

Introduction Générale

La production de l'énergie électrique utilisant des combustibles fossiles a traditionnellement fourni des coûts adéquats, mais produit des gaz à effet de serre. En fait, la production de l'énergie fossile est responsable de 40% des émissions mondiales de CO_2 . L'énergie nucléaire, qui ne produit pas directement de dioxyde de carbone, souffre généralement d'une mauvaise acceptation en raison des risques importants et du stockage coûteux des déchets [1].

Dans ce contexte, les énergies renouvelables sont sélectionnées comme une solution à l'épuisement des combustibles fossiles. Pour les sites isolés, où le réseau n'est pas disponible, les énergies renouvelables offrent une excellente solution, étant donné que les sources d'énergie sont abondantes (rayonnement solaire et le vent). De plus, étant donné le soutien adéquat, les énergies renouvelables peuvent répondre à une grande partie de la demande croissante d'énergie conventionnelle à des prix inférieurs (au milieu du 21^{ème} siècle, les sources d'énergie renouvelables pourraient représenter trois cinquièmes du marché mondial de l'électricité). De plus, l'électricité peut être produite près du lieu de consommation et sans produire de gaz à effet de serre. Ainsi, des installations autonomes basées sur les énergies renouvelables sont utilisées pour différentes applications dans des sites isolés [2].

Pour les applications agricoles, l'utilisation des énergies renouvelables est une solution prometteuse, notamment pour les sites isolés. En fait, de nombreuses recherches ont étudié l'efficacité des énergies renouvelables dans l'agriculture

pour les pays en développement [3], comme dans le pays cible, l'Algérie. Les techniques agricoles modernes nécessitent une irrigation régulière ; en particulier dans les climats arides et semi-arides, pour lesquels, les agriculteurs utilisent généralement des pompes à eau à moteur diesel. Bien que cette solution a été efficace dans le passé, l'augmentation continue des prix du carburant et l'exigence que l'utilisateur soit présent sont les principaux inconvénients de ces installations. Ainsi les énergies renouvelables sont considérées comme une bonne solution pour les agriculteurs sans accès facile au carburant ou pour les sites isolés [4].

Différents algorithmes MPPT ont été proposés dans la littérature ; cependant, la plupart de ces algorithmes présentent certains inconvénients, tels que l'instabilité, l'oscillation de puissance à l'état stationnaire, etc ; les algorithmes qui répondent à ces défis souffrent de temps de convergence et l'augmentation du coût du système. Les principaux facteurs qu'un algorithme MPPT efficace devrait prendre en considération. La réponse dynamique : c'est la vitesse de suivi du point puissance maximale. Un algorithme avec une réponse dynamique rapide peut considérablement augmenter la puissance de sortie. La stabilité à l'état stationnaire : Une fois que le MPP est atteint, il est obligatoire de minimiser l'oscillation autour de ce point, ce qui réduit les pertes de puissance. Changement rapide des conditions climatiques : Dans le cas des variations rapide des conditions atmosphériques (par exemple, jours nuageux), les algorithmes MPPT peuvent être instables et perdent la direction vers le MPP. Simplicité : la simplicité des algorithmes MPPT est essentielle pour avoir un temps de réponse plus rapide tout en gardant l'implémentation de ces algorithmes dans un système à faible coût. Cette thèse se concentre sur la proposition d'un nouvel algorithme MPPT simple et efficace. Cet algorithme prend en compte tous les défis et les préoccupations qui sont présentés ci-dessus. En outre, des efforts considérables ont été axés sur l'implémentation de cet algorithme dans un microcontrôleur commercial. Ceci est une tentative pour commercialiser des systèmes PV efficace moins chère et favorisant ainsi l'utilisation de l'énergie PV à l'échelle nationale.

