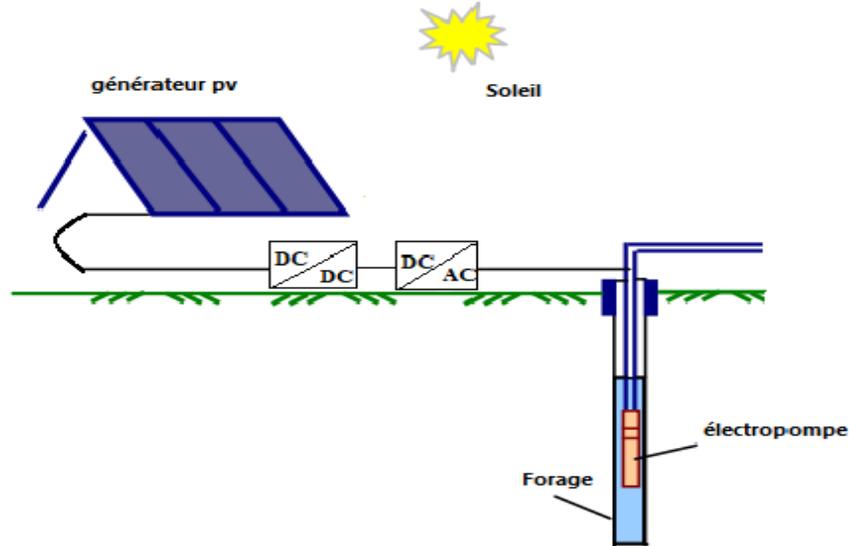


Figure I.18 : Système de pompage photovoltaïque

I.12.1 Pompage au fil du soleil

Pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux. En effet, dans cette technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage hydraulique. [20]

I.12.2 Pompage avec batteries

La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, l'avantage de cette méthode est de garantir une stabilité d'alimentation des équipements (système présente l'avantage d'un débit régulier, la possibilité de pomper lorsque le soleil est absent). L'inconvénient majeur, voir handicapant, de cette technique est qu'elle comporte plusieurs composants qui influent négativement sur la fiabilité et le coût global du système. En effet, les batteries sont fragiles et sont souvent les premiers éléments qui auront besoin d'être changés. [20].

I.13 Les convertisseurs statiques

Dans ce paragraphe on va présenter brièvement les convertisseurs utilisés dans les systèmes de pompage PV.

I.13.1 Les convertisseurs (DC/DC)

Les convertisseurs statique DC-DC (ou hacheur) permet d'alimenter une charge sous une tension continue réglable à partir d'une source continue fixe. Ils se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs.

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes photovoltaïques pour adapter la source DC variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. [21]

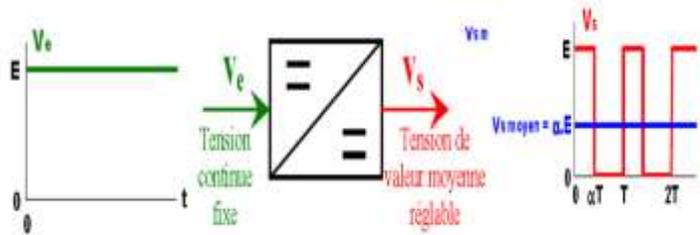


Figure I.19 : Principe de base d'un hacheur

I.13.2 Type des hacheurs

Selon la position du commutateur et de l'hacheur, différents types de convertisseurs de tension peuvent être réalisés

- Hacheur dévolteur (ou Buck)
- Hacheur survolteur (ou Boost)

I.13.2.1 Hacheur Buck ou dévolteur (série)

Un convertisseur Buck, ou hacheur série est un convertisseur direct DC-DC, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur plus faible. [22]

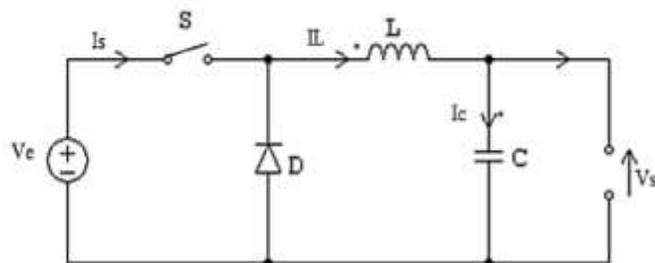


Figure I.20 : Convertisseur buck.

I.13.2.2 Hacheur Boost (parallèle)

Le convertisseur boost ou élévateur de tension, Ce type de convertisseur statique permet de convertir une tension continue en une autre tension de plus forte valeur. Le boost est utilisé dans des applications qui ont besoin d'une tension de sortie supérieure à celle de la source continue d'entrée, comme les panneaux PV. [22]

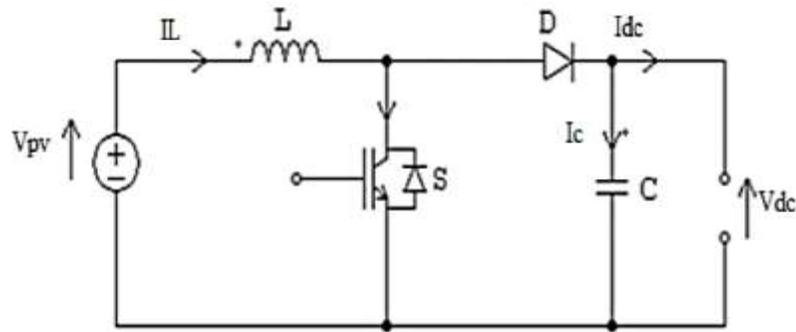


Figure I.21 : Convertisseur Boost

I.14 Les convertisseurs DC/AC (les onduleurs)

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion de l'énergie électrique de la forme continue à la forme alternative. On distingue deux grands types d'onduleurs :

- Les onduleurs de tension, alimentés par une source de tension continu.
- Les onduleurs de courant, alimentés par une source de courant continu.

I.14.1 Onduleur de tension

L'onduleur utilisé dans ce système est un onduleur de tension triphasé. Pour cela, on se limite par présenter seulement l'onduleur de tension. La figure I.23 illustre un onduleur triphasé à six interrupteurs commandés à l'ouverture et à la fermeture par des transistors IGB. L'onduleur est alors constitué de trois bras, dont les deux interrupteurs de chaque bras conduisent de manière complémentaire. Les séquences de commutation des interrupteurs sont fonction de la commande à utiliser MLI « Modulation de Largeur d'Impulsion ». [23]

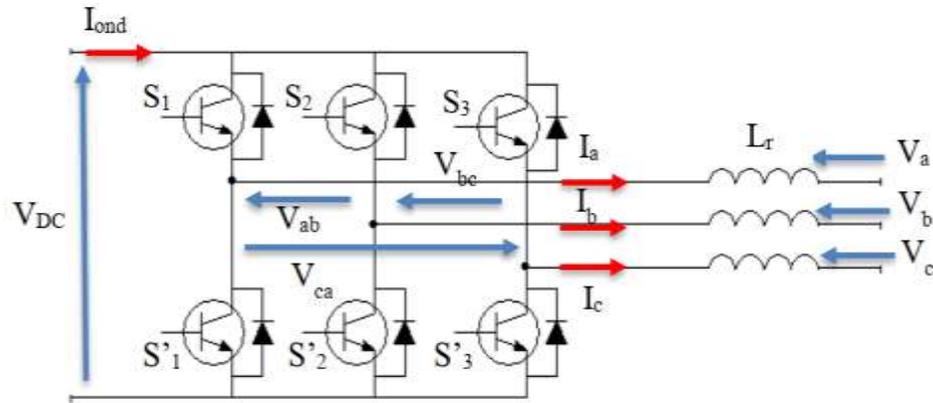


Figure I.22 : Onduleur triphasé

I.15 Moteurs d'entraînements

Deux types de moteurs sont actuellement utilisés pour des applications de pompage photovoltaïques.

- Moteur à courant continu
- Moteur à courant alternatif

I.15.1 Moteur à courant continu

En termes de simplicité le moteur à courant continu est une option attractive car le générateur photovoltaïque produit du courant continu, donc moins d'équipements sont nécessaires pour le traitement de la puissance. Il existe deux types de moteur à courant continu avec balais et sans balais et il est préférable d'utiliser les moteurs sans balais car ses derniers se détériorent avec le temps et doivent être remplacés après approximativement 1000 heures de l'opération. [24]

I.15.2 Moteur à courant alternatif

Le moteur asynchrone est le plus utilisé dans les systèmes de pompage photovoltaïques car il tourne à une vitesse légèrement inférieure à celle de synchronisme dépendamment de la fréquence de la source d'alimentation et du nombre de pôles du stator. Donc, un fonctionnement à vitesse variable n'est possible que si la fréquence de la source d'alimentation est variable. Cela signifie que l'utilisation du moteur asynchrone dans les applications photovoltaïques de pompage nécessite un circuit électronique de commande à fréquence variable (onduleur) pour commander la vitesse, et ceci ajoute un coût de plus au système. La nécessité que l'onduleur devrait atteindre des performances excellentes. [24]

I.16 La pompe [8]

Une pompe est une machine servant à véhiculer un fluide qui peut être de l'eau ou quelconque (pétrole, huile...) en l'aspirant pour le refouler à une certaine pression.

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge.

I.16.1 La pompe volumétrique

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle l'écoulement du liquide est en proportion constant avec le déplacement d'un organe mobile du corps de la pompe.

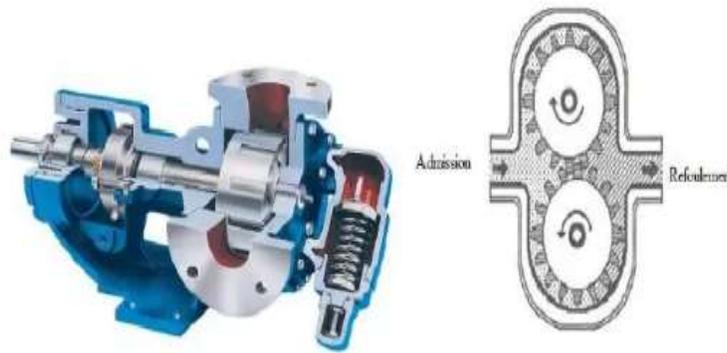


Figure I.23 : Pompe volumétrique.

I.16.2 La pompe centrifuge

Les pompes centrifuges sont la technologie la plus utilisée dans les systèmes de pompage photovoltaïques. Les pompes centrifuges sont conçues pour une tête fixe et leur rendement en eau augmente avec la vitesse de rotation. Les pompes centrifuges sont simples, à prix réduit et sont disponibles pour une large gamme de débit.

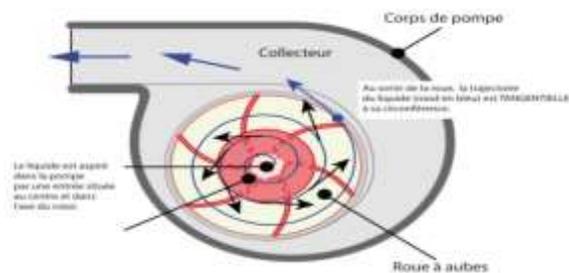


Figure I.24 : Pompe centrifuge

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'état de l'art des systèmes photovoltaïques. Dans un premier temps, nous avons mis en évidence l'intérêt des énergies renouvelable notamment les systèmes PV. Puis, nous avons présenté les différents constituant d'un panneau PV : cellule solaire et module PV. Enfin, nous avons donné une description sur les dispositifs employés dans les systèmes de pompage PV.

Chapitre II

*Etude des dispositifs d'un
générateur photovoltaïque GPV*

Introduction

Les systèmes photovoltaïques sont largement utilisés dans le domaine des énergies renouvelables. Ceci, est grâce aux Générateurs Photovoltaïque GPV dont la cellule photovoltaïque est l'élément de base de ce système.

Ce chapitre a pour objectif d'étudier par simulation la cellule solaire, le module photovoltaïque ainsi que le comportement photoélectrique d'un panneau photovoltaïque en fonction de conditions environnementales, à savoir la température et l'éclairement.

II.1 logiciel de simulation

Pour effectuer notre étude nous avons utilisé Simulink de Matlab en se basant sur le module Simscape. Ce module est une extension de Simulink permettant une modélisation des systèmes physiques dans les domaines électriques, mécaniques, et thermiques, etc. En effet, contrairement à simulink, basé sur la notion de fonction de transfert ou des entrées-sorties d'un système, les composant de Simscape sont décrits par les relations mathématiques qui relient ses grandeurs physiques [25].

Simscape comprend plusieurs bibliothèques relatives à l'électricité, la thermique, la mécanique ou l'hydraulique. Il permet également de créer, à partir des programmes textuels, des dispositifs personnalisés selon les besoins de l'utilisateur dans son propre domaine physique.

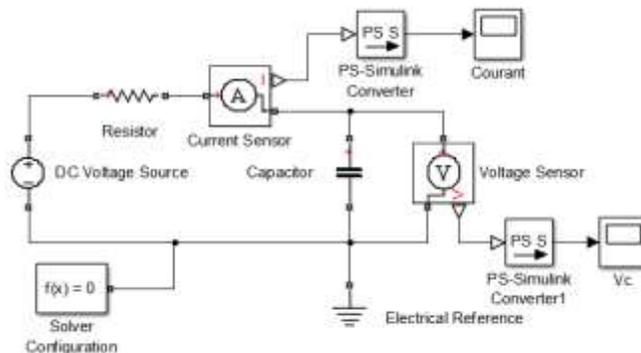


Figure II.1 : Schéma électrique sur Simscape

II.2 Etude d'un système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est composé d'un générateur photovoltaïque (panneau photovoltaïque) associé avec différents éléments (systèmes d'orientation et de suivi, convertisseurs statiques...) pour répondre aux besoins énergétiques :

- Stockage de l'énergie électrique (exemple : batterie d'accumulateurs électrochimiques).

- b) Alimenter des charges électriques en couplage direct sans batterie, autrement dit, système au fil du soleil.
- c) Alimenter un réseau local via des onduleurs.

Dans cette partie, nous allons étudier la cellule, le module et le panneau photovoltaïque. Nous rappelons que les conditions standard STC (Standard Test Condition) sont caractérisées un rayonnement instantané de $1000W/m^2$, un spectre de AM1.5(Air Mass) et une température de 25 °C.

II.2.1 Cellule photovoltaïque

La cellule solaire (ou photopile) est l'élément de base d'un Panneau photovoltaïque. Le symbole de la cellule solaire disponible sur Simscape est représenté dans la figure (II.2) dont le modèle équivalent employé dans cette étude est un modèle à huit paramètres avec deux diodes.

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[e^{\frac{V+(I \cdot R_s)}{N \cdot V_t}} - 1 \right] - I_{s2} \left[e^{\frac{V+(I \cdot R_s)}{N2 \cdot V_t}} - 1 \right] - \frac{V+(I \cdot R_s)}{R_p} \quad (II.1)$$

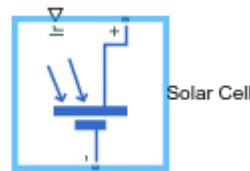


Figure II.2 : Cellule solaire disponible dans Matlab/simscape 2018.

Sachant que Résistance interne $R_s = 0.0065 \Omega$, les caractéristiques de sortie de cette cellule sont :

- Le courant de court-circuit $I_{cc} = 7.34 \text{ A}$
- La tension de circuit-ouvert $V_{co} = 0.6 \text{ V}$

Afin d'étudier le comportement photoélectrique de la photopile nous avons réalisé le schéma représenté dans la figure (II.3).

