



République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère
de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hama Lakhder

d'El-Oued Faculté des Sciences et de la Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie Électrique

Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

**Optimisation des systèmes photovoltaïques
utilisés pour l'irrigation dans les zones
sahariennes**

Réalisé par:

Mechri abdelraouf
Roussi mohammed ali

Encadré par:

dris mida

Année universitaire 2021/2022

Remerciements

*Nous rendons nos profondes gratitude à
dieu qui nous a aidé à réaliser ce modeste
travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitude
à nos parents pour leurs encouragements,
leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont
enduré.*

Nous remercions nos encadreurs

** **dris mida** * pour le effort qu'ils ont
déployés, pour nous aider, conseiller,
encourager et corriger.*

*Nous remercions aussi tout le corps
enseignant et administratif qui ont
contribué à notre formation
universitaire.*

Dédicace

Nous consacrons CE MODESTE TRAVAIL A :

Nos chers parents

Nos sœurs et nos frères

Toute nos familles

Tous nos amis

*Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour
être un jour licencié d'électrotechnique*

Sommaire

Chapitre I : Énergies renouvelables et système photovoltaïque

I.1 Introduction.....	19
I.2 Énergies renouvelables	19
I.2.1 Énergie éolienne	20
I.2.2 Énergie Géothermique	20
I.2.3 Énergie de la Biomasse.....	21
I.2.4 Énergie hydraulique.....	21
I.2.5 Énergie solaire photovoltaïque.....	21
I.2.5.1 Énergie solaire en l'Algérie	22
I.2.5.2 Rayonnement solaire.....	24
I.3 Chaîne de conversion électrique	25
I.3.1 Notions de rendement dans la chaîne photovoltaïque.....	27
I.3.2 Rendement d'un GPV.....	28
I.3.3 Rendement d'un convertisseur.....	28
I.3.4 Rendement de la MPPT.....	29
I.4 Historique de la cellule photovoltaïque	29
I.4.1 Cellule photovoltaïque	29
I.4.2 Conversion photovoltaïque.....	30
I.4.2.1 Le Principe de la conversion photovoltaïque.....	30
I.4.3 L'effet photovoltaïque.....	31
I.4.4 Les types des cellules photovoltaïques	32
I.4.5 Association en série et en parallèle d'une cellule PV.....	32
I.4.5.1 Groupement des cellules en série	33
I.4.5.2 Groupement des cellules en parallèle.....	34
I.4.6 Caractéristiques d'un module.....	34

I.4.6.1 Caractéristiques des panneaux solaires utilisés.....	35
I.5 Module photovoltaïque	36
I.5.1 Constitution d'un module de photovoltaïque	36
I.6 Générateur photovoltaïque	37
I.6.1 Protections classiques d'un générateur photovoltaïque	38
I.6.2 Comportement d'un module photovoltaïque.....	39
I.6.2.1 Influence de la température sur le rendement des cellules	39
I.6.2.2 Influence du rayonnement sur le rendement des cellules.....	39
I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	40
I.7.1 Avantage.....	40
I.7.2 Inconvénients.....	41
I.8 Conclusion	41

Chapitre II : Le pompage photovoltaïque

II.1 Introduction :.....	43
II.2 Méthodes de pompages :.....	43
II.2.1 Pompage « au fil du soleil »	44
II.2.2 Pompage avec batteries	45
II.3.1 Le débit Q :.....	45
II.4 Commande MPPT.....	47
II.4.1 Principe Recherche du point de puissance maximale (MPPT) :	47
II.5 Les composants d'un système de pompage PV :	48
II.5.1 Le générateur photovoltaïque :.....	48
II.5.2 Le groupe électropompe	49
II. 5.2.1 Pompes.....	50
II.5.2.2 Pompe centrifuge :	50
II.5.2.3 Pompe volumétrique :.....	51
II.5.3 Les moteurs électriques.....	55
II.5.3. L'électronique de commande et de contrôle	56
II .5.4 La partie stockage	57
II.6 Dimensionnement complet de l'installation.....	57
II.6.1 Estimations des besoins en eau	58
II.6.2 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise	58
II.6.3 Détermination de l'énergie solaire disponible.....	59
II.7 Taille du générateur photovoltaïque.....	59
II.7.1 Méthode analytique	59
II.7.2 Méthode graphique	61
II.8 Conclusion.....	62

Chapitre III : Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque

III-1 Introduction.....	67
III-2 description climatique de la zone d'El-oued.....	67
III-3 Descriptions des composantes du système photovoltaïque.....	68
III.3.1 Caractéristiques I(V) et P(V).....	73
III.3.2 Effets climatiques sur la cellule PV.....	74
III.3.3.2 Influence de l'éclairement sur la cellule.....	76
III.4 Simulation du générateur photovoltaïque.....	77
III.5 Simulation de la chaine de conversion PV sous MATLAB/SIMULINK...	84
III.6 Convertisseur DC-DC (Hacheur survolteur).....	85
III.7 Mise en oeuvre de la commande de poursuite MPPT.....	89
III.8 La méthode Perturbe & Observe (P&O).....	91
III.9 Simulation de la commande MPPT numérique « P&O ».....	93
III.10 Simulation de la méthode MPPT.....	94
III.11 Commande MPPT floue	94
III.12 Modèle de simulation d'un onduleur SPWM unipolaire monophasé.....	98
III.13 Module de simulation de DC-DC bidirectional buck and boost avec Battery Control.....	102
III.14 Simulation de la pompe DC.....	104

Conclusion.....	104
Conclusion générale.....	105
Bibliographies.....	107
Annexes.....	113

Liste des Figures

Figure I.1– Carte l’irradiation globale reçue dans une surface horizontale en Algérien.....	8
Figure I.2– Carte Durée moyenne d'ensoleillement en Algérie.....	8
Figure I.3– Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère.....	9
Figure I.4– Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.....	10
Figure I.5– Installation photovoltaïque autonome.....	10
Figure I.6– Installation au réseau.....	11
Figure I.7– Chaîne élémentaire de conversion d'énergie photovoltaïque	12
Figure I.8– Description d’une cellule photovoltaïque.....	14
Figure I.9– Structure et diagramme des bandes d'une cellule photovoltaïque sous éclairement.....	15
Figure I.10– Cellule photovoltaïque amorphe à couche mince	16
Figure I.11 Cellules connectées en série avec leur caractéristique courant tension	
Figure I.12– Cellules connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension.....	17
Figure I.13– Composants d’un GPV.....	17
Figure I.14– Module (panneau) photovoltaïque	19
Figure I.15– Composition d'un module solaire photovoltaïque.....	20
Figure I.16– Modules photovoltaïques connectés en série et en parallèle	21

Figure I.17– Schématisation d'un générateur photovoltaïque élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour.....	22
Figure I.18– Influence de la température T sur le rendement des cellules.....	23
Figure I.19– Influence de l'éclairement G sur le rendement des cellules, T = 25 °C.....	23
Hémabloc du système photovoltaïque dans SIMULINK/MATLAB.....	54
Figure II.21– Schéma bloc du GPV dans SIMULINK/MATLAB.....	54
Figure II.22– Modèle SIMULINK de l'algorithme MPPT-P&O.....	55
Figure II.23– Variation de l'irradiation solaire en fonction du temps.....	55
Figure II.24– Evolution du courant du GPV.....	56
Figure II.25– Evolution de la tension du GPV.....	56
Figure II.26– Evolution de la puissance du GPV.....	57
Figure II.24– Evolution du courant aux bornes l'inductance.....	57
Figure II.25– Rapport cyclique du convertisseur boost.....	57
Figure II.26– Evolution du courant de la charge.....	58
Figure II.27– Evolution de la tension de la charge.....	58
Figure II.28– Evolution de la puissance de la charge.....	58
<i>Figure 2. 1 : Schéma synoptique simplifié de Pompage pv</i>	<i>23</i>
<i>Figure 2.29 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.....</i>	<i>24</i>
Figure 2. 30 : Hauteur manométrique total	25

Figure 2.31 : Schéma de converge vers le PPM.....	26
Figure 2. 34 : Le couple augmente très rapidement en fonction de la vitesse.....	29
Figure 2. 35 : Le débit est proportionnel à la vitesse, toutefois il faut une vitesse minimale à une HMT donnée pour obtenir le débit.....	29
Figure 2. 36 : Pompe volumétrique rotative à palette.....	30
Figure 2. 37 : Le couple est pratiquement constant en fonction de la vitesse.....	30
Figure 2.38 : Le débit est proportionnel à la Vitesse.....	30
Figure 2. 39 : Diagramme du pompage PV par motopompe à CC.....	31
Figure 2.40 : Moteur à courant continu avec balais.....	31
Figure 2. 41 : Diagramme du pompage PV par motopompe à AC.....	32
Figure 2. 42 : Conversion DC / DC.....	33
Figure 2. 43 : Conversion DC/AC.....	33
Figure 2. 44 : Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation.....	33
Figure III : Situation géographique de l'état d'El-oued.....	34
Figure III.1 : Puissance photovoltaïque totale d'El-oued.....	35
Figure III.2 : Synoptique du système de pompage global.....	36
Figure (III.3) : Caractéristique I(V) d'une cellule ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$)....	37
Figure (III.4) : Caractéristique P(V) d'une cellule ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$)....	38
Figure (III.5) : Caractéristique I(V) pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).....	39

Figure (III.6) : Caractéristique P(V) pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).....	40
Figure (III.7) : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^\circ\text{C}$).....	41
Figure (III.8) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^\circ\text{C}$).....	42
Figure (III.9) : Caractéristique I(V) d'une générateur PV ($T=25^\circ\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).....	43
Figure (III.10) : Caractéristique P(V) d'une générateur PV ($T=25^\circ\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).....	44
Figure (III.11) : Caractéristique I(V) pour différents nombre de cellule en série.....	45
Figure (III.12) : Caractéristique P(V) pour différents nombre de cellule en série.....	46
Figure (III.13) : Caractéristique I (V) pour différents nombre de cellule en parallèle.....	47
Figure (III.14) : Caractéristique P (V) pour différents nombre de cellule en parallèle.....	48
Figure (III.15) Caractéristique I (V) pour différents nombre de cellule en Série / parallèle.....	49

Figure (III.16) Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en Série / parallèle.....	50
Figure (III.17) : Caractéristique I (V) d'un générateur pour différentes températures($G=1000\text{W/m}^2$).....	51
Figure (III.18) : Caractéristique P(V) d'un générateur pour différentes températures($G=1000\text{W/m}^2$).....	52
Figure (III.19) : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^\circ\text{C}$).....	53
Figure (III.20) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^\circ\text{C}$).....	54
Figure III.21 Bloc de la cellule solaire dans SIMULINK.....	55
Figure III.22.a Caractéristique $I=f(V)$ de la cellule.....	56
Figure III.22.b Caractéristique $P=f(V)$ de la cellule.....	57
Figure III.23 : Block du module API-157 dans SIMULINK.....	58
Figure III.24 le courbe I(V) et le courbe P(V).....	59
Figure III.25 Hacheur survolteur.....	60
Figure III.25 Hacheur survolteur	61
Figure III.26 Schéma SIMULINK d'hacheur.....	62
Figure III.27 Une tension de sortie de scope avec une sortie de 239 volts...	63
Figure III.28 : Block des 06 modules en SIMULINK.....	64
Figure III.29 : Courbe P(V) des 06 modules.....	65

Figure III.30 Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O la nouvelle puissance : P_{pvn}	66
Figure III.36 Simulation de la méthode MPPT P/O.....	67
Figure III.37 Approche d'optimisation d'une commande MPPT floue....	68
Figure III.38 Schéma synoptique de contrôleur MPPT floue type I.....	69
Figure .III.39 Schéma synoptique de contrôleur MPPT floue type II.....	70
Figure III.40 illustre les réponses des deux contrôleurs pour les conditions standards($T = 25^{\circ}\text{C}$ et $E = 1000\text{W /m}^2$).....	71
Figure III.41 Réponses des deux contrôleurs pour les conditions standards : la température $T= 25^{\circ}\text{C}$ et l'ensoleillement $E= 1000\text{W /m}^2$	72
Figure III.42 Schéma fonctionnel de l'onduleur SPWM unipolaire monophasé.....	73
Figure III.43 Modèle de circuit d'un pont complet monophasé.....	74
Figure III.44 Modèle de circuit du filtre passe-bas.....	75
Figure III.45 Modèle de simulation du circuit de commande.....	76
Figure III.46 Modèle de simulation d'un onduleur SMWM unipolaire monophasé.....	77
Figure III.47 Formes d'onde de simulation des tensions d'entrée et de sortie.....	78
Figure III.48 simulation Batterie Control.....	79
Figure III.49 résultats simulation Batterie Control.....	80

Figure III.50 : Un modèle de simulation de l'entraînement de la pompe dc.....	105
Figure III.51 : Création d'un sous-système.....	105
Figure III.52 : Step Entrées de pas pour la tension et le couple de charge.....	106
Figure III.52 : diagramme de vitesse de la pompe 2.5 DC.....	106
Figure III.53 : diagramme de couple de la pompe 2.5 DC.....	107
Figure III.54 : Schéma montrant l'état de la pompe DC.....	107

Liste des Tableaux

Tableau I.1 :Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.....	8
Tableau I.2 : Caractéristiques des panneaux solaires utilisés.....	19
Tableau II.1 : Rapports de transformation des principaux convertisseurs DC-DC.....	34
Tableau II.2 :Type des convertisseurs DC/DC.....	34
Tableau II.3 : Résumé de l'étude des différents boost.....	37
Tableau II.4 : Paramètres du système photovoltaïque étudié.....	53
Tableau III.1 : Informations exactes du site global solaire atlas pour l'état d'El-oued.....	54
Tableau III.2 : Puissance de sortie photovoltaïque totale et irradiation globale inclinée.....	55
Figure III.1 : Puissance photovoltaïque totale d'El-oued.....	56
Tableau (III.3) Caractéristique électrique de la cellule dans les conditions standards $T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$	57
tableau III.4 : les paramètres de la pompe DC.....	121
tableau III.5 : les paramètres de la moteur pivot.....	121

Nomenclature

Indice	Description	Unité
C_{dc}	Condensateur de sortie du convertisseur boost	F
C_{pv}	Condensateur d'entier du convertisseur boost	F
f_s	Fréquence de système PV	Hz
i_{cell}	Le Courant fournie par la cellule photovoltaïque	A
i_{ph}	Courant photonique, du modèle d'une cellule photovoltaïque	A
i_{pv}	Courant du système photovoltaïque	A
I_{sat}	Le courant de saturation	A
I_{rr}	Le courant de saturation de la diode	A
I_{sc}	Le courant de court-circuit	A
V_{oc}	La tension de circuit-ouvert	V
V_{cell}	La tension aux bornes de la cellule	V
G	Ensoleillement	W/m^2
q	Charge de l'électron	C
α	Coefficient de température de courant photonique	-
K	Constant de Boltzmann	J/K
E_g	L'énergie du band gap	-
n	Facteur d'idéalité de la jonction	-
N_s	Nombre de cellules connectées en série	-
N_p	Nombre de cellules connectées en parallèle	-
L_{Gpv}	Inductance du convertisseur du système photovoltaïque	H
P_{pv}	Puissance débitée par la source solaire photovoltaïque	W

Acronymes

PV	Photovoltaïque
GPV.	Générateur Photovoltaïque
MPPT	Maximum Power Point Tracking.
P&O	Perturbation et Observation.
DC	Courant Continu (Direct Curent).
AC	Courant Alternatif (Alternative Curent)
DC/AC	un convertisseur pour un moteur à courant alternatif
DC/DC	un convertisseur pour un moteur à courant continu
MPPT FL	Maximum Power Point Tracking de flou

Introduction Générale

Introduction Générale

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des sources fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.). La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et par conséquent à une augmentation de la pollution.

Il est techniquement et économiquement possible de faire des efforts importants pour réduire les activités humaines qui influencent négativement sur le climat et l'environnement. En effet, une des possibilités consiste à accroître le taux de production de l'énergie électrique à partir des ressources de type non-fossiles et renouvelables. Les exploitations en cours et des études de recherche, ont montré que ce type d'énergies renouvelables possède des atouts majeurs pour augmenter le taux de participation de ces énergies propres à la production d'électricité, tout en limitant l'impact négatif sur l'environnement. Aujourd'hui, les sources d'énergies renouvelables, notamment le solaire et l'éolien, sont les énergies dont le taux de croissance est le plus élevé [1]. Leur développement, en particulier l'énergie solaire, au niveau résidentiel et industriel est considérable.

Sans aucun doute, l'énergie solaire est un grand atout pour notre pays. En effet, l'Algérie possède un des grands gisements solaires du bassin méditerranéen. Avec plus de deux millions de km² de superficie, l'Algérie reçoit quotidiennement une très grande quantité d'ensoleillement pour produire un maximum d'énergie. Il faut savoir que sur une surface horizontale de 1 m², on peut avoir une puissance de l'ordre de 5 kWh. En plus, sur la quasi-totalité du territoire national, la durée d'insolation dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et sur le Sahara [2].

Dans ce contexte et particulièrement dans les régions sahariennes, cette énergie solaire photovoltaïque peut être utilisée pour le pompage de l'eau. C'est d'autant plus intéressant à cause de l'éloignement de ces régions du réseau

électrique « classique ». Dans ces régions, l'eau est souvent disponible mais les conditions d'exploitation pour la rendre plus accessible aux populations ne sont pas à leur portée.

Une autre coïncidence très importante favorise l'utilisation de ce type d'énergie pour le pompage d'eau est que la demande d'eau, surtout dans l'agriculture, atteint son maximum par temps chaud et sec où c'est justement le moment où l'on a accès au maximum d'énergie solaire.

Chapitre I

Énergies renouvelables et système photovoltaïque

Chapitre I :Énergies renouvelables et système photovoltaïque

I.1 Introduction

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées. Ces énergies satisfont quant à elles 13 % de la demande, dont 10% pour hydraulique. Comparé aux énergies classiques (fossiles et nucléaires), les énergies renouvelables présentent le double avantage de ne pas être source d'émissions de gaz à effet de serre lors de leur utilisation et de présenter des gisements renouvelables donc inépuisables.

Ce sont des énergies de flux, par opposition aux énergies dites de stock (gaz, fioul, charbon, uranium, ...) [6], il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins. La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux [7].

Ce chapitre présente les différents types d'énergie renouvelable, le système photovoltaïque et les différents blocs qui le constituent, ainsi les caractéristiques de ce système, avec ses avantages et ses inconvénients.

I.2 Énergies renouvelables

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie que se renouvelable assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) c'est-à-dire, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation, disponibles sans limite de temps [8].

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de

vie de humanité .Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires [6] [9].

Les énergies renouvelables regroupent un grand nombre de systèmes différents, selon la source d'énergie valorisée et la forme d'énergie obtenue. Les principales filières d'énergies renouvelables sont [10] :

- Énergie éolienne
- Énergie géothermique
- Énergie de la biomasse
- Énergie hydraulique
- Energie solaire

I.2.1 Énergie éolienne

Les grandes éoliennes commencent à devenir habituelles dans les paysages des régions où le vent souffle .Et el es le deviendront sans doute de plus en plus, car l'électricité Eolienne est particulièrement propre : pas de gaz à effet de serre, entièrement renouvelable. Leurs seuls inconvénients sont la transformation des paysages et un bruit léger qui empêche de pouvoir les construire trop près des habitations. Les éoliennes sont des machines très hautes (le mât mesure de 80 à 100 m pour les plus puissantes), parce que le vent est plus régulier et plus fort à quelques dizaines de mètres d'altitude qu'en surface. L'hélice, en général munie de trois pales, est généralement de grandes dimensions. Les éoliennes ont besoin d'une vitesse minimale du vent de 10 à 15km/h pour pouvoir fonctionner. Au-delà de 90 km/h, elles sont arrêtées pour ne pas subir trop d'efforts qui les useraient prématurément [11].

I.2.2Énergie Géothermique

L'énergie géothermique fait référence à l'extraction de l'énergie contenue dans le sol sous forme de chaleur. La température du sol souterrain augmente avec la profondeur, ce que l'on appelle le «gradient géothermique». En moyenne, nous obtenons 3 ° C de plus par 100 m. Par conséquent, la température de l'eau dans les roches réservoirs à une profondeur de 1500 m peut atteindre 60 à 70 ° C. Le principe de la

géothermie consiste à pomper cette eau chaude afin de l'utiliser pour le chauffage, ou si elle est suffisamment chaude pour produire de l'électricité [11] [12].

I.2.3 Énergie de la Biomasse

La biomasse fait référence à tous les organismes d'origine végétale ou animale à la surface de la terre. En général, les sous-produits ou déchets sont également classés comme biomasse. Le terme biomasse recouvre toute matière organique susceptible de devenir de l'énergie. Considérez différents types : bois-énergie, biocarburant, et biogaz [11].

I.2.4 Énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide telle que l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement ou converti sous forme d'électricité [12] [13].

I.2.5 Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie de rayonnement solaire qui apporte l'énergie thermique et la lumière prévenante sur la surface de la terre après filtrage par l'atmosphère terrestre. Cette énergie produite par l'homme en captant le rayonnement émis par le soleil principalement sous forme électrique ou thermique, c'est l'une des principales formes d'énergie renouvelables.

Dans une maison solaire, l'apport solaire permet de faire de l'économie importante. Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins. L'énergie solaire permet donc de chauffer tout ou partie d'un bâtiment pour un cout proportionnel quasi nul [14].

L'énergie photovoltaïque (PV) est la transformation directe de la lumière en électricité, On utilise pour cela une cellule photovoltaïque (photopile). Le soleil est à l'origine de toutes les formes d'énergie présentes sur terre (à l'exception de

l'énergie nucléaire). Le rayonnement solaire apporte à la terre de la chaleur et de la lumière. Cette énergie peut être captée de trois façons : en utilisant directement la chaleur (chauffage solaire direct capteurs thermiques), en transformant la lumière en électricité (capteurs photovoltaïques) ou en transformant la chaleur en électricité (centrales électriques solaires) [15].

1.2.5.1 Énergie solaire en l'Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) [16]. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2263 kwh/m²/an au Sud du pays. Ce gisement N solaire dépasse les 5 milliards de GWh.

Climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement, La Figure I.1 montre la carte de l'irradiation solaire en Algérie et La Figure I.2 montre la carte durée moyenne d'ensoleillement en Algérie. Le Tableau I.1 indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie [17][18].

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau I.1 : Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.

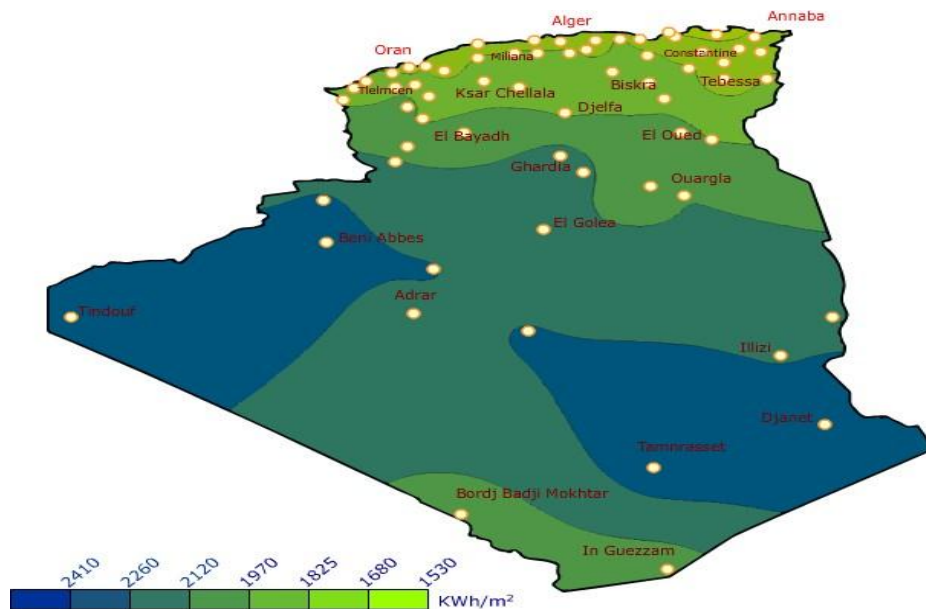


Figure I.1 : Carte l'irradiation globale reçue dans une surface horizontale en Algérie.

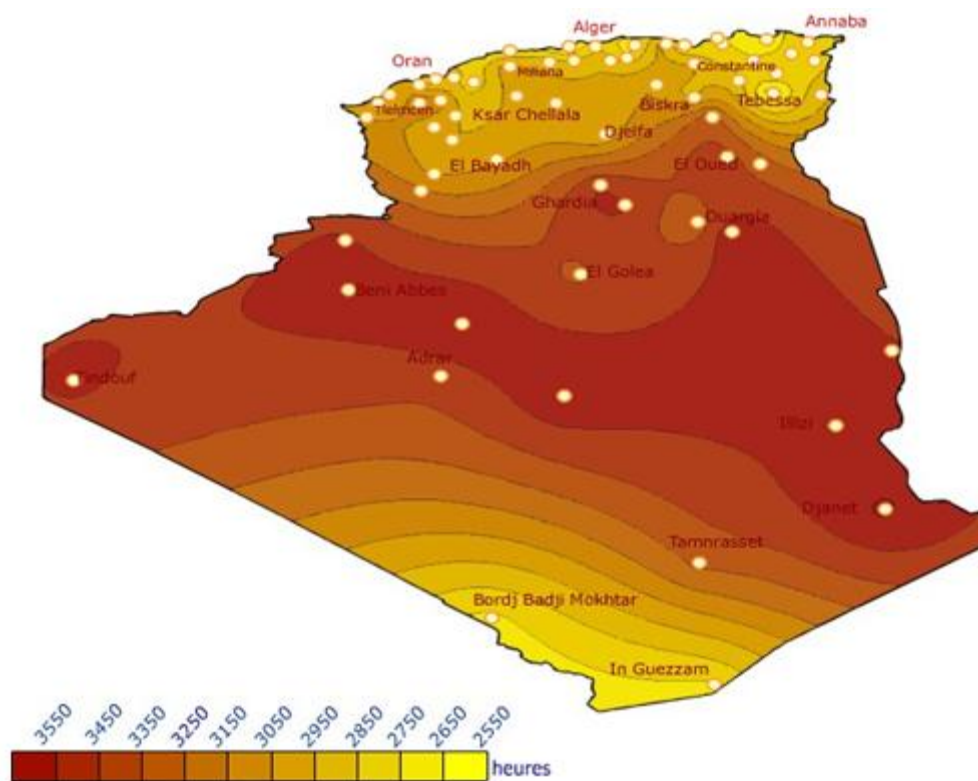


Figure I.2 : Carte Durée moyenne d'ensoleillement en Algérie.

I.2.5.2 Rayonnement solaire

La principale énergie dont nous disposons est le soleil, qui se trouve à 150 millions de Km de la terre et possède une capacité de rayonnement isotrope. En première approximation absorbé par le corps noir (entièrement émis absorption parfait à 5800 K). Le rayonnement se propage dans l'espace sous la forme d'une onde électromagnétique qui atteint la terre environ 8 minutes après son lancement 98% de l'énergie émise est entre 0.25 et 3 μm .

La terre reçoit une partie du rayonnement. Le flux d'énergie reçu par la terre est-il appelé irradiante et abrégé en éclairement. Moyenne annuelle de cette illumination reçue sur un plan perpendiculaire aux rayons du soleil au sommet de l'atmosphère constante solaire [19].

La Figure I.3 illustre la distribution spectrale du rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère [20].

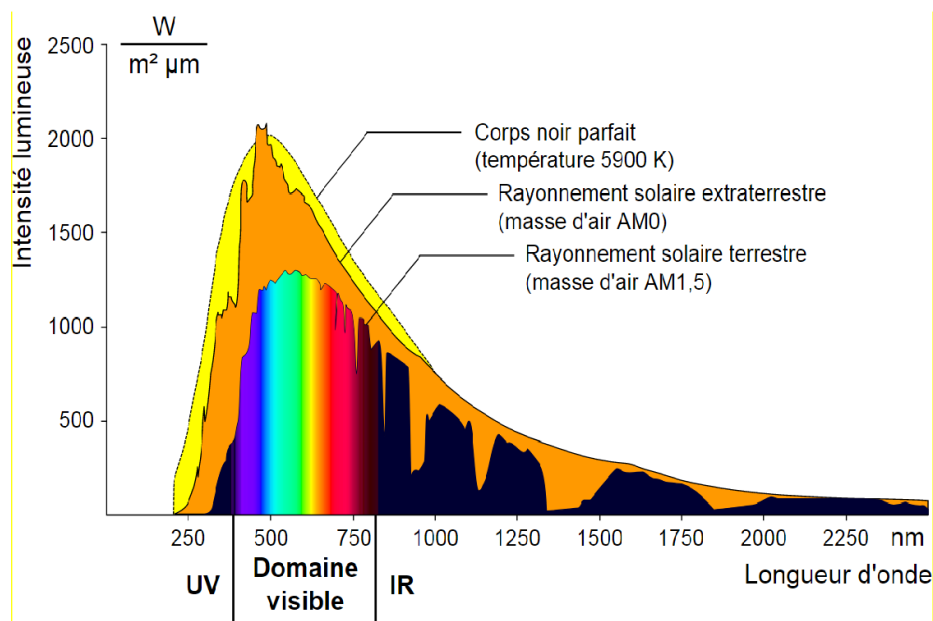


Figure I.3 : Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère

Le rayonnement solaire se divise en deux parties [21] [22] :

- Rayonnement global Le rayonnement global est la somme de tous les rayonnements reçus (rayonnement direct, diffus et albédo).
- Rayonnement réfléchi C'est la partie inutile des rayonnements solaires qu'il diffuse par les obstacles atmosphériques.

Dans La Figure ci-dessous (Figure I.4) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçu sur une surface terrestre [5].

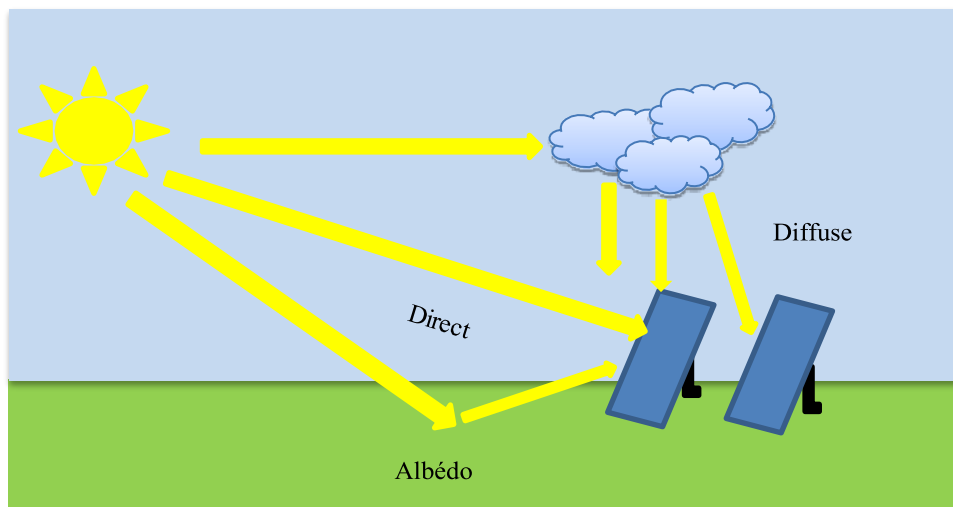


Figure I.4 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.

I.3 Chaîne de conversion électrique

Un système photovoltaïque est un système d'alimentation électrique, constitué principalement d'un générateur photovoltaïque composé d'un seul ou plusieurs panneaux solaires, d'un ensemble de batteries pour le stockage d'énergie électrique, d'un ou de plusieurs convertisseurs continu-continu pour fournir les tensions d'alimentation adéquates pour les batteries et les charges continues, et un convertisseur continu-alternatif pour l'alimentation des autres appareils à courant alternatif.

Dans le cas d'une installation autonome (Figure I.5), l'énergie générée par le panneau solaire photovoltaïque sera utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc....) ou stockée dans la batterie pour une utilisation ultérieure. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est converti en courant alternatif 230 Volts [10] [23].

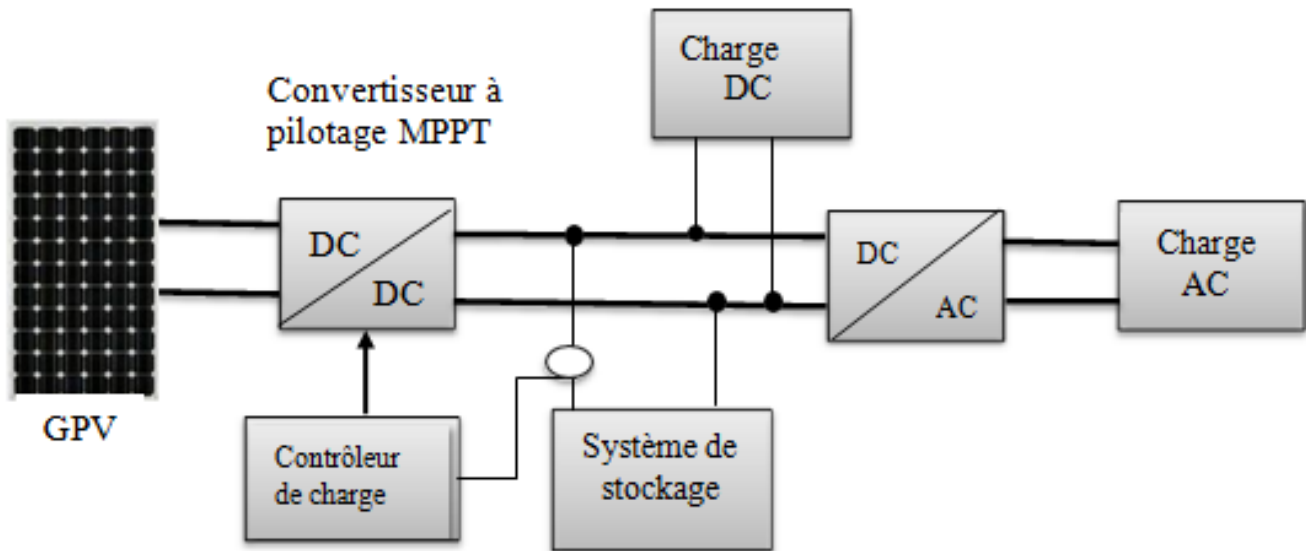


figure I.5 : Installation photovoltaïque autonome.

