

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
Département D'électronique

Mémoire de fin d'études présenté
Pour l'obtention du diplôme de

Master ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et techniques**
Filière : **Electronique**
Spécialité : **Télécommunications**

Présenté par : **Guezzoun Nadia**

Guezzoun Siham

Intitulé

Techniques Intelligentes pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale (MPPT) d'un Système Photovoltaïque

Soutenu le .. /09/2016

Devant le jury composé de :

M **CHEMSA ALI**

MCB.

2015-2016

REMERCIEMENT



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

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur D. CHEMSA ses précieux conseils et ses aides durant toute la période du travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

Introduction Générale

L'industrie moderne a des besoins de plus en plus importants en énergie. Les sources classiques d'énergie, qui sont les sources fossiles telles que le charbon et les hydrocarbures, laissent progressivement la place aux énergies renouvelables. L'augmentation fulgurante du prix du pétrole ces dernières années a en effet contraint les pays développés à investir dans ce type d'énergies telles que l'énergie solaire, éolienne, marémotrice ou géothermique. Ces énergies, en plus d'être inépuisables, représentent un secteur porteur permettant un développement durable tout en préservant l'environnement.

L'énergie solaire représente certainement la source d'énergie renouvelable la plus élégante. En plus d'être silencieuse, elle s'intègre parfaitement aux constructions (façades, toiture...), et du fait qu'elle n'intègre pas de pièces mécaniques mobiles, elle ne nécessite pas un entretien particulier reste fiable longtemps, c'est la raison pour laquelle elle est devenue une référence dans les applications spatiales et dans les sites isolés. Elle est en train de s'imposer comme une valeur sûre dans les applications à petite et moyenne consommation d'énergie, surtout depuis que les panneaux solaires sont devenus moins chers pour des rendements meilleurs.

Les panneaux solaires, bien qu'ils soient de plus en plus performants, ont des rendements qui restent assez faibles (autour de 20%), c'est pourquoi il faut exploiter le maximum de puissance qu'ils peuvent générer en réduisant au maximum les pertes d'énergie.

Une caractéristique importante de ces panneaux est la puissance maximale disponible est fournie seulement en un seul point de fonctionnement appelé «Maximum Power Point» (MPP), défini par une tension et courant donnés, et ce point se déplace en fonction des conditions météorologiques (ensoleillement, température, etc.) ainsi que des variations de la charge. Extraire le maximum de puissance nécessite donc un mécanisme de poursuite de ce point qu'on appelle MPPT.

Le problème qui se pose toujours, *comment faire fonctionner le système photovoltaïque pour qu'il fournisse sa puissance maximale?* Plusieurs critères d'optimisation de l'efficacité des systèmes photovoltaïques étaient appliquée, et des techniques suivies pour avoir une adaptation et un rendement élevé. La méthode MPPT (Maximum Power Point Tracking) rentre en compte ici, elle fait appel à plusieurs techniques, à savoir les techniques

traditionnelles: numériques, analogiques et analytiques ou les technique basées sur l'intelligence artificielle telle que les réseaux de neurones, la logique floue, le neurone- flou, les algorithmes génétiques (GA).

Dans ce sens, l'optimisation par les méthodes méta éristique (GA) sera l'objectif primordial de notre travail, pour détecter le point de puissance maximale (émanent du générateur photovoltaïque) dans un système photovoltaïque sous différentes conditions climatiques. Afin de valider l'importances des telles méthodes, on va la comparaisons avec la célèbre méthode classique dite Perturbation et Observation (P&O) où l'on cherche toujours à avoir un algorithme dit efficace.

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 (P&O) et fournit une initialisation de base se “ l'algorithmes génétiques”.

Le quatrième chapitre est consacré à l'optimisation du point de puissance maximale PPM (MPPT-AG et P&O) sous différentes conditions climatiques en utilisant les techniques MPPT.

Ce travail est parachevé par une conclusion générale dans laquelle sont valorisés les différents développements effectués.

Chapitre I

Énergie Solaire

I-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].

I-2 LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE:

I-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.

I-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.

I-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.

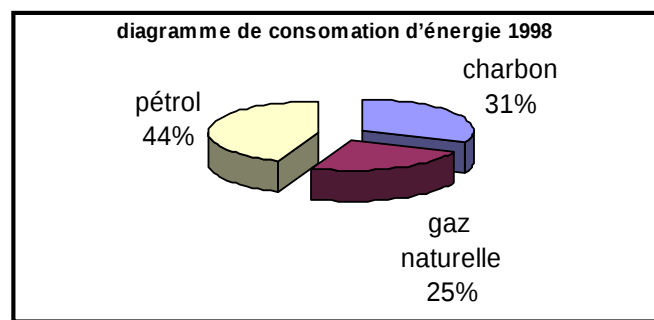


figure I.1: consommation d'énergie [1]

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.

I-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 des 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 laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. toutes 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(*figureI.2*).
- Transformation en énergie électrique : l'éolienne (*figureI.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.



figureI.3: éolienne



figureI.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 (*figureI.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 (*figureI.5*) et sert principalement à la production d'électricité.



figureI.4: moulins à eau



figureI.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(*figureI.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 I.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 » car une maintient l'ambiguïté entre les deux techniques [3].

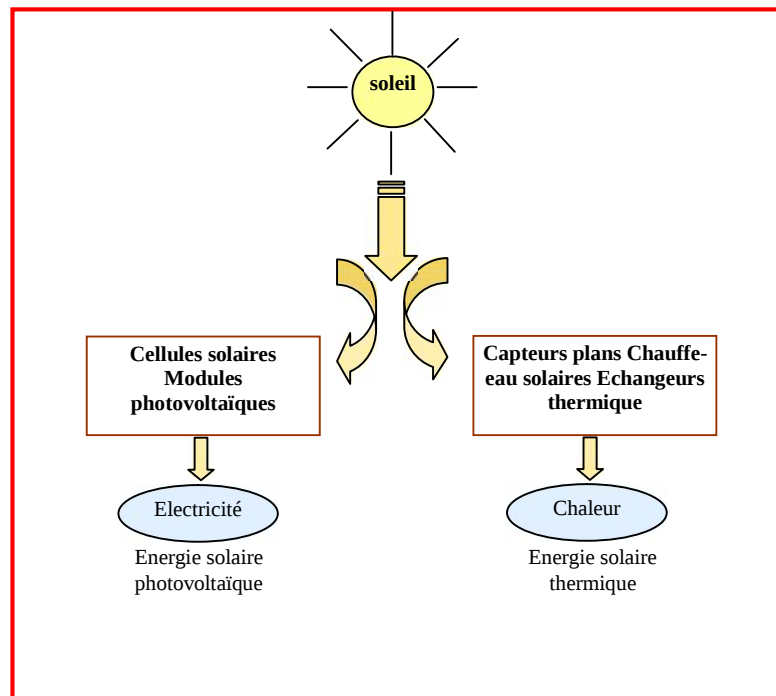


Figure I.8: les deux types d'énergie solaire.

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 [3].

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 μm (ultra-violet) à 4 μm (infra-rouge). Cette énergie représente une source majeure d'énergie dans le futur. Malgré la distance considérable de la terre du soleil (150×10^6 km), la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie de 180×10^6 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] :

$$E = E_M \cdot \sin(h) \quad (\text{I.1})$$

Avec :

$$t = t_{sr} + h/15 \quad (\text{I.2})$$

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 : $TSV = 12 + h/15$ (I.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