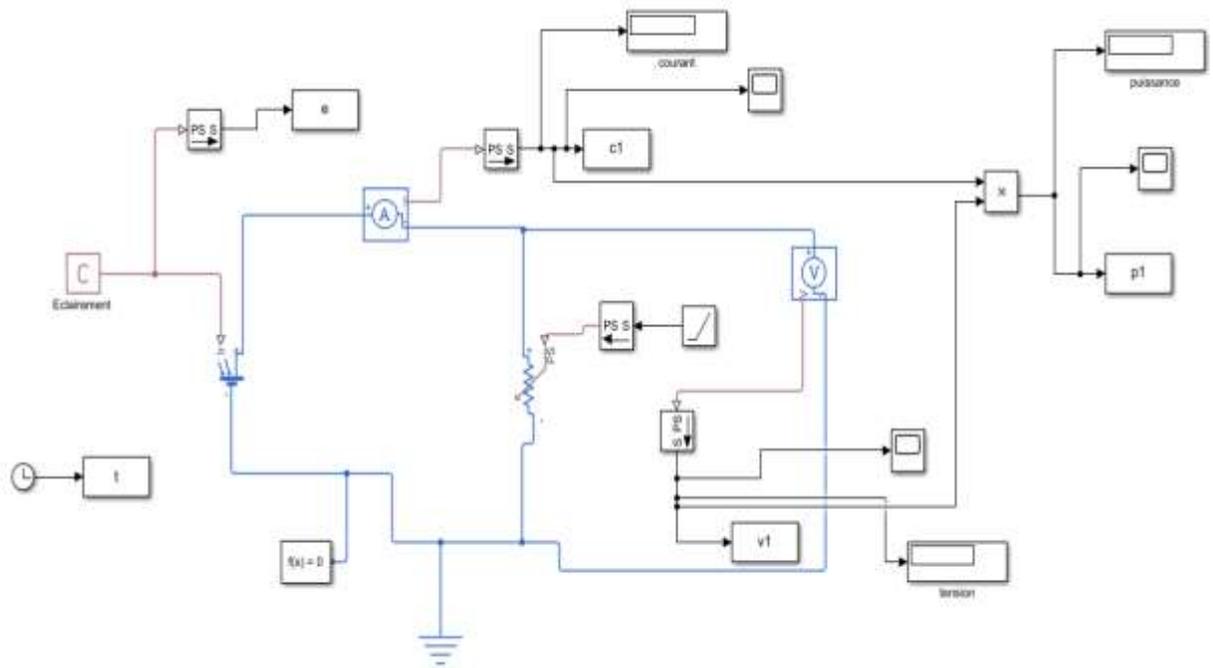


Figure II.3: Schéma de simulation d'une cellule PV sur MATLAB / Simscape 2018.

La figure II.4 représente l'évolution du courant en fonction de la tension dans les conditions STC. Comme nous pouvons le constater le courant délivré par la photopile est constant dans l'intervalle [0 - 0.45V] puis il décroît de façon exponentielle jusqu'à 0 A entre 0.45 V et 0.6 V.

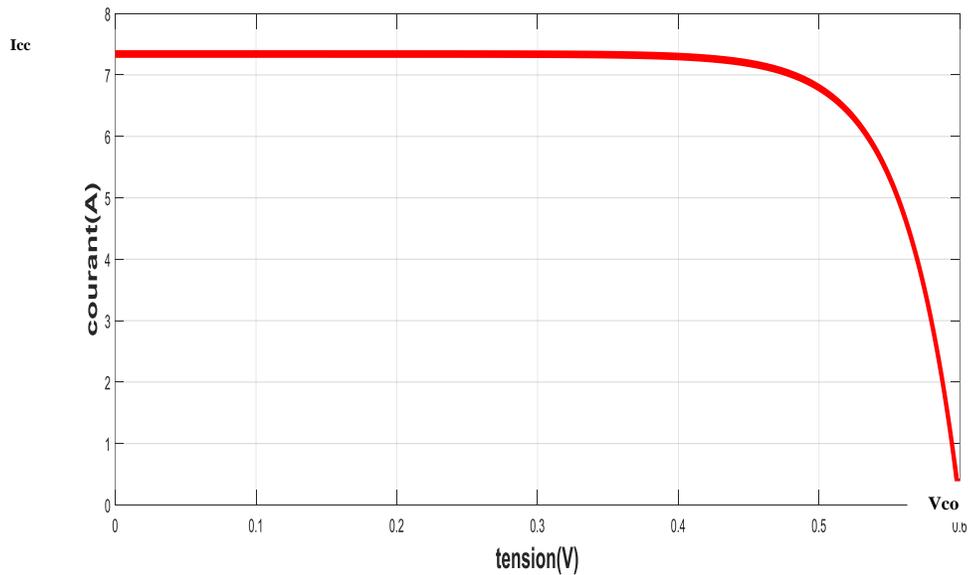


Figure II.4 : Caractéristique I(V) d'une cellule solaire dans les conditions STC

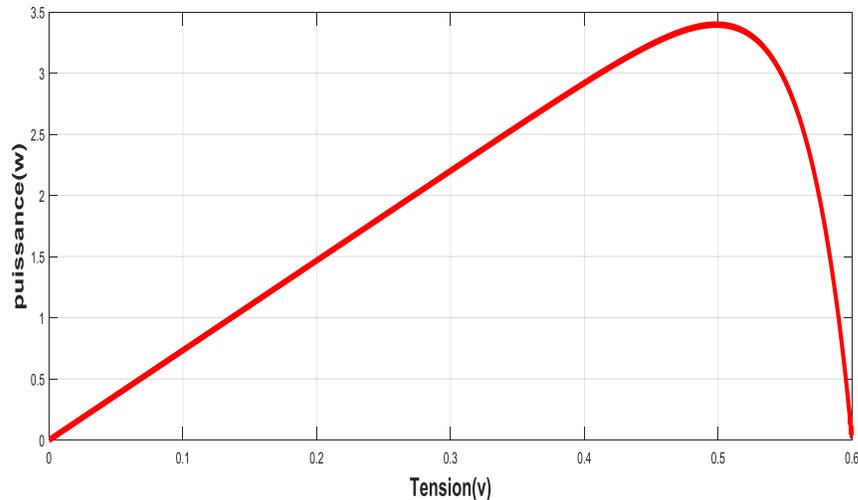


Figure II.5 : Caractéristique P(V) d'une cellule solaire dans les conditions STC

La figure (II.5) illustre la variation de la puissance en fonction de la tension. Le pic enregistré aux coordonnées (3.4 w, 0.5 V) indique le maximum de la puissance dont l'obtention de ce point reste une opération cruciale pour le fonctionnement et la commande d'un système photovoltaïque. Ce pic correspond à ce qu'on appelle MPPT : Maximum Power Point Tracking (la recherche (ou la poursuite) du point maximum de puissance). [26]

La corrélation entre la courbe (II.4) et la courbe (II.5) indique que le point de fonctionnement d'une charge est localisé aux coordonnées (I, V) = (6.9 A, 0,5 V).

En comparant la variation du courant et le point de fonctionnement on peut conclure qu'une cellule solaire se comporte comme un générateur de courant.

II.2.2 Module photovoltaïque

Comme nous l'avons mentionné dans le premier chapitre, l'association de plusieurs cellules solaires permet d'avoir ce qu'on appelle un module. En effet, le nombre de cellules associé en série (pour augmenter la tension) permet de définir la puissance compatible aux charges alimentées. Par ailleurs, on peut utiliser une configuration série/ parallèle pour augmenter également le courant.

Les modules à 36 cellules sont la norme de l'industrie pour la production d'électricité à grande échelle [27]. Cependant il existe des modules contenant 60 cellules tels que Soltech 1-STH-215-pr (disponible à la bibliothèque Matlab/Simscape 2018) où les 60 cellules ont été mises en série (voir figure II.6). Les caractéristiques de ce module PV sont présentées dans le tableau (II.1)

Tableau II.1 : Les caractéristiques du module Soltech 1-STH-215-pr

PV modèle	ISTH-215-p
courant de court-circuit I_{cc}	7.84A
Tension de circuit ouvert V_{co}	36.3V (60*0.6 V)
Tension MAX V_{mpp}	29V
Courant MAX I_{mpp}	7.35A
Puissance MAX P_{mpp}	213.15W
Nombre de cellules N_s	60
Résistance en séries R_s	0.39383
Résistance en shunt R_{sh}	313.3991

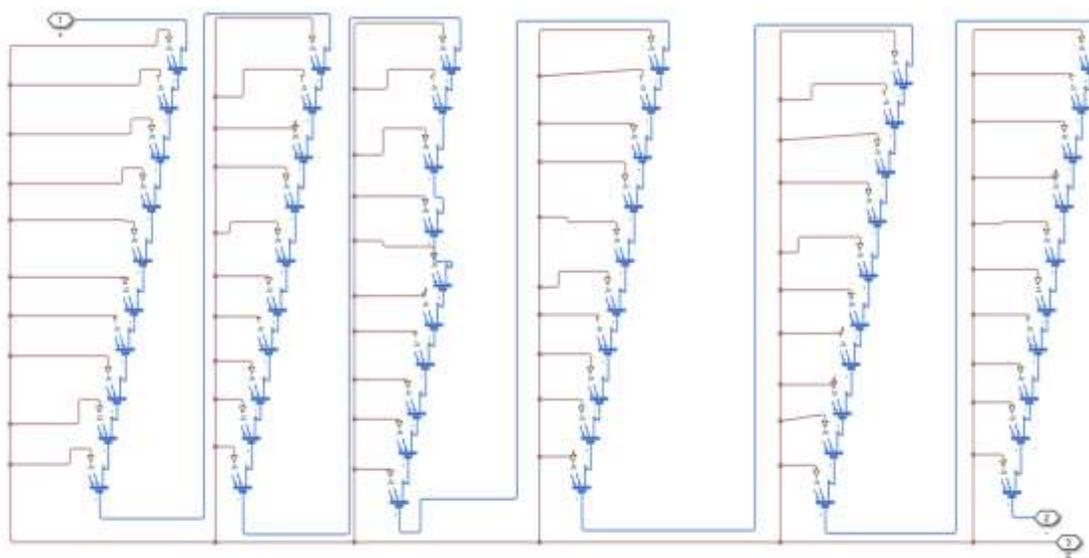


Figure II.6 : Montage de 60 cellules en séries

Afin d'étudier le comportement photoélectrique du module Soltech 1-STH-215-pr en utilisant des versions antérieures de Matlab 2018 nous avons réalisé le schéma illustré dans la figure II.6, à savoir que le bloc du module PV comprend 60 cellules connectées en série.

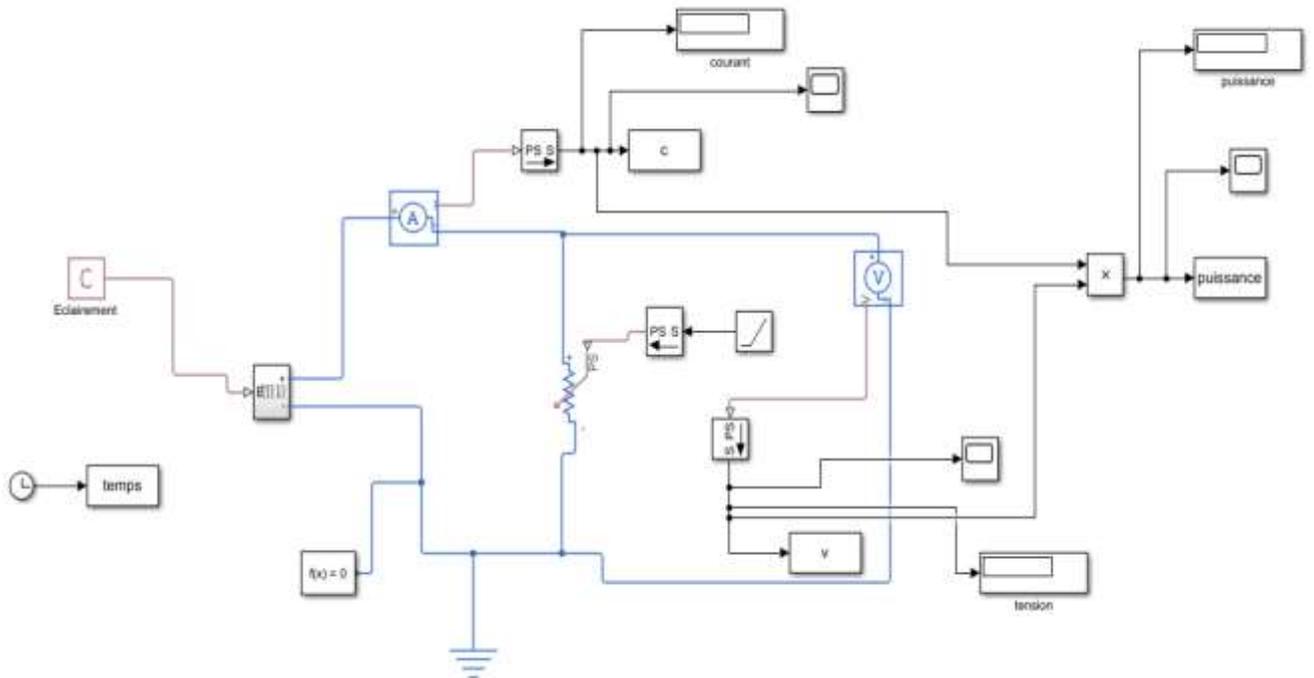


Figure II.7: Le module PV sur MATLAB / Simscape

Nous avons effectué la simulation aux conditions de teste standard STC (éclairement $E=1000W/m^2$, température $T=25C^\circ$).

En effet, la figure II.8 indique que la mise en série de 60 cellules a permis d'augmenter la tension V_{oc} jusqu'à 36.3 V, ceci en conservant la valeur de $I_{cc}=7.35$ A. Par conséquent, la puissance délivrée par ce module a augmenté jusqu'à 2038 W enregistrée au pic de la caractéristique P(V) (voir figure II.9).

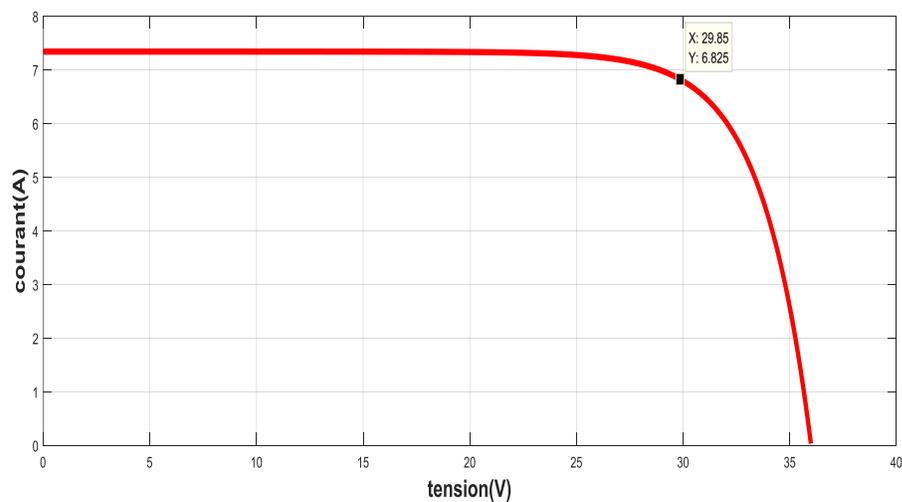


Figure II.8: Caractéristique courant-tension I(V) d'un module photovoltaïque dans les conditions STC

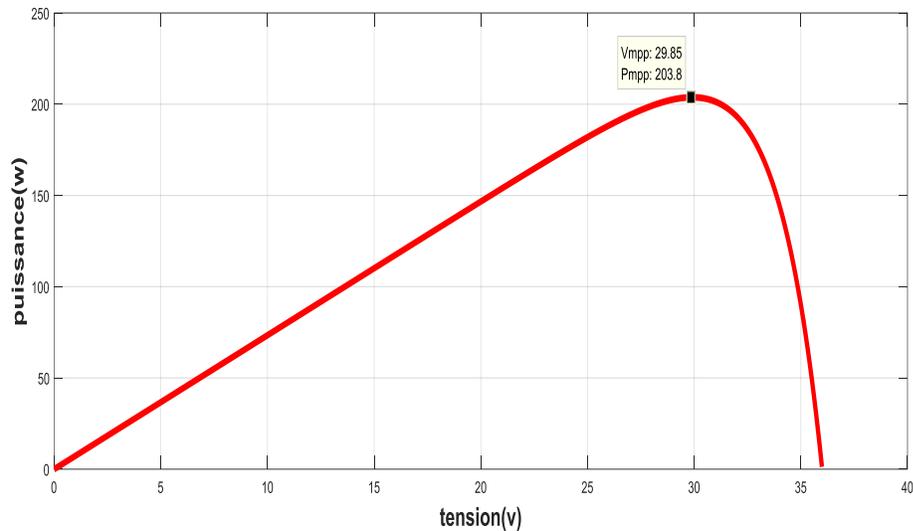


Figure II.9 : Caractéristique P(V) d'un module photovoltaïque dans les conditions STC

II.2.3 Panneau photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques se composent d'un ou plusieurs avec une configuration sériee et/ou en parallèle réalisée pour alimenter une charge ou pour stocker de l'électricité dans un accumulateur.

Pour mettre en évidence le comportement photoélectrique du panneau PV nous avons imposé d'avoir une puissance maximale 1280 W. En effet, nous avons regroupé trois chaines en parelles, à savoir que chaque chaine est composée de 2 modules Soltech 1-STH-215-pr montés en série.

