

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté par

AMANI Aissa

ARAB Karim

Thème

ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

Mémoire soutenu publiquement le 26/09/ 2018 devant le jury composé de :

M BOUGEDAD Djaffar
MCA, UMMTO, **President**

M DENOUN Hakim
MCA, UMMTO, **Encadreur**

M BENYAHIA NABIL
MCA, UMMTO, **Co-Encadreur**

M FEKIK Arezki
Dr, UMMTO, **Examineur**

REMERCIEMENTS

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur **DENOUN Hakim**, pour son appréciable aide, sa grande disponibilité, et ses précieux conseils.*

*Nous remercions vivement notre Co-promoteur Monsieur **BENYAHIA Nabil**, pour ses conseils et pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Nous remercions vivement Monsieur **BOUGEDAD Djaffar**, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'être président du jury.*

*Nos vifs remerciements vont également à Monsieur **FEKIK Arezki**, pour avoir accepté de juger ce travail.*

Enfin, nous tenons à remercier tous les enseignants du département d'électrotechnique qui tout le long de notre cursus, nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux
étoiles qui éclairent ma
vie, ma source de tendresse*

« mes chers Père et Mère »

*Ces deux êtres qui ont su
m'éduquer, qui étaient toujours
derrière moi et qui m'ont poussé
à aller de l'avant. À toute la
famille À Mes frères amine et
Rayan , À ma cousine.*

À ma fiancée.

À tous mes amis.

ARAB KARIM

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux
étoiles qui éclairent ma
vie, ma source de tendresse*

« mes chers Père et Mère »

*Ces deux êtres qui ont su
m'éduquer, qui étaient toujours
derrière moi et qui m'ont poussé
à aller de l'avant. À toute la
famille À Mes sœurs.*

À tous mes amis.

AMANI AISSA

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure (I -1) : Structure d'une cellule solaire.....	04
Figure (I -2) : types de cellule photovoltaïque	05
Figure (I -3 : autres types de cellules.....	06
Figure (I -4) : Schéma équivalent de cellule PV.....	06
Figure (I -5) : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série.et la Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en série.....	07
Figure (I -6) : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle Et la Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en parallèle	07
Figure (I -7) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V.....	08
Figure (I -8) : Effet de la température sur la caractéristique P-V.....	09
Figure (I -9) : Module photovoltaïque.....	09
Figure (I -10) : générateur photovoltaïque.....	09
Figure (I -11) : Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque.....	10
Figure (I -12) : Types des systèmes connectés au réseau.....	11
Figure (I -13) : Pompage photovoltaïque au fil du soleil.....	12
Figure (I -14) : pompage photovoltaïque avec batterie.....	12
Figure (I -15) : Onduleur photovoltaïque.....	13
Figure (I -16) : Régulateurs photovoltaïque	14
Figure (I -17) : Classification des pompes.....	15
Figure (I -18) : Batteries photovoltaïque.....	15
Figure (I -19) : Schémas d'une pompe centrifuge	16
Figure (I -20) : Schémas d'une pompe volumétrique.....	18

CHAPITRE II

Figure (II-1) : Hauteur manométrique total	26
Figure(II-2) : site web pvgis.....	29
Figure (II-3) : Pompe immergée PANELLI.....	31
Figure (II-4) : Les étapes du calcul de la taille du générateur.....	34

CHAPITRE III

Figure (III.1) : Cellule solaire idéale.....	36
Figure (III.2) : cellule solaire réel	37
Figure (III.3) Schéma bloc de GPV.....	38
Figure (III.4) Schéma de principe d'un convertisseur Boost.....	39
Figure (III.5) : Schémas équivalents du hacheur survolteur (a) : K fermé ;(b) : ouvert.....	39
Figure (III.6) Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT.....	41
Figure (III-7) : Recherche et recouvrement du point de puissance maximale (a) suite à une variation d'éclairement, (b) suite à une variation de charge, (c) suite à une variation de température.....	42
Figure (III.8) : Schéma équivalent de l'onduleur.....	45
Figure (III.9) : Tension simple et composé à la sortie de l'onduleur.....	46
Figure (III.10) : Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	48
Figure (III.11) : Schéma bloc du GPV sous Simulink	50
Figure (III.12) : Système permettant d'obtenir les caractéristiques I/V et P/V du GPV	51
Figure (III.13) : caractéristique (Courant –Tension).....	52
Figure (III.14) : caractéristique (puissance –Tension)	52
Figure(III.15) : caractéristique (Courant –Tension).....	53
Figure(III.16) : caractéristique (Puissance –Tension).....	54
Figure(III.17) : Convertisseur élévateur sous Matlab/Simulink.....	54
Figure(III.18) : Courbes de tension, courant d'entrée/sortie du convertisseur abaisseur.....	55

LISTE DES FIGURES

Figure(III.19) : Modèle Simulink pour la simulation d'un GPV et un hacheur commandé en MPPT	56
Figure(III.20) : Courant de sortie du panneau PV.....	57
Figure(III.21) : Courant de sortie du hacheur boost.....	57
Figure(III.22) : Tension de sortie de panneau PV.....	58
Figure(III.23) : Tension de sortie de hacheur boost.....	58
Figure(III.24) : Puissance de sortie du panneau PV.....	59
Figure(III.25) : Puissance à la sortie de hacheur.....	59

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : Rendement des différents types des cellules.....	05
Tableau (I-2) : Comparaison entre les contrôleurs PWM et MPPT.....	14
Tableau(II-1) : irradiations mensuelles.....	29
Tableau (II-2) : Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI.....	30
Tableau (II-3) : Caractéristiques électriques de l'onduleur.....	31
Tableau (II-4) : Caractéristique électrique du module.....	34
Tableau (II-5) : Résultat du calcul.....	34
Tableau (II-6) : Résultat du calcul après correction	35
Tableau (III.1) : Cahier de charge du panneau solaire utilisé.....	51
Tableau (III-2) : Paramètres de la simulation du hacheur.....	55
Tableau (III-3) Paramètre de la simulation.....	57

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE SOLAIRE ET SES APPLICATIONS

Introduction.....	3
I.1-Historique de la photovoltaïque.....	3
I.2- Généralité sur les systèmes à énergie photovoltaïque.....	4
I.2.1-Energie solaire photovoltaïque.....	4
I.2.2-Cellule photovoltaïque.....	4
I.2.3- Type des cellules photovoltaïques	5
I.2.4 - Modèle d'une cellule solaire.....	6
I.2.5 - Association des cellules.....	7
I.2.6 - Influence du rayonnement sur les cellules.....	8
I.2.7 Influence de la température sur le rendement des cellules.....	8
I.2.8-module PV et générateur PV.....	9
I.2.9- Différentes configurations des systèmes PV.....	9
I.2.10 - Système PV raccordé au réseau.....	11
I.3-le pompage photovoltaïque	11
I.3.2-Méthodes de pompages	11
I.3.2.1- Pompage au fil du soleil	12
I.3.2.2-Pompage avec batteries	12
I.3.3-Composants d'un système de pompage PV.....	13
I.3.4-le groupe électropompe	16
I.3.5-Classification selon le moteur utilisé	18
I.3.5.1-Moteur à courant continu.....	19
I.3.5.2-Moteur à courant alternatif	19
I.3.6-Les Avantages et les inconvénients de pompage photovoltaïque.....	20
Conclusion.....	20

Introduction.....	21
II.1-Méthode simple de dimensionnement	21
II.2-Evaluation des besoins en eau.....	21
II.3-Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.....	21
II.4-Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	22
II.4.1-Détermination de l'énergie solaire disponible.....	22
II.4.2-Inclinaison du générateur photovoltaïque.....	22
II.4.3-Mois de dimensionnement.....	22
II.4.4-Estimation de la puissance.....	22
II.4.5-Evaluation de l'énergie moyenne journalière requise par la charge.....	22
II.4.6-Calcul du champ photovoltaïque.....	22
II.4.7-Calcul de la puissance crête du générateur.....	23
II.4.8-Calcul de la surface totale du générateur.....	23
II.4.9-Estimation du nombre de module en série.....	23
II.4.10-Estimation du nombre de branche en parallèle.....	23
II.5- Dimensionnement des batteries.....	23
II.6-Dimensionnement de la pompe centrifuge.....	24
II.7-Dimensionnement du moteur.....	24
II.8-Dimensionnement de la tuyauterie.....	24
II.9-Perte charge.....	25
II.10-Notions hydraulique.....	25
II.11- configuration de système de pompage.....	26
II.11.1- système de pompage adapté.....	27
II.11.2- les principaux avantages de ce système.....	27
II.12-Application pompage photovoltaïque au fil de soleil.....	27
II.12.1-Le choix de site.....	28
II.12.2-Irradiations mensuelles de la wilaya de Tizi Ouzou.....	29
II.12.3-Les besoin en eau.....	29
II.12.4-Calcul de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique nécessaire...	29
Conclusion.....	35

Introduction.....	36
III.1-Modélisation de la cellule photovoltaïque	36
III.2-Modélisation de convertisseur DC-DC (les hacheurs)	39
III.2.1-Modélisation de hacheur (Boost).....	39
III.3-La commande MPPT	40
III.3.1. Principe du MPPT	41
III-4-Le convertisseur continu-alternatif DC-AC.....	43
III-4-1 Structure de convertisseur.....	43
III-4-2 Différents types d'onduleurs	44
III-4-3 : Modèle de l'onduleur de tension.....	44
III.5-Modélisation de la pompe centrifuge.....	47
III.5.1 : Les pertes de charge.....	47
III.5.1.1 : Les pertes de charge linéaires.....	47
III.5.1.2 : Les pertes de charge singulières.....	48
III.5.2- Caractéristiques d'une pompe centrifuge.....	48
III-5-2-1 Caractéristique Débit -vitesse.....	48
III-5-2-2 : Caractéristiques couple - vitesse.....	49
III -5-2-3 Calcul de la puissance.....	49
III -5-2-4 Calcul du rendement	49
III.6-Modèle Simulation.....	50
Conclusion	62

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, En effet, les besoins énergétiques des pays industrialisés ne cessent d'augmenter, par ailleurs les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement [1].

L'énergie solaire en Algérie représente un potentiel significatif. En effet, le pays reçoit plus que 3000h de soleil par an avec un niveau d'ensoleillement élevé. La moyenne annuelle d'ensoleillement solaire quotidienne varie de 5 à 7 KWh/m². Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation de combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement. A partir de ce constat, il a été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie «verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles.

Aujourd'hui, l'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage de l'eau est une technologie naissante caractérisée par des coûts graduellement en baisse. Depuis les premières installations à la fin des années 70, les systèmes solaires de pompage de l'eau pour fournir des approvisionnements domestiques, bétail et irrigation en eau dans des régions éloignées, ont gagné énormément d'acceptation, fiabilité et performance et de nos jours ils appartiennent à la plupart des applications significatives d'énergie photovoltaïque. Ceci peut être principalement attribué au fait qu'il n'est pas économiquement faisable de relier de tels sites éloignés au réseau électrique [2].

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie aux groupes motopompes. En effet, la réalisation de systèmes de pompage

autonomes, fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau dans les régions désertiques.

Ce travail comporte trois chapitres ainsi qu'une introduction et une conclusion. Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art sur l'énergie solaire et ses applications dont on va expliquer le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques ainsi que les différents composants et configurations du système de pompage photovoltaïque. Ensuite, on va entamer le deuxième chapitre dont on expliquera le principe de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque et on finira par un exemple d'application (pompage au fil de soleil)

Enfin on abordera, dans le troisième chapitre la modélisation et la simulation de différents composants de système de pompage photovoltaïque, et on terminera par une conclusion générale.

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE SOLAIRE ET SES APPLICATIONS

Introduction

Devant la demande croissante de l'énergie électrique, essentiellement pour les sites isolés (régions sahariennes, régions montagneuses), où le raccordement au réseau électrique public est très coûteux, l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse. Car elle est inépuisable, propre et offre une grande sécurité d'utilisation [1]. Ce chapitre présente un état de l'art sur l'énergie photovoltaïque en générale et en particulier le système de pompage solaire.

La cellule photovoltaïque est l'élément fondamental de la conversion de l'énergie rayonnée par le soleil en quantité d'énergies électriques. Par ailleurs, les principales applications des systèmes photovoltaïques ont été discutées et les principes de fonctionnement des différentes configurations sont décrits. On s'est intéressé aux systèmes de pompage que nous avons passé en revue les configurations adoptées afin de nous guider ultérieurement à l'étude que nous avons projeté de mener dans ce mémoire. [2] et à la fin on va s'étaler sur les avantages et les inconvénients de système de pompage photovoltaïque.

I.1-Historique de la photovoltaïque

- L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien Français Antoine Becquerel (1788-1878) en 1839.
- La première cellule solaire au sélénium fut construite en 1883 par l'américain Charles Frits ($\eta = 1\%$).
- Albert Einstein (1879-1955) expliqua cet effet en 1904 et reçut le prix Nobel en 1921.
- Les laboratoires Bell (Charpin, Pearson et Price) présentent la première cellule au silicium le 25 avril 1954.
- 1ère utilisation photovoltaïque dans un satellite artificiel américain Vanguard 1 en 1958
- ($\eta = 9\%$ et 0,1 W).
- 1ère application terrestre dans un phare au Japon en 1963 (242 W)
- 1ère maison photovoltaïque, (Solar One) construite à l'université de Delaware aux USA en 1973
- 1ère installation PV reliée au réseau électrique en Europe (TISO en Suisse) en 1982
- 1ère installation PV reliée au réseau électrique en France en 1992 (900 W)

On effect le mot « photovoltaïque » Vien de grec « photo » qui signifie lumière et de « voltaïque » qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro volta.

I.2- Généralités sur les systèmes à énergie photovoltaïque

I.2.1-Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque désigne la conversion directe de l'énergie provenant des photons, comprise dans le rayonnement solaire, en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque au moyen d'une cellule photovoltaïque.

I.2.2-Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est conçue en se basant sur le phénomène physique appelé « effet Photovoltaïque ». Une force électromotrice apparait lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, sa disposition, température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule [1].

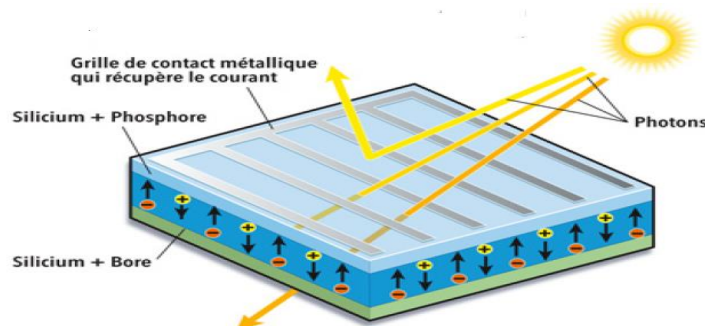


Figure (I.1) : Structure d'une cellule solaire [11].

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium comme le montre la figure (I-1), le silicium a quatre électrons dans sa couche de valence, une des couches dopée au phosphore(P) a cinq électrons dans sa couche de valence (surplus d'électrons) et l'autre dopée au bore(B) a trois électrons dans sa couche de valence (déficit d'électrons) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de

potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

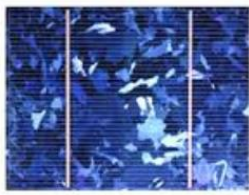
I.2.3- Type des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent [1]. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle et sont :

- **Cellules monocristallines** : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi le coût le plus élevé.

- **Cellules poly-cristallines** : Leurs coûts de fabrication est moins important, vu leur conception facile. Cependant leur rendement est plus faible.

- **Cellules amorphes** : Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires



Monocristallines



Poly-cristallines



Amorphes

Figure (I -2) : Types de cellule photovoltaïque [11].

Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements :

Technologie de cellules	Rendement en Laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe	13%	5-9%
Silicium poly cristallin	19,8%	11 à 15 %
Silicium monocristallin	24,7%	13 à 17%

Tableau (I.1) : Rendement des différents types des cellules [1].

-Autres types de cellules

La recherche progresse très rapidement dans le domaine des cellules solaires photovoltaïques. Un projet de recherche sur une nouvelle technologie qui devrait améliorer le rapport coût/rendement des cellules, parmi ces cellules on cite les cellules nanocristalline, multi-jonction et à couche mince.



Figure (I -3) : Autres types de cellules [11].

I.2.4 - Modèle d'une cellule solaire

Une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_p comme le montre le schéma équivalent de la figure suivant [1].

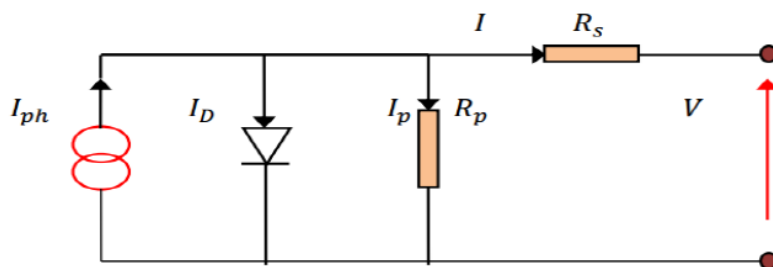


Figure (I -4) : Schéma équivalent de cellule PV [6]

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction.

I.2.5 - Association des cellules

➤ Association série

Les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules, C'est la tension qui augmente.

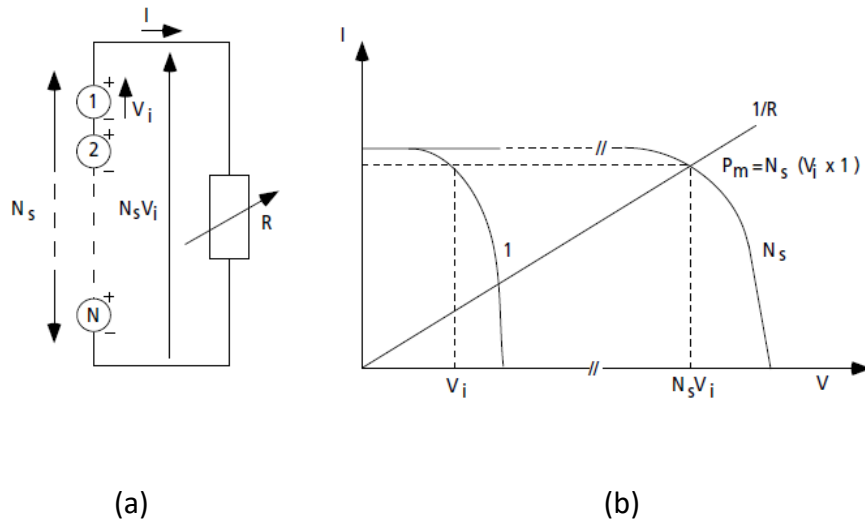


Figure (I -5) : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série.et (b) la Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en série [1].

➤ Association parallèle

Les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules, C'est le courant qui augmente.

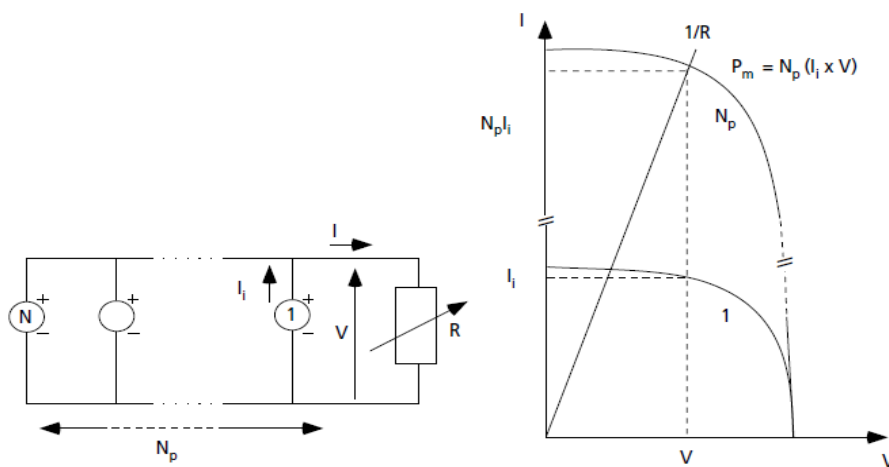


Figure (I -6) : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle. et la Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en parallèle [1].

