

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**



**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**LICENCE ACADEMIQUE**

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie Mécanique

Spécialité: Electromécanique Industrielle

**Thème**

Etude et optimisation du fonctionnement d'un système  
photovoltaïque adapté par une commande MPPT

Devant le jury composé de :

**Encadreur**

Meneceur Ridha

Présenté par :

- Bahri Tarek Aziz

- Messioughi Yacine

- Ahmed Salah Khaled

**2014-2015**

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	01
------------------------------------	----

---

<b>Chapitre -1 -</b>	<b>l'énergie solaire</b>
----------------------	--------------------------

---

1.1 Introduction .....	03
1.2. La production de l'électricité .....	03
1.2.1. Le principe de production.....	03
1.2.2. Les différents types d'énergie .....	03
1.2.2.1. Énergies non renouvelables .....	04
1.2.2.2 Énergies renouvelables .....	04
1.3. Electricité photovoltaïque .....	08
1.3.1 Histoire .....	08
1.3.2 le soleil et le rayonnement .....	09
1.3.2.1 le soleil.....	09
1.3.2.2 le rayonnement .....	09
1.3.2.3 Modèle simplifié de L'éclairement.....	09
1.4 Conclusion.....	11

---

<b>Chapitre -2 -</b>	<b>Température du panneau photovoltaïque et pouvoir Outil de l'analyse de la production</b>
----------------------	---

---

2.1. Introduction.....	12
2.2. Modéliser d'une cellule PV.....	12
2.3. Modélage du panneau photovoltaïque.....	17
2.4. Température de module PV.....	20
2.4.1 vitrage de devant.....	20
2.4.2 Cellules solaires.....	21
2.4.3 En arrière surface.....	22
2.4.4 Autres méthodologies.....	26
2.5. SIMULATION ET VALIDATION.....	27
2.5.2 Validation expérimentale.....	28
2.5.3 Résultats de la mesure et validation modèle.....	28
2.6. CONCLUSIONS.....	31

---

## Chapitre -3 - la cellule photovoltaïque et les caractéristiques de générateur PV

---

3.1 Introduction.....	37
3.2 Les cellules solaires.....	37
3.3 Le principe de fonctionnement.....	37
3.4 Les différents types de cellules solaires .....	38
3.5 Les modules (ou panneaux) .....	37
3.6 Schéma équivalent d'une cellule solaire .....	40
3.7 Le Générateur PV et ses Performances .....	41
3.7.1 Caractéristique Courant-Tension .....	42
3.7.2 Caractéristique Puissance-Tension .....	44
3.7.3 Influence de l'Éclairement .....	45
3.7.4 Influence de la Température .....	46
3.7.5 Influence de la résistance série et la résistance shunt .....	47
3.7.6 Rendement .....	48
3.7.7 Facteur de forme .....	48
3.7.8 Association de Cellules Photovoltaïques en Série .....	48
3.7.9 Association de Cellules Photovoltaïques en Parallèle .....	49
3.8 Les systèmes photovoltaïques .....	50
3.8.1 Les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique .....	50
3.8.2 Les systèmes à couplage direct sans batterie .....	50
3.9 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque .....	52
3.9.1 Avantages .....	52
3.9.2 Inconvénients .....	52
3.10 Conclusion.....	52

---

## **Chapitre -4 - *la puissance maximale du générateur photovoltaïque***

---

4.1 Introduction.....	53
4.2 Suivi de la puissance maximale du générateur photovoltaïque .....	53
4.3 Principe du MPPT.....	54
4.4 Rendement de la Chaîne de Puissance .....	55
4.5 Technique de fraction de la tension du circuit ouvert .....	56
4.6 Technique de la perturbation puis observation (P&O) .....	57
4.7 Technique de l'incrémentation de la conductibilité .....	60
4-8 RESULTAT DE SIMULATION.....	64
4.8.1Caractéristiques principales des techniques de MPPT .....	64
4.8.2 Résultats de méthode fraction de la tension du circuit ouvert .....	64
4.8.3 Interprétation .....	65
4.8.4 Résultats de la méthode de Perturbation puis observation .....	67
4.8.5 Résultats de méthode de l'incrémentation de la conductibilité .....	68
4.9 Conclusion.....	71

---

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>72</b>
---------------------------------	-----------

### **Bibliographie**

# *CONCLUSION GÉNÉRALE*

D'après l'étude faite précédemment ; une étude bibliographique à permet de faire connaissance à certaines énergies renouvelables, parmi les quelles l'énergie photovoltaïque, qui occupe ces dernières années, un pourcentage de production d'énergie mondiale, malgré sont coût, qui à son tour voit une décroissance avec la développement des technique de d'avancement du semi-conducteur.

Par suite due comparaison de quelques techniques de poursuite du point maximum de la puissance augmentent environnement le rendement des panneaux solaires, ces technique se différant entre eux par le domaine d'applications , le coût, le type d'implémentation, la vitesse de convergence ; dans notre étude , on comparant les trois technique (technique de fraction de la tension du circuit ouvert , technique de la perturbation puis observation (P&O) et technique de l'incrémentation de la conductibilité),malgré qu'il existe d'autre technique (la commande courant linéaire , la commande brouillée , le réseau neurologique , des cellules pilotes , le champ courant , la commande de limite cycle).Comme on la signalés précédemment, afin d'adapter le panneau avec la charge, il est nécessaire de introduit un convertisseur DC-DC d'adaptation, pour déplacé le point de fonctionnement au points optimums.

Une étude théorique sur les deux principaux types de ces convertisseurs à été présenté avec les pertes existantes en fonction de l'angle d'amorçage et la fréquence de commutation, cette étude peut être nécessaire prochainement pour l'étude pratique.

# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Mais avant de la consommer il aura fallu la produire, en général dans des unités de production de grande puissance, la transporter, puis la distribuer vers chaque consommateur. Dans les pays industrialisés, ce système est aujourd'hui très centralisé même si les évolutions de réglementation conduisent à une amorce de décentralisation de la production.

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fissiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Sans énergie, notre monde ne pourrait fonctionner. En effet, l'homme, les machines et la nature en ont tous besoin. La demande totale d'énergie dans le monde s'accroît proportionnellement à la croissance démographique, à la disponibilité limitée des sources d'énergie et aux coûts sociaux et environnementaux de l'approvisionnement d'énergie. Mais, en principe, nous disposons de suffisamment d'énergie. Le soleil fournit une énergie lumineuse colossale à la Terre (10.000 fois l'énergie nécessaire). Mais le problème réside en ce que la forme sous laquelle nous recevons l'énergie n'est pas nécessairement celle sous laquelle cette énergie est utilisable. C'est pourquoi, nous devons utiliser des processus de conversion de l'énergie. Par exemple, les cellules solaires photovoltaïques permettent de convertir l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique. L'appauvrissement des sources énergétiques traditionnelles (pétrole...) due à une utilisation accrue de celles-ci et l'augmentation considérable du prix du pétrole, ... entraînent que l'étude des énergies renouvelables revêt une importance cruciale pour les années à venir. Les énergies renouvelables utilisables actuellement sont l'énergie hydraulique, le chauffage solaire actif, l'énergie éolienne, la géothermie, l'énergie photovoltaïque, la biomasse ...etc.

Dans ce contexte général, notre étude s'intéresse à la filière photovoltaïque et aussi consiste au développement d'une procédure d'optimisation qui permet la poursuite de la puissance maximale (**Maximum Power Point Tracking MPPT**) d'un générateur photovoltaïque.

Dans le premier chapitre, après avoir présenté les différentes sources d'énergies renouvelables existantes, nous focalisons notre attention sur la production d'électricité.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons La cellule photovoltaïque et les caractéristiquement générateur PV, À partir des deux chapitres précédents, nous passerons au troisième chapitre qui traite La puissance maximale du générateur photovoltaïque MPPT.

# Chapitre I

## Énergie Solaire

### 1-1 INTRODUCTION:

L'électricité est une des formes d'énergie les plus versatiles et qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage. Des milliers d'appareils sont dessinés pour fonctionner grâce à l'énergie électrique, soit sous forme de courant continu de faible tension, soit à partir d'un courant alternatif de tension plus élevée.

Donc L'électricité est un bien de consommation qui est devenu indispensable au bien-être de la population et au développement économique de toute société. A ce titre, il est vital de savoir les différentes sources de cette énergie .

### 1-2 LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE:

#### 1-2-1 Le principe de production :

Toutes les centrales électriques produisent de l'électricité grâce à des systèmes couplés turbine et alternateur. L'énergie utilisée dans les centrales électriques est destinée à la mise en mouvement des turbines. à la sortie de la centrale, une tension efficace de l'ordre de 220 KV et de fréquence 50 Hz est produite.

#### 1-2-2 Les différents types d'énergie:

On distingue les énergies *non renouvelables* et les énergies *renouvelables* :

Les premières sont le pétrole, le gaz, le charbon et l'uranium (avec les technologies actuelles).

Les secondes couvrent l'hydraulique, la biomasse et les déchets, l'éolien, le solaire, le géothermique, les marées et les courants (marins ou des rivières). Toutes ces énergies ne sont pas utilisées de la même façon.

### 1-2-2-1 Énergies non renouvelables :

Le pétrole ou le gaz naturel ne sont pas des énergies renouvelables car il faudrait des millions d'années pour reformer la quantité d'énergie fossile que l'on consomme actuellement. De même, l'énergie nucléaire n'est pas une énergie renouvelable car la réserve d'uranium disponible sur Terre est limitée.

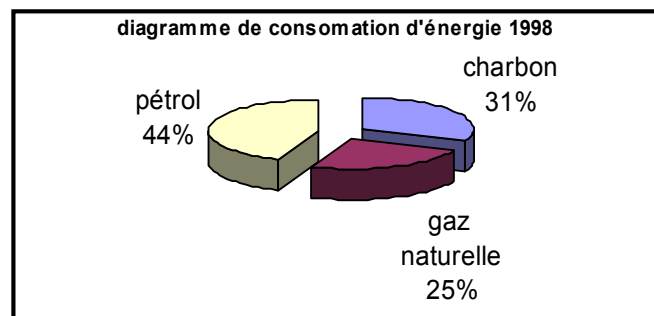


Figure 1.1:consommation d'énergie[1]

L'énergie non renouvelable présente certains inconvénients:

L'énergie non renouvelable est une énergie non propre avec déchets,et provoquent la pollution de l'environnement.

Leurs coûts de fonctionnement sont très grands vu les entretiens réduits , ils nécessitent le combustible, transport, personnel hautement spécialisé.

### 1-2-2-2 Énergies renouvelables:

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont de phénomènes naturels réguliers. principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à la quelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à la quelle elle est consommée. tous les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement propres : par exemple, certains fluides frigorigènes utilisés dans les circuits des pompes à chaleur géothermiques sont des gaz qui, en cas de fuite, contribuent à l'effet de serre, et peuvent aussi détruire la couche d'ozone.[2]

**a) Énergie Éolienne:**

L'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou un moulin à vent.

Elle peut être utilisée de deux manières : de manière directe et indirecte.

- Conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin(*figure1.2*).
- Transformation en énergie électrique : l'éolienne (*figure1.3*) est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer un courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.



*Figure 1.3: éolienne*



*figure 1.2: moulins à vent*

**b) Énergie hydraulique:**

De nombreuses civilisations se sont servies de la force de l'eau, qui représentait une des sources d'énergie les plus importantes avant l'ère de l'électricité. Un exemple connu est celui des moulins à eau (*figure1.4*), placés le long des rivières. Aujourd'hui, bien que de nombreux sites aient été parfaitement équipés, cela ne suffit plus à compenser l'augmentation vertigineuse de la consommation. De nos jours l'énergie hydraulique est utilisée au niveau des barrages (*figure1.5*) et sert principalement à la production d'électricité.



*Figure 1.4: moulins à eau*



*figure 1.5: un barrag*

**c) *Énergie de la biomasse:***

La biomasse est la 2ème énergie renouvelable dans le monde. Elle permet de produire de l'électricité, de la chaleur via la combustion de déchets et de résidus de matières organiques végétales ou animales.

Le terme de biomasse recouvre un champ très large de matières : bois(*figure1.6*), déchets des industries de transformation du bois, déchets agricoles (pailles, lisiers, etc.), fraction fermentescible des déchets ménagers et des industries agro-alimentaires, biogaz de décharge ou produits de méthanisation (lisiers, boues d'épuration, décharges, ...).

L'avenir du bois-énergie passe aussi par la réalisation de réseaux de chaleur. Alimentés par des chaudières, ils distribuent de l'eau chaude pour les logements individuels et collectifs, les mairies, les écoles, les piscines, etc...



*Figure 1.6 :le bois*

**d) Énergie géothermique:**

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. La plus grande partie de la chaleur de la Terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, vent). Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.



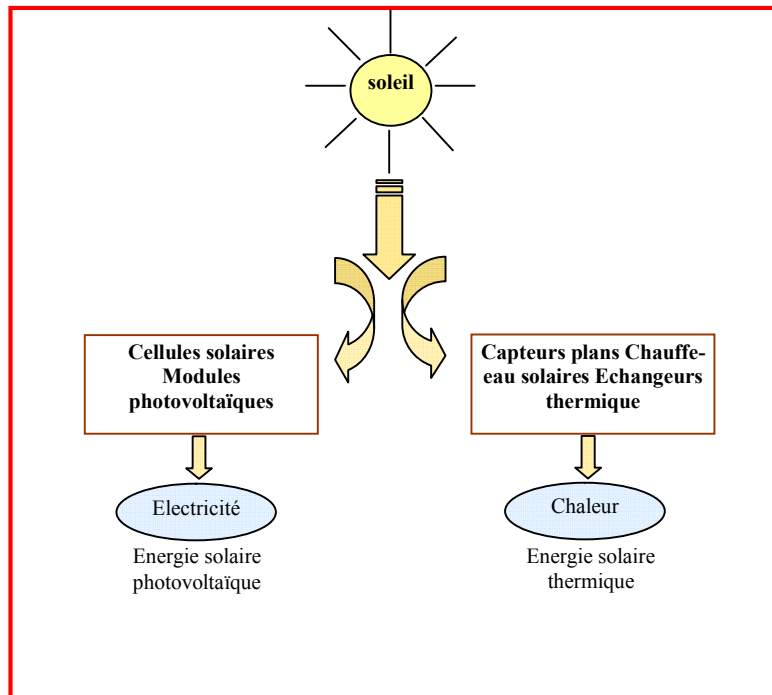
*Figure 1.7: Champ d'essais géothermiques*

**e) Énergie solaire:****Électricité ou chaleur :**

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules solaires ou de photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie.

Elle est radicalement différente de l'énergie solaire thermique qui, quant à elle, produit de la *chaleur* à partir de rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas de capteur thermique qui relèvent d'une toute autre technologie. Dans le langage courant, ce sont des «chauffe-eau solaire» ou des « capteurs à air chaud».

Cet aspect de l'énergie solaire ne pas traité dans cet ouvrage. On évitera dans le terme « capteur solaire » cas une maintient l'ambiguïté entre les deux techniques [3].



**Figure 1.8: les deux types d'énergie solaire.**

Nous nous basons dans notre travail sur l'énergie solaire .

### **I-3 ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE:**

#### **I-3-1 Histoire:**

L' hélioélectricité, qui traite de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium, mais ce n'est qu'à partir de 1954, avec la réalisation des premières cellules photoélectriques au silicium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leur développement et de rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace.

Mais, pour des raisons à la fois techniques et économiques, cette nouvelle source d'énergie électrique a tardé à s'imposer en dehors du domaine spatial.

Cependant, au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même est devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires[4].

## **I-3-2 Le soleil et le rayonnement:**

### ***I-3-2-1 Le soleil:***

Le soleil produit une énorme quantité d'énergie, qui quitte sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique d'un spectre allant de 0,2  $\mu\text{m}$  (ultra-violet) à 4  $\mu\text{m}$  (infra-rouge). Cette énergie représente une source majeure d'énergie dans le futur. Malgré la distance considérable de la terre du soleil ( $150 \times 10^6$  km), la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie de  $180 \times 10^6$  GW [5].

### ***I-3-2-2 Le rayonnement:***

Le soleil rayonne sur la Terre une puissance de 16.1015 kWh par an, dans toutes les longueurs d'onde du spectre de la lumière visible. L'énergie lumineuse issue du Soleil est à la base de la majeure partie des formes d'énergie disponibles : énergies chimique, thermique, hydraulique, électrique. Par exemple, les combustibles fossiles, tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole, ont été formés à la suite d'un stockage d'énergie solaire par des organismes, sur une longue période. En fait, l'énergie nucléaire est la seule à ne pas provenir de l'énergie solaire.

Cette dernière est indispensable pour maintenir sur Terre les conditions lumineuses et thermiques nécessaires à la vie. Par exemple, la photosynthèse utilise cette énergie pour fournir aux plantes chlorophylliennes de la matière organique. Soixante pour cent de l'énergie solaire qui atteint la Terre est réfléchi par l'atmosphère ; 11% est réfléchi par le sol et la végétation ; 16% entretient, par évaporation, le cycle de l'eau, qui produit la pluie, les eaux de montagne et de rivière [1].

### ***I-3-2-3 Modèle simplifié de l'éclairement:***

Une approche simplifiée a été élaborée selon, et qui servira comme une première approximation pour la quantification de l'éclairement incident. Ce modèle quantifie le flux lumineux pour une journée claire, et qui fait simuler la forme en cloche de l'éclairement à une fonction <<Sinus>> du temps solaire vrai.

Pour notre application, le modèle précité est adopté.

L'expression mathématique d'un tel modèle est la suivante [6] :

$$E = E_M \cdot \sin(h) \quad (1.1)$$

Avec :

$$t = t_{sr} + h/15 \quad (1.2)$$

Où :

$E_M$  : valeur maximale de l'éclairement sur site (obtenue à midi  $E_M=1000\text{W/m}^2$ ).

$t_{sr}$  : temps solaire correspondant au levé du soleil (en heures).

$t$  et  $h$  désignent respectivement le temps solaire vrai et l'angle ( en degrés) , et qui sont définis comme suit :

### a) Temps solaire vrai (TSV) :

Le temps solaire vrai à un lieu et à un instant donné est l' angle horaire du soleil en ce lieu et à cet instant. C' est une notion qui traduit à la fois le mouvement de rotation de la terre et de son mouvement de translation.Par définition, le temps solaire vrai (TSV) est évalué par :  $TSV = 12 + h/15$  (1.3)

### b) Angle horaire :

C'est l'angle que font sur le plan équatorial les projections de la direction du soleil et de la direction du sud pour un lieu donné .Il est lié directement au temps solaire vrai par la

$$\text{relation : } h = \frac{360^\circ}{24} (TSV - 12) \quad (1.4)$$

La figure(I.9) montre l'éclairement solaire à partir d'un modèle quantifie le flux lumineux pour une journée claire, et simule la forme en cloche de l'éclairement à une fonction

$$\text{suivant[7] : } E = E_M \cdot \sin(15t - 90^\circ) \quad (1.5)$$

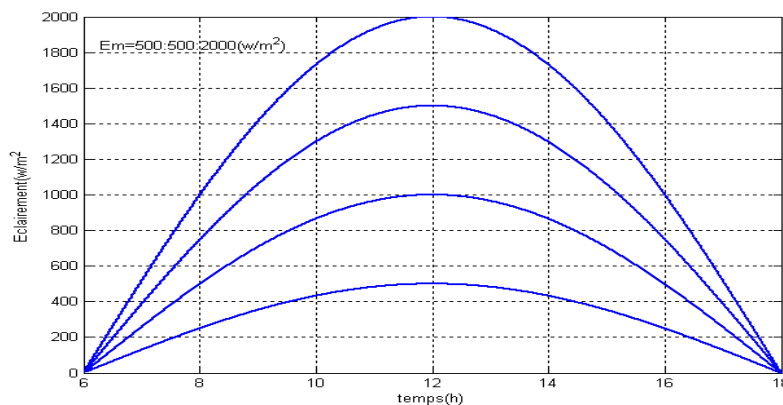


Figure 1.9 : modèle simplifié de l'éclaire

#### **I-4 CONCLUSION :**

Dans ce chapitre on a représenté les différents types d'énergie (les énergies *non renouvelables* et les énergies *renouvelables*) pour produire l'électricité, puis nous avons traité le principe de l'électricité Photovoltaïque (historique et le rayonnement).

Le prochain chapitre sera donné une étude détaillée sur la cellule PV et les caractéristiques de générateur PV

---

# Température du panneau photovoltaïque et pouvoir Outil de l'analyse de la production

## 2.1. Introduction

La performance d'un module PV dépend pour une grande part de la disponibilité de radiation solaire et sur l'efficacité de la conversion; ces traits importants sont affectés par beaucoup de paramètres physiques comme la latitude de site, les conditions du temps typiques, l'inclinaison du panneau et angles de l'azimut, la température de l'air, la vitesse du vent, la température des surfaces environnantes, l'obstruction et effets de l'ombre, la charge électrique.