$$\text{relation : } h = \frac{360^\circ}{24} (TSV - 12) \quad (\text{I.4})$$

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

$$\text{suivant[7] : } E = E_M \cdot \sin(15t - 90^\circ) \quad (\text{I.5})$$

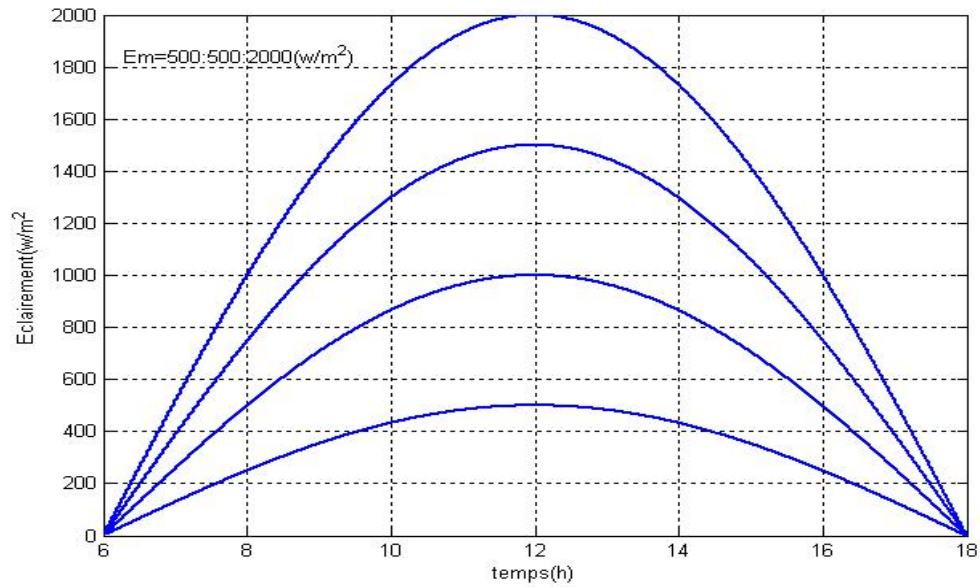


figure I.9 : modèle simplifié de l'éclaire

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

Chapitre II

La cellule photovoltaïque et les caractéristiques de générateur PV.

II-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 21ème 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.

II-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.

II-3 LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photo-sensible, 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 (Bequerelle 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 II.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]

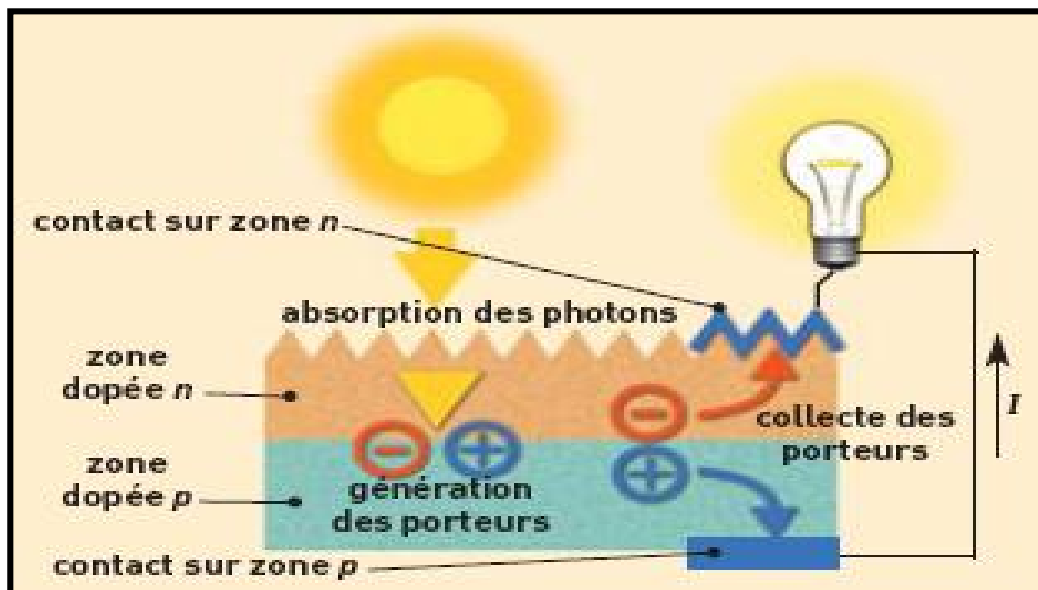


Figure II.1: Schéma d'une cellule élémentaire

II-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 coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- Les cellules polycristallines: 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.II.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).

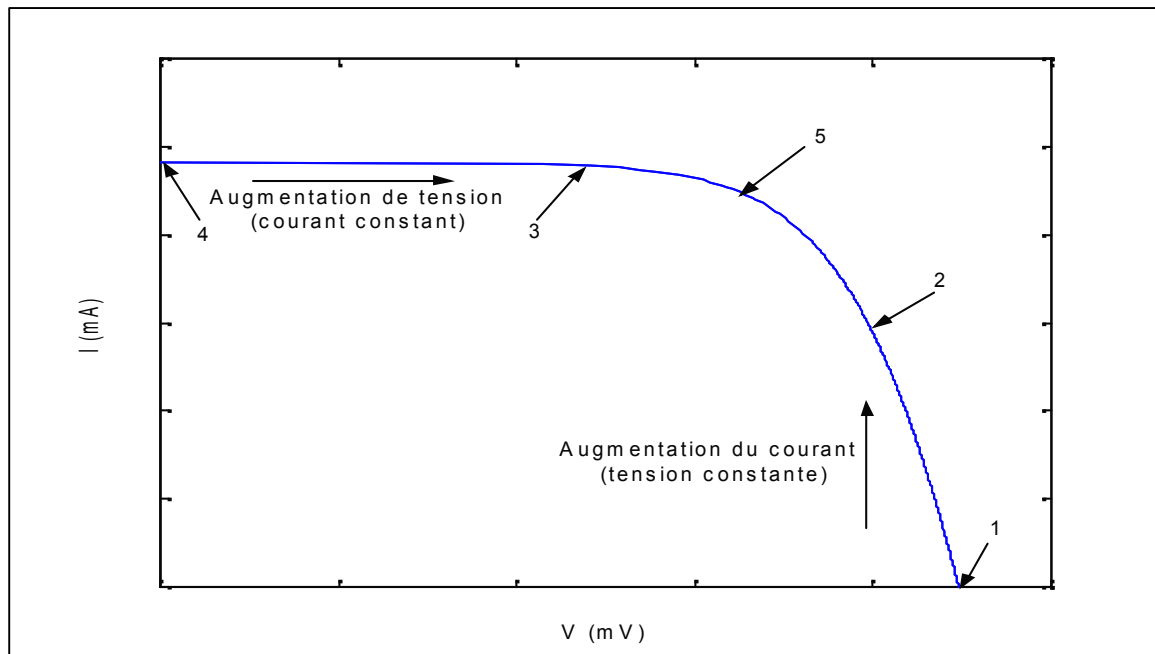


Figure II.2 : Caractéristique typique $I-V$ d'une cellule solaire

II-5 LES MODULES (OU PANNEAUX):

La cellule individuelle, unité de base d'un system 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 connections 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. II.3 : Le Module photovoltaïque

II-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 (figII.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].

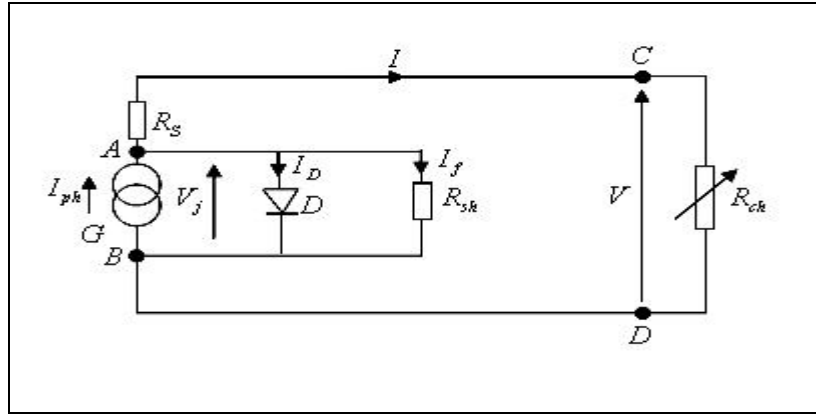


Figure II.4 : Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

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] :

$$I = I_{ph} - I_{01} \left\{ \exp\left[\frac{(V + R_s I)}{a \cdot V_{th}}\right] - 1 \right\} - I_{02} \left\{ \exp\left[\frac{(V + R_s I)}{b \cdot V_{th}}\right] - 1 \right\} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (\text{II.1})$$

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:

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

$$I_{02} = \frac{1}{2} \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{q \cdot Voc}{2 \cdot K \cdot T_c}\right) - 1 \right]} \quad (\text{II.3})$$

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].

II-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.