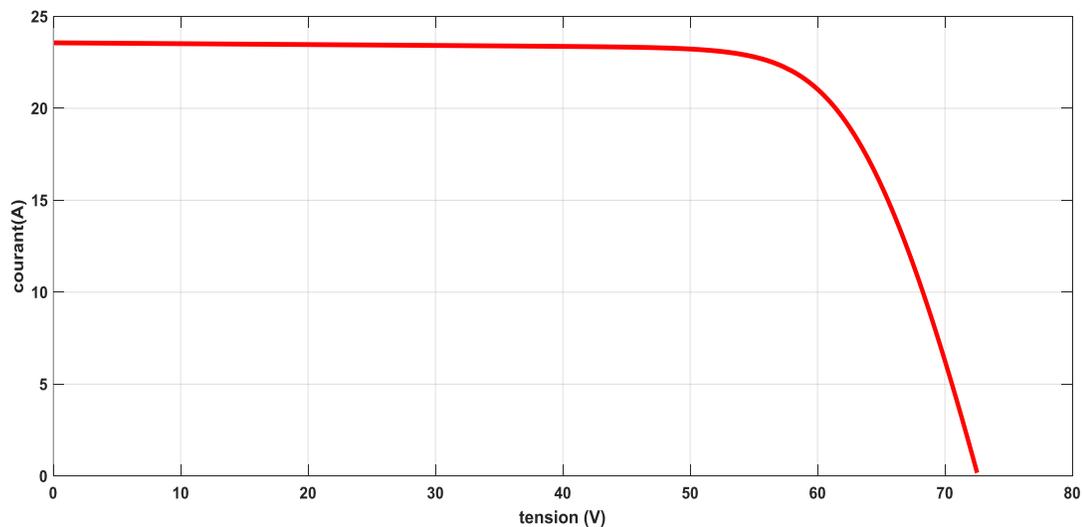


Figure II.10 : La caractéristique I(V) d'un panneau PV dans les conditions STC

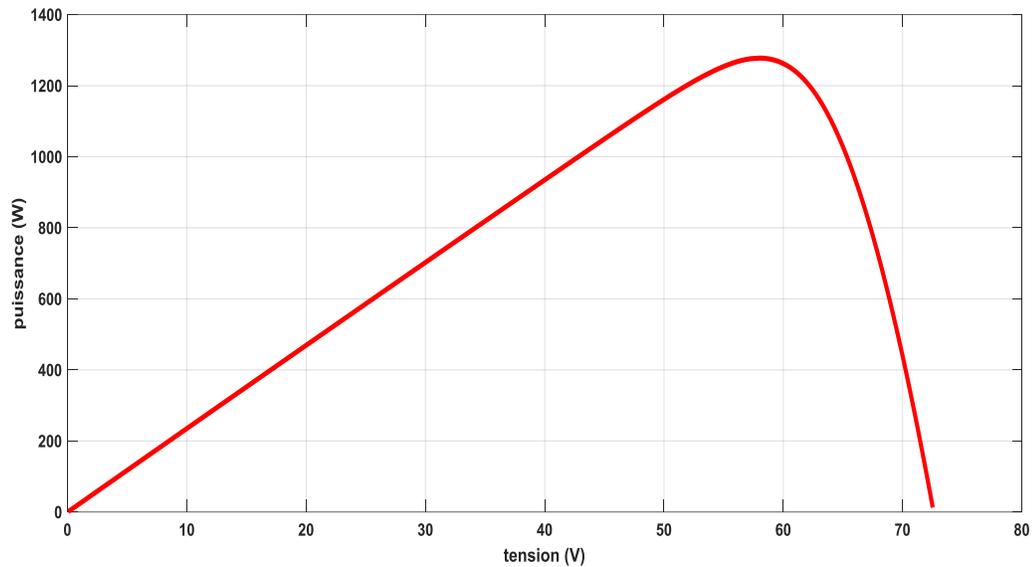


Figure II.11 : La caractéristique puissance- Tension P(V) d'un panneau PV dans les conditions STC

Les figures (II.10) et (II.11) montrent clairement que l'association série/parallèle a permis d'augmenter la puissance délivrée du panneau à travers l'augmentation des valeurs I_{cc} et V_{oc} .

II.3 Influence de la température et de l'éclairement sur le comportement des panneaux PV

Le système photovoltaïque est affecté par plusieurs facteurs qui peuvent modifier son fonctionnement, dont les plus importants sont les changements de la température et de l'éclairement.

II.3.1 Influence de l'éclairement

En maintenant la température à 25 °C (température normalisée pour les fabricants), nous avons varié l'éclairement subit par le panneau PV. La figure (II.12) montre clairement que le courant délivré par le panneau photovoltaïque varie proportionnellement avec l'éclairement. Concernant la tension V_{oc} , on voit bien qu'elle varie légèrement avec l'éclairement ce qui permet de considérer la variation de l'éclairement n'affecte de façon significative la tension V_{oc} .

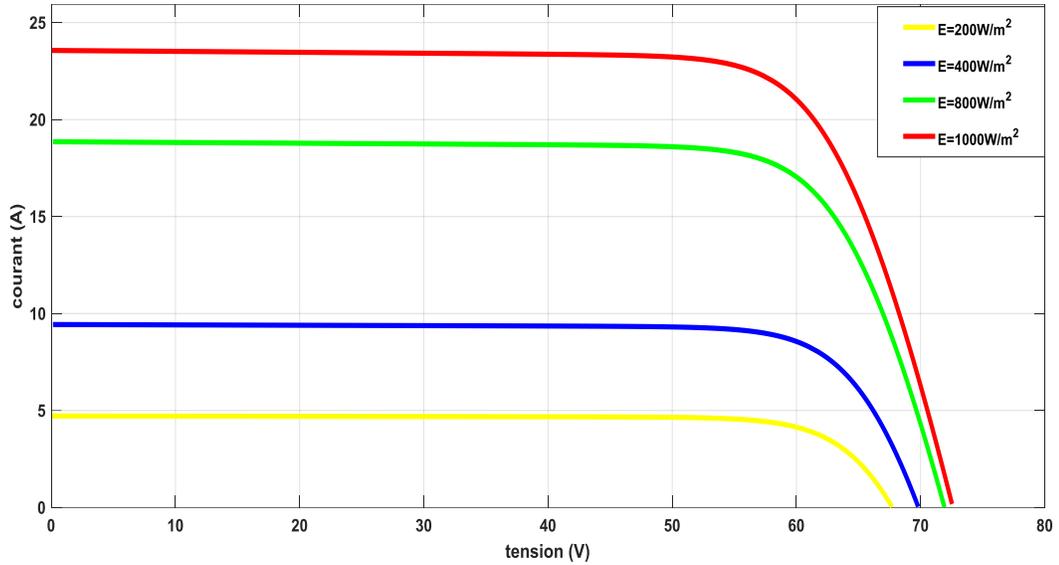


Figure II.12 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I(V) d'un panneau PV

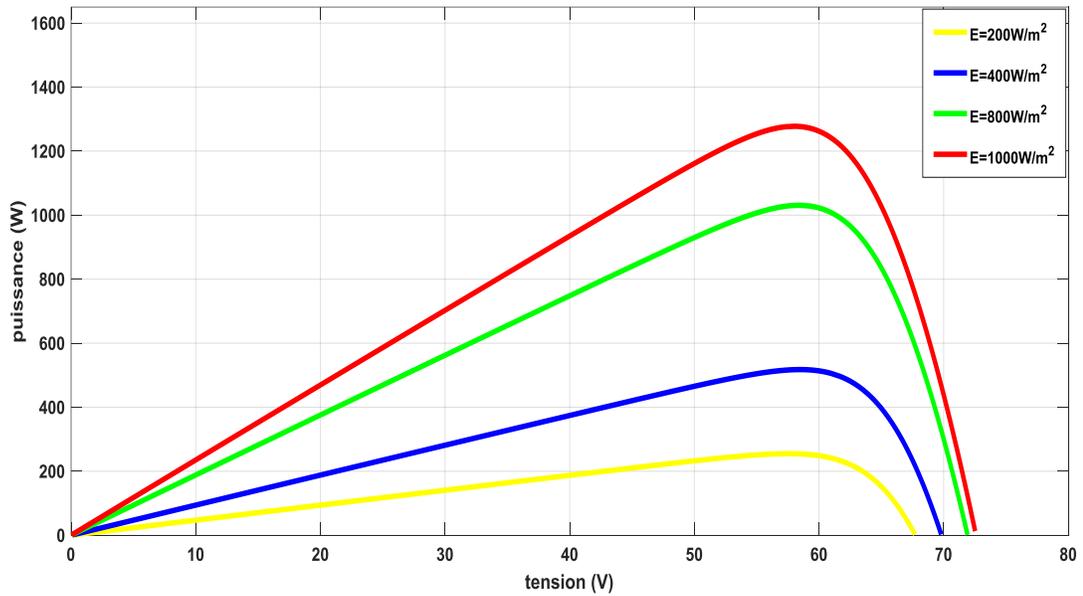


Figure II.13 : Effet de l'éclairement sur la caractéristique puissance- Tension P(V) d'un panneau PV

Le tracé de la caractéristique P(V) illustré dans la figure (II.13) indique que le pic de la puissance n'a pas vraiment décalé, il est enregistré à environ 60 V avec une augmentation de la puissance en fonction de l'augmentation de l'éclairement.

Nous avons pu déterminer le rendement du panneau PV en utilisant la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_{max}}{E \times S} \quad (\text{II.2})$$

P_{max} : puissance maximale

E : éclairement

S : la surface du panneau, où

$$S_{panneau} = N_{module} \times S_{module} \quad (\text{II.3})$$

La surface d'un module Soltech 1-STH-215-pr est 1.57 m^2 [28]

Tableau II.2 : Puissance maximum en fonction d'éclairement

Eclairement(W/m ²)	200	400	800	1000
Puissance max(W)	254.8	517.6	1031	1279

Nous avons trouvé que le rendement du panneau est $\eta = 13\%$

II.3.2 Influence de la température

Cette fois-ci l'éclairement sera conservé constant $E=1000 \text{ W/m}^2$ en variant la température entre 10°C et 45°C (voir figure II.14 et II.15). Comme nous pouvons le constater la température affecte les caractéristiques du panneau PV en provoquant une diminution de tension.

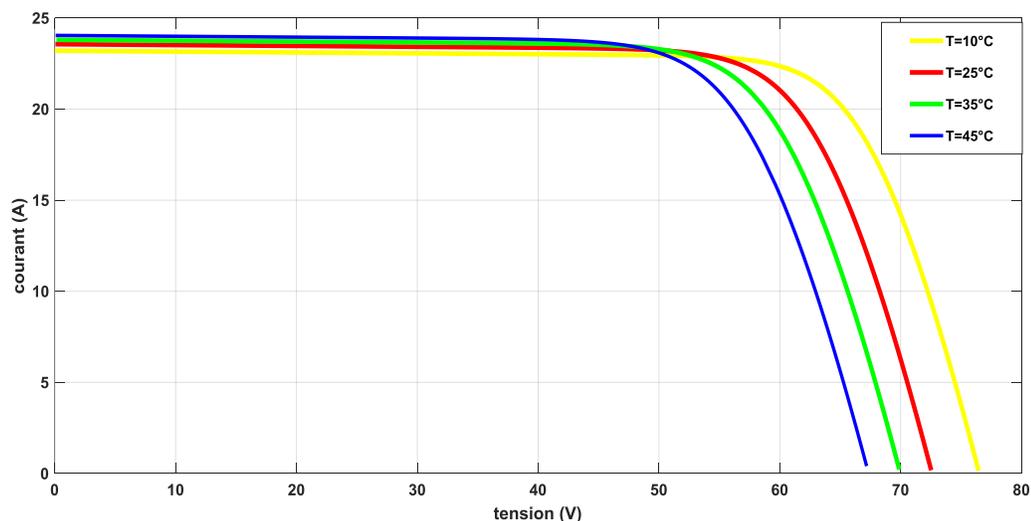


Figure II.14 : Effet de la température sur la caractéristique courant-tension d'un panneau PV

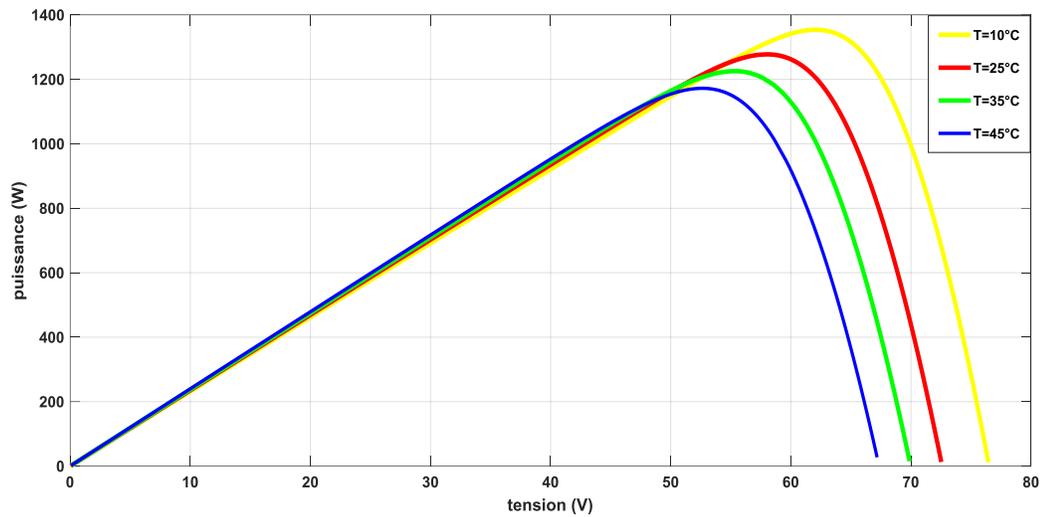


Figure II.15: Effet de la température sur la caractéristique puissance-tension d'un panneau PV

Pour étudier l'effet de la température sur le rendement nous avons estimé la puissance maximale délivré par le panneau en variant la température de 10 °C jusqu'à 45 °C (voir tableau II.3)

Tableau II.3 : puissance maximum en fonction de température

Température (°C)	10	25	35	45
Puissance max(W)	1354	1279	1225	1172

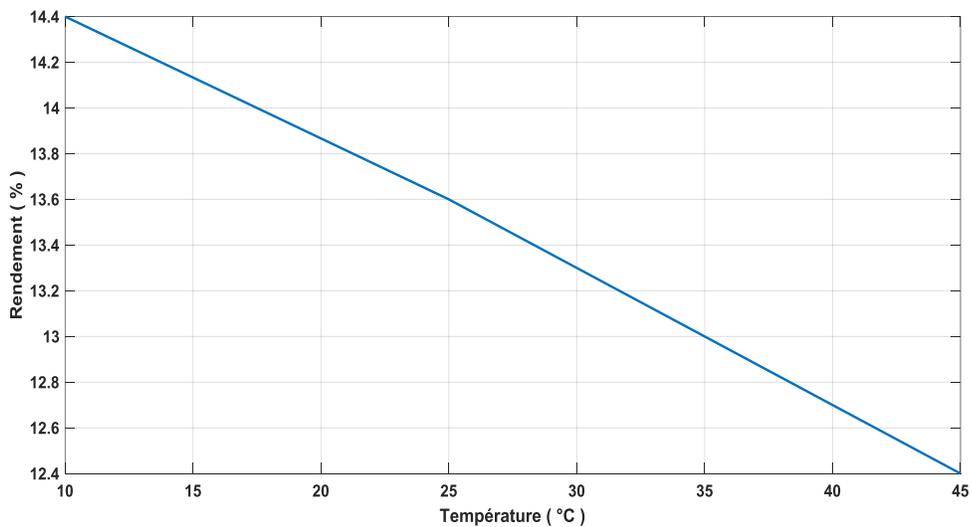


Figure II.16 : Evolution du rendement de panneau en fonction de température

Comme nous pouvons le constater sur la figure II.16 le rendement du panneau a connu une diminution lors de l'augmentation de la température. Cette diminution est due à l'auto-échauffement du panneau qui a provoqué lui-même une chute de tension (voir figure II.14). Donc, les températures élevées présentent un effet néfaste pour les panneaux PV ce qui implique la dégradation des performances de ce dispositif photoélectrique.