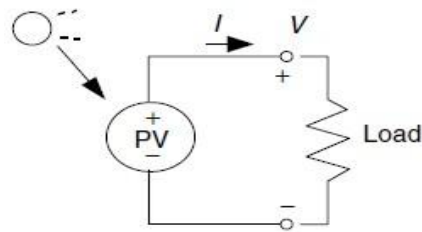
Les fabricants de module PV fournissent seulement des données de la performance pour leurs produits pour conditions standard fixes d'irradiation solaire et température opérant. Quelquefois, seulement quelques paramètres électriques (pouvoir maximal, efficacité maximale) sont donnés en effet 1.

Dans la plupart des cas, le panneau PV opérera toujours loin des ces conditions standard. Pour cette raison, c'est très important d'avoir un modèle fiable du panneau PV qui est capable de prédire la performance électrique, bien que l'irradiation solaire, la charge électrique et la température du fonctionnement ne correspondent pas aux conditions standard 1.

La connaissance de la caractéristique d'un panneau PV est un peut être pesé facilement pour fournir le pouvoir requis pour les charges différentes 4. L'énergie photovoltaïque est une énergie propre, avec une longue durée de vie et une haute précision. Ainsi, il peut être considéré comme un du plus soutenable des technologies d'énergie renouvelables 5. Ces systèmes peuvent être localisés dans ou proche où la nécessité a lieu, en évitant des pertes de transmission et contribuant des réductions au CO<sub>2</sub>émission dans les centres urbains 6.

## 2.2. Modeler d'une cellule PV

La cellule solaire est l'unité de base d'un module photovoltaïque et c'est l'élément qui transforme directement les rayons du soleil ou photons dans pouvoir électrique 6.



**Figure1: PV cellule avec aloud**

Les cellules solaires consistent en une jonction du p-n fabriquée dans une gaufrette mince ou couche de semi-conducteur 7. Dans le noir, le comportement de la cellule PV est semblable à cela d'une diode 8. L'union PN que les caractéristiques électriques diffèrent très petit d'une diode, représentée par équation 1 de Schrockley 6.

$$I_D = I_Q(e^{qvD/kt} - 1) \quad (2.1)$$

Ici  $I_0$  est le courant saturé inverse de la diode.

Quand exposé allumer, photons avec énergie plus grand quel 'énergie de l'intervalle de la bande du semi-conducteur est absorbée et crée une paire d'électron-trou. Ces porteurs sont balayés séparément sous l'influence des champs électriques internes de la jonction du p-n et créent un courant proportionnel à la radiation de l'incident 7.

Être le courant net de la cellule, la différence de la photo-curent  $I_L$ , (le courant produit par la lumière de l'incident, directement proportionnel à l'irradiation du soleil) et carte d'identité (les 6 conditions préalable pour concevoir et dimensionné une provision de pouvoir PV. C'est la raison pour le développement de modèles de panneau PV utile pour les applications de la mesure électriques 2.

$$I = I_L - I_n \quad (2.2)$$

Cette approche autorise le développement de nouveau haut-courant de la diode normal), comme fait entrer l'équation 2.systemes de la conversion des performances, système hésitant

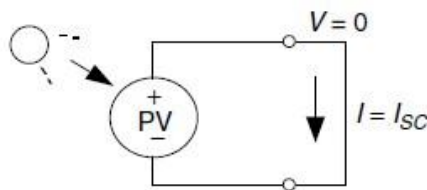
Composants et autoriser l'évaluation du comportement du système entier dans plusieurs scénarios2

Actuellement, les systèmes de la génération photovoltaïques sont encouragés activement pour atténuer des questions de l'environnement telles que l'effet de maison vert et pollution de l'air3. Un autre avantage est cette technologie solaire est très modulaire

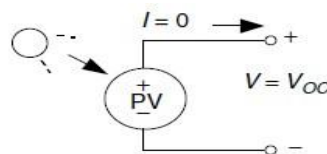
Court-circuiter ensemble les terminaux de la cellule (court-circuit), comme fait entrer le figure 2a, le photon a produit le courant ( $I_L$ ) suivra hors de la cellule comme un courant du court-circuit ( $I_{sc}$ ).

$$I_l = I_{sc} \tag{2.3}$$

Quand il n'y a aucun rapport à la cellule PV (ouvert - circuit), le photon a produit le courant est détourné intérieurement par la diode de la jonction du p-n intrinsèque. Cela donne  $V_{oc}$  (voyez le figure 2b) au voltage de circuit ouvert.



(a): Curent du court-circuit



(b): Voltage de circuit ouvert

Figure2: Court-circuit de l'exposition des diagrammes (a) conditions de circuit

(b) Obverts

Le module PV ou fabricants de la cellule fournissent habituellement les valeurs de ces paramètres dans leurs données en couvre 9.

Les équations 1 à 3 donnent le courant net de la cellule solaire. L'équation 4 est le rapport du courant-voltage de la cellule PV. Où  $V$  est le voltage à travers la cellule PV

$$l = I_{sc} - I_0 (e^{qv/kt} - 1) \tag{2.4}$$

Le courant de la production de la cellule. Le courant saturé inverse  $I_0$  est constant sous la température constante.

Le processus de modeler cette cellule solaire peut être développé basé sur équations 1, 2 et 4 6. Que par conséquent, la boîte de la cellule solaire idéale, théoriquement, soit modelée comme

une source courante dans l'antiparallèle avec une diode. Le modèle le plus simple d'une cellule PV est montré comme un circuit équivalent fait entrer le figure 3.

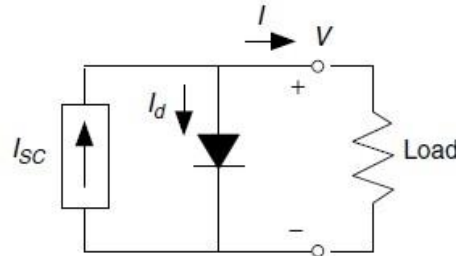


Figure 3: PV cella circuit de l'équivalent simple

Mettre la condition de l'ouvert-circuit comme fait entrer le figure 3,  $I = 0$

Et l'équation 4 devient

$$Q = I_{sc} - I_0 (e^{qv/kt} - 1) \tag{2.5}$$

Résoudre pour  $I_0$ , nous obtenons

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\frac{e^{qv/kt}}{kT} - 1} \tag{2.6}$$

À une approximation très bonne, le photon a produit le courant qui est égal à  $I_{sc}$  est directement proportionnel à l'irradiation  $G$ , l'intensité d'illumination, à PV cellule 10.

Si. est le coefficient de proportionnalité,

$$I_{sc} = \lambda G \tag{2.7}$$

donc, si la valeur,  $I_{sc} = I_{scr}$ , est sue du drap des données, sous la condition de l'épreuve standard,  $G_0 = 1000 \text{ W/m}^2$  à l'aimasse (AM) = 1.5, et le court-circuit  $I_{sc}$  courant le photon a produit le courant à irradiation  $G$ , le quotient décours-circuliez des courants sur irradiations respectives est égal à la constante de proportionnalité. Donc

$$\lambda = \frac{I_{scr}}{G_0} = \frac{I_{sc}}{G} \tag{2.8}$$

Il y a des résistances de la série, résistances parallèles et un recombinaison dans la région de l'épuisement de la cellule PV qui n'a pas été prise en considération dans le modèle simple et cela affectera la performance d'une cellule PV dans l'entraînement.

Il y a une série de résistances dans un chemin courant à travers la matière du semi-conducteur, la grille du métal, contacts et courant autobus rassemblement 11. Ces pertes du résistive sont réunies comme un résistant de la série ( $R_s$ ).

Là aussi la résistance parallèle a aussi appelé la manœuvre résistance. C'est une perte associée à une petite fuite de courant à travers un chemin du résistive en parallèle avec l'appareil intrinsèque 11. Cela peut être représenté par un résistant parallèle ( $R_p$ ).

Recombinaison dans la région de l'épuisement de cellules PV

Fournit des chemins courants non-ohmiques le PV intrinsèque en parallèle cellule 12. Comme fait entrer le chiffre 4, cela peut être représenté par la deuxième diode ( $D_2$ ) dans le circuit équivalent.

Ajouter l'impact de  $R_S$ ,

$$V_D = V - IR_S \tag{2.9}$$

et résumer ces effets, le rapport du courant-voltage de la cellule PV est écrit comme (équation 10)

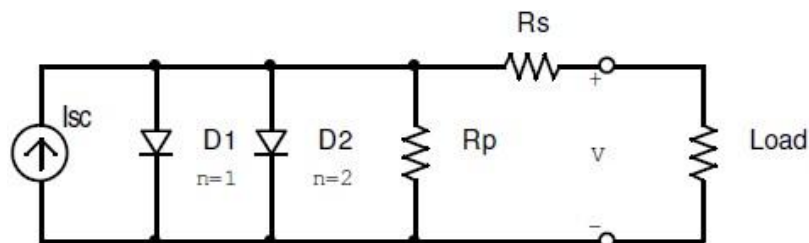


Figure4: I a model of a de l'interprète du le du for a doub du circuit équivalent cellule PV

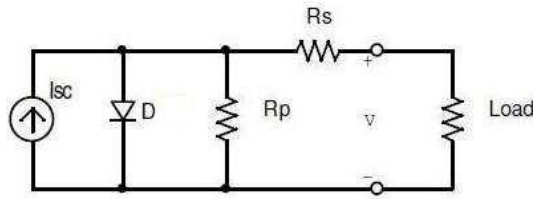
$$I = I_{SC} - I_{Q1} \left[ e^{q \left( \frac{v+IR_S}{kT} \right)} - 1 \right] - \frac{v+IR_S}{R_p} \tag{2.10}$$

Les deux-diodes à qui le circuit équivalent (et l'équation double-exponentielle correspondante) est adapté en particulier pour les cellules poly cristallines 13. C'est possible de combiner la première diode ( $D_1$ ) et la deuxième diode ( $D_2$ ) et récrire l'équation (10) dans la forme suivante.

$$I = I_{SC} - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V+IR_S}{AKT} \right)} - 1 \right] - \frac{V+IR_S}{R_p} \tag{2.11}$$

Et est représenté par le modèle exponentiel seul comme

Fait entrer le Figure 5.



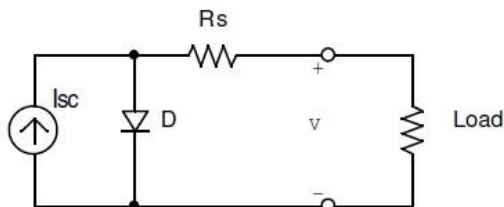
**Figure5: Circuit équivalent pour modèle de l'exponentiel seul de cella PV**

Dans l'équation 11, UN est connu comme le "facteur de l'idéalité" et ("UN" est dénoté quelquefois aussi comme "n") prend la valeur entre un et deux 12.

Cependant, la valeur plus exacte est estimée par accessoire de la courbe. Il peut être estimé itératif jusqu'à ce qu'une valeur exacte soit accomplie 7. Eg est l'énergie de l'intervalle de la bande et certaines valeurs sont 1.12 V pour Si; 1.42 pour Gagag; 1.5 V pour Cd Te) et 1.75 V pour Si amorphe.

### 2.3. Modelage du panneau photovoltaïque

Une cellule PV seule produit un voltage de la production moins que 1 V, au sujet de 0.6 V pour les cellules du silicium (Si) cristallines, donc plusieurs cellules PV sont connectées en série pour archiver un voltage de la production désiré. Quand les cellules série-suivies sont placées dans un cadre, il est appelé comme un module.



**Figure6: Circuit equivalent dans le MATLAB®**

L'équation qui décrit le rapport du courant-voltage de la cellule PV

$$I = I_{SC} - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V + I R_S}{A k T} \right)} - 1 \right] \tag{2.12}$$

Où I suis le courant cellulaire (le même comme le courant du module), V est le voltage de la cellule = (module voltage / nombre de cellules en série), T est la température de la cellule dans Kelvin (K).

En premier, calculez le courant du court-circuit (Isc) à une température.

$$I_{SC} = I_{SCr} [1 + a(T - T_r)] \tag{2.13}$$

Où  $I_{sc}$  à  $T_r$  est donné dans le drap des données (mesuré sous irradiation de 1000 W/m<sup>2</sup>),  $T_r$  est la température de la référence de la cellule PV dans Kelvin (K), habituellement 298 K (25 °C), un est le coefficient de la température d' $I_{sc}$  dans le pour cent changement par degré température qui est aussi donnée dans le drap des données.

Le courant du court-circuit est proportionnel à l'intensité d'irradiation, donc  $I_{sc}$  à une irradiation donné (G)

$$I_{SC} = \lambda G \quad (2.14)$$

Où G est la valeur nominale d'irradiation qu'est normalement 1000W/m<sup>2</sup> et (A/Wm<sup>2</sup>) est le coefficient de

$$Q = I_{sc} - I_Q (e^{qv/kt} - 1) \quad (2.15)$$

Proportionnalité.

Le courant de la saturation inverse d'une diode ( $I_{or}$ ) à la température de la référence ( $T_r$ ) est donné par équation 6 avec le facteur de l'idéalité de la diode ajouté

Le courant de la saturation inverse ( $I_o$ ) est personne à charge de la température et l' $I_o$  à une température donnée (T) est calculé par l'équation 7 suivante

$$I_o = I_{or} \left(\frac{T}{T_r}\right)^{\frac{3}{A}} \epsilon^{\frac{-qEg}{Ak} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r}\right)} \quad (2.16)$$

L'idéalité de la diode compte UN est inconnu et doit être estimé. Il prend une valeur entre un et deux; cependant, la valeur de n=1 (pour la diode idéale) est utilisée jusqu'à ce que la valeur plus exacte soit estimée plus tard par accessoire de la courbe 7. La valeur  $R_s$  porte un effet marqué le JE-V caractéristique près de la condition de circuit ouverte, pendant que  $R_{sh}$  agit sur le voltage déprise de courant 2 maximale (MPP). Une méthode pour obtenir une premier la bonne estimation de  $R_s$  a été proposée par Gew et Équiper, et consiste à différencier l'équation 12, en l'évaluant à conditions de circuit ouvertes et le réarrangeant quant à  $R_s$  2

$$dI = 0 - I_o \cdot q \left( \frac{dV + R_s dI}{AkT} \right) \cdot e^{q \left( \frac{V - I R_s}{AkT} \right)} \quad (2.17)$$

$$R_s = - \frac{dV}{dI} - \frac{AKT/q}{I_o \cdot e^{q \left( \frac{V - I R_s}{AkT} \right)}} \quad (2.18)$$

$$R_S = -\frac{dV}{dI} - \frac{1}{X} \quad (2.19)$$

$$X_V = I_0 \frac{q}{AkT} \epsilon^{\frac{qV_{DC}}{AkT}} \quad (2.20)$$

Et le  $dI / dV$  est l'inclinaison du JE-V courbe au  $V_{oc}$  (utilisez le JE-V la courbe dans le datassent le divise alors en série par le nombre de cellules),  $V_{oc}$  est le voltage de l'ouvert-circuit de cellule (trouvez en divisant en série  $V_{oc}$  dans le datassent par le nombre de cellules).

Finalement, c'est possible de résoudre l'équation 12 pour JE-V caractéristiques. Cependant, c'est complexe parce que la solution pour le courant est récursive par suite de l'inclusion d'une résistance de la série dans le modèle. Bien que ce puisse être possible de trouver la réponse par les itérations simples, la méthode de Newton est choisie pour convergence 7 accélérée.

La méthode du Newton est décrite comme:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \quad (2.21)$$

Où:  $f'(x)$  est le dérivé de la fonction  $f(x) = 0$ , le  $x_n$  est une valeur présente, et le  $x_{n+1}$  est une prochaine valeur.

Récrire l'équation 21

$$f(I) = I_{SC} - I - I_0 \left[ \epsilon^{q \left( \frac{V+I_n.R_S}{nkT} \right)} - 1 \right] = 0 \quad (2.22)$$

Après substitution dans équation 20 le courant de la production je peux être calculé itérative.

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{SC} - I_n - I_0 \left[ \epsilon^{q \left( \frac{V+I_n.R_S}{AkT} \right)} - 1 \right]}{-1 - I_0 \left( \frac{V+I_n.R_S}{AkT} \right) \epsilon^{q \left( \frac{V+I_n.R_S}{AkT} \right)}} \quad (2.23)$$

Le voltage de circuit ouvert augmente logarithmique ment avec l'irradiation ambiante, pendant que le courant du court-circuit est une fonction linéaire de l'irradiation ambiante 15. L'effet dominant avec température de la cellule croissante est la baisse linéaire du voltage de circuit ouvert, l'existence de la cellule donc moins effectif. Le courant du court-circuit légèrement augmentations avec l'augmentation de la température de la cellule 15.

## 2.4. Température de module PV

Dans le suivre une énergie simple et analyses de l'énergie de la génération simultanée de chaleur et propulse par technologie PV en est présenté 16.

Le principe d'une cellule solaire peut être considéré comme une situation simple idéale dans laquelle le soleil irradie la surface plate de la cellule solaire sur la surface du monde 16. L'énergie échangée par la cellule solaire est expliquée avec référence pour représenter 7 16.

L'irradiation qui atteint la surface plate d'un module PV est décomposée dans les composants reflétés et réfractés. Une partie du composant réfracté est absorbée par le vitrage de devant et l'autre est transmis aux cellules solaires et la surface du dos.

Seulement la partie transmise aux cellules solaires contribue à

Produisez électricité pendant que la partie a transmis aux chaleurs de la surface du dos les cellules solaires. Finalement un composant d'énergie est perdu par conduction et radiation.

Pour déterminer le besoin des températures pour simulation de module solaire, la balance d'énergie a été appliquée à chaque composant.

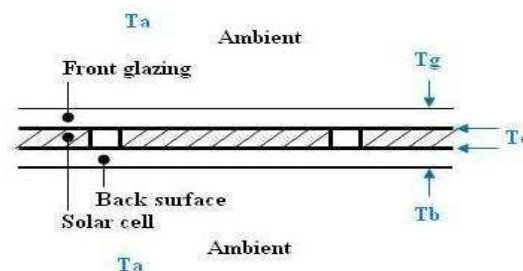


Figure7: Composant du module du voltaïque de la photo

### 2.4.1 vitrage de devant

Considérez le vitrage de devant du module PV atteint par

Irradiation  $G$  comme fait entrer le Figure 8. La balance d'énergie cède

$$\rho_g \delta_g C_g \frac{dT_g}{dt} = G_{abs,A} + H_{cond,A} - H_{conv,A} - H_{rad,A-a} \quad (2.24)$$

Où  $\rho_g$  est la densité de vitrage de devant,  $g$  est l'épaisseur du vitrage de devant, le  $C_g$  est la chaleur de la capacité du vitrage de devant,  $T_g$  est la température de vitrage de devant,  $t$  est le temps,

Parlotes,  $g$  est l'irradiation absorbée par le vitrage de devant,  $H_{cond,g}$  est la chaleur de la conduction dans le vitrage de devant,  $H_{conv,g}$  et  $H_{rad,g}$  sont

Respectivement

Chaleur de la convection et la radiation du sommet de verre de devant à ambiant.

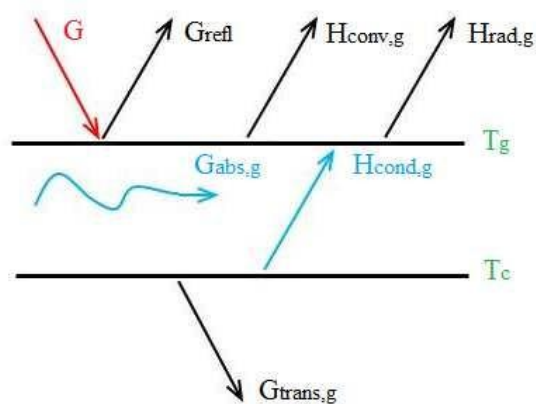


Figure 8: Énergie du lazingue de devant ex changement

### 2.4.2 Cellules solaires

Pour les cellules solaires, l'irradiation  $G_{trans,c}$  a transmis du vitrage de devant aux cellules solaires est converti dans Parlotes d'énergie,  $c$  a absorbé par cellules solaires et chaleur cela auquel est perdu le supérieur et en arrière côtés de cellules solaires. Étant donné l'échange d'énergie indiqué dans le figure 9 nous obtenons l'équation 25

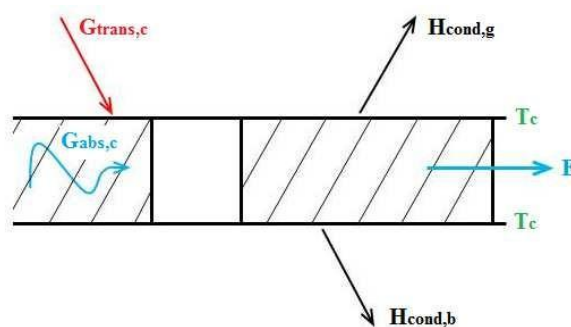


Figure 9: Le péché cellulaire solaire mis et dehors a mis en ergies

$$\rho_g \delta_g C_g \frac{dT_g}{dt} = G_{abs,A} + H_{cond,A} - H_{conv,A} - H_{rad,A-a} \quad (2.25)$$

Où  $\rho_g$  est la densité de cellules solaires,

$\delta_g$  est l'épaisseur de cellules solaires, la  $P_{cc}$  est la capacité de la chaleur des cellules solaires,  $G_{abs,A}$  l'énergie du vitrage de devant absorbé par cellules solaires,  $H_{cond,b}$  est la chaleur de la conduction dans la surface du dos,  $E$  est la production énergie électrique.