II-7-1 Caractéristique Courant-Tension:

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

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (\text{II.4})$$

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

$$I_D = I_0 \left(\exp\left[\frac{q(V + R_s I)}{akT}\right] - 1 \right) \quad (\text{II.5})$$

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

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

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left[\frac{q(V + R_s I)}{akT}\right] - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (\text{II.6})$$

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 :

$$V = -R_s I + \frac{akT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} - \left(\frac{R_s}{R_{sh}} + 1\right)I - \frac{V}{R_{sh}}}{I_0} + 1 \right) \quad (\text{II.7})$$

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

$$V = \frac{akT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} - I}{I_0} + 1 \right) \quad (\text{II.8})$$

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

$$V_{oc} = \frac{akT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (\text{II.9})$$

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

$$V_{oc} = V_{th} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (\text{II.10})$$

$$\text{Avec } V_{th} = \frac{akT}{q} \quad (\text{II.11})$$

Où V_{th} est la tension thermique.

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

$$V_{th} = \frac{V_{op} + R_s I_{op} - V_{oc}}{\ln(1 - \frac{I_{op}}{I_{sc}})} \quad (\text{II.12})$$

$$I_0 = (I_{sc} - I_{op}) \exp(-\frac{V_{op} + R_s I_{op}}{V_{th}}) \quad (\text{II.13})$$

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] :

$$\Delta T = T - T_{ref} \quad (\text{II.14})$$

$$\Delta I = a \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) \Delta T + \left(\frac{E}{E_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \quad (\text{II.15})$$

$$\Delta V = -b \Delta T - R_s \Delta I \quad (\text{II.16})$$

$$V = V_{ref} + \Delta V \quad (\text{II.17})$$

$$I = I_{ref} + \Delta I \quad (\text{II.18})$$

Ici le suffixe 'ref' se rapporte à des conditions évaluées données par $E_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$ et $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$.

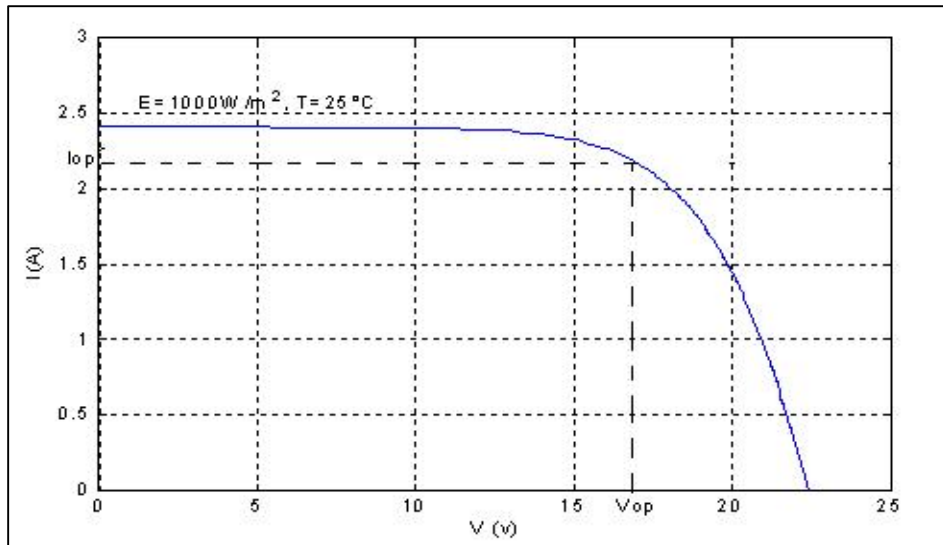


Figure II.5 : Caractéristique courant –tension d'un module solaire

II-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 $P_{max} = I_{op} \cdot V_{op}$.

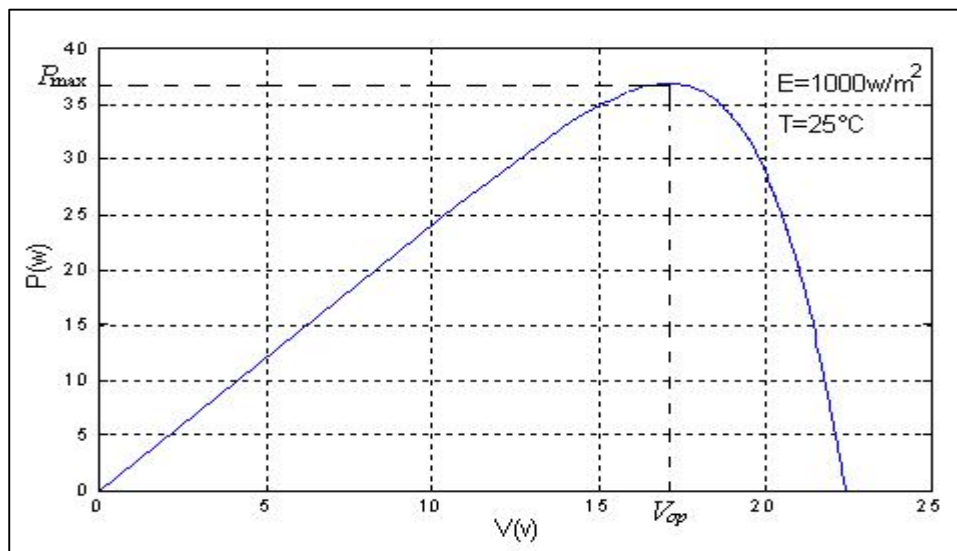


Figure II.6 Caractéristique puissance –tension d'un module solaire

II-7-3 Influence de l'Éclairement:

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

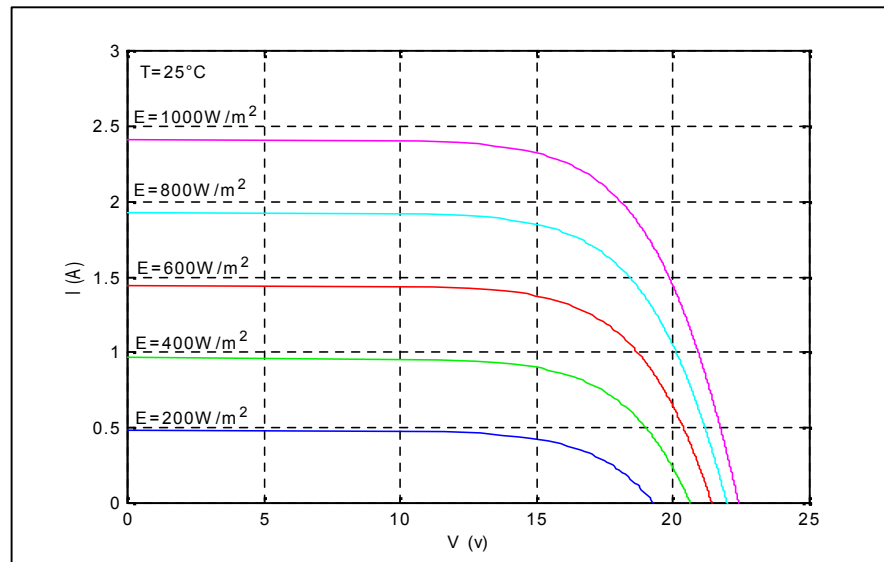


Figure II.7 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique électrique $I - V$

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^2 et une température de 25°C .