Le système peut également être connecté au réseau (Figure I.6). L'avantage de la connexion est qu'elle élimine le stockage d'énergie coûteux et gênant. Dans la plupart des cas, les onduleurs économiques ne peuvent fonctionner que lorsque le réseau électrique existe, sinon ils peuvent tomber en panne, ce qui rend le système de production de source renouvelable inopérant. Une sorte de système à une charge DC, un onduleur réversible est nécessaire. Si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, la sauvegarde est assurée par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et utilisée pour alimenter les consommateurs voisins [10].

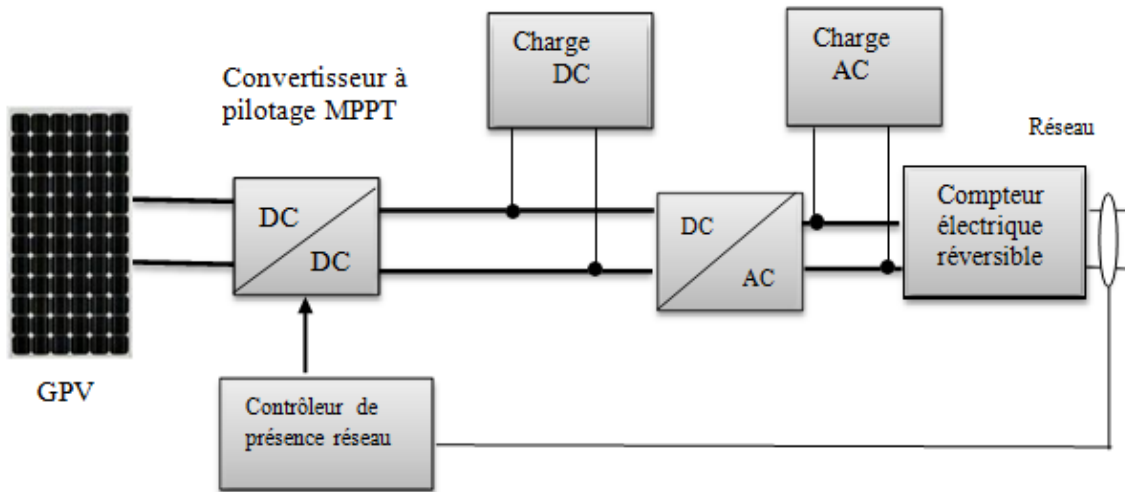


Figure I.6 : Installation au réseau.

I.3.1 Notions de rendement dans la chaîne photovoltaïque

Dans la recherche sur la chaîne de conversion photovoltaïque, il est essentiel de définir différents concepts de sortie la communauté scientifique et les activités sur lesquelles nous nous appuyons pour comparer entre différents générateurs et chaîne. Pour expliquer ce concept d'efficacité, en prenant comme exemple une simple chaîne de conversion PV (Figure I.7) nous avons un GPV, un adaptateur ou un convertisseur statique et une charge, à ce niveau, on peut parler de plusieurs rendements [3].

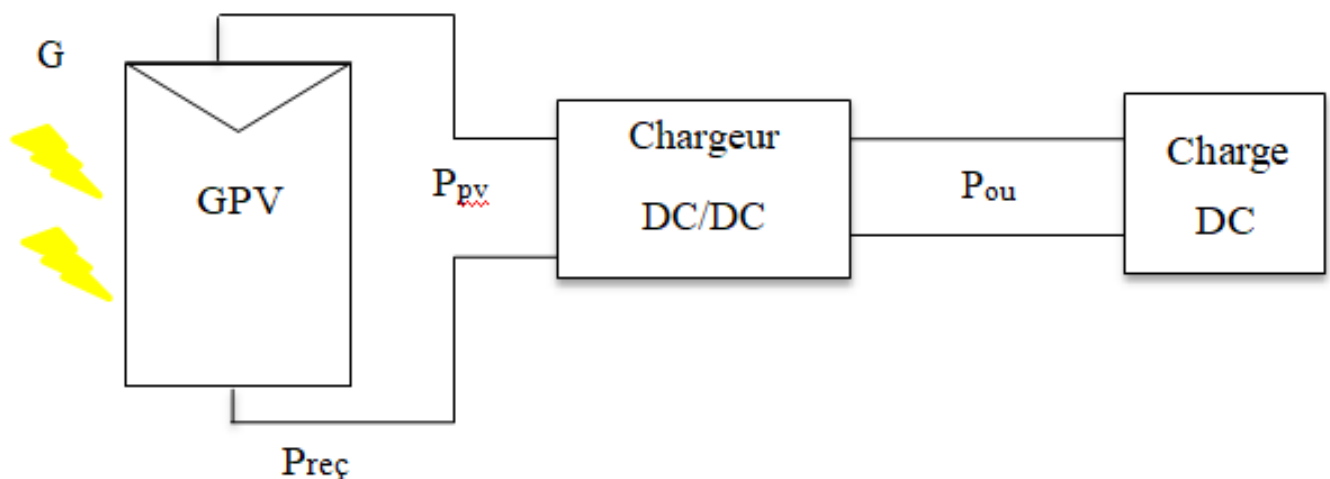


Figure I.7 : Chaîne élémentaire de conversion d'énergie photovoltaïque.

I.3.2 Rendement d'un GPV

En ce qui concerne l'énergie photovoltaïque, la première définition de l'efficacité est l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à GPV. En effet, le rendement de conversion η_{pv} est un critère important évaluer l'efficacité énergétique du GPV, le rendement correspond au rapport entre l'énergie électrique réelle délivrée par les cellules photovoltaïque éclairée par un éclairage connu et normalisé à énergie égale électrique reçue [3] [24].

Le rendement caractérisant le taux de conversion photons-électrons d'un panneau solaire photovoltaïque, est alors défini selon l'équation(I.1).

$$\eta = \frac{P_{pv}}{G \times A_{eff}} \quad (I.1)$$

Avec :

- P_{pv} : correspond à la puissance délivré par GPV.
- A_{eff} : la surface effective du panneau PV représentant uniquement la partie active du capteur PV effectuant la conversion des photons en électrons.

I.3.3 Rendement d'un convertisseur

On définit le rendement du convertisseur qui est généralement fourni par η_{conv} par les documents du fabricant, par la relation (I.2) par l'attention P_{out} la pouvoir fourni à la sortie du convertisseur [3] [24].

$$\eta_{conv} = \frac{P_{ou}}{P_{.}} \quad (I.2)$$

I.3.4 Rendement de la MPPT

Le rendement que nous définissons à la sortie du générateur GPV est lié au point fonctionnement réel du générateur photovoltaïque et son éloignement du point mieux, il mesure l'efficacité de la commande de point obligatoire le GPV fonctionne aussi près que possible du point optimal, ou il peut c'est ce qu'on appelle l'efficacité de la commande MPPT, il est défini par la relation (I.3) [3] [24].

$$\eta_{\text{MPPT}} = \frac{P_{\text{pv}}}{P_{\text{max}}} \quad (\text{I.3})$$

I.4 Historique de la cellule photovoltaïque

Le mot photovoltaïque vient de mot grec "photos" qui signifie la lumière et voltaïque du physicien italien "Alessandro volta" [25].

Les faire très importantes dans la vie d'énergie photovoltaïque, en 1839 Le physicien français Edmond Becquerel décrit le premier l'effet photovoltaïque [26], en 1954 réalisation des premières cellules au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone Laboratoires, et en 1958 les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace [26] [27] [28].

Au cours des années 1980, la technologie photovoltaïque terrestre se développe régulièrement, installer plusieurs centrales électrique de quelques Méga Watts [27].

I.4.1 Cellule photovoltaïque

La cellule solaire ou cellule photovoltaïque est fabriquée à l'aide des matériaux semi- conducteurs. Elle réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. On peut la représenter comme une diode plate qui est sensible à la lumière. **La Figure I.8**-illustre la structure d'une cellule photovoltaïque [29].

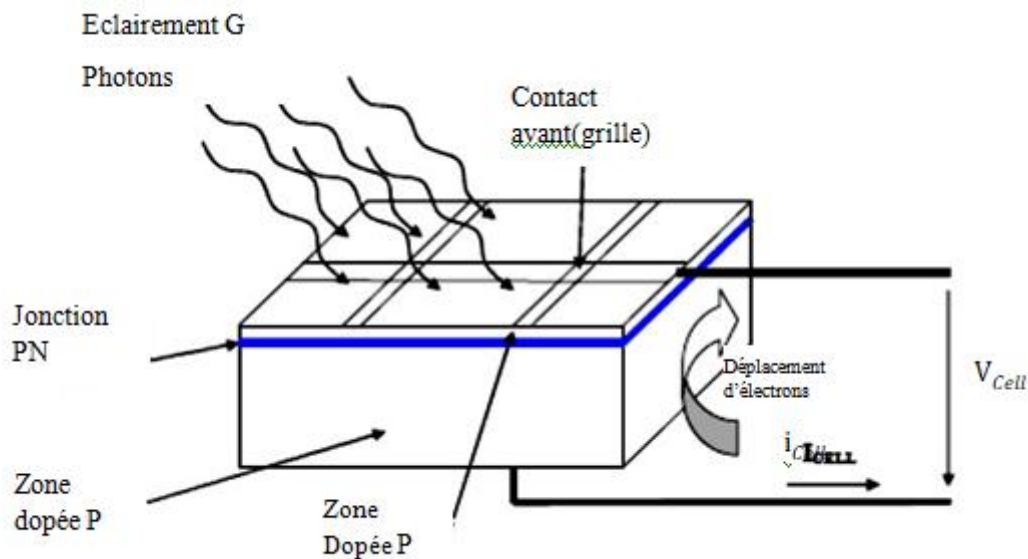


Figure I.8 : Description d'une cellule photovoltaïque.

I.4.2 Conversion photovoltaïque

En 1954, avec la découverte de l'effet photovoltaïque, la possibilité de convertir directement l'énergie lumineuse (notamment le rayonnement solaire) en énergie électrique est apparue. Cet effet utilise les propriétés quantiques de la lumière et permet à l'énergie incidente d'être convertie en courant électrique, où les cellules solaires sont l'élément de base de cette conversion photovoltaïque [30] [31].

I.4.2.1 Le Principe de la conversion photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est la plus petite partie de l'installation et se compose d'un matériau semi-conducteur qui convertit les photons du rayonnement solaire en énergie électrique par effet photoélectrique. Cette conversion se fait selon le principe suivant :

Sous la lumière, les paires électron-trou photo-générées dans la zone de charge d'espace (ZCE) y sont immédiatement séparées par le champ électrique (Figure I.9). Les trous chargés positivement accélèrent vers la zone P, et les électrons chargés négativement accélèrent vers la zone N, et les trous et les électrons deviennent majoritaires :

c'est la génération du photo courant. Dans le même temps, les porteurs minoritaires, les trous générés côté N et les électrons générés côté P génèrent un gradient de concentration et diffusent dans le matériau. S'ils atteignent la ZCE sans recombinaison, le champ électrique les entraîne à travers la zone de déplétion jusqu'à la zone où ils deviennent majoritaires : c'est le photo courant diffusé. L'existence du contact ohmique assure la collecte des porteurs, générant ainsi un courant photo-généré [32].

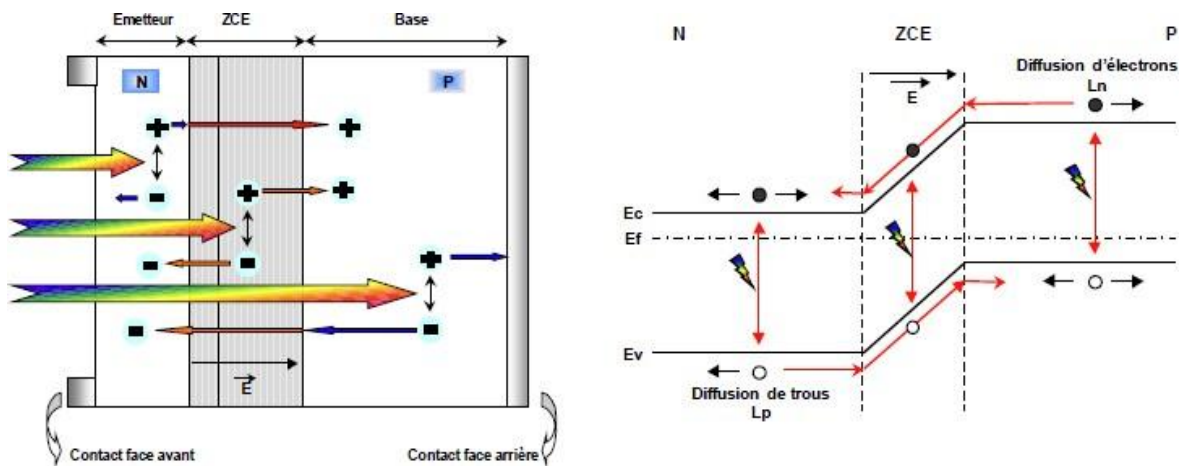


Figure I.9 :Structure et diagramme des bandes d'une cellule photovoltaïque sous éclairement.

I.4.3 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux semi-conducteurs qui, exposés à la lumière, produisent de l'électricité. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin qui est utilisé aujourd'hui dans fabrication des panneaux solaires [23].

I.4.4 Les types des cellules photovoltaïques

Il existe trois types principaux de cellules [5] [33] [34] :

- Cellules monocristallines (Figure I.10-a) : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (14 à 20 %) mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée (30 ans).

Cellules poly-cristallines (multi-cristallin) (Figure I.10-b) : leur conception étant plus simple et faible coût de fabrication moins important, cependant leur efficacité

- (rendement 11 à 15%) est plus faible, et longue durée de vie (30 ans).
- Cellules amorphes (Figure I.10-c) sont constituées par des couches très minces de silicium, et ont un coût peu élevé. Elles ont un faible rendement (5 à 9%) et durée de vie (20 ans).

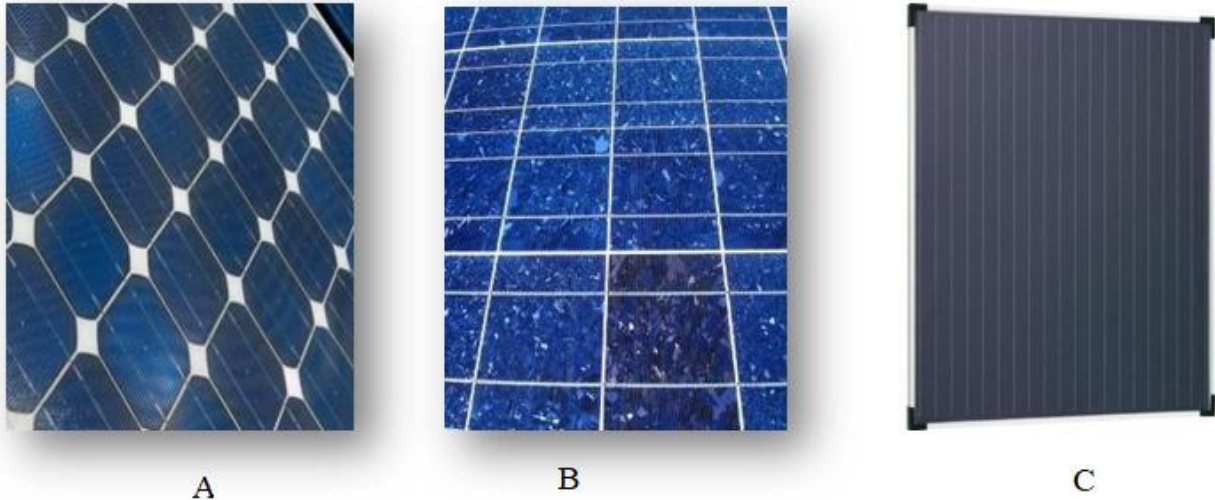


Figure I.10 : Cellule photovoltaïque amorphe à couche mince.

I.4.5 Association en série et en parallèle d'une cellule PV

Les cellules (modules) peuvent également être Groupement en série et en parallèle pour établir le champ photovoltaïque afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation [35] [36].

I.4.5.1 Groupement des cellules en série

Une association des cellules ou des modules connectés en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque comme montre La Figure I.11, et le courant de la branche reste le même. La tension augmente proportionnellement au nombre de cellules ou module en série.

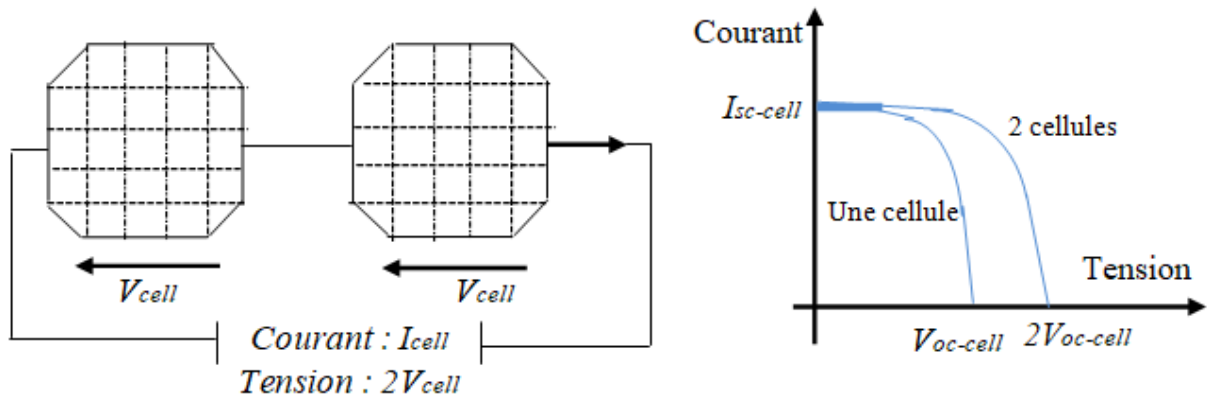


Figure I.11 : Cellules connectées en série avec leur caractéristique courant-tension.

I.4.5.2 Groupement des cellules en parallèle

En additionnant des cellules identiques en parallèle comme montre La Figure I.12, la tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de cellules en parallèle dans la branche.

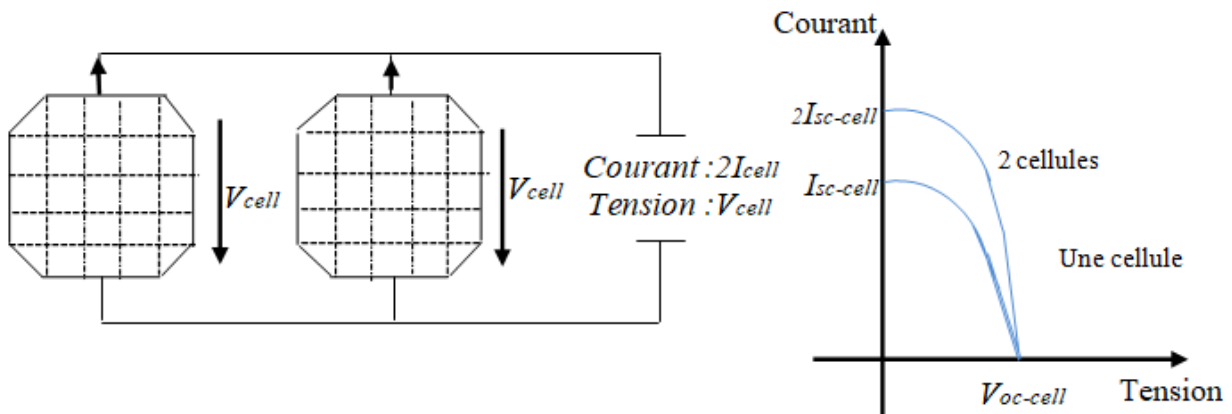


Figure I.12 : Cellules connectées en parallèle avec leur caractéristique courant-tension

Plusieurs cellule donnée un panneau solaire(ou module) photovoltaïque Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque.

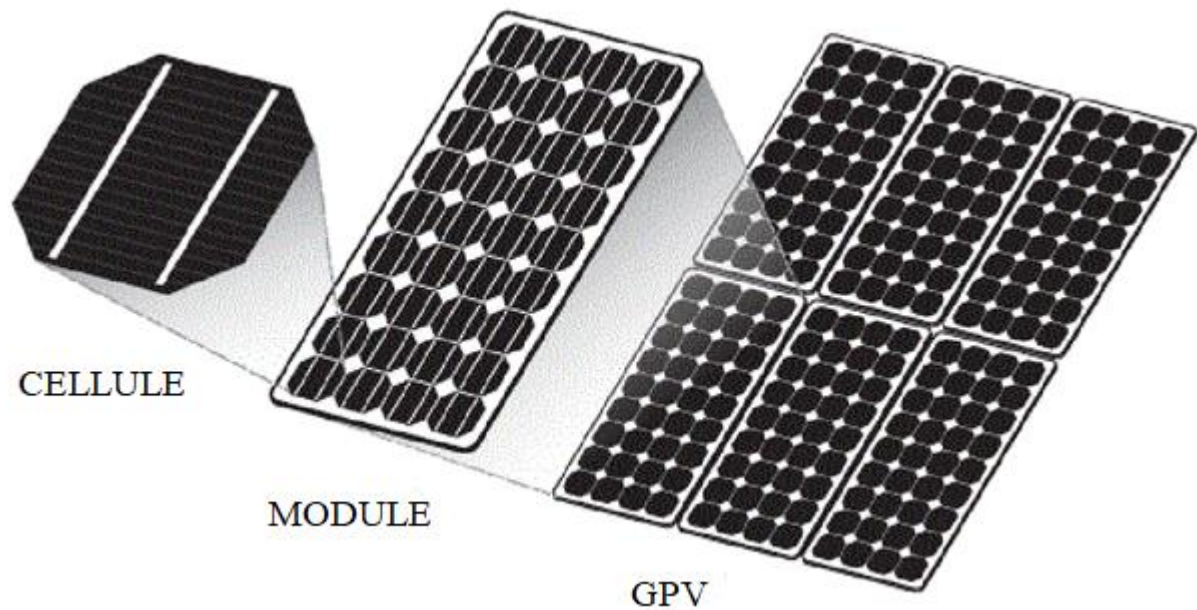


Figure I.13 : Composants d'un GPV.

I.4.6 Caractéristiques d'un module

Les caractéristiques d'un module sont [36] :

- La caractéristique $I(V)$: est la caractéristique de base d'une cellule solaire. Elle répondra à toutes les charges possibles dans un ensemble spécifique d'ensoleillement et température ;
- tension à vide V_{co_cell} : C'est la tension de la borne de cellule à vide qui produit le courant $I=0$. Ignorez le courant traversant la résistance parallèle R_{sh} , les V_{oc} s'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes de la cellule
- Courant de court-circuit I_{sc_cell} : C'est le courant maximum généré lorsque la cellule est en court-circuit $V = 0$ sous un éclairage "plein soleil" ;

La puissance de sortie maximale par cellule P_{max_Cell} est le point de corde (V_{mp} , I_{mp}) donné par le produit entre la tension et le courant à la lumière du soleil et des conditions de température bien définies comme

- indiqué par la formule suivante :

$$P_{\max_Cell} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (I.4)$$

- Rendement maximal : Le rendement est le rapport entre la puissance maximale et la puissance du flux lumineux incident (la surface S de la cellule multiplier par l'éclairement G) :

$$\eta_{pv} = \frac{P_{\max_Cell}}{S \times G} \quad (I.5)$$

- Facteur de forme : On identifié le facteur de forme, par le rapport de la puissance maximale au produit du courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert.

$$FF = \frac{P_{\max_Cell}}{V_{oc_cell} \times I_{sc_cell}} \quad (I.6)$$

1.4.6.1 Caractéristiques des panneaux solaires utilisés

Le panneau MSX-60W a les caractéristiques électriques et mécaniques présenté dans les tableaux suivant (Tableau I.2).

Maximum power Pmax	60W
Maximum power voltage Vmp	17.1 V
Maximum power current Imp	3.5 A
Short circuit current Isc	3.8 A
Open circuit voltage Voc	21.1 V

Tableau I.2 : Caractéristiques des panneaux solaires utilisés.

I.5 Module photovoltaïque

Un module représenté par La Figure I.14 est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert [32].



Figure I.14 : Module (panneau) photovoltaïque.

I.5.1 Constitution d'un module de photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de six éléments (Figure I.15) [37] :

- Cadre en aluminium
- Joint pour fixer le module
- Verre : pour la protection du module
- Couche de l'EVA (EVA : éthylène-acétate de vinyle) : pour résister aux intempéries et à l'humidité
- Cellules photovoltaïque

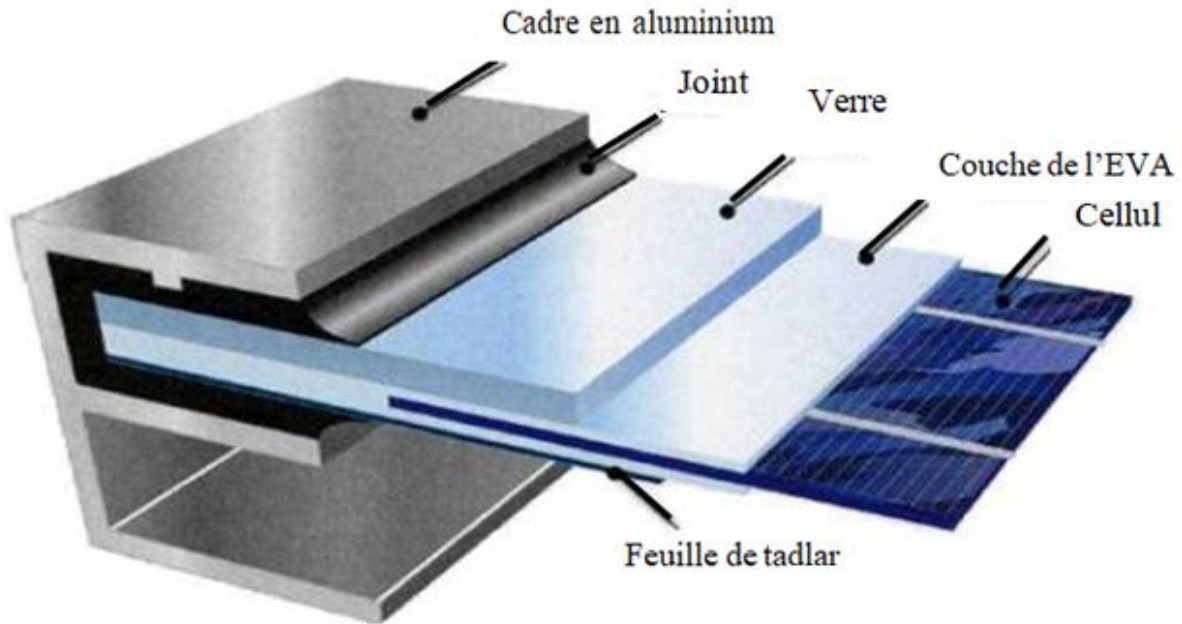


Figure I.15 : Composition d'un module solaire photovoltaïque.

I.6 Générateur photovoltaïque

Pour obtenir des puissances supérieures il est nécessaire d'associer en série et /ou en parallèle plusieurs modules comme le montre la Figure I.16. La courbe de fonctionnement d'une association série-parallèle des modules est une courbe semblable à la courbe de la cellule de base, avec bien entendu des paramètres électriques différents. Notons ici que, de même pour les cellules, il ne faudra associer en série et en parallèle que des modules identiques [20] [38] [39].

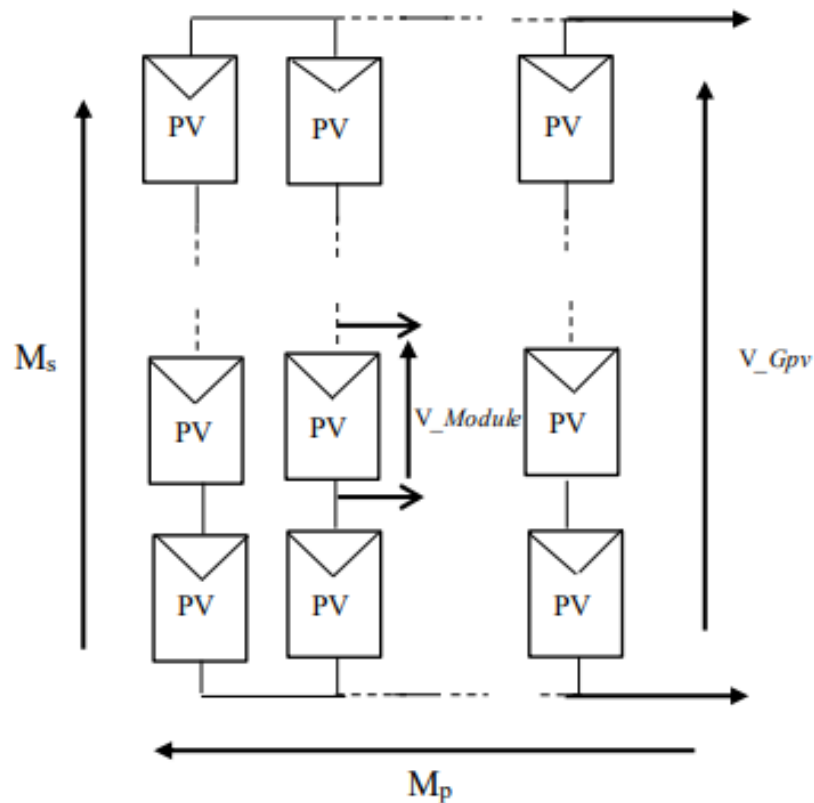


Figure I.16 : Modules photovoltaïques connectés en série et en parallèle

I.6.1 Protections classiques d'un générateur photovoltaïque

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisés dans les installations actuelles :

la protection en cas de connexion en parallèle de modules photovoltaïques pour éviter les courants négatifs dans le générateur photovoltaïque (diode anti-retour)

la protection lors de la mise en série de modules photovoltaïques permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et

éviter les points chauds.

La Figure I.17 montre la schématique classiquement adoptée pour la protection du GPV élémentaire [3]

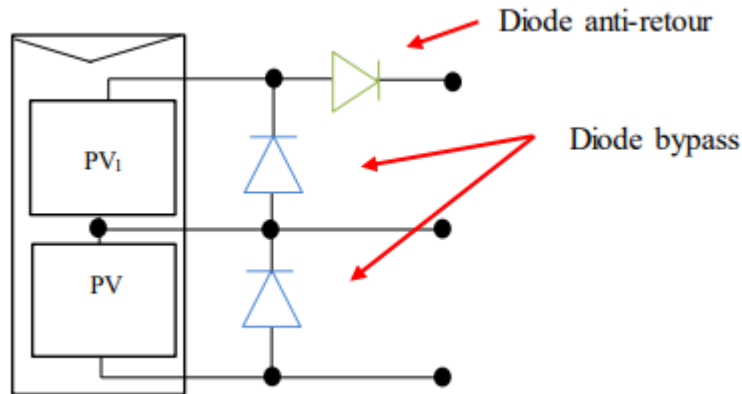


Figure I.17 : Schématisation d'un générateur photovoltaïque élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour

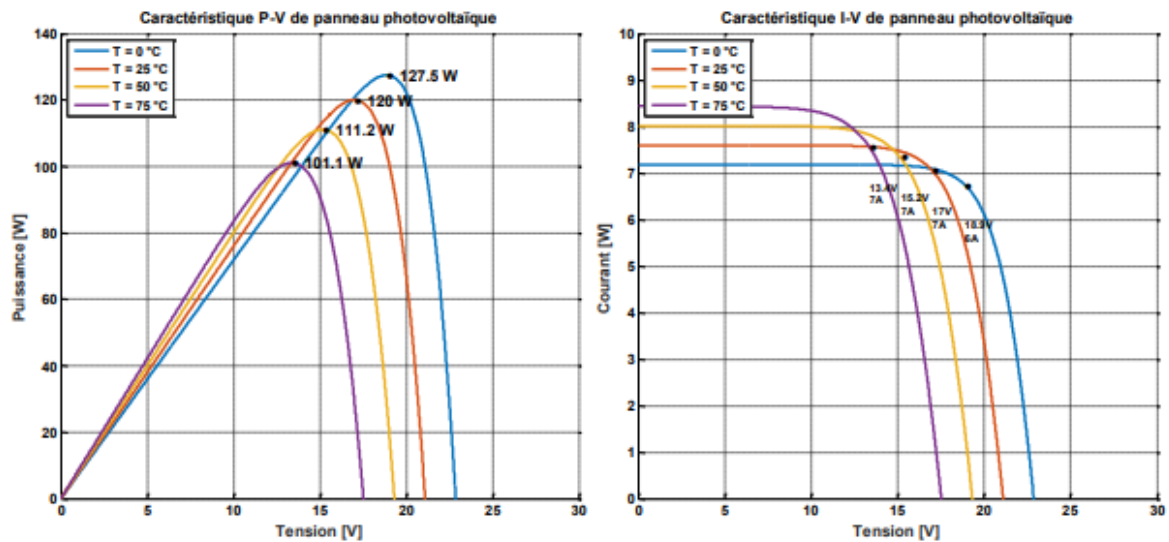
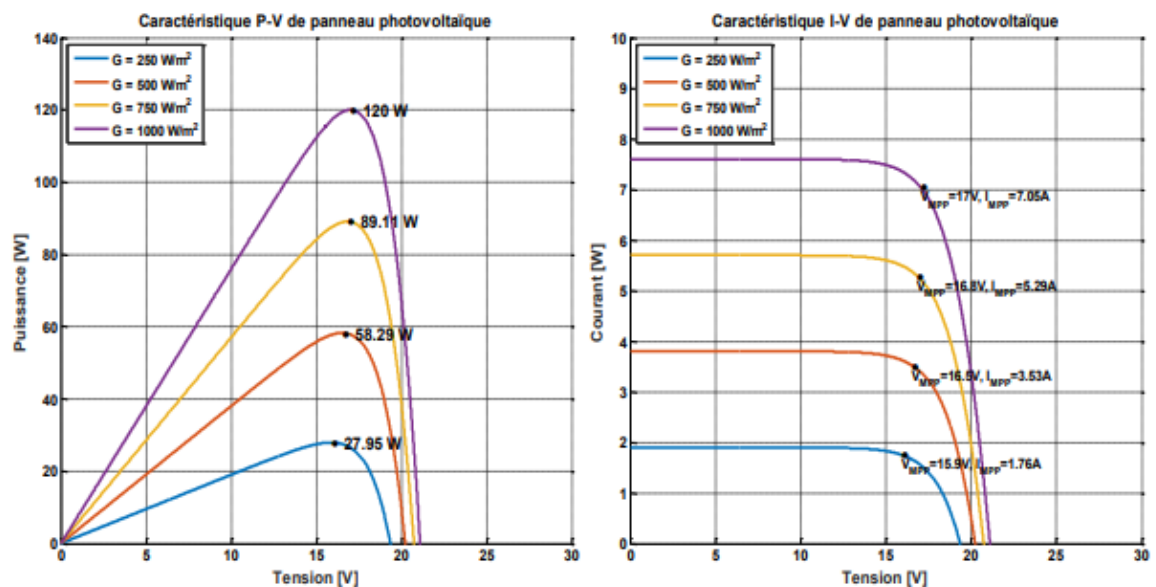
I.6.2 Comportement d'un module photovoltaïque

I.6.2.1 Influence de la température sur le rendement des cellules

La Figure I.18 présente la courbe $I(V)$ pour différents températures de fonctionnement du module photovoltaïque à une irradiation constant, l'influence de la température se traduit principalement par une diminution de la tension de circuit ouvert (et une très légère augmentation du courant de court-circuit). Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution. De plus une forte température peut également endommager les cellules.