➤ Association mixte

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle. Cette interconnexion des cellules forme un module photovoltaïque

I.2.6 - Influence du rayonnement sur les cellules

La jonction PN réagit différemment selon l'énergie qu'elle reçoit. Plus elle reçoit d'énergie plus elle en restitue, mais toujours avec un coefficient de rendement très faible de l'ordre de 15%. La variation des caractéristiques est représentée sur les courbes de la figure (I.7). Pour différents niveaux d'irradiation, le changement du courant optimal est très important. Ceci confirme l'approximation faite classiquement sur le courant optimal délivré par un générateur PV qui est globalement proportionnel au niveau d'irradiation [6].

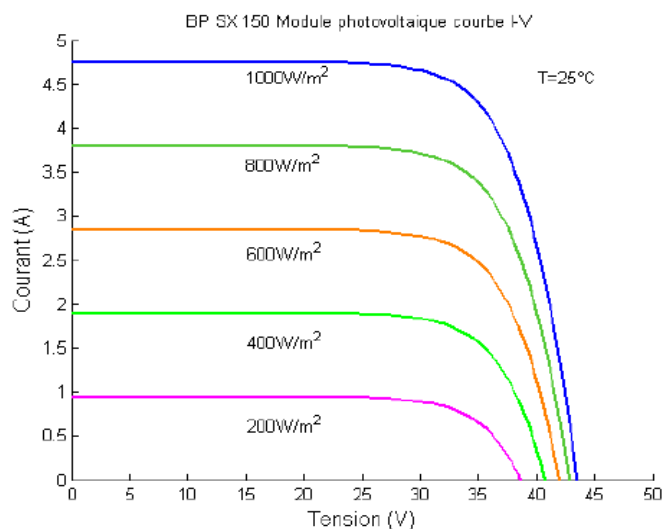


Figure (I.7) : Effet de l'éclairement sur la caractéristique I-V [6].

I.2.7 Influence de la température sur le rendement des cellules

La figure (I.8) ci-dessous montre que la tension à vide d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule. L'ordre de grandeur des pertes est de 2.3 mV/par degré Celsius/ par cellule. Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température de la cellule (environ 0.05 % par degré Celsius). La figure ci-dessous montre clairement la baisse du rendement causée par l'augmentation de la chaleur sur la cellule [6].

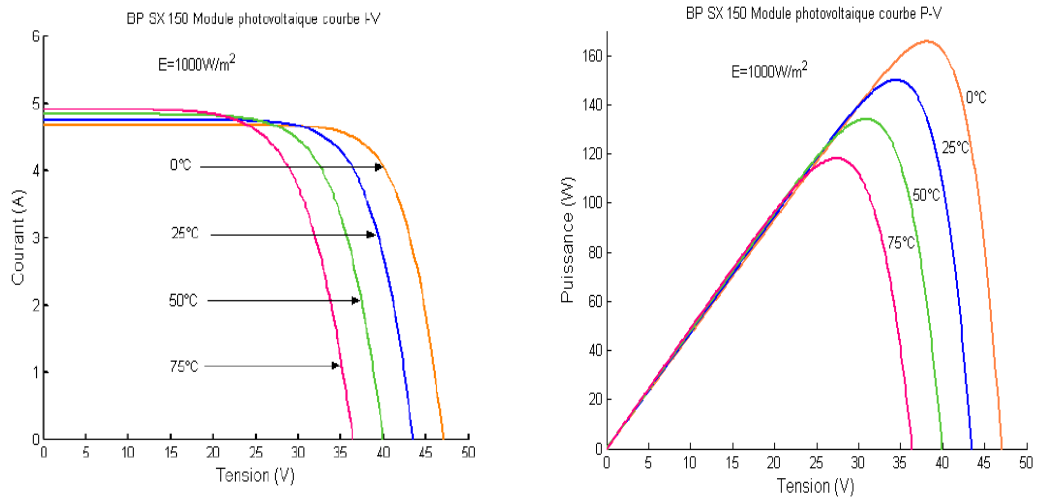


Figure (I-8) : Effet de la température sur la caractéristique P-V [6].

I.2.8-module PV et générateur PV

- **Un module** solaire photovoltaïque (ou panneau solaire) est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement.
- **Le générateur photovoltaïque** : L'interconnexion de plusieurs modules, en série ou en parallèle, permet d'obtenir une puissance plus grande, formant ainsi un générateur photovoltaïque (appelé aussi champ photovoltaïque) [1].



Fig(I-9) : Module photovoltaïque[6].

fig (I-10) : générateur photovoltaïque[6].

I.2.9- Différentes configurations des systèmes PV

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants : [12]

- un générateur photovoltaïque.
- un convertisseur statique continu / continu (DC/DC).
- un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC).
- Un système de régulation et de stockage.
- une source auxiliaire d'alimentation.

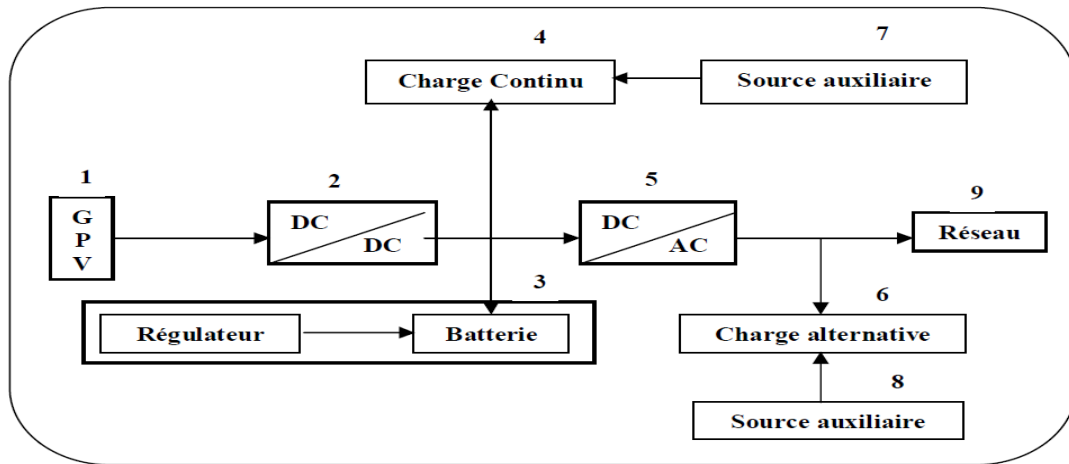


Figure (I -11) : Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque [12].

➤ **Système autonome sans batterie**

Les systèmes photovoltaïques autonomes sans batterie sont représentés par les blocs (1) et (4) de La figure précédente. La charge de type continu est alimentée directement par le GPV, car la production d'énergie est suffisante pour le fonctionnement de la charge.

➤ **Système autonome avec batterie**

Ces systèmes sont représentés par les blocs [(1), (3), (4)] dans le cas où la charge est de Type continu et les blocs [(1), (3), (5), (6)] si la charge est de type alternative. La batterie sert à Stocker de l'énergie produite par le GPV, alors l'énergie peut être utilisée de tout temps, même en l'absence de rayonnement solaire.

➤ **Système fonctionnant au fil du soleil**

Ces systèmes font intervenir des convertisseurs DC/DC qui permettent de faire une Adaptation entre le générateur et la charge continu [(1), (2), (4)]. Si la charge est de type alternative, le convertisseur DC/AC est introduit [(1), (5), (6)].

➤ **Système avec appoint électrique**

Pour ces systèmes on introduit des générateurs auxiliaires qui n'interviennent qu'en cas D'insuffisances d'énergie électriques (manque de rayonnement solaire ou batteries déchargées), ces générateurs auxiliaires peuvent être de type continu [(1),(2),(3),(4),(7)] et [(1),(2),(3),(4),(7),(9)],ou de type alternative [(1),(2),(3),(5),(6),(8)] et [(1),(2),(3),(5),(6),(8), (9)]. Les sources auxiliaires peuvent être alimentées soit par le réseau soit par une autre source d'énergie.

I.2.10 - Système PV raccordé au réseau

Le courant généré peut être utilisé localement et les surproductions sont injectées au réseau. La centrale de distribution électrique se charge également d'équilibrer l'offre et la demande[1].

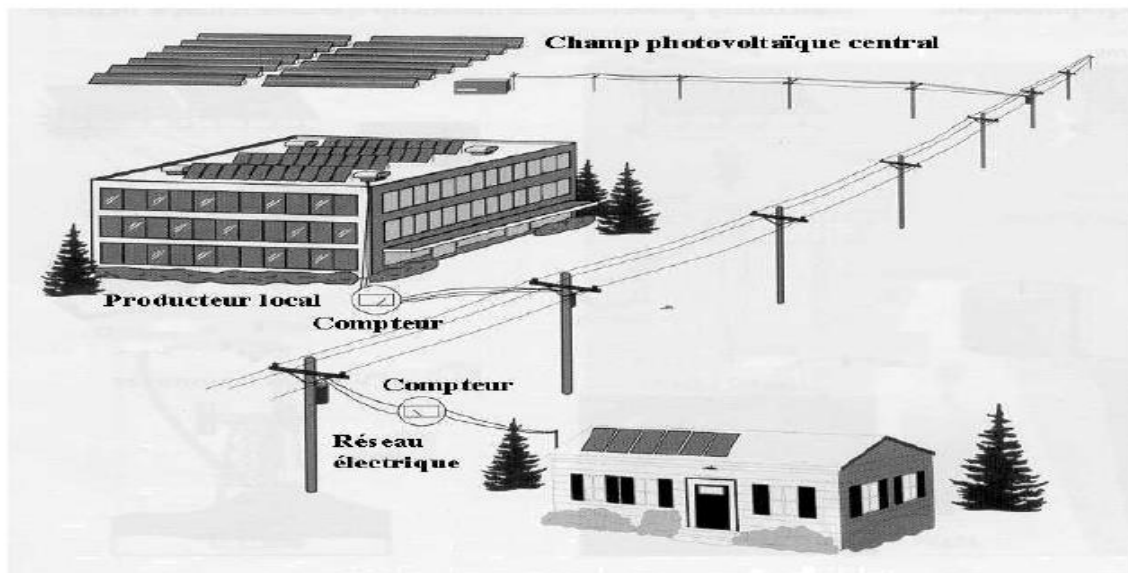


Figure (I -12) : Types des systèmes connectés au réseau [11].

I.3-Pompage photovoltaïque

Le pompage solaire représente la solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent (alimentation en eau pour un usage domestique, pour l'irrigation agricole, ...etc.). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de combustible peuvent se produire.

I.3.2-Méthodes de pompages

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, deux techniques sont possibles : Dans la première technique, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un «pompage au fil du soleil ». Cette solution nécessite un stockage de l'eau dans un réservoir (l'eau pompée pendant la journée est stockée afin d'être utilisée plus tard, le soir par exemple). La deuxième méthode consiste à utiliser un stockage de l'énergie, cette fois-ci, via des batteries. L'énergie stockée la journée peut être utilisée plus tard pour pomper l'eau [6].

I.3.2.1- Pompage au fil du soleil

Le pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque simple, fiable et moins coûteux. Ici l'eau est pompée et stockée dans un réservoir, au fil de la journée. On parle alors d'un stockage hydraulique. L'eau stockée sera distribuée au besoin [1].

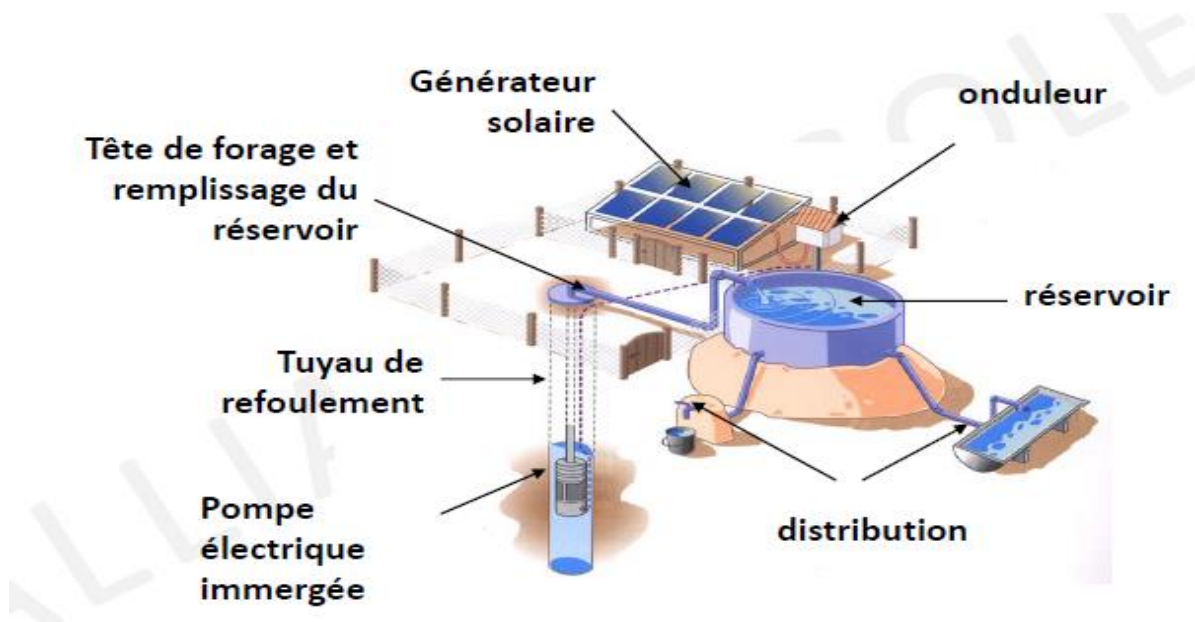


Figure (I -13) : Pompage photovoltaïque au fil du soleil [11].

I.3.2.2-Pompage avec batteries

La méthode de pompage d'eau en utilisant l'énergie stockée sur des batteries peut avoir l'avantage 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'énergie emmagasinée peut être utilisée aussi pour d'autres besoins ultérieures [6].



Figure (I -14) : Pompage photovoltaïque avec batterie [10].

I.3.3-Composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage photovoltaïque est constitué de :

- **Un générateur** : composé de modules photovoltaïques, interconnectés électriquement pour constituer une unité de production de courant continu.
- **Un onduleur** : un onduleur solaire (parfois commercialisé sous le nom de variateur solaire, convertisseur solaire ou onduleur photovoltaïque) est un onduleur convertissant le courant continu de l'énergie photovoltaïque issu d'un panneau solaire en courant alternatif.



Figure (I -15) : Onduleur photovoltaïque [7].

- **Un régulateur** : un régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge.

Parmi les technologies de la régulation on trouve la plus utilisée

- **la régulation MLI** (à modulation de largeur d'impulsions) avec deux types de couplage avec la batterie :
 - couplage direct appelé **PWM** (Pulse width Modulation)
 - couplage par adaptateur d'impédance appelé **MPPT** (Multi Power Point Tracking)

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct de champ PV sur la batterie	charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension de la batterie	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieure à la tension de la batterie
Typiquement adapter pour des petits systèmes PV 200 Wc	Plus adapté pour les puissances PV 200Wc
Nécessite l'utilisation de modules de 36 ou 72 cellules	Possibilité d'utiliser des modules quel que soit le nombre des cellules
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifié	Possibilité de s'affranchir de la boîte de la jonction dans certains cas et de réduire la section des câbles

Tableau (I -2) : Comparaison entre les contrôleurs PWM et MPPT [7].

- ❖ pour conclure sur le choix de régulateur on dit que :
 - Le Régulateur MPPT permet un gain de production de 5 à 30 % par rapport à un régulateur PMW.
 - Le régulateur MPPT permet une plus grande souplesse aux niveaux de choix des panneaux.
 - Alors le régulateur MPPT reste le choix idéal, sur tout pour les installations de grandes puissances.



Figure (I -16) : Régulateurs photovoltaïque [7].

➤ Groupe électropompe

Constitué d'un moteur électrique à induction et d'une pompe qui peut être composée de différentes technologies, **volumiques** (shurflo), **centrifuges** ou **hélicoïdale** (Lorentz) et pour des utilisations variées comme le **pompage de surface** (étang, lac, rivière, cuve) et le **pompage immergé** (puits, forages)

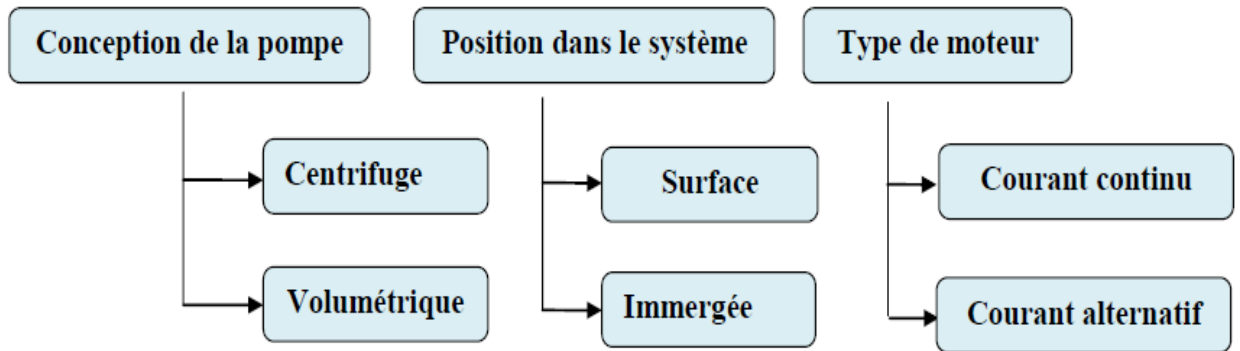


Figure (I .17) : Classification des pompes.

➤ Batteries

Une installation photovoltaïque autonome (dite aussi site isolé) comporte une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques. Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente" (ou pour simplifier batterie solaire).

Ces batteries sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes en conservant leurs aptitudes à la recharge, et ceci à un grand nombre de reprises (cycles), on parle de batteries stationnaires ou à décharge lente.



Figure (I-18) : Batteries photovoltaïque [10].

I.3.4- Groupe électropompe

I.3.4.1-La pompe : Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler un fluide. Il existe deux grands types de pompes : les pompes centrifuges et les pompes volumétriques.

A) : Pompes centrifuges

Elles fonctionnent grâce aux variations de vitesse du fluide pompée associées à la force centrifuge. Cela permet d'obtenir une augmentation de la pression. Une partie de cette énergie cinétique ainsi transmise au fluide est obtenue par la rotation d'une roue. C'est un système performant si l'on utilise des modules photovoltaïques. La pompe tourne même par faible rayonnement solaire et fournit généralement un bon rendement. [10] Les principes des 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 [8].