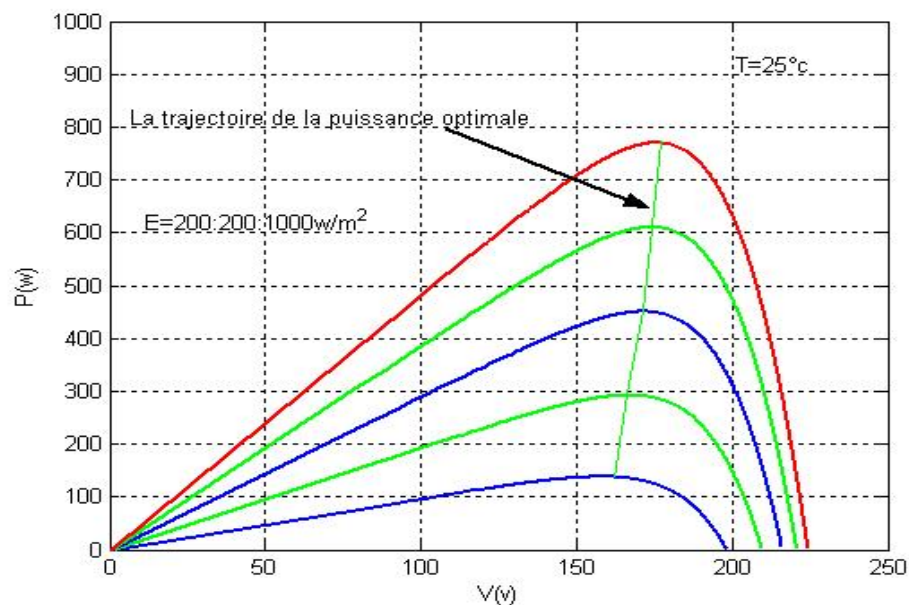


Figure II.8 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique électrique $P - V$

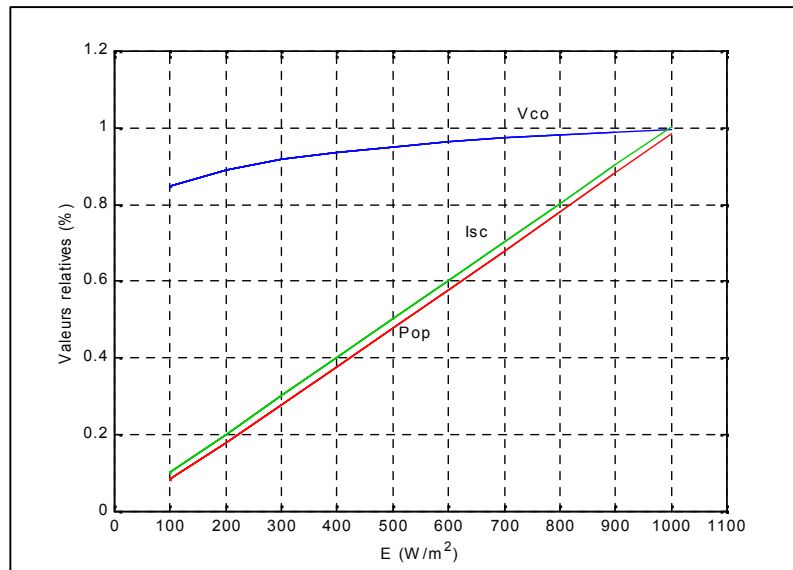


Figure II.9 : Influence de l'éclairement sur V_{co} , I_{sc} et P_{op}

II-7-4 Influence de la Température:

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

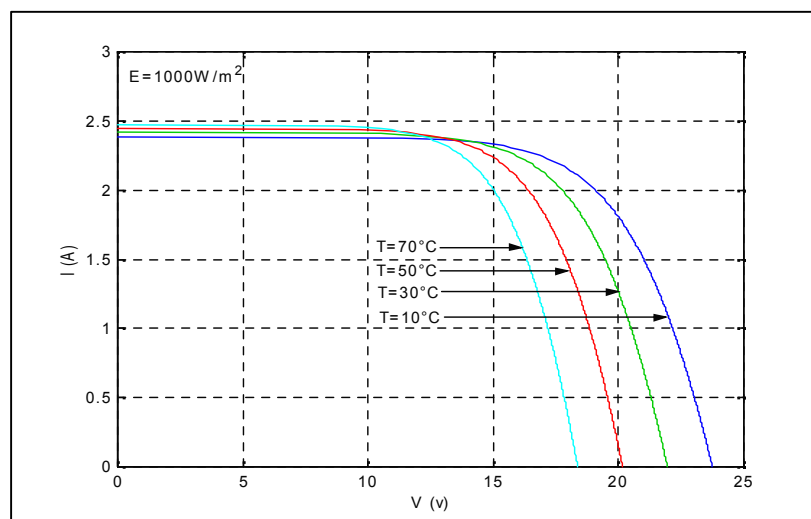


Figure II.10 : Influence de la température sur la caractéristique électrique I-V

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.

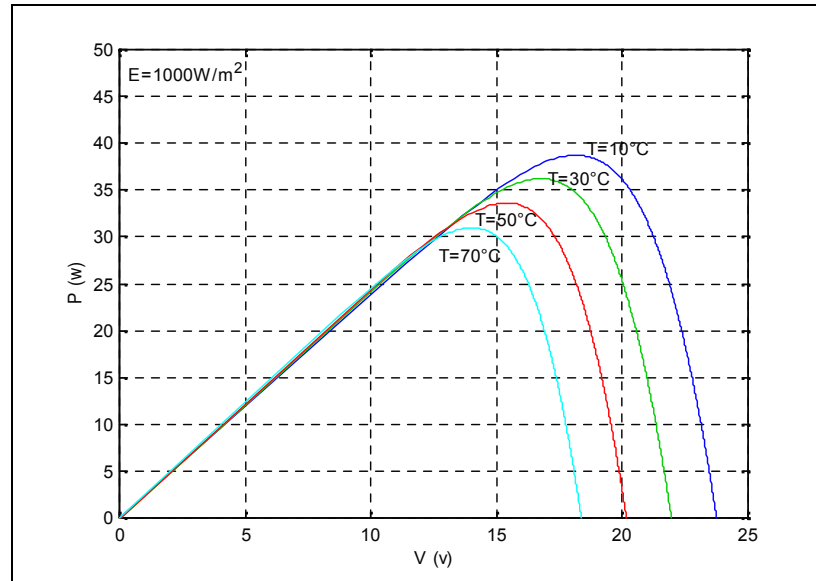


Figure II.11 : Influence de la température sur la caractéristique électrique P-V

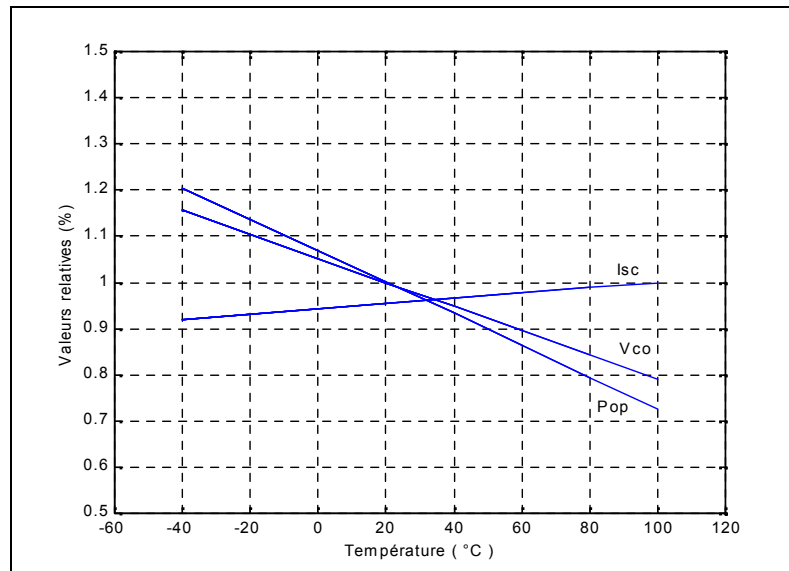


Figure II.12: Influence de la température sur I_{sc} , V_{co} , P_{op}

II-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].