I.6.2.2 Influence du rayonnement sur le rendement des cellules

La Figure I.19 représente la caractéristique $I=f(V)$ d'un module photovoltaïque pour une température constante et un éclairement variable. On constate que le courant de court-circuits directement proportionnel à l'éclairement, mais par contre la tension varie légèrement. Plus l'irradiation est importante, plus le rendement de la cellule est élevé.

Figure I.18– Influence de la température T sur le rendement des cellules.Figure I.19– Influence de l'éclairement G sur le rendement des cellules, $T = 25^\circ\text{C}$.

I.7 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques présentent un grand nombre d'avantages et d'inconvénients qui sont :

I.7.1 Avantage

Les systèmes photovoltaïques ont plusieurs avantages :

- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé

- une haute fiabilité car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles
- le système modulaire de panneaux photovoltaïques permet un montage adaptable à des besoins énergétiques variés ; les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications allant du milliwatt au Méga Wat
- la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologiques car le produit est non polluant, silencieux, et n'entraîne aucune perturbation du milieu [5] [21] [23] [40]
- ils ont une longue durée de vie [21] [23]
- les frais et les risques de transport des énergies fossiles sont éliminés [21].

I.7.2 Inconvénients

- la fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé [5] [21] [23] [40]
- le rendement réel d'un module photovoltaïque est de l'ordre de 10 à 15 % [42]
- ils sont tributaires des conditions météorologiques [21] [41]
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes [5] [23] [43]
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru [41].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté rappelé quelques notions de énergie renouvelable (éolienne, géothermique, biomasse, hydraulique solaire) en considérant que l'énergie solaire est l'énergie de future.

Et nous avons étudié, principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi Les types des cellules photovoltaïques, caractéristiques cellule PV, association de module PV, chaîne conversions de cellule PV et présenter la Constitution et caractéristiques d'un module de photovoltaïque

Chapitre II

Le pompage photovoltaïque

Chapitre II : Le pompage photovoltaïque

2.1 Introduction :

Dans nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible.

Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier, dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service. [48]

Ce chapitre traite plus particulièrement les éléments théoriques permettant de dimensionner les stations de pompage courantes.

2.2 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

2.2.1 Pompage « au fil du soleil »

Comme on va le constater, la méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et

moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première 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. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur au-dessus du sol pour qu'elle soit, au besoin ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement. En plus, il ne requiert pas un entretien complexe et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles.

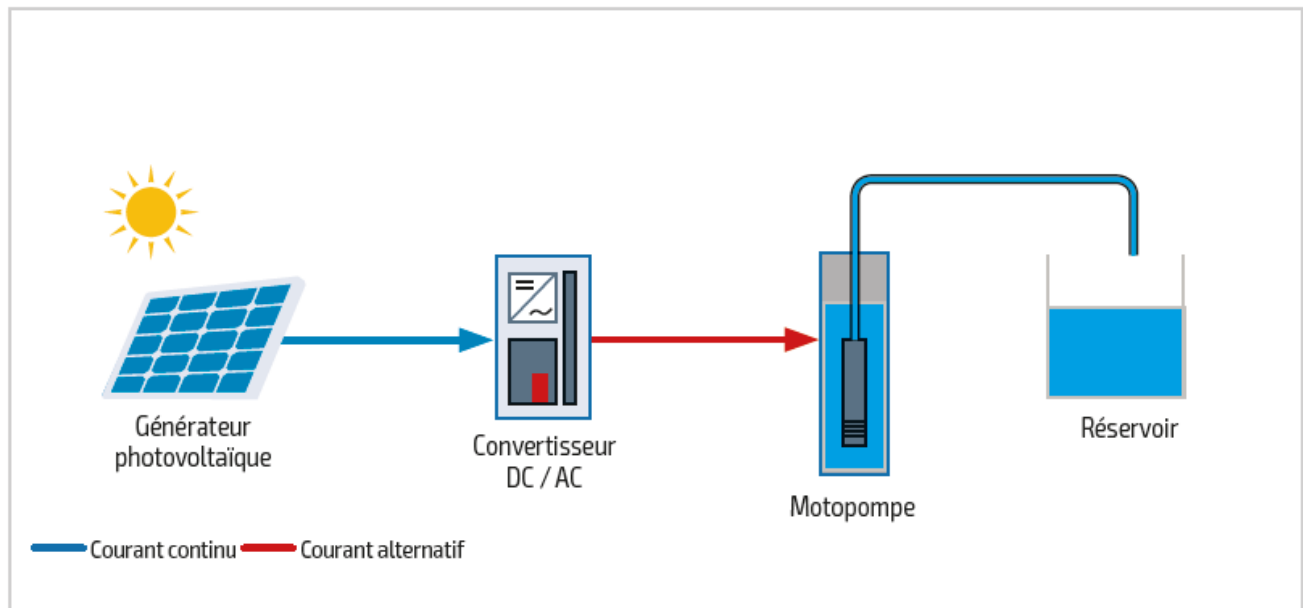


Figure 2. 1 : Schéma synoptique simplifié de Pompage PV

2.2.2 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 ultérieurs. L'inconvénient majeur, voire 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. Elles nécessitent, en outre, un entretien constant et un contrôle rigoureux de leur charge et décharge.

Les contrôleurs utilisés pour régulariser la charge et la décharge des batteries vieillissent rapidement et peuvent s'avérer non fiables. Les batteries introduisent également un certain degré de perte de rendement d'environ 20% à 30 % de la production d'énergie.

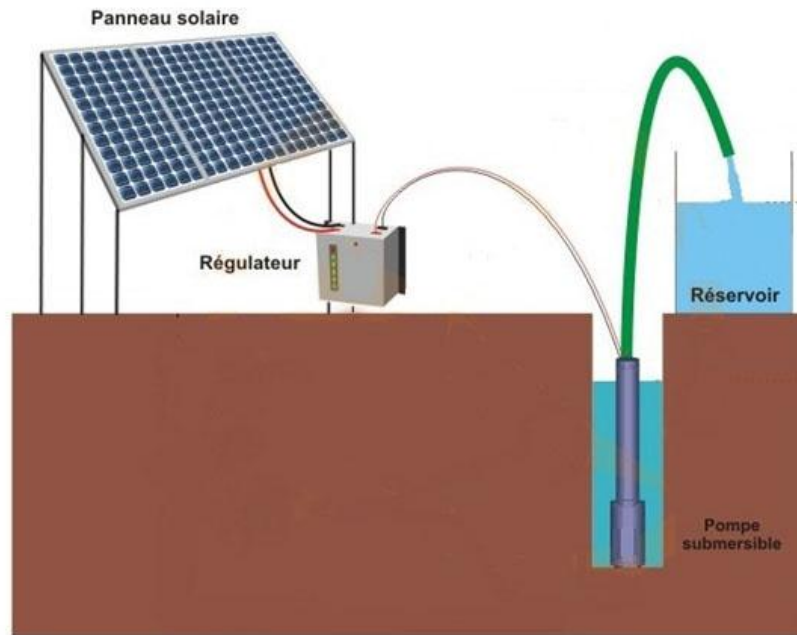


Figure 2. 2 : Pompage photovoltaïque avec stockage d'énergie.

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau. Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite[48]

2.3.1 Le débit Q :

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m^3 par heure.

La hauteur manométrique totale H_m :

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 :

$$H_m = H_g + H_C \quad (2.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir Figure 2.1).

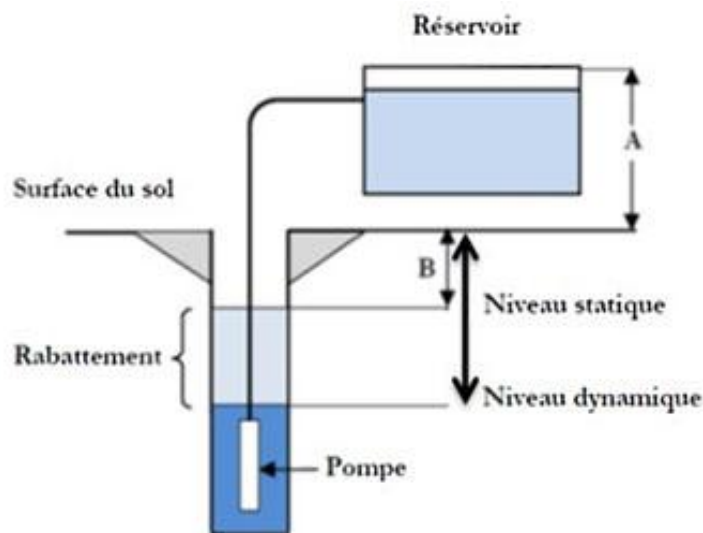


Figure 2. 3 : Hauteur manométrique total

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 fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe.

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

Nd: Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le 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 : La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Rabatement maximal : est le rabatement maximal acceptable avant de démarrer la pompe

Rabatement minimal : est le rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe

2.4 Commande MPPT

La poursuite du point maximum de la puissance (MPPT) est une partie essentielle dans les systèmes photovoltaïques. Plusieurs techniques sont développées depuis 1968 date de Publication de la première loi de commande de ce type adaptées à une source d'énergie renouvelable de type PV. Ces techniques se différencient entre elles par leur complexité, nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, coût, rendement et domaine d'application[45]

2.4.1 Principe Recherche du point de puissance maximale (MPPT)

Pour que le système photovoltaïque fonctionne à des points de puissance maximums de leurs caractéristiques, il existe des lois de commande spécifiques qui répondent à ce besoin. Cette commande est nommée dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou « Maximum Power Point Tracking » en Anglais (MPPT).

Le principe de ces commandes est de chercher le point de puissance maximale (PPM) en gardant une bonne adaptation entre le générateur et sa charge pour assurer le transfert de la puissance maximale. La figure (III.11) représente une chaîne de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande MPPT. La commande MPPT est associée à un convertisseur statique permettant de faire une adaptation entre le GPV et la charge de telle sorte que la puissance générée corresponde à sa valeur maximale et qu'elle soit transférée directement à la charge[45]

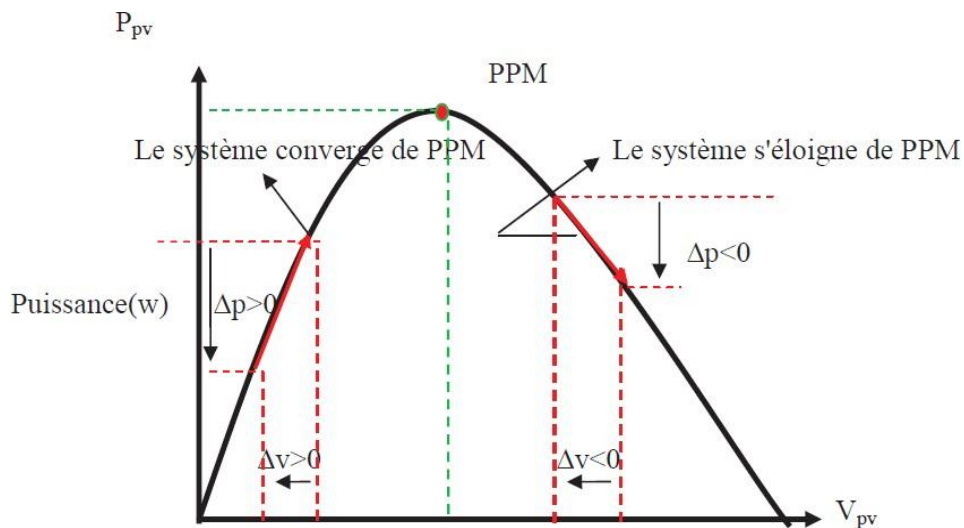


Figure 2. 4 : Schéma de convergence vers le PPM

2.5 Les composants d'un système de pompage photovoltaïque

➤ Un système de pompage solaire est généralement constitué de :

- le générateur photovoltaïque
- le groupe électropompe
- l'électronique de commande et de contrôle
- la partie stockage

2.5.1 Le générateur photovoltaïque :

Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série et en parallèle plusieurs modules. Dans certaines applications, il est possible d'utiliser un ou plusieurs modules de quelques dizaines de cellules. Pour des utilisations plus importantes

les générateurs PV sont groupés dans un champ de plusieurs modules. La courbe de fonctionnement I-V d'une association série-parallèle de modules solaires aura une évolution de fonctionnement semblable à la courbe de la cellule de base, mais en modifiant les échelles sur les deux axes. Les performances d'un générateur PV sont déterminées à partir de ces courbes. En utilisant l'équation ci-dessous, pour un groupement mixte formé à partir d'un nombre N_s module en série et N_p

module en parallèle :

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{N_s \cdot V + \frac{I \cdot N_s \cdot R_s}{N_p}}{\eta \cdot N_s \cdot V_T} \right) - 1 \right] + \frac{N_s \cdot V + \frac{I \cdot N_s \cdot R_s}{N_p}}{\frac{N_s \cdot R_p}{N_p}} \quad (2.2)$$

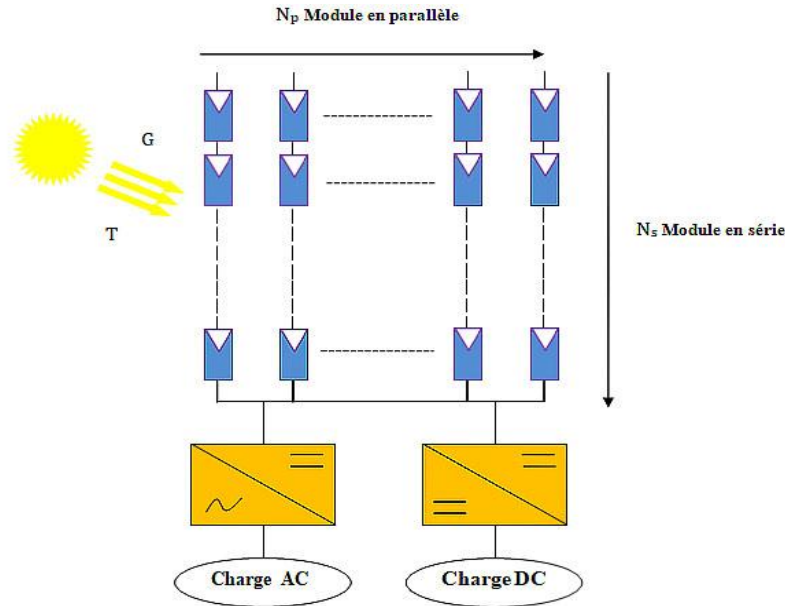


Figure 2. 5 : Groupement de Ns module en série et N_p en parallèle

2.5.2 Le groupe électropompe :

2. 5.2.1 Pompes :

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement : elles sont soit de type volumétrique ou bien de type centrifuge. Outre ces deux classifications que nous décrirons plus loin, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée : pompe à aspiration et pompe à refoulement.

2.5.2.2 Pompe centrifuge :

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. On utilise habituellement les pompes

centrifuges pour les gros débits et les profondeurs moyennes ou faibles (10 à 100 mètres).

Principe de fonctionnement :

Une pompe centrifuge est constituée par :

- une roue à aubes tournant autour de son axe
- un distributeur dans l'axe de la roue
- un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie. [46]

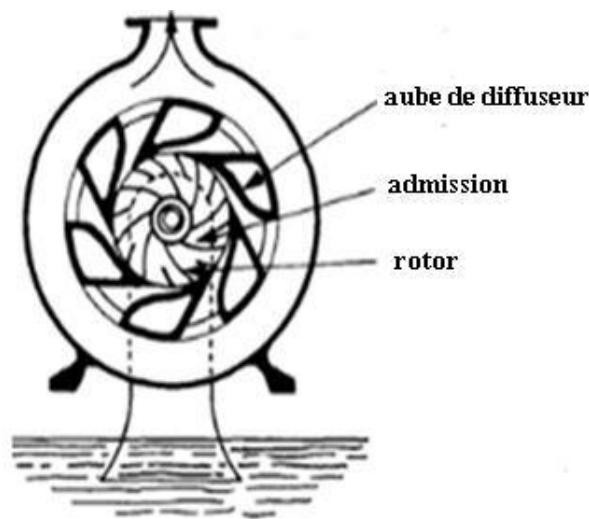


Figure 2. 6 : Illustration d'une centrifuge à turbine.

✚ Caractéristiques d'une pompe centrifuge:

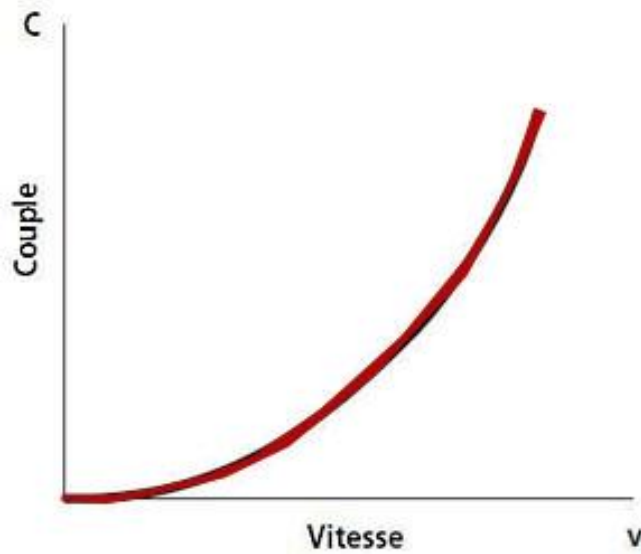


Figure 2. 7 : Le couple augmente trèsrapidement en fonction de la vitesse

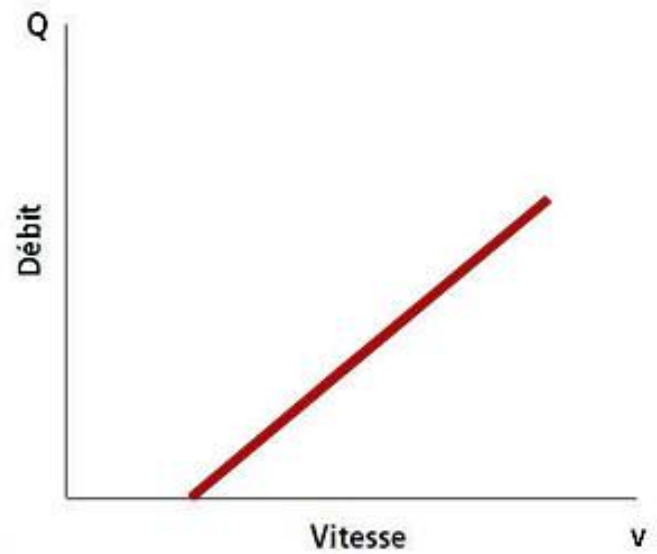


Figure 2. 8 : Le débit est proportionnel à
Toute fois il faut une vitesse minimale

2.5.2.3 Pompe volumétrique

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.

Le couple de démarrage est pratiquement indépendant du débit et sera proportionnel à la H_m (3 à 5 fois le couple nominale). La puissance consommée sera proportionnelle à la vitesse. C'est pourquoi ces pompes sont habituellement utilisées pour les puits et les forages à grandes profondeurs et à petits débits d'eau inférieure à $5\text{m}^3/\text{h}$. [49]

✚ Principe de fonctionnement :

Une pompe volumétrique se compose d'un corps de pompe parfaitement clos à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté. Leur fonctionnement repose sur l'exécution d'un mouvement cyclique, un volume déterminé de liquide pénètre dans un compartiment avant d'être refoulé à la fin. Ce mouvement permet le déplacement du liquide entre l'orifice d'aspiration et l'orifice de refoulement. La particularité des pompes volumétriques c'est leur étanchéité est ça grâce à une séparation interne entre l'orifice d'admission et l'orifice de refoulement ce qui permet de prévoir le débit d'une pompe volumétrique avec exactitude [Ait 11], [Mec 12]. [50]

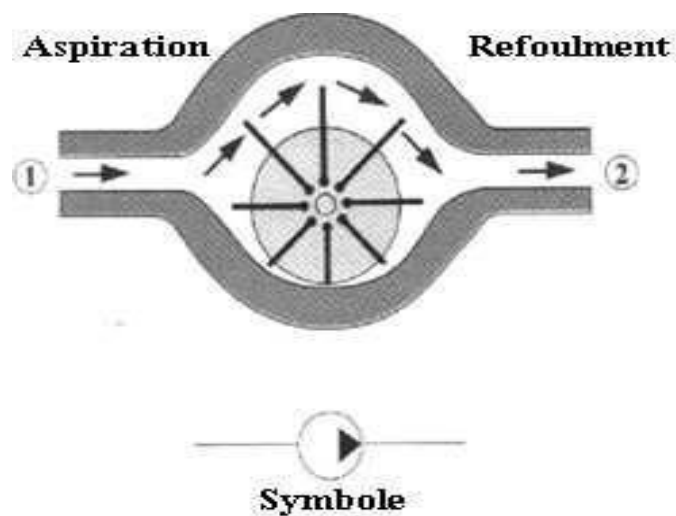


Figure 2. 9 : Pompe volumétrique rotative à palette.

✚ Caractéristiques d'une pompe volumétrique [Mok 11] :

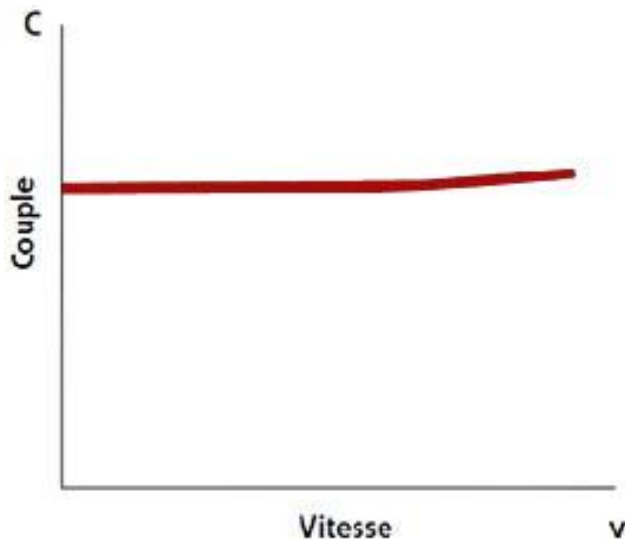


Figure 2. 10 : Le couple est pratiquement

constant en fonction de la vitesse

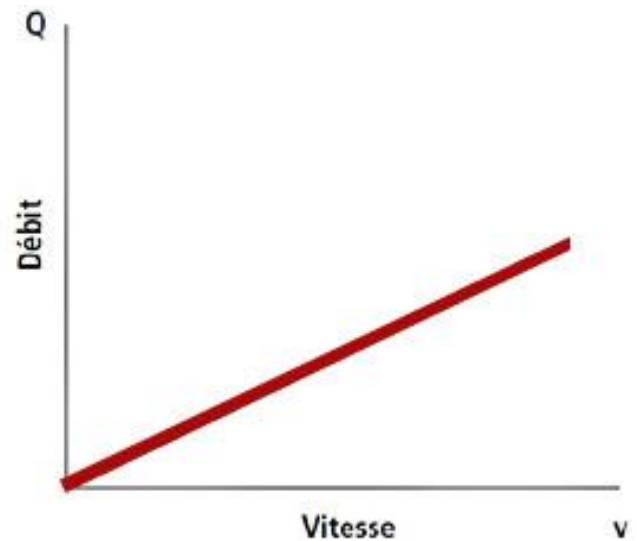


Figure 2. 11 : Le débit

est proportionnel

à la Vitesse

2.5.3 Les moteurs électriques :

Un moteur électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique. La plupart des machines électriques fonctionnent grâce au magnétisme, il existe deux types de moteurs : à courants continu et alternatif .

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.

Le couplage est direct ou avec optimisation du générateur par un hacheur adaptateur de puissance commandé par son rapport cyclique (Figure 3.4). L'installation ainsi définie nécessite une électronique relativement simple mais présente l'inconvénient du moteur à courant continu qui demande un entretien régulier. [52]

Les 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, il est utilisé particulièrement pour le pompage dans les puits ouverts.

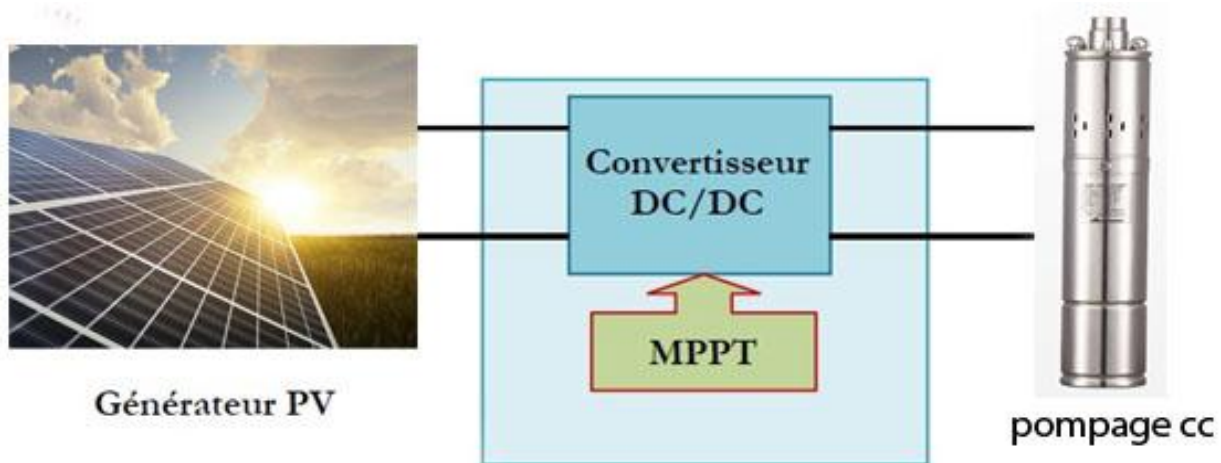


Figure 2. 12 : Diagramme du pompage PV par motopompe à CC

- **Moteur à courant continu, sans balais (Brushless) :** Ce type de moteur électrique comporte non seulement les avantages des moteurs à courant continu mais également ceux des moteurs à courant alternatif :
 - fort couple au démarrage et durée de vie élevée (due à l'absence des paliers et des balais) mais leur utilisation reste limitée à des faibles puissances.

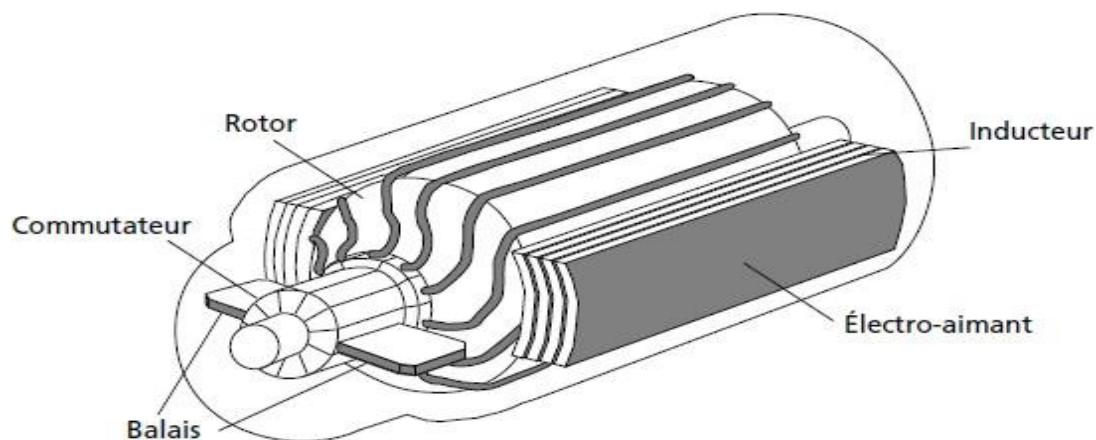


Figure 2. 13 : Moteur à courant continu avec balais.

Moteur à courant alternatif

Les moteurs alternatifs asynchrones (rotor à cage) sont les plus couramment employés pour une gamme variée d'applications industrielles. Par exemple, les pompes sur réseau utilisent depuis longtemps ce type de moteur. Il est utilisé particulièrement pour le pompage immergé dans les forages et les puits ouverts. L'arrivée d'onduleurs efficaces a permis l'utilisation de ce type de moteurs dans les applications de pompage solaire.

L'utilisation d'un moteur asynchrone (à courant alternatif triphasé) plus robuste et moins cher (aussi faible besoin de maintenance) devient une solution plus économique et plus pratique même au prix d'un circuit électronique de commande plus complexe.

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation. Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur PV (voir figure 2.5). [56]

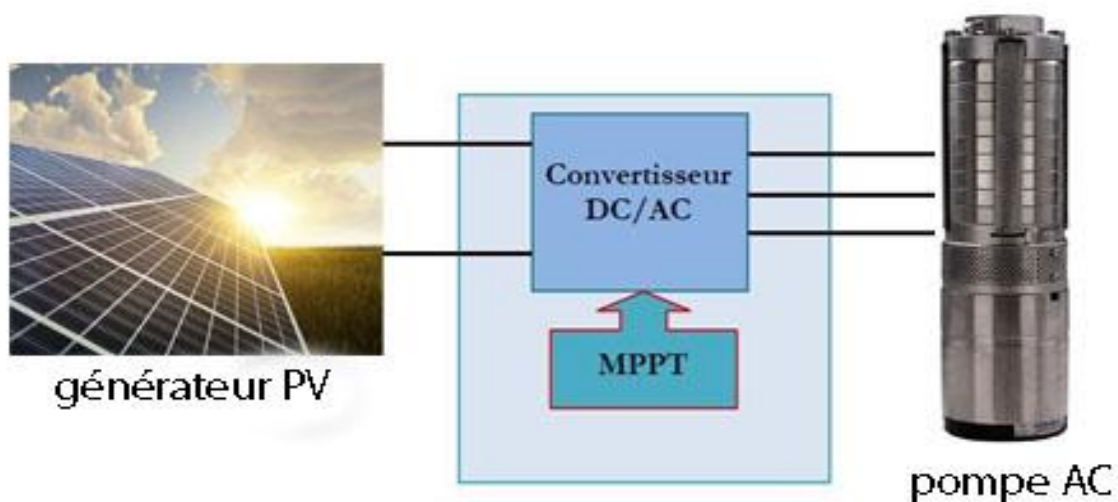


Figure 2. 14 : Diagramme du pompage PV par motopompe à AC

2.5.3. L'électronique de commande et de contrôle

Le convertisseur DC/DC (hacheur)

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur PV et de la transférer à la charge (pompe alimentée par moteur à courant continu), la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge comme décrit dans la figure 2.4. Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle commandé par son rapport cyclique.

Le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de la puissance maximale disponible.

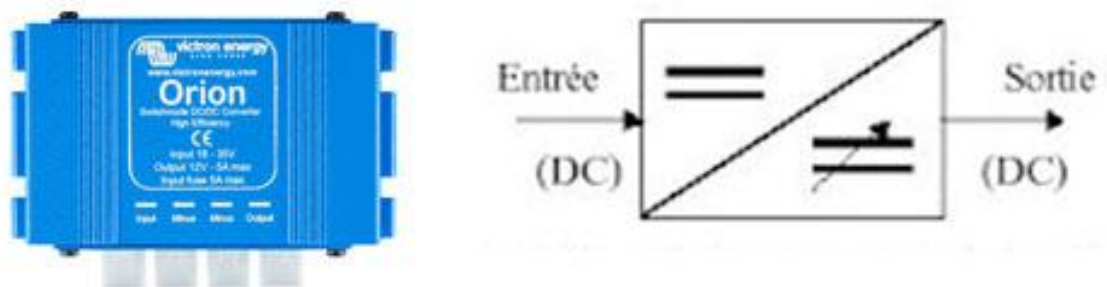


Figure 2. 15 : Conversion DC / DC.

Le convertisseur DC/AC (onduleur)

La fonction principale de l'onduleur est de transformer le courant continu, produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. L'onduleur fonctionne évidemment avec un circuit de génération des signaux PWM commandé par un circuit de régulation et de protection.

. Le convertisseur DC/AC assure le transfert optimal de puissance du générateur solaire vers le groupe moteur pompe et protège la pompe contre le fonctionnement à vide lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le puits. Le rendement de l'onduleur est généralement élevé pour valoriser au mieux l'énergie produite par le générateur. Il est de l'ordre de 95 % au point de fonctionnement nominal. [53]



Figure 2. 16 : Conversion DC / AC

2.5.4 La partie stockage :

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles.

Aussi, le système de stockage avec batterie génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus.

Le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs. Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement. [54]

2.6 Dimensionnement complet de l'installation:

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.