A.1-Constitutions d'une pompe centrifuge

D'une façon générale, une pompe centrifuge est constitué de voir figure (I-20)

- 1. a, 2, 3 : corps de la pompe
- 1b : diffuseur
- 2 impulser
- 4 : garniture mécanique
- 6 : arbre

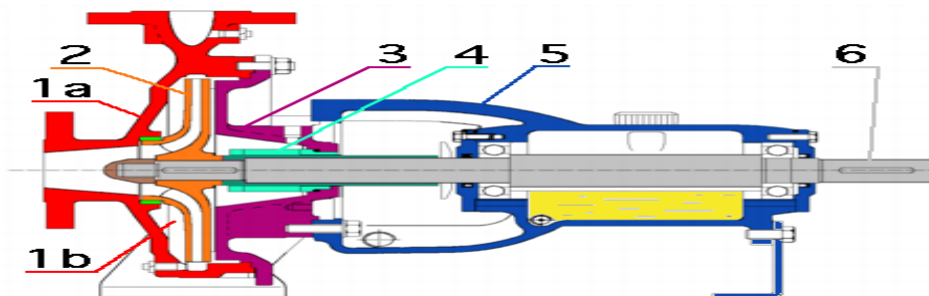


Figure (I -19) : Schémas d'une pompe centrifuge [11].

A.2- Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge est basé sur le principe simple, lorsque la pompe est pleine d'eau, sous l'effet de la rotation de la turbine entraînée par le moteur, l'eau qui arrive dans la région axiale est projetée à la périphérie et de ce fait, engendre une dépression. Cela provoque un appel des tranches suivantes et par suite, un écoulement continu de la veine liquide. Cette dernière est recueillie par le diffuseur et dirigée dans la conduite de refoulement [9].

B) : Pompes volumétriques

Une pompe volumétrique est une pompe dans laquelle une certaine quantité de fluide « emprisonnée » est forcée à se déplacer jusqu'à l'orifice de sortie. La pompe volumétrique transmet l'énergie cinétique du moteur en mouvement de va-et-vient permettant au fluide de vaincre la gravité par variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement. Les pompes volumétriques incluent les pompes à vis, les pompes à palettes, les pompes à piston et les pompes à diaphragme. Les deux derniers types sont utilisés dans les puits ou les forages profonds (plus de 100 mètres). L'entraînement est habituellement assuré par un arbre de transmission très long, à partir d'un moteur électrique monté en surface [9].

Le principal intérêt des pompes volumétriques est de pouvoir véhiculer un fluide sous de très fortes pressions. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grande profondeur et à petit débit d'eau.

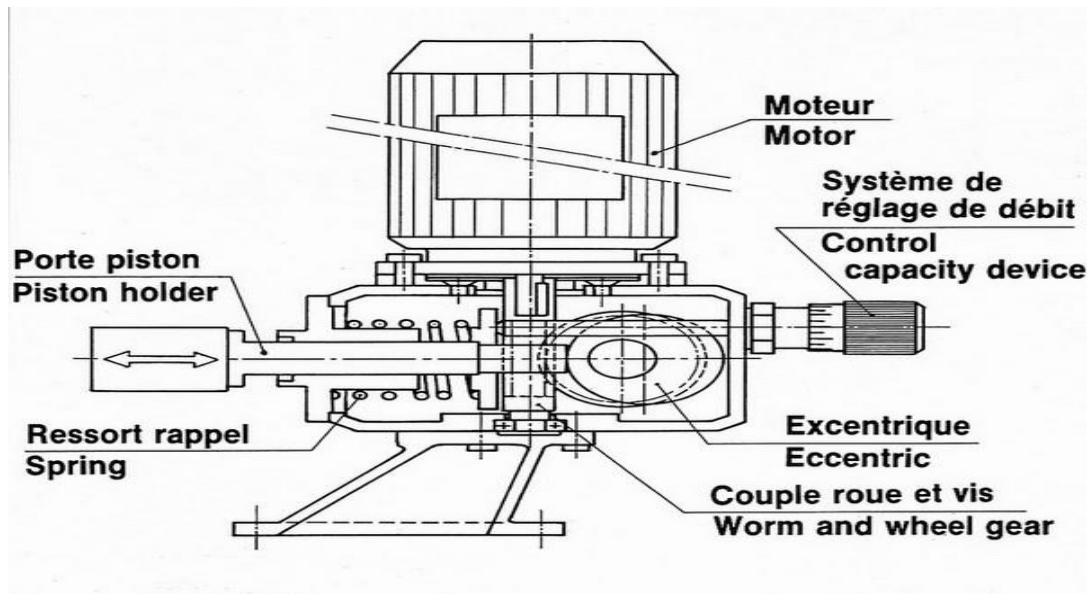


Figure (I -20) : Schémas d'une pompe volumétrique [11].

I.3.5-Classification selon le moteur utilisé

Un moteur électrique convertit l'énergie électrique en énergie mécanique, sa source d'alimentation peut être de courant continu ou en courant alternatif. Dans ce dernier cas un convertisseur de courant continu produit par le générateur photovoltaïque en courant alternatif est nécessaire. Pour bien choisir le moteur à utiliser un bon dimensionnement primordial.

I.3.5.1-Moteur à courant continu

Connu par sa double fonction, une machine à courant continu peut fonctionner en moteur ou en génératrice. L'usage de ces moteur est avantageux dans le pompage photovoltaïque car son utilisation élimine l'onduleur ce qui aide à faire une réduction de coût de l'installation.

- **Moteur à courant continu avec balais**

les moteurs à courant continu utilisés pour des applications de pompage solaire sont les moteurs série, avoir un couple de démarrage suffisant pour vaincre la résistance de démarrage d'une pompe et bien répondre à un courant variable.[6] Les moteurs à balais sont les plus communs, mais leurs balais doivent être changés périodiquement. Ceci est particulièrement problématique dans le cas des pompes à moteur immergé où la pompe doit être retirée du forage pour changer les balais. De plus, l'isolation du moteur ne doit pas être compromise afin de ne pas la fragiliser aux infiltrations d'eau, ce qui n'est pas évident sur le site. Certains manufacturiers offrent des moteurs à balais de longue durée, réduisant cet entretien à toutes les 5 000 heures de fonctionnement [3].

- **Moteur à courant continu, sans balais (Brushless)**

Ce type de moteur contient plusieurs avantages à savoir sa robustesse, son fort couple au démarrage et sa durée de vie très élevée. Mais son utilisation reste toujours limitée à des faibles puissances.

I.3.5.2-Moteur à courant alternatif

- **Les moteurs Asynchrone** : C'est un moteur qui fonctionne en courant alternatif, alimenté uniquement en triphasé, sans connexion entre le rotor et le stator. Le terme asynchrone provient de fait que la vitesse de ces moteurs n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence de courant qui les traversent.

Le moteur alternatif pour le pompage solaire est habituellement de type asynchrone, triphasé et à rotor en court-circuit (rotor à cage). Celui-ci tourne autour de deux paliers lubrifiés par le liquide de refroidissement dont est rempli le moteur. Le stator est noyé dans une résine, qui lui assure une bonne tenue mécanique, une bonne dispersion calorique et une étanchéité parfaite. Ces moteurs sont conçus pour être immergés et utilisés dans une eau d'une température maximale d'environ 35C. [3]. Le moteur asynchrone reste une solution efficace pour une bonne installation de pompage photovoltaïque grâce à sa robustesse son bon rendement ainsi que son faible coût.

I.3.6-Avantages et inconvénients de pompage photovoltaïque

➤ Avantages

- Le pompage photovoltaïque utilise L'énergie solaire qui est inépuisable, propre et c'est aussi une source d'énergie électrique silencieuse.
- Cette technologie ne nécessite que de faibles coûts de maintenance (généralement limités au nettoyage de la pompe) et n'a besoin d'aucun apport en combustible extérieur (pétrole, électricité).
- Il donne un avantage majeur pour les agriculteurs (élevage, irrigation...) sur l'approvisionnement en eau, essentiellement aux régions isolées, là où le réseau électrique n'est pas disponible.

➤ Inconvénients

- Le coût de l'investissement est élevé (mais il aura probablement tendance à diminuer dans l'avenir).
- L'installation nécessite des études préalables précises et des spécialistes.
- le rendement des pompes varie en fonction de l'importance de l'ensoleillement, de l'angle d'exposition des panneaux et de la température.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants d'un système de pompage photovoltaïque des deux systèmes de stockage, qui sont le pompage au fil de soleil ou avec batteries.

CHAPITRE II

DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

Introduction

Dans ce chapitre on va s'intéresser au dimensionnement du pompage photovoltaïque. Les facteurs les plus importants de cette approche devront être estimés soigneusement afin d'obtenir un dimensionnement satisfaisant.

II.1-Méthode simple de dimensionnement

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- Evaluation des besoins en eau.
- Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire.
- Détermination de l'énergie solaire disponible.
- Choix des composants [14].

II.2-Evaluation des besoins en eau

La détermination des besoins en eau pour la consommation d'une population donnée dépend essentiellement de son mode de vie. Les besoins en eau que l'on estime nécessaires pour les zones rurales des pays pauvres sont de l'ordre de 20 litres par personne et 30 litres par tête de bétail.

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs Météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant, il est important de se baser sur la pratique et l'expérience locale. La capacité du réservoir sera déterminée selon les besoins en eau journalières et l'autonomie requise du système [13].

II.3-Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire

Une fois définies les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation : [15]

$$E_h = g \cdot \rho a \cdot V_a \cdot h / 3600 \quad (\text{II.1})$$

II.4-Dimensionnement du champ photovoltaïque

II.4.1-Détermination de l'énergie solaire disponible

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible et de l'énergie hydraulique nécessaire.

II.4.2-Inclinaison du générateur photovoltaïque

L'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal doit se faire de manière à optimiser le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire.

II.4.3-Mois de dimensionnement

Le mois de dimensionnement sera le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique nécessaire soit minimum.

Comme idée de principe, à chaque inclinaison β , correspond un mois le plus défavorable. Le mois de dimensionnement à l'inclinaison optimale sera précisément celui qui présente le plus petit rapport entre l'irradiation solaire et l'énergie hydraulique. L'irradiation solaire $G_{dm}(\beta)$ et l'énergie hydraulique nécessaire sont correspondantes à ce mois serviront pour le choix des composants du système [13].

II.4.4-Estimation de la puissance

La puissance de sortie d'un générateur photovoltaïque sous les conditions standards de mesure, CSM, (éclairage $G_{ce} = 1000 \text{ W/m}^2$ et température de cellule $T_{c,ref} = 25 \text{ °C}$) [8] est :

$$P_p = \eta g . A_s . G_{ce} \quad (\text{II.2})$$

II.4.5-Evaluation de l'énergie moyenne journalière requise par la charge

La consommation moyenne nécessaire pour le fonctionnement des équipements en (Wh/j) est donnée par la formule suivante.

$$c_j = \sum P . h \quad (\text{II.3})$$

II.4.6-Calcul du champ photovoltaïque

L'énergie produite par un champ photovoltaïque est égale à

$$E_p = E_h / K \quad (\text{II.4})$$

Avec K un coefficient correcteur dépendant de l'incertitude météorologique, de l'inclinaison des modules solaires et du rendement global du système photovoltaïque. Sa valeur théorique est comprise entre 0.55 et 0.75 mais en pratique la valeur moyenne utilisée est de **0.65**.

II.4.7- Calcule de la puissance crête du générateur

La puissance crête délivré par le générateur est :

$$P_C = N_s \cdot N_p \cdot P_{cm} \quad (\text{II.5})$$

Ou
$$P_C = E_p / G \quad (\text{II.6})$$

II.4.8- Calcule de la surface totale du générateur

La surface totale occupée par le champ sur le sol est :

$$S = N \cdot S_m \quad (\text{II.7})$$

II.4.9- Estimation du nombre de module en série

Le nombre de module en série est :

$$N_S = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (\text{II.8})$$

II.4.10- Estimation du nombre de branche en parallèle

$$N_P = \frac{N}{N_S} \quad (\text{II.9})$$

II.5- Dimensionnement des batteries

Pour assurer la continuité de l'alimentation pendant les jour de mauvais temps, on prévoit un système de stockage qui se compose généralement de batterie. la capacité qui doit être installer dépend, de la tension (V_{Bat}) du rendement de la batterie (η_{Bat}) et de la profondeur de décharge (PDD= 0.8) de la batterie, ainsi que l'énergie demandée par la charge (E_c) et le nombre de jours d'autonomie (N) pendant lesquelles les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité sans que les modules fonctionnent.

La capacité de la batterie est donnée en (Ah) par [16] :

$$C_{Bat} = \frac{E_C \cdot N}{PDD \cdot V_{Bat} \cdot \eta_{Bat}} \quad (II.10)$$

II.6-Dimensionnement de la pompe centrifuge

Le débit crête Q [m³/h] est calculé par la relation suivante : [17]

$$Q = \frac{3.6P_h}{g h} \quad (II.11)$$

La puissance hydraulique crête (p_h) nécessaire en fonction de la puissance électrique crête fournie par le générateur photovoltaïque (P_C) est donnée par :

$$P_h = P_C \cdot \eta_{mb} \quad (II.12)$$

II.7-dimensionnement du moteur

Le moteur doit être capable de supporter la puissance crête du générateur photovoltaïque.

II.8-Dimensionnement de la tuyauterie

Le diamètre des tuyauteries peut être estimé en utilisant des tableaux ou des graphes qui expriment les pertes par frottement en fonction du débit pour chaque diamètre de la tuyauterie, le diamètre le plus économique sera celui qui réduit au minimum la somme des coûts de la tuyauterie et de l'énergie perdue par frottement.

Il est possible d'obtenir analytiquement les diamètres des tuyauteries de pompage qui approxime à ceux qui minimisent les coûts des installations par la formule suivante : [14]

$$D = K\sqrt{Q} \quad (II.13)$$

On choisit la valeur de k équivalent à fixer la vitesse moyenne du fluide (v) :

$$v = \frac{4}{\pi K^2} Q \quad (II.14)$$

Le débit est exprimé dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \quad (II.15)$$

II.9-Perte charge

La perte de charge est la perte de pression qui se manifeste au fur à mesure de l'avancement du fluide .elle est définie comme étant la résistance à l'écoulement et l'avancement du fluide à cause de la rugosité des surface de la canalisation. Pour une conduite rectiligne : [17]

$$H = \frac{klv^2}{D} \quad (\text{II.16})$$

- **Les accessoires**

C'est les obstacles de courte longueur, vanne, soupape, crépine ...

Seulement le nombre d'accessoires et la vitesse qui interviennent :

$$H = n . K . V_2 \quad (\text{II.17})$$

II.10-Notions hydraulique

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent les volumes d'eau et les refoulements sous une certaine pression dans les canalisations du réseau.

Les paramètres nécessaires pour dimensionner une pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler.

- **Le débit**

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau refoulée par un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est généralement exprimé en m³ par jour.

- **La hauteur manométrique totale HMT**

C'est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$HMT = H_g + P_c \quad (\text{II.18})$$

$$H_g = A + B + C \quad (\text{II.19})$$

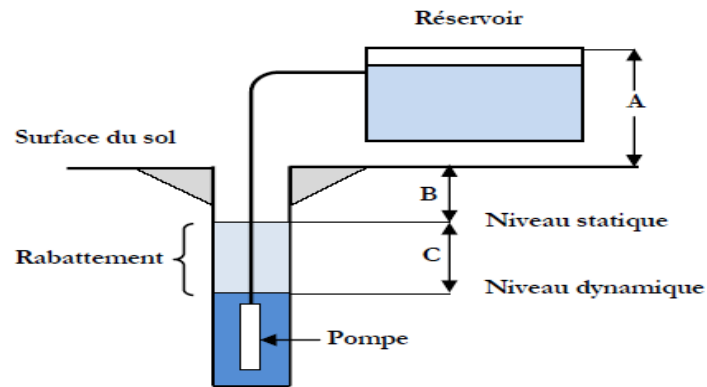


Figure (II-1) : Hauteur manométrique total [15].

Pc : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

Elles s'expriment en mètres d'eau et elles sont en fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe.

Ns : niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le sol et la surface de l'eau avant pompage.

Nd : niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance de sol et la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la HMT, le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen.

Rabatement : Différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Rabatement maximal : Rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe [15].

II.11- Configuration de système de pompage

La configuration des groupes moteur-pompe les plus utilisés sont :

- ✓ Ensemble moteur-pompe immergé.
- ✓ Ensemble moteur-pompe flottant.
- ✓ Ensemble moteur-pompe de surface.

Chaque configuration est utilisée selon le débit et la hauteur de pompage nécessaire. En générale les pompes immergées sont utilisées dans les forages profonds de petit diamètre. Et les pompes flottantes sont utilisées dans des puits, lac de grand diamètre.

II.11.1- Système de pompage adapté

Dans les zones arides éloignées et semi-aride ou les besoins en eau sont importants et indispensables que ce soit pour l'eau potable ou pour l'irrigation, on aura besoin d'un système plus efficace et adapté qui est le suivant :

- Un groupe électropompe immergé.
- Un générateur photovoltaïque de type silicium poly-cristallin.
- Un réservoir de stockage d'eau.

II.11.2- Principaux avantages de ce système

- ❖ Pour les applications dans des climats chauds, le moteur est refroidit à l'eau et ne pose aucun problème de surchauffe.
- ❖ Grace au silicium poly-cristallin un démarrage du groupe moteur-pompe dès l'apparition d'un rayonnement solaire (ciel couvert ou nuageux, lever de soleil...), donc un temps de fonctionnement plus important.
- ❖ Un stockage de l'eau permettant à l'utilisateur une autonomie de couvrir ses besoins en eau en dehors des heures d'ensoleillement. Ceci est d'autant plus intéressant en particulier pour les régions du sud où l'irrigation pendant la journée est difficile (température élevée, risque d'évaporation dans le cas d'irrigation gravitaire) [13].

II.12-Application pompage photovoltaïque au fil de soleil

- **Coordonnées géographiques**

Pour situer un site sur la terre, on a besoin de ses coordonnées terrestres.

✓ **Longitude**

La longitude d'un lieu correspond à l'angle fermé par deux plans méridiens passant par l'axe des pôles, l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre est déterminé par le lieu envisagé, elle compte de 0° à 180°, positivement vers l'est et négativement vers l'Ouest.

✓ **Latitude**

La Latitude donne la position d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre 0° et 90°, positivement vers le pôle nord et négativement vers le pôle sud.

✓ **Altitude**

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et le niveau moyen de la mer, elle est exprimée en mètre.

➤ **Les sources des prévisions météorologiques :**

<https://www.wunderground.com/>

Weather Underground : est une compagnie privée d'informations météorologiques sur internet. Elle fournit les observations et les prévisions météorologiques dans un très grand nombre d'endroits à travers le monde pour le public.

Ce site a pour but de nous donner les différentes températures journalières, ensuite nous calculons les températures mensuelles.

<http://re.irc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Ce site a pour but de nous calculer le plan d'inclinaison optimale et l'orientation optimale ainsi que les irradiations globales.

II.12.1-Le choix de site

Pour l'étude de notre projet, nous avons choisi la Cité Universitaire Garçon Hasnaoua I situé à Tizi Ouzou ville. Le climat à Tizi Ouzou ville est typiquement méditerranéen, Chaud et sec en été, doux, humide et pluvieux en hiver, avec une altitude de 128 m et une température de 18,1C°.