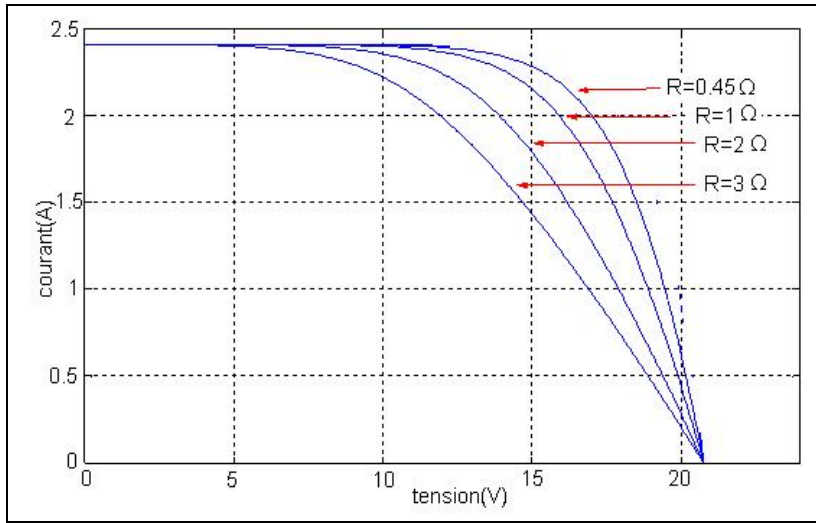


Figure II.13: Influence de la résistance série sur la caractéristique I-V

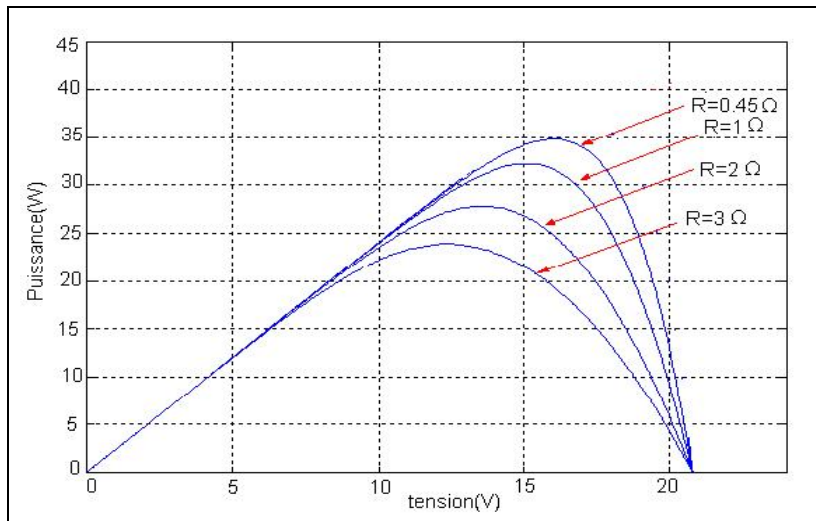


Figure II.14: Influence de la résistance série sur la caractéristique P-V

II-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] :

$$h_{PV} = \frac{I.V}{E.A} \quad , \quad \text{Où } A : \text{surface effective de générateur en } m^2 . \quad (\text{II.19})$$

II-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] :

$$FF = \frac{I_{op}V_{op}}{I_{sc}V_{oc}} \quad (II.20)$$

II-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_{scs}, V_{sco}) obtenue en associant en série (indice s) N_s cellules identiques (I_{cc}, V_{co}) [8]:

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

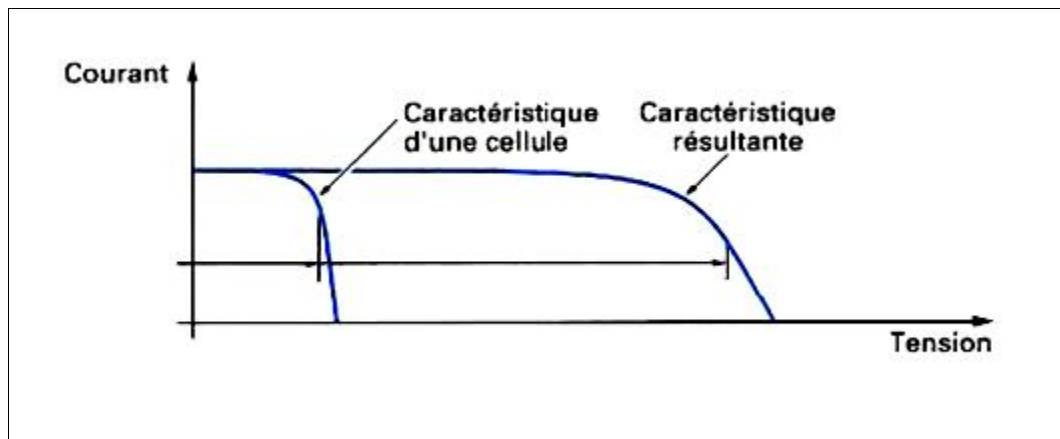


Figure II.15: Caractéristique résultante d'un groupement en série de N_s cellules identiques [8]

II-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 II.15 montre la caractéristique résultante (I_{pcc}, V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) N_p cellules identiques [8]:

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

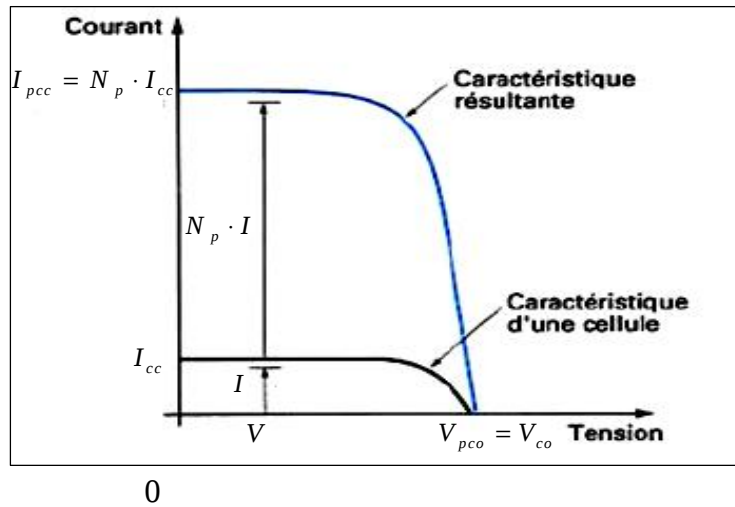


Figure II.16: Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle [8]

II-8-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.

Chapitre III

Les méthodes de poursuite du point de puissance maximale 'MPPT' et MPPT-GA

III-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 le techniques de recherche de point de puissance maximale (MPP) du générateur photovoltaïque.

L'objectif de ce chapitre est l'élaboration d'une structure de commande MPPT basé sur AG (MPPT-AG), afin d'atteindre le PPM quelques soient les conditions climatiques. On donne les observations, les interprétations des résultats et on termine par les conclusions qu'on peut tirer à partir de ces résultats.

III-2 PRINCIPE DU MPPT :

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de

sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (*température et l'éclairement*), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{MPP} , I_{MPP}).

L'adaptation d'impédance est souvent sous forme d'un convertisseur DC – DC comme représenté sur la figure III.1.

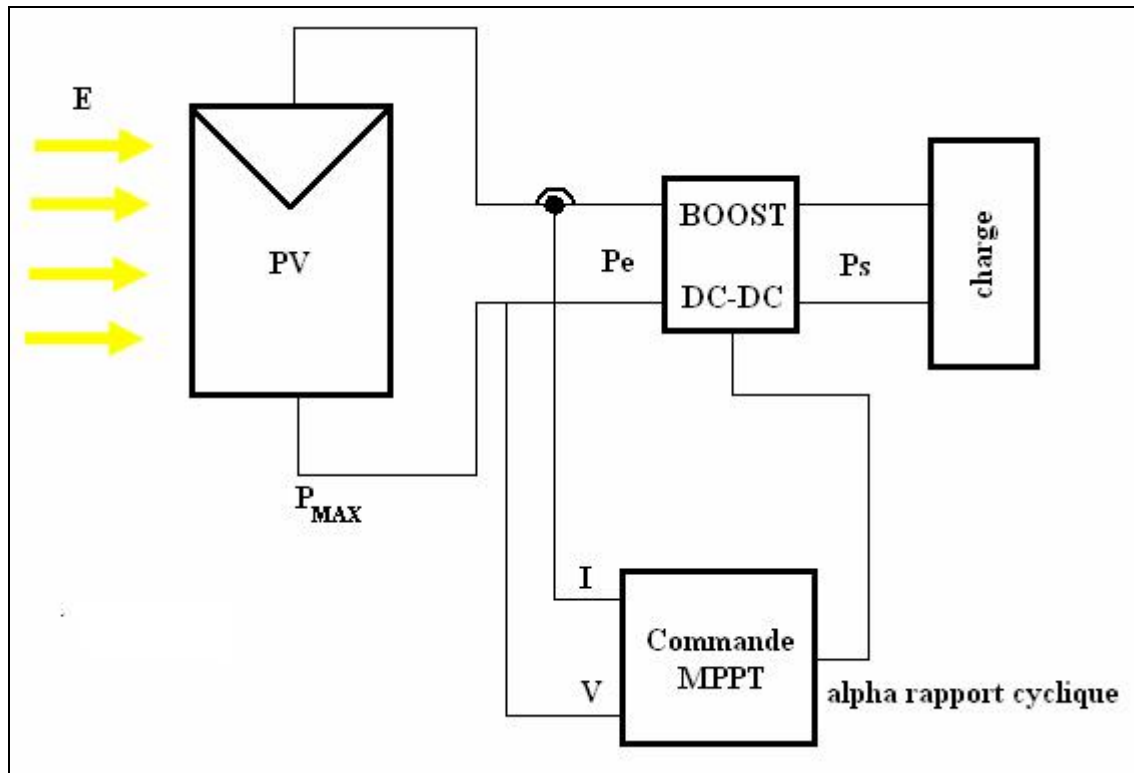


Figure III.1 : Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT

III-2.1 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 h_{pv} est défini selon l'équation (III.1).