2.6.1 Estimations des besoins en eau :

Pour une région saharienne, les besoins en eau peuvent être définis en utilisant les valeurs du tableau suivant :

Humains	Animaux	Irrigation
Par personne 5 à 10 litres/jour minimum Conditions de vie normale 30 litres/jour	Moutons et chèvres 5 litres/jours Cheval 40 litres/jour Ane 20 litres/jour Chameau 20 litres/jour	Agriculture maraichère 60m3/hectare/jour Riz 100 m/hectare/jour Sucre de canne 65 m/hectare/jour Coton 55 m/hectare/jour

Tableau 2. 1: Diagramme d'estimation des besoins en eau

2.6.2 Calcul de l'énergie hydraulique quotidienne requise

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

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (2.3)$$

Avec :

E_h : Énergie hydraulique [kwh/J]

C_h : Constante hydraulique [kg. s. h/m²]

Q : Volume d'eau [m³/Jour]

H_{MP} : Hauteur manométrique total[m] Où :

$$C_h = g \cdot \rho / 3600$$

ρ : Densité de l'eau (1000kg/m³)

g : La gravité terrestre [9.81m/s²]

▪ **Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise :**

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante : [57]

$$E_e = E_h / (\eta_{MP} \eta_{Conv}) \quad (2.4)$$

Où :

E_e : Energie électrique exprimé en [kwh/J]

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

η_{Conv} : Le rendement d'onduleur.

2.6.3 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 à l'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique.

2.7 Taille du générateur photovoltaïque :

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

2.7.1 Méthode analytique :

Une fois connus le volume journalier Q [m³/jour], la hauteur manométrique totale HMT et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_c est calculée par l'expression suivante [14] :

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure CSM, (éclairage de [1000w/m²] et la température 25°C).

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (2.5)$$

Avec :

P_C : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).

$5g$: Le rendement du générateur à la température de référence (25°C).

A : La surface active du générateur (m²).

G : L'éclairement solaire.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

P_C : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).

$5g$: Le rendement du générateur à la température de référence (25°C).

A : La surface active du générateur (m²).

G : L'éclairement solaire.

énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$L' E_e = 5_{PV} . A . G_d (\beta) \quad (2.6)$$

5_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_d (\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β [kWh/m²/j].

Le rendement η_{PV} est calculé par la formule suivante :

$$5_{PV} = F_m [1 - \gamma(T - T_r)] 5_g \quad (2.7)$$

Où :

F_m : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0,005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement

- Calcul de la puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ

En substituant les équations (2.5), (2.7) et (2.8) dans (2.6), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma(T - T_r)] G_d (Q)} \cdot \frac{E_h}{y_{MP} X y_{con}} \quad (2.8)$$

2.7.2 Méthode graphique :

Le calcul de la puissance du générateur photovoltaïque peut être effectuée de deux manières :

soit par des expressions analytiques comme celle donnée ci-dessus, ou bien en utilisant les abaques de rendement des pompes fournis par le constructeur qui donne en fonction de l'irradiation globale la puissance nécessaire développée P_c par les panneaux pour faire fonctionner la pompe dans cette gamme de débit, et de HMT. Ces dernières sont assez pratiques (voir Figure 2.5) et résument les performances des différentes pompes en fonction des conditions de leur utilisation.

Les abaques :

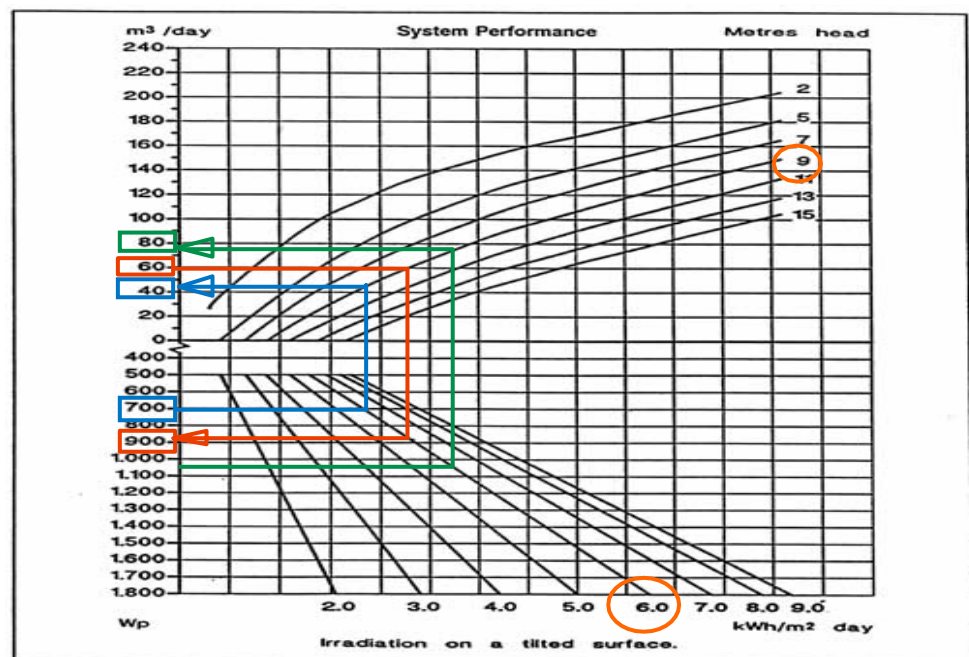


Figure 2. 17 : Courbe typique des performances d'une pompe en conditions d'utilisation.

Ce sont des graphiques à lecture directe facilitant les calculs numériques. Graphiques servant à déterminer spontanément des résultats obtenus par des calculs dans un système de lignes prédéfinies et préparées d'avance.

Les abaques s'exploitent par une lecture directe sans avoir à effectuer de tracés complémentaires en lisant directement les données se situant à l'intersection des droites correspondante par la lecture du point concourant en relation avec les besoins de l'intervenant Les constructeurs d'équipement élaborent de tels diagrammes sur la base des donnée calculées ou mesurées, Ce genre de graphes donne la configuration possible d'une électropompe. A titre d'exemple, **la figure 2.6** montre les caractéristiques de l'électropompe SP14A-3 donnée par le constructeur GRANDFOS.[58]

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre, deux techniques de pompage PV ont été présentées : pompage au fil de soleil et pompage avec batterie. Nous avons montré l'intérêt du pompage dit « au fil du soleil ». Nous avons également pu conclure que les systèmes de pompage photovoltaïque les plus courants, selon l'état de l'art actuel, sont constitués d'une pompe centrifuge menue d'un moteur à induction triphasé. Le moteur est alimenté par un générateur photovoltaïque sans batteries, via un onduleur triphasé à fréquence variable conçu spécifiquement pour cette application.

Chapitre III

Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque

III.1 Introduction

Dans la partie précédente de ce travail, nous avons étudié le système de pompage photovoltaïque, dans l'état de la vallée, l'irrigation est souvent utilisée par des pôles traditionnels, qui sont isolés de l'électricité publique, et pour cette raison nous avons choisi le système d'alimentation photovoltaïque, qui est devenu rentable à long terme.

Il est intéressant d'évaluer ces systèmes pour connaître le coût du kilowattheure et le comparer avec le coût de l'électricité conventionnelle, et pouvoir maîtriser sa propre irrigation afin de répondre aux impératifs techniques (cultures) et économiques (coût optimal) .

C'est pourquoi nous avons décidé d'utiliser la simulation numérique **Matlab** pour comprendre le comportement de chaque appareil de ce réseau photovoltaïque et ainsi nous permettre de suivre toutes les phases de transformation de puissance et de déterminer en détail la cause des pertes.

III.2 Description climatique de la région d'El-oued:

La wilaya d'El-oued située au sud-est Algérien. Elle est dotée d'un fort potentiel de rayonnement solaire, et la région est caractérisée par une saison d'été très chaude (Juin - Septembre), la température ambiante varie entre 10°C au mois de Janvier (le mois le plus froid) et 34°C au mois de Juillet (le mois le plus chaud), avec une valeur moyenne annuelle de 22.6°C.

Généralement elle est caractérisée par un climat saharien avec une énergie d'ensoleillement de plus de 6.347 kWh/m² par jour. La région dispose de ressources importantes d'eau souterraine.

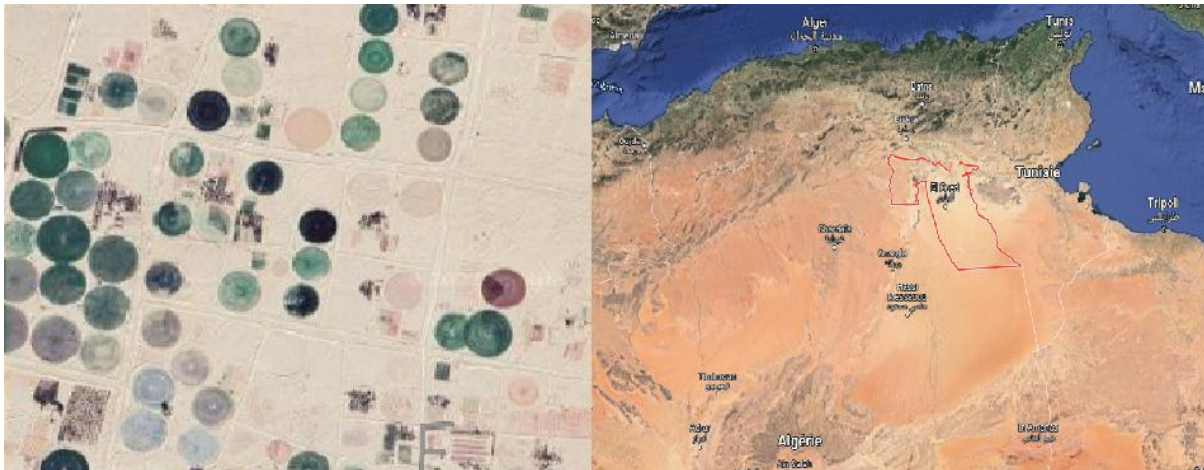


Figure III : Situation géographique de l'état d'El-oued

Utilisez le site global pour extraire l'étendue du rayonnement solaire et autre

« global solar atlas »

Puissance de sortie photovoltaïque spécifique	4.996 kWh/kWc
Irradiation normale directe	5.492 kwh/m ²
Irradiation horizontale globale	5.461kwh/m ²
Irradiation inclinée globale à un angle optimal	6.347 kwh/m ²
Inclinaison optimale des modules PV	36°/180 degré
Température	22.6 °C

Tableau III.1 : Informations exactes du site global solaire atlas pour l'état d'El-oued

➤ Moyennes annuelles :

Puissance de sortie photovoltaïque totale	irradiation globale inclinée
4.714 GWh par jou	2305.7 kWh/m ² par jour

Tableau III.2 : Puissance de sortie photovoltaïque totale et irradiation globale inclinée

➤ Moyennes mensuelles :

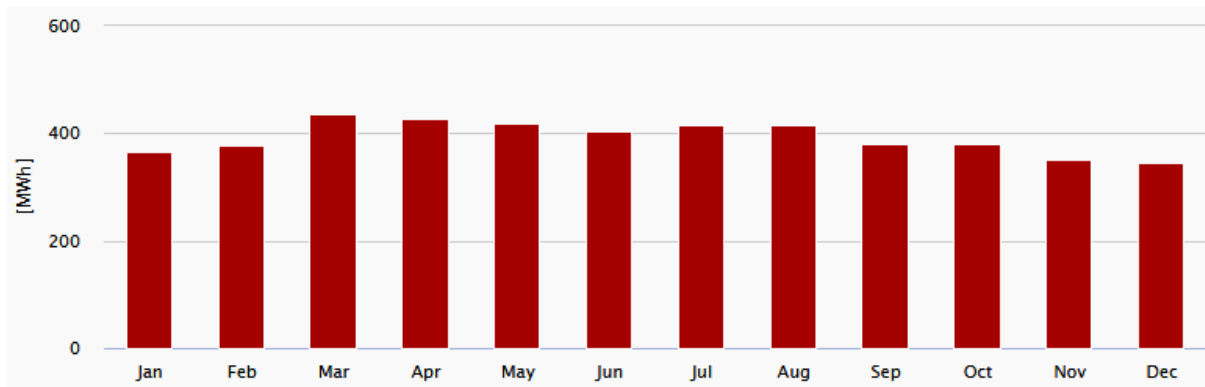


Figure III.1 : Puissance photovoltaïque totale d'El-oued

À partir du chapitre de travail précédent, nous avons testé un système photovoltaïque pour une ferme qui contient un puits avec une pompe à énergie solaire et un axe d'irrigation fonctionnant avec un moteur à courant alternatif. La superficie du terrain est de 3 hectares et un axe d'irrigation (pivot) d'un diamètre de 50 M.

Notre système solaire contient deux pompes d'une capacité totale de 3,5 hp. Le système contient une pompe de puits d'une capacité de 2.5 hp et une pompe d'une capacité de 1 hp pour un moteur d'irrigation à pivot.

Sur cette base, nous présentons les composants d'un système de panneaux, onduleurs et batteries pour la recharge, et nous étudions comment améliorer le rendement d'un système d'irrigation en agriculture. La puissance totale est:

un Puit :

$$2.5 * 746 = 1865 \text{ w}$$

Pivot :

$$1 * 746 = 746 \text{ w}$$

$$\text{La puissance totale} = 746 + 1865 = 2611 \text{ w}$$

Type de panneau solaire:

Les panneaux solaires poly de 157 W (GSPV157P)

Charge controller :

Module - MPPT- 30 A

Inverseur :

Modèle ZX7- 80 3800 w

Battrey :

Ampere Time 12V 200Ah (d.o.d = 80% , eff = 85%)

d.o.d : C'est la capacité maximale que la batterie peut atteindre lorsqu'elle est déchargée

eff : Efficacité de la batterie

▪ **Déterminer la perte du système :**

$2611 * 4 \text{ heure}$ (Temps de fonctionnement de la pompe de puits) = 10444 w

$10444 / 0.65 = 16067.69 \text{ w}$

effort du système : 48 v

▪ **Calculer le nombre de panneaux :**

$16067.69/6$ (Le nombre d'heures de rayonnement solaire dans la région d'El-oued) = 2677.94 w

$P_{\text{max panneau}} = 157 \text{ W}$

$2677.94/157 = 17.05 \rightarrow 17 \text{ panneau}$

▪ **Calculer le nombre de batterie :**

Nous supposons que le nombre d'heures de coucher du soleil est de **2 jour** et à partir de là, nous considérons un courant requis par jour dans l'unité ampère-heure du nombre de jours de coucher du soleil :

Nombre de batterie en parallèle

$((16067.69 * 2 \text{ jour}) / (0.8(\text{d.o.d}) * 48\text{V})) / 200 \text{ Ah} = 4$

$\rightarrow 4 \text{ batterie parallèle}$

$N_{\text{bp}} = 4 \text{ batterie parallèle}$

Nombre de batterie en série :

$48 / 12 = 4$

$N_{\text{bs}} = 4 \text{ batterie série}$

Nombre de batterie totale :

$N_{\text{t batterie}} = 4 + 4 = 8 \text{ batterie}$

- Nombre panneau en série :

$$N_{cs} = 48 / 6 (V_{oc}) = 8 \text{ panneau}$$

- Nombre panneau en parallèle :

$$17 - 8 = 9 \text{ panneau}$$

- Charge contrôler :

$$2611 * 1.30 = 3394.3 \text{ w} \rightarrow 3.5 \text{ KW}$$

$$(6 (v_{co}) / 48) * 17 (\text{nombre de panneaux}) * (7.34 (i_{cc}) * 1.30) \\ = 0.125 * 162.214 = 20.27 \text{ A}$$

$$I = 20.27 \text{ A}$$

Model – mppt – 30 A

Mppt voltage range : (48v , bat.sys : 60 Vdc -180 Vdc)

Max efficiency : 99 %

- Inverter :

$$3394.3 / 48 = 70.71 \text{ A} \rightarrow 80 \text{ A}$$

Capacité inverter : 3.8 kw et 80 A

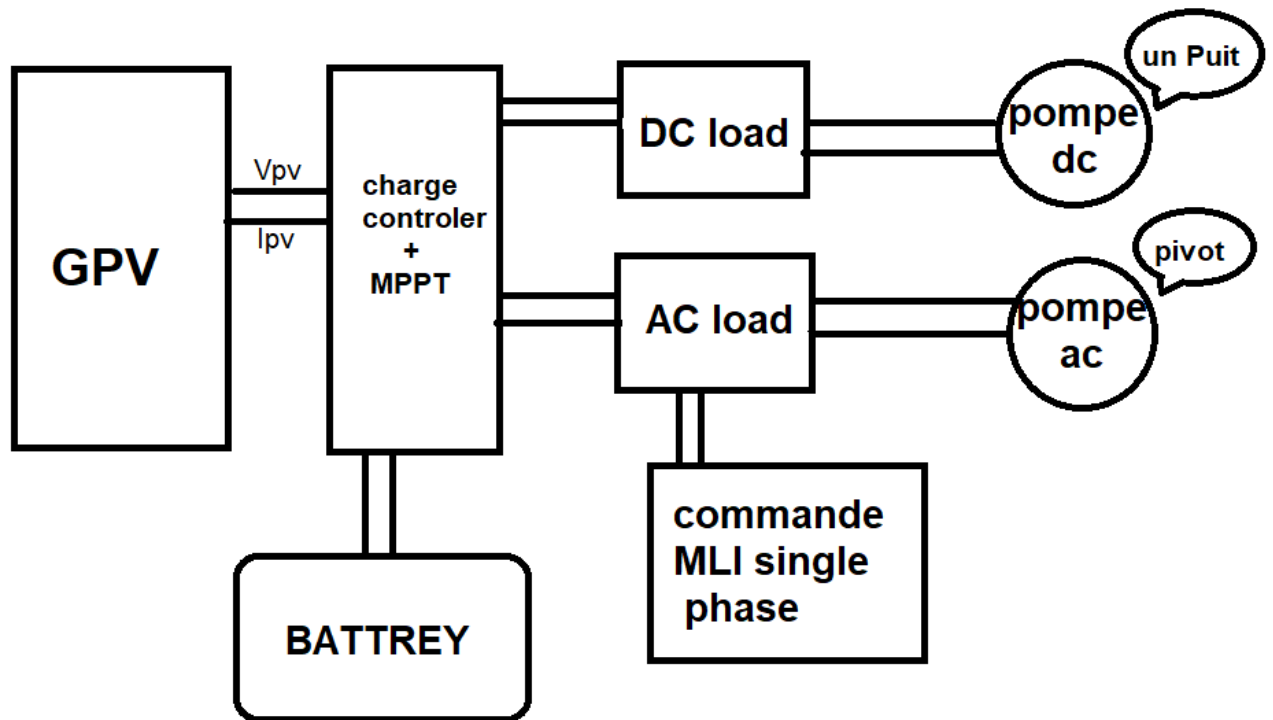


Figure III.2 : Synoptique du système de pompage global

III.3 Simulation d'une cellule photovoltaïque :

Les caractéristiques électriques de cellule sont données dans le tableau suivant :

Eclairement standard	$G=1000 \text{ W/m}^2$
Température standard	$T=25 \text{ }^\circ\text{C}$
Facteur d'idéalité A	$A=1.6$
Energie de la bande interdite	$E_g \approx 1.1 \text{ eV}$
Courant de court-circuit I_{cc}	7.34 A
Tension a circuit ouvert V_{oc}	6 V

Tableau (III.3) Caractéristique électrique de la cellule dans les conditions standards <CST> $T=25^\circ\text{C}$, $G=1000\text{W /m}^2$

III.3.1 Caractéristiques I(V) et P(V) :

Les résultats obtenus de la simulation (programmation en utilisant le logiciel MATLAB) d'un caractéristiques courant –tension I(V) et puissance -tension P(V) de la cellule photovoltaïque dans les conditions standards ($T=25^{\circ}\text{C}$, $E=1000\text{ W/m}^2$) sont représentés dans les figures (III.3) et (III.4) :

La figure (III.3) représente la caractéristique courant – tension d'une cellule solaire dans les conditions de $E=1000\text{ W/m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$. Le courant de court-circuit est égale 7.34A et la tension de circuit ouvert est 0.6 v.

On observe que la caractéristique I(V) d'une cellule photovoltaïque est identique à celle d'une jonction P-N avec un sens bloqué, mais décalé le long de l'axe du courant d'une quantité directement proportionnelle à l'éclairement.

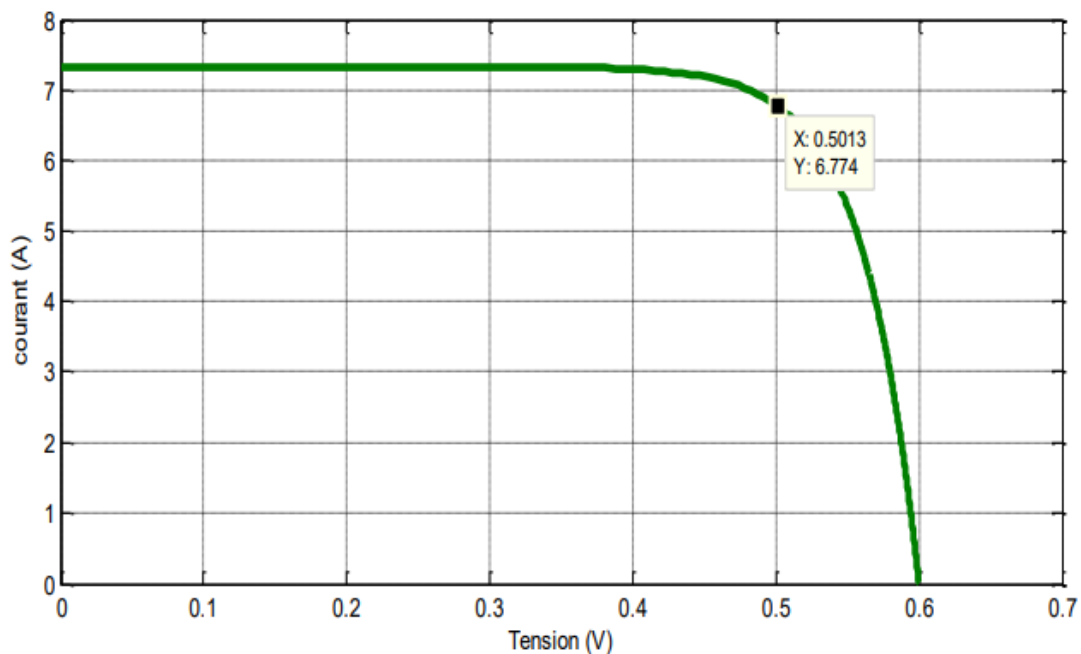


Figure (III.3) : Caractéristique I(V) d'une cellule ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).

La figure (III.4) représente la caractéristique puissance – tension d'une cellule solaire dans les conditions de $E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$. La puissance maximale est $P_{\text{max}}=3.395\text{W}$. On remarque que, quand la tension augmente la puissance augmente jusqu'à atteindre la valeur optimale (P_{max}) ensuite elle décroît.

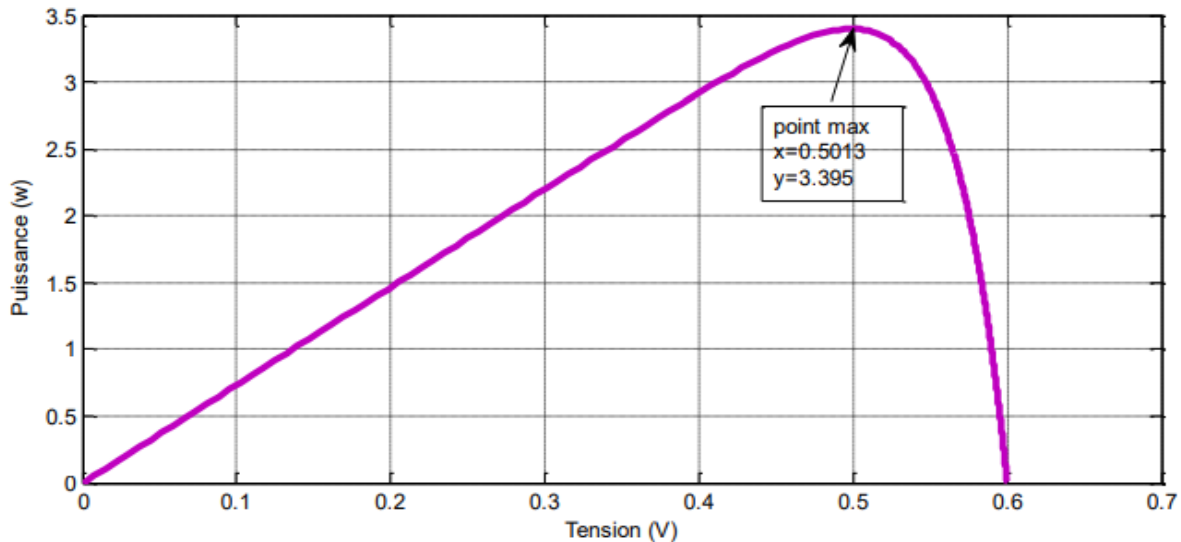


Figure (III.4) : Caractéristique $P(V)$ d'une cellule ($T=25^\circ\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).

III.3.2 Effets climatiques sur la cellule PV:

III.3.2.1 Influence de la température sur la cellule :

Les figures (III.5) et (III.6) représentent la caractéristique courant – tension $I(V)$ et puissance – tension $P(V)$ dans la même condition de l'éclairement ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et pour différents température ($T=0, 20, 40, 60$) :

La tension de circuit ouvert est diminué avec l'augmentation de la température, par contre le courant de court-circuit augmente légèrement avec l'augmentation de la température et la puissance maximale diminue. On constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert.

III.3.2.1.1 Caractéristique (I-V)

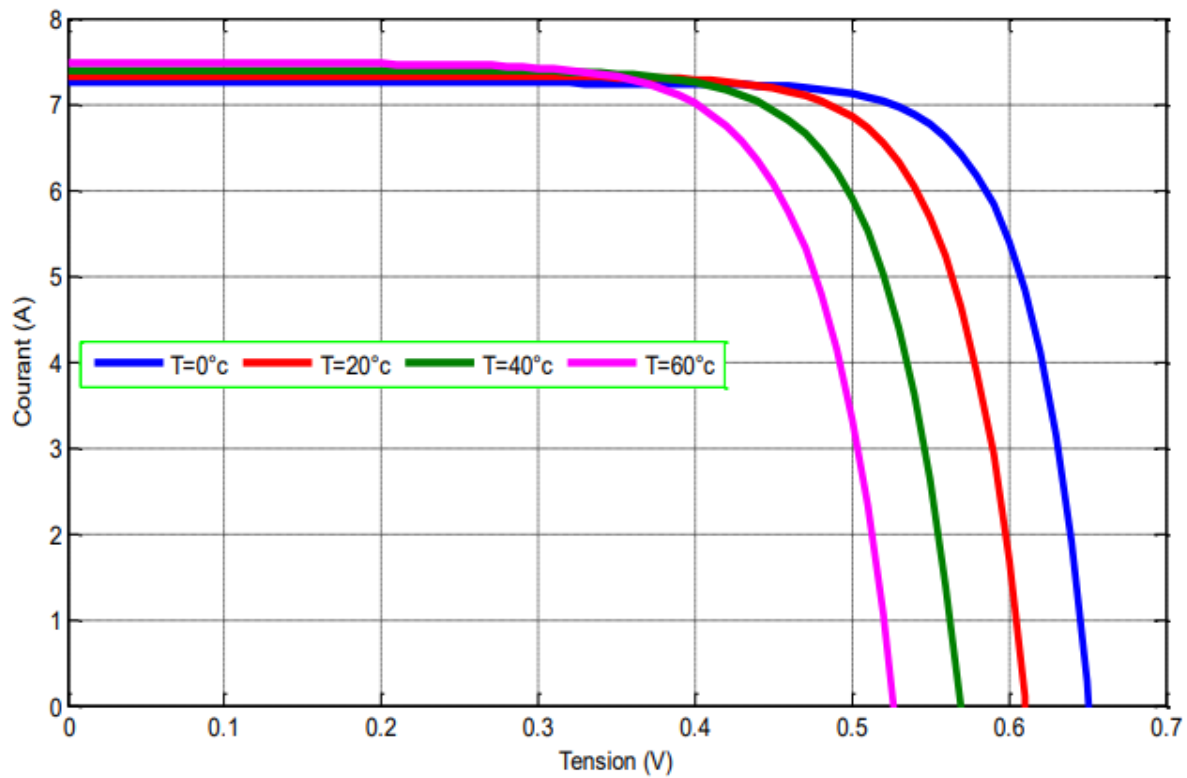


Figure (III.5) : Caractéristique I(V) pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

III.3.2.1.2 Caractéristique (P-V)

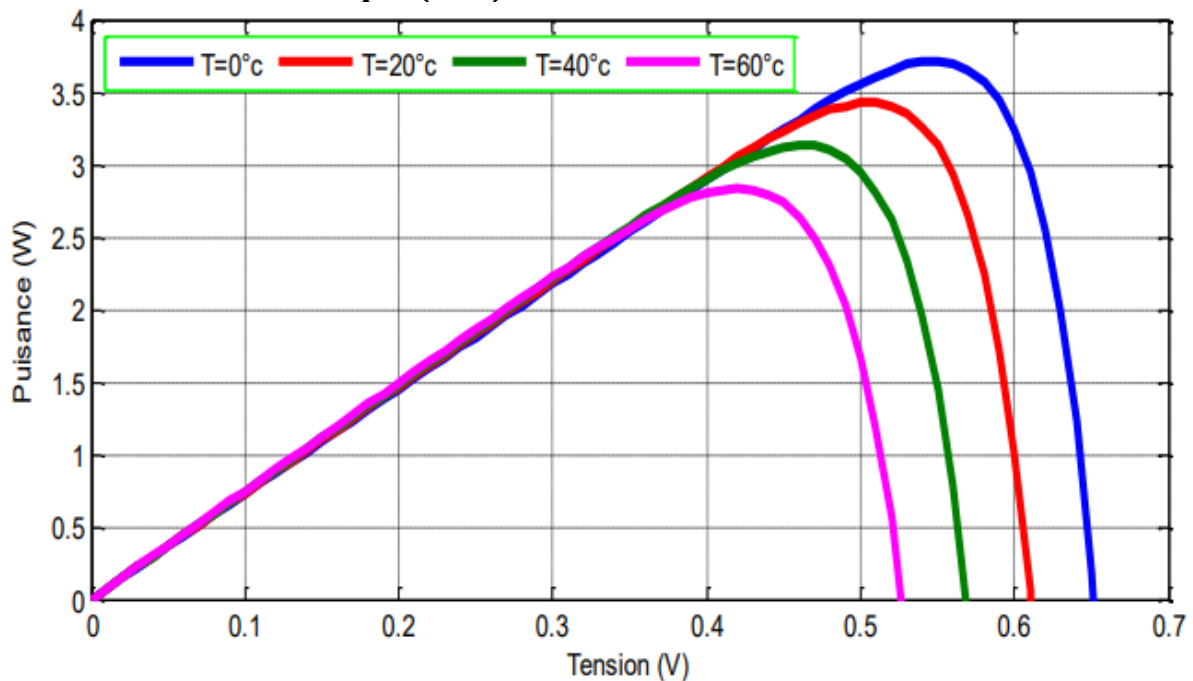


Figure (III.6) : Caractéristique P(V) pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

On peut donc tirer la conclusion suivante : les cellules PV ont de meilleure performance dans un environnement froid avec ciel dégagé.

III.3.3.2 Influence de l'éclairement sur la cellule

Les figures (III.7) et (III.8) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une cellule en fonction de la variation de l'éclairement ($E=200.400.600.800.1000$ W/m²) à température constants ($T=25^{\circ}\text{C}$) :

Le courant de court-circuit est directement proportionnel au rayonnement incident. Par contre, la tension de circuit ouvert augmente rapidement pour de faibles niveaux d'éclairement, puis lentement pour des niveaux plus élevés (...figure (III.7)).

La figure (III.8) illustre la variation de la puissance délivrée par la cellule en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V).

III.3.3.2.1 Caractéristique (I-V)

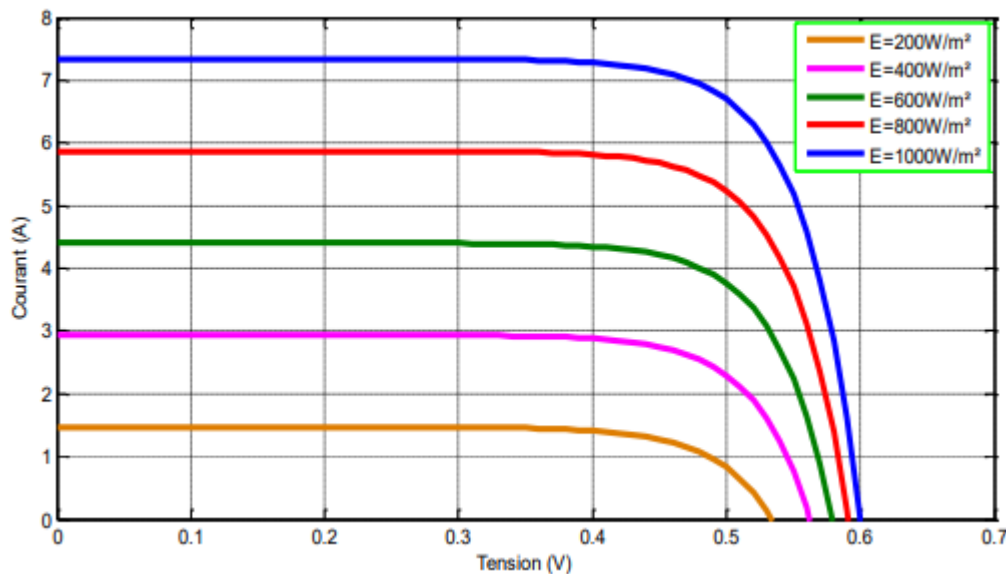


Figure (III.7) : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}\text{C}$).