### 2.4.3 en arrière surface

Représenter l'entrée et les énergies de la production pour la surface du dos d'un module PV. Utiliser les mêmes principes comme pour les deux cas antérieurs, nous obtenons l'équation (26)

$$\rho_o \delta_o C_o \frac{dT_o}{dt} = G_{trans,A-c} - H_{cond,A} - H_{cond,b} - E \quad (2.26)$$

où  $\rho_o$  est la densité d'en arrière surface,  $\delta_o$  est l'épaisseur d'en arrière surface,  $C_b$  est la capacité de la chaleur d'en arrière surface, la  $T_b$  est la température d'en arrière surface  $G_{trans}$ , le  $g-b$  est l'énergie transmise de vitrage de devant à en arrière surface,  $H_{conv,b}$  et  $H_{rad,b}$  est respectivement la chaleur de la convection et la radiation d'en arrière surface à ambiant.

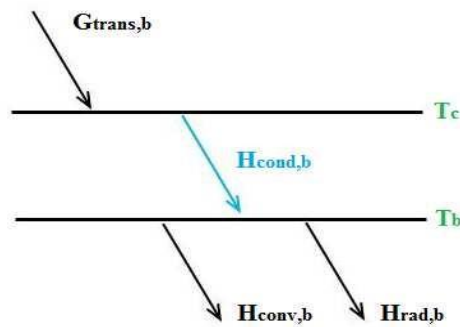


Figure10: En arrière énergie de la surface ex changement

Pour état stable; les équations 24 à 26 deviennent

$$G_{avg,g} + H_{oond,g} - H_{oonvd,g} - H_{rad,g-a} = 0 \quad (2.27)$$

$$G_{trans,g-o} - H_{oondg} - H_{sond,b} - E = 0 \quad (2.28)$$

$$G_{trnro,g-b} + H_{oonD,b} - H_{oonr,b} - H_{rad,b-a} = 0 \quad (2.29)$$

- Transfert de la chaleur de cellules solaires surmonter de vitrage de devant:

$$G_{abs,g} = a_g G \quad (2.30)$$

- Transfert de la chaleur de sommet de vitrage de devant à ambiant:

$$G_{trns,g} = \tau_g G \quad (2.31)$$

- Transfert de la chaleur vitrage de devant à ambiant par radiation:

$$H_{cond.g} = U_{c-g}(T_c - T_g) \quad (2.32)$$

- L'énergie solaire a transmis aux cellules solaires:

$$H_{oonv.g} = h_w(T_g - T_a) \quad (2.33)$$

- Énergie solaire absorbée par les cellules solaires:

$$H_{ad.g-a} = h_{rad.g-a}(T_g - T_a) \quad (2.34)$$

- Transfert de la chaleur de cellules solaires à en arrière côté d'en arrière surface:

$$G_{trans.g-c} = \beta_c \tau_g G \quad (2.35)$$

- Production du module photovoltaïque énergie électrique:

$$G_{abs.c} = a_\sigma \beta_\sigma \tau_g G \quad (2.36)$$

- L'énergie solaire a transmis au dos

$$H_{cnd.b} = U_{c-b}(T_c - T_b) \quad (2.37)$$

- Énergie solaire absorbée par la surface du dos:

$$B = n_v \beta_\sigma \tau_g G \quad (2.38)$$

- Transfert de la chaleur de sommet d'en arrière surface à ambiant:

$$G_{trans,g-b} = (1 - \beta_\sigma) \tau_g G \quad (2.39)$$

Transfert de la chaleur de sommet d'en arrière surface :

$$G_{abs,b} = \alpha_b (1 - \beta_c) \tau_g G \quad (2.40)$$

- Transfert de la chaleur d'en arrière surface à ambiant par radiation:

$$H_{conv,b} = h_w(T_b - T_a) \quad (2.41)$$

- Énergie solaire transmise par vitrage de devant aux cellules solaires et en arrière surface:

$$H_{rad,b} = h_{rad,b-a}(T_b - T_a) \quad (2.42)$$

(42) L'énergie solaire transmise par le verre aux cellules solaires et la surface du dos donc consiste en deux composants:

$$G_{trans,g} = G_{trans,g-a} + G_{trans,g-b} \quad (2.43)$$

D'équations (4), (5), (6) et négliger le transfert de la chaleur de la radiation des deux surfaces à ambiant, nous obtenons le

$$\begin{bmatrix} h_w + U_{c-g} & -U_{c-g} & 0 \\ U_{c-g} & -(U_{c-g} + U_{c-b}) & U_{c-b} \\ 0 & -(U_{c-g} + U_{c-b}) & U_{c-b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Tg \\ Ta \\ Tb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_g G + h_w T_a & & \\ \beta_\sigma Tg & (-1 + \beta_c) & G \\ \tau_g & (1 - \beta_c) & +h_w T_a \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Système d'équations au-dessous de:

Et résoudre l'équation (20), nous obtenons la température de la cellule solaire:

$$T_c = \frac{G[\xi_g a_g - \tau_g \beta_c (\eta_c - 1) + \xi_b \tau_g (1 - \beta_c)] + (\xi_g + \xi_b) h_w T_a}{(\xi_g + \xi_b) h_w} \quad (2.45)$$

Où:

- Coefficient du dimensionnes du vitrage de devant:

$$\xi_g = \frac{U_{c-g}}{h_w + U_{c-g}} \quad (2.46)$$

Doit être considéré dans tout modèle pour module photovoltaïque efficacité 18.

Le modèle le plus connu est donné par l'équation suivante:

- En arrière coefficient du dimensionnes de la surface:

$$\xi_b = \frac{U_{c-b}}{h_w + U_{c-b}} \quad (2.47)$$

- Coefficient du transfert de la chaleur de cellules solaires surmonter de vitrage de devant:

$$U_{c-g} = \frac{\kappa_g}{\delta_g} \quad (2.48)$$

- Coefficient du transfert de la chaleur de cellules solaires à en arrière côté d'en arrière surface

$$U_{c-b} = \frac{\kappa_b}{\delta_b} \quad (2.49)$$

Et le coefficient du transfert de la chaleur convectif sous vent est donné par (al d'et Watmuff., 1977) .

$$h_w = 2.8 + 3.0v_w \quad (2.50)$$

C'est célèbre que la plupart de la radiation solaire a absorbé par un panneau photovoltaïque (PV) n'est pas converti à électricité mais contribue pour augmenter la température du module, donc réduire l'efficacité électrique. Tous ces effets

$$\eta_{\sigma} = \eta_{\sigma\gamma} [1 - \lambda_{\sigma}(T_{\sigma} - T_r) + \gamma \text{Log}G] \quad (2.51)$$

Température  $T_r$  de 25 °C et à un Entrain de l'irradiation solaire sur le module égal à 1000 W / m<sup>2</sup>K.  $\lambda_{\sigma}$  et  $\gamma$  est, respectivement, la température et les coefficients de l'irradiation solaires pour le PV module 18 [est des propriétés principalement matérielles, en ayant

Approximativement des valeurs moyennes de 0.0045 K<sup>-1</sup> et 0.12, respectivement, pour les modules du silicium. Cependant, le dernier est pris habituellement comme zéro, afin qu'équation (51) réduit à

$$\eta_{\sigma} = \eta_{\sigma\gamma} - \mu_{\sigma}(T_{\sigma} - T_r) \quad (2.52)$$

Lequel représente l'expression linéaire simple traditionnelle pour le PV efficacité 19 électrique ,

$$\mu_{\sigma} = \lambda_c \eta_{\sigma\gamma} \quad (2.53)$$

Où

Evans a suggéré d'utiliser  $\lambda_c = 0.0048 \text{C}^{-1}$  pour un module 20 du silicium.

D'équations (51) et (52) nous obtenons la température de la cellule, verre de devant et en arrière température de la surface donnée dessous.

$$T_c = \frac{G[\xi_g a_g - \tau_g \beta_c (\eta_{cr} + \mu_c T_r - 1) + \xi_b \tau_g (1 - \beta_c)] + (\xi_g + \xi_b) h_w T_a}{(\xi_g + \xi_b) h_w - \mu_c \beta_c \tau_g G} \quad (2.54)$$

$$T_g = \frac{1 - \xi_g}{h_w} a_g G + T_a + \xi_g (T_c - T_a) \quad (2.55)$$

$$T_b = \frac{1 - \xi_b}{h_w} (1 - \beta_c) \tau_g G + T_a + \xi_b (T_c - T_a) \quad (2.56)$$

#### 2.4.4 Autres méthodologies

Dans le suivre nous faisons des remarques brièvement sur autre

les méthodologies ont développé précédemment et pointent à leurs limitations. La performance d'un module photovoltaïque est étudiée contre variables de l'environnement tel qu'irradiation solaire, température ambiante et vitesse du vent. La manière la plus commune de déterminer la température de la cellule  $T_c$  consiste à utiliser la Température de la Cellule du Fonctionnement Normale (NOCT) développé par Nolay P. en 1987 21. La valeur de NOCT est donnée par le fabricant de module

PV.  $T_c$  est alors dépendant sur la température ambiante  $T_a$  et sur l'irradiation solaire  $G$  d'après équation au-dessous de:

$$T_c = T_a + (NOCT - 20^\circ\text{C}) \frac{G}{800} \quad (2.57)$$

Cette méthode simple cède des résultats satisfaisants si le PV

les modules ne sont pas toit-intégrés 18.

Dans 2006 al d'et Mattei.18 établi le modèle suivant à a prédit la température de cellule PV, modèle:

$$T_c = \frac{U_{PV} T_a + G[(\alpha\tau) - \eta_\gamma - \beta\eta_\gamma T_\gamma]}{U_{PV} - \beta\eta_\gamma G} \quad (2.58)$$

Ce modèle simple a utilisé une balance d'énergie simple et négliger la radiation effectue et a été développé avec le module PV seul, i.e. sans l'amortisseur, le verre et l'isolement.

En 2008, al d'et Skoplaki.19 ont développé un simple semi-

La corrélation explicite empirique pour température de cellule PV et la forme de l'efficacité correspondante est proposée pour modules d'installation arbitraire donnés dessous:

$$T_c = \frac{T_a + \left(\frac{G_T}{G_{NOCT}}\right) \frac{h_{WNOCT}}{h_w} (T_{NOCT} - T_{a.NOCT}) \left[1 - \frac{\eta_\gamma}{\alpha_\tau} (1 - \beta_\gamma T_\gamma)\right]}{1 - \frac{\beta_\gamma \eta_\gamma}{\alpha_\tau} \left(\frac{G_T}{G_{NOCT}}\right) \frac{h_{WNOCT}}{h_w} (T_{NOCT} - T_{a.NOCT})} \quad (2.59)$$

Ils impliquent les trois éléments essentiels explicitement et aisément variables de l'environnement disponibles, à savoir, irradiation solaire, température ambiante, et vitesse du vent, aussi bien qu'un dimensionnement qui monte paramètre qui est une mesure du niveau de l'intégration d'une installation donnée. La corrélation proposée ignore des influences du

libre-convection qui sont petites pour toutes les vitesses du vent et pertes de la radiation qui sont seulement importantes aux vitesses du vent d'au-dessous de 1 m/s et, par conséquent, devrait être utilisé pour les vitesses du vent qui dépassent ceci.

Les comptes modèle proposés pour convection libre pour vitesse du vent jusqu'à 1 m/s, et propriétés physiques pour composants différents de module PV, en particulier les coefficients du transfert de la chaleur de la conduction du vitrage de devant, les cellules PV et la propriété de l'isolement arrière qui permettent au module PV d'être ont refroidi facilement et rapidement. Comme les trois modèles précités, notre corrélation proposée ignore le transfert de la chaleur de la radiation de PV. Notre modèle est simple et convivial et ne fait pas référence au NOCT.

## 2.5. SIMULATION ET VALIDATION5.

### 1 simulation modèle

Le modèle de la mathématique de température de module PV est

Changement étudié par analyse et comparaison de courbes différentes et valeurs numériques pour température et output22 du pouvoir à irradiances différentes et changement de la condition du temps environnant par simulation dans MATLAB®.

Pour simuler le module PV, un code MATLAB® a basé sur un modèle complet de module PV qui fournit des tables

Les graphiques ont été écrits. Ce modèle combine modèle d'électricité PV et modèle thermique et les équations de caractéristiques électriques et thermique dynamique est rendu effectif utiliser MATLAB codes ®.

## 2.5.2 Validation expérimentale

Pour évaluer la température de la cellule et pouvoir de la production des données modèle, expérimentales proposées de Da-yen, l'Université a été utilisée. L'expérimentation a été faite utiliser le module de Siemens SM46 PV commercial (voyez la table 1) pour paramètres différents tels qu'irradiation de la lumière du soleil, température ambiante et vitesse du vent dans les vraies conditions actives. La situation de l'expérience consiste en un Siemens SM46 PV module, contrôleur MPPT (SunSave -10), pile du stockage, ventilateur électrique comme une charge, et quelque instrument. Le grément de l'expérience a été installé dans la Recherche D'énergie et Centre du Développement (ERDC) d'Université Da-Yeh dans Taiwan<sup>23</sup>.

## 2.5.3 Résultats de la mesure et validation modèle

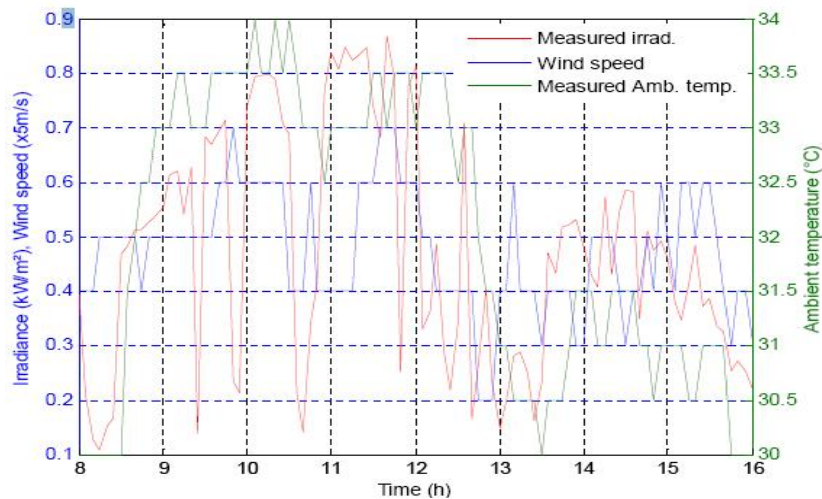
Toutes les observations d'irradiation de la lumière du soleil, températures, opérer voltage et courants de la production du SM46

Le module PV a été enregistré à 5-min intervalles <sup>23</sup>.

Prendre un jour nuageux typique (2011/07/07), les variations du temps sont représentées dans le Figure11.

Caractéristiques	Spécification
Typical peak puissance (PMPP)	46 W
Voltage à pouvoir maximum (VMPP)	14.6 V
Courant à pouvoir maximum (IMPP)	3.15 A
Courant du court-circuit (ISC)	3.35 A
Voltage de l'ouvert-circuit (VOC)	18.0 V
Coefficient de la température de voltage de l'ouvert-circuit	-77 mV/°C
Coefficient de la température de courant du court-circuit	1.2 mA/°C
Effet approximatif de température sur pouvoir	-0.38 W/°C
Température de la cellule du fonctionnement nominale (NOCT)	45 °C

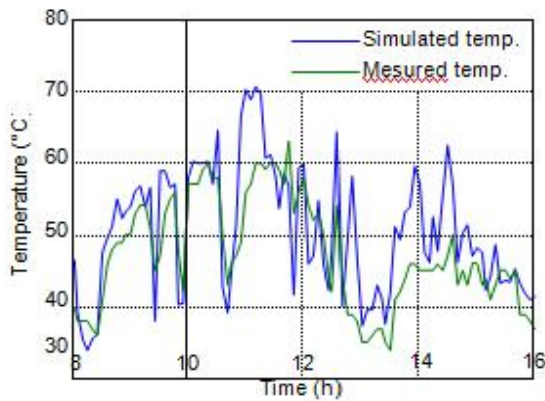
**Table 1: Siemens SM 46 caractéristiques (1 kW/m<sup>2</sup>, 25 °C)**



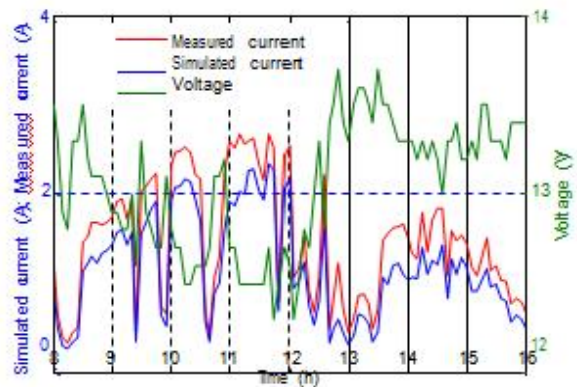
**Figure 11: Le temps local conditionne de jour nuageux typique (2011/07/07)**

Basé sur les conditions du temps locales, la température de la cellule simulée du modèle proposé et la température de la cellule mesurée est représentée dans le figure12a. Les résultats Fortement indiquent que la température de la cellule simulée a un parti pris positif loin de la température mesurée et la température de la cellule simulée a un meilleur accord.

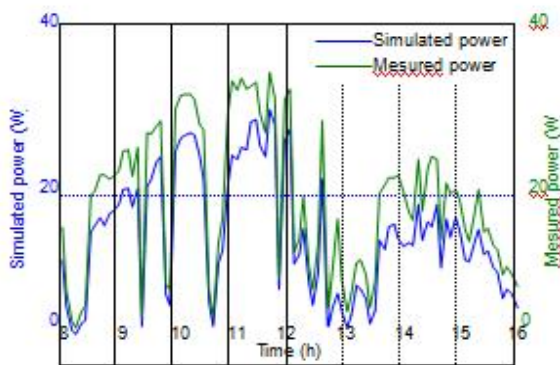
a. Simulé et températures de la cellule mesurées b. Simulé et courants mesurés et voltage



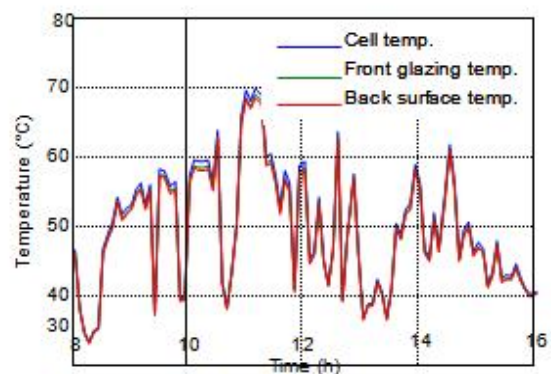
a. Simulated and measured cell temperatures



b. Simulated and measured currents and voltage



c. Simulated and measured power



d. Cell, front glazing and back surface temperatures

**figure 12. Température et réponse de l'énergie de SM46 pour un jour nuageux typique (2011/07/07)**

Le figure 12b démontre le voltage du fonctionnement mesuré et courant de la production du SM46 PV module. Les valeurs correspondantes de courant simulé et mesuré au voltage mesuré sont aussi représentées dans le figure 12b.

La figure 12c illustre le pouvoir de la production associé. C'est apparemment que le courant simulé et pouvoir ont un meilleur accord avec ceux mesurés.

Pour un jour ensoleillé typique (2011/07/08), les conditions du temps sont montrées

## 2.6. CONCLUSIONS

Le modèle de la température du module de PV combiné avec le modèle électrique a été simulé et les résultats ont été comparés aux résultats expérimentaux pour jour nuageux typique et jour ensoleillé typique.

Les caractéristiques de la production simulées du PV proposé

Le modèle est généralement près d'opérer mieux le module

Exactitude qui a été validée à travers période courte de mesure expérimentale sous vraies conditions du fonctionnement.