Conclusion

L'étude des panneaux PV a été menée en utilisant le module Simscape de Matlab. En premier lieu, nous avons étudié le comportement photoélectrique de la cellule solaire où nous avons déduit que la cellule solaire se comporte comme un générateur de courant. Puis, nous avons vu que le module PV est constitué de plusieurs cellules solaires montées en série (augmenter la tension) et/ou parallèle (augmenter le courant) permet de déterminer de façon initiale la puissance du panneau PV. En fin, nous avons montré que les besoins en puissance déterminent la configuration le montage série/parallèle des modules constituant eux-mêmes le panneau PV. Nous avons également étudié l'influence de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques du GPV. Nous avons trouvé que l'augmentation de l'éclairement conduit à l'augmentation du courant délivré par le GPV en conservant la tension donnée en STC. L'étude de l'influence de la température a montré que l'augmentation de la température provoque un décalage de la V_{oc} vers les valeurs inférieures ce qui affecte les performances des GPVs. Ceci, est contrairement à la diminution de la température dont les GPVs présentent un rendement optimal.

Chapitre III

*Etude du système de pompage
photovoltaïque*

Introduction

Les systèmes de pompage photovoltaïque sont généralement utilisés pour l'approvisionnement en eau dans les régions isolées où l'électricité n'est pas disponible, soit pour l'utilisation domestique ou l'irrigation.

Dans ce chapitre, nous allons compléter l'étude des différents éléments du système de pompage. En premier lieu, on va présenter la configuration finale du GPV. Ensuite, on va étudier les convertisseurs DC/DC et DC/AC. Puis, les commandes MPPT et MLI seront présentées. Enfin, nous allons mettre en service le système global.

III.1 Système de pompage photovoltaïque

Afin de définir la puissance du panneau PV ainsi la puissance de la pompe utilisée nous étions devant la faite de déterminer la profondeur du puits. En effet, nous avons choisi le site d'El Badside Hamala- Wilaya de Mila où on doit creuser à environ 100 m pour atteindre l'eau.

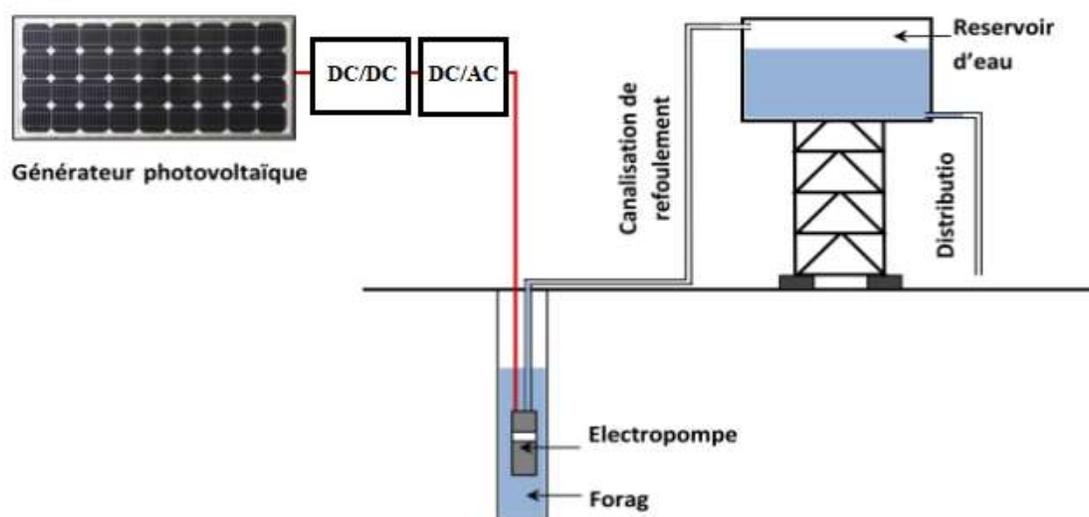


Figure III.1 : Système de pompage photovoltaïque

III.1.1 Choix de la pompe

Le choix de la pompe joue un rôle crucial pour définir les caractéristiques du système de pompage. En effet, nous avons deux options pour effectuer un pompage pareil : les pompes de surfaces et les pompes immergées.

Dans cette étude on recommande les pompes immergées car les pompes de surface sont conçues pour aspirer de l'eau qui est à une profondeur qui ne dépasse pas 8 m [8]. En plus, la pompe immergée ne nécessite pas une chambre technique ...etc.

Donc, à cette profondeur de 100 m nous avons opté pour une pompe immergée permettant d'aspirer des eaux claires soit pour utilisation domestique ou pour irrigation des surfaces agricoles qui fonctionne à une puissance d'environ 3 KW.

III.1.2 Composition du système

En se basant sur les caractéristiques de la pompe, on propose le système de pompage constitué des éléments suivants :

- Un générateur photovoltaïque.
- Un convertisseur (DC/DC).
- Une commande MPPT
- Un onduleur triphasé.
- Une commande PWM
- Moteur asynchrone triphasé d'entraînement d'une pompe immergée

III.1.3 Générateur photovoltaïque

Comme nous l'avons précisé au paragraphe précédent le besoin en puissance électrique pour alimenter la pompe immergée est 3 KW. Pour cela et afin de satisfaire cet appel de puissance, nous avons élaboré une combinaison série/parallèle de modules PV de type **Soltech 1-STH-215-pr**. Le panneau PV mis en question est constitué de **5 chaînes** en parallèle où chaque chaîne est composée de **3 modules** montés en série. Ce dernier permet d'avoir aux conditions STC, une puissance crête de 3000W.

La configuration réalisée nous a permis d'avoir les caractéristiques présentées dans les figures III.2 et III.3.

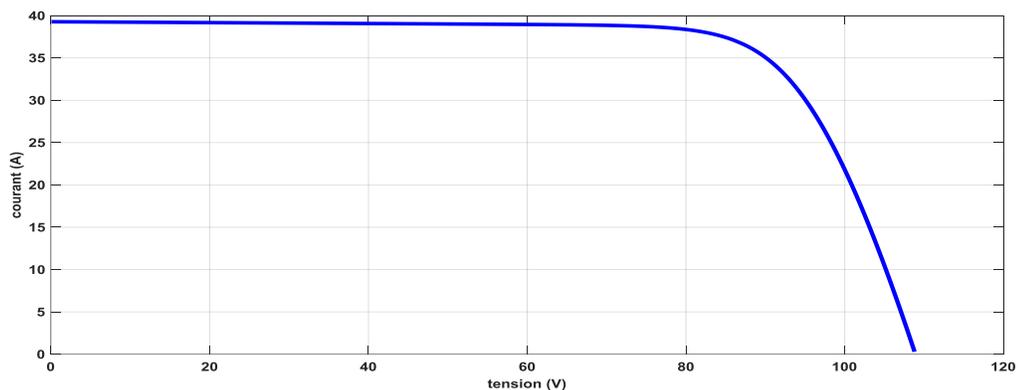


Figure III.2 : Caractéristique I(V) du panneau

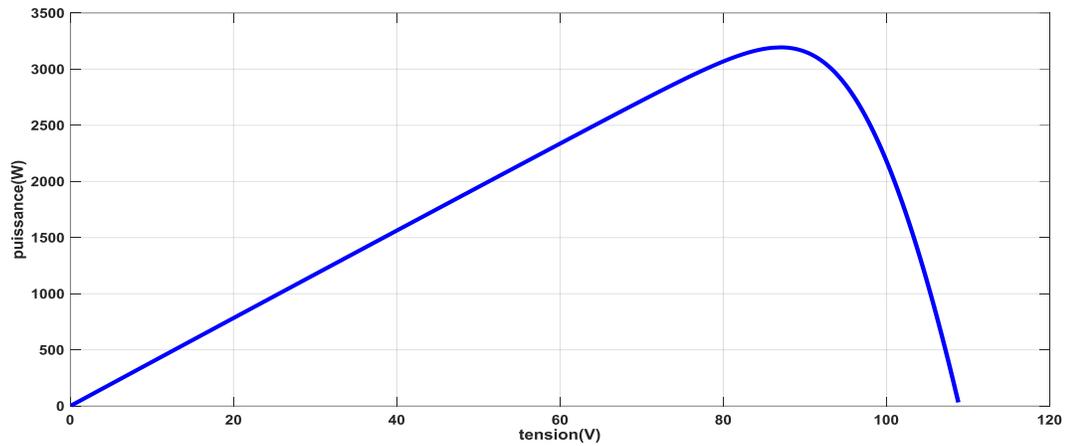


Figure III.3 : Caractéristique P(V) du panneau

III.2 les convertisseurs statiques

III.2.1 Hacheur DC/DC Boost

Le moteur électrique utilisé dans ce système est un moteur asynchrone triphasé fonctionnant à 380 V. Par ailleurs, comme illustré sur la figure III.2 la tension V_{OC} délivré par le Panneau est 108 V. Par conséquent, l'utilisation d'un convertisseur DC-DC de type Boost est primordiale pour adapter le transfert d'énergie ainsi d'augmenter la tension afin d'avoir la tension de fonctionnement du moteur (voir figure III.4). Les éléments constituant de l'hacheur Boost sont : une inductance (L), une diode (D), le condensateur (C), et un transistor de type IGBT [21].

Afin d'obtenir un bon fonctionnement de l'hacheur il est indispensable d'effectuer un bon choix des composants constitutifs de ce dernier. En effet, on se basant sur les équations III.1-6 [29], nous avons pu déterminer les grandeurs électriques L, C et le rapport cyclique α

Sachant que $\Delta V = 0.05$ et $\Delta I_L = 0.1$ $V_{in} = 108 V$ et $V_{out} = 380 V$

$$\alpha = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (III.1)$$

$$I = \frac{V_{out}}{R_{ch}} \quad (III.2)$$

$$I_2 = I \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (III.3)$$

$$C = \frac{\alpha V_{in}}{((1-\alpha)V_{out} f_s R \Delta V)} \quad (III.4)$$

$$L = \frac{V_{in} \alpha}{f \Delta I_L I_2} \quad (III.5)$$

La charge utilisée dans cette simulation a été estimée en fonction de la relation suivante :

$$R_{ch} = \frac{V_{out}^2}{P} \tag{III.6}$$

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau (III.1)

Tableau III.1 : Paramètres du convertisseur DC-DC Boost

Composants	L	C	Rch	α
valeurs	$5.56e^{-3}H$	$5.58e^{-5}F$	48.133Ω	0.71

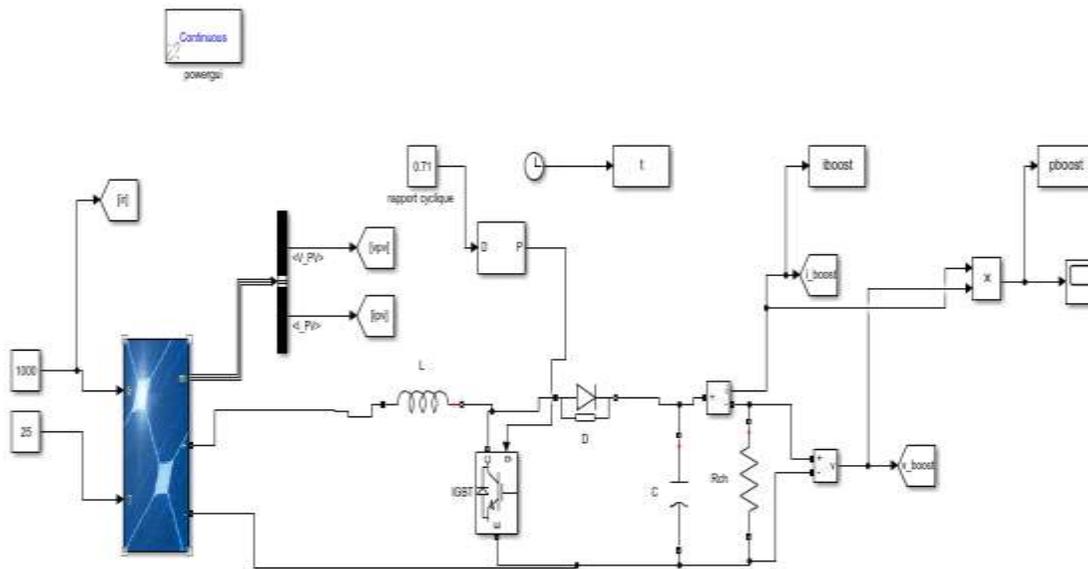


Figure III.4: Couplage de l’hacheur Boost avec le panneau PV.

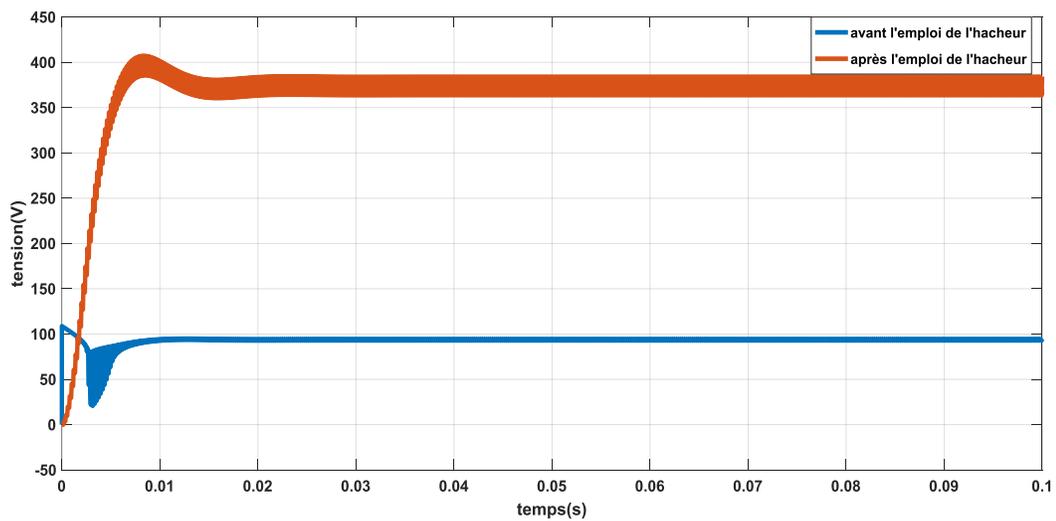


Figure III.5 :Tension de sortie d’un hacheur en fonction du temps

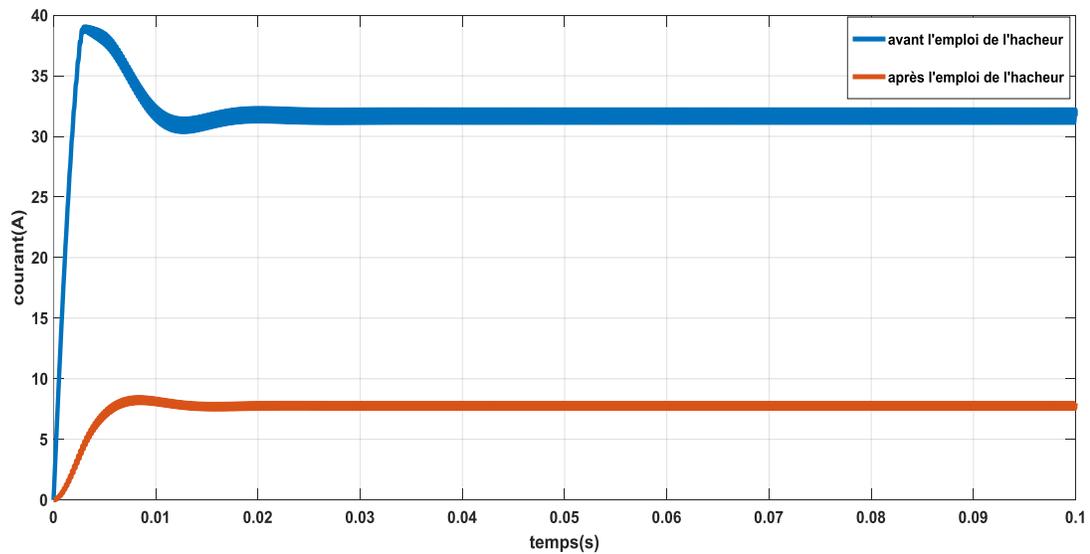


Figure III.6: Courant de sortie d'un hacheur en fonction du temps

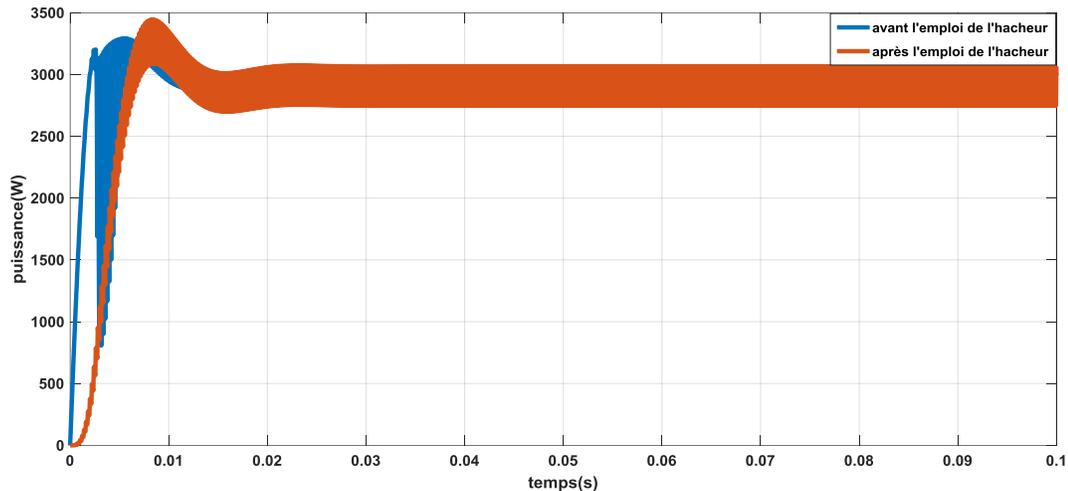


Figure III.7 : Puissance de sortie d'un hacheur en fonction du temps

Comme illustrer dans les figures III.5, 6 et 7, l'introduction de l'hacheur DC-DC Boost a permis une augmentation en tension, Ceci en concevant la puissance délivré le panneau au moteur triphasé.