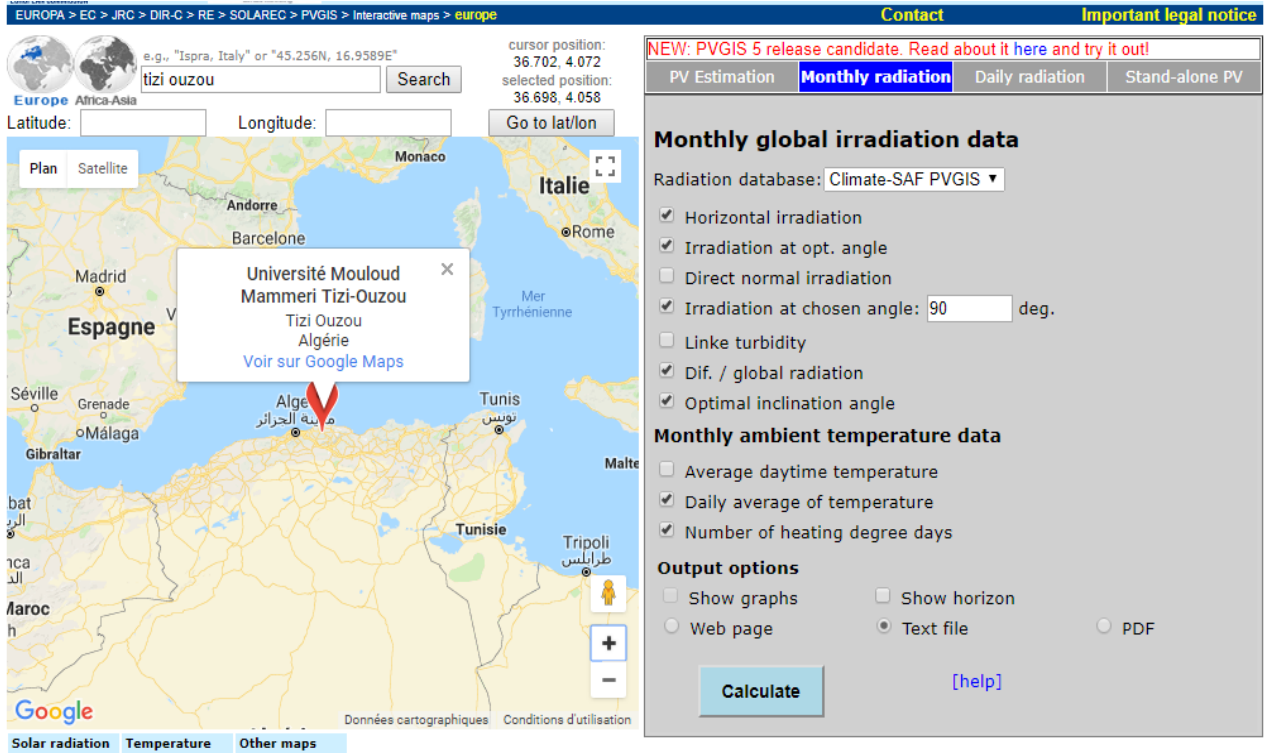
➤ **Caractéristique du site**

✓ **Longitude** : 4.06°

✓ **Latitude** : 36.70°

✓ **Altitude** : 128 m

II.12.2-Irradiations mensuelles de la wilaya de Tizi Ouzou



Figure(II-2) : site web pvgis

Le tableau suivant représente Les résultats du calcul des irradiations mensuelles de notre site :

Site	Irradiation (KWh/M ² /jour)												Irradiation annuelle
	Jan	Fev	Mar	Avr	May	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	
Tizi Ouzou	3.8	4.3	5.6	5.6	6.2	7.0	7.3	7.2	6.2	5.5	4.0	3.6	5.5

Tableau(II-1) : irradiations mensuelles

- Le mois le plus défavorable de la wilaya de Tizi Ouzou est le mois de décembre (G=3.6KWh/M² /jour).

II.12.3- Estimation des besoins en eau

La cité universitaire contient 3000 étudiants, sachant que la consommation journalière par personnes est estimée de 20 à 30 litre par jour.

➤ **Hypothèse**

Nous dimensionnons un système de pompage photovoltaïque (au fil de soleil), d'approvisionnement en eau potable pour la cité universitaire Hasnaoua I (UMMTO) de 3000 étudiants.

Les données suivantes caractérisent le système :

- **Site** : Tizi Ouzou (UMMTO).
- **Irradiation quotidienne** : 5.5 kWh/m²/jour.
- **Débit maximum** : 60 m³/jour (pour 3000 étudiants)
- **Forage** : HMT = 40m.

II.12.4- Calcule de l'énergie hydraulique et l'énergie électrique nécessaire

Les résultats de calcul sont donnés comme suit :

- **Energie hydraulique** : 6540 Wh/j.
- **Energie électrique** : 10 060.5 Wh/j.

➤ **La capacité du réservoir**

Le stockage de l'eau est effectué dans un réservoir. La capacité de ce dernier est calculée pour répondre au besoin d'eau pendant les jours d'autonomie. Celui-ci varie d'un à plusieurs jours. Pour notre exemple, la capacité de stockage est calculée pour assurer un jour d'autonomie.

➤ **Choix de la pompe**

On choisit la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale, on calcule le débit horaire par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q(m^3/j)}{h} \quad (\text{II.20})$$

Avec $h=7$ heures

Ceci donne un débit horaire d'environ **9m³/h**. Sachant que la hauteur manométrique totale est de **40 m**.

Pour notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur PANELLI. Les types des pompes sont donnés dans le tableau suivant [23] :

Type de pompe	Puissance (KW)	Rendement(%)	Débit (m ³ /h)	Hauteur(m)
95 PR15N/7	0.37	60	2.5	38
95 PR15N/10	0.55	60	3.33	48
95 PR15N/13	0.75	60	5	42
95 PR15N/18	1.5	60	8	32
95 PR6N-17M	2.2	60	9.6	115
95 PR12N/12	3	60	12	55
95 PR12N/16	4	60	13.5	68
95 PR12N/22	5.5	60	15	82
95 PR12N/29	7.5	60	18	71

Tableau (II-2) : Caractéristiques électriques d'une gamme des pompes PANELLI.

❖ **Caractéristiques électriques de la pompe**

Les caractéristiques de notre pompe sont représentées sur la figure suivante :

Type	Immergée PANELLI 95 PR6N-9M
Débit nominal	9.6 m ³ /h
Puissance (W)	2200 W
Tension (V)	230 V
Rendement (%)	60 %
Hauteur de pompage max(m)	115m




Figure (II-3) : Pompe immergée PANELLI.

➤ **Choix de l'onduleur**

Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour notre étude, l'onduleur choisi est représenté dans le tableau suivant :

Puissance DC max	4000 W
Tension DC max	550 V
Plage de tension MPP	[125V - 440V]
Courant d'entrée max	15 A
Tension de sortie	220/230 V

Tableau (II-3) : Caractéristiques électriques de l'onduleur.

➤ Taille du générateur PV

On utilisant les formules précédentes, on calcul la taille du générateur selon la puissance demandée par le groupe moteur-pompe et l'irradiation journalière incidente sur le plan du générateur et aussi selon la compatibilité en puissance, tension et en courant avec l'onduleur choisi.

-Calcul de nombre de modules en série pour avoir une compatibilité avec la plage de tension MPP de l'onduleur :

$$N_S = \frac{U_{MPP\ MAX}}{U_{MPP} \cdot 1.15} \quad (II.21)$$

Avec 1.15 est un coefficient de majoration permettant de calculer la tension MPP à 20c°

-Calcul de nombre de modules en parallèles pour avoir une compatibilité en courant avec l'onduleur :

$$N_P = \frac{I_{MAX}}{I_{CC} \cdot 1.25} \quad (II.22)$$

Avec 1.25 est un coefficient de sécurité imposé par le guide de UTEC15-712

- **Module photovoltaïque**

Nous avons choisi le module de type BP SX150s, sa caractéristique électrique est représentée sur le tableau suivant :

Puissance max (W)	150
Tension nominale Umpp (V)	34.5
Courant nominale Impp (A)	4.35
Courant de court-circuit Icc (A)	5.75
Tension de circuit ouvert Voc (V)	43.5
Nombre de cellules en série (Ns)	72
Dimension	1580.783.50 mm

Tableau (II-4) : Caractéristiques électriques du module.

Le schéma ci-dessous explique les démarches à suivre pour la détermination de la taille du générateur PV.

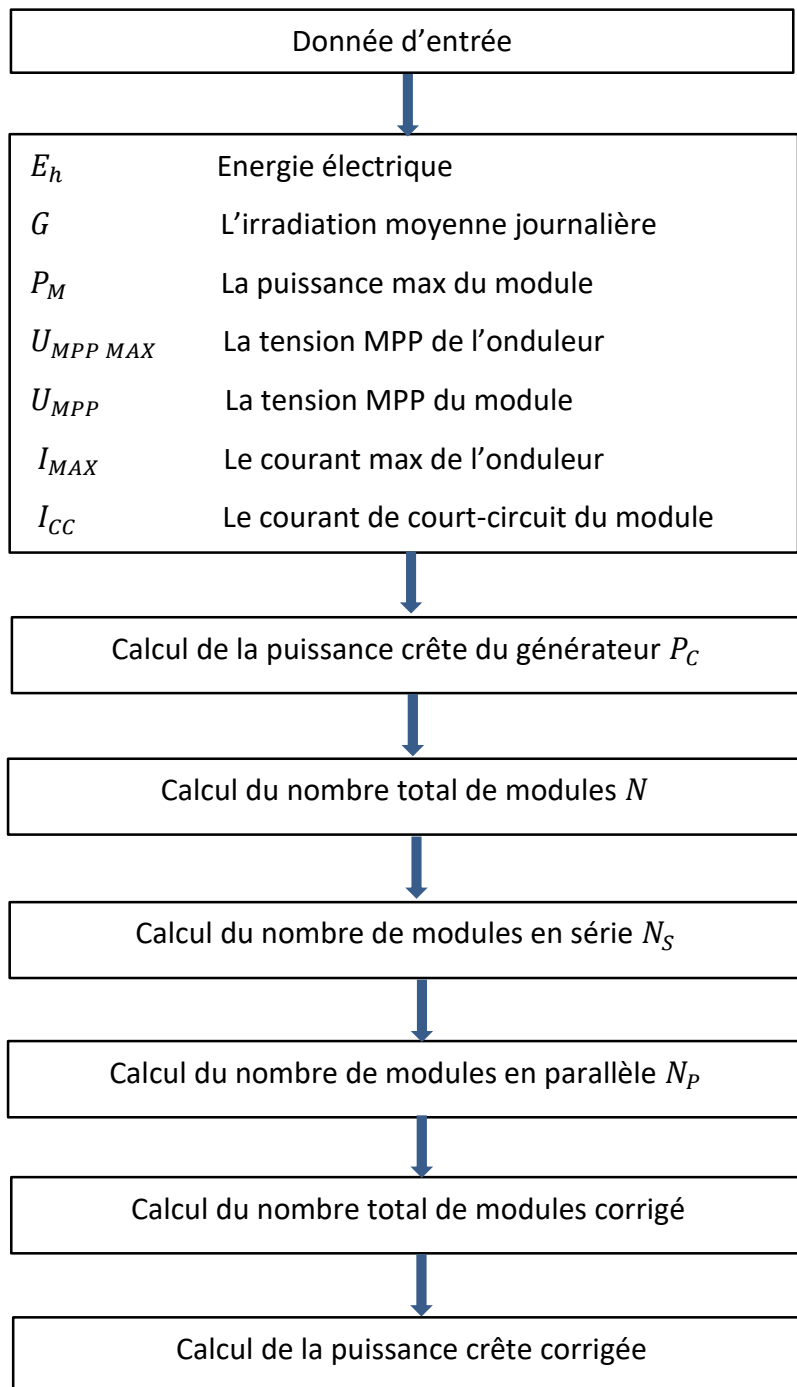


Figure (II-4) : Les étapes du calcul de la taille de générateur.

➤ **Calculs et Résultats**

- Les résultats des calculs sont représentés dans le tableau suivant :

Puissance crête (W)	2794.5
Nombres de modules	19
Modules en série	11
Module en parallèle	2
Surface du générateur (m²)	25

Tableau (II-5) : Résultat du calcul.

- **Correction de la puissance crête :**

Dans la plus part des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

Après avoir vérifié la compatibilité en puissance, tension et en courant avec l'onduleur on 'abouti à ces résultats qui sont représentés dans le tableau suivant :

Puissance crête (W)	3300
Nombres de modules	22
Modules en série	11
Modules en parallèles	2
Surface du générateur (m²)	27

Tableau (II-6) : Résultat du calcul après correction.

Conclusion

Dans Ce chapitre on a représenté la méthode de dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque, qui nous permet de dimensionner une installation, pour satisfaire les besoins en eau de l'ensemble des étudiants de la cité universitaire Hasnaoua I de Tizi Ouzou (U.M.M.T.O).

CHAPITRE III

MODELISATION ET SIMULATION D'UN SYSTEME DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

Introduction

La modélisation d'un système physique conduit à l'établissement des équations mathématique régissant la dynamique de ce système, d'où un modèle est la représentation mathématique d'une entité réelle de son fonctionnement [13].

III.1-Modélisation de la cellule photovoltaïque

- Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté à une charge peut être schématisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure(III.1), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [19].

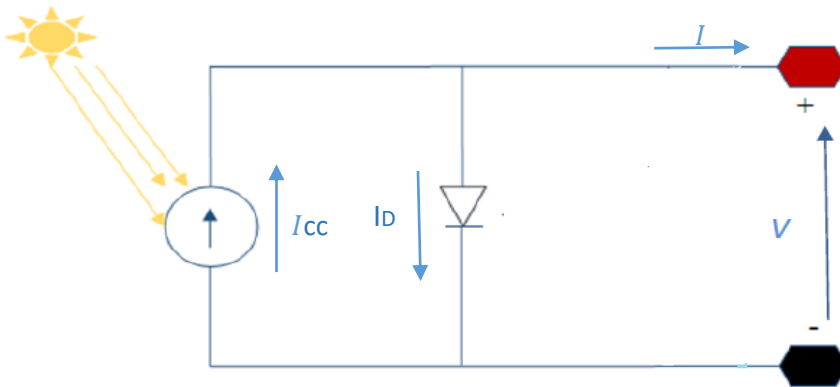


Figure (III.1) : Cellule solaire idéale [11].

L'équation caractéristique d'une cellule solaire idéale est de la forme :

$$I = I_{cc} - I_D = I_{cc} - I_0(e^{\frac{q.V}{k.T}} - 1) \quad (\text{III.1})$$

I_D : Courant de diode donnée par :

$$I_D = I_0(e^{\frac{q.V}{k.T}} - 1) \quad (\text{III.2})$$

• Cas réel

Dans le cas réel la performance d'une cellule solaire est limitée par l'influence de deux phénomènes physiques assimilable à deux résistances (R_s et R_{sh}) comme le montre dans la figure (III.2) :

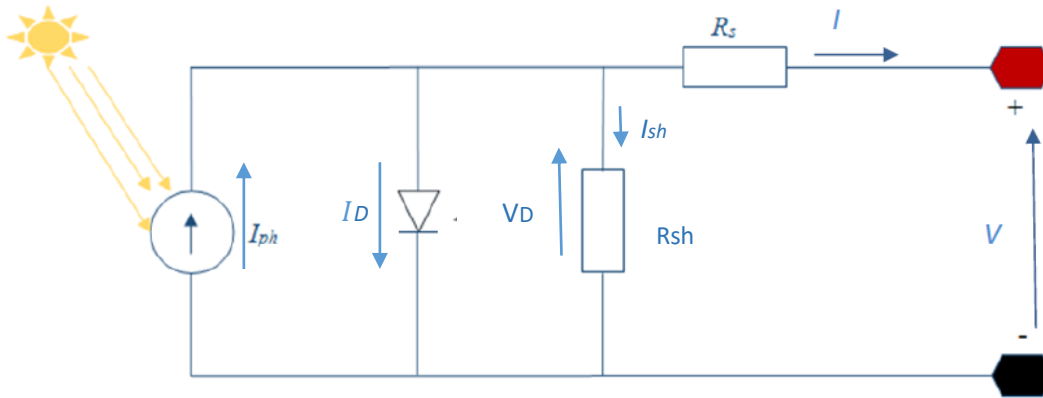


Figure (III.2) : Cellule solaire réel [11].

R_s : résistance série due essentiellement aux pertes par effet joule à travers les grilles de collectes et la résistance propre de semi-conducteur, ainsi qu'aux mauvais contacts (semi-conducteur, électrodes) elle s'exprime par :

$$R_s = \rho \frac{L}{S_g} + R_m \quad (III.3)$$

On appliquant la loi de Kirchhoff on aura :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Sh} \quad (III.4)$$

- I_{sh} : courant traversant R_{sh} , si R_s est très grand, il devient très faible et est indépendant de la tension.

$$I_{Sh} = \frac{V_D}{R_{Sh}} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{Sh}} \quad (III.5)$$

Car:
$$V_D = R_{Sh} \cdot I_{Sh} = V + R_s \cdot I \quad (III.6)$$

- I_D : courant de diode, il est de même ordre de grandeur que I_{Sh} pour les faibles tensions et il devient très grande au voisinage de V_{co} , il s'écrit sous forme :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qv}{AKT}} - 1 \right) \quad (III.7)$$

Remplaçons dans(III.4) les équations(III.5), (III.7), l'équation caractéristique deviendra :

$$I = I_{Ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V+R_S.I}{R_{Sh}} \quad (III.8)$$

A : est le facteur d'idéalité de la cellule qui dépend du mécanisme de recombinaison dans la zone de charge d'espace.

Pour les cellules actuellement commercialisées au silicium, on prend A=1

- L'équation du courant d'éclairement ramenée aux conditions de référence (Gr=1000W/m², Tr=25C°) est donné comme suit

$$I_{ph} = I_{cc} \frac{G}{G_r} + I_t(T - T_r) \quad (III.9)$$

- Le courant de saturation de la diode est donné comme suit

$$I_0 = I_0(T) \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot \exp \left[\frac{q.E_g}{Ak} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (III.10)$$

$$I_0(T) = \frac{I_{cc}(T)}{\frac{q.V_{oc}(T)}{(e^{AKT}-1)}} \quad (III.11)$$

➤ **Rendement de la cellule**

Le rendement maximum est le rapport de la puissance maximum fournit (Pmax) sur la puissance de rayonnement solaire incident(Pi) :

$$\eta_m = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_m.V_m}{E.S} \quad (III.12)$$

- Le schéma bloc du générateur photovoltaïque est présenté sur la figure

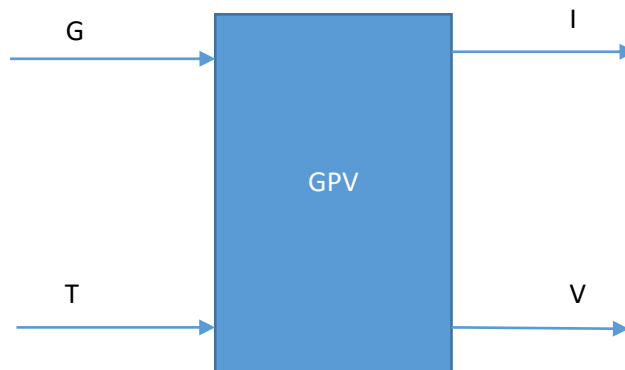


Figure (III.3) Schéma bloc de GPV.