L'étude montre qu'un modèle qui prend compte d'irradiation, paramètres de l'environnement et propriétés physiques d'un module PV peut être utilisé comme un outil puissant pour dessin, analyse du paramètre et diagnostique d'annonce publicitaire aussi bien que bricolage (DIY) modules PV sous conditions de plein air.

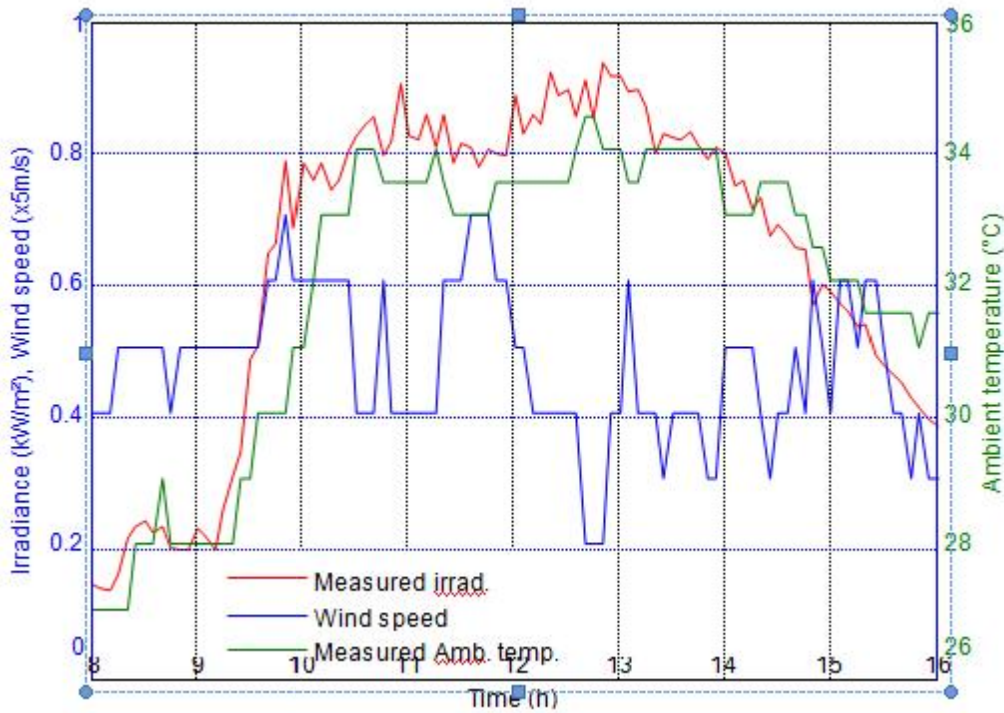
Il peut aussi être utilisé pour développer et évaluer nouvelle prise de courant maximale qui traque des techniques et étudier les effets les composants physiques ont sur les panneaux PV avec les configurations différentes.

Les enregistrements modèle proposés dans compte pas seul irradiation et conditions météorologiques, mais aussi les propriétés physiques de matières usagé dans la fabrication

Un module PV qui rend le modèle beaucoup plus flexible dans la prédiction de la production d'énergie pour PV commercial aussi bien que DIY dans les conditions de champ.

Basé sur un modèle PV vérifié, cette information disponible

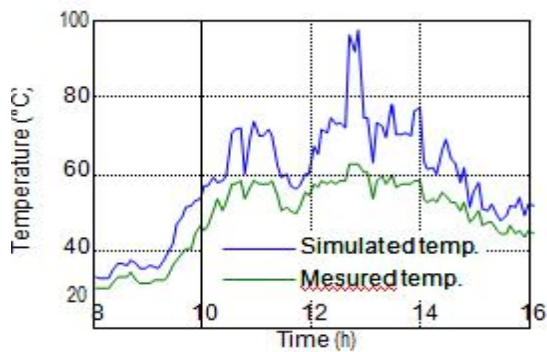
Peut être utilisé plus loin pour prédire les caractéristiques de production PV et pour les applications du diagnostic modèle-basées supplémentaires.



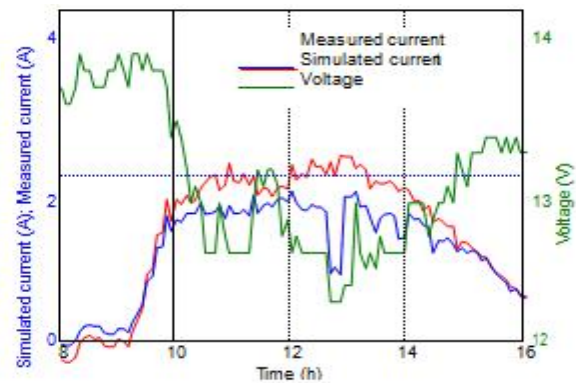
dans le figure 13. Les températures de la cellule simulées et mesurées sont montrées

rms	Typicalcloudyday(2011/07/07)	Typicalsunnyday(2011/07/08)
Rms( T)(°C)	6.4943	6.1968
rms( I) (A)	0.3356	0.3627
rms( E) (W)	4.3762	4.5895

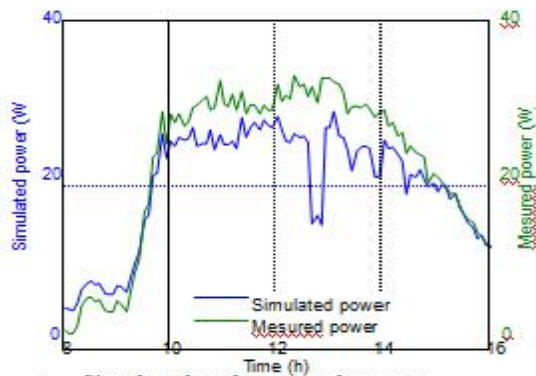
**Table2: La Racine vault dire la qua ré analyses (rms) de cellule temperature, dehornns courant miss et propose pour**



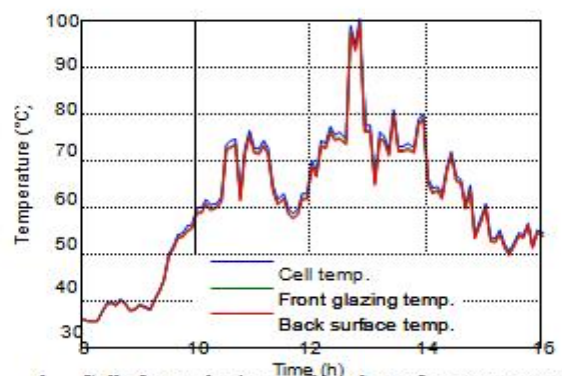
a. Simulated and measured cell temperatures



b. Simulated and measured currents and voltage



c. Simulated and measured powers



d. Cell, front glazing and back surface temperatures

Dans le figure 14a. L'accord entre température de la cellule simulée et la température mesurée va pire et un parti pris positif de différence de la température entre les températures de la cellule simulées et la température de la cellule mesurée est démontrée.

La racine le carré moyen (rms) des différences de la température est calculé et a répertorié dans la table 2. De plus, la racine les opérations carrées moyennes du courant de la production et différences du pouvoir sont aussi calculées et ont répertorié dans la table 2. Les résultats simulés de la dynamique thermique intégrée et électricité modèle PV a un accord proche avec la mesure pour les conditions du temps nuageuses et ensoleillées.

## **Chapitre 3**

# **La cellule photovoltaïque et les caractéristiques de générateur PV.**

### **3-1 INTRODUCTION:**

La production d'électricité par conversion de la lumière à l'aide de cellules photovoltaïques connaît un essor fulgurant à l'aube du 21<sup>ème</sup> siècle avec un taux de croissance record de plus de 40% en 2000. de nouvelles approches technologiques seront toujours nécessaires afin de réaliser des cellules à faible coût et à haut rendement de conversion énergétique afin de permettre au photovoltaïque de dépasser d'ici l'an 2010 le seuil de compétitivité par rapport aux autres sources de production d'électricité.

### **3-2 LES CELLULES SOLAIRES :**

Une cellule solaire photovoltaïque est une plaquette de silicium (semi-conducteur), capable de convertir directement la lumière en électricité. Cet effet est appelé l'effet photovoltaïque.

Le courant obtenu est un courant continu et la valeur de la tension obtenue est de l'ordre de 0,6 V.

### **3-3 LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :**

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi conducteurs. La cellule photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque (Be querelle 1889). Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi conducteur. Ces deux couches sont dopées différemment. Pour la couche N, c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche P c'est un déficit d'électrons. Les deux couches présentent ainsi une différence de potentiel.

L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N), leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi conducteur (figure 3.1). L'électrode supérieure est une grille permettant le

passage des rayons lumineux. Une couche antireflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [1, 2, 3]

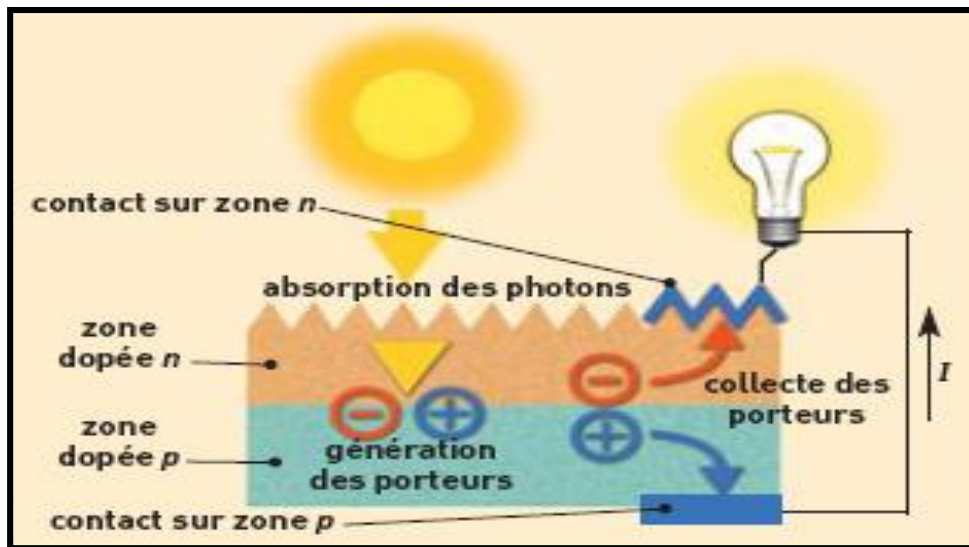


Figure 3.1: Schéma D'une Cellule Élémentaire

### 3-4 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CELLULES SOLAIRES:

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible: de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent.

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [13]:

- Les cellules monocristallines: Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12- 16% ; jusqu'à 23% en laboratoire), mais aussi celle qui ont le coup le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- Les cellules poly cristallines: Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible: 11% - 13% (18% en laboratoire).
- Les cellules amorphes: Elles ont un faible rendement (8% - 10% ; 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation tel que des calculatrices solaires ou encore des montres.

Ainsi notre recherche de la performance maximale, nous a amenés à nous procurer des cellules monocristallines, qui ont le meilleur rendement dans les conditions réelles d'utilisation.

La caractéristique principale de la cellule solaire est la caractéristique  $I-V$  qui montre comment une cellule solaire répondra à toutes les charges possibles sous un ensemble particulier des conditions d'ensoleillement et de température figure.3.2. Il y a trois points importants dans cette courbe:

- Le point de fonctionnement optimal auquel la cellule fournit sa puissance maximale (point 5).
- Le point où la tension est égale à zéro et le courant est en maximum (courant de court-circuit, point 4).
- Le point où le courant est égal à zéro et la tension est en maximum (tension de circuit ouvert, point 1).

Egalement la caractéristique  $I-V$  peut être divisée en trois gammes:

- Une gamme où la cellule est considérée comme une source de tension (1-2).
- Une gamme où la cellule est considérée comme une source de courant (3-4).
- Une gamme où ni la tension ni le courant ne sont constants (2-3).

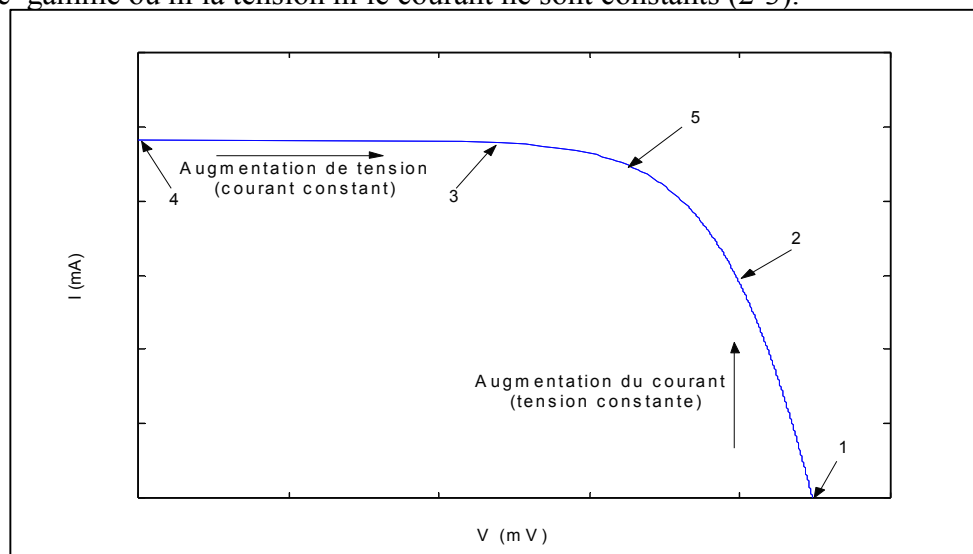


Figure 3.2 : Caractéristique typique I-V d'une cellule solaire

### 3-5 LES MODULES (OU PANNEAUX):

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt.

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité

de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide offerte par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble sa durabilité.



Figure. 3.3 : Le Module photovoltaïque

### 3-6 SCHÉMA ÉQUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE:

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dus à la fabrication et représentés sur le schéma équivalent (fig3.3).

Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (D) caractérisant la jonction, une source de courant (G) caractérisant le photo-courant, une résistance série ( $R_s$ ) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte ( $R_{sh}$ ) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à ( $R_s$ ) et peut donc être placée indifféremment entre A et B ou entre C et D dans le schéma équivalent [9].

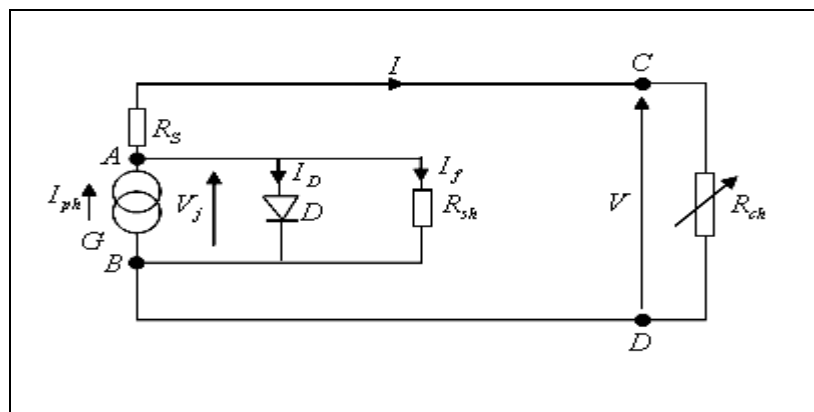


Figure 3.4 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple, mais d'autres auteurs pour effectuer l'extraction des paramètres de cellule solaire tel que le courant photovoltaïque, la résistance série, la résistance parallèle, la tension thermique, et le courant de saturation ; ils ont basé ces calculs sur un modèle à double exponentiel qui est à la forme suivante [10,11] :

$$I = I_{ph} - I_{01} \left\{ \exp\left[\frac{(V + R_s I)}{\alpha \cdot V_{th}}\right] - 1 \right\} - I_{02} \left\{ \exp\left[\frac{(V + R_s I)}{\beta \cdot V_{th}}\right] - 1 \right\} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

On assume que les Coefficient des cellules sont  $\alpha = 2$  et  $\beta = 2$  selon [10].  
En outre, les deux courants de saturation  $I_{01}$  et  $I_{02}$  ce sont exprimés par la formule suivant:

$$I_{01} = \frac{1}{2} \frac{I_{sc}}{\left[ \exp\left(\frac{q \cdot Voc}{K \cdot T_c}\right) - 1 \right]} \quad (3.2)$$

$$I_{02} = \frac{1}{2} \frac{I_{sc}}{\left[ \exp\left(\frac{q \cdot Voc}{2 \cdot K \cdot T_c}\right) - 1 \right]} \quad (3.3)$$

Plusieurs travaux de recherche ont montré que les deux modèles possèdent un domaine de validité ; le modèle en double exponentielle se prête mieux aux mesures de la caractéristique courant-tension pour des tensions élevées tandis que celui à une exponentielle est plus précis pour de basses et moyennes tensions. Ces deux modèles sont implicites et non-linéaires, alors la recherche ou la détermination d'une solution analytique serait une tâche délicate [11].

### 3-7 LE GÉNÉRATEUR PV ET SES PERFORMANCE:

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert.

### 3-7-1 Caractéristique Courant-Tension:

La caractéristique courant-tension d'une photopile se met sous la forme mathématique :

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

Où le courant de diode (D) est donné par l'équation [9] :

$$I_D = I_0 \left( \exp\left[\frac{q(V + R_s I)}{akT}\right] - 1 \right) \quad (3.5)$$

Ou  $a$  est un facteur de dimension,  $k$  constant de Boltzmann ( $k = 1.381 \cdot 10^{23} J / K$ ) et  $q$  la charge de l'électron ( $q = 1.602 \cdot 10^{-19} C$ ).

En substituant l'expression du courant  $I_D$  dans l'équation (II.4), le courant  $I$  devient :

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp\left[\frac{q(V + R_s I)}{akT}\right] - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad I = I_{ph} - I_0 \left( \exp\left[\frac{q(V + R_s I)}{akT}\right] - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

Le courant de court circuit est pratiquement égal au photo-courant  $I_{ph}$  lui-même, d'après cette dernière équation, on peut déduire l'expression de la tension  $V$  :

$$V = -R_s I + \frac{akT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} - \left(\frac{R_s}{R_{sh}} + 1\right)I - \frac{V}{R_{sh}}}{I_0} + 1 \right) \quad (3.7)$$

Si l'on suppose que  $R_{sh}$  est infinie et  $R_s$  nulle, l'équation précédente devient :

$$V = \frac{akT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph} - I}{I_0} + 1 \right) \quad (3.8)$$

Si la charge est infinie (circuit ouvert), la cellule présentera à ces bornes une tension  $V_{oc}$ , dont son expression est comme suit :

$$V_{oc} = \frac{akT}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (3.9)$$

Comme l'ordre de grandeur de  $(I_{ph}/I_0)$  est d'environ  $10^{10} : 10^{14}$  [9], l'équation précédente devient :

$$V_{oc} = V_{th} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (3.10)$$

$$\text{Avec } V_{th} = \frac{akT}{q} \quad (3.11)$$

Où  $V_{th}$  est la tension thermique.

La tension thermique  $V_{th}$  et le courant de saturation peuvent être données par [10]:

$$V_{th} = \frac{V_{op} + R_s I_{op} - V_{oc}}{\ln\left(1 - \frac{I_{op}}{I_{sc}}\right)} \quad (3.12)$$

$$I_0 = (I_{sc} - I_{op}) \exp\left(-\frac{V_{op} + R_s I_{op}}{V_{th}}\right) \quad (3.13)$$

Où

$I_{sc} = N_p \cdot I_{sc}$  'module' : Le courant de court-circuit.

$I_{op} = N_p \cdot I_{op}$  'module' : Le courant optimal.

$V_{oc} = N_s \cdot V_{oc}$  'module' : La tension de circuit ouvert.

$V_{op} = N_s \cdot V_{op}$  'module' : La tension optimale.

$R_s = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s$  'module' : La résistance série.

$N_s$  et  $N_p$  sont respectivement le nombre de modules en séries et en parallèles (dans notre module  $N_s=10, N_p=2$ ). La courbe  $I-V$  est essentiellement affectée par la variation de deux entrées : l'éclairement et la température de Générateur PV. L'adaptation de l'équation (II.1) pour différents niveaux de l'éclairement et la température solaires peut être manipulée par les équations suivantes [10] :

$$\Delta T = T - T_{ref} \quad (3.14)$$

$$\Delta I = \alpha \left( \frac{E}{E_{ref}} \right) \Delta T + \left( \frac{E}{E_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \quad (3.15)$$

$$\Delta V = -\beta \Delta T - R_s \Delta I \quad (3.16)$$

$$V = V_{ref} + \Delta V \quad (3.17)$$

$$I = I_{ref} + \Delta I \quad (3.18)$$

Ici le suffixe 'ref' se rapporte à des conditions évaluées données par  $E_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$  et

$T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ .

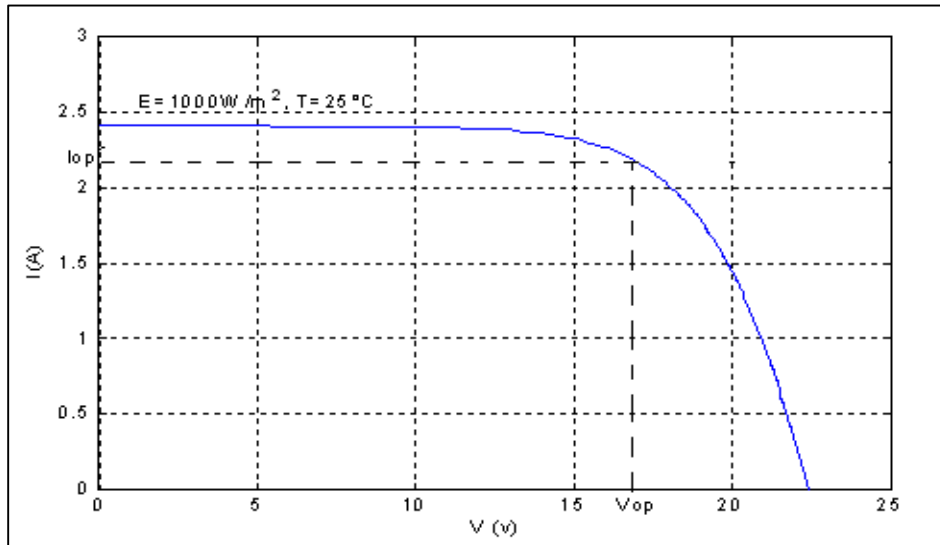


Figure 3.5 : Caractéristique courant –tension d’un module solaire

### 3-7-2 Caractéristique Puissance-Tension:

La puissance maximale débitée par la cellule donnée par le produit entre la tension  $V_{op}$  et le courant comme représentée la formule  $P_{max} = I_{op} \cdot V_{op}$ .

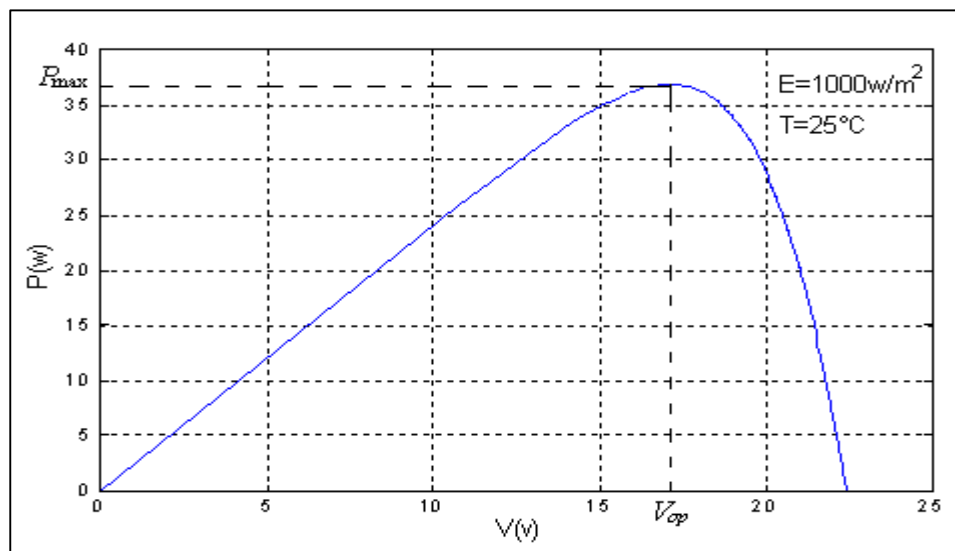


Figure 3.6 Caractéristique puissance –tension d’un module solaire

### 3-7-3 Influence de l'Éclairement:

La figure II.6 présente un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement :

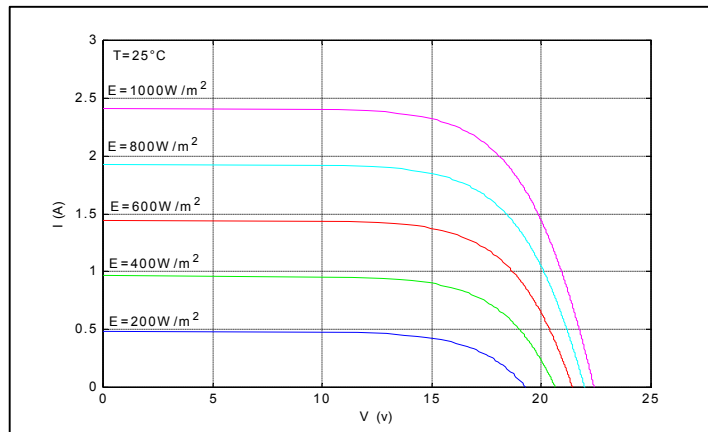


Figure 3.7 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique électrique I – V

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement [5]. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.

L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m<sup>2</sup> et une température de 25°C

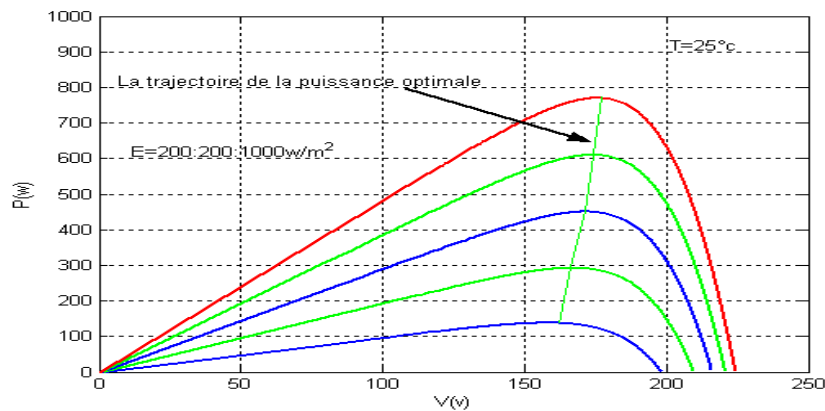


Figure 3.8 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique électrique P – V

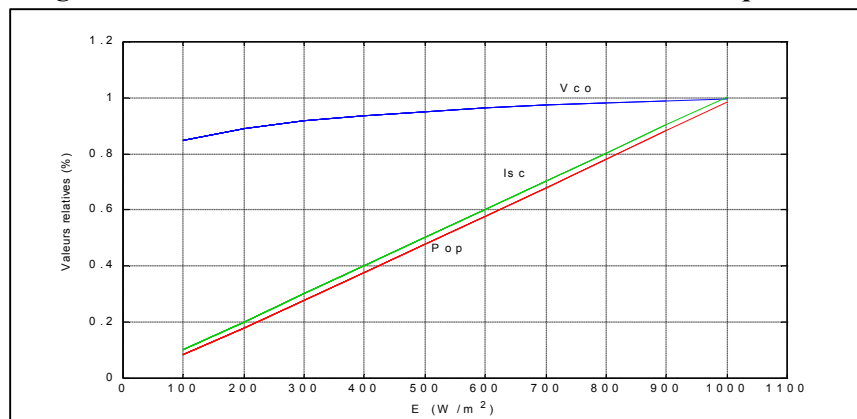
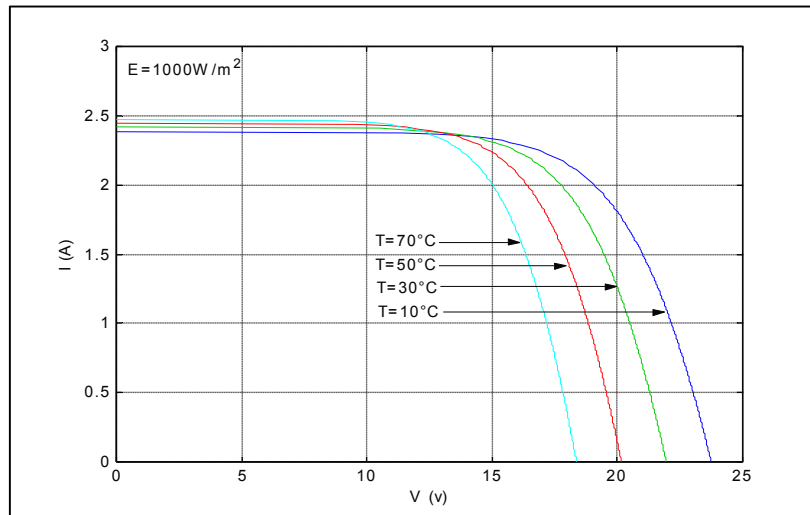


Figure 3.9 : Influence de l'éclairement sur  $V_{co}$ ,  $I_{sc}$  et  $P_{op}$

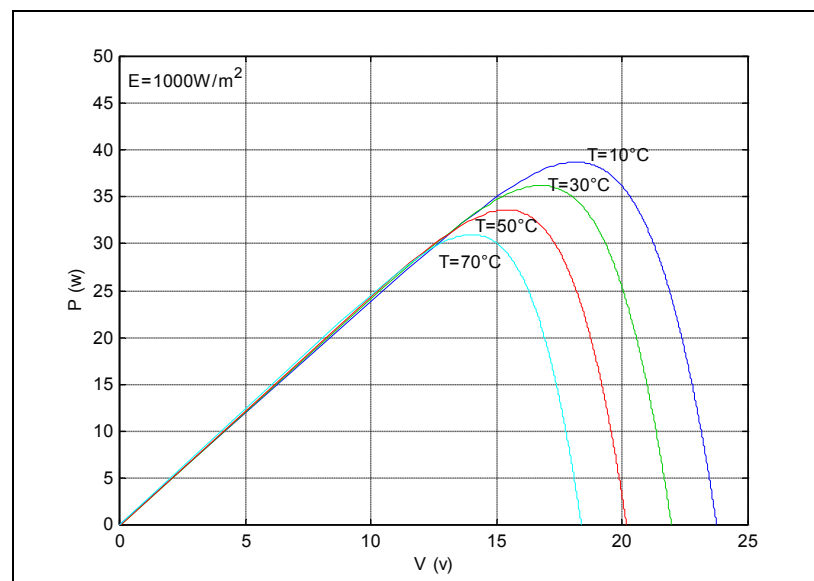
### 3-7-4 Influence de la Température:

La figure II.9 présente des courbes courant tension pour différentes températures de fonctionnement de la cellule PV:



**Figure 3.10 : Influence de la température sur la caractéristique électrique I-V**

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue [5]. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement à prendre en compte.



**Figure 3.11 : Influence de la température sur la caractéristique électrique P-V**

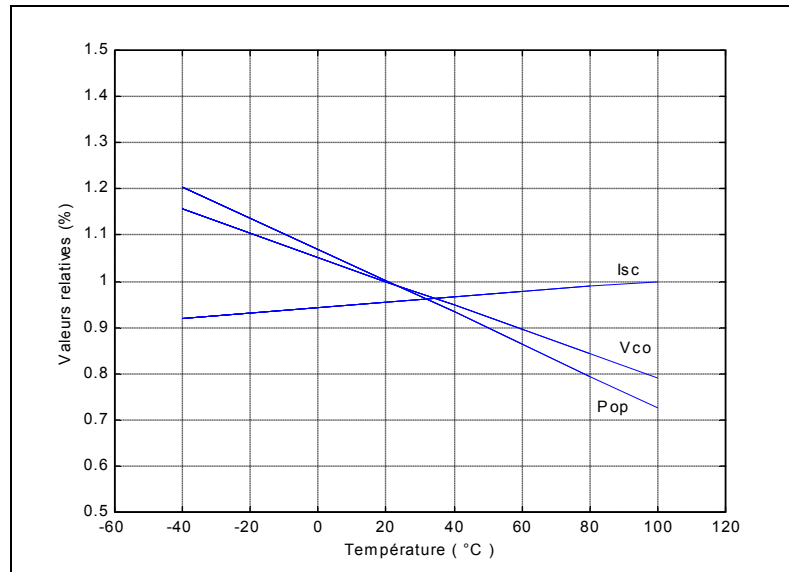


Figure 3.12: Influence de la température sur  $I_{sc}$ ,  $V_{co}$ ,  $P_{op}$

### 3-7-5 Influence de la résistance série et la résistance shunt:

La figure II.12 montre l'influence de la résistance série sur la courbe  $I-V$  de la cellule qui se traduit par une diminution de la pente de la courbe de puissance  $P-V$  dans la zone où la cellule fonctionne comme générateur de tension constante [12].

La résistance shunt est généralement très élevée, si elle est trop faible, elle aura un impact sur la tension de circuit ouvert de la cellule ; en outre, une cellule ne donnera plus de tension sous faible éclairement si la résistance shunt est trop faible [9].

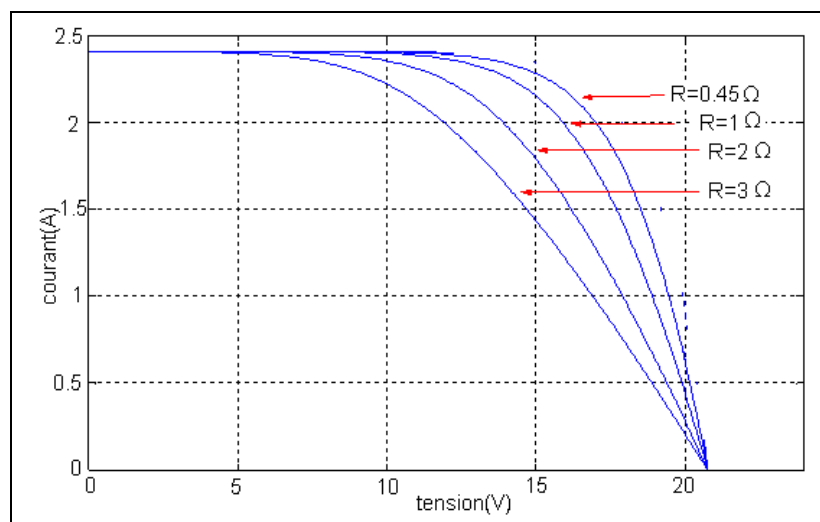


Figure 3.13: Influence de la résistance série sur la caractéristique  $I-V$

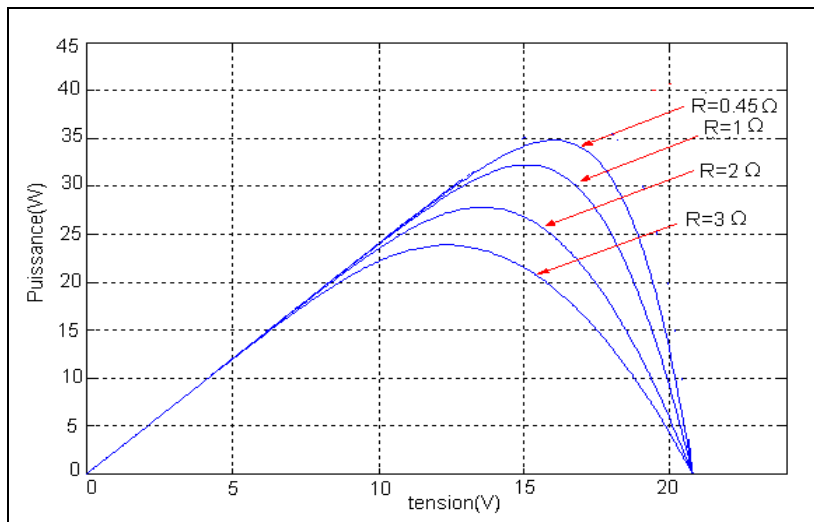


Figure 3.14: Influence de la résistance série sur la caractéristique P-V

### 3-7-6 Rendement:

Le rendement d'un générateur PV est défini comme étant le rapport entre la puissance électrique fournie (puissance que l'on peut extraire au point optimum) à la puissance du rayonnement d'incident: [10, 11,12] :

$$\eta_{PV} = \frac{IV}{E.A} \quad , \quad \text{Où } A : \text{ surface effective de générateur en } m^2 . \quad (3.19)$$

### 3-7-7 Facteur de forme:

On identifié le facteur de forme, par le rapport de la puissance maximum au produit de courant de court-circuit et de la tension du circuit ouvert [10, 11,12] :

$$FF = \frac{I_{op}V_{op}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (3.20)$$

### 3-7-8 Association de Cellules Photovoltaïques en Série:

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné.

La figure II.14 montre la caractéristique résultante ( $I_{scc}, V_{sco}$ ) obtenue en associant en série (indice s)  $N_s$  cellules identiques ( $I_{cc}, V_{co}$ ) [8]:

$$I_{scc} = I_{cc} \text{ et } V_{sco} = N_s \cdot V_{co}$$

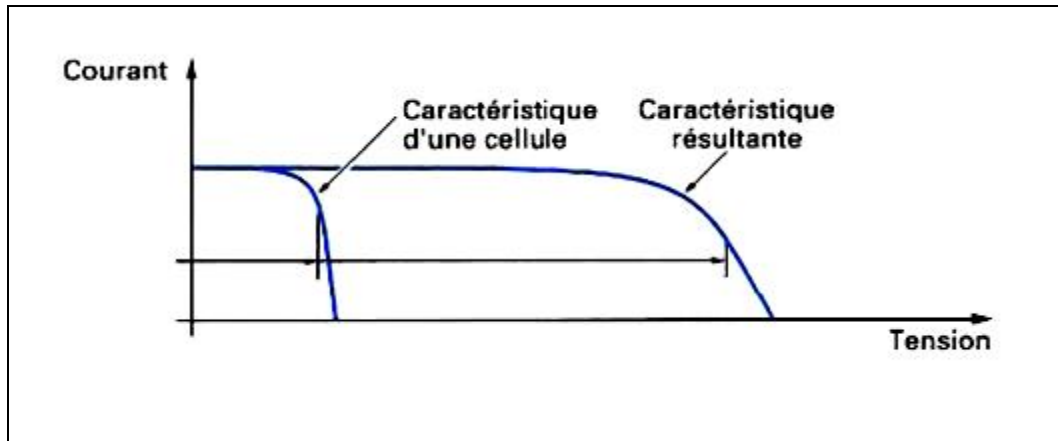
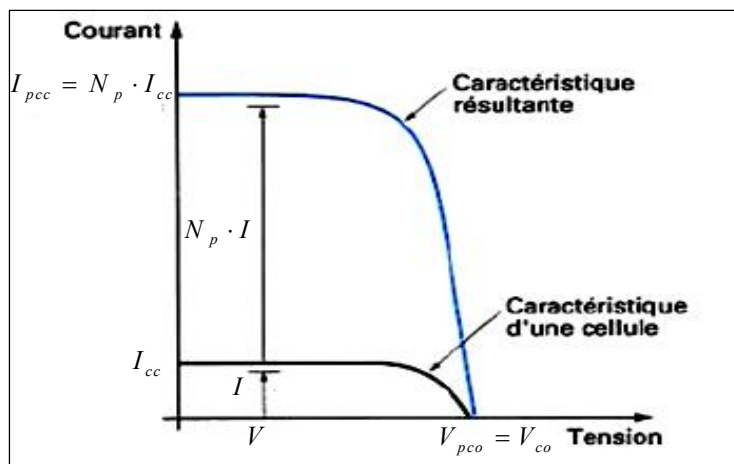


Figure 3.15: Caractéristique résultante d'un groupement en série de  $N_s$  cellules identiques [8]

### 3-7-9 Association de Cellules Photovoltaïques en Parallèle:

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure II15 montre la caractéristique résultante ( $I_{pcc}, V_{pco}$ ) obtenue en associant en parallèle (indice p)  $N_p$  cellules identiques [8]:

$$I_{pcc} = N_p \cdot I_{cc} \text{ et } V_{pco} = V_{co}$$



0

Figure 3.16: Caractéristique résultante d'un groupement constitué de  $N_p$  cellules identiques en parallèle [8]

### 3-8 Les systèmes photovoltaïques:

On ne peut pas considérer les modules photovoltaïques comme simples générateurs d'énergie électrique en remplacement d'un réseau, mais associer étroitement ces modules à un système complet pour une application bien spécifique correspondant à un besoin défini.

Les systèmes photovoltaïques les plus couramment utilisés sont de deux types :

#### 3-8-1 Les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique :

(Batterie d'accumulateurs électrochimiques), ceux-ci alimentent des appareils d'utilisation

- soit directement en courant continu

- soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur continu- alternatif (onduleur).