Les principaux objectifs de cette thèse peuvent être résumés comme suit : Proposer deux nouvelles techniques MPPT adaptatives basées sur les deux méthodes perturber et observer (P&O) et Incrément de la Conductance (IncCond); ces algorithmes proposés comprennent des nouveaux tests pour mieux adapter la taille du pas d'incrément. En outre, cet algorithme peut être implémenté dans un microcontrôleur à faible coût. Réalisation du système PV dans le logiciel ISIS PROTEUS pour tester les deux algorithmes proposés et comparer ces réponses avec les algorithmes conventionnels. Implémentation du convertisseur Boost et le chargeur de batterie en utilisant un convertisseur SEPIC. Tout d'abord, dans cette thèse, nous présentons un état de l'art de l'énergie solaire. Dans le chapitre 2 nous présentons l'étape d'adaptation avec la commande MPPT pour les deux méthodes perturbation et observation et incrément de la Conductance, et aussi les deux techniques sont optimisées et implémenter dans d'un microcontrôleur PIC16f877A. Dans le chapitre 3 nous présentons les types des batteries pour le stockage de l'énergie solaire et le type de batterie le plus approprié pour stocker l'énergie PV. Le chapitre 4 sera dédié à l'étude du système de pompage solaire, enfin nous terminons par l'analyse des résultats et une conclusion.

1

Introduction Aux Systèmes Photovoltaïques

1.1 Introduction

Durant ces dernières années, Le problème de la crise énergétique est de plus en plus ressenti. Les gens sont très préoccupés par l'épuisement des énergies fossiles et les problèmes environnementaux causés par la production d'électricité conventionnelle. Des travaux de recherche significatifs sur les nouvelles sources d'énergie électrique sont en cours dans le monde entier. En conséquence, le coût des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie photovoltaïque (PV) diminue et leur performance s'améliore. Les principales applications des systèmes PV sont : chargeur de batterie, pompage de l'eau, les systèmes d'alimentation pour les maisons et les satellites [5].

Les principaux avantages des systèmes photovoltaïques c'est qu'ils sont propres : robustes et nécessitant très peu de maintenance. L'énergie solaire est capable de satisfaire les besoins énergétiques des zones rurales isolées. Cela correspond parfaitement à la décentralisation de la production d'électricité pour les petites communautés largement dispersées. Deux configurations de charge différentes sont actuellement utilisées pour les systèmes PV. L'une est les systèmes à couplage direct qui sont simples, mais ne fonctionnent pas au point de fonctionnement de puissance maximale du panneau PV en raison de la variation continue du rayonnement solaire. L'autre utilise un étage d'adaptation entre le module PV et la charge avec la commande de poursuite de point de puissance maximale (MPPT) pour maintenir le module PV production de puissance maximale. Ce dernier est la configuration la plus efficace, mais elle nécessite des améliorations pour diminuer les erreurs de poursuite de point de puissance maximale (MPP). De nombreuses méthodes pour suivre le MPP ont été développées et implémentées. Ces méthodes varient en fonction de leur complexité, des capteurs nécessaires, de convergence du temps, du coût et de l'efficacité [6].

Les recherches récentes ont été concentrées sur des nouvelles méthodes telles que la logique floue et les réseaux neuronaux pour obtenir un pas d'incrément variable. Ces techniques nécessitent plus de capteurs ce qui rend le système plus cher. Pour cette raison, ces techniques ont des difficultés dans l'implémentation

et ils ne conviennent pas aux systèmes PV moins chère [7].

Dans cette thèse, les deux méthodes MPPT Perturbation et Observation (P&O) et l'Incrémentation de la Conductance (IncCond) sont utilisées en raison de leurs simplicités de mise en œuvre. Sous un changement rapide de l'irradiation solaire, la performance de ces techniques se dégrade. L'objectif de ce travail est de concevoir une technique MPPT à faible coût et plus efficace. Une modification de ces algorithmes est proposée pour atténuer les réponses inexacts.