III.2-Modélisation de convertisseur DC-DC

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continus-continus permettant de générer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. Permettant de contrôler la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

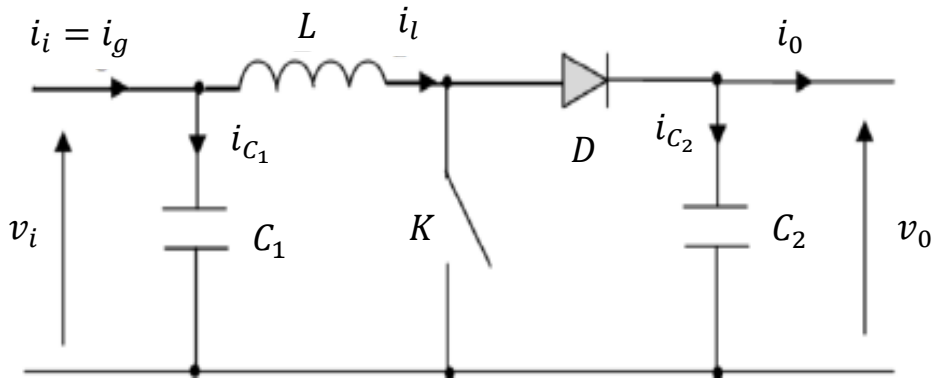


Figure (III.4) : Schéma de principe d'un convertisseur Boost [8].

III.2.1- Modélisation de hacheur (Boost)

Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance 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.

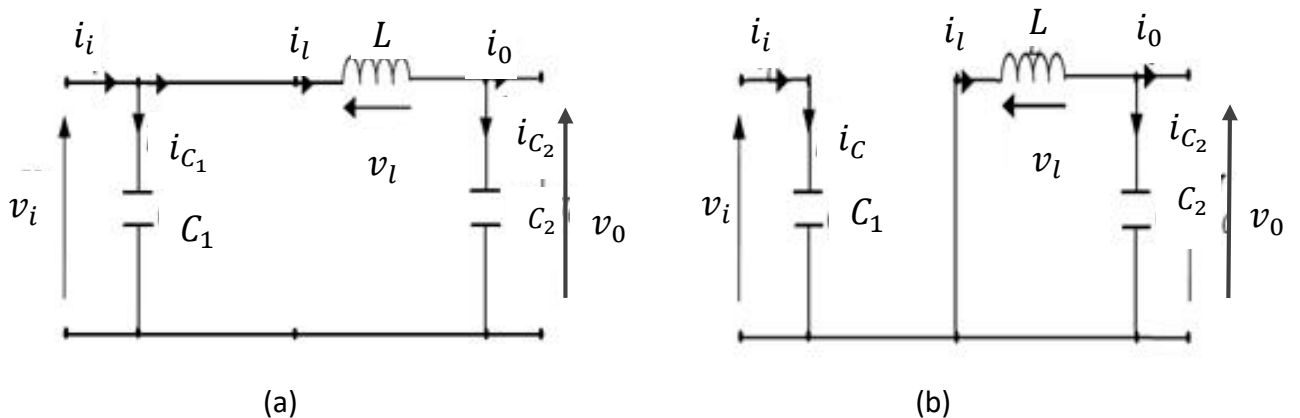


Figure (III.5) : Schémas équivalents du hacheur survolteur

(a) : K fermé ;(b) : ouvert [8].

Pour la première période dTs :

$$\begin{cases} i_{C_1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_l(t) \\ i_{C_2}(t) = C_2 \frac{dv_0(t)}{dt} = -i_0(t) \\ v_l(t) = L \frac{di_l}{dt} = -v_i(t) \end{cases} \quad (\text{III.13})$$

Pour la deuxième période (1-d) Ts

$$\begin{cases} i_{C_1}(t) = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_l(t) \\ i_{C_2}(t) = C_2 \frac{dv_0(t)}{dt} = i_l(t) - i_0(t) \\ v_l(t) = L \frac{di_l}{dt} = v_i(t) - v_0(t) \end{cases} \quad (\text{III.14})$$

Pour trouver une représentation dynamique valable pour tout la période T_s , on utilise généralement l'expression suivante.

$$\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle_{T_s} = \frac{dx}{dt_{DT_s}} + \frac{dx}{dt_{(1-D)T_s}} (1 - D)T_s \quad (\text{III.15})$$

En appliquant la relation (III.15) sur les systèmes d'équations (III.13) et (III.14).on trouve le modèle approximatif du convertisseur survolteur(Boost).

$$\begin{cases} i_l(t) = i_i(t) - C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} \\ i_0(t) = (1 - d)i_l - C_2 \frac{dv_i(t)}{dt} \\ v_i(t) = L \frac{di_l}{dt} + (1 - d)v_0 \end{cases} \quad (\text{III.16})$$

III.3. La commande MPPT

Un MPPT, (Maximum Power Point Tracker) est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs photovoltaïques ou encore avec les générateurs éoliens [11].

III.3.1. Principe du MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et l'éclairement), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{mpp} , I_{mpp}).

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure (III.6) [20].

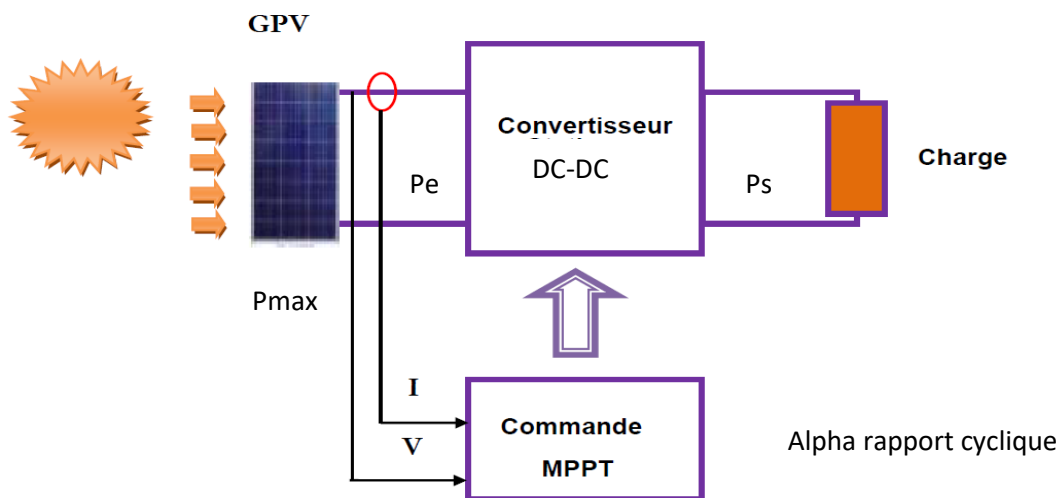


Figure (III.6): Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT[6].

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir.

La figure (III.7) illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

- Pour une variation d'ensoleillement (cas a), Il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2.
- Variations de température de fonctionnement du GPV (cas c). Bien qu'il faille également agir au niveau de la commande.
- Pour une variation de charge (cas b).

On peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande.

En résumé, le suivi du PPM.

Réalisé au moyen d'une commande spécifique nommée MPPT agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du GPV. Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV [21].

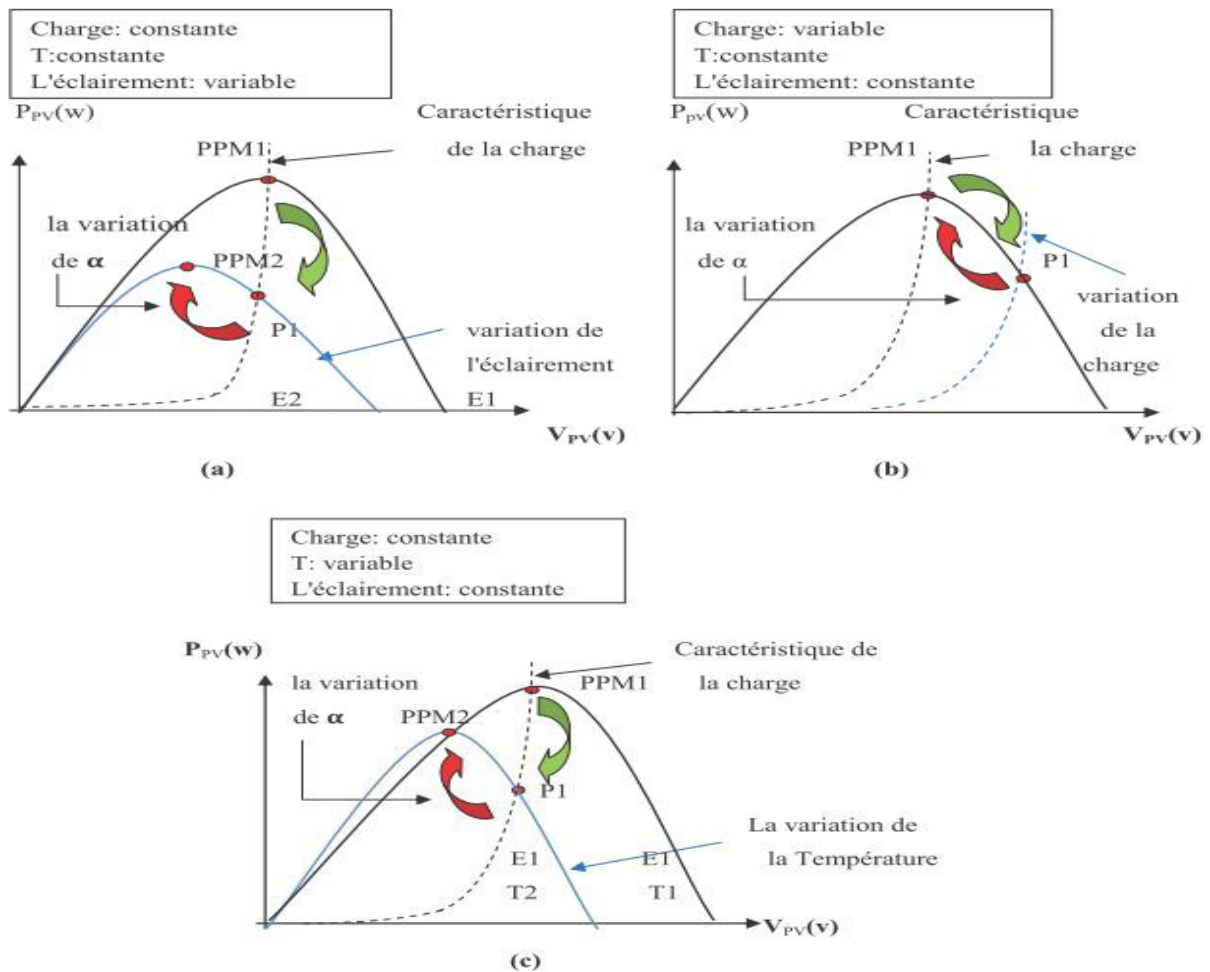


Figure (III-7) : Recherche et recouvrement du point de puissance maximale (a) suite à une variation d'éclairement, (b) suite à une variation de charge, (c) suite à une variation de température [11].

III.4 -convertisseur continu-alternatif DC-AC

Dans le système de pompage photovoltaïque, la connexion entre le générateur photovoltaïque et la pompe entraînée par un moteur à courant alternatif est faite par un onduleur. Ce dernier permet de réaliser un transfert optimal de puissance entre le générateur et le groupe moto- pompe sous les conditions variables de la puissance produite et de la demande en puissance. Ce transfert est contrôlé par variation de fréquence.

Selon le mode de commutation, on peut distinguer :

- Onduleur à onde rectangulaire
- Onduleur à créneaux de largeur variable.
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Le choix de l'une des solutions est tributaire des aspects suivants :

Coût, fiabilité, performances, disponibilité des composants, etc.

Dans notre système, nous pouvons utiliser un onduleur de tension en MLI triphasée, spécialement pour l'alimentation des récepteurs triphasés, tel qu'un groupe motopompe à tension et à fréquence variable.

III.4.1-Structure de convertisseur

Le convertisseur DC/AC se compose des parties suivantes :

- **Etage de puissance**

Il est constitué des semi-conducteurs de puissance (transistor ou thyristor) utilisés comme commutateurs. Son rôle est de hacher la tension continue d'entrée.

- **Circuit de génération des signaux MLI**

Ce circuit génère des signaux triphasés en modulation de largeur d'impulsion (MLI) et assure le transfert optimal de puissance du générateur vers le groupe motopompe, en maintenant le rapport tension / fréquence constant.

- **Alimentations**

Ce circuit imprimé sert à l'alimentation des différents circuits électroniques du convertisseur.

- **Circuit de régulation et de protection**

Ce circuit assure la régulation de la fréquence et la protection du groupe motopompe contre les surcharges et le manque d'eau.

III.4.2-Différents types d'onduleurs

Il existe deux types d'onduleurs qui se différencient par la nature de la fréquence de sortie, soit fixe ou soit variable, qui sont :

a- Onduleur à fréquence fixe

Son utilisation dans les systèmes de pompage nécessite l'interposition des batteries d'accumulateurs entre le générateur photovoltaïque et l'onduleur, ainsi la tension de fonctionnement du système est fixée par le système de stockage.

b- Onduleur à fréquence variable

Pour le fonctionnement au fil du soleil, assurant l'adaptation aux points de fonctionnement optimaux et utilisant des moteurs optimisés en rendement, cet onduleur s'adapte précisément aux systèmes de pompage photovoltaïques. Il délivre des signaux d'amplitude crête constante, mais de fréquence variable proportionnelle à la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque. La tension crête des impulsions est fixée par le circuit de contrôle de l'onduleur [18].

III.4.3-Modèle de l'onduleur de tension

Pour simplifier l'étude on suppose que :

- La commutation des interrupteurs est instantanée.
- La chute de tension aux bornes des interrupteurs est négligeable.
- La charge triphasée, est équilibrée, couplée en étoile avec neutre isolé.
- Les interrupteurs sont totalement commandables.

En s'appuyant sur ces hypothèses, on aboutit au schéma simplifié de la figure (III.8)

$v_{as}(t), v_{bs}(t), v_{cs}(t)$: Les tensions simples délivrées par l'onduleur.

$u_{ab}(t), u_{bc}(t), u_{ca}(t)$: Les tensions composées délivrées par l'onduleur [13].

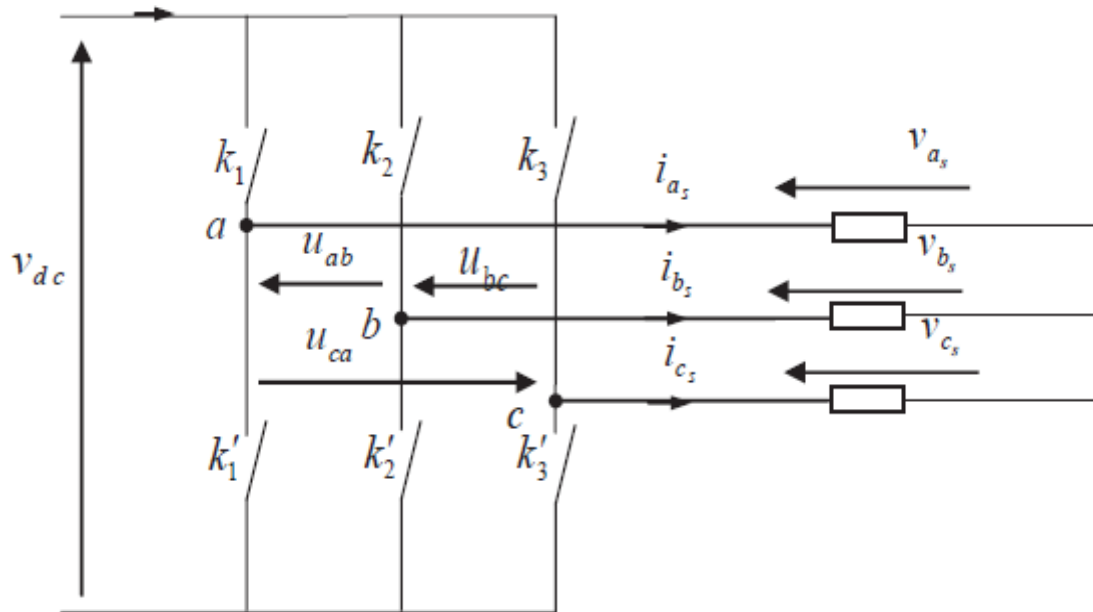


Figure (III.8) : Schéma équivalent de l'onduleur [18].

L'onduleur est modélisé en associant à chaque bras une fonction logique F qui détermine son état de conduction [18] :

$$F1 = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si } k_1 \text{ fermé et } k'_1 \text{ ouvert} \\ 0 \text{ si } k'_1 \text{ fermé et } k_1 \text{ ouvert} \end{array} \right\}$$

$$F2 = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si } k_2 \text{ fermé et } k'_2 \text{ ouvert} \\ 0 \text{ si } k'_2 \text{ fermé et } k_2 \text{ ouvert} \end{array} \right\}$$

$$F3 = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si } k_3 \text{ fermé et } k'_3 \text{ ouvert} \\ 0 \text{ si } k'_3 \text{ fermé et } k_3 \text{ ouvert} \end{array} \right\}$$

Ainsi les tensions de ligne sont données par

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{ab} = v_{as} - v_{bs} = v_{ds}(F_1 - F_2) \end{array} \right. \quad \text{(III.17)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{bc} = v_{bs} - v_{cs} = v_{dc}(F_2 - F_3) \end{array} \right. \quad \text{(III.18)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{ca} = v_{cs} - v_{as} = v_{dc}(F_3 - F_1) \end{array} \right. \quad \text{(III.19)}$$

Dans l'hypothèse on a les tensions v_{as}, v_{bs}, v_{cs} forment un système de tensions triphasées équilibrées alors de (III.17)-(III.19) en trouve :

$$v_{as} = \frac{v_{ds}}{3} (2F_1 - F_2 - F_3) \quad (III.20)$$

De (III.17)-(III.18) on trouve :

$$v_{bs} = \frac{v_{ds}}{3} (2F_2 - F_1 - F_3) \quad (III.21)$$

De (III.18)-(III.19) on trouve :

$$v_{cs} = \frac{v_{ds}}{3} (2F_3 - F_1 - F_2) \quad (III.22)$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \frac{v_{ds}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (III.23)$$

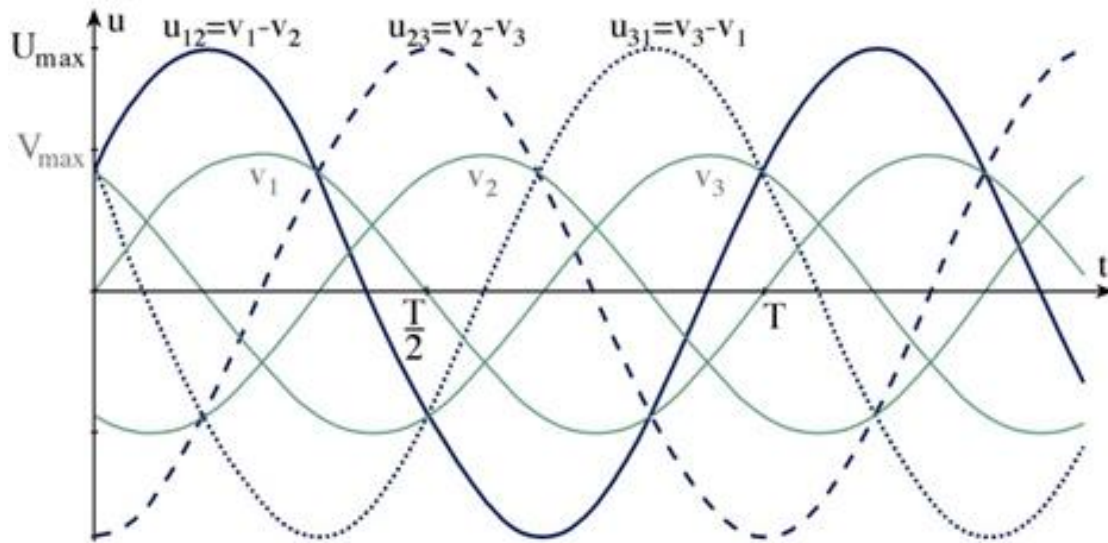


Figure (III.9) : Tension simple et composée à la sortie de l'onduleur [11].