III.3.3.2.1 Caractéristique (P-V)

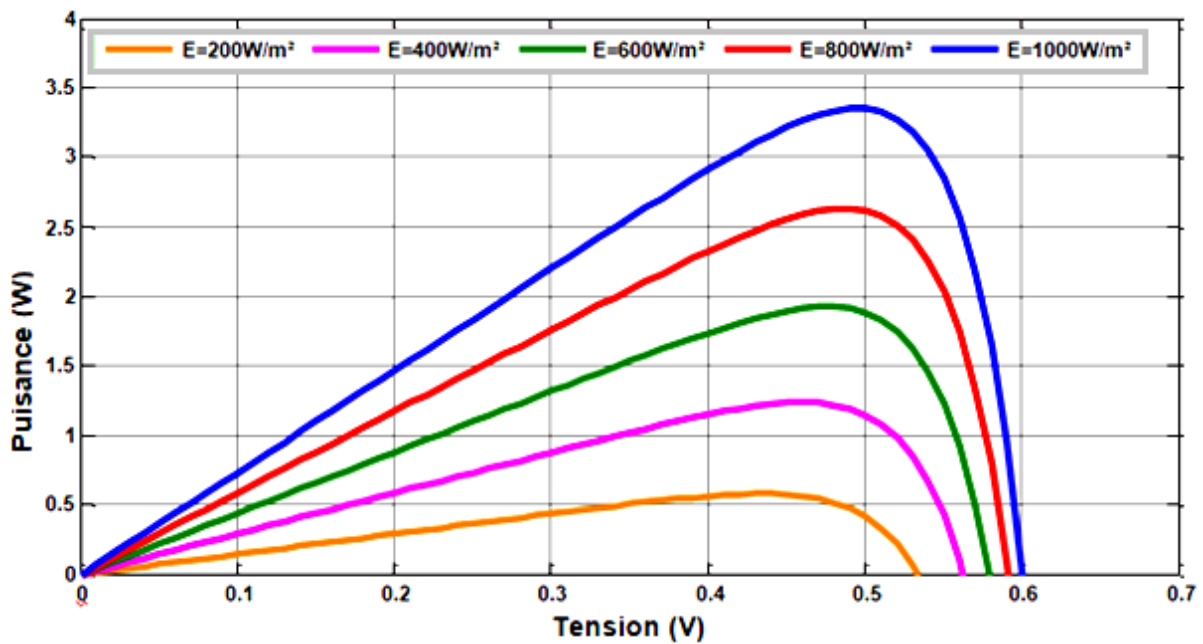


Figure (III.8) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).

III.4 Simulation du générateur photovoltaïque

Nous avons pris un générateur composé de 17 cellules connectées en série et est considéré dans les conditions standards. T=25°C, G=1000W/m².

III.4.1 Caractéristique (I-V)

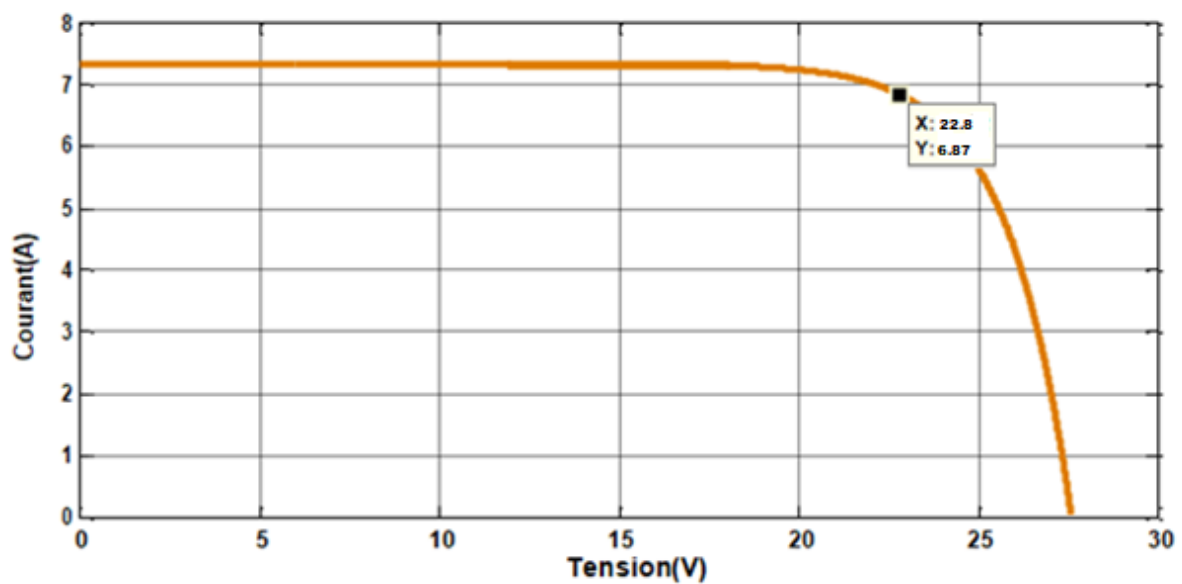
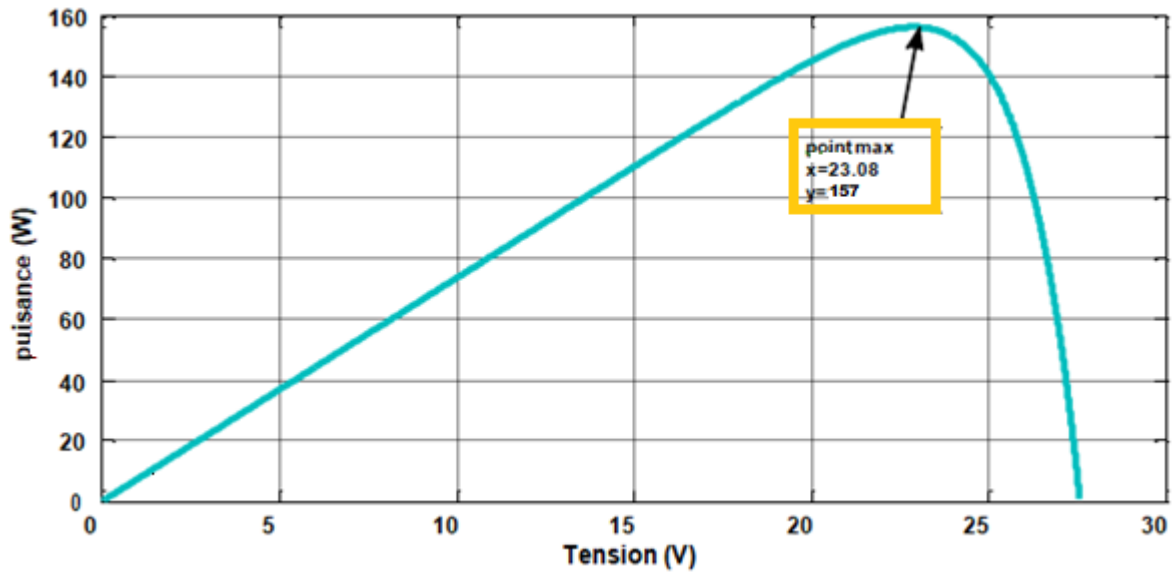


Figure (III.9) : Caractéristique I(V) d'un générateur PV (T=25°C, G=1000W/m²).

III.4.2 Caractéristique (P-V)

Figure (III.10) : Caractéristique P(V) d'un générateur PV ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W/m}^2$).

Le courant de court-circuit est $I_{sc}=7.34\text{A}$, la tension de circuit ouvert est $V_{oc} = 6\text{ V}$ figure (III.9) Ce résultat peut être expliqué par le fait que le générateur est composé de **17 cellules** connectées en série ce qui donne :

$$V_{oc} N_{cs} = 17 * 6 = 102\text{V}$$

La puissance débitée par le générateur photovoltaïque dépende du point de fonctionnement du générateur comme il a montré par la figure (III.10). Le point max représente la puissance maximale débitée par le générateur.

A ce point $P_{max}=157\text{ W}$, ce qui est vérifiée par :

$$P_{max} = 23.08 * 6.802 = 157\text{ W}.$$

III.4.3 Influence de l'association des cellules PV sur le GPV

La cellule tout de seule ne produit qu'une très faible puissance avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance les cellules sont assemblées pour former un générateur. Dans cette partie on va étudier l'influence de l'association série et /ou parallèle des cellules.

III.4.3.1 Influence de l'association série des cellules PV

Les figures (III.11) et (III.12) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en série :

La tension de circuit ouvert augmente quand le nombre de cellule en série augmente, la valeur de courant de court-circuit n'influe pas par l'augmentation du nombre de cellule en série alors que la puissance augmente.

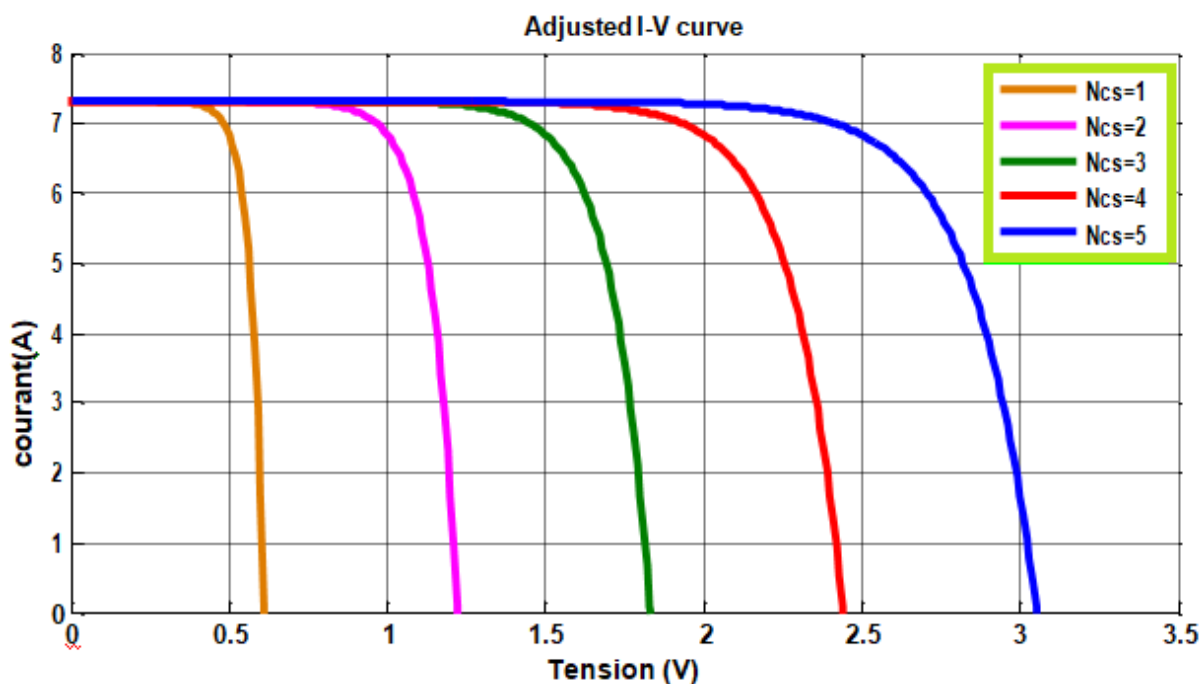


Figure (III.11) : Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en série.

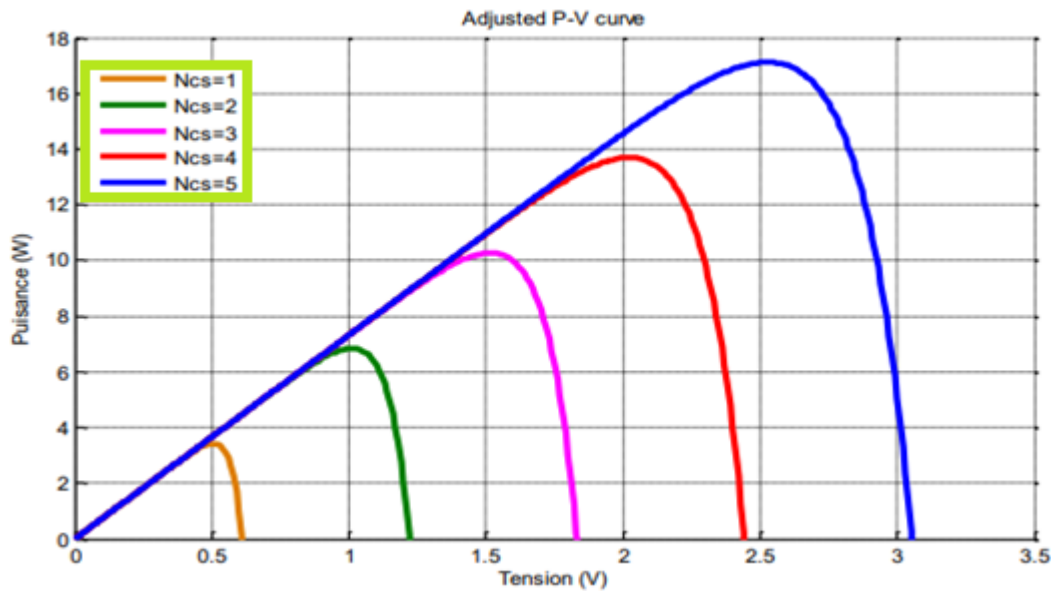


Figure (III.12) : Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en série.

III.4.3.2 Influence de l'association parallèle des cellules PV

Les figures (III.13) et (III.14) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en parallèle :

Le courant de court-circuit augmente quand le nombre de cellule en parallèle augmente, la valeur de La tension de circuit ouvert n'influe pas par l'augmentation du nombre de cellule en parallèle alors que la puissance augmente.

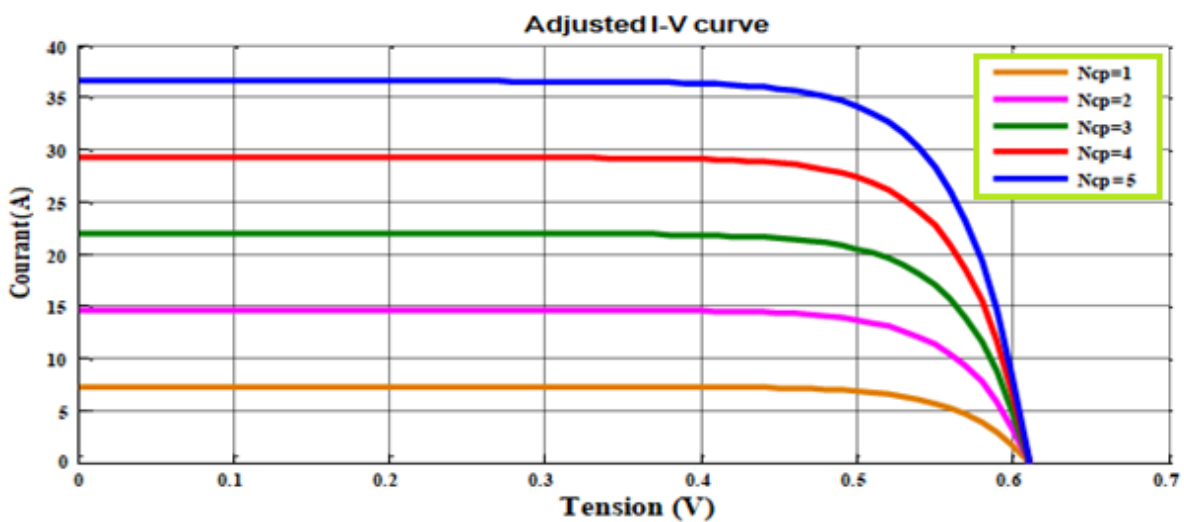


Figure (III.13) : Caractéristique I (V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.

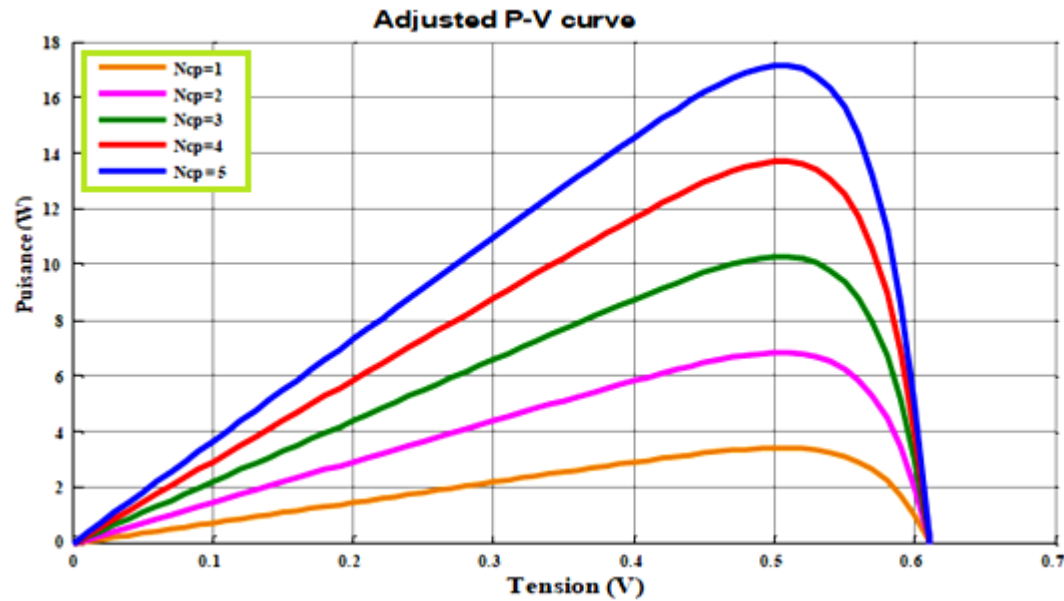


Figure (III.14) : Caractéristique P (V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.

III.4.3.3 Influence de l'association série / parallèle des cellules PV

Les figures (III.15) et (III.16) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en série/parallèle :

Le courant de court-circuit et La tension de circuit ouvert augmente relativement quand le nombre de cellule en série/parallèle augmente, alors la puissance augmente aussi.

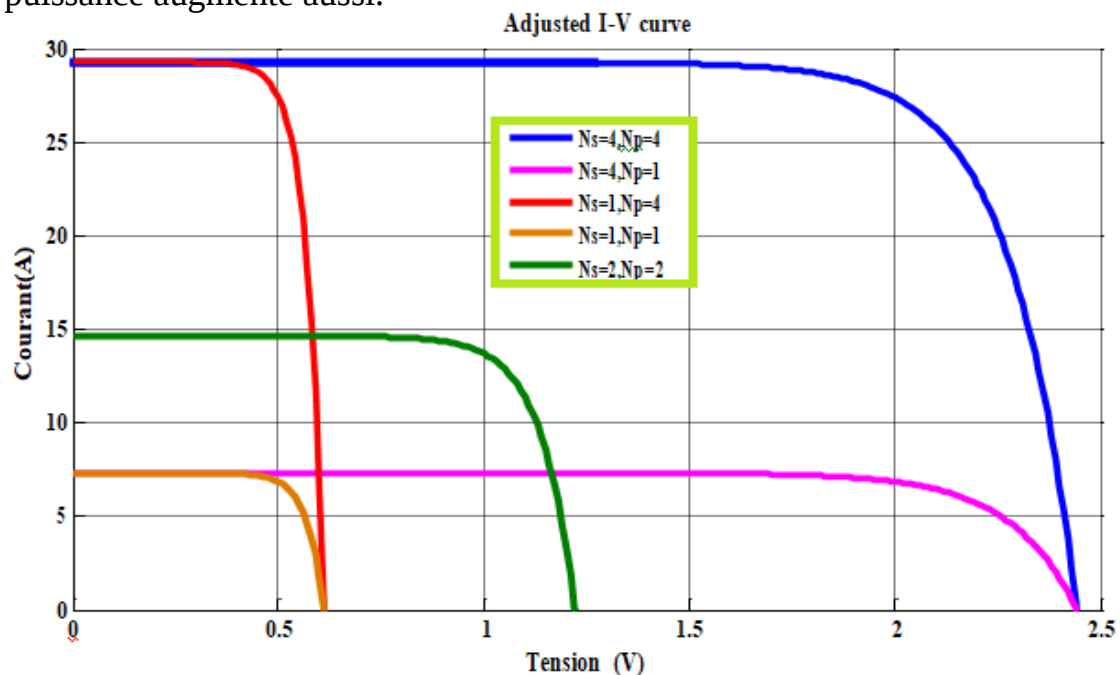


Figure (III.15) Caractéristique I (V) pour différentes nombre de cellule en Série / parallèle.

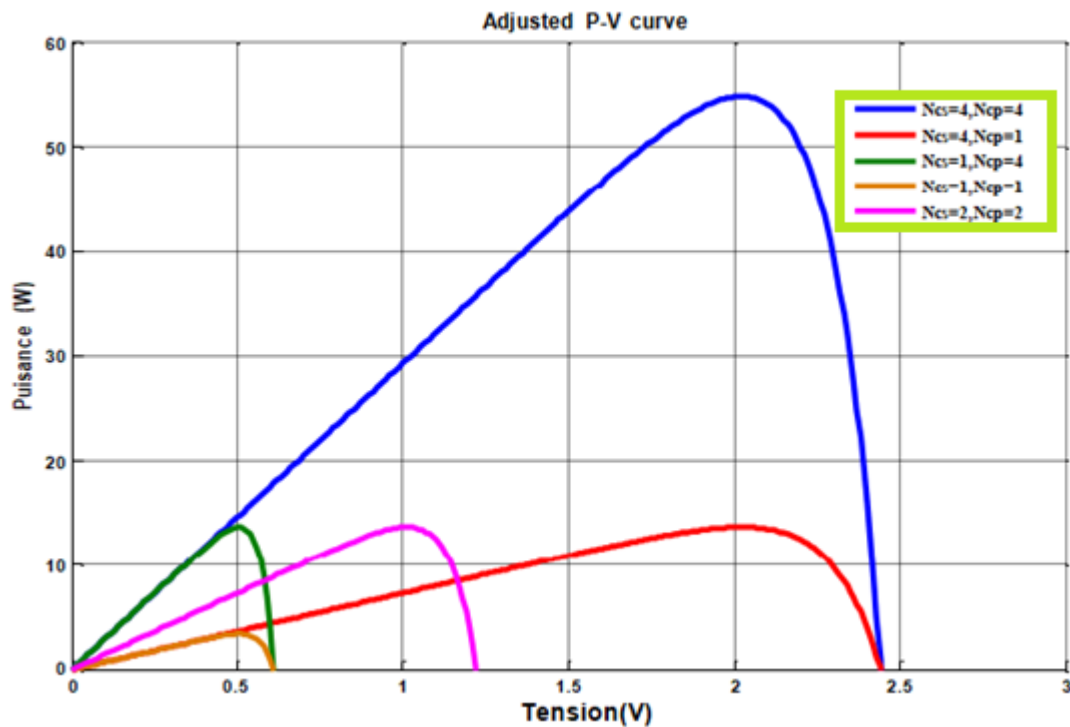


Figure (III.16) Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en Série / parallèle.

III.4.4 Effets climatiques sur le générateur PV

Les figures (III.17), (III.18), (III.19) et (III.20) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'un générateur PV pour différents température et différents éclairement, on obtient aucune différence par rapport à la simulation d'une cellule :

III.4.4.1 Influence de la température sur le générateur PV

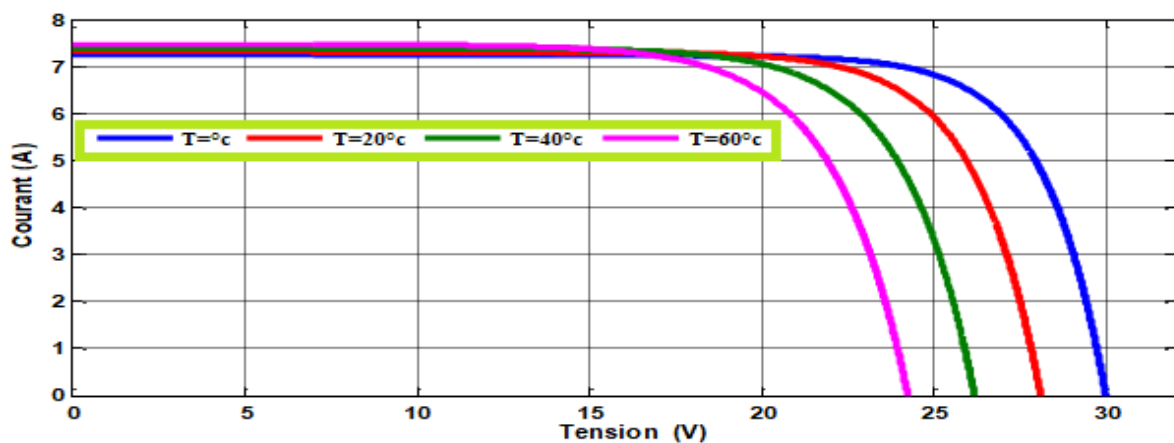


Figure (III.17) : Caractéristique I (V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

La figure (III.17) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de générateur.

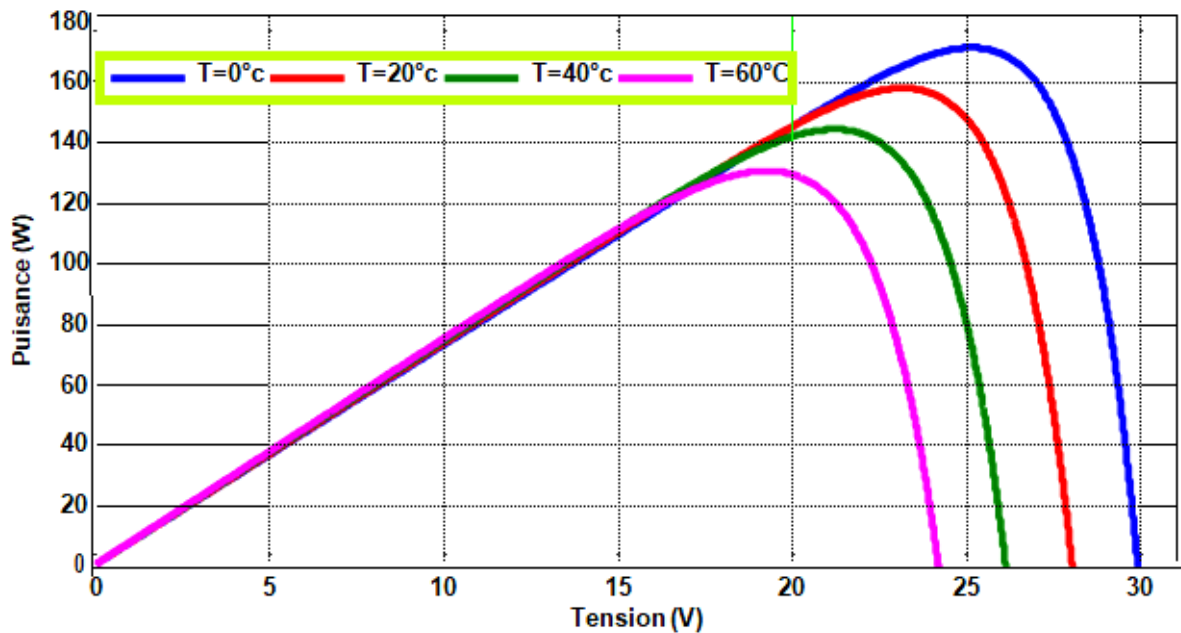


Figure (III.18) : Caractéristique $P(V)$ d'un générateur pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

III.4.4.2 Influence de l'éclairement sur le générateur PV

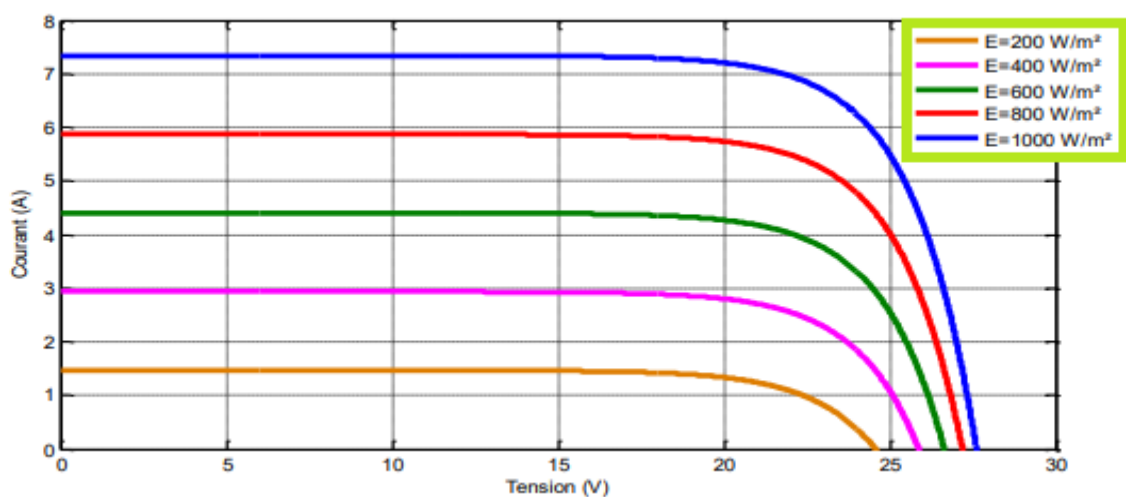


Figure (III.19) : Caractéristique $I(V)$ pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}\text{C}$).

La figure (III.19) montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique.

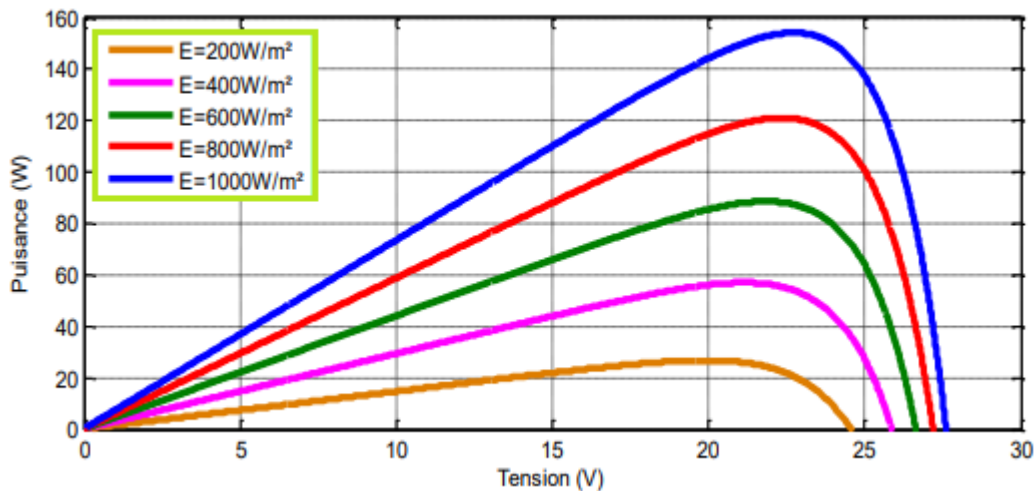


Figure (III.20) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}\text{C}$).

III.5 Simulation de la chaîne de conversion PV sous MATLAB/SIMULINK

III.5.1 Le générateur photovoltaïque « G PV »

Afin de modéliser ce système photovoltaïque, nous avons conçu un panneau idéal pour le système photovoltaïque

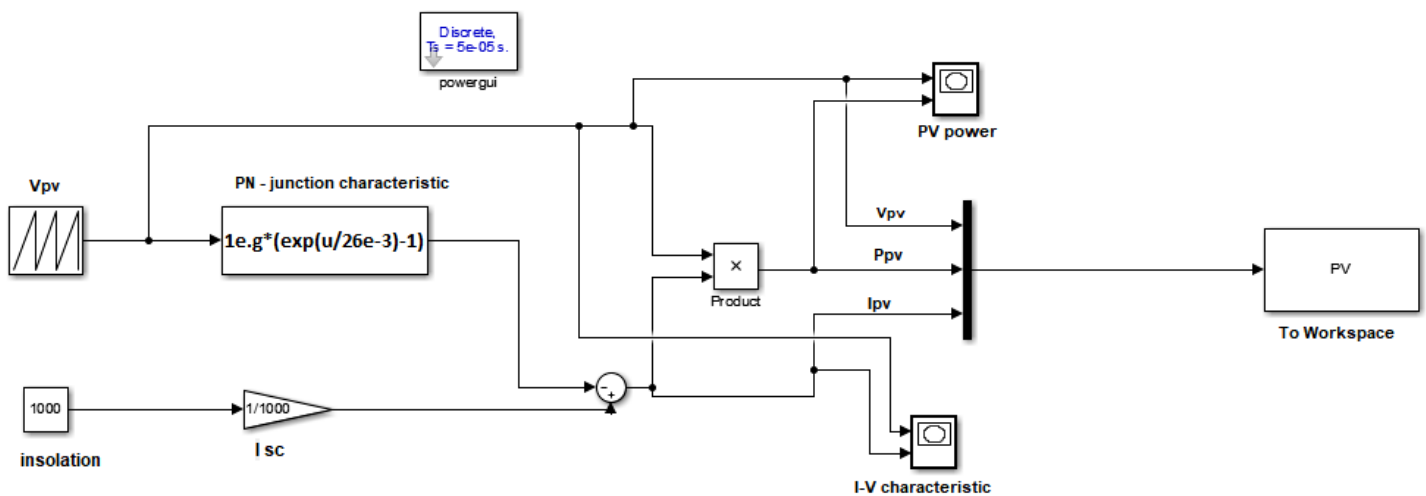


Figure III.21 Bloc de la cellule solaire dans SIMULINK

Les résultats de simulation du bloc SIMULINK sont montrés sur la Figure III.22.a et Figure III.22.b , pour l'éclairement $E=1000\text{W/m}^2$ et de température 25°C .

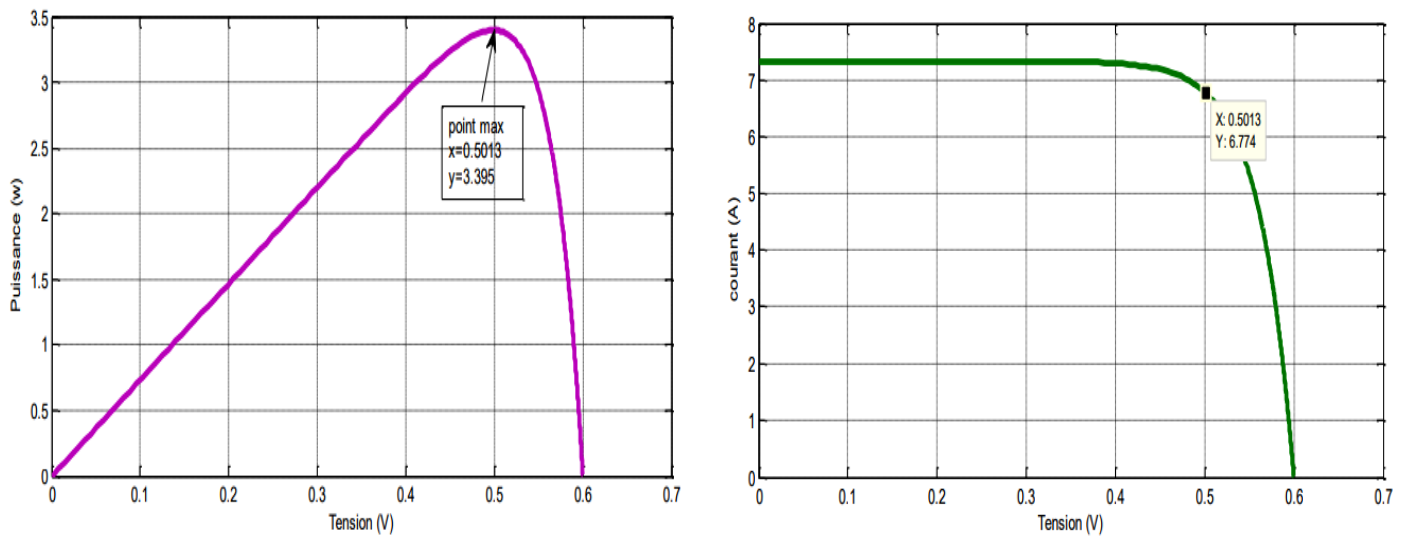


Figure III.22.a Caractéristique $I=f(V)$ de la cellule Figure III.22.b Caractéristique $P=f(V)$ de la cellule.