1.2 L'effet photovoltaïque

En 1839, Le physicien français Edmund Becquerel à découvert que lorsqu'un certains matériaux semi-conducteurs exposé à la lumière convertissent directement l'énergie lumineuse en électricité sans aucun processus intermédiaire. Cette conversion d'énergie est appelée « effet photovoltaïque ». L'effet photovoltaïque se produit dans les cellules solaires. Ces cellules solaires sont composées de deux types de semi-conducteurs un type P et un type N qui sont réunis pour créer une jonction $P - N$. Dans la collection de ces deux types de jonctions un champ électrique se formé dans la région de la jonction lorsque les électrons se déplacent vers le côté positif P et les trous se déplacent vers le côté négatif N . Ce champ électrique provoque des particules chargées négativement qui se déplacent dans une direction et des particules chargées positivement dans l'autre sens. La lumière est composée de photons, qui sont simplement de petits faisceaux de rayonnement électromagnétique ou d'énergie. Ces photons peuvent être absorbés par une cellule photovoltaïque et les transfère vers un atome du matériau semi-conducteur dans la jonction $P - N$. Plus précisément, l'énergie est transférée aux électrons dans le matériau. Cela conduit les électrons à passer à un état d'énergie plus élevé connu sous le nom bande de conduction. Cela laisse derrière eux un « trou » dans la bande de valence. Lorsqu'ils ne sont pas excités, les électrons maintiennent le matériau semi-conducteur ensemble en formant des liaisons avec les atomes environnants, et ils ne peuvent donc pas se déplacer. Cependant, dans leur état excité dans la bande de conduction, ces électrons sont

libres de se déplacer dans le matériau. En raison du champ électrique qui existe à la suite de la jonction $P - N$, les électrons et les trous se déplacent dans la direction opposée comme prévu. Une fois que l'électron se déplace, il y a un « trou » qui reste. Ce trou peut également se déplacer, mais dans la direction opposée. Ce processus qui crée un courant dans la cellule [8] [9]. La structure de la cellule est illustrée dans la Figure.1.1.

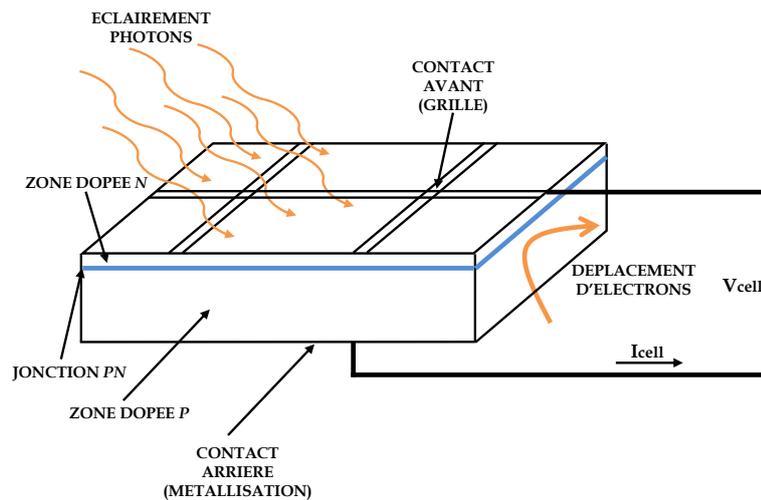


FIGURE 1.1 – Structure d'une cellule PV.

1.3 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Deux électrodes sont utilisées sur la plaquette : l'électrode avant permettant le passage de rayonnement solaire, se dépose sur la surface supérieure, et l'électrode arrière couvre complètement la face arrière. Pour augmenter la quantité de lumière absorbée, une couche mince de revêtement anti-réfléchissant couvre la cellule PV. Lorsque la cellule PV est soumise à une irradiation, l'effet PV ne se produit que si l'énergie photonique est supérieure ou égale à l'énergie de la bande interdite du semi-conducteur. L'énergie gagnée par les photons génère des paires électron-trou dans les différentes zones de la cellule (zone N , zone P et la jonction). Les photons ayant une énergie inférieure à $1,12 \text{ eV}$ ne seront pas

absorbés. De nombreuses paires électron-trou atteignent la jonction $P - N$, et un champ électrique est créé. La séparation de ces paires a alors lieu [10] :