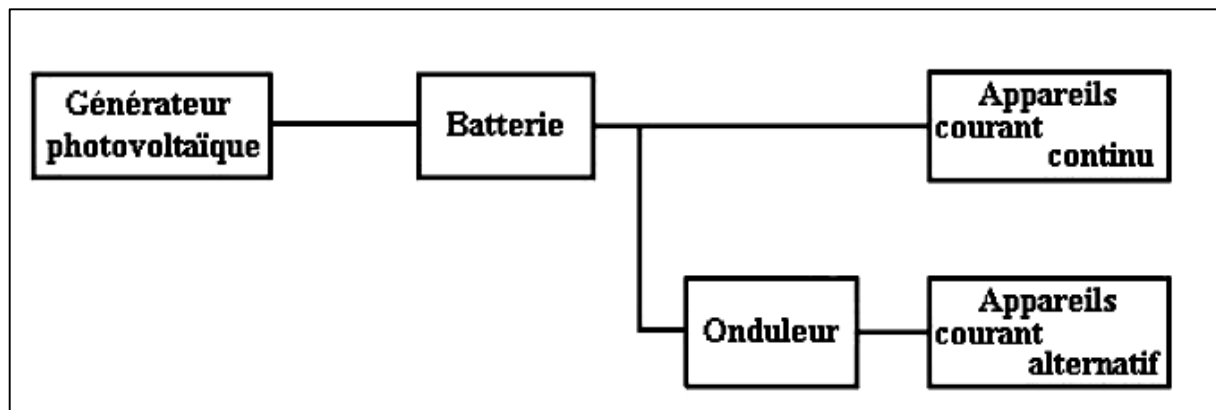


Figure 3.18: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque avec stockage

#### 3-8-2 Les systèmes à couplage direct sans batterie :

(Fonctionnement dit aussi < au fil du soleil >).

Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu (adaptateur d'impédance).

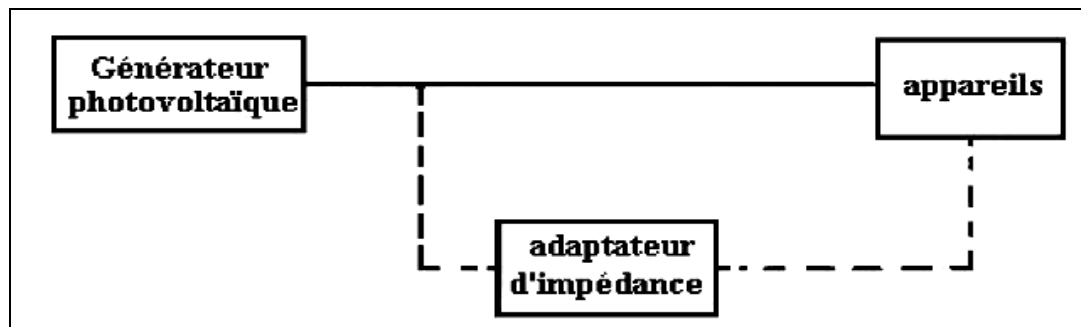


Figure 3.19: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque à couplage direct

Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à un stockage mais qui ne sera pas sous forme électrochimique.

Exemple :

- pompage  $\Rightarrow$  stockage par réservoir d'eau.
- Réfrigération  $\Rightarrow$  stockage de froid.

Le choix de tel ou tel système se fera en fonction de différents critères : simplicité, application, environnement, etc.

Toutefois l'étude de systèmes photovoltaïques se ramène à l'étude de l'adaptation de la charge constituée, soit d'une batterie, d'une charge quelconque par rapport à l'ensemble des modules solaires.

Comme il est vu précédemment, on recherchera à optimiser le système pour avoir le meilleur rendement d'adaptation du système (rapport de l'énergie électrique fournie à l'utilisation à l'énergie électrique qu'aurait pu fournir le générateur fonctionnant toujours à son point de puissance maximum).

Un système photovoltaïque est donc constitué du générateur, et des charges à alimenter. Ces charges sont de type courant continu ou courant alternatif.

Les diverses composantes d'un système photovoltaïque sont représentées symboliquement sur le schéma généralisé suivant (fig. 3.19).

Cette représentation synoptique recouvre à peu près tous les cas de figure II.18, mais il est bien certain qu'un système photovoltaïque ne comporte en général qu'un certain nombre des éléments représentés ici.

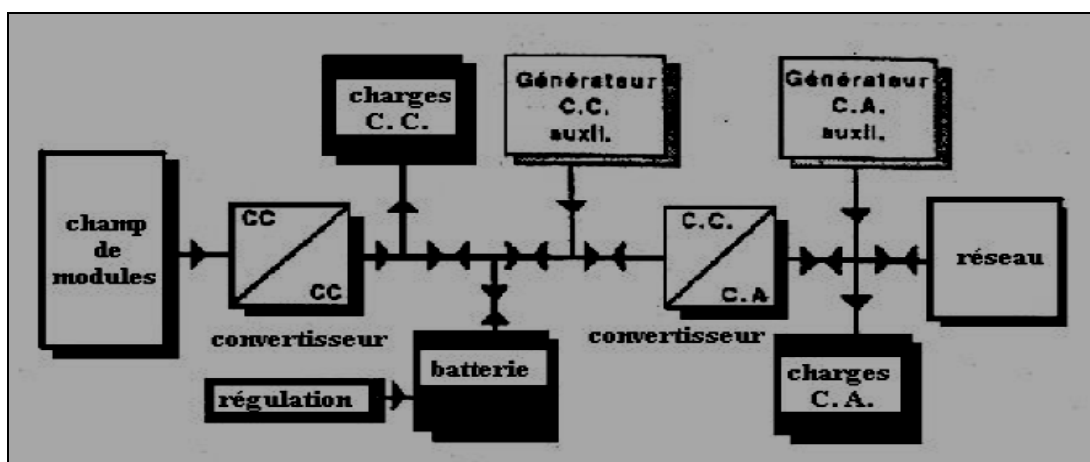


Figure 3.20 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

### **3-9 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE:**

#### **3-9-1 Avantages :**

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au MégaWatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

#### **3-9-2 Inconvénients :**

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

### **3-10 CONCLUSION:**

Dans ce chapitre on a représenté le principe de la cellule photovoltaïque et les caractéristiques de Générateur PV et ses Performances, les systèmes photovoltaïques, les avantages et les inconvénients, le chapitre suivant nous avons étudié la méthode pour l'optimisation de photovoltaïque MPPT.

## *La puissance maximale du générateur photovoltaïque MPPT*

### **4-1 INTRODUCTION:**

Le branchement d'une charge à un générateur photovoltaïque est le mode de couplage le plus simple qui soit. Le point de fonctionnement dans ce cas se situe à l'intersection de la droite de charge et de la caractéristique  $I-V$  du générateur. Ce point ne peut pas coïncider avec le point de puissance maximale ; il s'ensuit une perte de puissance maximale du système.

Ce problème peut être résolu soit par le changement de configuration du générateur photovoltaïque, soit par l'adjonction d'un dispositif de recherche de point de puissance maximale placé entre le générateur et la charge pour assurer l'adaptation d'impédance. Dans ce qui suit, cette dernière possibilité est développée.

Exploitations optimales de l'énergie électrique disponibles aux bornes du générateur photovoltaïque peut être contribué à la réduction du coût globale du système. Il existe plusieurs technique pour satisfaire ce but, mais la question qui se pose est-ce que le coût supplémentaire à introduire pour obtenir ce surplus d'énergie. Dans ce chapitre, nous avons traité trois (3) techniques de recherche de point de puissance maximale (MPP) du générateur photovoltaïque.

### **4-2 SUIVI DE LA PUISSANCE MAXIMALE DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE:**

La poursuite du point maximum de la puissance (MPPT), est une partie essentielle dans les systèmes photovoltaïque. Plusieurs techniques sont développées depuis 1968 dates de publication de la première loi de commande de ce type ; adaptées à une source d'énergie renouvelable de type PV.

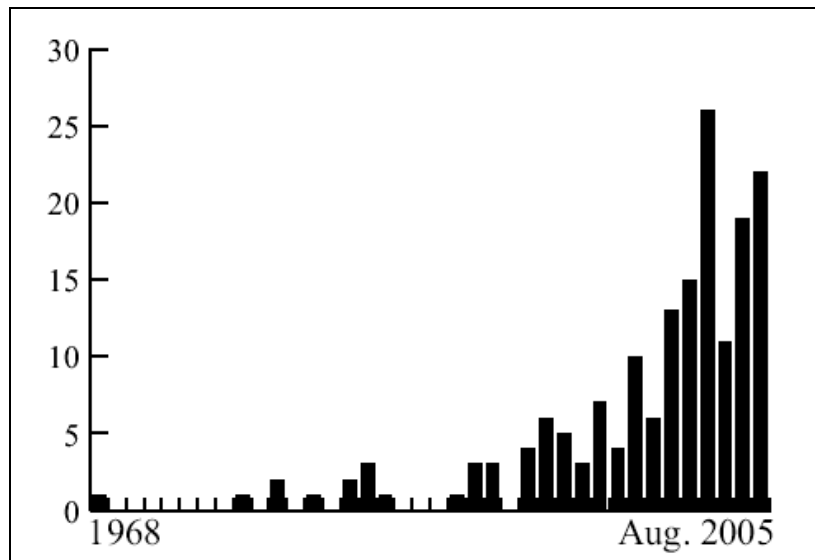


Figure 4.1 : Nombre total des publications sur les MPPT par an depuis 1968

Ces techniques se différencient entre elles par leur complexité, nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, coût, rendement et domaine d'application. Dans ce qui suit trois méthodes ont été étudiées :

1. Fraction de la tension du circuit ouvert.
2. Perturbation puis observation (P&O : Perturba-and-Observe).
3. L'incrémentation de la conductibilité (INC : INcremental Conductance).

#### 4-3 PRINCIPE DU MPPT :

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

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure 4.2.

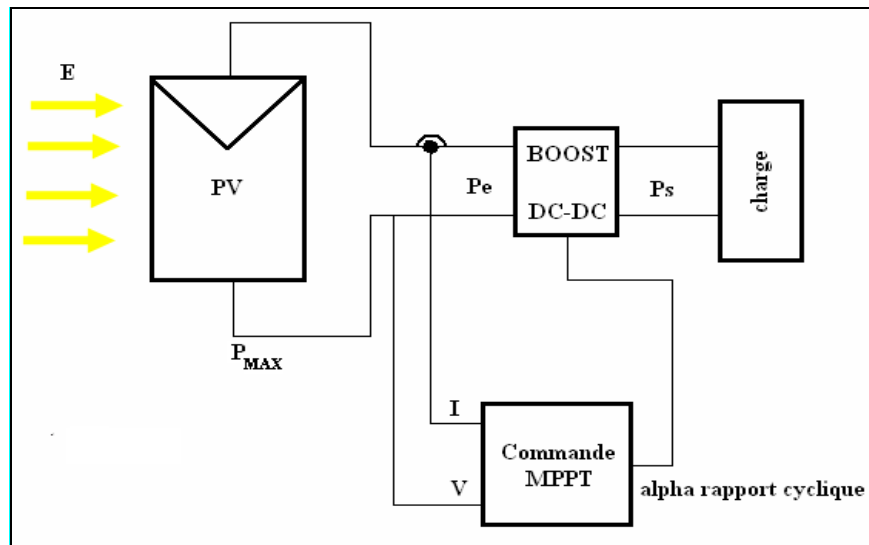


Figure 4.2 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT

#### 4-4 RENDEMENT DE LA CHAÎNE DE PUISSANCE:

Pour avoir une idée plus précise sur les origines des pertes dans une chaîne de conversion solaire ; des rendements de chaque partie de la chaîne ont été définis. Pour cela, le rendement total de celle-ci a été décomposé en divers types de rendements reliés spécifiquement à chaque partie de la chaîne.

Le rendement maximum de la conversion photons-électrons du panneau solaire noté  $\eta_{PV}$  est défini selon l'équation (4.18).

La puissance  $P$  effectivement délivrée par un générateur PV va dépendre de la commande utilisée dans le convertisseur. Le rendement du point de fonctionnement qui en découle que nous notons  $\eta_{MPPT}$  permet de mesurer l'efficacité de la commande. En fait on peut l'appeler aussi rendement de la commande.

$$\eta_{MPPT} = \frac{P}{P_{MAX}} \quad (4.1)$$

Où  $P_{MAX}$  est le maximum de puissance potentiellement disponible à la sortie de panneau, il dépend des paramètres physiques du panneau et des conditions météorologiques.

Enfin, le rendement du convertisseur noté  $\eta_{CONV}$ , généralement fourni par les documents constructeurs est défini par l'équation (4.2), en notant  $P_s$  la puissance délivrée en sortie du convertisseur.

$$\eta_{CONV} = \frac{P_s}{P_e} \quad (4.2)$$

Le rendement total de la chaîne de conversion (III.3) peut être défini le produit de ces trois rendements précédemment définis.

$$\eta_{TOTAL} = \eta_{PV} \cdot \eta_{MPPT} \cdot \eta_{CONV} \quad (4.3)$$

## 4-5 TECHNIQUE DE FRACTION DE LA TENSION DU CIRCUIT

### OUVERT:

Elle est facile à mettre en œuvre, moins coûteuse pour les systèmes photovoltaïques. Plusieurs études ont montré que le rapport entre la tension optimale (pour laquelle la puissance débitée est maximale) et celle en circuit ouvert est approximativement constant, pour un même module, sous des niveaux d'éclairement et températures différents.

Ceci est la base du fonctionnement à fraction de tension constante qui peut être interprété par l'expression suivante [11.14] :

$$\frac{V_{MPP}}{V_{oc}} \cong K \quad (4.4)$$

La tension de circuit ouvert est mesurée en isolant temporairement le générateur PV du système et alors le point maximum de fonctionnement de puissance est calculé en utilisant l'équation (4.4). La littérature [14] donne un intervalle de 73% et 80% comme bande de valeurs de la constante K. En réalité K n'est pas constant et est affecté par des niveaux de l'éclairement, la température et de type de module. De même pour la technique de fraction de courant de court-

$$\text{circuit } \frac{I_{MPP}}{I_{sc}} \cong K .$$

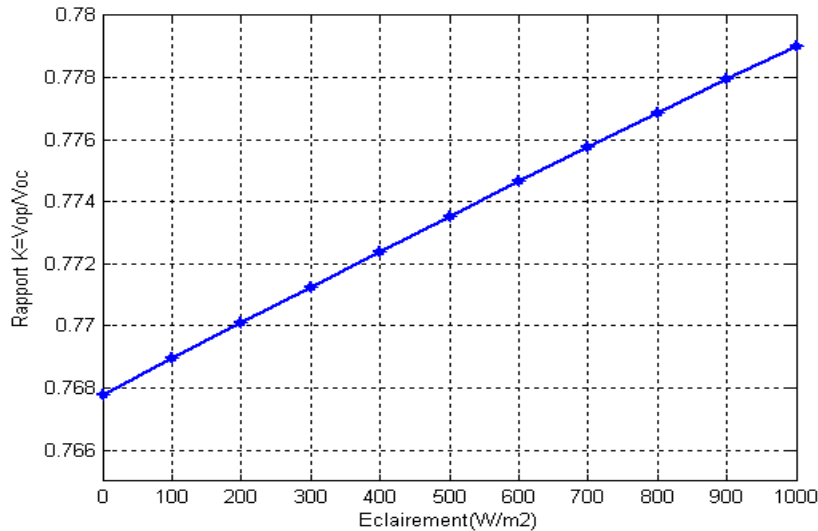


Figure 4.3 : Rapport entre  $V_{op}$  et  $V_{oc}$  en fonction de l'éclairement

**4-6 TECHNIQUE DE LA PERTURBATION PUIS OBSERVATION (P&O):**

L'algorithme Perturbation puis observation "P&O" est souvent le plus utilisé dans la pratique en raison de sa facilité de mise en oeuvre [11]. Pour cette méthode, à partir de la caractéristique  $P-V$ , on considère que le panneau photovoltaïque fonctionne à un point qui n'est pas forcément le MPP (voir figure III.4) ; on perturbe la tension de fonctionnement avec ( $\Delta V$ ) et on observe la variation ( $\Delta P$ ) de la puissance électrique. Si ( $\Delta P$ ) est positif, alors la perturbation de la tension déplace le point de fonctionnement vers un point plus proche du MPP. D'autres perturbations successives de la tension dans la même direction (c'est-à-dire avec le même signe algébrique) devraient déplacer le point de fonctionnement jusqu'à l'atteinte du MPP. Dans le cas où ( $\Delta P$ ) est négatif, le point de fonctionnement s'éloigne du MPP, et donc le signe algébrique de la perturbation de la tension devrait être inversé pour déplacer de nouveau le point de fonctionnement vers le MPP.

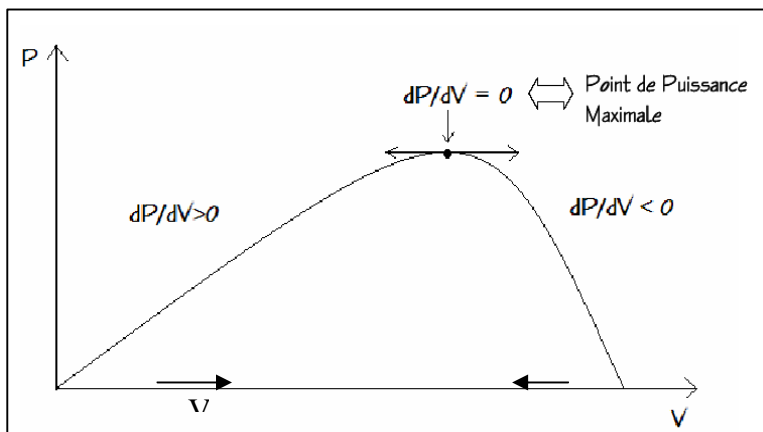


Figure 4.4:Caractéristiques de fonctionnement de la méthode de Perturbation puis observation

La figure 4.5 montre l'organigramme de la méthode de P&O qui est récapitulé dans le Tableau suivant :

<b>Perturbation de la tension</b>	<b>Observation de la puissance</b>	<b>Prochaine Perturbation</b>
Positive (+)	Positive (+)	Positive (+)
Positive (+)	Négative (-)	Négative (-)
Négative (-)	Positive (+)	Négative (-)
Négative (-)	Négative (-)	Positive (+)

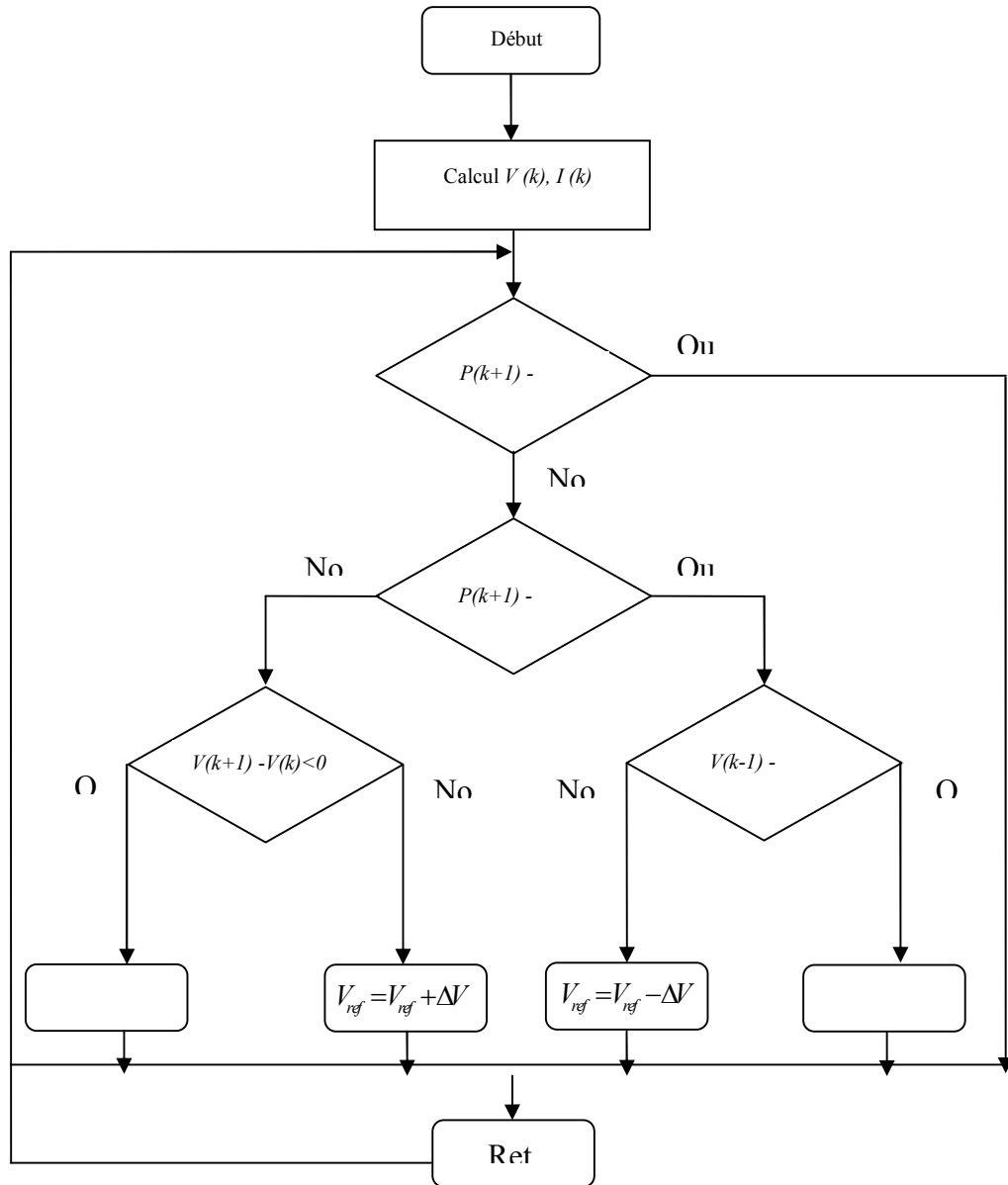
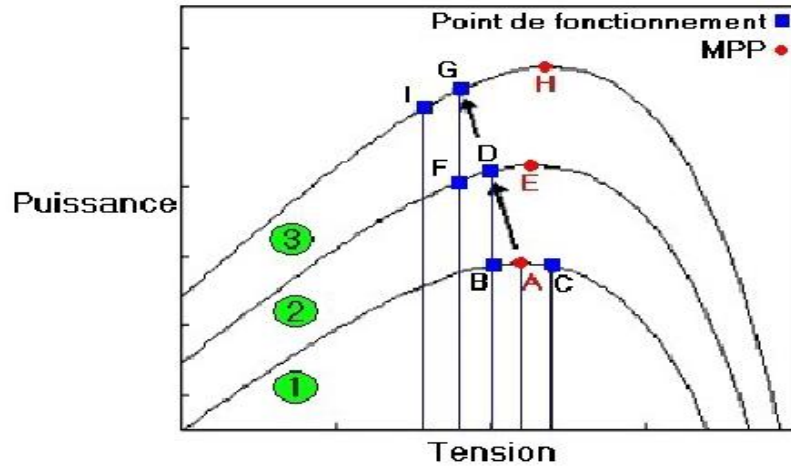