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 h_{MPPT} permet de mesurer l'efficacité de la commande. En fait on peut l'appeler aussi rendement de la commande.

$$h_{MPPT} = \frac{P}{P_{MAX}} \quad (III.1)$$

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 h_{CONV} , généralement fourni par les documents constructeurs est défini par l'équation (III.2), en notant P_s la puissance délivrée en sortie du convertisseur.

$$h_{CONV} = \frac{P_s}{P_e} \quad (III.2)$$

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

$$h_{TOTAL} = h_{PV} \cdot h_{MPPT} \cdot h_{CONV} \quad (III.3)$$

III-2.2 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.2) ; on perturbe la tension de fonctionnement avec (ΔV) et on observe la variation (ΔP) de la puissance électrique. Si (ΔP) 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 (ΔP) 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.

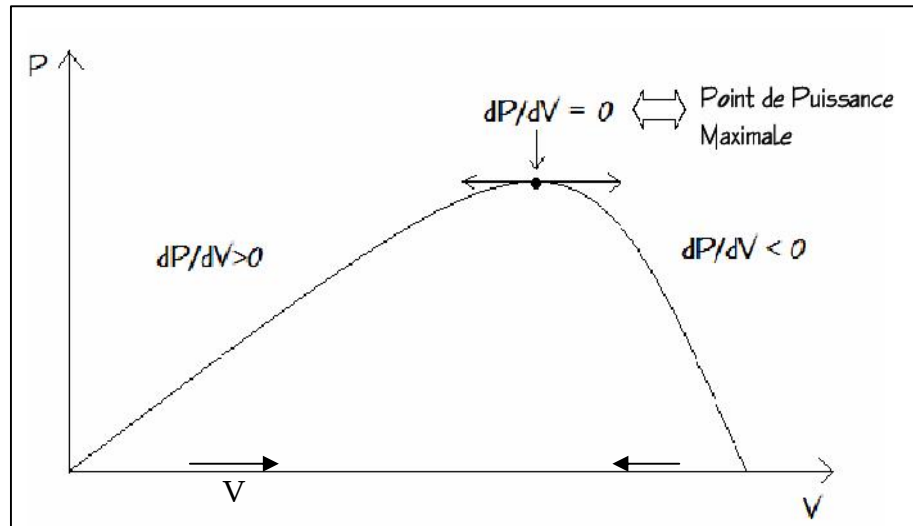


Figure III.2: Caractéristiques de fonctionnement de la méthode de Perturbation puis observation

La figure III.3 montre l'organigramme de la méthode de P&O qui est récapitulé dans le Tableau suivant :

Perturbation de la tension	Observation de la puissance	Prochaine Perturbation
Positive (+)	Positive (+)	Positive (+)
Positive (+)	Négative (-)	Négative (-)
Négative (-)	Positive (+)	Négative (-)
Négative (-)	Négative (-)	Positive (+)

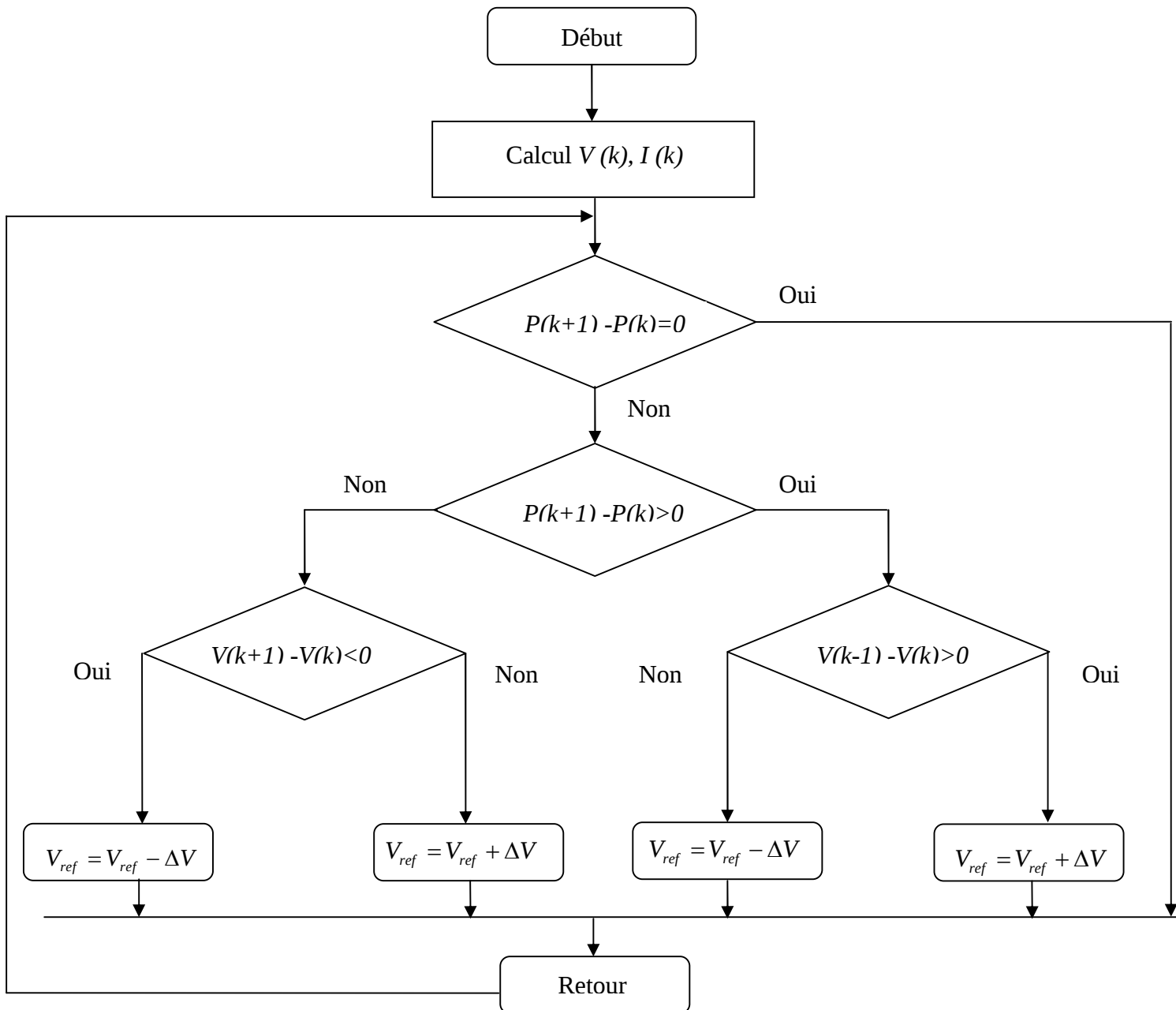


Figure III.3 : L'organigramme de la méthode de P&O

III.3 ALGORITHME GENETIQUES

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : sélections, croisements, mutations, etc. Ils appartiennent à la classe des algorithmes évolutionnaires [14]. On peut dire que l'algorithme génétique est une méthode de programmation qui repose sur le principe de l'évolution pour effectuer la recherche d'une solution adéquate à un problème.