- Dans une couche de type N ou P , des porteurs minoritaires (trous) dans la couche de type N , des électrons dans la couche de type P seront diffusés par l'effet de gradient de concentration. Ils seront ensuite accélérés dans des zones opposées de leur région d'origine par le champ électrique régnant sur la jonction. Ce mouvement donne lieu à un photocourant qui est proportionnelle à l'intensité lumineuse (rayonnement solaire), la température de la cellule, et le processus de fabrication. Sous l'effet de la séparation de charge, la jonction est polarisée dans le sens direct et la barrière de tension est abaissée. La valeur de cette tension dépend du matériau et de la structure de jonction ; elle est égale à $0,6 V$ pour le silicium.
- Dans les jonctions $P - N$, où les paires de trous d'électron photo-générées sont séparées par le champ électrique, ce qui force ensuite les électrons à se déplacer vers la couche de type N et les trous vers la couche de type P . Les électrodes collectent ces particules et en connectant les électrodes à une charge électrique externe, un courant continu (CC) est établi.

1.4 Modélisation du panneau PV

Le système PV se compose de plusieurs éléments, y compris le panneau PV, qui est considéré l'élément le plus important dans ce système. Le panneau PV est constitué de cellules solaires qui peuvent transformer l'irradiation solaire en énergie électrique. En général, la cellule solaire produit une tension comprise entre 0.5 et 0.8 volts, selon la technologie des semi-conducteurs et le matériau utilisé. Une cellule solaire typique se compose d'une jonction $P - N$ formée dans un matériau semi-conducteur est similaire à une diode. Le module PV peut se

modéliser à partir de l'Equation suivante 1.1 [11][12] :

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_{sat} \left\{ e \left[\frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{N_s A K T} \right] - 1 \right\} - N_p \frac{q(V_{pv} + R_s I_{pv})}{R_p N_s} \quad (1.1)$$

Où :

I_{sat} : le courant de saturation,

K : la constante de Boltzmann,

T : la température de la cellule en Kelvin,

q : la charge de l'électron,

A : le facteur de non idéalité de la jonction,

I_{pv} : le courant fourni par le panneau PV,

V_{pv} : la tension fourni par le panneau PV,

I_{cc} : le courant de court-circuit du panneau PV dépendant de l'éclairement et la température,

R_p : la résistance parallèle caractérisant les courants de fuite de la jonction,

R_s : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions,

N_s : nombre de cellules connectées en série,

N_p : nombre de cellules connectées en parallèle.

Le modèle de circuit équivalent de la cellule PV est représenté dans la Figure.1.2

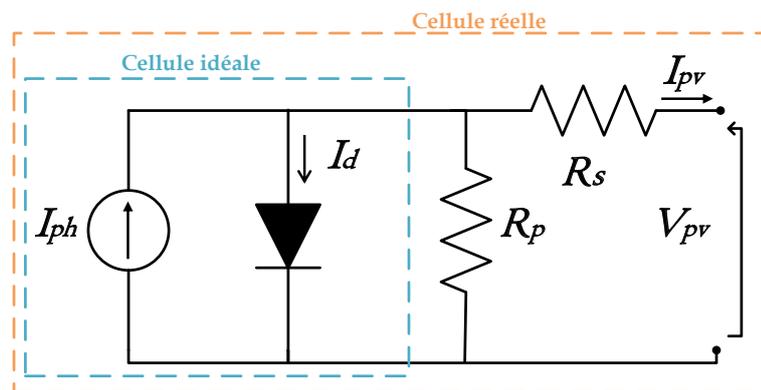


FIGURE 1.2 – Circuit équivalent d'une cellule PV.