Par ailleurs et afin de démontrer l'impact du rapport cyclique nous avons tracé sur la figure III.8, 9 et 10 l'évolution de la tension en fonction du temps. Cette figure mette en évidence l'importance de bien choisir la valeur du rapport cyclique. Pour cela, l'emploi des algorithmes MPPT vont permettre d'optimiser le transfert d'énergie maximale vers la charge.

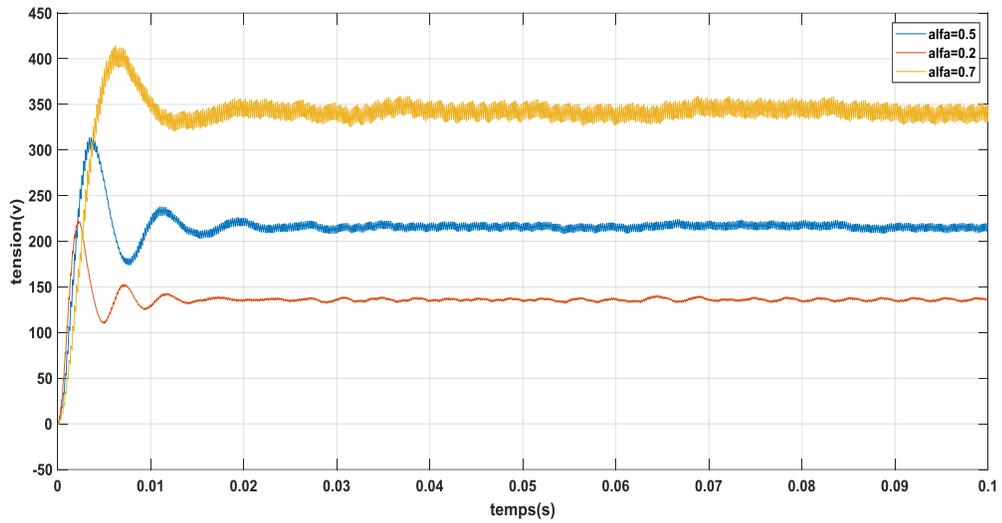


Figure III.8 : Tension de sortie d'un hacheur en fonction du temps

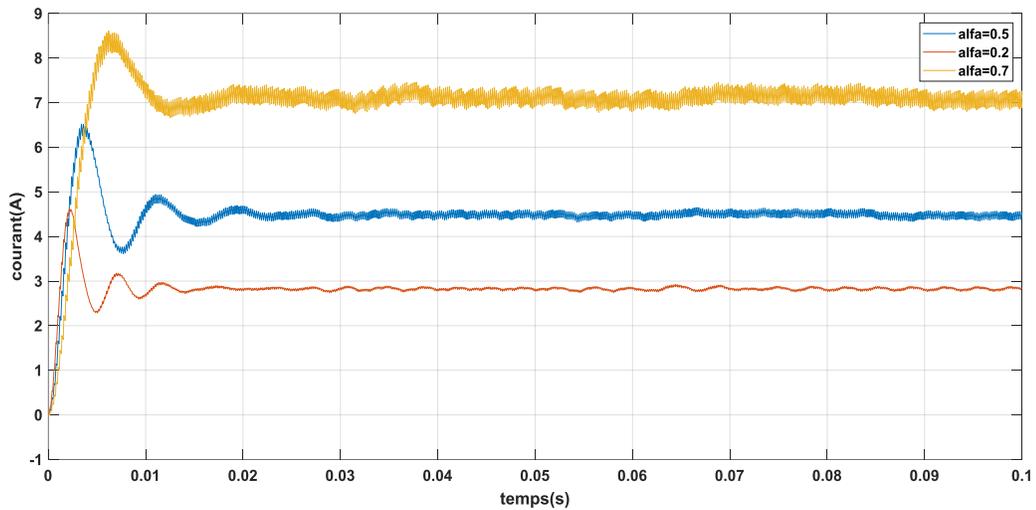


Figure III.9 : Courant de sortie d'un hacheur en fonction du temps

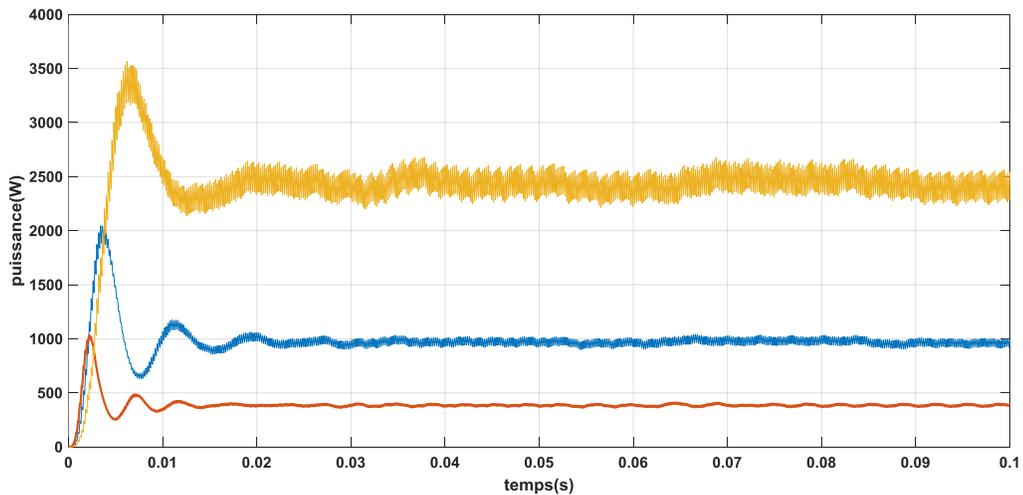


Figure III.10 : Puissance de sortie d'un hacheur en fonction du temps

III.2.2 Les convertisseurs DC/AC

Le couplage de l'ensemble moteur-pompe sur un générateur photovoltaïque est réalisé via les convertisseurs DC/DC et DC/AC. L'onduleur DC/AC va permettre une transformation en alternatif afin d'alimenter un moteur triphasé. Pour des systèmes de moyenne puissance l'alimentation en tension est plus avantageuse [30].

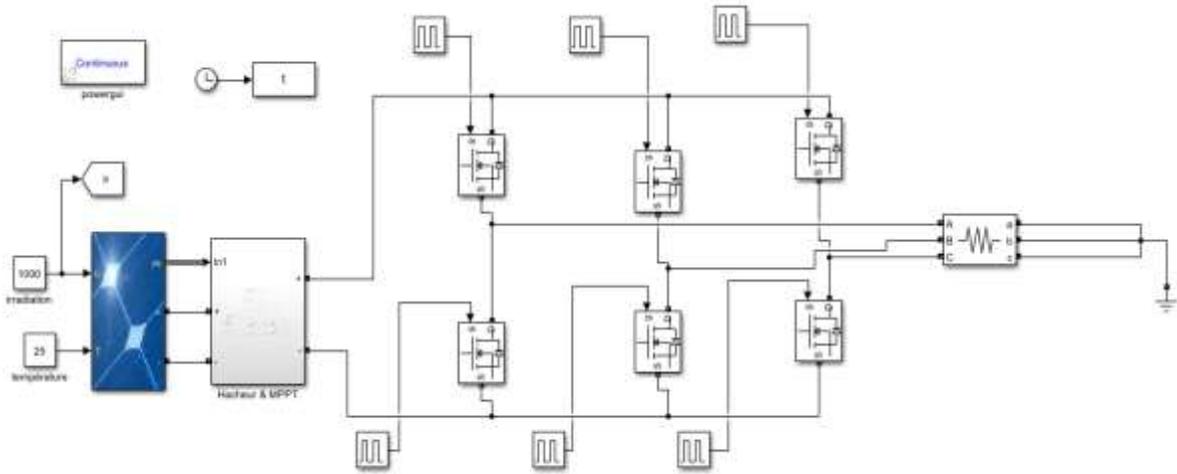


Figure III.11 : Couplage de l'onduleur avec système PV (panneau PV et hacheur)

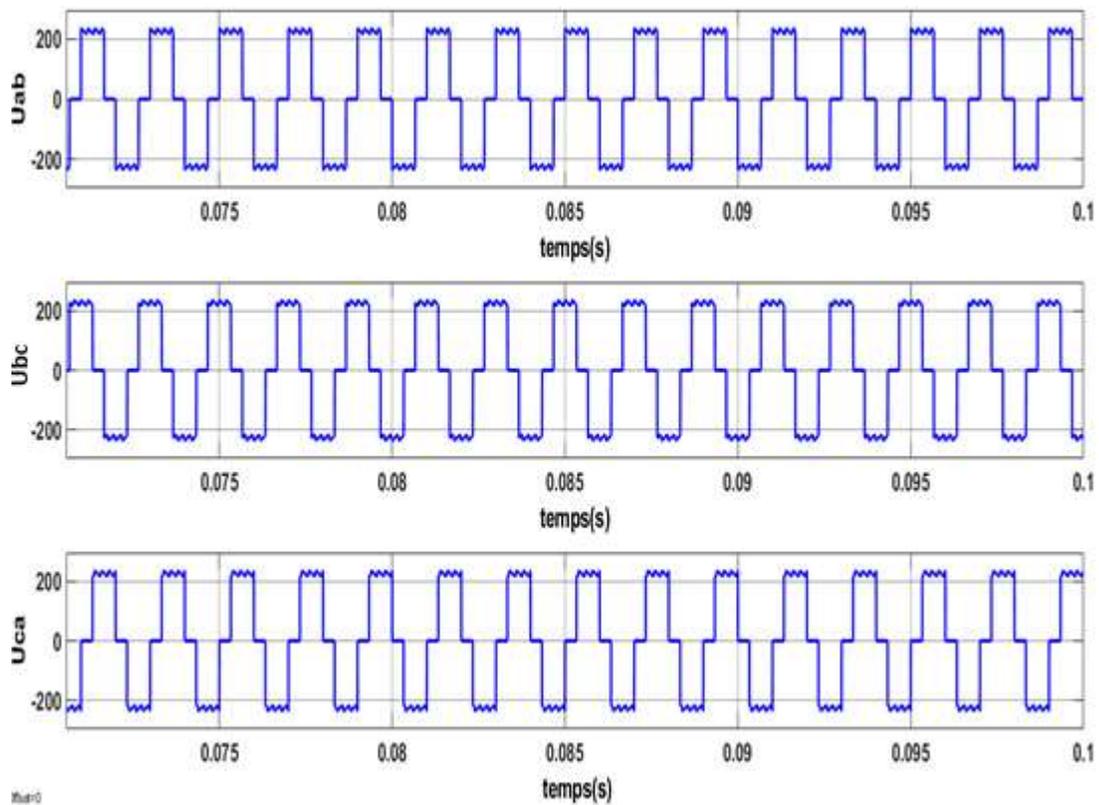


Figure III.12 : Tension composés à la sortie de l'onduleur

III.3 Commandes MPPT et PWM

III.3.1 La commande MPPT

L'énergie électrique produite par les panneaux photovoltaïques est non linéaire à cause de la variation de l'éclairement et la température. Pour cela, le point de fonctionnement pourrait ne pas coïncider avec le point maximum de la charge. Par conséquent, la poursuite du point maximum de la puissance (MPPT) devient une opération indispensable afin d'avoir une meilleure exploitation des systèmes photovoltaïque [31].

III.3.2 Rôle de la commande de poursuite MPPT

En réalité la commande MPPT est un étage d'adaptation d'impédance entre le générateur photovoltaïque GPV et la charge dans le but d'avoir un rendement de conversion plus élevé. Cette technique est basée sur la variation automatique du rapport cyclique α commandant l'hacheur afin de trouver le point d'adaptation optimal entre le générateur PV et la charge de manière à transférer le maximum de puissance du générateur [32].

III.3.3 Algorithme de la commande MPPT

Dans la littérature, plusieurs algorithmes de poursuite du point de puissance maximale ont été développés. Les trois algorithmes les plus utilisés sont l'algorithme "Perturb and Observe" (P&O), l'algorithme de l'Incrément de conductance (IncCond) et l'algorithme Logique floue. Dans cette étude on va employer l'algorithme (P&O).

III.3.3.1 L'algorithme (P&O)

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à [30] :

- ✓ Perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale.
- ✓ Analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte.

L'objectif d'utiliser cet algorithme (voir figure III.13) est d'arriver à exploiter le système à sa puissance maximale par l'incrémentation ou décrémentation de la tension du point de fonctionnement et l'observation de l'effet de cette perturbation sur la puissance débitée par le GPV [33].