III.5-Modélisation de la pompe centrifuge

Le fonctionnement d'une pompe centrifuge met en jeu 3 paramètres, la hauteur, le débit et la vitesse ayant pour équation :

$$f(H, Q, W) = 0 \quad (\text{III.24})$$

Pour résoudre ce système d'équations, on considère l'un des 3 paramètres constant, en général c'est la vitesse qui est constante.

La hauteur totale du pompage est la somme de la hauteur statique et la hauteur dynamique.

$$H = H_s + H_d \quad (\text{III.25})$$

III.5.1-Les pertes de charge

Représentent les pertes de pression dues aux différents obstacles s'opposant au déplacement du fluide pompé, On distingue [8] :

III.5.1.1- Les pertes de charge linéaires

Produites par le frottement du fluide sur les parois des conduites .Elles sont données par la formule suivante :

$$\Delta H_1 = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2.g} \quad (\text{III.26})$$

V : Vitesse moyenne du fluide (m/s) est donnée par :

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{III.27})$$

Donc :

$$\Delta H_1 = \lambda \frac{l}{D} \left(\frac{8Q^2}{\pi D^2 g} \right) \quad (\text{III.28})$$

On remarque que les pertes de charges linéaires sont proportionnelles à la longueur de canalisation, ces pertes diminuent quand on augmente le diamètre de la canalisation.

III.5.1.2 -Les pertes de charge singulières

Produites par tout phénomène local tel que le changement de section ou de direction dans la conduite, vanne,...etc. Elles sont données par la formule suivante :

$$\Delta H_2 = E \frac{V_2}{2.g} = \varepsilon \frac{8.Q^2}{\pi^2 D^4 g} \quad (\text{III.29})$$

La hauteur dynamique est la somme des deux pertes :

$$\Delta H_d = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (\text{III.30})$$

$$H_d = \left(\lambda \frac{l}{D} + E \right) . E \frac{8.Q^2}{\pi^2 D^4 g} = K_{fr} . Q^2 \quad (\text{III.31})$$

La hauteur totale de pompage est

$$H_d = H_s + K_{fr} . Q^2 \quad (\text{III.32})$$

III.5.2- Caractéristiques d'une pompe centrifuge

III.5.2.1- Caractéristique Débit -vitesse

La pompe centrifuge est conçue pour une hauteur manométrique (HMT) relativement fixe. Le débit de cette pompe varie en proportion de la vitesse de rotation du moteur. Son couple augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est en fonction du carré de la vitesse du moteur [19].

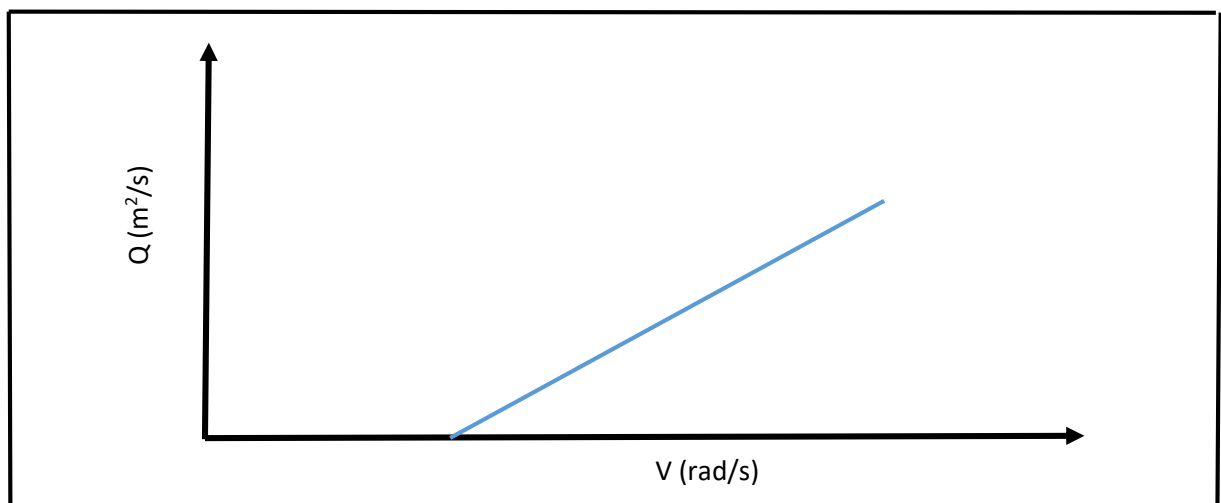


Figure (III.10) : Caractéristiques d'une pompe centrifuge [8].

III.5.2.2 -Caractéristiques couple - vitesse

Le couple du moteur augmente très rapidement en fonction de cette vitesse et la hauteur de refoulement est en fonction du carré de la vitesse du moteur. La vitesse de rotation du moteur devra donc être très rapide pour assurer un bon débit. Parce que le couple de démarrage est limité au couple de frottement de la pompe à vitesse nulle (qui est plus important qu'en rotation), la pompe requiert une vitesse minimale à une HM donnée pour obtenir un débit de départ non nul.

Donc la pompe centrifuge oppose un couple résistant C_r :

$$C_r = K_r \omega^2 + C_s \quad (\text{III.33})$$

L'équation de puissance mécanique de la pompe est aussi déterminée en fonction de la vitesse est donnée par la relation suivante :

$$P_{méc} = K_r \cdot \omega \quad (\text{III.34})$$

III.5.3- Calcul de la puissance :

L'expression générale de la puissance hydraulique est donnée comme suit :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (\text{III.35})$$

L'autre expression à considérer est celle de la puissance absorbée par une pompe, c'est à dire la puissance nécessaire pour son entraînement mécanique, est exprimée par la relation suivante :

$$P_m = 9.81 \cdot r \cdot Q \cdot H / \eta_p \quad (\text{III.36})$$

III.5.4-Calcul du rendement

Pour les groupes électropompes (pompe + moteur), les fabricants donnent généralement la courbe du rendement. Comme on peut tracer la courbe de rendement hydraulique en utilisant la formule :

$$\eta_h = \frac{P_h}{P_{ab}} \quad (\text{III.37})$$

Généralement le rendement maximal du groupe motopompe ne dépasse pas **72%** [19].

III.6-Modèle de simulation

Nous avons utilisé le modèle SIMULINK, en nous basant sur le modèle mathématique décrit par les équations étudiées précédemment, nous avons utilisé un panneau photovoltaïque de 36 cellules, de puissance $P = 60W$

L'implémentation sous Simulink du modèle mathématique du GPV est illustrée sur la figure suivante.

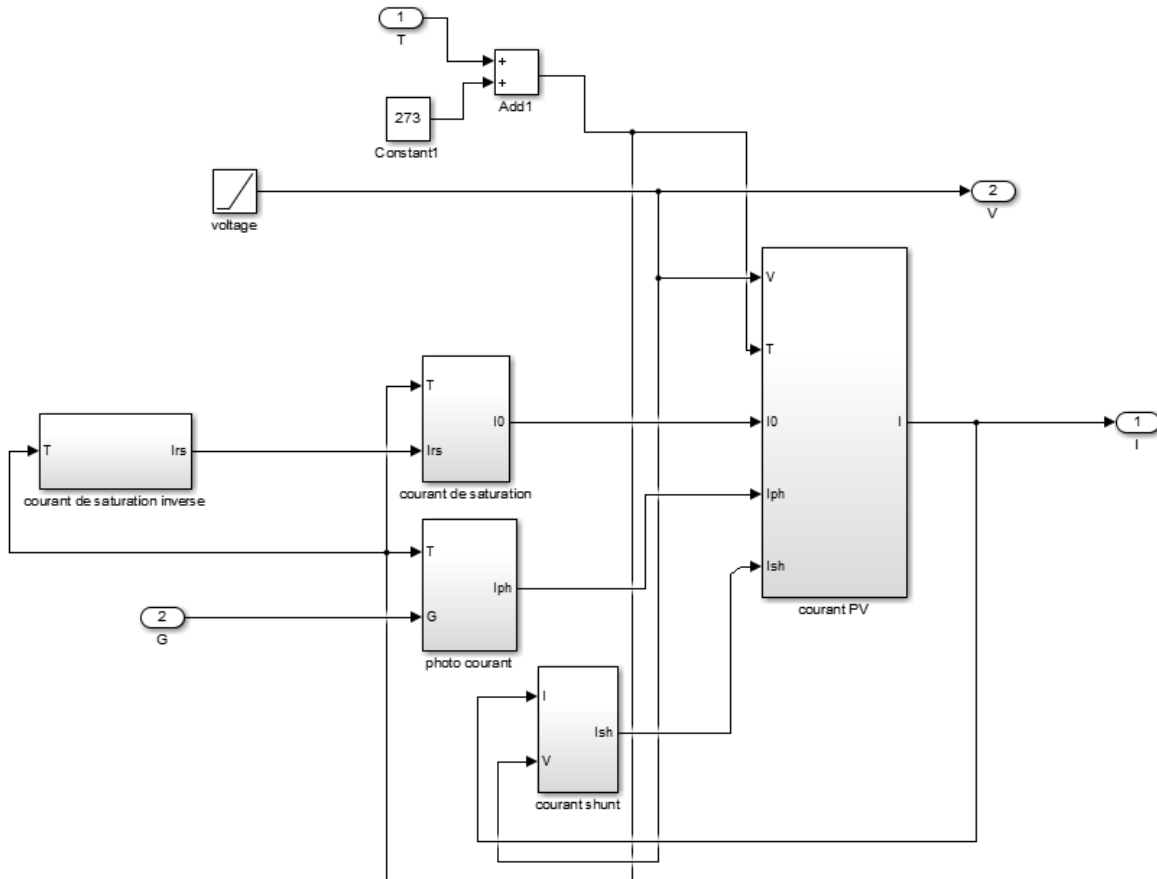
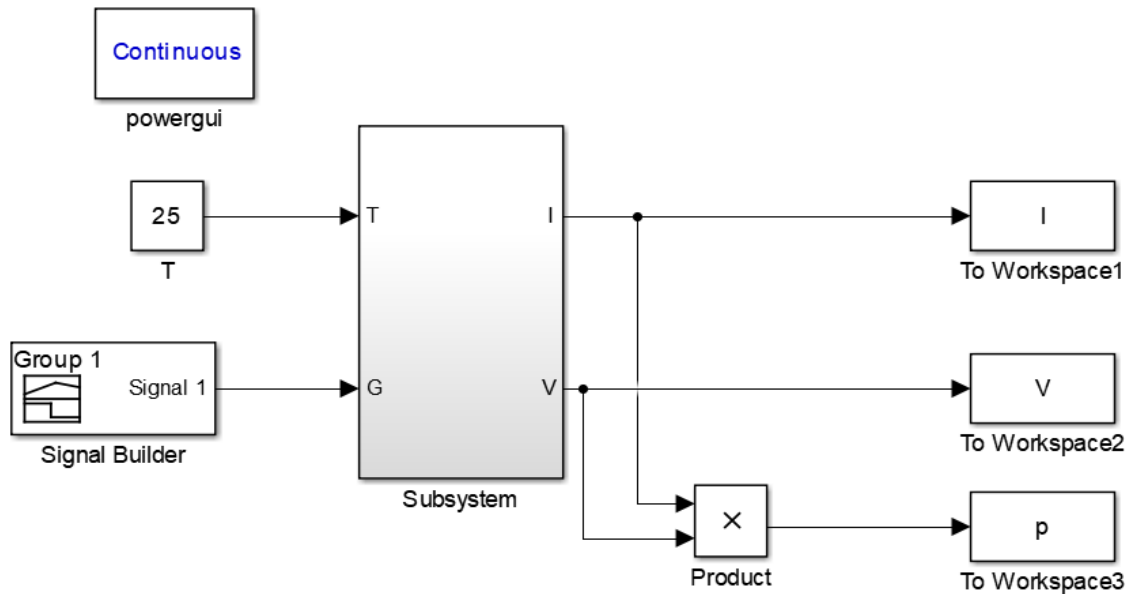


Figure (III.11) : Schéma bloc du GPV sous Simulink.

La figure ci-dessus représente un Système permettant d'obtenir les caractéristiques I/V et P/V du GPV sous Matlab :

Le but de cette simulation est d'observer l'influence de l'irradiation et de la température ambiante sur le rendement du GPV.



Figure(III.12) : Système permettant d'obtenir les caractéristiques I/V et P/V du GPV.

Les spécifications du panneau solaire utilisé dans notre simulation et les paramètres du système sont données dans le tableau suivant :

Puissance maximal $P_m(W)$	60
tension en circuit ouvert $V_{OC}(V)$	21.1
Intensité du Courant du court-circuit $I_{sc} (A)$	3.8
La tension au point de puissance maximale $V_{pm} (V)$	17.04
facteur d'idéalité de diode	0.767
Charge électronique $q (C)$	$1.6 e^{-19}$
Résistance shunt $R_{sh} (ohms)$	124.86
Résistance série $R_s (ohms)$	0.51
Nombre des cellules	36

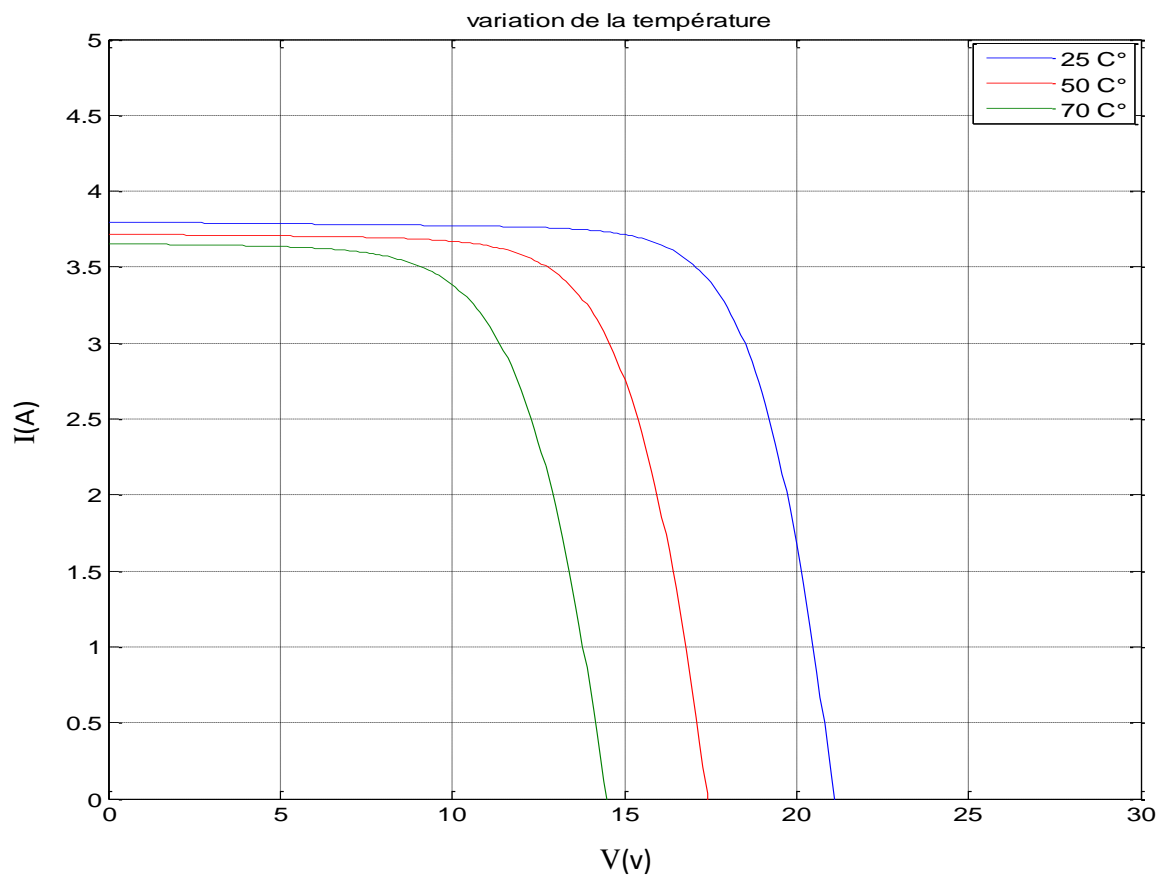
Tableau (III.1) : Cahier de charge du panneau solaire utilisé.

Pour visualiser l'influence de l'éclairement, on fixe la température ambiante à ($T = 25^{\circ}\text{C}$) et on fait varier l'éclairement dans une gamme suffisante.

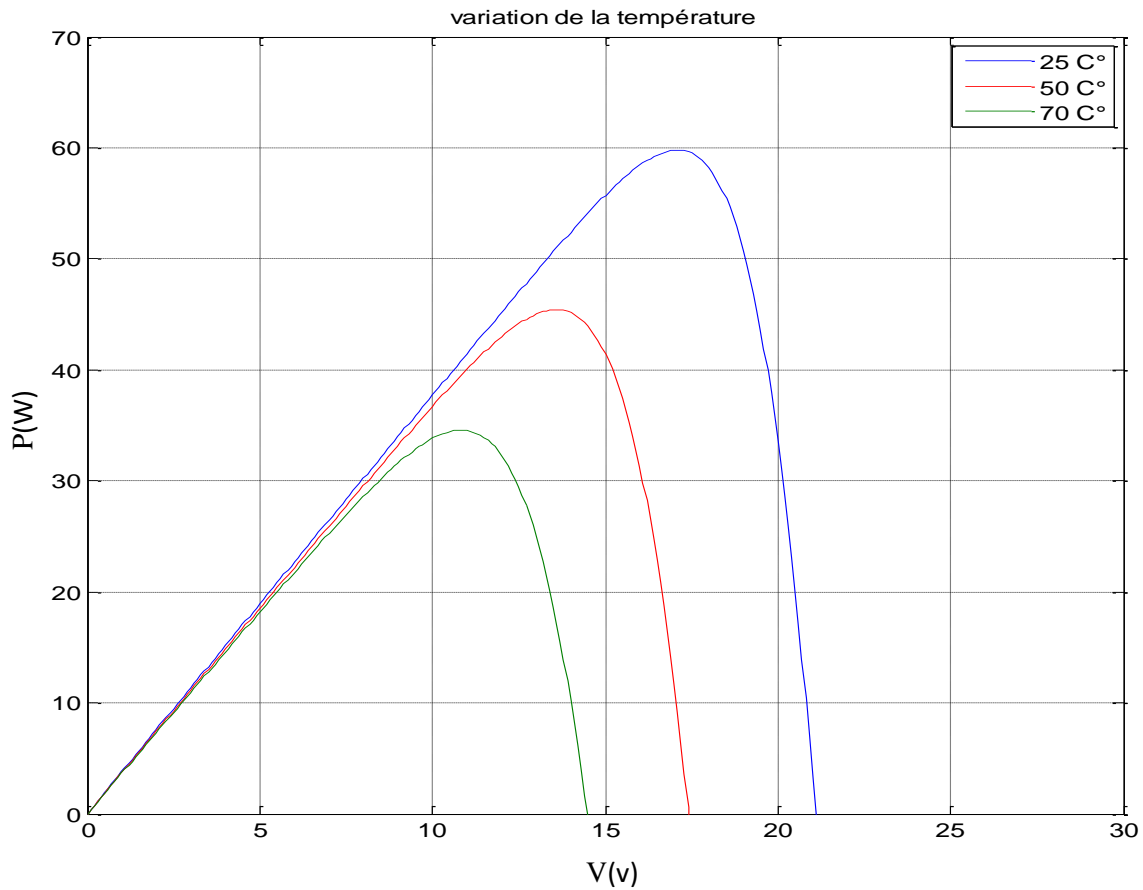
Pour visualiser l'influence de la température ambiante, on fixe l'éclairement à ($G = 1000\text{W}/\text{m}^2$) et on fait varier la température.