Figure 4.5 :L'organigramme de la méthode de P&O

L'algorithme "P&O" a des limitations qui réduisent son efficacité. Quand l'intensité de lumière solaire diminue, il est difficile au MPPT de discerner l'emplacement du MPP. Un autre inconvénient de l'algorithme "P&O" quand il atteint le point MPP, le point de fonctionnement oscille autour de ce dernier. En outre, il a été montré que l'algorithme "P&O" peut avoir un comportement erratique sous un changement rapide du niveau de l'ensoleillement. Sur la figure 4.5, nous considérons que le point de fonctionnement est sur la courbe 1. Le MPPT oscille autour du MPP du point B vers le point A, puis vers le point C et vice-versa. Au cours du changement rapide de l'éclairement le MPPT au lieu de déplacer le point de fonctionnement du point A vers le point B,

il le déplace du point de fonctionnement de A vers D (puisque le point D et B ont la même tension). Donc, ceci conduit à un  $(\Delta P)$  positif et le MPPT continuera de perturber la tension dans la même direction ; donc, vers le point F. Si l'ensoleillement augmente toujours rapidement, le point de fonctionnement se déplace vers le point G sur la courbe 3 au lieu du point F sur la courbe 2.



**Figure 4.6 : Illustration du comportement de l'algorithme "P&O" sous un changement rapide de l'éclairement**

Alors, le MPPT voit toujours un  $(\Delta P)$  positif ce qui entraîne une divergence du point optimal et diminution du rendement du panneau solaire. Cette situation peut se produire lors des jours partiellement nuageux quand la poursuite du MPP est plus difficile à cause de son déplacement. De la même façon la technique Hill-Climbing utilise comme perturbation  $\Delta\alpha$  du rapport cyclique du convertisseur DC-DC ; ces deux techniques précédentes présentent deux chemins différents vers la même méthode.

#### 4-7 TECHNIQUE DE L'INCREMENTATION DE LA CONDUCTIBILITÉ :

Cette méthode s'intéresse directement aux variations de la puissance en fonction de la tension. La conductance est une grandeur physique relativement connue : il s'agit du quotient de l'intensité par la tension ( $G=I/V$ ) La conductance incrémentielle est beaucoup plus rarement définie, il s'agit du quotient de la variation, entre deux instants, de l'intensité par celle de la tension ( $G = dI / dV$ ).

En comparant la conductance  $G$  à la conductance incrémentielle  $\Delta G$ , nous allons chercher le maximum de la courbe (figure III.7) en cherchant le point d'annulation de la dérivée de la puissance.

Précisément la puissance en sortie de la source peut s'écrire :

$$P = V \cdot I \tag{4.5}$$

D'où en écrivant la dérivée :

$$\frac{dP}{dV} = V \cdot \frac{dI}{dV} + I \cdot \frac{dV}{dV}$$

$$\frac{dP}{dV} = V \cdot \frac{dI}{dV} + I \quad (4.6)$$

$$\frac{dP}{dV} \cong V \cdot \frac{\Delta I}{\Delta V} + I$$

Donc

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{Au point MPP}$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{À gauche du MPP} \quad (4.7)$$

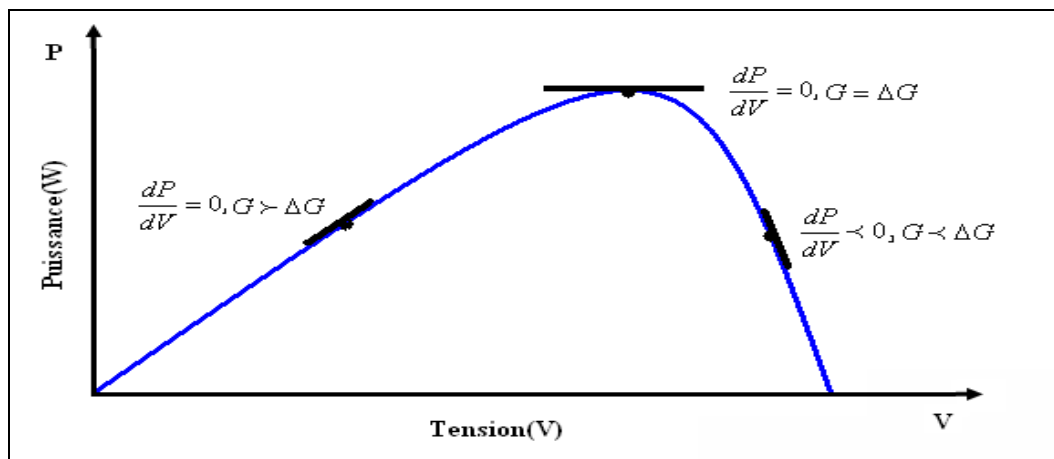
$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{À droite du MPP}$$

Peut être écrit :

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad \text{(a)} \quad \text{au point MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \quad \text{(b)} \quad \text{à gauche du MPP} \quad (4.8)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \quad \text{(c)} \quad \text{à droite du MPP}$$



**Figure 4.7: Caractéristiques de fonctionnement de la méthode par incrémentation de conductibilité**

Les équations (4.8.b) et (4.8.c) sont employées pour déterminer la direction dans laquelle une perturbation doit se produire pour déplacer le point de fonctionnement vers le MPP. Cette perturbation est répétée jusqu'à ce que l'équation (4.8.a) soit satisfaite. Une fois le MPP est atteint,

le MPPT continue à fonctionner avec cette valeur jusqu'à ce qu'un changement de la valeur du courant soit détecté ; ce dernier résulte d'un changement au niveau de l'éclairement. Quand l'éclairement augmente, le MPP se déplace vers la droite de la tension de fonctionnement. Pour compenser ce mouvement du MPP, le MPPT doit augmenter la tension de fonctionnement. La même chose pour le cas contraire, quand l'éclairement diminue, le MPPT doit diminuer cette dernière.

Les valeurs actuelles et précédentes de la tension et du courant sont utilisées pour calculer  $(\Delta V)$  et  $(\Delta I)$ . Si  $\Delta V=0$  et  $\Delta I=0$ , alors les conditions atmosphériques n'ont pas changé et le MPPT fonctionne toujours au MPP. Si  $\Delta V=0$  et  $\Delta I>0$ , alors l'éclairement a augmenté. Ceci exige au INC d'augmenter la tension de fonctionnement pour retrouver de nouveau le MPP. Contrairement si  $\Delta I<0$ , l'éclairement a diminué tout en exigeant au INC-MPPT de diminuer la tension de fonctionnement. Si le changement de la tension n'est pas nul, les rapports dans les équations (4.8.b) et (4.8.c) peuvent être employés pour déterminer la direction dans laquelle la tension doit être changée afin d'atteindre le MPP.

Si  $\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$  (c'est-à-dire le rapport  $(\Delta P/\Delta V)>0$ ), donc le point de fonctionnement est à gauche du MPP. Ainsi, la tension de fonctionnement doit être augmentée pour atteindre le MPP. De même, si  $\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$  (c'est-à-dire le rapport  $(\Delta P/\Delta V)<0$ ), le point de fonctionnement se trouve à droite du MPP tout en signifiant que la tension doit être réduite pour atteindre le MPP[10]. Le schéma de la figure III.8 montre l'organigramme de l'algorithme INC.

En réalité, cet algorithme est une correction de l'algorithme "P&O" puisqu'il est capable de calculer la direction dans laquelle la perturbation du point de fonctionnement devrait être pour atteindre le MPP, et il peut aussi déterminer l'atteinte du MPP. De plus, dans les conditions de changement rapide de l'ensoleillement, l'algorithme ne devrait pas prendre la mauvaise direction comme c'est le cas avec l'algorithme "P&O", et d'ailleurs, il n'oscille pas autour du MPP une fois qu'il l'atteint.[21]

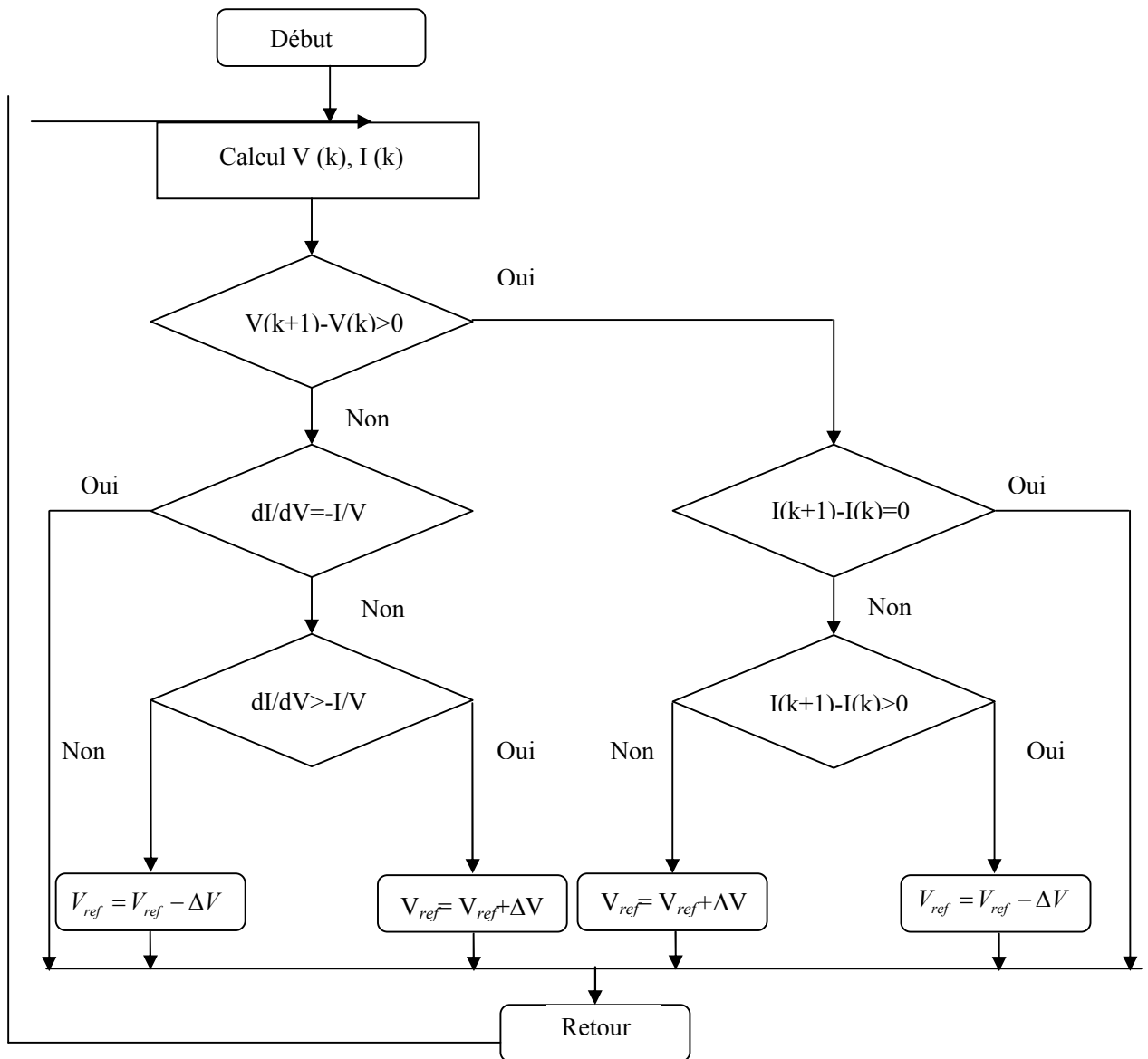


Figure 4.8 : L'organigramme de l'algorithme INC

### 4-8 RESULTAT DE SIMULATION

#### 4-8-1 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES TECHNIQUES DE MPPT: [20]

Technique de MPPT	Dépendant de GPV	Vrai MPPT	Analogique ou numérique	Vitesse convergence	Exécution complexité	Paramètres utilisé
Fraction de la tension du circuit ouvert	oui	Non	tous les deux	moyenne	bas	tension
Hill-climbing/P&O	non	Oui	tous les deux	Change	bas	tension et courant
L'incrémentation de la conductibilité	non	Oui	numérique	Change	moyenne	tension et courant

#### 4-8-2 Résultats de méthode fraction de la tension du circuit ouvert:

Nous avons dit précédemment que, la recherche du point de puissance maximale se fait, à partir d'une tension de référence calculé à partir de la tension du circuit ouvert (équation 4.4 ), si la tension mesurée inférieure à la tension de référence ,on augmente le rapport cyclique  $\alpha$ , dans le cas contraire on diminue le rapport cyclique  $\alpha$  , Le résultat de programmation est montré dans les figures suivantes :

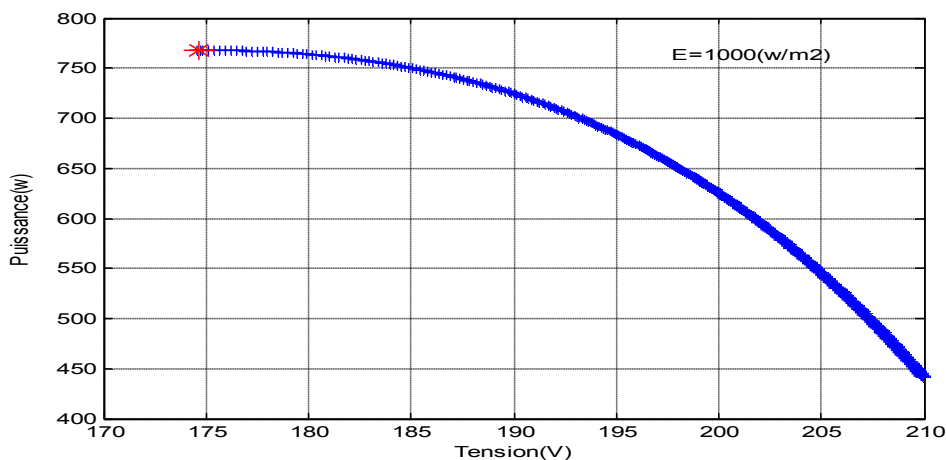


Figure 4.9 : La variation de la puissance en fonction de la tension vers le MPP

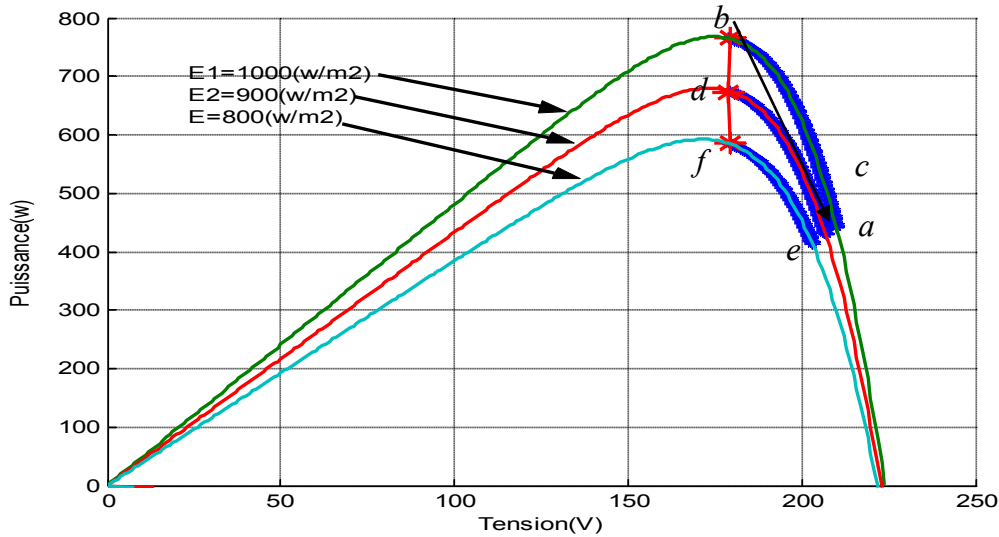


Figure 4.10 : Poursuite du point de puissance maximale par un MPPT pour l'éclairement variable.

### 4-8-3 Interprétation :

On démarre avec  $\alpha = 0$  (le point a), avec la condition climatique standard.

Pour une charge résistive  $R = 100 \Omega$  connectée à un hacheur parallèle, le point de fonctionnement se trouve à droite du point optimale (MPP) ou  $V_{MPP} = 174.5 \text{ V}$ ,  $P_{MPP} = 776.8 \text{ W}$  ( $E = 1000 \text{ (w/m}^2\text{)}$ ), on se dirige vers ce point, on augmentant  $\alpha$  se qui veut dire diminué la tension avec des pas  $\Delta\alpha$  constantes (figure IV.10). ce qui permet de montrer une bonne adaptation de la charge : la résistance ( $R_g$ ) vue par le panneau photovoltaïque est :

$R_g = R (1 - \alpha)^2$ , par suite pour diminuer  $R_g$  afin de se diriger vers le MPP on augmente  $\alpha$ .

En variant l'éclairement à température constante ( $T = 25^\circ \text{C}$ ), les points suivent le chemin (b-c-d-e-f), à partir de l'éclairement ( $E = 1000 \text{ w/m}^2$ ) jusqu'à l'éclairement ( $E = 800 \text{ (w/m}^2\text{)}$ ) (figure IV.10).

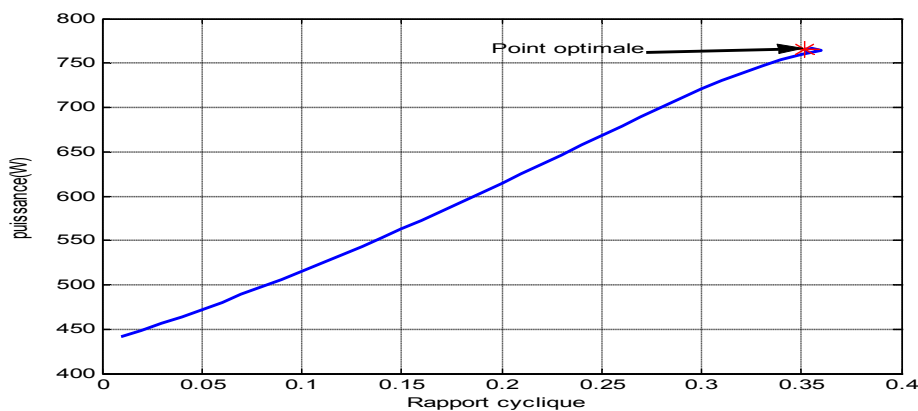


Figure 4.11 : La variation de la puissance on fonction de le rapport cyclique

A partir de la figure 4.11, il y a une relation proportionnelle entre la puissance et le rapport cyclique,  $\alpha \propto P$  ( $\alpha_{opt} = 0.35$ ).