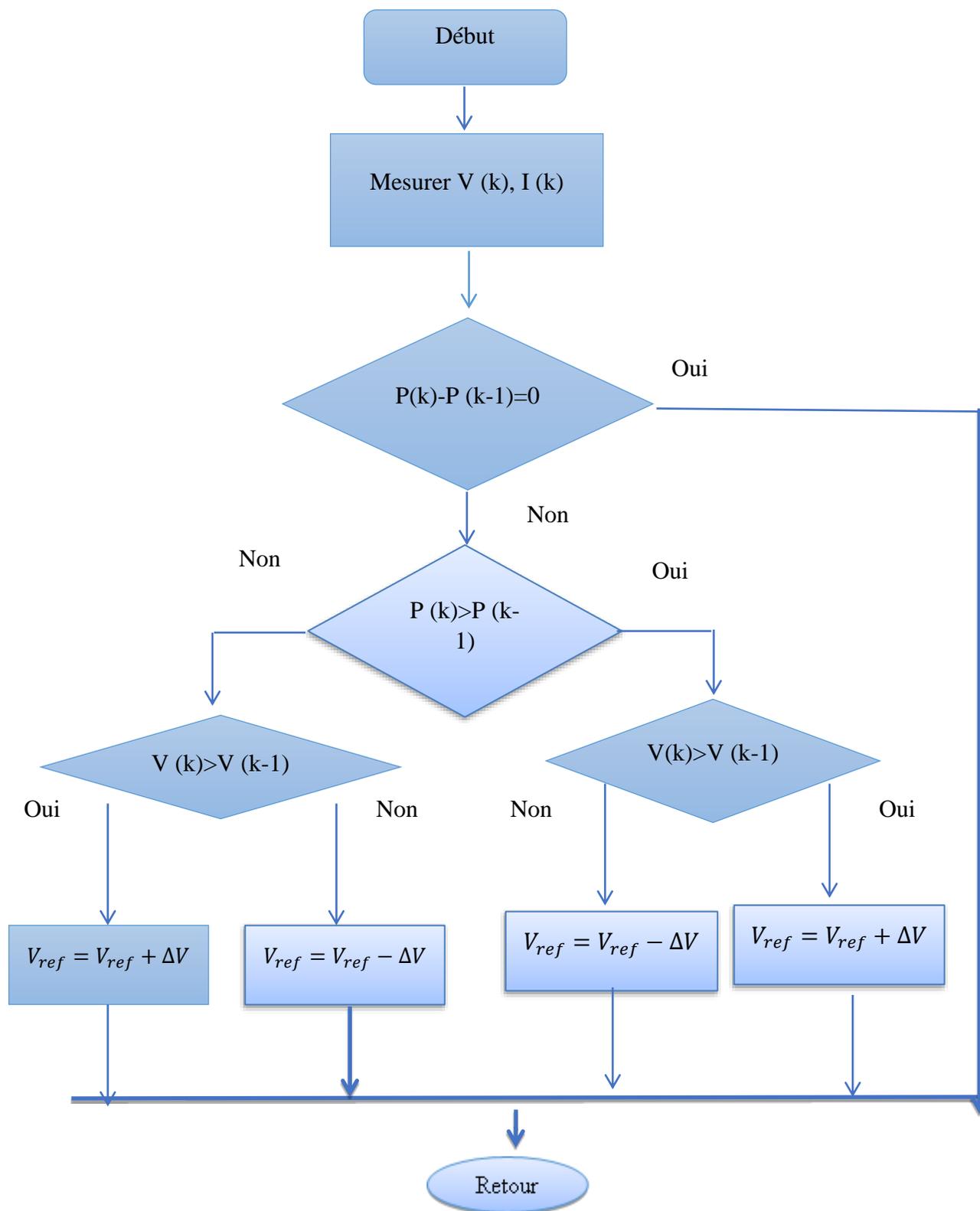


Figure III.13 : Organigramme P&O

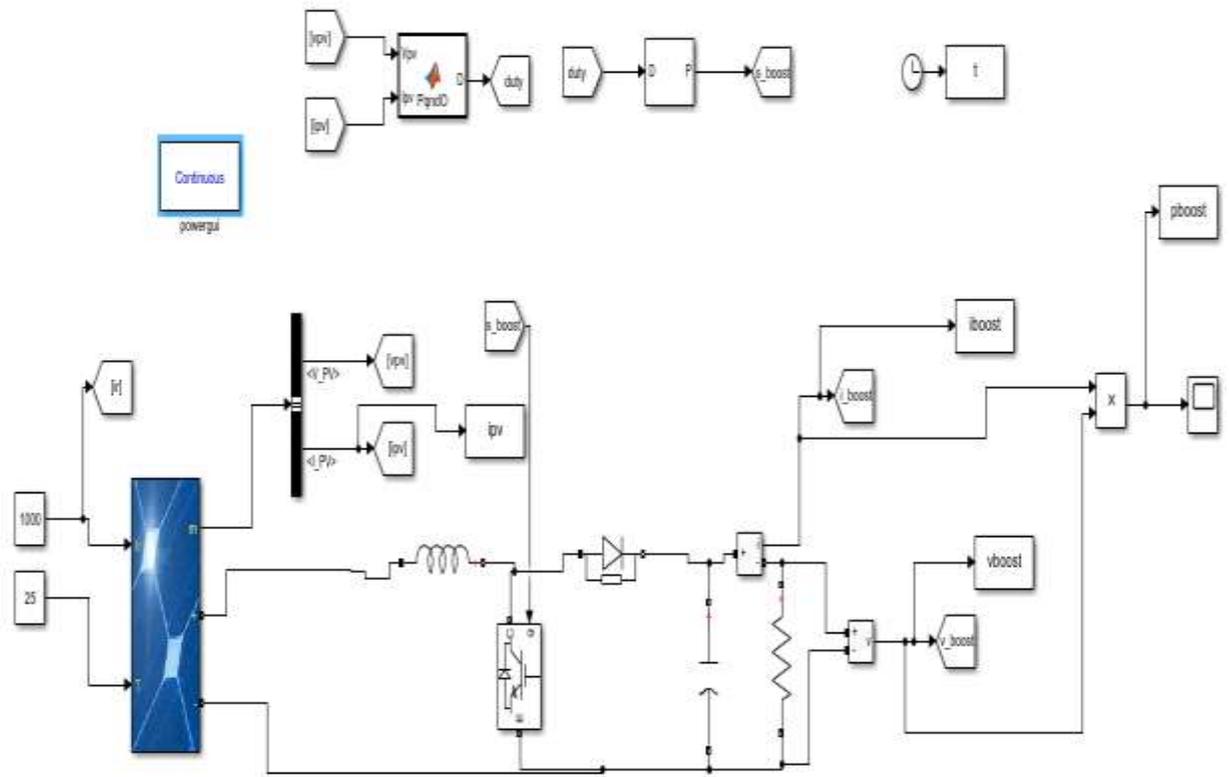


Figure III.14 : Schéma de simulation d'un hacheur Boost commandé par MPPT.

Le rapport cyclique α s'obtient automatiquement dont la tension de sortie est illustrée sur la figure III.15. La commande MPPT a permis de choisir le rapport cyclique permettant d'avoir la tension désirée 380 V.

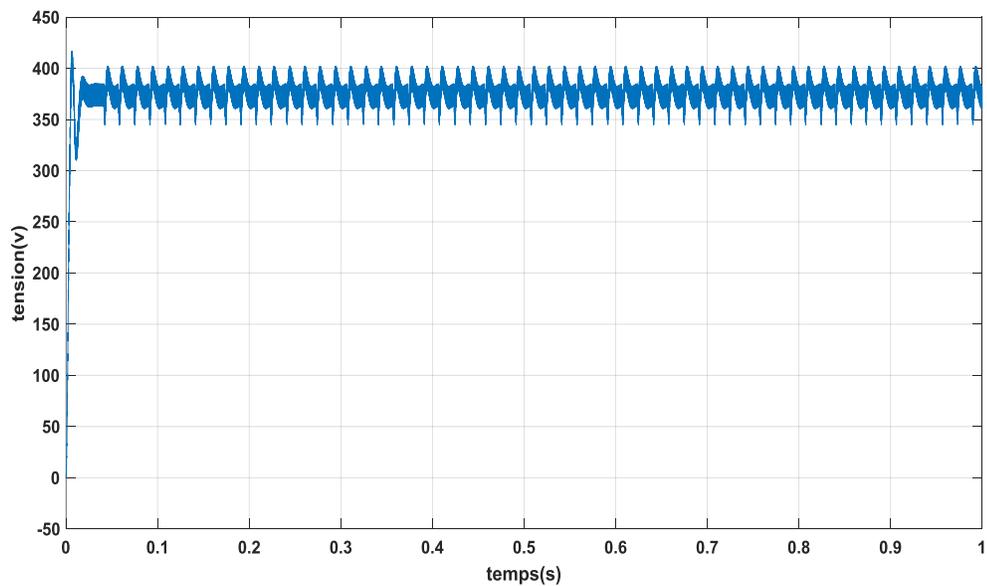


Figure III.15 : Tension de sortie de l'hacheur avec la commande MPPT

III.4 La commande MLI (DC/AC)

La technique de modulation en largeur d'impulsion MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion ou PWM : Pulse Width Modulation) est l'essor et le fruit du développement de l'électronique de puissance à la fin du siècle dernier pour commander les convertisseurs. Pour les onduleurs DC/AC cette technique est utilisée pour contrôler la de tension de sortie de l'onduleur afin d'avoir une réponse rapide et filtré en minimisant les harmoniques appliquées ainsi que le contrôle de la vitesse machines à courant alternatif [34], [35].

La technique la plus utilisée pour générer un signal MLI commandant un onduleur DC/AC est la technique MLI sinusoïdale. Elle consiste de comparer un signal triangulaire appelé porteuse de haute fréquence à un signal de référence appelé modulatrice et qui constitue l'énergie du signal recueil à la sortie de l'onduleur.

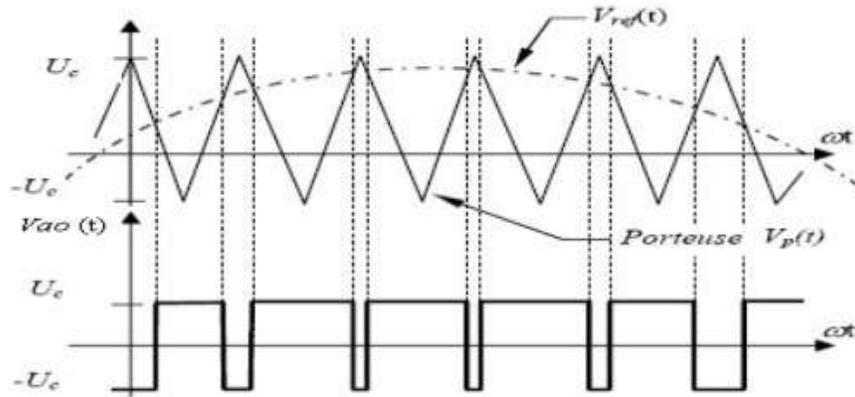


Figure III.16:MLI sinus triangle.

Pour réaliser cette commande nous avons fait appel au Simulink (voir figure III.17).

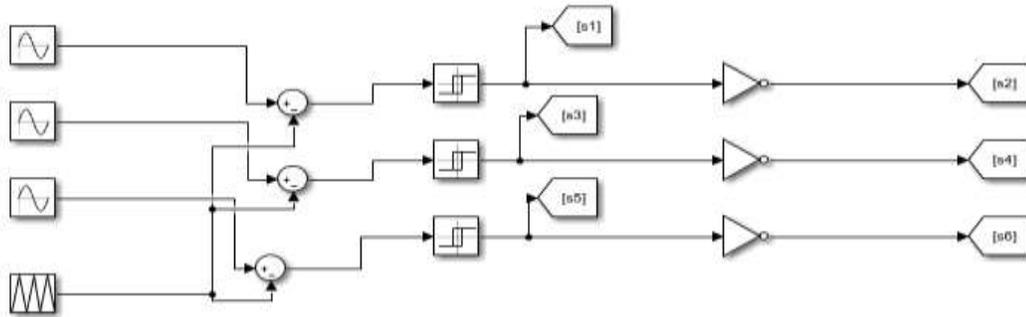


Figure III.17 : Schéma bloc de technique MLI

Le signal obtenu est visualisé sur la figure III.18

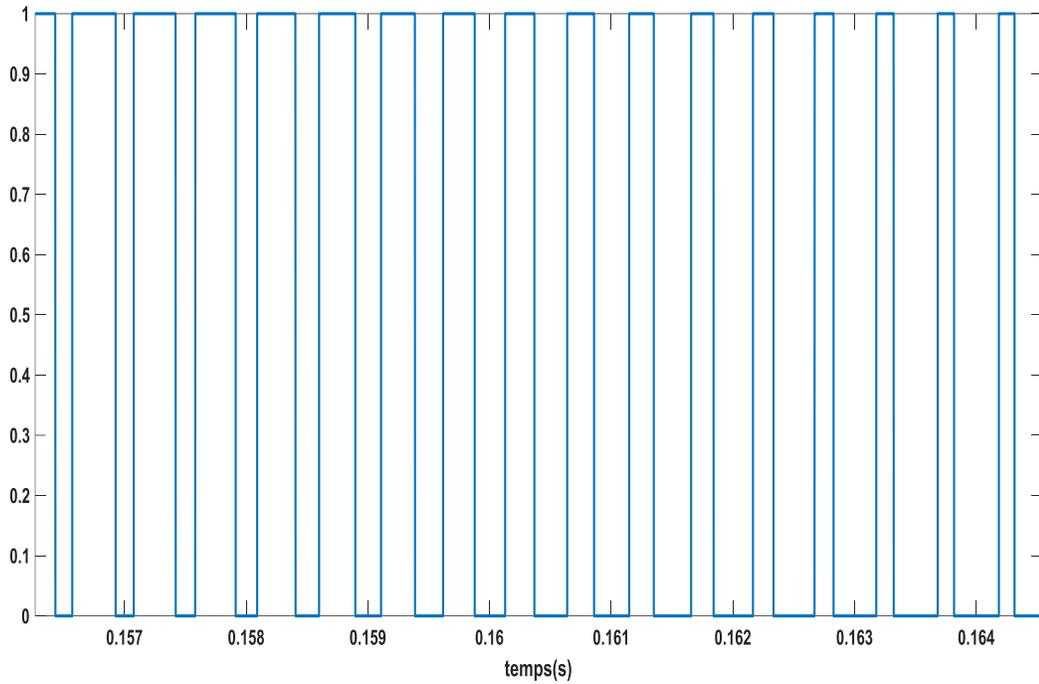


Figure III.18 : Signal de commande MLI pour l'onduleur

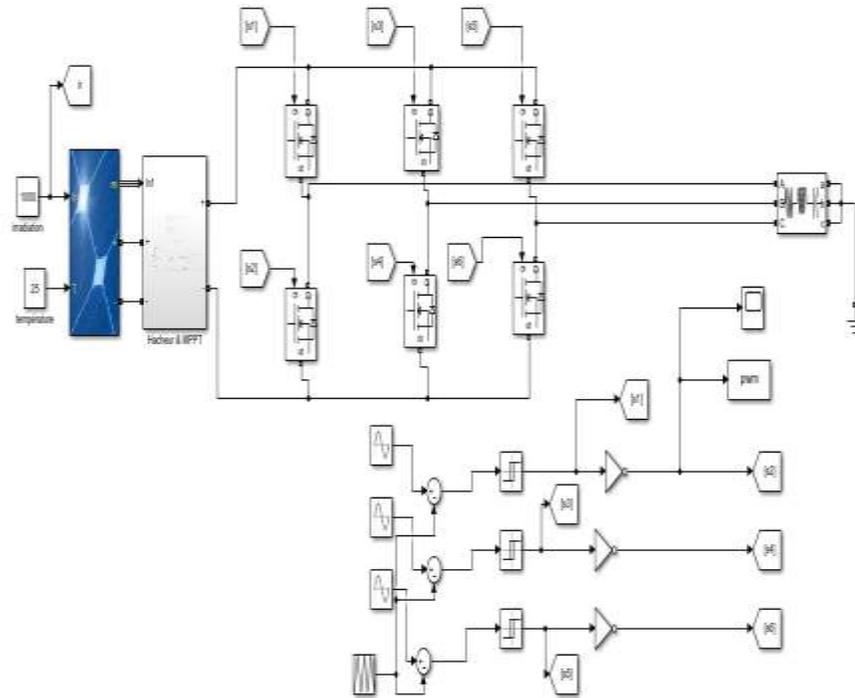


Figure III.19 : Schéma de simulation du l'onduleur triphasé avec la commande MLI

➤ Après la simulation on obtient les résultats suivants

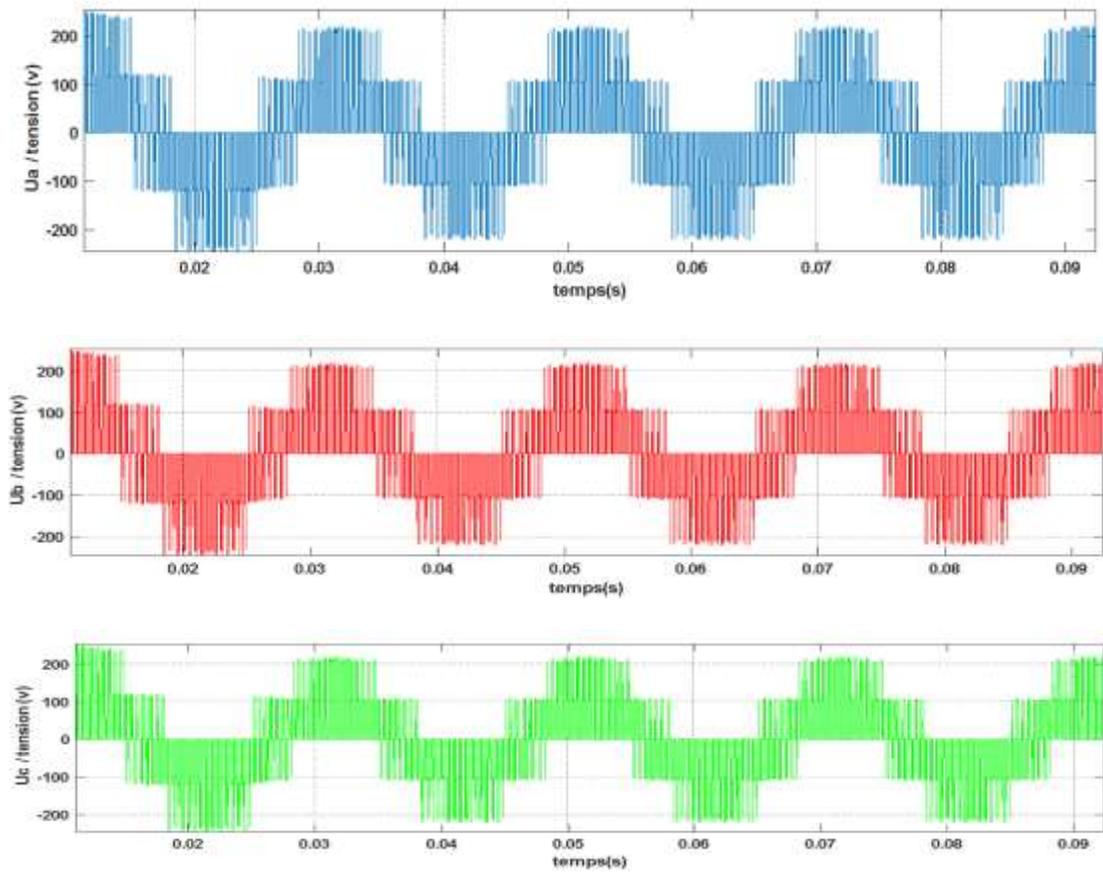


Figure III.20 : Tensions de sortie de l'onduleur : U_a , U_b , U_c .