D'après ces résultats de simulation, on peut constater que cette cellule à :

- Courant de court-circuit $I_{sc} = 7.34 \text{ A}$
- Tension de circuit ouvert $V_{co} = 0.60 \text{ v}$
- Puissance maximale $P_m = 0.50 \text{ w}$

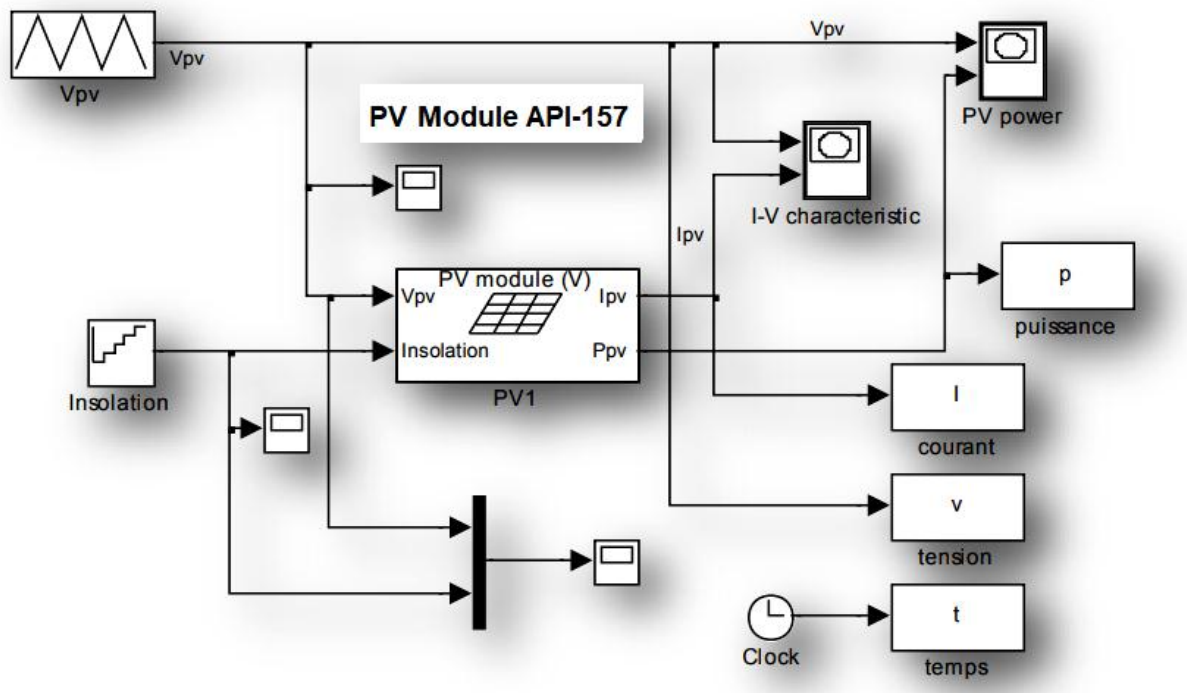


Figure III.23 : Block du module **API-157** dans SIMULINK.

Les Figure III.24 nous montrent les caractéristiques électriques du module

PV Module API-157 après son simulation avec MATAB/SIMULINK

pour différentes valeurs d'éclairement et pour une température de 25°C.

Nous pouvons constater les caractéristiques suivantes pour ce module

photovoltaïque : $I_{cc}=5.15$ A , $V_{co}=43$ V, $I=1.6$ A, $V_m=41$ V, $P_{max}=157$ W

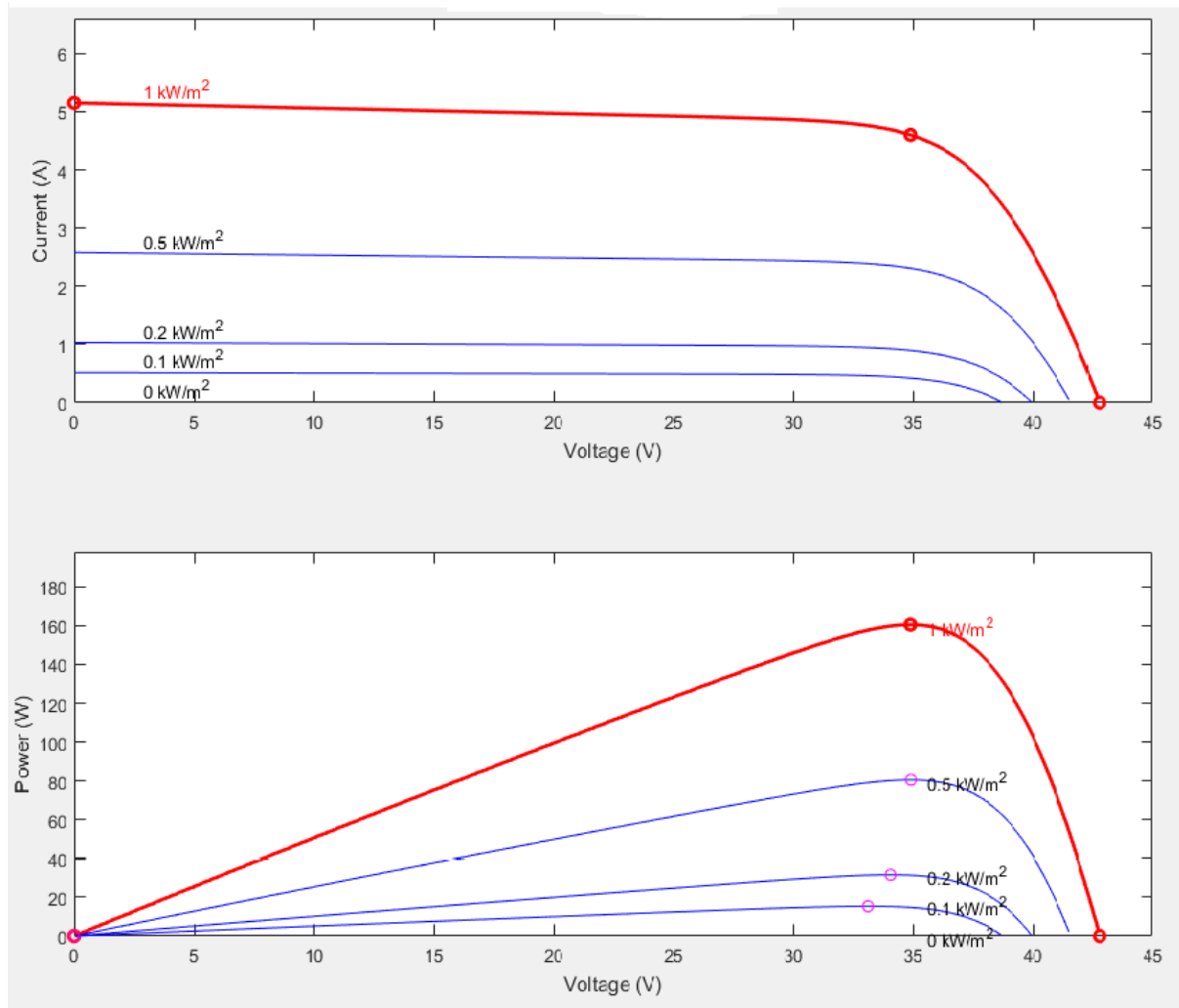


Figure III.24 le courbe I(V) et le courbe P(V)

III.6 Convertisseur DC-DC (Hacheur survolteur)

Le hacheur ou convertisseur continu-continu est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue.

Si la tension délivrée en sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée, le hacheur est dit dévolteur. Dans le cas contraire, il est dit survolteur. Le convertisseur dévolteur survolteur combine les propriétés des configurations de dévolteur et de survolteur. Il peut être employé pour transformer idéalement n'importe quelle tension continue d'entrée en n'importe quelle tension continue désirée de sortie. [60]

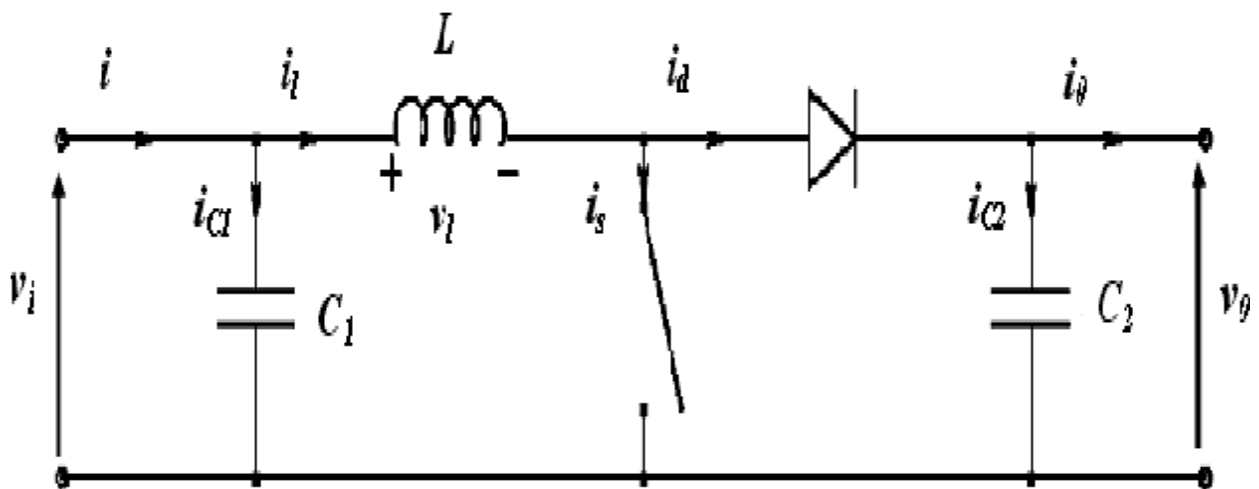


Figure III.25 Hacheur survolteur

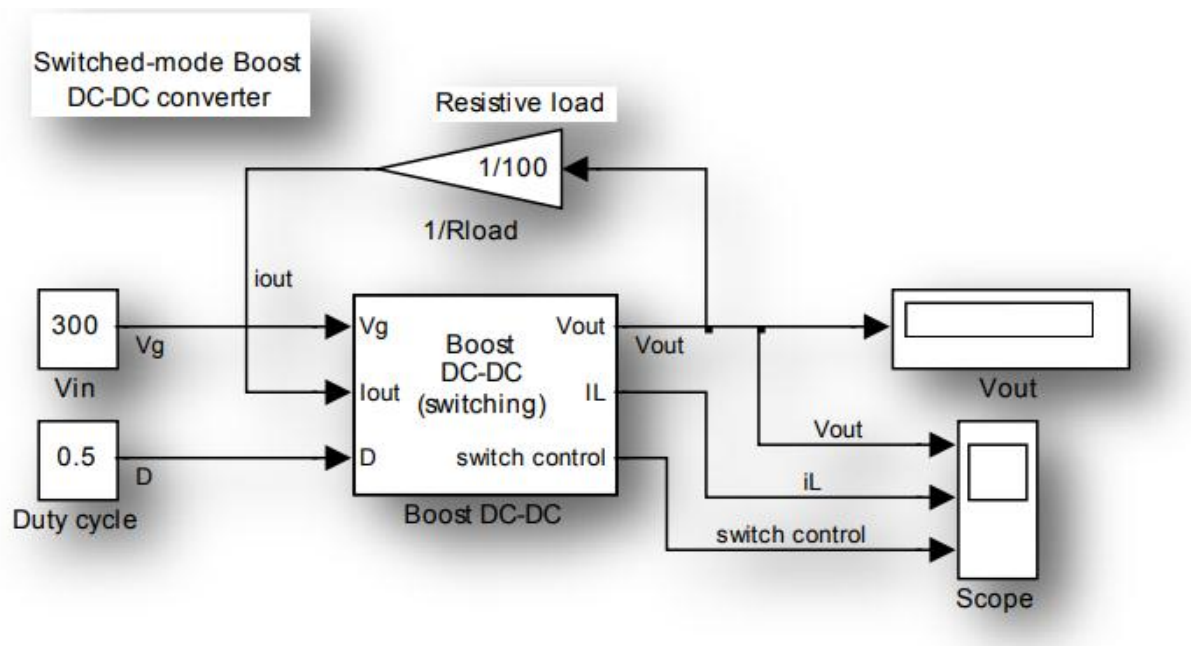


Figure III.25 Hacheur survolteur

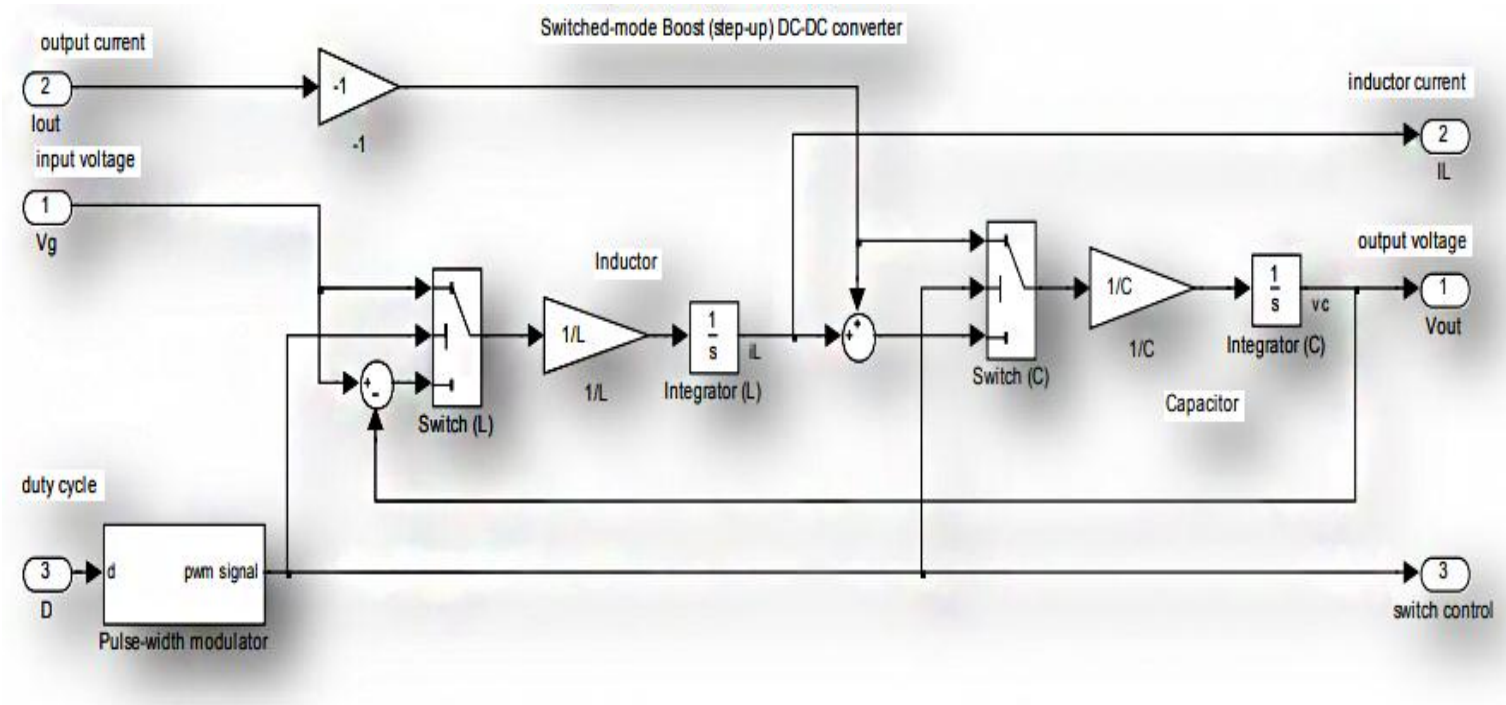


Figure III.26 Schéma SIMULINK d'hacheur

Deux types de topologies des convertisseurs DC-DC, convertisseur buck et convertisseur « boost », qui sont les plus généralement employés par la majorité des concepteurs du suiveur de puissance maximum.

Dans le travail actuel, le convertisseur « boost » est choisi puisqu'il a d'excellentes caractéristiques telles que les possibilités des tensions élevées et de rendement important, la petite taille et le bas prix.

La Figure III.26 confirme ça, pour une valeur de tension d'entrée $V_{in} = 60$ v, cette tension deviendra : $V_{out} \approx 238.5$ v au début après elle se stabilise en environs $V_{out} \approx 239$ v.

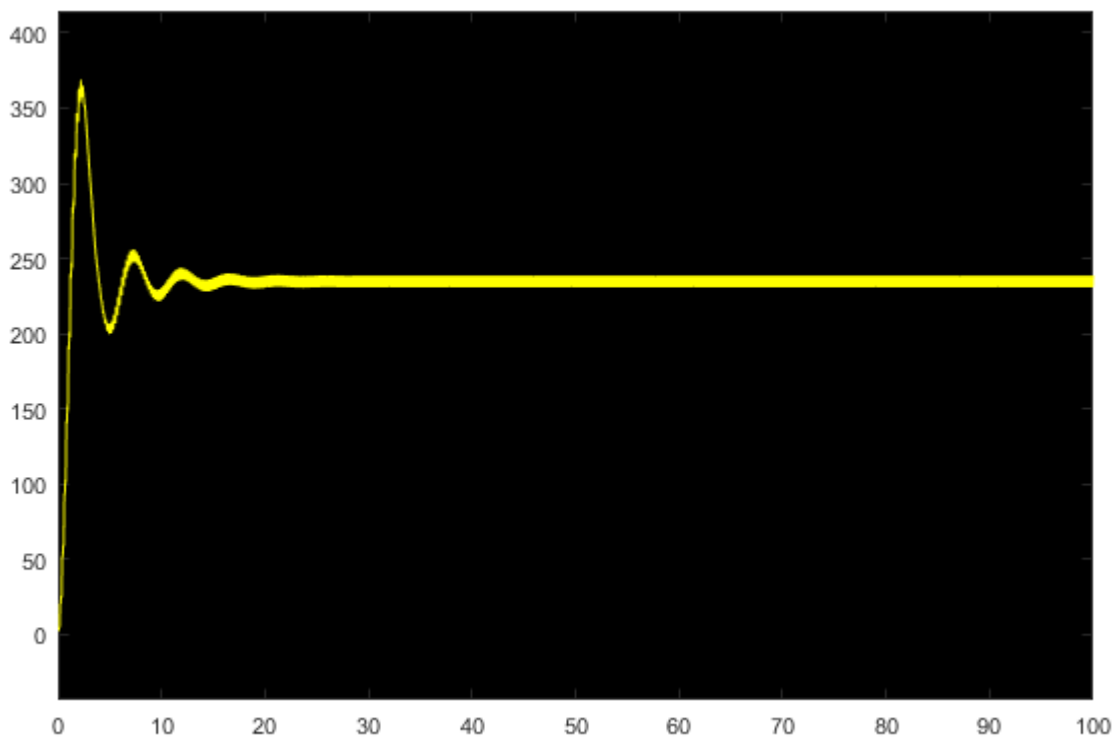


Figure III.27 Une tension de sortie de scope avec une sortie de 239 volts

III.7 Mise en oeuvre de la commande de poursuite MPPT

Pour avoir la meilleure connexion entre le « GPV » une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système. Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa

caractéristique électrique IV avec celle de la charge. Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale. [61]

III.7.1 Principe du MPPT

La méthode de perturbation et d'observation « **P/O** » est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement. Elle peut déduire le point de puissance maximale même lors des variations de l'éclairement et la température. [62]

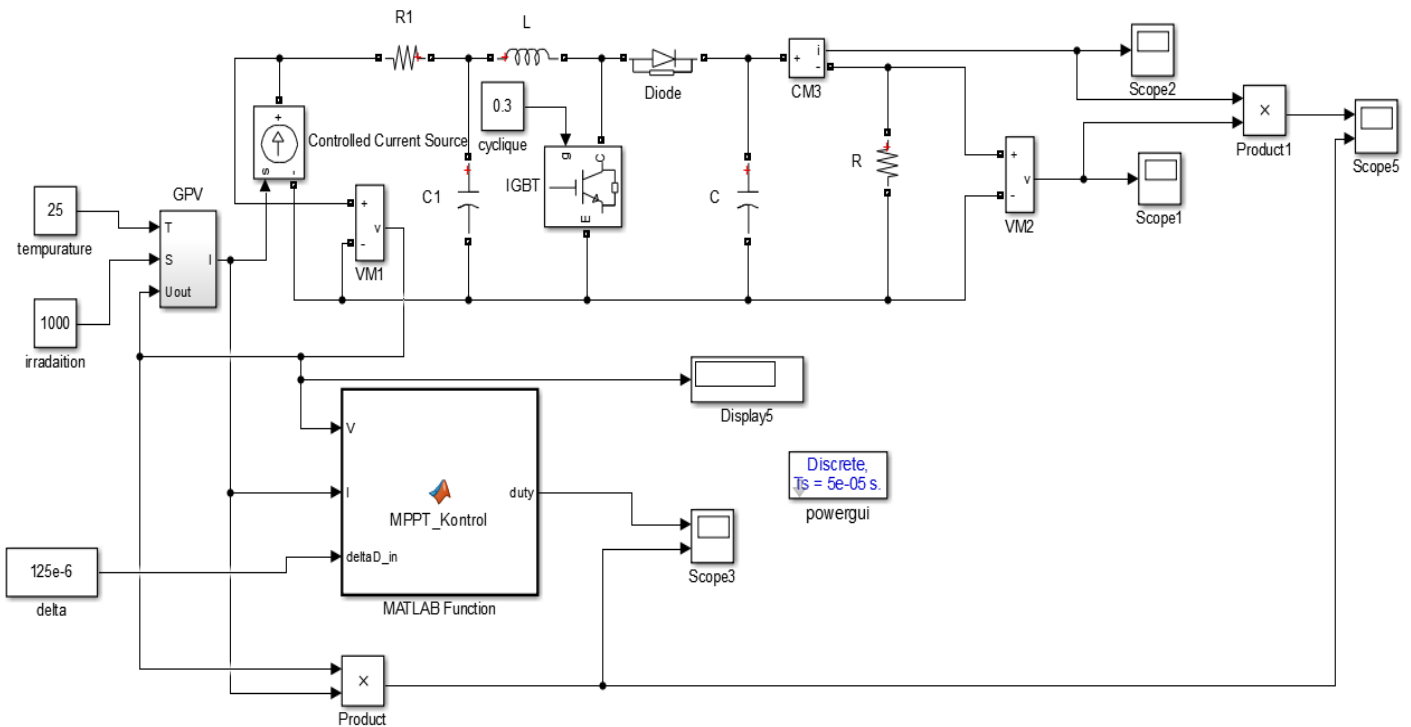


Figure III.28 : Block MPPT en SIMULINK MATLAB.

III.8 La méthode Perturbe & Observe (P&O) :

Le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{PV} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{PV} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure (II-13), on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{PV} engendre un accroissement de la puissance P_{PV} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. À partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{PV}(V_{PV})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande.

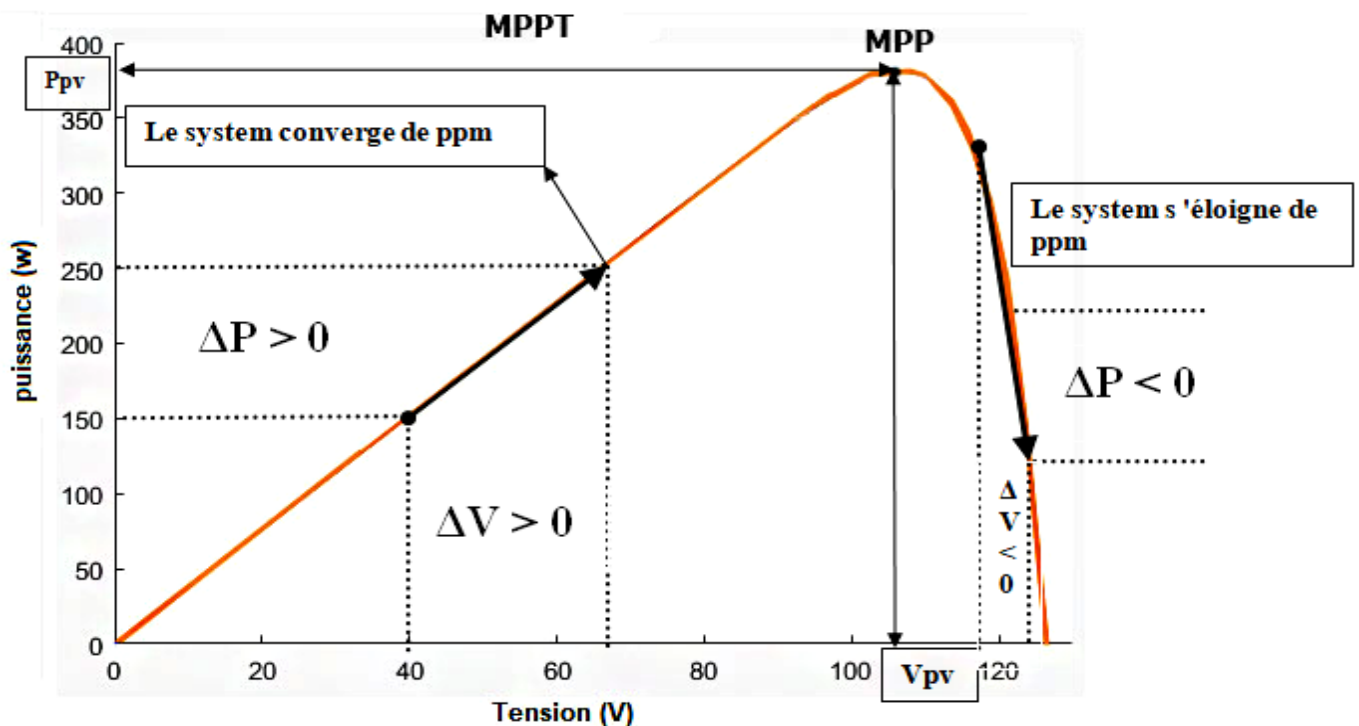


Figure III.29 : Courbe P(V) des 06 modules.

La figure (II-14) représente l'algorithme classique associé à une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. [63]

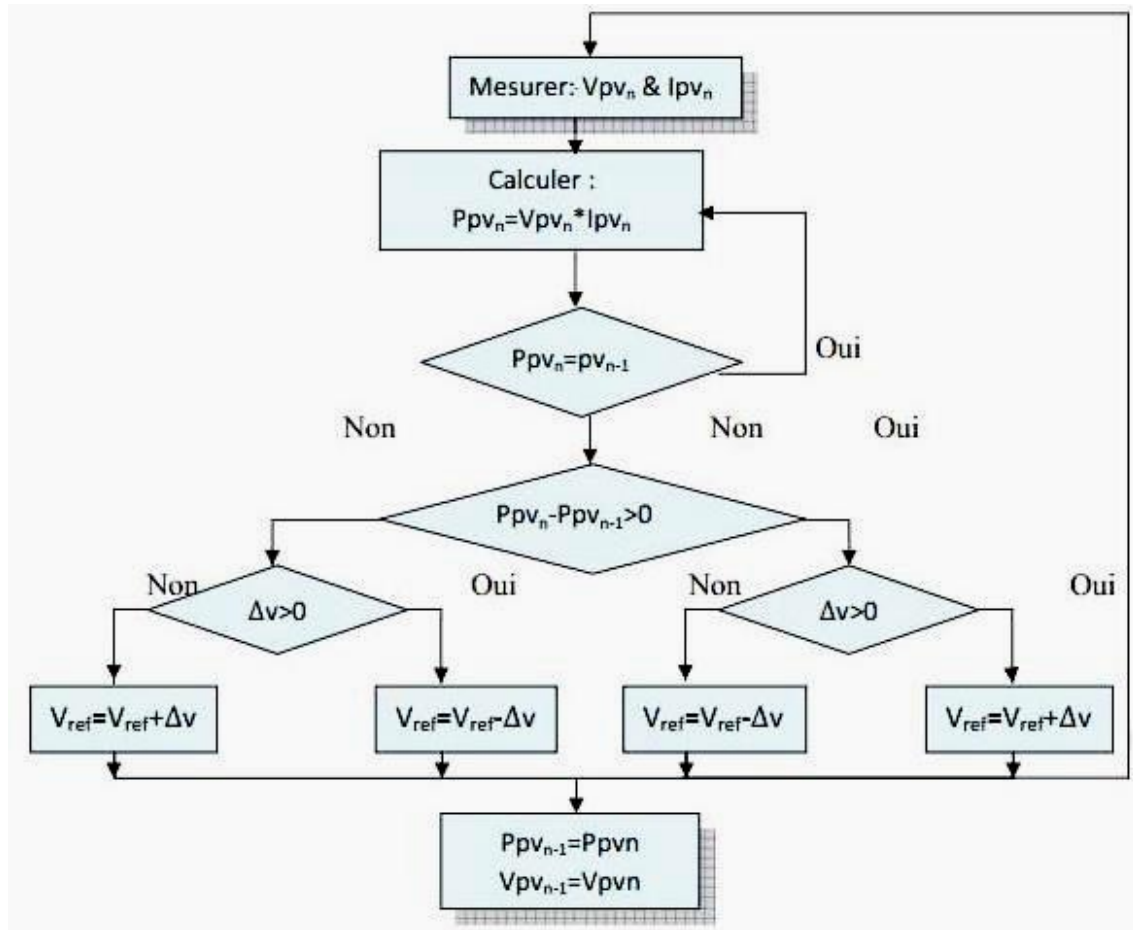


Figure III.30 Algorithme de MPPT à base de la méthode **P&O** la nouvelle puissance : P_{pv_n}

Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant $P_{pv_{n-1}}$: l'enceint puissance dans le temps (t-1)

$$\Delta V = V_{PVn} - V_{PVn-1} \quad (\text{III-1})$$

$$\Delta P = P_{PVn} - P_{PVn-1} \quad (\text{III-2})$$

La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de part sa facilité d'implémentation cependant elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint .Ces oscillations peuvent

III.9 Simulation de la commande MPPT numérique « P&O »:

Pour avoir la meilleure connexion entre le « GPV » une source non linéaire et une charge pour produire la meilleure puissance, le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est développé. Il forcera le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système. Le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de sa caractéristique électrique (I-V) avec celle de la charge.

Ce point de fonctionnement varie car les conditions de travail varient ou/et la charge varie à tout moment. C'est pourquoi, souvent, on n'opère pas au MPP, et la puissance fournie à la charge est inférieure à la puissance maximale.

La méthode de perturbation et d'observation « P&O » est une approche largement répandue dans la recherche du MPPT parce qu'elle est simple et exige seulement des mesures de tension et du courant du panneau photovoltaïque V_{pv} et I_{pv} respectivement.

Dans le cadre de ce travail, on analyse la conception d'une commande MPPT numérique «perturbation-observation » qu'on applique aux convertisseurs DC-DC survolteur. [64]

III.10 Simulation de la méthode MPPT:

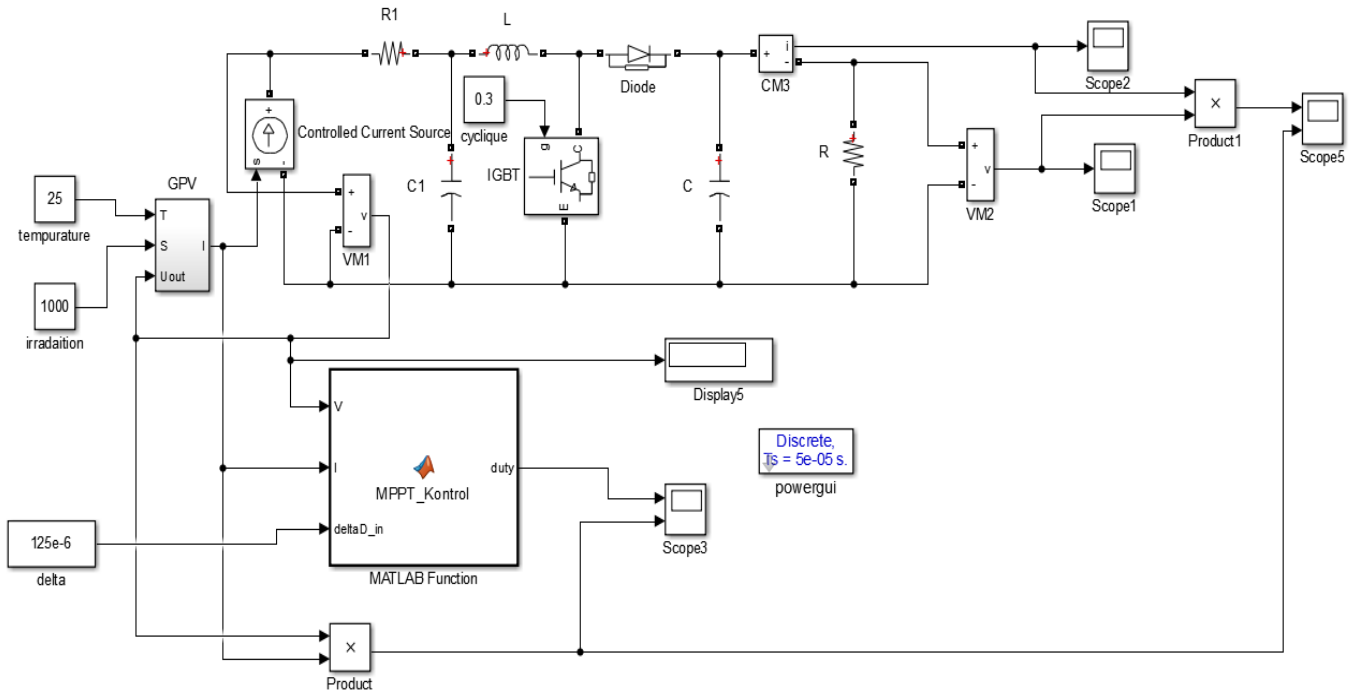


Figure III.36 Simulation de la méthode MPPT P/O

III.11 Commande MPPT floue :

Dans ce travail nous utilisons la conception des contrôleurs flous (CF) appliqué à la poursuite du point de puissance maximale (commande MPPT floue).