1.5 Caractéristiques du panneau photovoltaïque

Les caractéristiques électriques du panneau PV (ISOFOTON IS-75/12) sont fournies par le fabricant dans des conditions de fonctionnement normalisées, définies dans le monde entier comme des conditions de teste standard (STC). Ces conditions sont définies par la température cellulaire $T_{STC} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'éclairement $E_{STC} = 1000\text{ W/m}^2$. Le Tableau.1.1 montre les principaux points de la caractéristique courant en fonction de la tension dans les conditions (STC). Les caractéristiques électriques du panneau PV dans des conditions uniformes (STC) sont tracées dans la Figure.1.3. Les paramètres du panneau PV sont répertoriés dans le Tableau.1.1.

Les paramètres	Description	Valeur
Puissance maximale	P_{mpp}	75 [W]
Tension maximale	V_{mpp}	17.3 [V]
Current maximale	I_{mpp}	4.34 [A]
Tension de circuit ouvert	V_{co}	21.6 [V]
Courant de court-circuit	I_{cc}	4.67 [A]

TABLEAU 1.1 – Les paramètres du panneau PV (ISOFOTON IS-75/12).

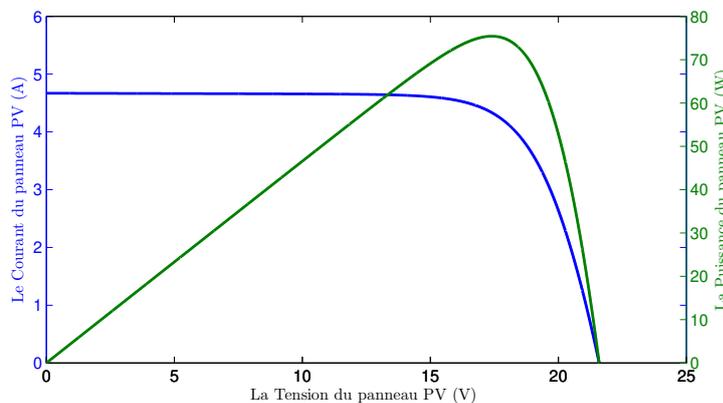


FIGURE 1.3 – Caractéristique $I - V$ et $P - V$ d'un panneau PV (ISOFOTON IS-75/12).

Les caractéristiques électriques du panneau PV représenté dans la Figure.1.3 présentent trois points particuliers :

- Le point de court circuit (CC), caractérisé par une tension nulle aux bornes du module PV et par un courant de court circuit I_{cc} .

- Le point de circuit ouvert (CO), caractérisé par un courant nulle aux bornes du module PV et par une tension de circuit ouvert V_{co} .
- Le point de puissance maximum (MPP), à laquelle la puissance $P_{mpp} = V_{mpp} \times I_{mpp}$ est le maximum que le panneau PV peut fournir dans les conditions de fonctionnement temporaires.

Les caractéristiques électriques du panneau PV sont généralement représentées par la courbe de courant par rapport à la tension $I - V$ et la puissance par rapport à la tension $P - V$ pour différentes conditions atmosphérique. D'après la Figure.1.4 et la Figure.1.5, il est évident que les caractéristiques du module PV ne sont pas linéaires et changent avec le changement de la température ambiante et le niveau d'irradiation solaire. Il est également connu que la caractéristique de la puissance du panneau PV a un seul point de puissance maximum (MPP) sous différentes conditions atmosphérique. Les caractéristiques $I - V$ et $P - V$ illustré dans la Figure.1.4 sous différent niveaux d'éclairement et une température fixe (25 °C) . On peut voir que le courant de court circuit I_{cc} augmente quasi linéairement avec l'éclairement et que la tension V_{co} augmente légèrement. La Figure.1.5 présente Les deux caractéristiques du module PV sous différentes température et un éclairement fixe (1000 W/m^2) . On peut voir que la tension de circuit ouvert V_{co} diminue fortement avec la température, mais a un effet presque négligeable sur le courant de court circuit I_{cc} . La tension de circuit ouvert diminue avec une augmentation de la température d'environ 0,5%/°C au-dessus de 25 °C.