L'utilisation d'un filtre passif L, C sur les tensions de sorties de l'onduleur nous a permis d'obtenir les signaux présentés dans la figure III.20.

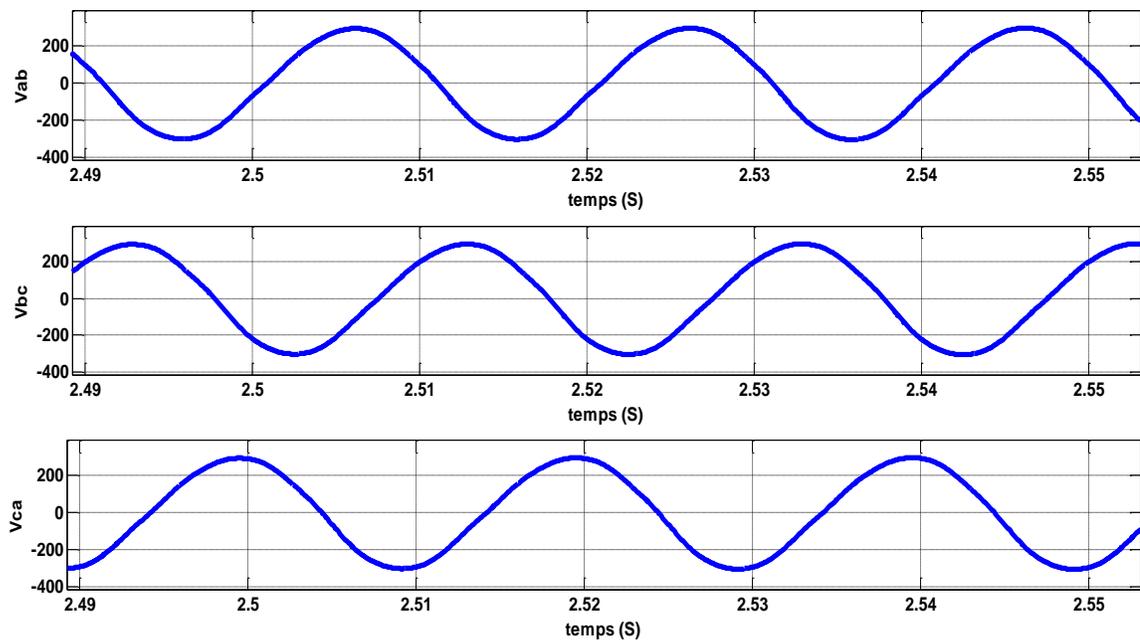


Figure III.21 : Tensions de sortie de l'onduleur : U_a , U_b , U_c obtenues après filtrage

III.5 Implémentation du système complet

La figure (III.22) représente le système de pompage photovoltaïque étudié dans ce projet de fin d'étude, il s'agit de mettre en connexion un GPV, un hacheur commandé par MPPT, un onduleur commandé par MLI (ou PWM) et un moteur asynchrone triphasé qui sera associé avec la pompe immergée.

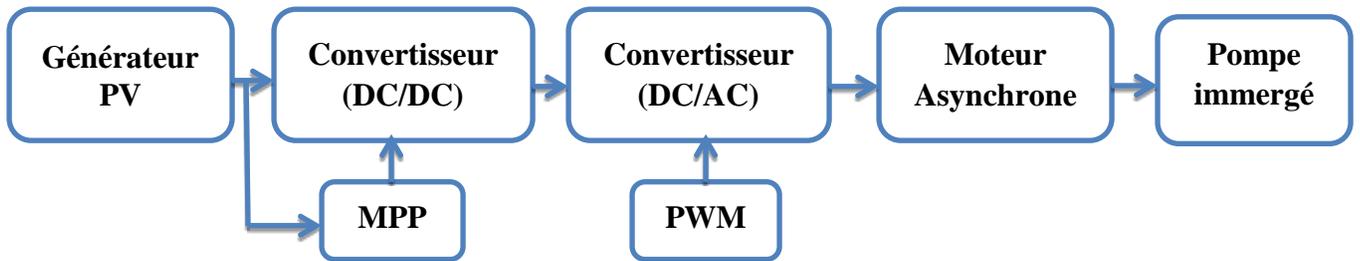


Figure III.22 : Schéma synoptique du système de pompage photovoltaïque

III.5.1 Résultat de simulation du démarrage à vide

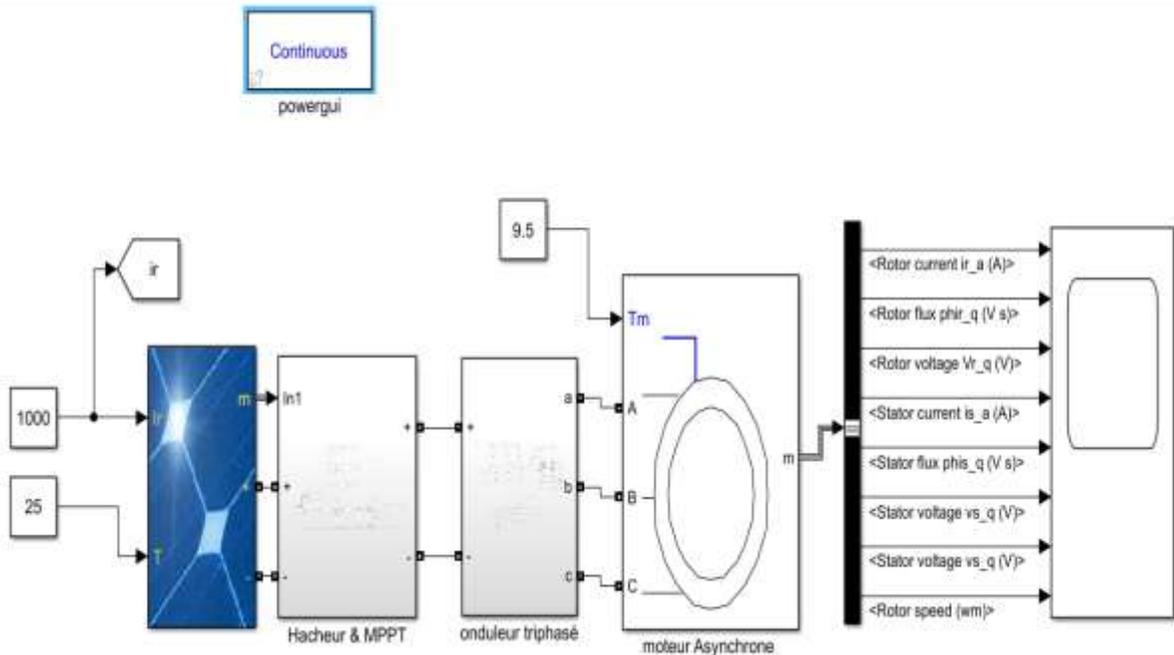


Figure III.23 : Couplage du moteur asynchrone avec système PV

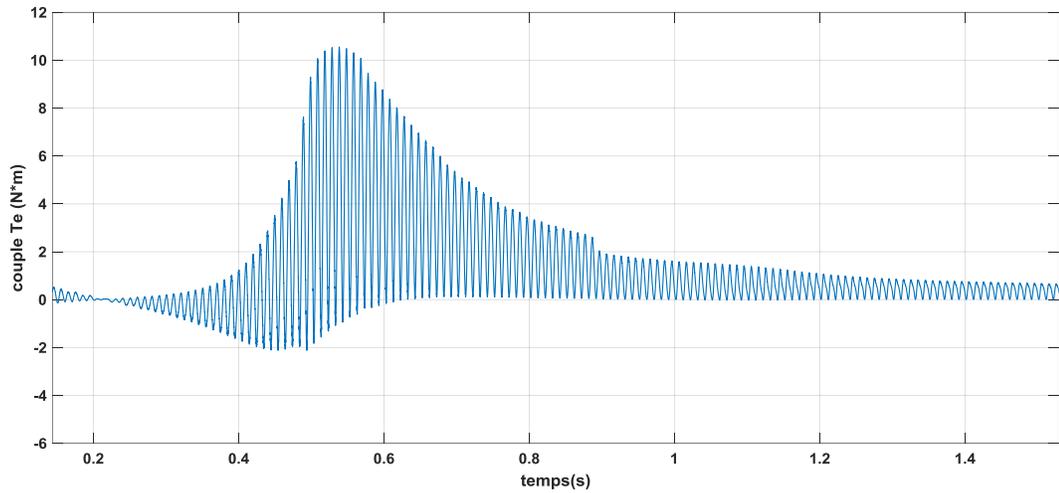


Figure III.24 : Couple électromagnétique T_e

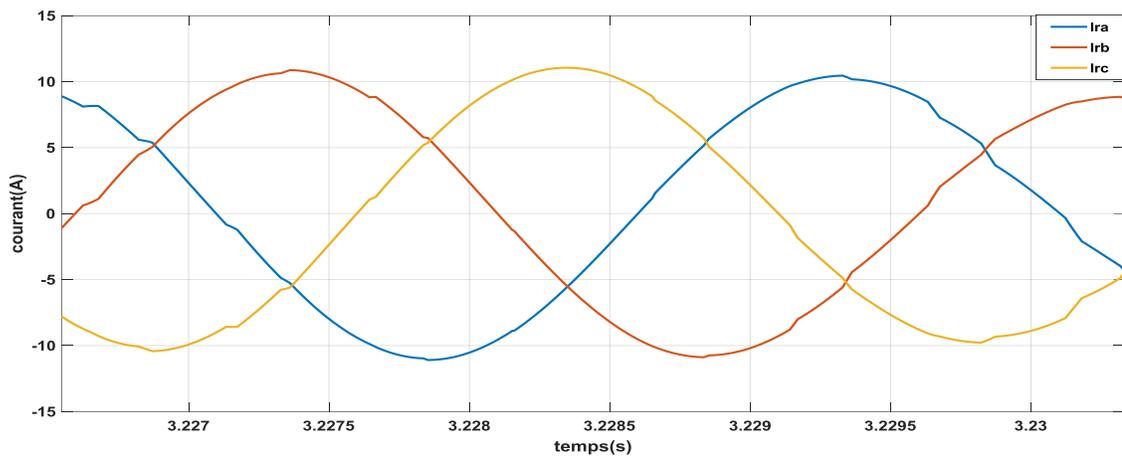


Figure III.25 : Courant de sortie du rotor trois phases

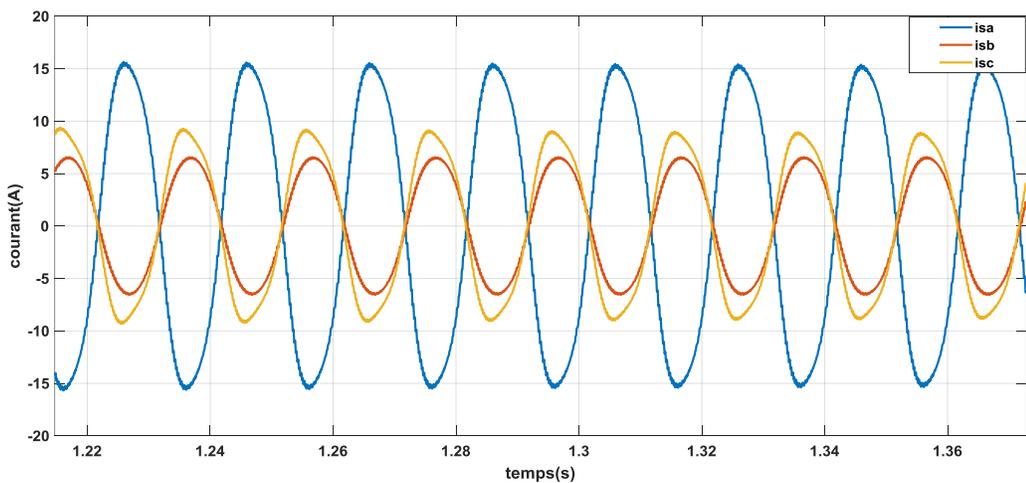


Figure III.26 : Courant de sortie du stator trois phases

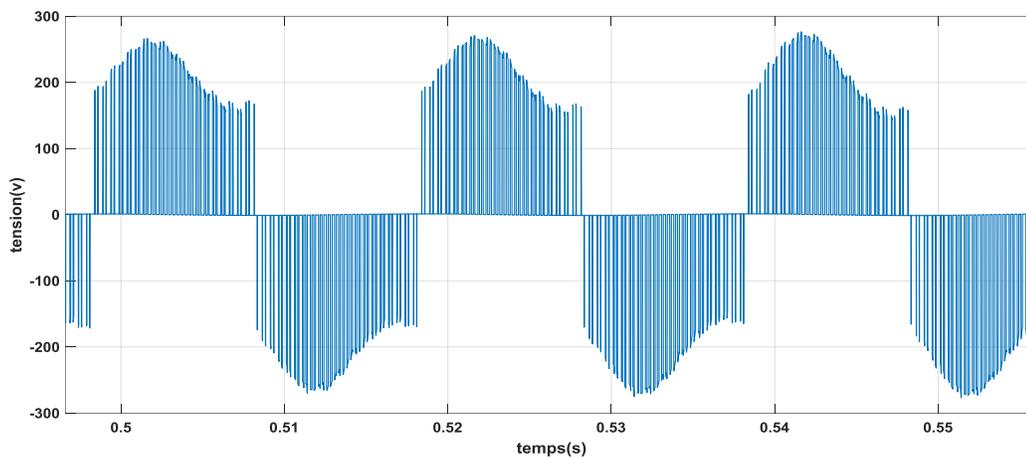


Figure III.27 :Tension de stator (V_{qs}).