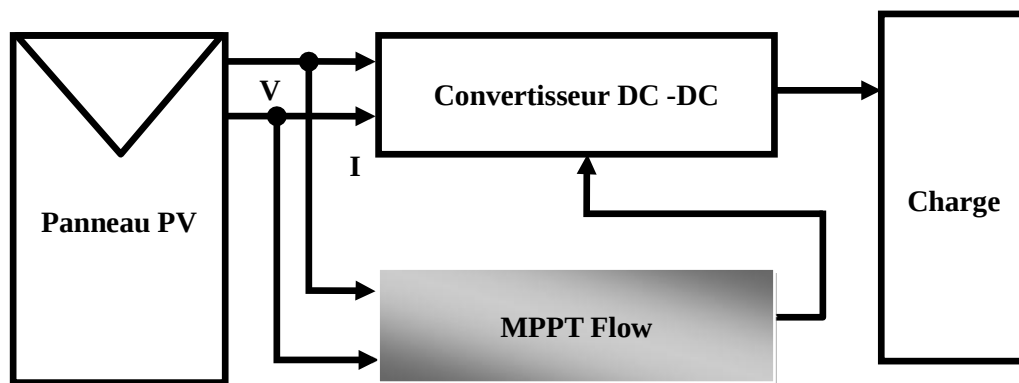


Figure III.37 Approche d'optimisation d'une commande MPPT floue

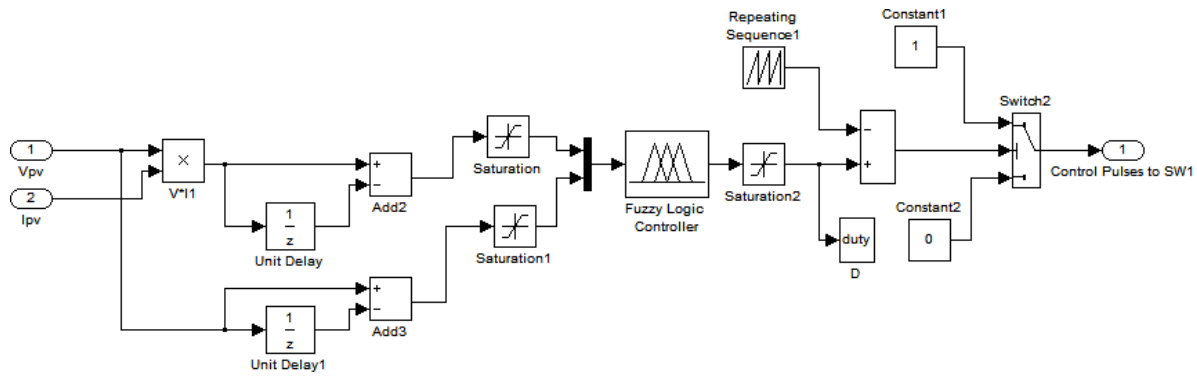


Figure .III.39 Schéma synoptique de contrôleur MPPT floue

La figure III-38 illustre la stratégie de cette approche que l'on peut présenter la schéma synoptique d'un contrôleur MPPT flou types I et II dans la figure III-39.

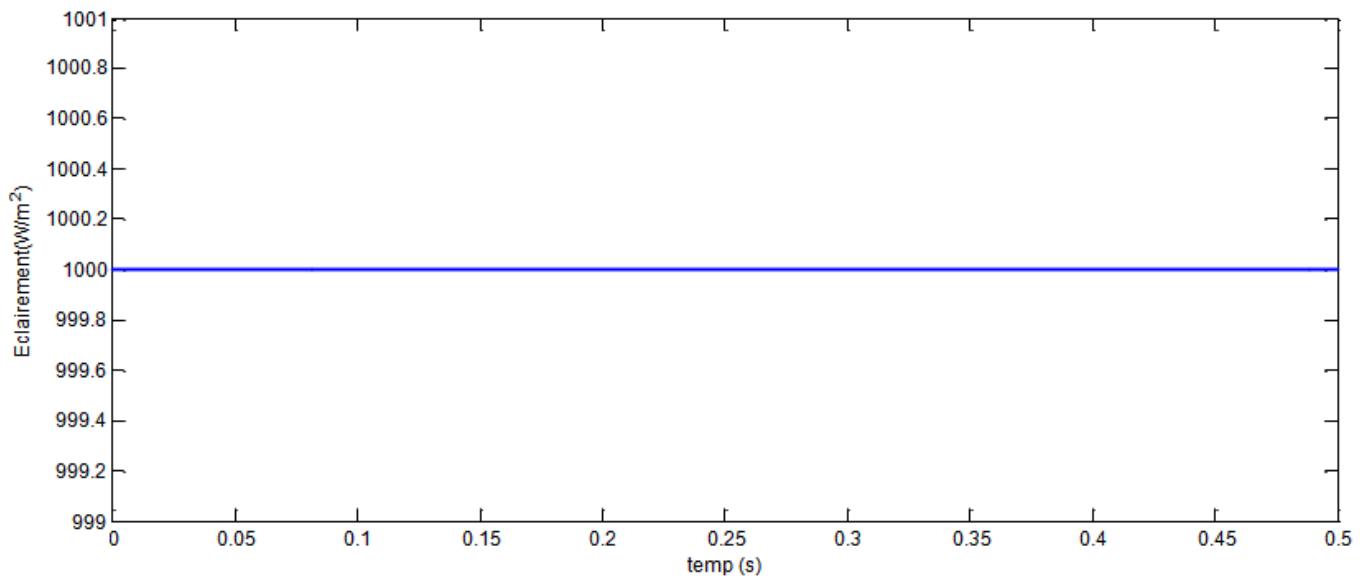
➤ Résultats de Simulation :

Dans cette partie, on commence par évaluer le système solaire sans régulateur par simulation avec l'outil de simulation MATLAB/Simulink. Ensuite, les deux méthodes de poursuite MPPT sont étudiées; la méthode (P&O), la méthode utilisant le contrôleur floue. Les deux systèmes sont simulés sous les conditions environnementales stables et de nombreux changements des conditions météorologiques.

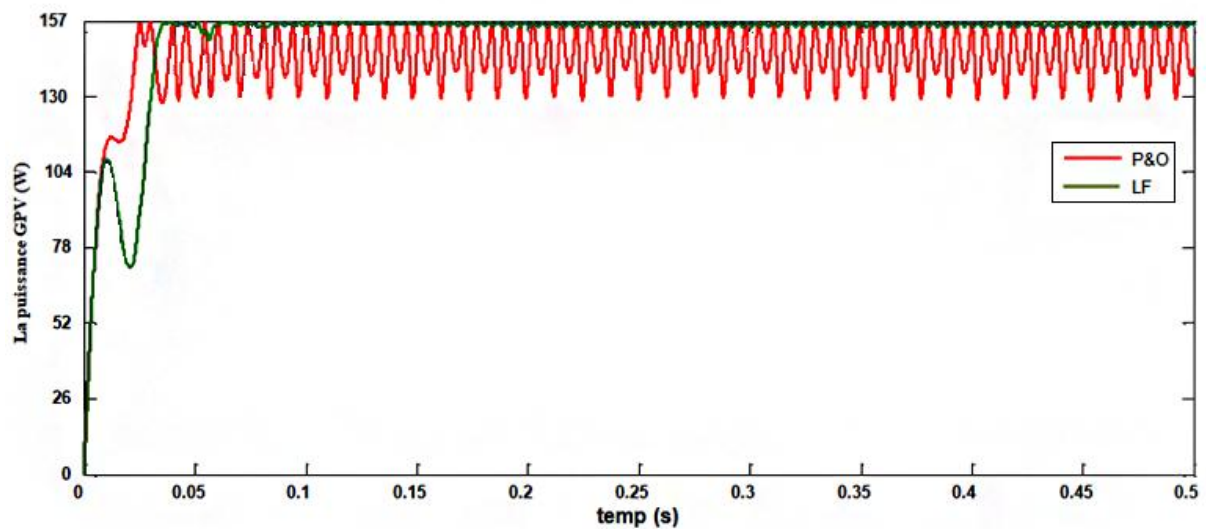
• Fonctionnement sous des Conditions Constantes :

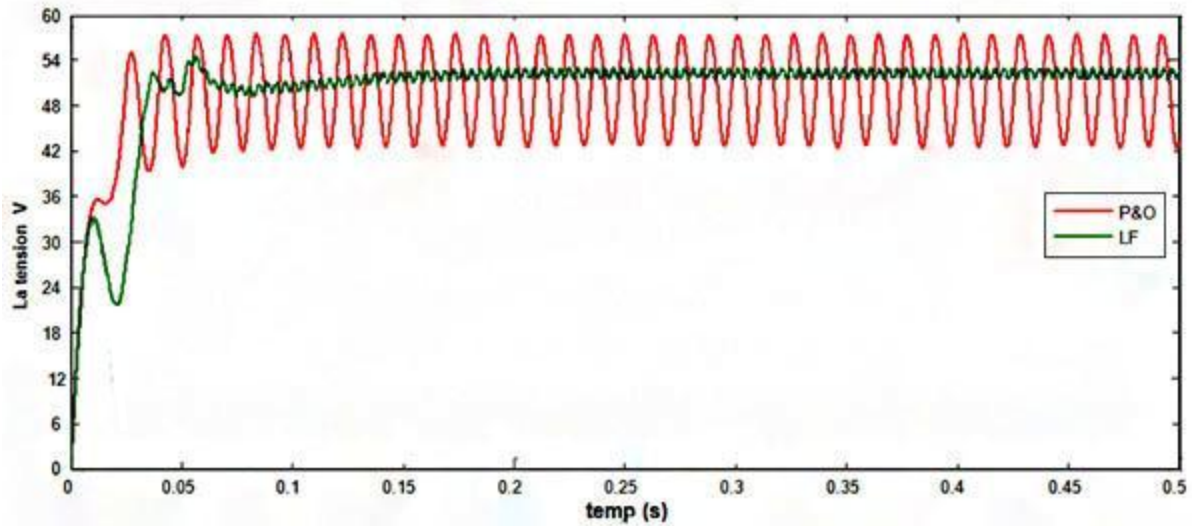
Dans ce test la température et l'ensoleillement sont maintenus constants. On prend les valeurs des conditions standards : la température $T = 25^{\circ}\text{C}$ et l'ensoleillement $= 1000\text{W/m}^2$. Le but de ces simulations est de visualiser le décalage du point de fonctionnement par rapport au point MPP. Il sert aussi à

évaluer les pertes dues aux oscillations autour de ce point.



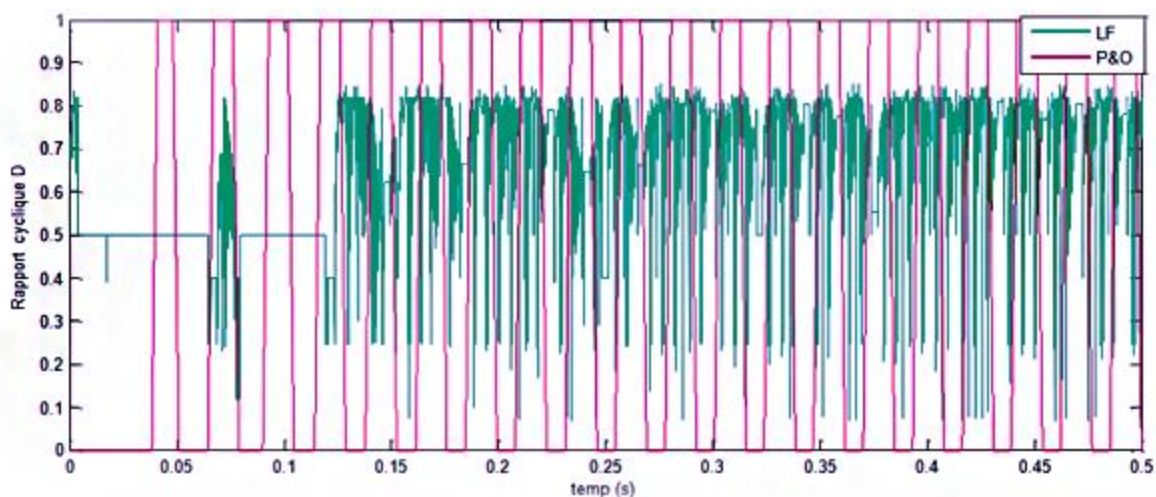
La Figure III.40 illustre les réponses des deux contrôleurs pour les conditions standards ($T = 25^{\circ}\text{C}$ et $E = 1000\text{W/m}^2$)





La Figure III.41 Réponses des deux contrôleurs pour les conditions standards : la

température $T = 25^{\circ}\text{C}$ et l'ensoleillement $E = 1000\text{W}/\text{m}^2$



À partir de ce qui précède, nous avons obtenu différents résultats pour le générateur photovoltaïque et la charge pour différentes valeurs d'irradiance et de température en simulant les contrôleurs MPPT et P&O brumeux. Ces résultats confirment le bon fonctionnement de l'unité de contrôle (P&O). Le contrôleur P&O a un temps de réponse rapide.

Le suivi de point maximal avec le contrôleur flou MPPT a le taux de tension et le taux d'ondulation de puissance les plus bas contre différentes variations, une perte de puissance inférieure en condition transitoire et est robuste aux différentes variations de tension.

III.12 Modèle de simulation d'un onduleur SPWM unipolaire monophasé

Le schéma fonctionnel du SPWM unipolaire monophasé est illustré à la figure III.42 . Le système se compose de circuit de contrôle qui est un circuit de microcontrôleur utilisé pour générer une impulsion SPWM. Ensuite, l'onduleur circuit ou circuit en pont complet pour fournir la sortie. Le filtre LC a été utilisé pour réduire les harmoniques, il sera donc produire le signal sinusoïdal. Enfin, le transformateur élévateur pour augmenter la tension à 230v . Le modèle de simulation de l'onduleur SPWM unipolaire illustré à la figure III.46 est divisé en trois parties qui sont circuit de commande, un circuit inverseur et un circuit de filtre passe-bas.

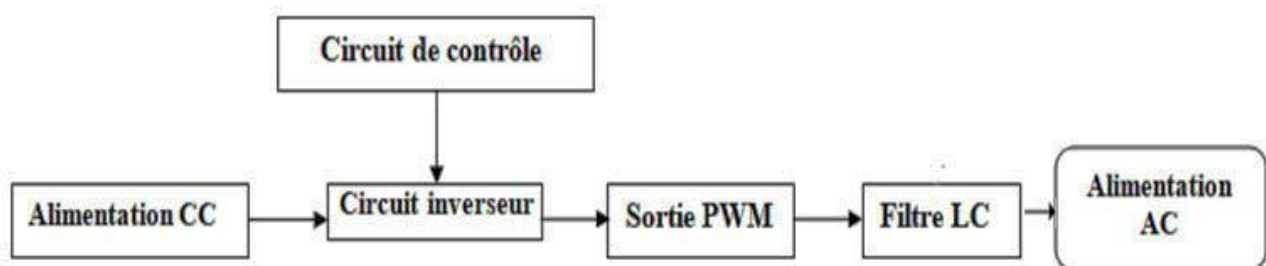


Figure III.42 Schéma fonctionnel de l'onduleur SPWM unipolaire monophasé

L'onduleur à pont complet monophasé illustré à la figure III.43 se compose d'une source de tension CC et de quatre commutateurs éléments. L'élément de commutation utilisé dans ce développement est le MOSFET de puissance car il doit être dispositifs à commutation de force avec commutation à haute fréquence [60].

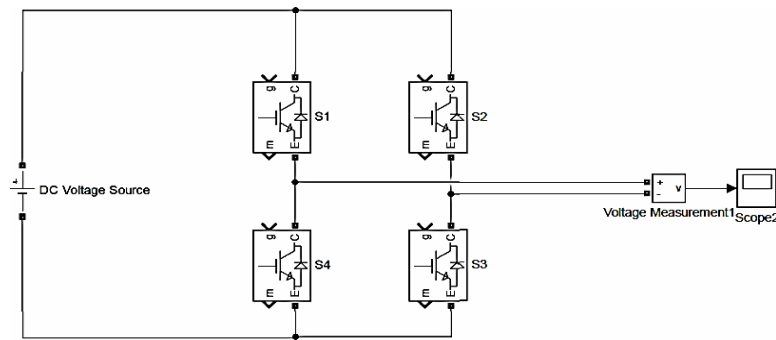


Figure III.43 Modèle de circuit d'un pont complet monophasé

Un filtre passe-bas fonctionne pour réduire les harmoniques générés par la forme d'onde de modulation pulsée, La figure III.44 montre le circuit du filtre LC passe-bas requis à la borne de sortie de l'onduleur à pont complet, La valeur utilisée dans le prototype pour l'inducteur est de $880 \mu\text{H}$ et le condensateur est de $30 \mu\text{F}$ [61].

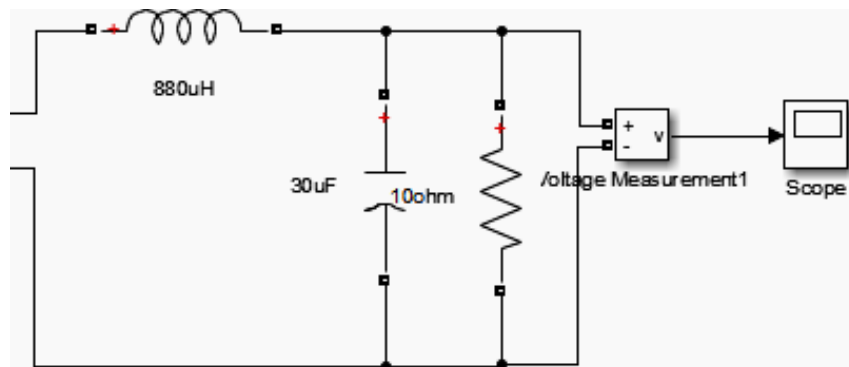


Figure III.44 Modèle de circuit du filtre passe-bas

Deux ondes sinusoïdales sont utilisées comme signal de référence et une onde triangulaire comme signal porteur est utilisée dans la technique PWM. Les impulsions obtenues dépendent de deux paramètres d'indice de modulation et de fréquence de modulation. La figure III.45 montre le modèle de simulation d'un circuit de commande qui se compose de deux ondes sinusoïdales, d'une onde triangulaire et d'un fonctionnement relationnel. [62].

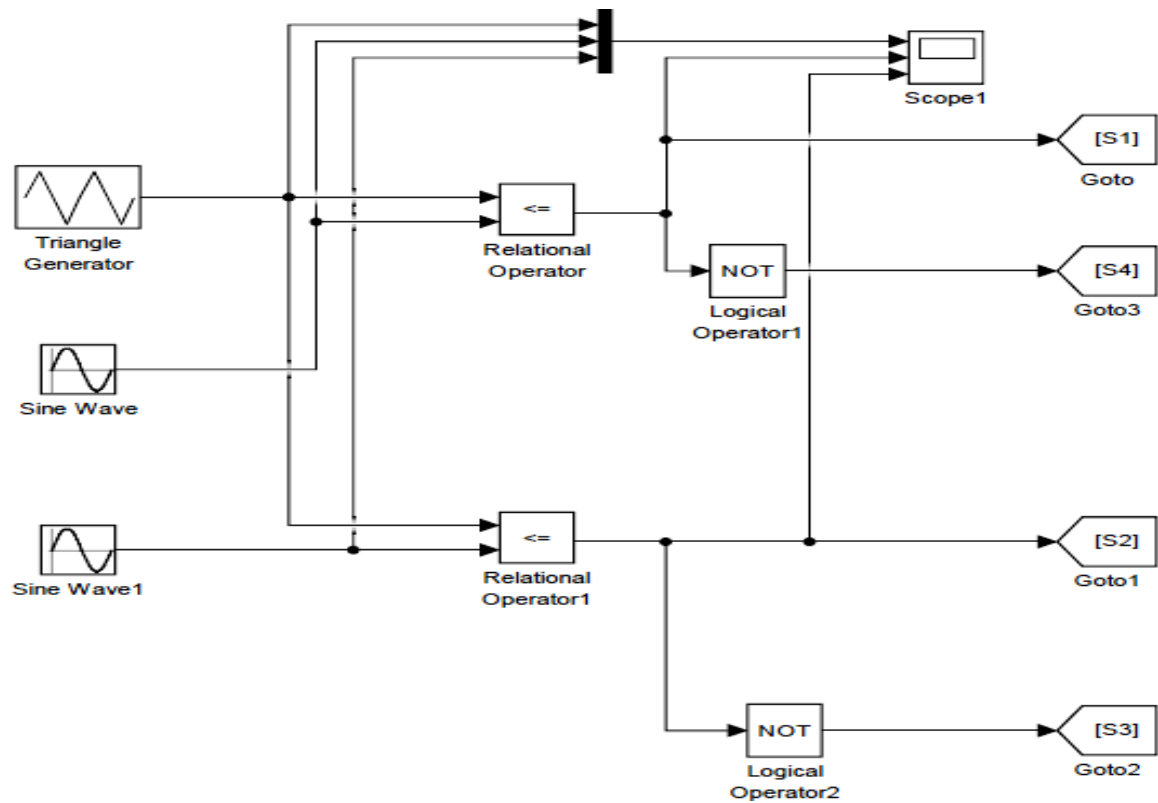


Figure III.45 Modèle de simulation du circuit de commande

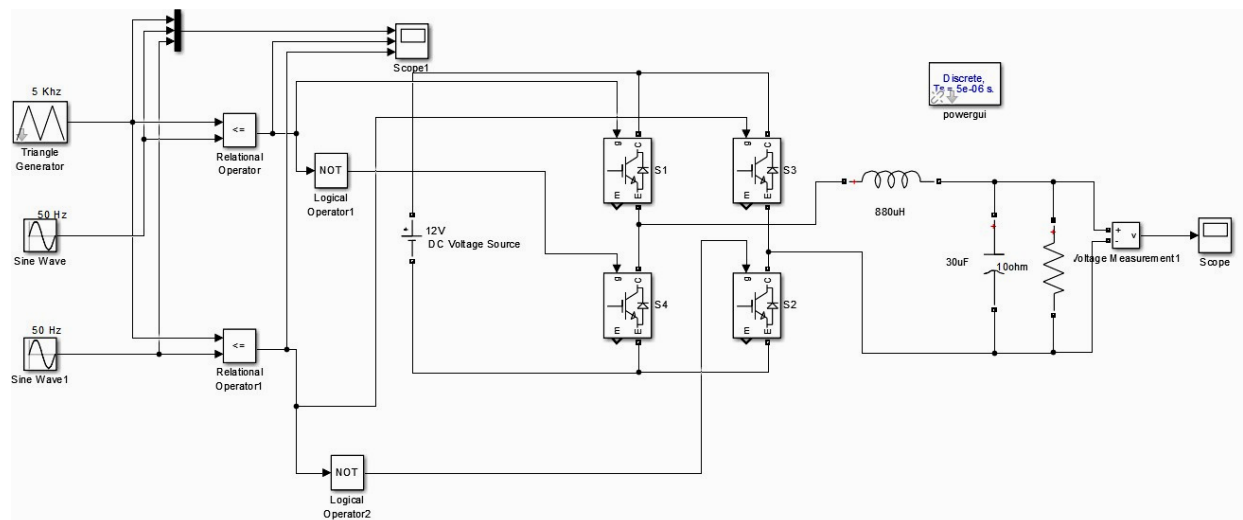


Figure III.46 Modèle de simulation d'un onduleur SMWM unipolaire monophasé

+ résultats de la simulation

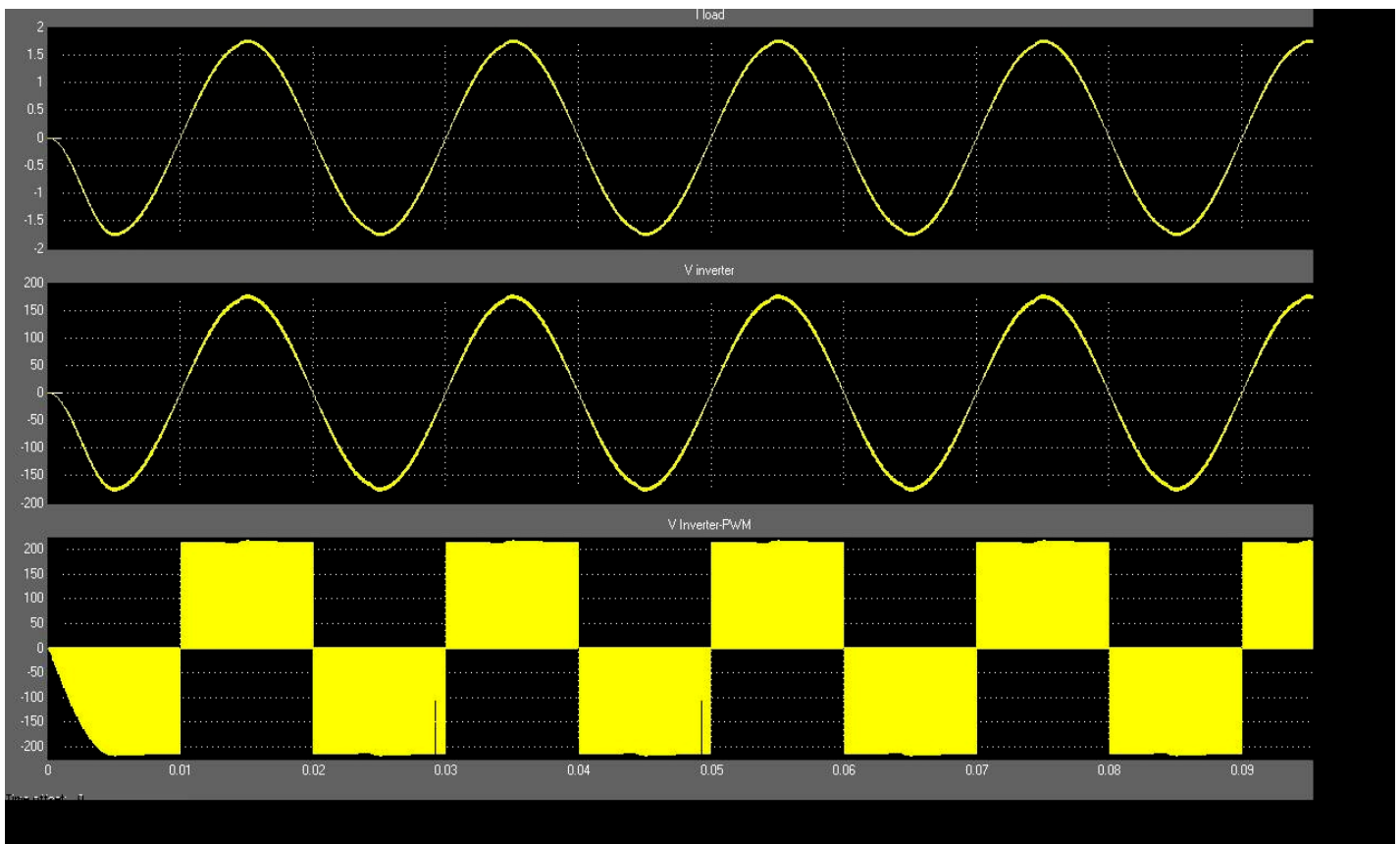


Figure III.47 Formes d'onde de simulation des tensions d'entrée et de sortie

III.13 Module de simulation of Bidirectional DC-DC buck and boost with Battery Control

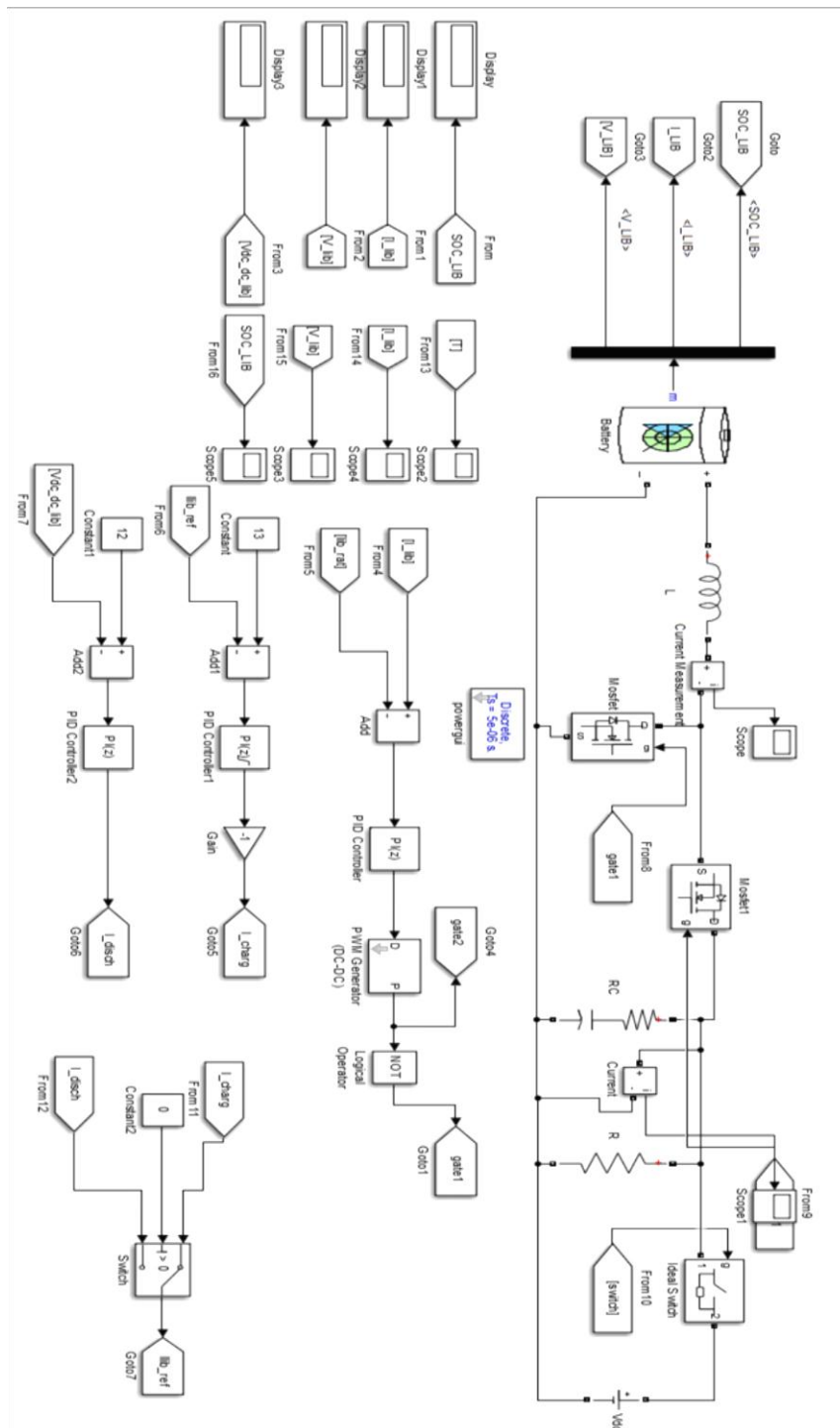


Figure III.48 simulation Batterie Control

✚ résultats de la simulation

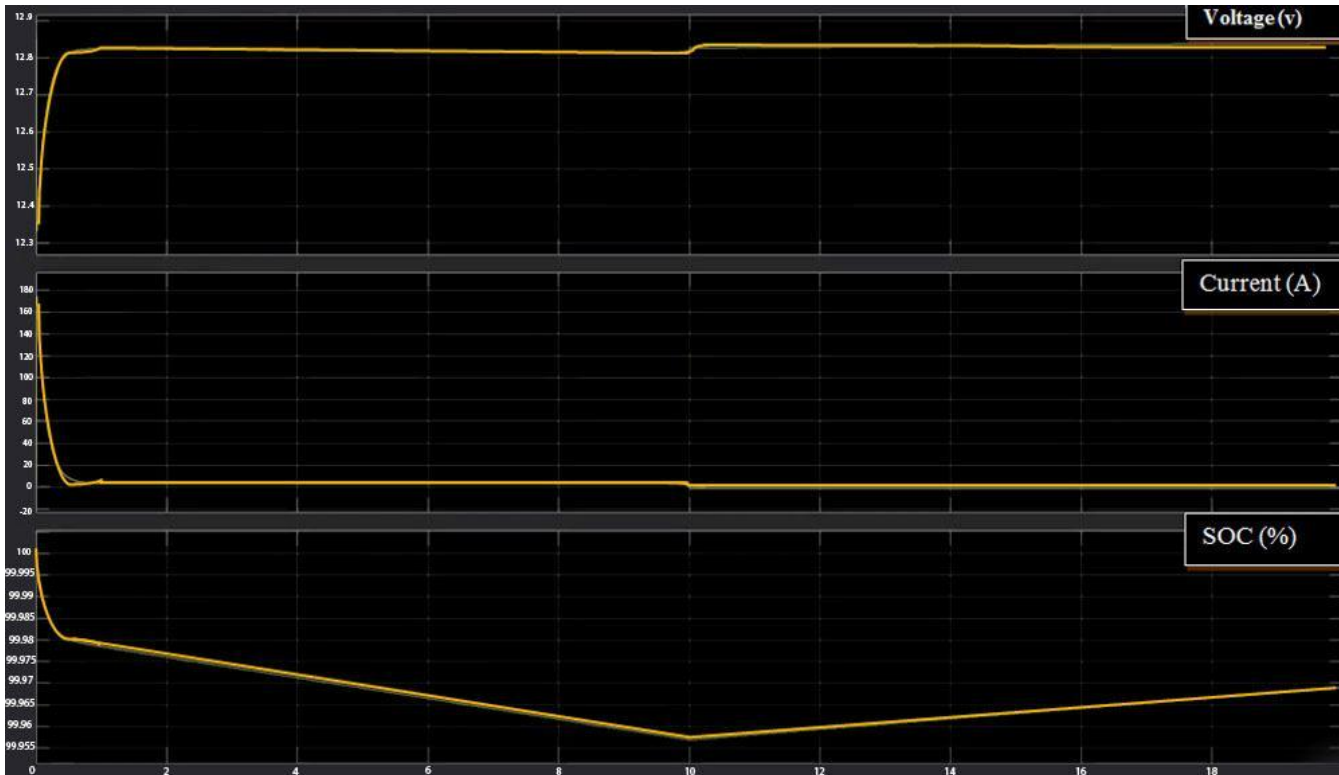


Figure III.49 résultats simulation Batterie Control

Figure III.48 (constant = 0) :

Lorsque le premier état de la troisième indication, la batterie est dans un état de décharge 0 à 10 (soc %)

Figure III.48 (constant = 1) :

Mais après que 10 à 20 (soc %) batteries soient en état de charge

III.14 Simulation de la pompe DC

Un modèle de simulation de l'entraînement de la pompe à courant continu sera construit à l'aide de Matlab/Simulink

un modèle de simulation de la pompe à courant continu à aimants permanents sera construit. Ce qui suit les équations d'état sont prises comme point de départ :

$$L_a \frac{di_a}{dt} = u_a - R_a i_a - k_f \omega_M$$

$$J \frac{d\omega_M}{dt} = k_f i_a - T_L$$

La tension d'induit u_a et le couple résistant T_L sont les entrées du modèle.