➤ **Résultats de la simulation**

L'influence de la température, les caractéristiques ($I = f(V)$) et ($P = f(v)$) sont données par les figures (III.13) et (III.14) :



Figure(III.13) : caractéristique (Courant –Tension).



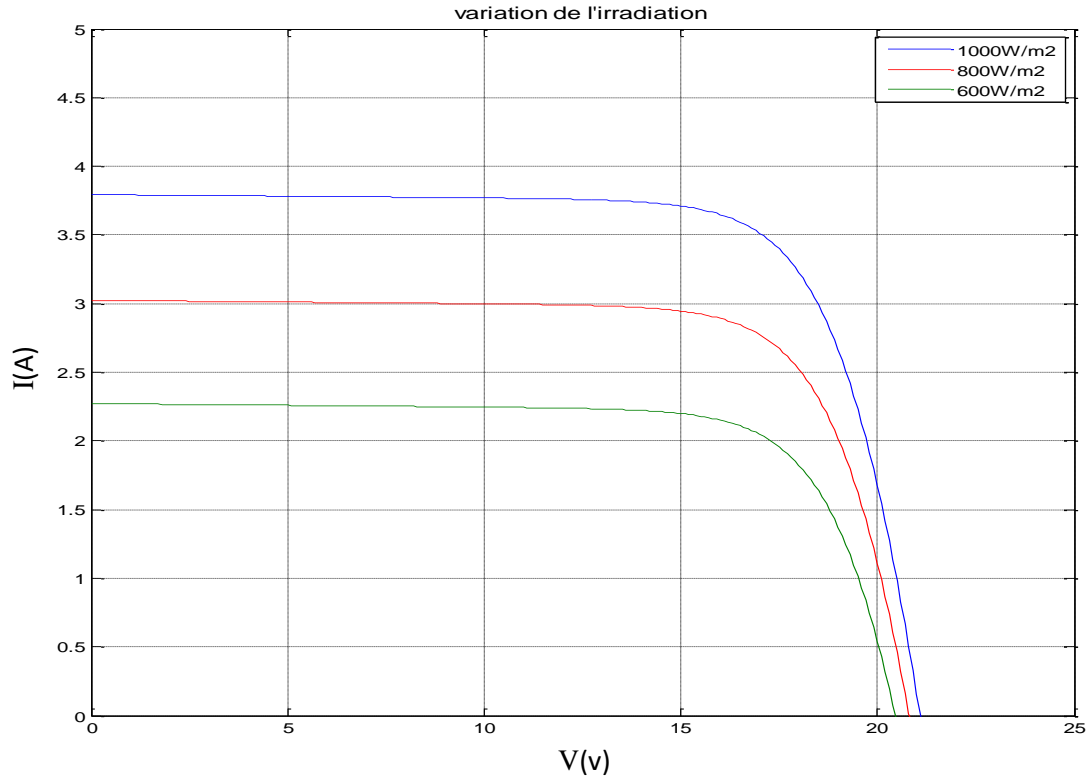
Figure(III.14) : Caractéristiques (puissance –Tension).

Interprétation

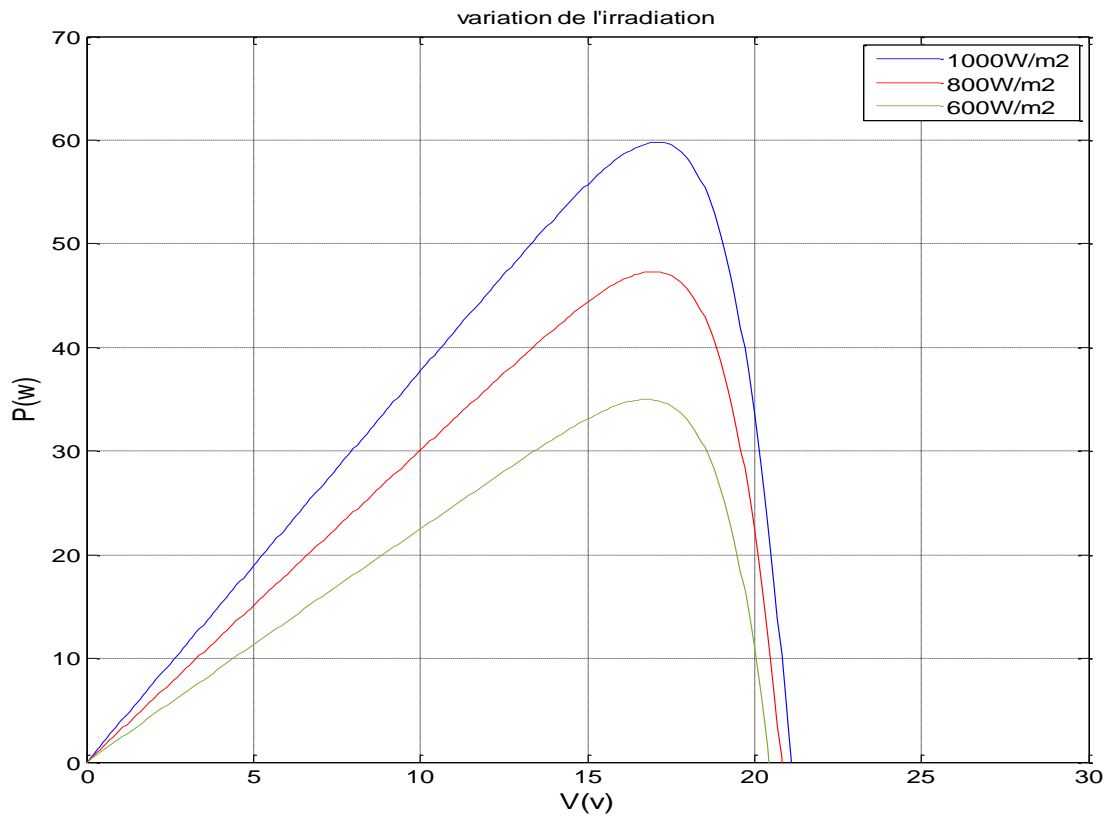
D'après la figure (III.13) on remarque que l'augmentation de la température fait diminuer la tension du circuit ouvert, et le courant reste presque constant.

D'après la figure(III.14) on remarque que l'augmentation de la température fait diminuer la puissance ainsi que la tension du circuit ouvert du GPV.

- ✓ Pour l'influence de l'éclairement, les caractéristiques ($I = f(V)$) et ($P = f(v)$) sont données par les figures (III.12) et (III.13) :



Figure(III.15) : caractéristiques (Courant –Tension).



Figure(III.16) : caractéristiques (Puissance –Tension).

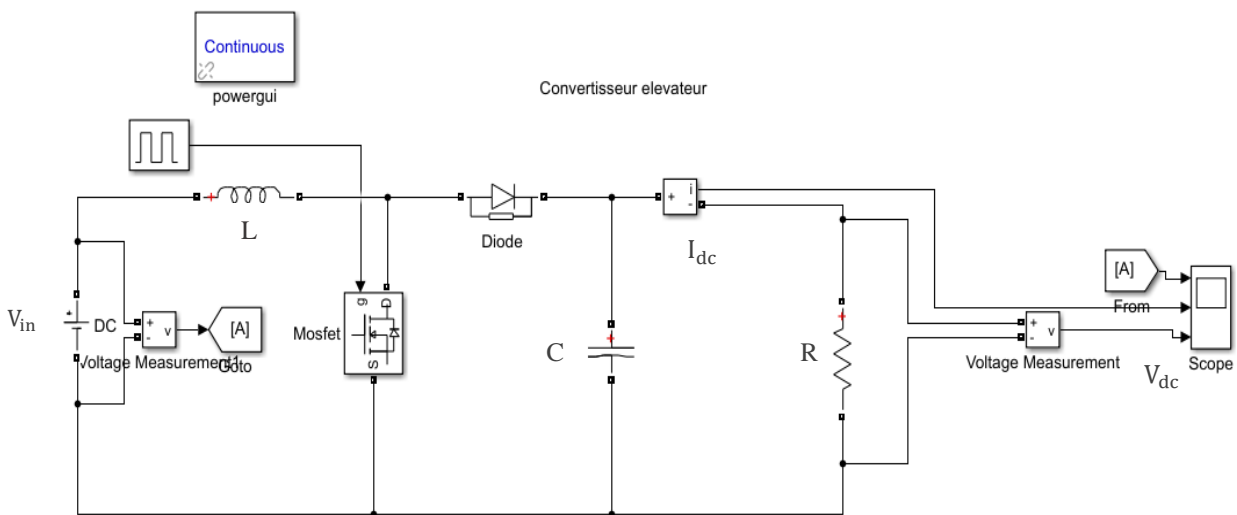
Interprétation

D'après la figure(III.15), on remarque une forte diminution du courant en diminuant l'éclairement, et la tension de circuit ouvert subit une légère diminution.

D'après la figure(III.16), on remarque que la puissance et la tension du circuit ouvert est proportionnelle à l'éclairement.

➤ **Simulation d'un hacheur élévateur (boost)**

Le Schéma bloc d'un hacheur élévateur sous MATLAB-SIMULINK est représenté sur la figure suivante :



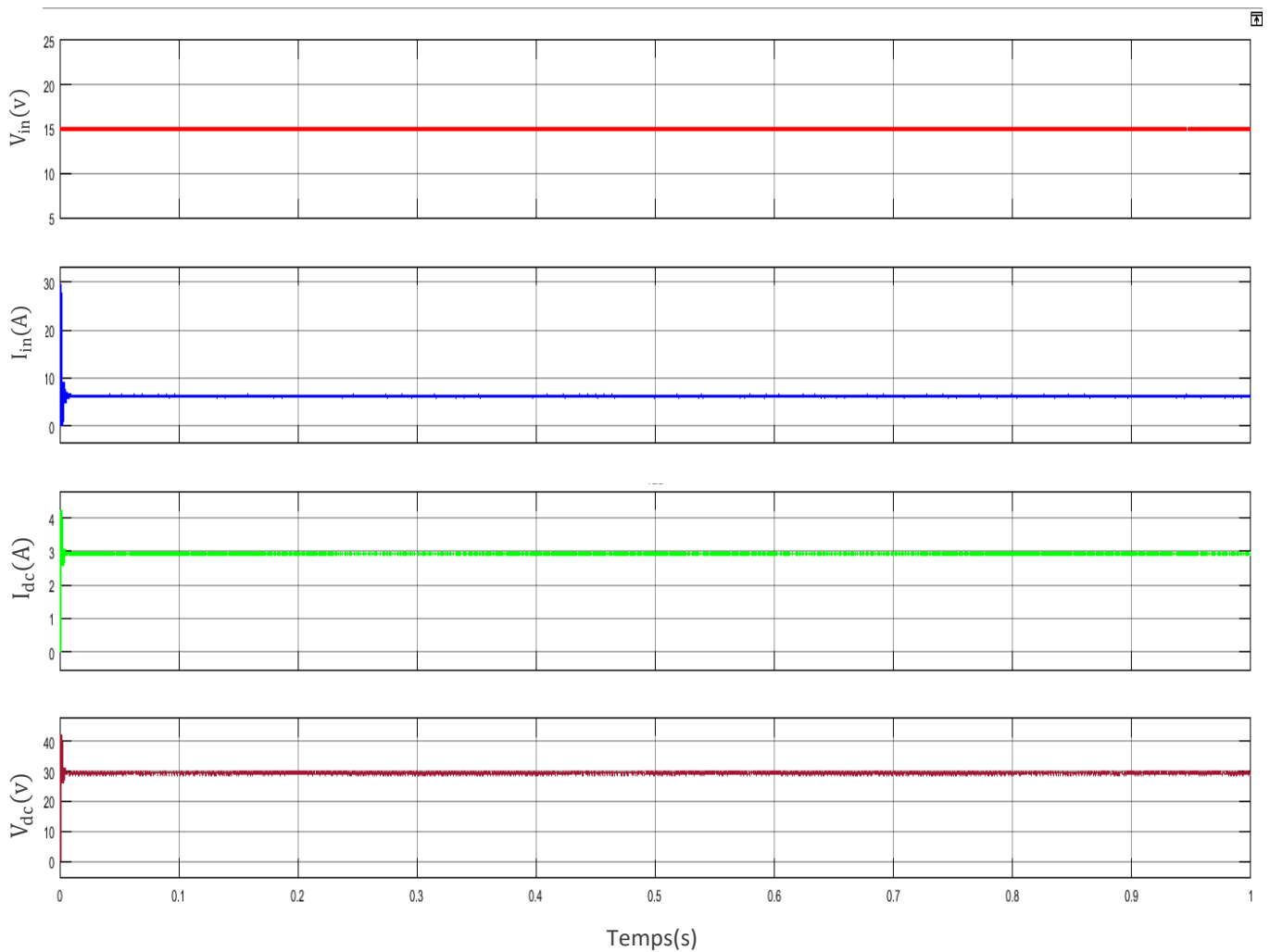
Figure(III.17) : Convertisseur élévateur sous Matlab/Simulink.

Les paramètres de la simulation du hacheur sont représentés dans le tableau suivant :

source d'entrée continue $V_{in}(A)$	15
l'inductance $L(H)$	$50 e^{-3}$
capacité $C(F)$	$1500 e^{-6}$
charge résistive R (ohms)	10

Tableau(III.2) : Paramètres de la simulation du hacheur.

➤ Résultats de la simulation



Figure(III.18) : Courbes de tension, courant d'entrée/sortie du convertisseur élévateur.

Interprétation

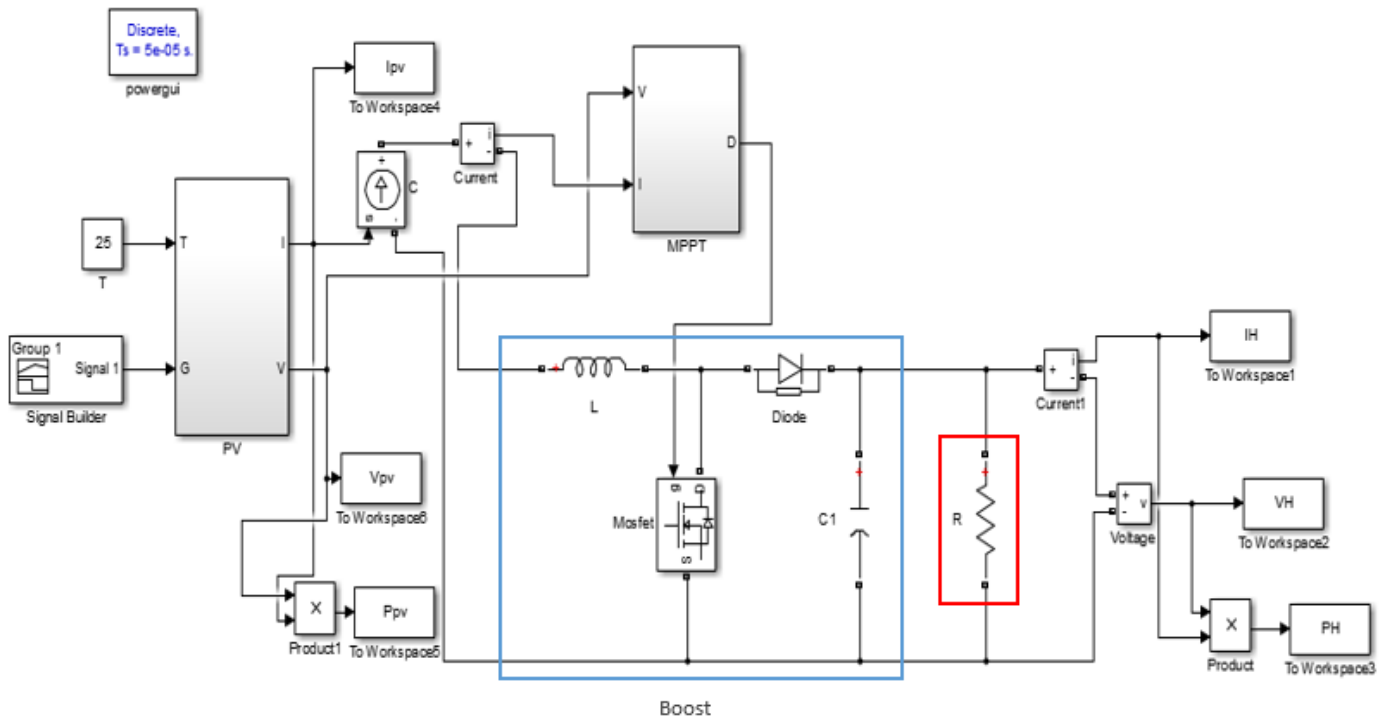
On constate que la tension de sortie est élevée (augmentée) tandis que le courant de sortie est abaissé, bien sûr en gardant la même puissance, sauf qu'il va avoir quelques pertes due aux différents composants de l'électronique de puissance qui consomment de l'énergie (L, C et le switch IGBT en MOSFET).

L'avantage majeur de ce type d'hacheur est l'obtention d'une tension élevée pour alimenter des charges à haute tension.

➤ **Simulation de la commande MPPT avec un hacheur élévateur (boost)**

Parmi les techniques de commande MPPT du hacheur (Boost), nous avons choisi la méthode de la Perturbation et Observation (P&O) pour sa simplicité.

Le schéma bloc qui permet d'avoir la simulation d'un GPV et d'un hacheur commandé en MPPT est représenté sur la figure suivante :



Figure(III.19) : Modèle Simulink pour la simulation d'un GPV et un hacheur commandé en MPPT.