III.3.1 Principe :

Cette classe d'algorithme travaille sur une population d'entités abstraites munies d'un génotype formel (par exemple une suite de bits formant un octet : 10010001). Ce dernier possède une signification relative au problème posé, et il en constitue une solution potentielle. Partant d'une population construite aléatoirement, c'est-à-dire où chaque individu a un génotype différent, choisi au hasard, l'algorithme évalue la qualité de la solution proposée par chaque individu. Cette évaluation correspond à la notion biologique d'adaptation dans un écosystème. Les meilleurs individus sont alors sélectionnés pour appartenir à la génération suivante. Ils sont croisés entre eux, à l'image de la reproduction sexuée [14]:

Les génotypes se recombinent par paire. Enfin, quelques individus choisis au hasard voient leur génotype modifié de façon aléatoire, ils subissent une mutation. La nouvelle génération est ainsi constituée, et le processus recommence jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit respecté.

Il existe de nombreuses variantes à cet algorithme, les algorithmes génétiques étant regroupés selon un paradigme de programmation, c'est-à-dire une méthode générale qu'il faut adapter pour des applications précises. Par exemple, il peut ne pas y avoir de mutation, ou bien la population peut être de taille fixe et évoluer pendant une durée déterminée à l'avance, comme elle peut être de taille variable.

III.3.2 Présentation des algorithmes génétiques :

Le premier pas dans l'implantation des algorithmes génétiques est de créer une population d'individus initiaux. En effet, les algorithmes génétiques agissent sur une population d'individus, et non pas sur un individu isolé. Par analogie avec la biologie, chaque individu de la population est codé par un *chromosome* ou *génotype*. Une population est donc un ensemble de chromosomes. Chaque chromosome code un point de l'espace de recherche. L'efficacité de l'algorithme génétique va donc dépendre du choix du codage d'un chromosome [15].

Dans l'algorithme génétique de John Holland, un chromosome était représenté sous forme de chaînes de bits contenant toute l'information nécessaire à la description d'un point dans l'espace ce qui permettait des opérateurs de sélection, croisement et de mutation simple.

III.3.2.1 Fonction d'évaluation et fonction fitness :

La traduction algorithmique de l'adjectif faible et fort appliqué aux individus conduit à définir une fonction sélective (fonction fitness) qui permet d'associer une valeur à chaque individu

de la population. Cette valeur est dite valeur sélective de l'individu. La fonction sélective f est souvent une transformation g de la fonction objective ($f(x)=g(o(x))$) [14].

L'application des opérateurs génétiques sur des individus jugés par une fonction sélective particulière, permet d'explorer l'espace des solutions à la recherche d'un extremum.

Généralement, quand l'AG est appliqué, il est fait dans une manière qui implique les étapes suivantes [14]:

- ✓ Evaluer la fonction sélective de tous les individus dans la population.
- ✓ Créer une nouvelle population en exécutant des opérations tel que la sélection proportionnelle, le croisement, et la mutation sur les individus dont la fonction sélective a été juste mesurée.
- ✓ Abandonner l'ancienne population et répéter les mêmes étapes avec la nouvelle population.

Pour calculer le coût d'un point de l'espace de recherche, on utilise une *fonction d'évaluation*. L'évaluation d'un individu ne dépendant pas de celle des autres individus, le résultat fournit par la fonction d'évaluation va permettre de sélectionner ou de refuser un individu pour ne garder que les individus ayant le meilleur coût en fonction de la population courante : c'est le rôle de la fonction *fitness*. Cette méthode permet de s'assurer que les individus performants seront conservés, alors que les individus peu adaptés seront progressivement éliminés de la population [16].

III.3.2.2. Codage et décodage des variables :

Le codage des variables est une étape importante dans l'optimisation des algorithmes génétiques. A chaque paramètre, on doit faire correspondre à un gène.

Sachant qu'un ensemble de gènes représente un chromosome, chaque dispositif est présenté par un individu doté d'un génotype constitué d'un ou de plusieurs chromosomes. La population sera un ensemble de N individus, qui évoluera d'une génération à une autre.

Pour un codage binaire, un gène est représenté par un nombre dont la longueur est exprimée en bits. Différents codes peuvent être utilisés pour le codage : Gray, binaire, réelle.

Un des avantages du codage binaire est la facilité avec laquelle on peut représenter différents d'objectifs : les réelles, les entiers, les valeurs booléennes, les chaînes de caractères. Pour passer d'une représentation à une autre, il suffit d'utiliser des fonctions de codage ou de décodage [17].

Pour mieux expliquer cette procédure on considère l'espace de recherche fini.

$$x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \quad i \in [1, n] \quad \text{(III.4)}$$

n : le nombre de paramètres

Pour coder des variables réelles en binaire est sur m bits. L'espace de recherche est subdivisé en $(2^m - 1)$ valeurs discrètes.

A chaque variable x_i , on associe un entier y_i tel que :

$$y_i = \sum_{i=0}^{m-1} b_i * 2^i \quad (\text{III.5})$$

Ou chaque b_i est codé sur un bit et m représente le nombre de bits. Les formules de codage et de décodage sont alors représentés par les formules (III.6) et (III.7)

$$y_i = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} y_{\max} \quad (\text{III.6})$$

$$x_i = x_{i\min} + (x_{i\max} - x_{i\min}) \frac{y_i}{y_{\max}} \quad (\text{III.7})$$

III.3.2.3 Sélection des parents :

La sélection est le premier arbitre décidant de la vie et de la mort des individus, c'est pourquoi elle est un élément primordial du bon fonctionnement d'un algorithme génétique.

Cette étape permet de choisir les individus qui vont accéder à la génération intermédiaire, pour se reproduire et former la nouvelle génération. Chaque couple d'individus parents donne naissance à deux enfants.

III.3.2.4 La recombinaison génétique :

Dans la recombinaison génétique on distingue deux opérateurs principaux : Le croisement et la mutation. Ces deux opérateurs sont la base de la progression des algorithmes génétiques [14].

• Croisement :

A partir de deux individus, on obtient deux nouveaux individus (enfants) qui héritent certaines caractéristiques de leurs parents.

Le croisement sélectionne des gènes par mis deux individus appelés parents. A partir de ces gènes sont générés les enfants. La probabilité de croisement représente la fréquence à laquelle les croisements sont appliqués [16].

- ✓ S'il n'y a pas de croisement, les fils sont l'exacte copie des parents.
- ✓ S'il y a croisement, les fils sont composés d'une partie de chacun de leurs parents.
- ✓ Si la probabilité est de 0%, la nouvelle génération est la copie de la précédente.
- ✓ Si la probabilité est fixée à 100%, tous les descendants sont générés par croisement.

Le croisement est mis en place pour que les nouveaux chromosomes gardent la meilleure partie des chromosomes anciens. Ceci dans le but d'obtenir, peut-être, de meilleurs chromosomes. Néanmoins, il est quand même important qu'une partie de la population survive à la nouvelle génération.

Pour chaque couple, on choisit au hasard un point de croisement (figure III.4). Le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non au niveau des gènes. Un croisement peut être coupé au milieu d'un gène.

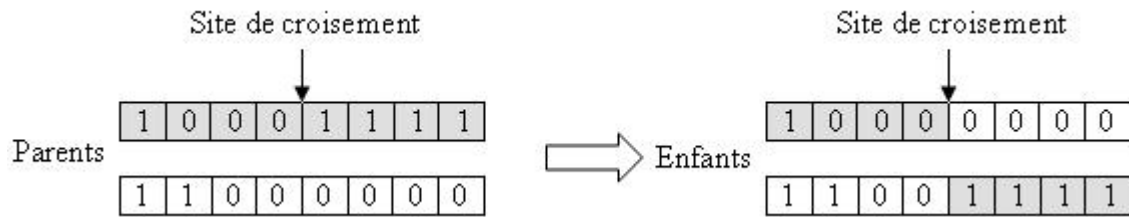


Figure III.4 : Représentation schématique du croisement en un point

• Mutation :

La mutation est traditionnellement considérée comme un opérateur marginal bien qu'elle confère en quelque sorte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité (c.-à-d. tous les points de l'espace de recherche peuvent être atteints). Cet opérateur a un double rôle [16]:

- ✓ celui d'effectuer une recherche locale et/ou de sortir d'une trappe (recherche éloignée).
- ✓ Cet opérateur ne crée généralement pas de meilleurs individus, mais il évite l'établissement de populations uniformes incapables d'évoluer.