Le calibre et les paramètres de la pompe sont donnés dans le tableau III.4 :

Tension nominale	UN	120 V
Courant nominal	In	15.5 A
Vitesse nominale	Vit _n	2375 tr/min
Couple nominal	Cn	6 Nm
Résistance d'induit	Ra	0.39 ohm
Inductance d'induit	La	2.40 mH
Constante de flux	kf	0.30 Vs
Moment d'inertie total	J	0.001 kgm ²
Le nombre de chevaux	HP	2.5 HP
La puissance	P	1865 W

tableau III.4 : les paramètres de la pompe DC

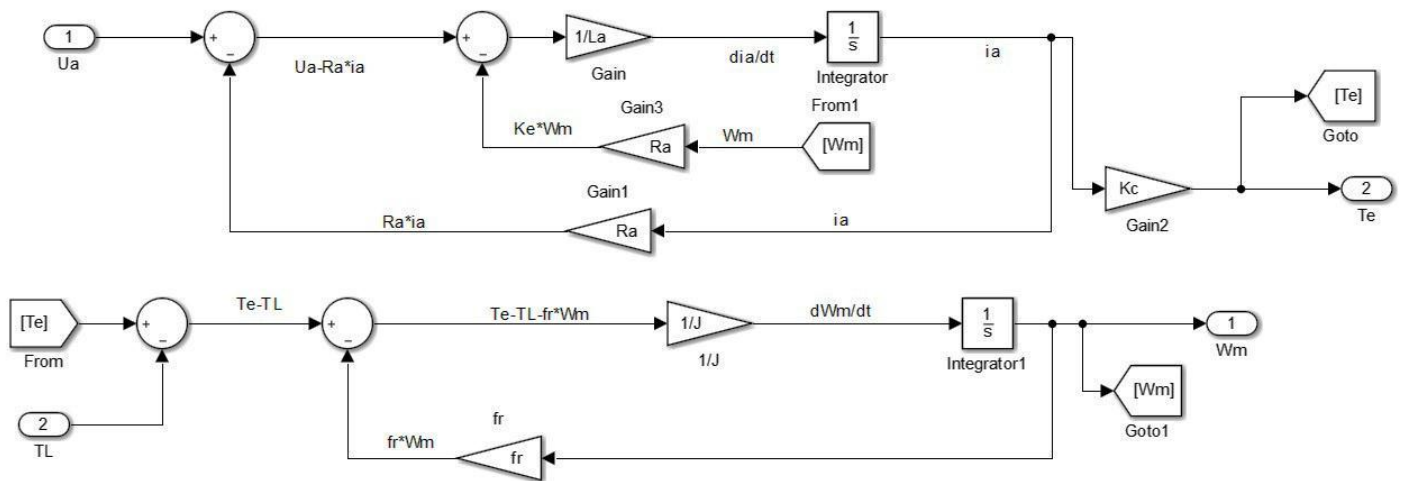


Figure III.50 : Un modèle de simulation de l'entraînement de la pompe dc

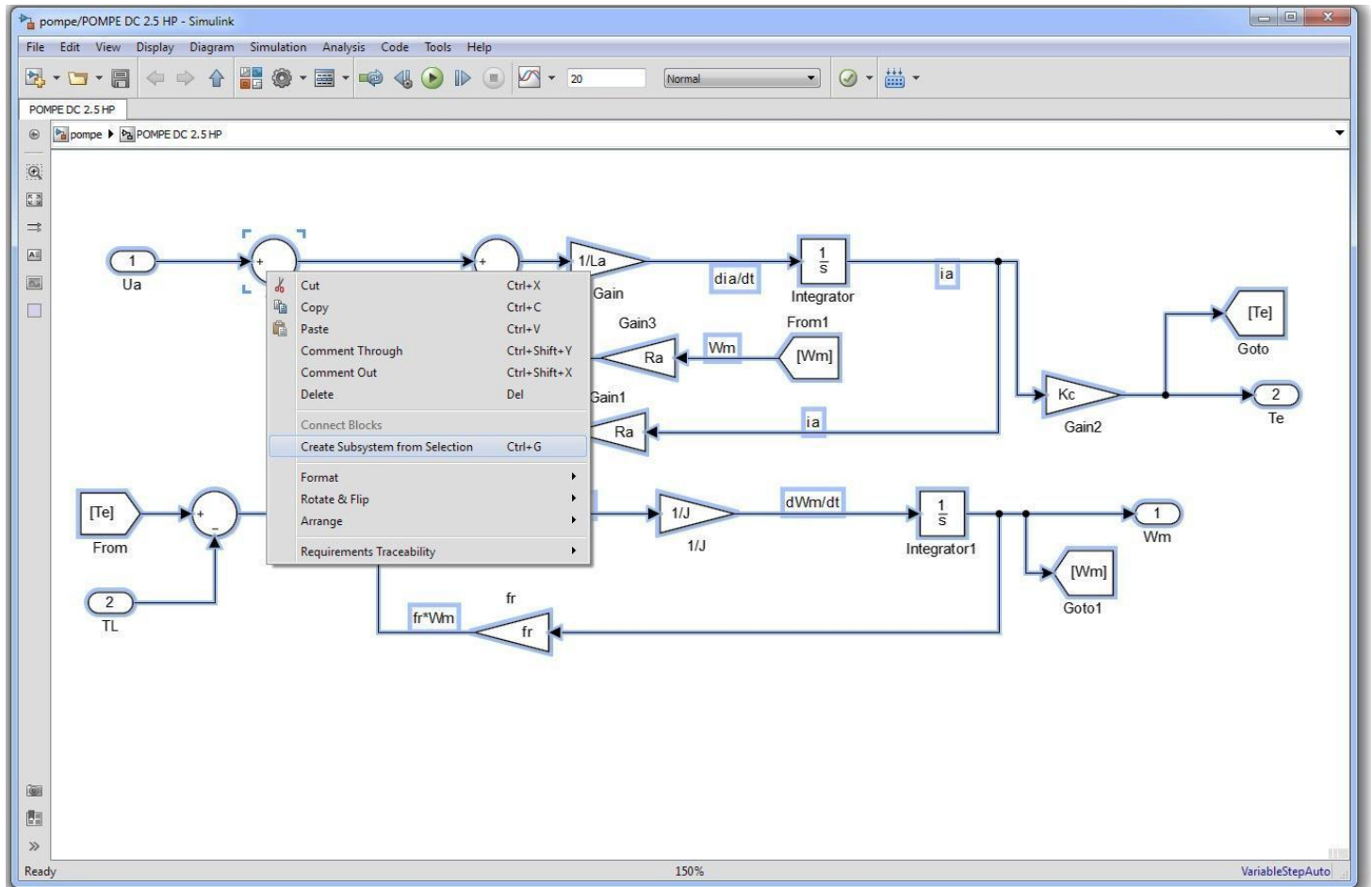


Figure III.51 : Création d'un sous-système.

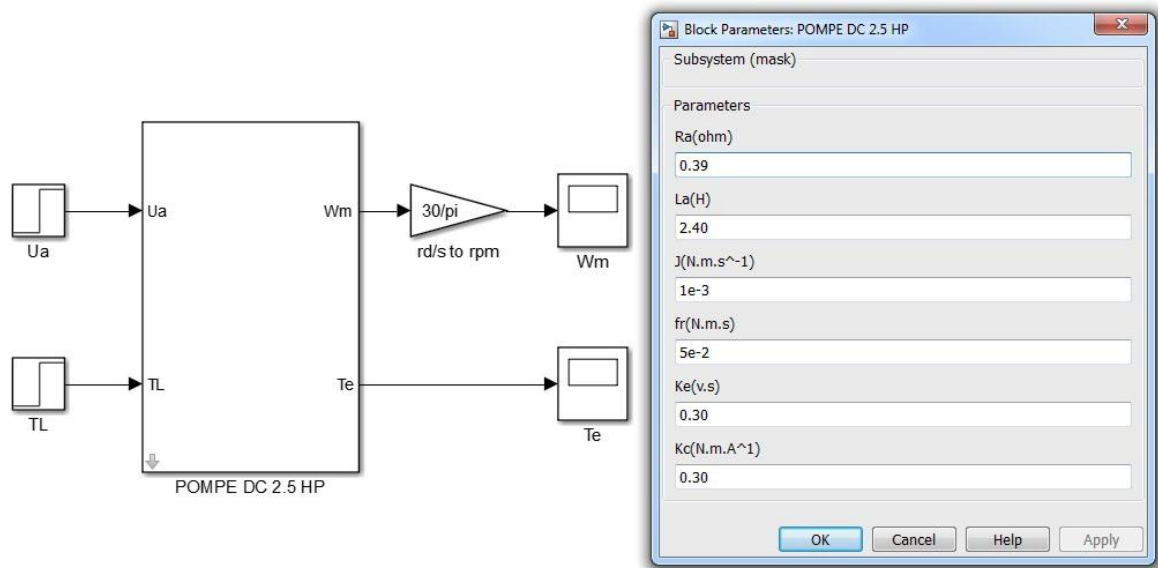


Figure III.52 : Step Entrées de pas pour la tension et le couple de charge.

✚ résultats de la simulation

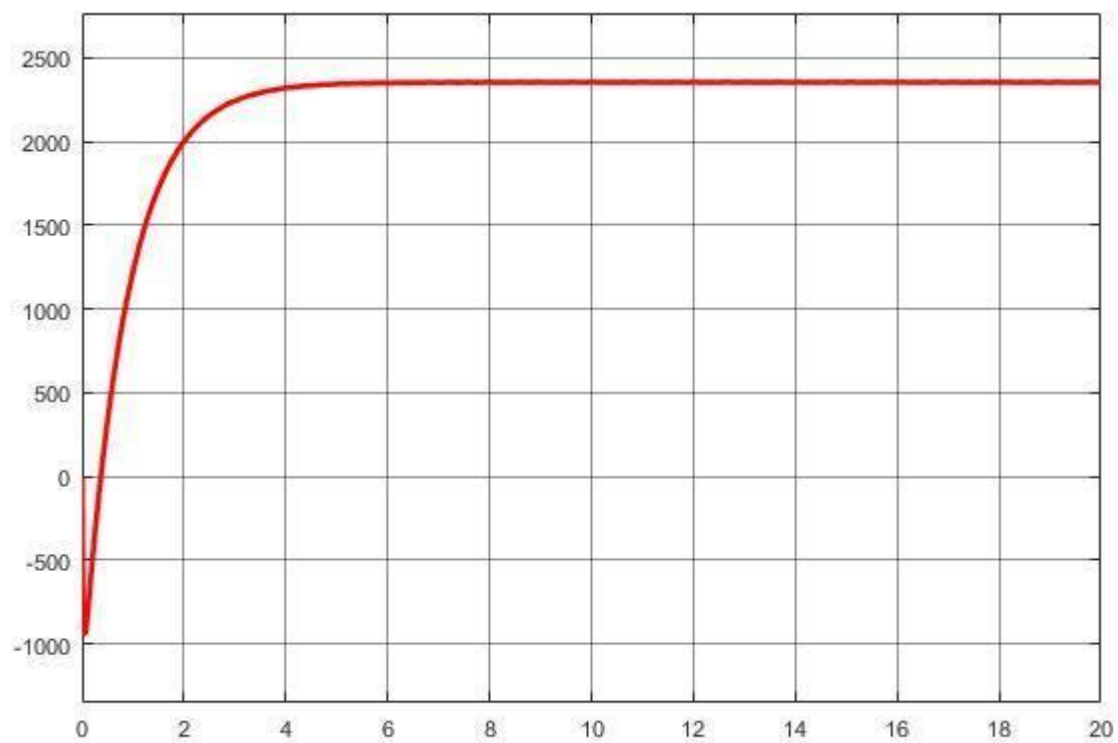


Figure III.52 : diagramme de vitesse de la pompe 2.5 DC

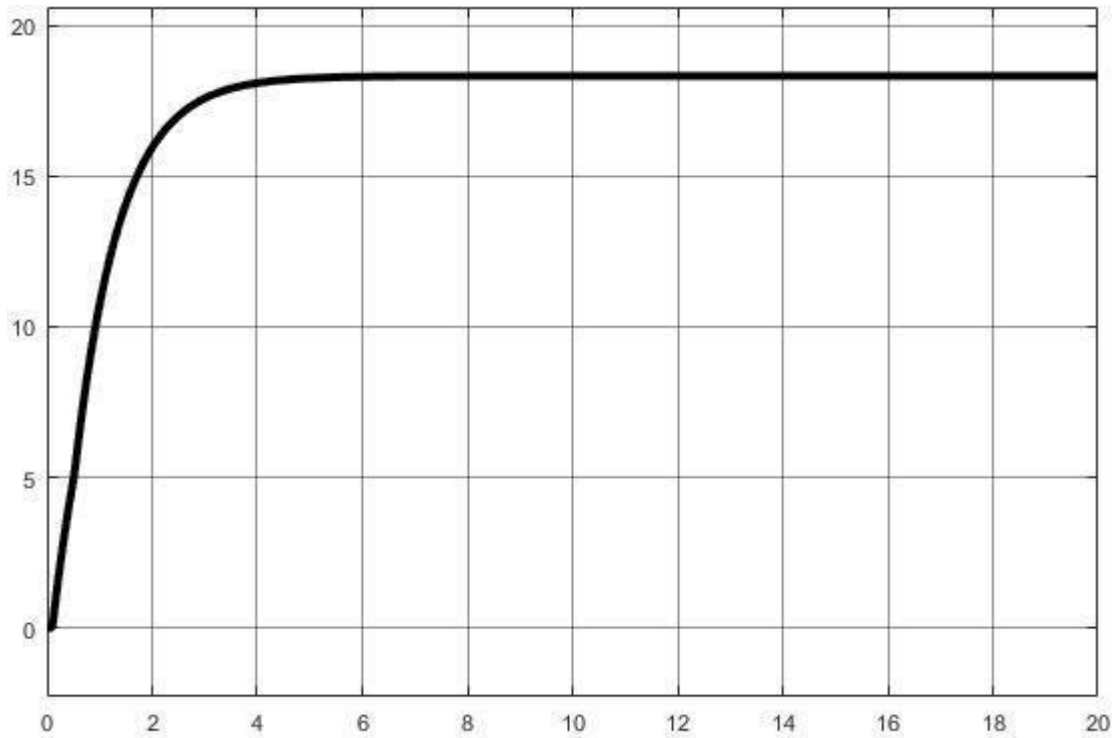


Figure III.53 : diagramme de couple de la pompe 2.5 DC

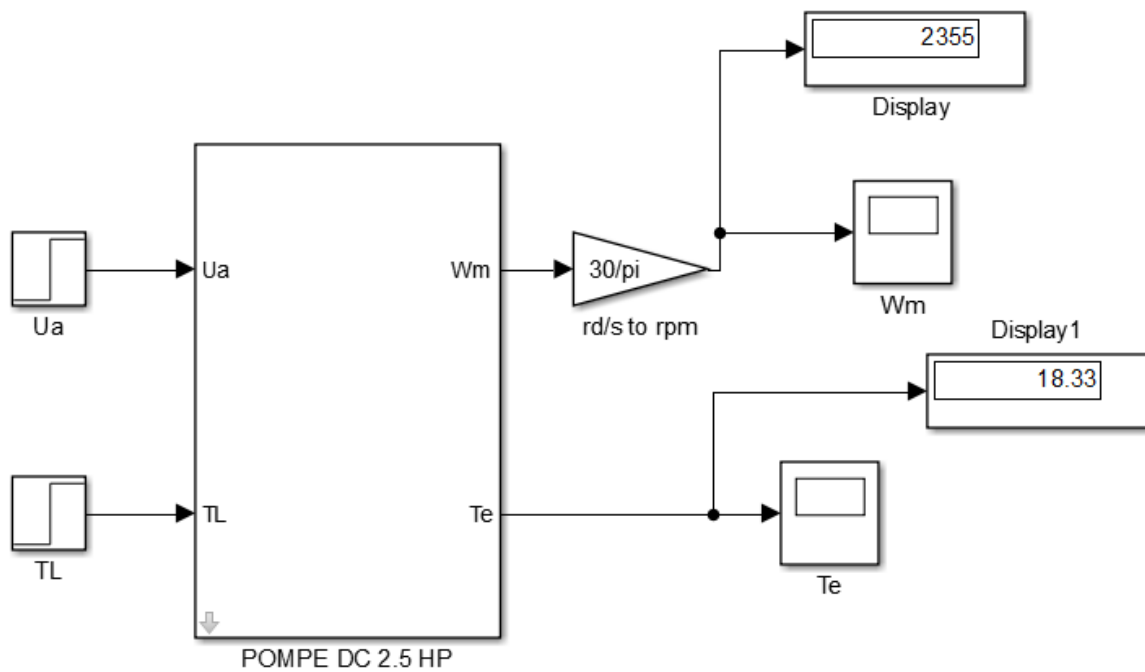


Figure III.54 : Schéma montrant l'état de la pompe DC

A travers les résultats de la figure III.54 et tableau III.4 Nous concluons que la pompe fonctionne bien en :

Wm	Te
2355tr/min	18.33Nm

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté diverses simulations de Composants d'un système de pompage solaire
Ensuite, nous avons simulé l'ensemble du système en fonction de l'effet Du changement d'éclairage à l'éclairage électrique, mécanique et hydraulique. Nous avons commencé par simuler le processus dans MPPT en Algorithme P&O et sa comparaison avec un autre algorithme (mppt de flou)

De ce travail, nous avons conclu que nous pouvons contrôler l'efficacité du système par la qualité de l'algorithme MPPT, la température de l'air et les heures de rayonnement dans chaque région, ainsi que la qualité de la connexion aux panneaux.

Grâce au programme Matlab, nous avons réalisé une application de simulation du système électrique et nous avons pris en compte les conditions nécessaires au système électrique, ce qui nous a permis d'obtenir les meilleures performances du système électrique

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié le système d'irrigation d'un agriculteur de l'état d'El-oued et comment le faire fonctionner grâce à l'énergie solaire. Nous avons simulé un système d'irrigation conventionnel et un puits dans un programme de simulation Matlab pour étudier les moyens de tirer le meilleur parti utilisation de ce système dans le processus d'irrigation

En général, l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite, et c'est l'une des raisons de la croissance et de l'augmentation significative des utilisateurs de cette énergie dans le monde.

Cette énergie est une source d'intérêt dans les zones isolées d'un réseau public, notamment dans le système de pompage de l'eau dans le processus d'irrigation à agriculteur Nous avons constaté que la technologie photovoltaïque bénéficie d'énormes avantages en termes de facilité d'installation et de coûts d'exploitation très luxueux pour faible entretien.

Pour produire de l'eau à un coût raisonnable, les conditions doivent être soigneusement étudiées :

Premièrement : Optimiser la captation de la lumière solaire par les panneaux solaires afin de récupérer le maximum d'énergie possible.

Deuxièmement, l'utilisation maximale de l'énergie captée afin d'extraire le maximum d'énergie électrique disponible au niveau du générateur PV.

Il est intéressant de connaître les moyens d'améliorer la production d'énergie, par exemple l'introduction du système de suivi du point de puissance maximale (MPPT), y compris mppt de flou et mppt p/o, et de les comparer avec certains d'entre eux en termes de performances et de rendement , et parmi les conditions aussi le volume optimal Le système de pompage, la bonne installation, la bonne orientation des modules solaires et le bon dimensionnement permettent d'exploiter l'énergie de manière optimale.

Bibliographies

- [1] Saloux Etienne, « Optimisation Structurelle des Systèmes Énergétiques », Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de philosophie doctor, école polytechnique de Montréal, juin 2014.
- [2] Sofiane Abada, « Étude et Optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic », Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.), Université Laval Québec, 2011.
- [3] Mohamed Amarouayache, « Contribution à l'optimisation d'une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque », Thèse de Doctorant, Université Constantine1, 2014.
- [4] Rafika Khezzar, « Optimisation de Chaîne de Conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique », Thèse de Doctorat, Université El-Hadj Lakhdar - Batna 1, 2017.
- [5] Yassine Lasmi, « Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes », Mémoire de Magister, Université Ferhat ABBAS Sétif-1 2013.
- [6] Baroud kendo li, « État de l'art et modélisation des microcentrales », Magister en électrotechnique, Université de Constantine 2007.
- [7] Angel Cid Pastor, « Conception et Réalisation de modules photovoltaïques électroniques », Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008.
- [8] Soltane Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse Doctorat, Université de Constantine, 2010.
- [9] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie Solaire Photovoltaïque », STI ELT, juin 2007, énergie solaire photovoltaïque.pdf, consulté janv. 2014.

- [10] O. Gergaud, «Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models», PhD- Thesis, McGill University, Montreal, Canada, 2002.
- [11] Assia Bouraiou, « Elaboration et Caractérisation des Couches Minces CuInSe₂ par Electrodéposition », Thèse de doctorat u M'entourai- CONSTANTINE 2009
- [12] Bellala Djamel, « Contribution à la modélisation d'une cellule solaire », Thèse doctorat, Université de Batna ,2007.
- [13] Beddar Antar, « Optimisation de la puissance d'un système d'énergie renouvelable : système photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Ferhat Abbas - Sétif 2015.
- [14] Ahlam Litim, « Application de la Logique Floue pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale d'un Générateur Photovoltaïque », Mémoire de master, Université Dr. Tahar Moulay de Saïda, 2017.
- [15] Mme Azizi Amina, « Modélisation et Optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride »Thèse de Doctorat Université d'Annaba 2019.
- [16] Lazizi Aldjia, « Modélisation Contrôle et Gestion énergétique d'une Installation de Pompage Solaire » Thèse de Doctorat, Université de Boumerdès 2019.
- [17] Zaghba Layachi, « Etude et Commande Adaptative par les Techniques Intelligentes Des Systèmes Non linéaires Application aux Systèmes Photovoltaïques » Thèse de Doctorat, Université de Biskra 2017.
- [18] Benadel Faiza, «Etude Et Simulation D'une Commande MPPT Pour Système PV», Mémoire de master, Université de Msila, 2016.
- [19] Bouchouicha Kada, « Modélisation multi spectrale des images satellitaire-application : quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère », Thèse de doctorat, Université d'Oran, 2017.
- [20] Aouchiche Nedjma, « Conception d'une Commande MPPT Optimale à base d'intelligence artificielle d'un Système photovoltaïque », Thèse de Doctorat, Université bourgogne Franche-Comté, 2020.

- [21] Merad Faiza, « conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem », Diplôme de Magister, Université Mostaganem, 2013.
- [22] Mme Samira Mouhous-Chaouchi, « Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné », mémoire de magister, université Abou Beker Belkaid, centre de développement d'énergie renouvelable, 2012.
- [23] Belkaid Abdelhakim, « Conception et Implémentation d'une Commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome », diplôme de doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas – Sétif 1, 2015
- [24] Corinne Alonso, « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie », mémoire de l'habilitation à diriger les recherches, université Paul Sabatier-Toulouse III, soutenue le : 12/ 10 2003.
- [25] M. Nour El Houda, B. Bahriya, « Etude d'injection de l'énergie photovoltaïque dans un réseau électrique à travers une ligne 30KV », mémoire de master, Université Badji 2018.
- [26] Hélène Horsin Molinaro, Bernard Multon, « énergie électrique : génération photovoltaïque », culture sciences de l'ingénieur, école normal supérieur paris-saclay, édité le : 20/ 01/ 2020.
- [27] Khenfer Riad, « Détection et Isolation de défauts Combinant des Méthodes à base de données Appliquées aux Systèmes électro-énergétiques », Thèse de doctorat en sciences, université Ferhat Abbas – Sétif 1, 2015.
- [28] Boukhers Djamil, « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage », mémoire de magister en électrotechnique, université mentouri de Constantine, 2007.
- [29] Djellali el Hossyen, « Commande des Convertisseurs DC-DC par Mode de Glissement (Application pour le Module Energie de Bord des Microsatellites) », Thèse de Magister, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 2012.

- [30] Tarek Bouguerra, « Optimisation d'un Système Photovoltaïque : Application en continu et en alternatif », Mémoire de Magister en électrotechnique, Université Constantine 1, 2014.
- [31] Fathi Ghaleb, Kamel Bendjbar, Souad Haouari, « Lumière et Cellule Solaire », polycopie des travaux pratiques, Département de physique énergétique, Université d'Oran, 2016.
- [32] Abdelmalik Zorig, « Modélisation et commande d'un système de production d'énergie photovoltaïque couplé au réseau triphasé », Mémoire de Master, Université de Msila, 2011.
- [33] M. Slama Fateh, « Modélisation d'un Système multi générateurs Photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », mémoire de magister en électrotechnique, Université Ferhat Abbas – Sétif, 2011.
- [34] Fellah Nadia, Sidibe Oumar « Etude et dimensionnement de l'installation photovoltaïque du DECANAT de la faculté ST », Mémoire Master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2019.
- [35] J Royer, T Djiako, E Schiller, B Sada Sy, « le pompage photovoltaïque Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », IEPF/Université d'Ottawa/EIER/CREPA.
- [36] Saad Saoud Merwan, « Optimisation de la gestion de l'énergie photovoltaïque utilisée dans une zone agricole » Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba, 2017.
- [37] Mohamed Redha Rezoug, « Etude et Réalisation d'un Système d'orientation et de Conversion Destiné à Optimiser le Rendement d'un Système Photovoltaïque », Thèse de Doctorat, Université des Constantine, 2018.
- [38] Mohamed Lakhdar Louazenen, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Mémoire de Magister, Université de Batna, 2008.
- [39] M. Boukli-hacene Omar, « Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Énergétique », Thèse de Magister, Université Abou Belkaid-Tlemcen 2011.

- [40] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister, Universitaire de Bechar, 2008.
- [41] Helali Kamelia, « Modélisation d'une Centrale photovoltaïque : Etude Comparative », mémoire de magister en électrotechnique », Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou,.
- [42] Cédric Cabal, « optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque », Thèse doctorat, Université de Toulouse 3, 2008.
- [43] Seif Eddine Naffouti, « Dimensionnement et Commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque », Mémoire de Monastir, Université de Tunisie 2012.
- [44] Clarence Semessou, AIDE A LA DECISION POUR LE CHOIX DE SITES ET SYSTEMES ENERGETIQUES ADAPTES AUX BESOINS DU BENIN, Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale de l'Université Bordeaux 1 ED 209, DECEMBRE 2011
- [45] Abdeallah jelali, « INTERCONNEXION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE SUR LE RESEAU ÉLECTRIQUE », Mémoire Fin de Etude, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, AOÛT 2012.
- [46] S.abada « Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic », Mémoire Maître ès Sciences, Université Laval, 2011
- [47] M. Bessem abdelghani, « Modélisation et simulation d'un pompage photovoltaïque », Mémoire Fin de Etude, Master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2018.
- [48] Febvre Claire, « Energies renouvelables : comparaison entre le droit des Etats-Unis et de l'Union européenne », Mémoire Fin de Etude, Master de droit européen comparé, UNIVERSITÉ PANTHEON-ASSAS, 2010.
- [49] Boukhres Djamil, « OPTIMISATION D'UN SYSTEME D'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE APPLICATION AU POMPAGE », Mémoire Fin d'Etude, Master, Université Mentouri de Constantine, 2017.
- [50] A. Labonne, « Alimentation d'une pompe à Burkina Faso », 2004
- [51] B. Molle, « Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation », juin 1996.
- [52] Bouziane Khaoula, Gaddouri Hanane «Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaïque optimisé Mémoire de fin d'Etude, UNIVERSITE LARBI TEBESSI – TEBESSA ,2016 / 2017

- [53] J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002..
- [54] Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque », Thèse de Doctorat de L'Ecole Doctorale de L'ENSAM ED432, 2004.
- [55] Boudrahem Lyes, Djouadi Lamine «Commande non linéaire d'un système de pompage photovoltaïque » Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2011-2012
- [56] B. Multon, H. B. Ahmed, N. Bernard, « Les moteurs électriques pour applications de grande série », Pierre-Emmanuel CAVAREC Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan, Revue 3EI juin 2000.
- [57] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [58] S. LABED. « Le pompage photovoltaïque et le développement des régions sahariennes», Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla - 12 et 13 décembre 2005. Pompage Photovoltaïque 'Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19-26.
- [59] Le site global pour extraire l'étendue du rayonnement solaire et autre
« global solar atlas »
- [60] B. Ismail et al., “Design and Development of a SPWM Single Phase Inverter,” 2009.
- [61] B. Majhi and Under, “Analysis of Single-Phase SPWM Inverter,” 2015.
- [62] N. Jadhav, “Use of Advanced Unipolar SPWM Technique for Higher Efficiency High Power .

ANNEXE

A : Algorithme du MPPT (perturbations et observation)

% author : **perturbations et observation**

% f=1000hz

function D = ModPandO (V, I)

Dinit = 0.6; %Initial value for D output

Dmax = 0.65; %Maximum value for D

Dmin = 0.1; %Minimum value for D

deltaD = 0.0007;%Increment value used to increase/decrease the duty cycle D

persistent Vold Pold Dold M;

dataType = 'double';

if isempty(Vold)

Vold=0;

Pold=0;

Dold=Dinit;

M=1;

end

P= V*I;

dV= V - Vold;

dP= P - Pold;

M=abs(dP);

if M < 0.005

D=Dold;

else

if dP < 0

if dV < 0

D = Dold - deltaD*M;

else

D = Dold + deltaD*M;

end

else

if dV < 0

D = Dold + deltaD*M;

else

D = Dold - deltaD*M;

end

end

end

```
if D >= Dmax | D<= Dmin  
    D=Dold;
```

```
End
```

```
Dold=D;  
Vold=V;  
Pold=P;
```

ANNEXE

INVOICE

BILL TO

INVOICE #

INV00001

CREATION DATE

30/09/2022

DUE DATE

07/10/2022

DESCRIPTION	QTY	PRICE	AMOUNT
panneau 157W	17.00	6,800.00 ج.د.	115,600.00 ج.د.
pompe immergie 2.5 HP	1.00	80,000.00 ج.د.	80,000.00 ج.د.
moteur 1HP	1.00	50,000.00 ج.د.	50,000.00 ج.د.
iverter integrie	1.00	240,000.00 ج.د.	240,000.00 ج.د.
cable 2.5mm	1.00	60,000.00 ج.د.	60,000.00 ج.د.
batterie	8.00	50,000.00 ج.د.	400,000.00 ج.د.
boîtier de comonde	1.00	30,000.00 ج.د.	30,000.00 ج.د.
charpente en fer	1.00	150,000.00 ج.د.	150,000.00 ج.د.
TOTAL			1,125,600.0 ج.د. 0

ANNEXE

Tension nominale	120 V
Courant nominal	15.5 A
Vitesse nominale	2375 tr/min
Couple nominal	6 Nm
Résistance d'induit	0.39 ohm
Inductance d'induit	2.40 mH
Constante de flux	0.30 Vs
Moment d'inertie total	0.001 kgm ²
Le nombre de chevaux	2.5 HP
La puissance	1865 W

tableau III.4 : les paramètres de la pompe DC

Tension nominale	220 V
Courant nominal	3.5 A
Vitesse nominale	1358tr/min
Le nombre de chevaux	1 HP
Résistance d'induit	0.16 ohm
Inductance d'induit	0.83 mH
La puissance	746 w

tableau III.5 : les paramètres de la moteur pivot

RESUME

Dans ce travail, nous avons étudié un système photovoltaïque à oued Souf, où nous avons modélisé ce système à travers le programme de simulation Matlab , dans le but d'étudier les façons de bénéficier d'un système photovoltaïque dans le processus d'irrigation (culture)

Nous avons également changé la qualité de la connexion, afin d'augmenter la valeur de sa tension et de son courant

L'un des moyens les plus importants de tirer le meilleur parti des panneaux, nous avons introduit un système de suivi du point de puissance maximale MPPT Nous avons introduit l'algorithme MPPT P/O et MPPT DE FLOU et les avons comparés avec certains d'entre eux en termes de rendement du système électrostatique.

Les mots clés : MPPT P/O , MPPT DE FLOU, d'irrigation, MPPT, système photovoltaïque.

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة نظام طاقه كهروضوئية في منطقة وادي سوف حيث قمنا بنموذجة هذا النظام عبر برنامج محاكات ماتلاب و ذلك بهدف دراسة سبل الاستفادة العظيمة من نظام كهروضوئي في عملية الري (فلاحة)

وقمنا ايضا بتغيير نوعية ربط و ذلك بهدف رفع قيمة فولطية و تيار

ومن اهم طرق الاستفادة عظمى للألواح قمنا بإدخال نظام تتبع نقطة الطاقة قصوى MPPT قمنا بإدخال خوارزمية MPPT P/O و MPPT DE FLOU ومقارنتهم مع بعضهم من حيث مردود نظام كهروضوئي وكلما كان حجم الواح و عددها اكبر كلما كان مردود نظام كهروضوئي افضل

الكلمات المفتاحية : السقي ، نظام كهروضوئي ، نظام نقطة تتبع الطاقة قصوى