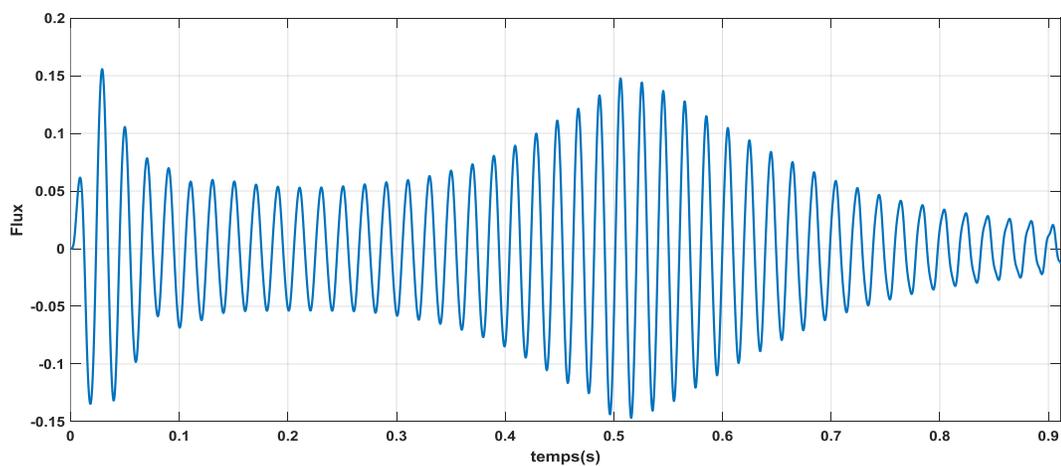


Figure III.28 : Flux(R_q) en fonction de temps

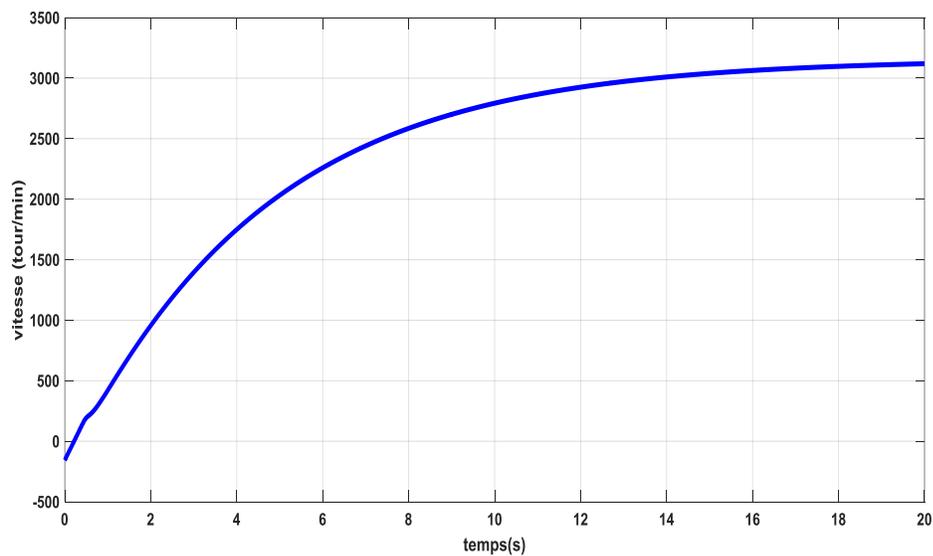


Figure III.29 : Vitesse de rotation

III.5.2 Résultat de simulation d'un démarrage à charge

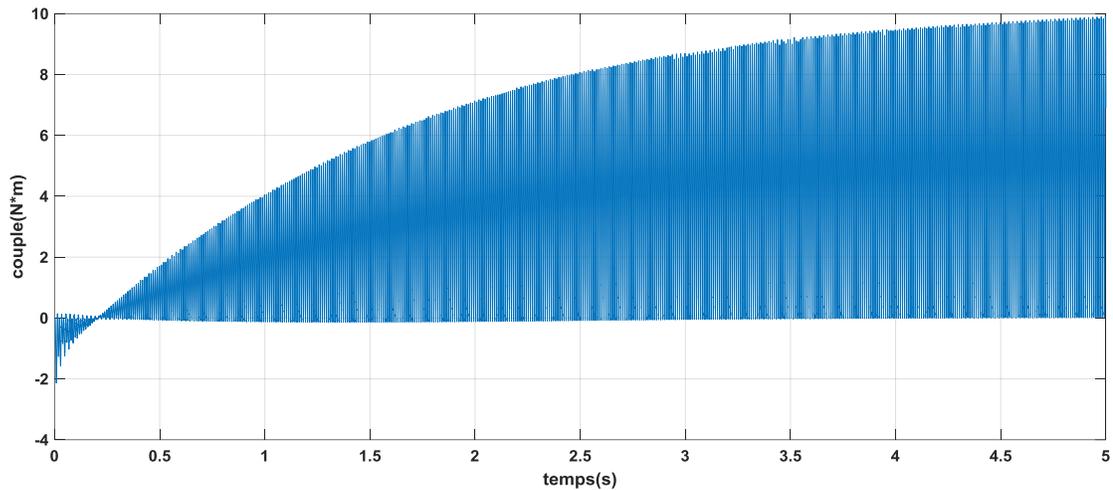
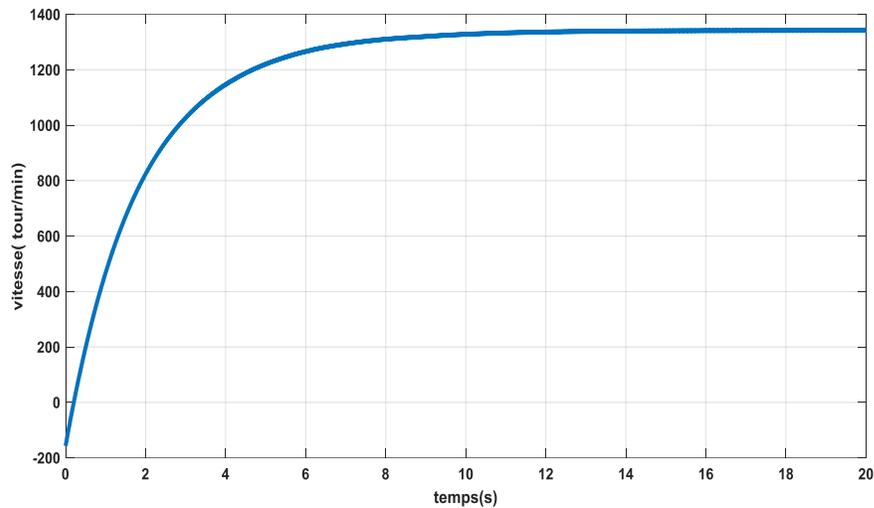
Figure III.30 : Couple électromagnétique T_e 

Figure III.31 : Vitesse de rotation

Les résultats de simulation du système complet montrent clairement que le flux, le couple moteur ainsi que la vitesse du moteur sont caractérisés par un régime transitoire que ce soit pour le moteur à vide ou dans le cas d'un moteur chargé. Par ailleurs, nous avons constaté que l'application de la charge a conduit à une diminution de la vitesse (voir figure III.31) et une augmentation du couple moteur afin de compenser le couple résistant dû à la charge (voir figure III.30).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les différents dispositifs du système de pompage PV. Nous avons montré que la configuration du panneau en modules repose sur le besoin en puissance de l'électropompe. Puis, nous avons effectué une étude sur les convertisseurs dont l'hacheur Boost et l'onduleur DC/AC ont été employés. Ensuite, nous avons montré que l'introduction de la commande MPPT a permis d'adapter l'impédance entre le GPV et le moteur. D'autre part, nous avons mis en évidence l'importance de la commande MLI lorsqu'on utilise les onduleurs DC/AC. Enfin, nous avons mis en service le système complet avec un moteur à vide et chargé.

Conclusion
Générale

Conclusion générale

Notre travail s'est porté sur l'étude et la simulation d'un système de pompage photovoltaïque. Ce système permet d'alimenter en eau les régions isolées.

Notre étude s'est focalisée sur l'étude du système de pompage photovoltaïque.

En effet, dans le premier chapitre nous avons présenté les différents dispositifs d'un système de pompage photovoltaïque. Nous avons montré le principe de fonctionnement de la cellule solaire ainsi que les différentes configurations que peut prendre un panneau PV pour produire l'énergie électrique. Nous avons également présenté les différents convertisseurs qui peuvent être employés pour assurer un pompage que ce soit à partir d'un moteur AC ou un moteur à courant continu.

Le deuxième chapitre a été consacré pour étudier les éléments d'un GPV. Nous avons montré que la cellule solaire est considérée comme un générateur de courant. Nous avons montré également que la puissance requise pour n'importe quel système et préalablement demandée peut être déterminée par les mises en série/parallèle des modules PV qui sont eux-mêmes constitués à partir d'une configuration série et/ou parallèle des cellules solaires dont l'augmentation de la tension est effectuée par une connexion série tandis que la connexion parallèle permet du courant. Nous avons trouvé également que les caractéristiques du GPV sont affectées par les conditions externes, à savoir la température dont l'augmentation de ce paramètre provoque une régression des performances des GPV. Cependant, l'éclairement mène à une amélioration de ses performances.

Le troisième chapitre a été dédié pour l'implémentation du système complet. Premièrement nous avons commencé par la détermination du besoin en puissance de la pompe. En se basant sur cette donnée nous avons réalisé une configuration de module afin de satisfaire l'appel en puissance de la charge. Puis, nous avons présenté les convertisseurs utilisés dans ce système, à savoir l'hacheur survolteur DC-DC qui nous a permis d'élever la tension de sortie et l'onduleur permettant d'assurer un régime alternatif pour le fonctionnement du MAS. Nous avons montré également que l'introduction de la commande MPPT en utilisant l'algorithme P&O a permis de choisir le rapport cyclique α de façon automatique dans le but de réaliser une adaptation d'impédance entre le GPV et la charge tout en assurant un transfert d'énergie maximal à la charge. La commande MLI a été également utilisée, elle permet de minimiser les harmoniques ainsi de contrôler la vitesse du MAS, et la connaissance du comportement de ces derniers en fonction de l'éclairement et de la température et leurs effets sur les caractéristiques

Conclusion générale

électriques, et par conséquent sur leur rendement. Et pour l'optimisation du système photovoltaïque on a utilisé la méthode MPPT « Perturbations et Observation ». Les résultats présentés dans le mémoire montrent que l'utilisation de cette commande permet d'améliorer le rendement de système photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque fournit une tension continue à ces bornes pour la convertir en tension alternatif on place un onduleur pour l'alimentation du moteur asynchrone triphasé qui est considéré comme une solution intéressante pour la réalisation d'un système de pompage photovoltaïque dont l'onduleur est commandé à l'aide de la commande MLI pour obtenir une meilleure performance du moteur.

On prévoit d'introduire un système suiveur permettant une poursuite continue de la position du soleil dans un but d'avoir une énergie maximale.

Référence Bibliographiques

- [1] M. LOPEZ, 2009, Contribution à l'optimisation d'un système de conversion éolien pour une unité de production isolée, Thèse de Doctorat de l'Ecole Doctorale, Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes, France.
- [2] Paul Mathis.2014. Biomasse énergie, pollution atmosphérique et santé Pollution Atmosphérique - NUMÉRO SPÉCIAI
- [3] Fabienne Collard. Les énergies Renouvelables, 2015.72p.
- [4] Hellel EL Kadi.2019. Fiabilité des systèmes énergétiques multi-sources, thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 99p.
- [5] K. Bedoud, R. Lakel, M. Ali-rachedi, S. Lekhchine, T.Bahi.2013. Modélisation d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne Basée sur une machine asynchrone à double alimentation, 21ème Congrès Français de Mécanique, Bordeaux p.1-6
- [6] Naim Houcine.2016. Etude de gestion d'une mini-centrale solaire et mise au point d'un dispositif automatique de mesures, contrôles et régulation de l'énergie électrique, thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf-Oran, 135p
- [7] Armand Colin. La muséologie,2021.384p.
- [8] Debili Narimene.2015. Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink D'un Système de pompage Photovoltaïque, thèse de doctorat, Université Constantine. 85p
- [9] Zebiri Fouad. Etude et implantation d'une commande non conventionnelle pour un système de pompage photovoltaïque, thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas–Setif
- [10] Bouchakour Abdelhak.2018. Modélisation et Simulation d'un Système de Pompage Photovoltaïque, thèse de doctorat, Université Djillali Liabes DE SIDI-Bel-Abbes, 123p.
- [11] Faten Belarbi. 2021. Etude des performances d'une cellule solaire à base d'un matériau ternaire CuXS2. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas- Sétif, 114p.

Référence Bibliographiques

- [12] Ali Ghelam.2020. Non-Linear Real Time Control of a Photovoltaic Conversion System, thèse de doctorat, Université Ziane Achour- Djelfa, 140p.
- [13] KACHA Kalinka. 2018. contribution a l'amélioration du rendement de cellule solaire a hetero structures, Thèse de doctorat, Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, 124p
- [14] KHENFER RIAD. 2015. Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas - SETIF 1, 100p
- [15] Belaout Abdesslam.2014. Etude et diagnostic des défauts fréquents Aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant- tension, Mémoire de magister, Université – Setif-1
- [16] Hajar Doubabi. 2021.Contribution à l'amélioration de l'efficacité d'une chaine de conversion photovoltaïque, thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 156p
- [17] Bencherif Mohammed. 2012. Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension, Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, 209p.
- [18] Charles Roger. 2013. Développement de cellules photovoltaïques à base de CIGS sur substrats métalliques, Thèse de doctorat, Université de Grenoble,140p.
- [19] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi .2005. Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62,
- [20] Mohamed Lakhdar Louazene.2015. Contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'irrigation dans les zones sahariennes – Application zone de Ouargla, thèse de doctorat, Université el Hadj Lakhdar – Batna.119p.
- [21] Seif Eddine Naffouti. 2012. Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque, mémoire de projet de fin d'études, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monasti- Tunisie, 97p
- [22] Salim Abouda.2015. Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques application aux systèmes de pompage, thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 117p.

Référence Bibliographiques

- [23] A. Labouret, M. Viloz : « Energie solaire photovoltaïque ». 3ème Edition dunod, 2007
- [24] Bouzeria Hamza.2016. Modélisation et commande d'une chaine de conversion photovoltaïque, thèse de doctorat. Université Hadj Lakhdar-Batna, 153p.
- [25] Mohand Mokhtar. Nadia Martaj. Electronique Appliquée Electromécanique sous Simscape & SimPower Systems (Matlab/Simulink)
- [26] Belaout Abdesslam. 2014. Etude et diagnostic des défauts fréquents aux système photovoltaïque par emploi de la caractéristique courant-tension, mémoire de magister, Université Sétif ,127p.
- [27] Bounechba Hadjer. 2017. Contribution à l'étude d'un système de pompage photovoltaïque, Thèse de doctorat, Université Frère Mantouri-constantine, 172p.
- [28] http://www.solarhub.com/solarhub_products/5623-1STH-215-P-1Soltech (24 /06/2022)
- [29] Agbokpanzo Richard Gilles. 2014. Optimisation multicritère Del 'entraînement d'un groupe de pompage photovoltaïque, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi,146p.
- [30] Terki Amel. Contrôle Flou -Génétique Hybride d'un Moteur BLDC dans un Système de Pompage photovoltaïque, Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra. 113p.
- [31] M.S. Aït Cheikh, C. Larbes, G.F. TchoketchKebir and A. Zerguerras.2007. Maximum power point tracking using a fuzzy logic control schème, Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque Département d'Electronique, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie.
- [32] Belkaid Abdelhakim. Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome, thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – SETIF, 106p.
- [33] Nedjma Aouchiche. 2020.Conception d'une commande MPPT optimale à base D'intelligence artificielle d'un système photovoltaïque. Thèse de doctorat, Université Bourgogne Franche-COMTE.96p

Référence Bibliographiques

[34] M. T. Boukadoum, A. Hamidat et N. Ourabia. 2002. Le Pompage Photovoltaïque, Centre De Développement des Energies Renouvelables, B.P.62, Route De l'Observatoire Bouzaréah 16340, Alger, Rev. Energ. Ren. Zones Arides (2002) 69-73

[35] B. L. Dokic and B. Branki, Power Electronics Converters and Regulators, 3rd Edition. Springer, 2015

Résumé

Du jour au lendemain, l'utilisation des systèmes photovoltaïques deviennent indispensable devant la demande croissante d'énergie électrique notamment pour les régions isolées.

Dans cette optique, le travail réalisé dans ce mémoire est consacré à l'étude par simulation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil. Le système proposé est constitué d'un ensemble d'éléments, à savoir le générateur PV, les convertisseurs DC/DC et DC/AC, une pompe immergée entraînée à travers un moteur asynchrone. L'adaptation entre le générateur PV et le group motopompe a été effectuée à l'aide de l'algorithme de recherche du point de puissance maximale MPPT-P&O, et la commande MLI sinusoïdale a été employée pour piloter l'onduleur. Les éléments du GPV ont été également étudiés

Abstract

From one day to the next, the use of photovoltaic systems has become essential in the front of the growing demand for electrical energy, particularly for isolated regions.

In this context, the work carried out in this dissertation is devoted to the study by simulation of a photovoltaic pumping system over the sun. The proposed system consists of a set of elements, which are the PV generator, the DC / DC and DC / AC converters, a submerged pump driven through an asynchronous motor. The adaptation between the PV generator and the motor pump unit was carried out using the maximum power point search algorithm MPPT-P&O, and the sinusoidal PWM control was used to drive the inverter. The elements of the GPV were also studied.

ملخص

بين عشية وضحاها، أصبح استخدام الأنظمة الكهروضوئية أمراً ضرورياً لمواجهة الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، لا سيما في المناطق المعزولة.

في هذا السياق، لقد خصصنا بحثنا هذا للدراسة عن طريق محاكاة نظام الضخ الكهروضوئي فوق الشمس. يتكون النظام المقترح من مجموعة من العناصر، وهي المولد الكهروضوئي، ومحولات DC / DC و DC / AC، ومضخة مغمورة يتم تشغيلها من خلال محرك غير متزامن. تم إجراء التكيف بين المولد الكهروضوئي ووحدة مضخة المحرك باستخدام خوارزمية البحث عن نقطة الطاقة القصوى MPPT-P & O، وتم استخدام التحكم الجيبي PWM لقيادة العاكس. كما تمت دراسة عناصر الـgpv