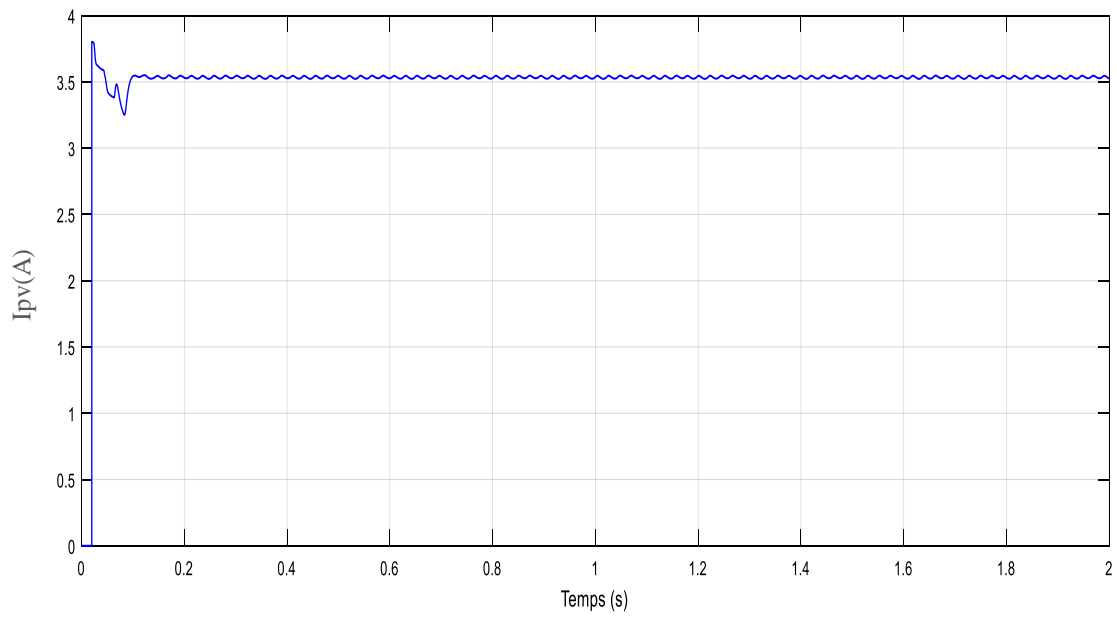
Les paramètres de la simulation sont représentés dans le tableau suivant :

Puissance du module P(W)	60
Inductance de hacheur L(H)	$2 \cdot 10^{-5}$
Capacité de hacheur C (F)	$100 \cdot 10^{-6}$
Rapport cyclique α	0.5
Irradiation solaire G (W/m ²)	1000
Température T(C°)	25

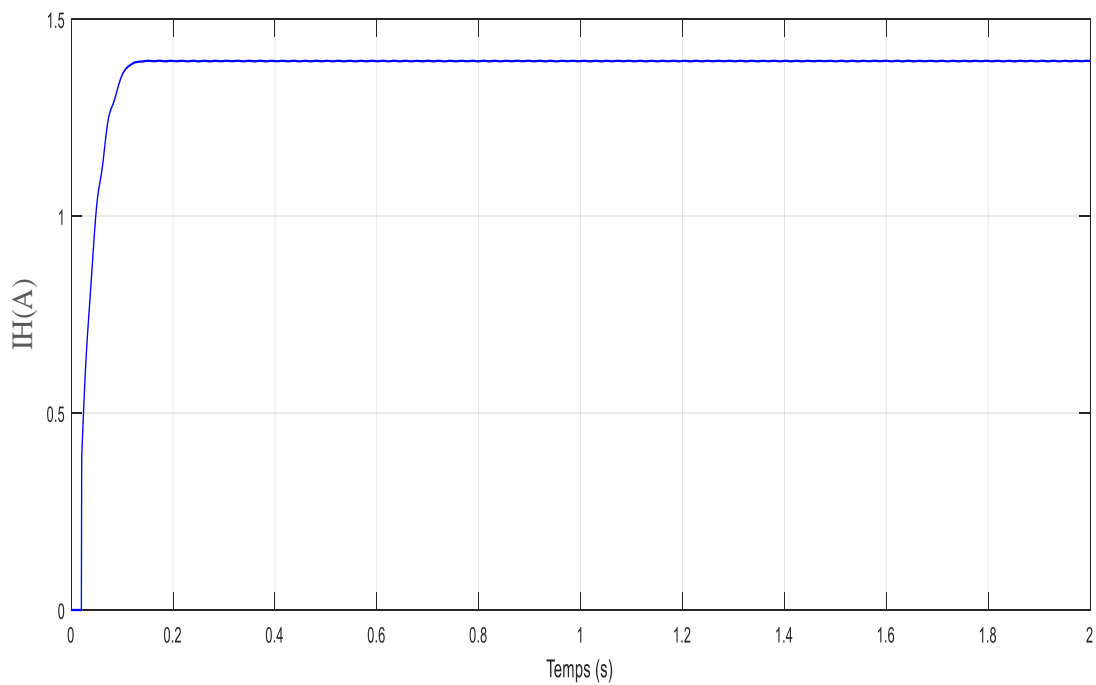
Tableau(III.3) : Paramètres de la simulation

➤ Résultats de la simulation

a- Le courant



Figure(III.20) : Courant de sortie du panneau PV.

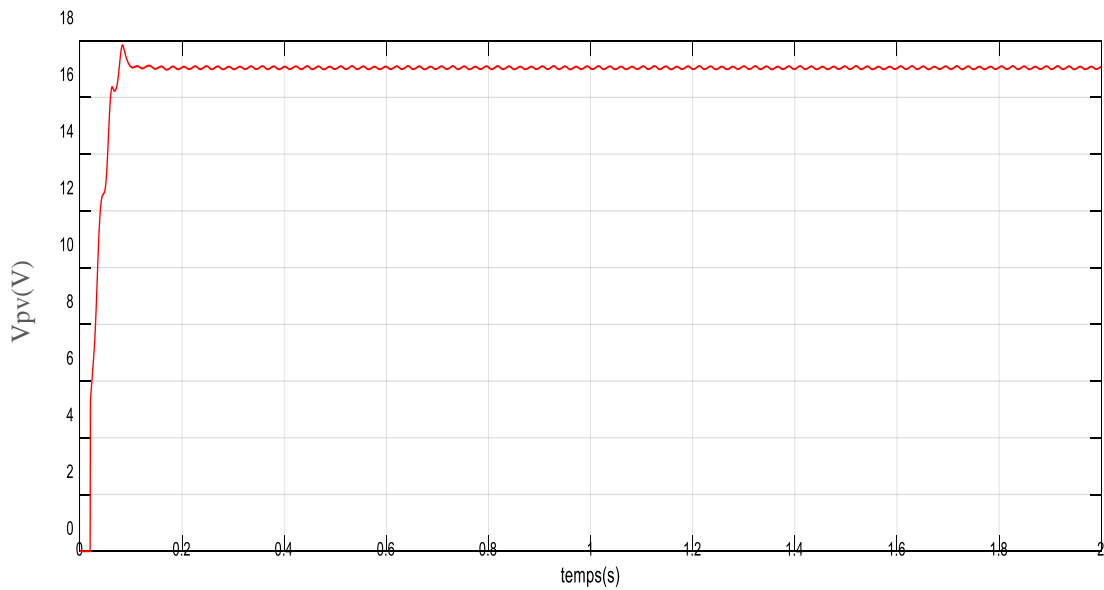


Figure(III.21) : Courant de sortie du hacheur boost.

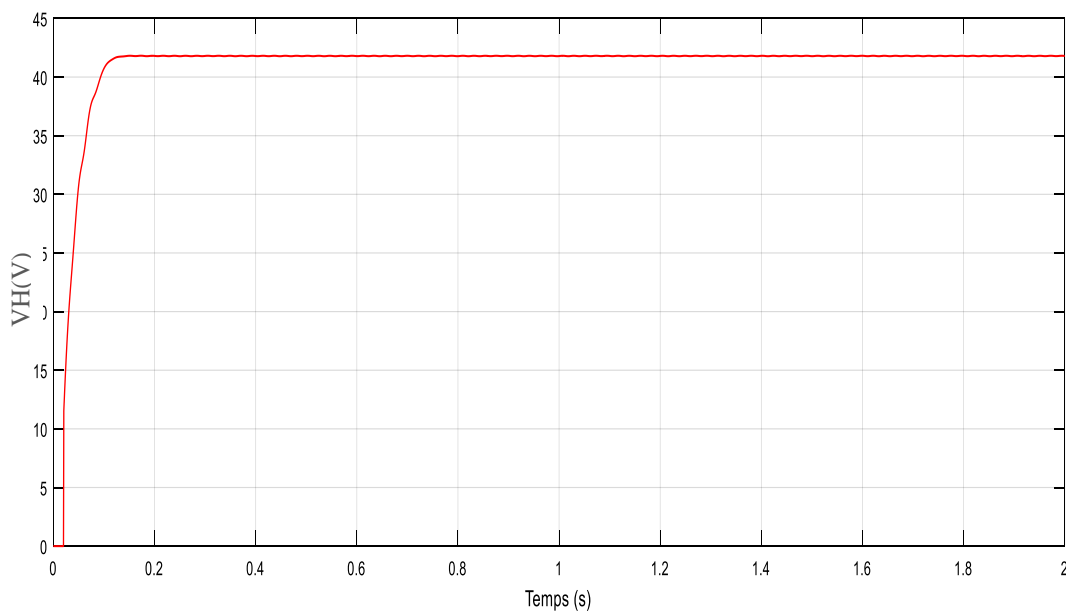
Interprétation

D'après les figures (III.20) et (III.21), nous remarquons que, le courant de sortie du hacheur est abaissé par rapport au courant de sortie du panneau PV dans la figure (III.21), c'est le rôle d'un hacheur boost. Ce qui confirme la variation du courant en fonction de l'irradiation.

b- la tension



Figure(III.22) : Tension de sortie de panneau PV.

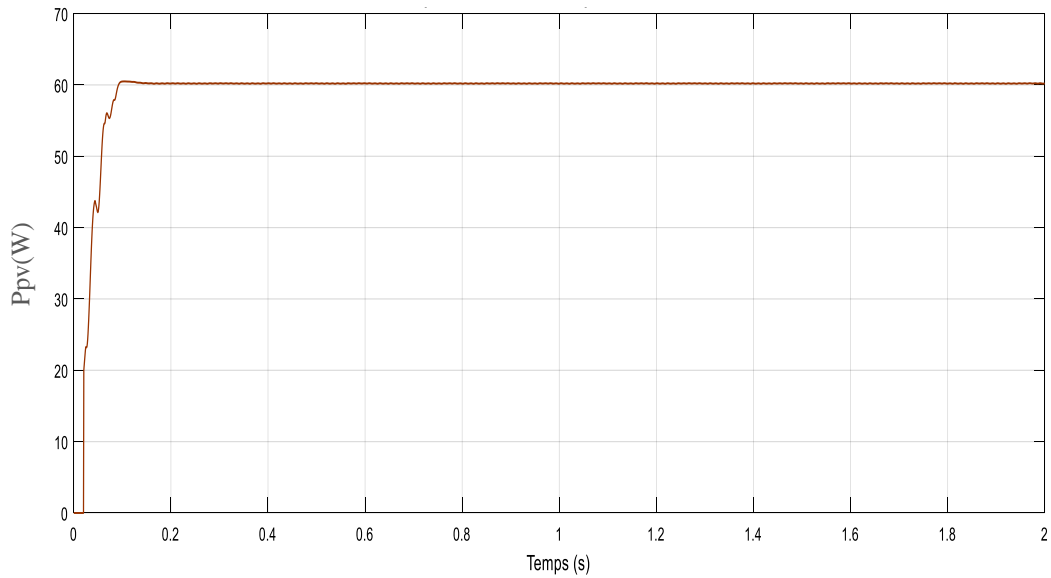


Figure(III.23) : Tension de sortie de hacheur boost.

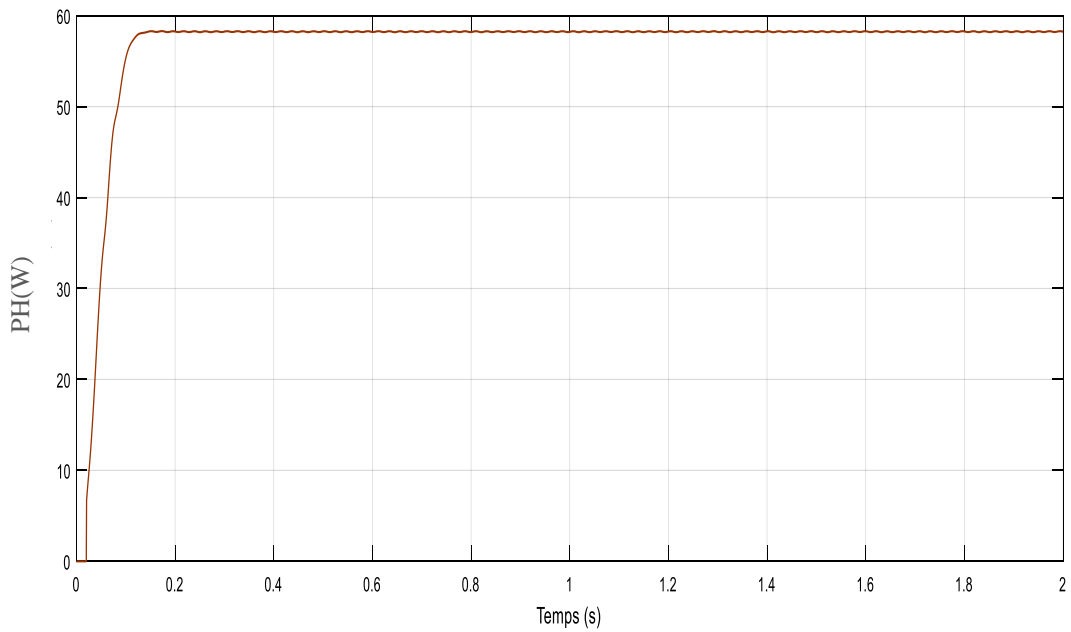
Interprétation

A partir des figures (III.22) et (III.23) nous remarquons la fiabilité de la commande P&O par ce qu'il y a une proportionnalité entre la tension de sortie du panneau et la tension de sortie du hacheur boost (augmentation de la tension de sortie du hacheur).

C-La puissance



Figure(III.24) : Puissance de sortie du panneau PV.



Figure(III.25) : Puissance à la sortie de hacheur.

Interprétation

Nous avons remarqué une petite différence entre la puissance de sortie du panneau et celle de la sortie du hacheur, cette différence représente la puissance consommée par le hacheur à cause de la diode et le MOSFET qui ne sont pas idéaux.

La figure(III.25) montre bien que le GPV fonctionne à sa puissance maximale quel que soit l'irradiation, même à faible irradiation. Cela est assuré par la commande MPPT.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation des différents parties du système de pompage photovoltaïque, tels que les cellules photovoltaïques, les convertisseurs (onduleur et régulateur) et la pompe, afin de faciliter l'accès à la simulation globale des différents composants du système.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

On a démontré au cours de notre étude qu'un bon dimensionnement permet d'exploiter l'énergie de façon optimale. Ce qui augmente le rendement et la fiabilité du système.

L'utilisation de l'énergie solaire dans les sites isolés pour différentes applications tel que le pompage d'eau présente un intérêt très important, cependant les générateurs photovoltaïques possèdent deux inconvénients majeurs qui sont un rendement faible et un coup élevé, cela se vérifie sur la caractéristique ($I-V$) sous l'influence de différentes températures et l'irradiation. L'étude nous a montré que le meilleur rendement du panneau photovoltaïque est obtenu pendant les journées froides avec ciel dégagé.

Les résultats de la simulation ont démontré le rôle de convertisseur DC/DC de type boost qui fournit une tension continue. Ce convertisseur présente l'avantage d'être un élévateur de tension ce qui permet à ce système de s'adapter aux changements météorologiques et pour extraire le maximum de puissance disponible, et ainsi que l'intérêt d'un dispositif de recherche de la puissance maximale. La méthode P&O (perturbation and observation) a été choisie pour implanter un algorithme de poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale du panneau PV (MPPT).

Enfin, il semble que l'avenir de pompage d'eau surtout dans les sites isolés est pour l'énergie solaire photovoltaïque. En effet, l'augmentation incontrôlée des prix des carburants et l'épuisement inévitable de ce type de ressources classiques favorisent considérablement l'utilisation des énergies renouvelables.

Bibliographie

[1] : Degla Mohammed et Larbi Ben Ahmed Bachir, Mémoire de MASTER PROFESSIONNEL, Domaine Sciences et Technologies, « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque » Filière Electronique, Spécialité Instrumentation, université kasdi merbah ouargla, 2017.

[2] : BOUZERIA HAMZA, Thèse de doctorat 3ème cycle LMD en Électrotechnique, « modélisation et commande d'une chaîne de conversion photovoltaïque », université hadj lakhdar batna, 2016.

[3] : Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy « Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA.

[4] : A. Hadj Arab¹, M. Benghanem² et A. Gharbi¹, Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26 « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », 1 CDRE et 2 USTHB.

[5] : Sergio Camilo Gualteros martinez, Outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des systèmes de pompage solaire PV, école de technologie supérieure Montréal, 2017.

[6] : Mohamed Lakhdar Louazene, mémoire de magister, électrotechnique, option maîtrise d'énergie, Université El hadj lakhdar – batna, 2008.

[7] : Site web (Internet), www.solaris-store.com/content/44-principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire.

[8] : Melle DEBILI Narimene, mémoire présentée pour l'obtention du diplôme de Magister en Electronique, « étude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », Université Constantine¹, 2014/2015.

[9] : Rachid Chenni, thèse doctorat en sciences en physique énergétique, « étude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire », Université Mentouri de Constantine, 2007.

[10] : Site web (Internet), http://www.institut-solaire.com/la_vie_du_solaire.htm

[11] : Site web (Internet), <http://www.Wikipédia.com>

BIBLIOGRAPHIE

[12]: Baukhers Djamil, mémoire de Magister en Electrotechnique « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application », Université Mentouri de Constantine, 2007.

[13] : Saïd Keddache et Rabah Baoudj, Mémoire Master Académique « étude et simulation de système de pompage d'eau par le procédé photovoltaïque » spécialité Réseaux électriques UMMTO, 2013.

[14] : A. Hadj Arab 1, M. Benghanem 2 et A. Gharbi 1, Article, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Bouzaréah, Alger, Faculté de Génie Electrique, U.S.T.H.B., B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger, 2005.

[15] : Melle Djioua Chafiaa et Melle Chiout Tinhinane, « Etude et simulation d'un système de pompage d'eau par énergie photovoltaïque », UMMTO, 2014.

[16] : Ait Kahina « dimensionnement et installation d'un système photovoltaïque, application à la FGEI », mémoire d'ingénieur d'état en électronique, UMMTO, 2009.

[17]: A.Hadj Arab , F.Chenla et M.Bella, article, « performance of the centrifugal and displacement pumps » WREC 1998 ,PP 1951-1954 .

[18] : DIAF YOUSOUF BEN ANTER DJAMAL , mémoire de Master en Electrotechnique Industriel, « modélisation et commande d'un onduleur triphasé pilote par MLI à structure multi niveaux », Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011/2012.

[19] : M. Masour Niang et Souleymane Diop, « Les pompe solaires, Dimensionnement d'une station de pompage en zone maraîcher » Institut Supérieur de Technologie Industrielle-DIT électrotechnique- Electromécanique-Froid et Climatisation, 2008.

[20] : SLAMA Fateh, Mémoire de Magister, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique » Université Ferhat Abbas –SETIF, 2011.

BIBLIOGRAPHIE

[21] : S.Lhlah Mémoire de Magister, « Etude comparative des techniques MPPT Perturbation and Observation (P&O), Incremental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C) » Université El hadj Lakhdar, Batna, 2007.

[22] : MOHAMED ARROUF, Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de Docteur d'Etat Spécialité Electronique, « optimisation de l'ensemble onduleur, moteur et pompe branche sur un générateur photovoltaïque », 2007.

[23] : Site web (Internet), www.panellipumps.it

Résumé

L'utilisation de l'énergie solaire dans les sites isolés pour différentes applications, tel que le pompage d'eau, présente un intérêt primordial pour la population des pays en voie de développement qui n'a pas d'accès sûr à l'eau potable. Mais les générateurs photovoltaïques possèdent deux inconvénients majeurs qui sont un rendement faible et un coût élevé.

Les systèmes solaires de pompage de l'eau pour fournir des approvisionnements domestiques, bétail et irrigation en eau dans des régions éloignées, ont gagné énormément d'acceptation, fiabilité et performance et de nos jours ils appartiennent à la plupart des applications significatives d'énergie photovoltaïque. Ceci peut être principalement attribué au fait qu'il n'est pas économiquement faisable de relier de tels sites éloignés au réseau électrique.

Mot clé

Système Pompage photovoltaïque, l'énergie solaire, l'eau solaire, générateur photovoltaïque, Energie renouvelable, Modélisation et Simulation, Pompe centrifuge.