**L'erreur absolue**

Elle est donnée par la relation suivante :

$$err(\%) = \left( \frac{P_{optimale} - P_{calculé}}{P_{optimale}} \right) \cdot 100$$

E(w/m2)	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
err (%)	0.3436	0.5372	0.7379	1.02	1.3667	1.7035	1.8988	2.1648	2.8466	4.6681

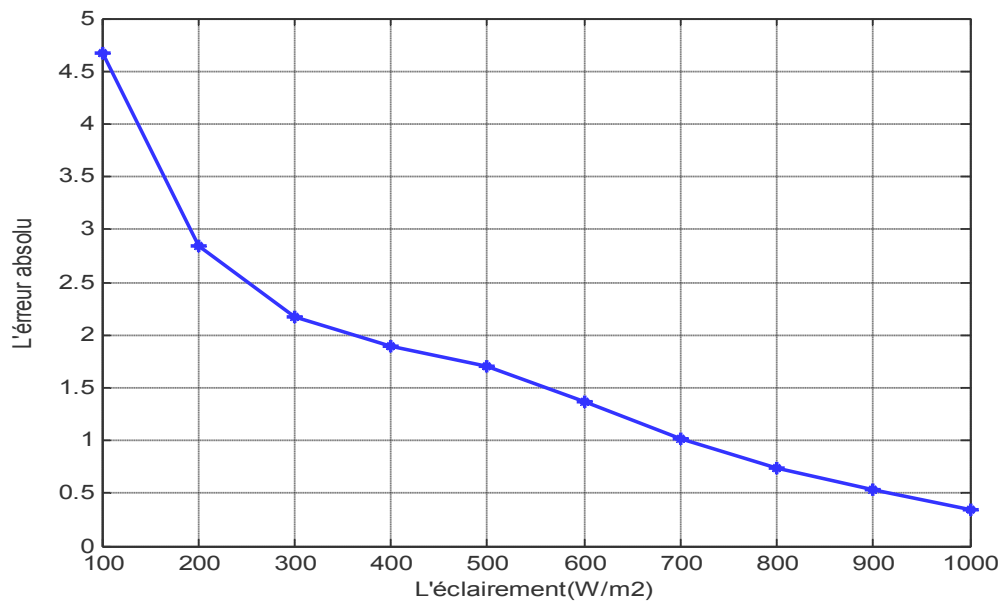


Figure 4.12 : La variation de l'erreur absolue on fonction l'éclairement

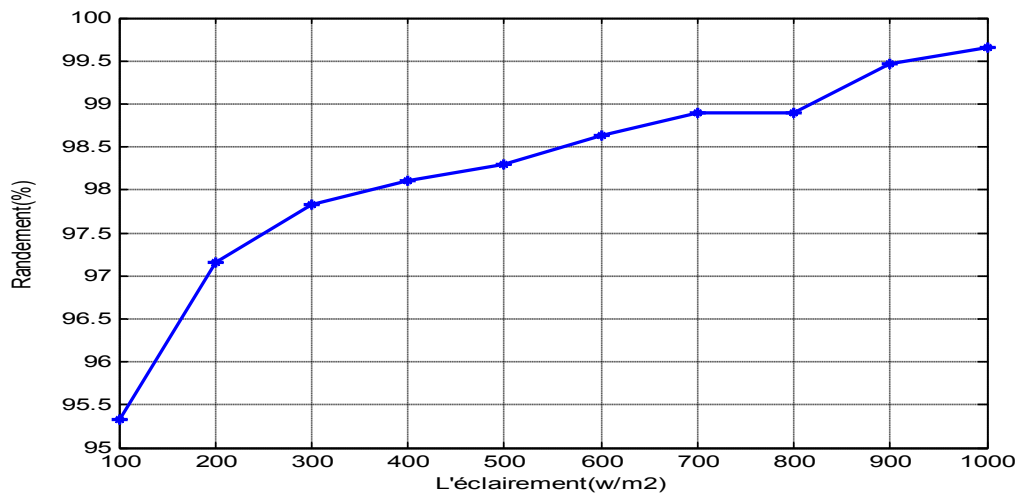


Figure 4.13 : La variation de rendement en fonction de l'éclairement

Le tableau précédent récapitule l'erreur absolue en fonction de l'éclairement, elle est minimale pour les grandes valeurs de l'éclairement, puis elle augmente considérablement vers les petites valeurs ; ce qui permet de dire la même chose pour le rendement figure (4.13).

**4-8-4 Résultats de la méthode de perturbation puis observation:**

Cette méthode a la particularité d'avoir une structure de régulation simple, et peu de paramètres de mesure. Il opère en perturbant périodiquement la tension du panneau, et en comparant l'énergie précédemment délivrée avec la nouvelle après perturbation, en suivant l'organigramme figure (4.5), les résultats de simulation sont les suivants :

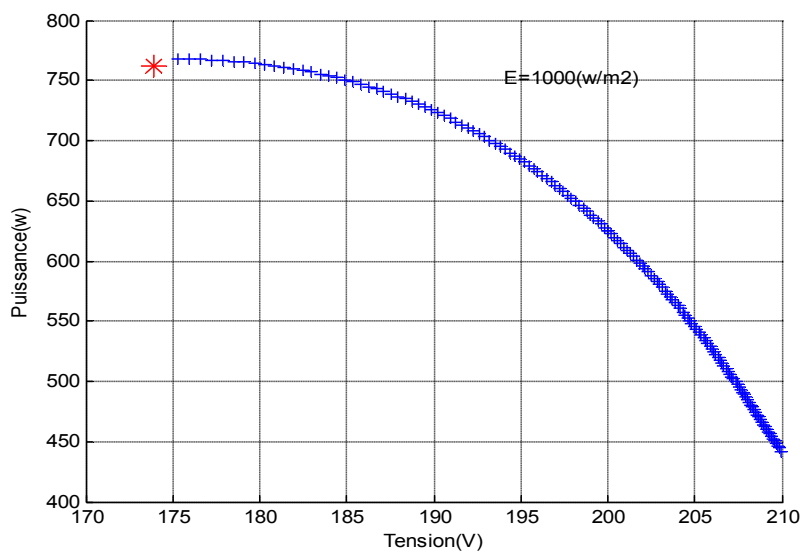


Figure 4.14 : la variation de puissance en fonction de la tension

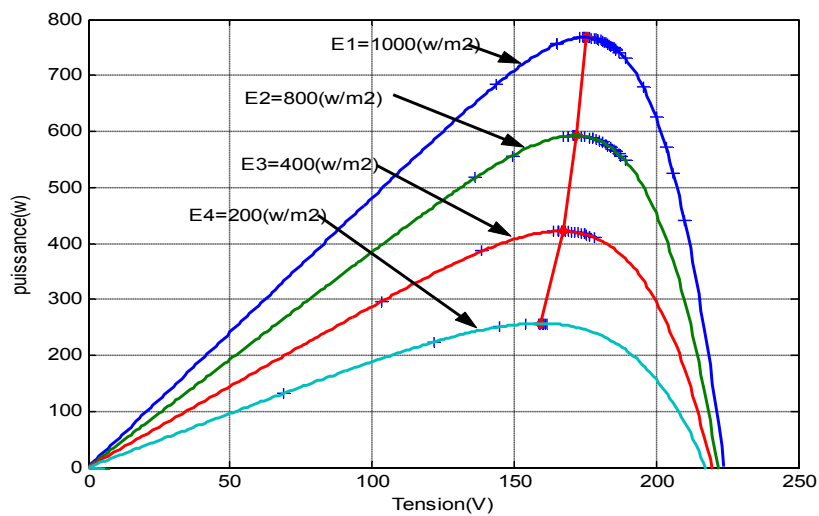


Figure 4.14 : Poursuite du point de puissance maximale par (P&O) pour l'éclairement variable

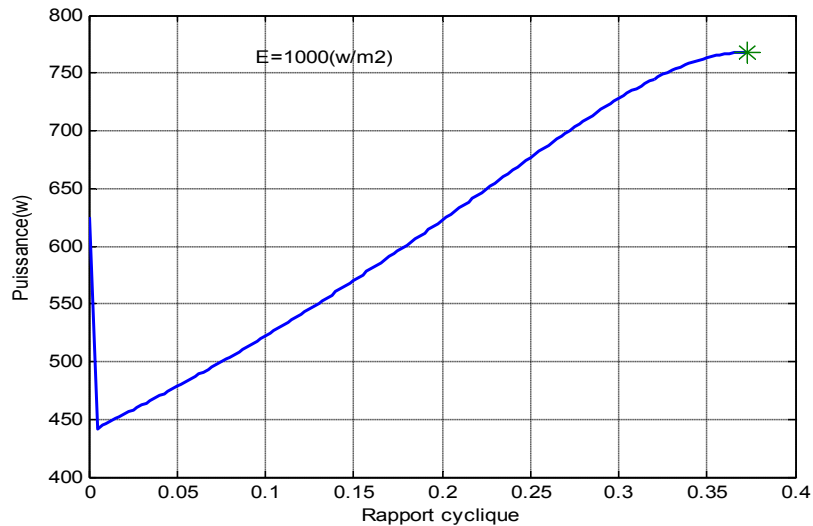


Figure 4.15 : La variation de la puissance on fonction du rapport cyclique

**4-8-5 Résultats de méthode de l’incrémentation de la conductibilité:**

On a dit précédemment que cette méthode utilise l’incrémentation de la conductance vue par la source. Les tensions et courants du panneau sont lus par des capteurs, de telle manière que le contrôleur peut calculer la conductance et la conductance incrémentale, et décide sur la direction de l’incrémentation, jusqu’à leur égalité.

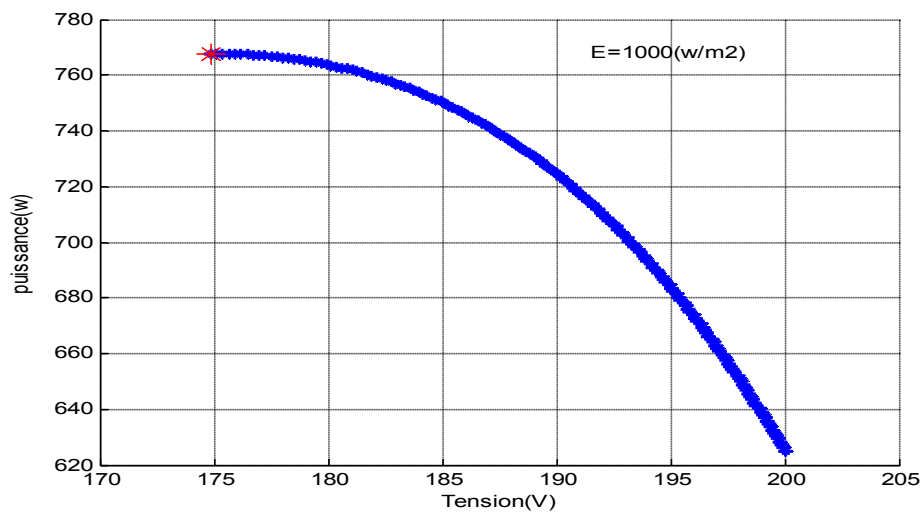


Figure 4.18 : La variation de la puissance en fonction de tension vers le MPP

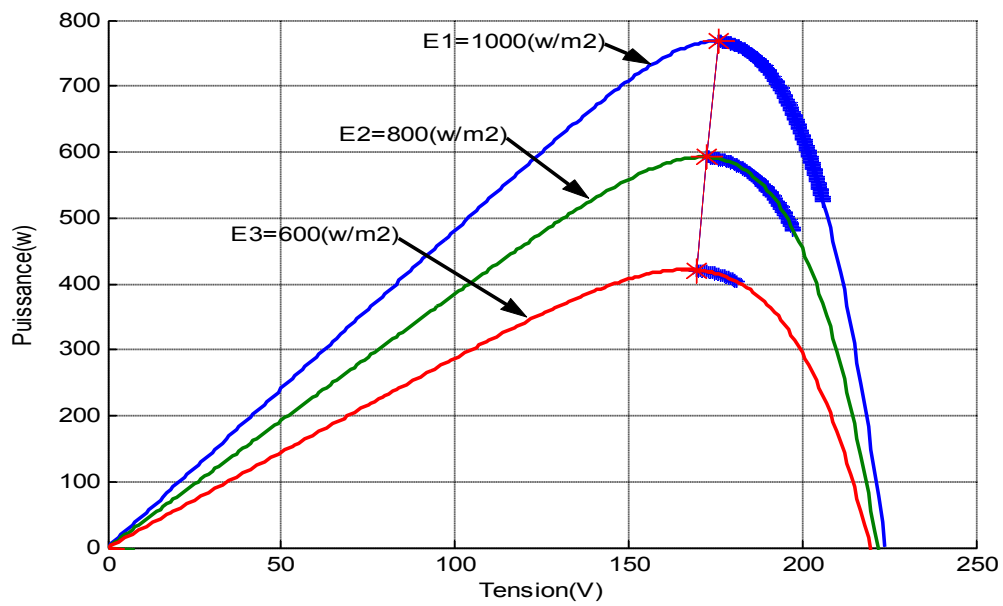


Figure 4.19 : Poursuite du point de puissance maximale pour l'éclairement variable

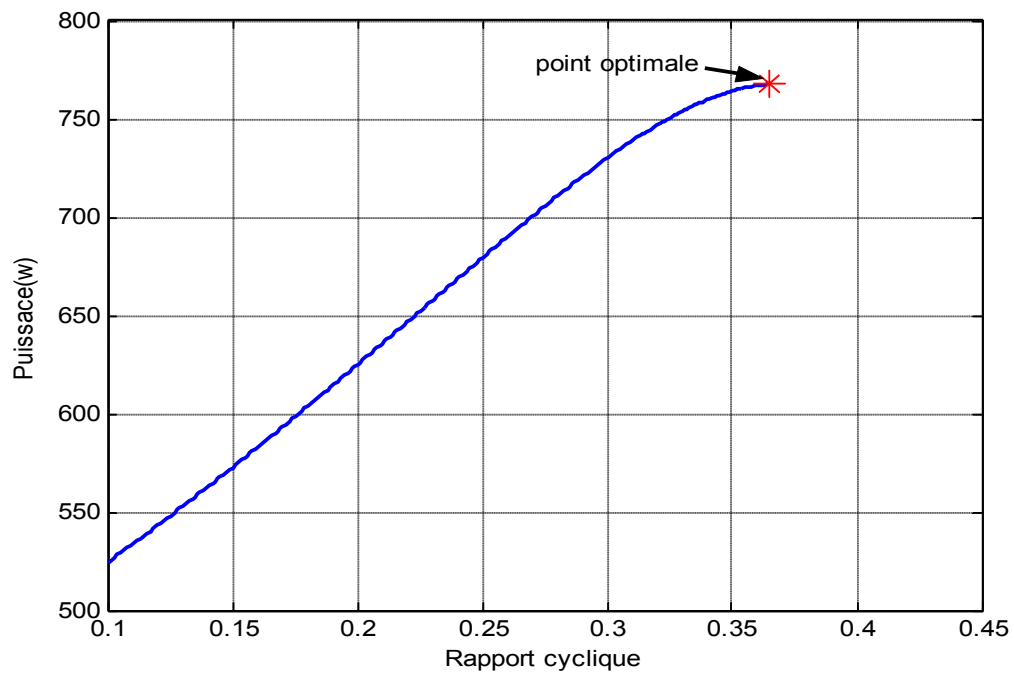


Figure 4.20 : La variation de la puissance on fonction de le rapport cyclique

D'après la figure (4.20) on vu que  $\alpha \square$  ,  $P \square$  ( $\alpha_{opt}=0.3700$ ).

E(w/m2)	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
err (%)	0.0144	0.023	0.0369	0.0457	0.1003	0.1216	0.2713	0.3302	0.3963	0.6638

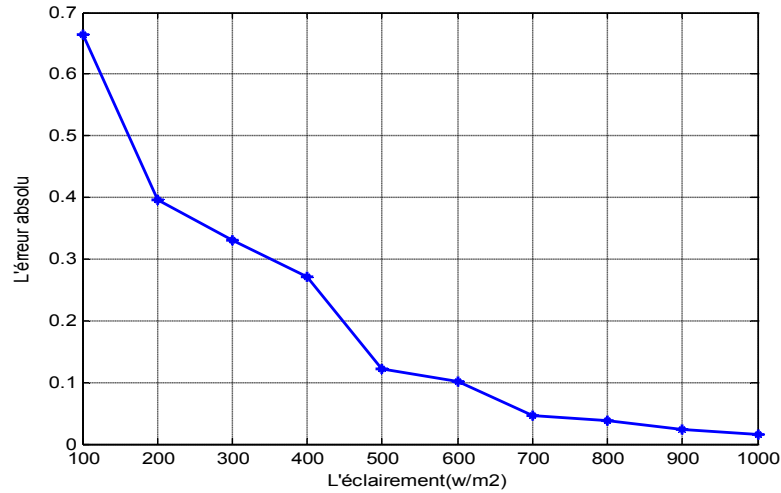


Figure 4.21 : La variation de l'erreur absolu on fonction l'éclairement

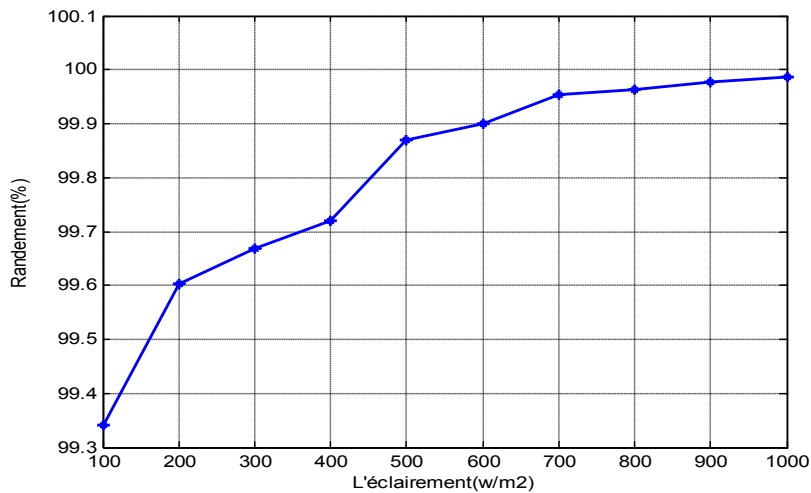


Figure 4.22 : La variation de rendement on fonction l'éclairement

La figure (4.21)  $E_{err}$  et pour la figure (4.22)  $E_{\eta}$ . L'erreur est meilleur par rapport aux autres méthodes.

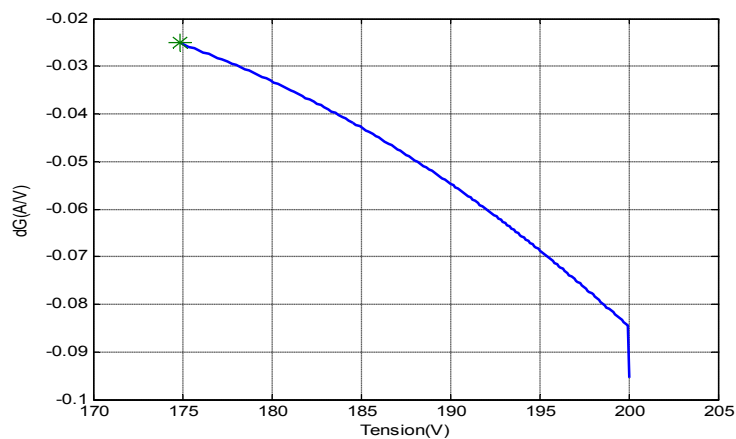


Figure 4.23 : La variation la conductance incrémentale on fonction de la tension

Suivant la nature de la charge et le convertisseur utilisé (hacheur parallèle), les points de poursuite se trouve à droite du point optimal, c'est-à-dire  $dP/dV < 0 \Rightarrow dI/dV < -I/V$  donc on diminue la tension vers MPP, par suite l'augmentation de  $\alpha$  jusqu'à

$|dG| = |G| = 0.0251$  .on définit ( $G_s$ ) l'inductance statique, le point correspondant au point MPP.

On définit ( $G_d = dG$ ) l'inductance dynamique les points de poursuite du point MPP.

#### 4-9 CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques méthodes de poursuite de la puissance maximale et nous avons retenu l'algorithme de l'incrément de la conductibilité qui se caractérise par un rendement supérieur relativement à ceux des algorithmes, Perturbation puis observation et fraction de la tension de circuit ouvert.

Notons que l'algorithme est trop lent à retrouver le nouveau point de fonctionnement optimal.

## **REMERCIEMENTS**

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ses conseils et ses orientations.

Nous avons également l'honneur de remercier l'Administration du Département de Mécanique d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Un grand merci est adressé aux examinateurs d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à réaliser ce mémoire.