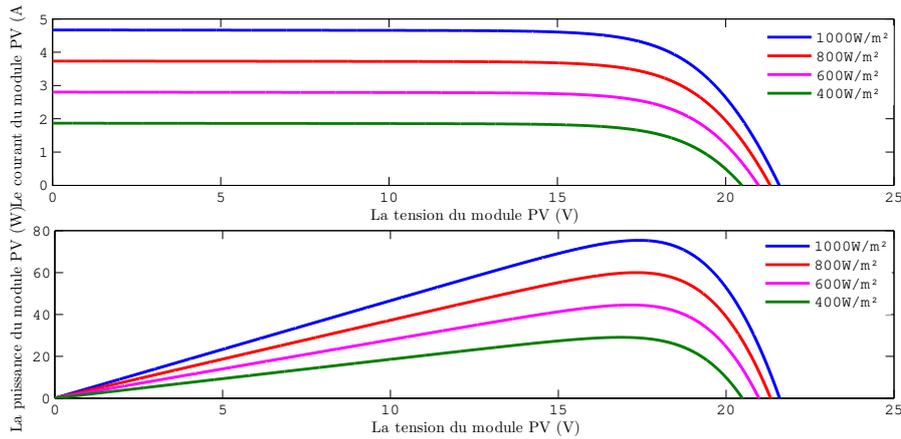


FIGURE 1.4 – Caractéristique $I - V$ et $P - V$ d'un panneau PV pour différent éclairement.

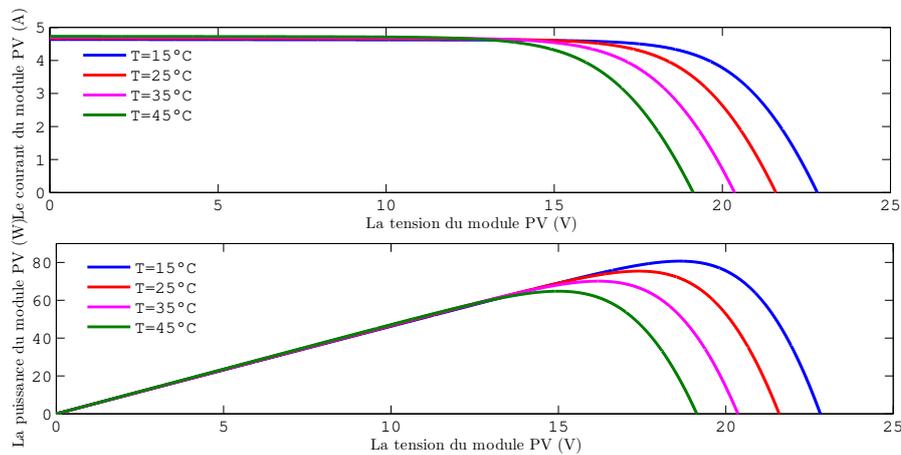


FIGURE 1.5 – Caractéristique $I - V$ et $P - V$ d'un panneau PV pour différent température.

La variation d'irradiation a deux effets sur les caractéristiques électriques par rapport à la température. La tension de circuit ouvert du panneau PV est presque indépendante de l'irradiation : dans la littérature, il est indiqué que cette dépendance est logarithmique. Au contraire, le courant de court-circuit dépend linéairement avec l'éclairement. Il convient de noter que la température change généralement assez lentement, de sorte que la valeur de la température est souvent considérée comme une constante par rapport à la variation de l'éclairement [13][14]. Cette dernière est considérée comme le facteur principal de perturbation, en raison de son imprévisibilité : ses effets seront largement discutés dans cette thèse.