La version de base de la mutation, dite mutation simple, consiste à modifier aléatoirement, avec une probabilité P_m faible, la valeur d'un composant de l'individu. Dans le cas du codage binaire, chaque bit $a_i \in \{0; 1\}$ est remplacé selon une probabilité P_m par son inverse $\bar{a}_i = 1 - a_i$. C'est ce qu'illustre la figure III.5. Tout comme plusieurs lieux de croisement peuvent être possibles, nous pouvons très bien admettre qu'une même chaîne puisse subir plusieurs mutations [16].

La mutation génère des «erreurs» de recopie, afin de créer un nouvel individu qui n'existait pas auparavant. Le but est d'éviter à l'AG de converger vers des extrema locaux de la fonction et de permettre de créer des éléments originaux. Si elle génère un individu plus faible l'individu est éliminé. La probabilité de mutation représente la fréquence à laquelle les gènes d'un chromosome sont mutés [16].

- ✓ S'il n'y a pas de mutation, le fils est inséré dans la nouvelle population sans changement.
- ✓ Si la mutation est appliquée, une partie du chromosome est changée.

La mutation est prévue pour éviter au AG de s'enliser dans des optima locaux. Mais si elle est trop fréquente, le AG est orienté vers une recherche aléatoire de la bonne solution.

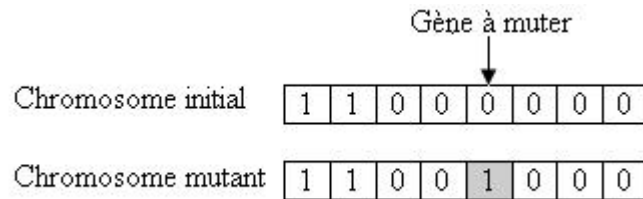


Figure III.5 : Représentation schématique de la mutation simple.

La figure suivante illustre les différentes opérations qui interviennent dans un algorithme génétique de base [15] :

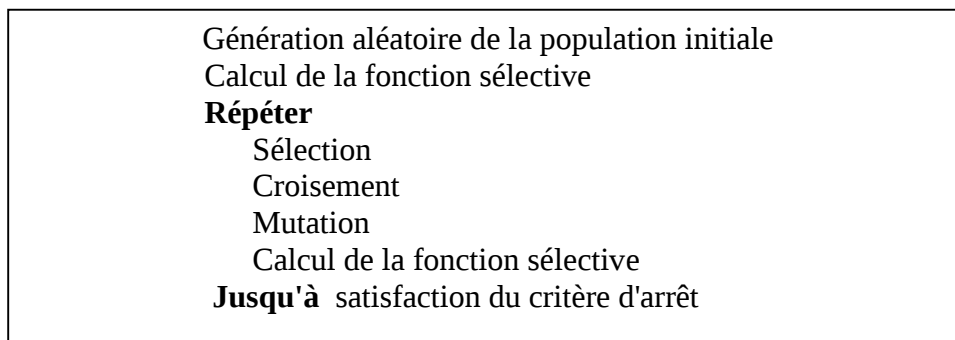


Figure III.6 Algorithme génétique de base.

III.3.3 Critère d'arrêt:

Comme dans tout algorithme itératif, il faut définir un critère d'arrêt. Celui-ci peut être formulé de différentes façons parmi lesquelles nous pouvons citer :

- Arrêt de l'algorithme lorsque le résultat atteint une solution satisfaisante.
- Arrêt s'il n'y a d'amélioration pendant un certain nombre de générations.
- Arrêt si un certain nombre de générations est dépassé.

Dans le détail, ces algorithmes peuvent être résumés, aux opérations indiquées sur l'organigramme de la figure suivante

III-4 CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons présenté les méthodes de poursuite de la puissance maximale et nous avons retenu l'algorithme de Perturbation puis observation (P&O), nous avons aussi présenté en détail les mécanismes d'un algorithme génétique. Les algorithmes génétiques constituent une famille d'algorithmes heuristiques permettant de rechercher l'optimum ou un quasi-optimum des fonctions objectives.

Chapitre IV**Application, résultats et discussion****IV.1 INTRODUCTION**

En raison de changement du point de puissance maximale de fonctionnement en fonction de l'éclairement et de la température (conditions climatiques) une grande importance est donnée au suiveur du point de puissance maximum. Ainsi, les techniques heuristiques basées sur le concept de l'optimisation sont de nos jours de grande importance en raison de leur adaptabilité avec les systèmes photovoltaïques [19].

L'objectif de ce chapitre est l'élaboration d'une structure de commande MPPT basé sur AG (MPPT-AG), afin d'atteindre le PPM quelques soient les conditions climatiques. On donne les observations, les interprétations des résultats et on termine par les conclusions qu'on peut tirer à partir de ces résultats.

De nos jours, les techniques d'optimisation sont appliquées progressivement dans le domaine de l'engineering en raison de leur utilité. Parmi ces techniques, nous trouvons la méthode méta heuristiques (GA) qui donne des résultats plus rigoureux en comparaison avec les autres techniques classique. En jetant un regard rapide sur les caractéristiques courant-tension I-V (figure IV.1-a) et puissance-tension P-V (figure IV.1-b) des rayons photovoltaïques d'un module solaire référencé MSX60 qui est fait l'objet de notre étude expérimentale. Un module est constitué de 36 cellules en séries polycristallin dont les caractéristiques sont données dans l'annexe [A].

Nous constatons clairement la dépendance de la puissance générée d'un système photovoltaïque de l'éclairement et de la température.

Dans ce qui suit, nous présentons une application d'un algorithme P&O sur un système photovoltaïque, ce qui nous permettra de suivre instantanément le point de puissance maximum. Ce dernier change instantanément avec l'éclairement et la température, ce qui implique un ajustement continu de la tension de sortie pour réaliser le transfert de la puissance maximum à la charge. La justification de cette application est due

au fait que les caractéristiques courant-tension et puissance-tension (Figure IV.1) sont non linéaires en raison d'un côté de la non linéarité des systèmes photovoltaïques, et en raison de la variation instantanée de la température et l'éclairement de l'autre côté, ce qui fait qu'en réalité les deux caractéristiques précédents possèdent beaucoup de fluctuations.

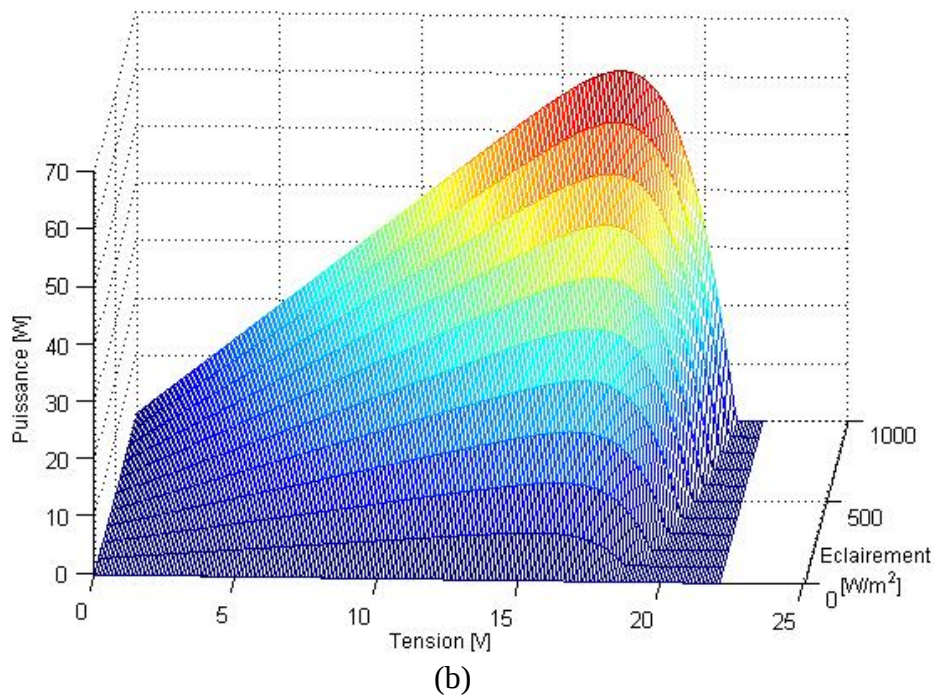
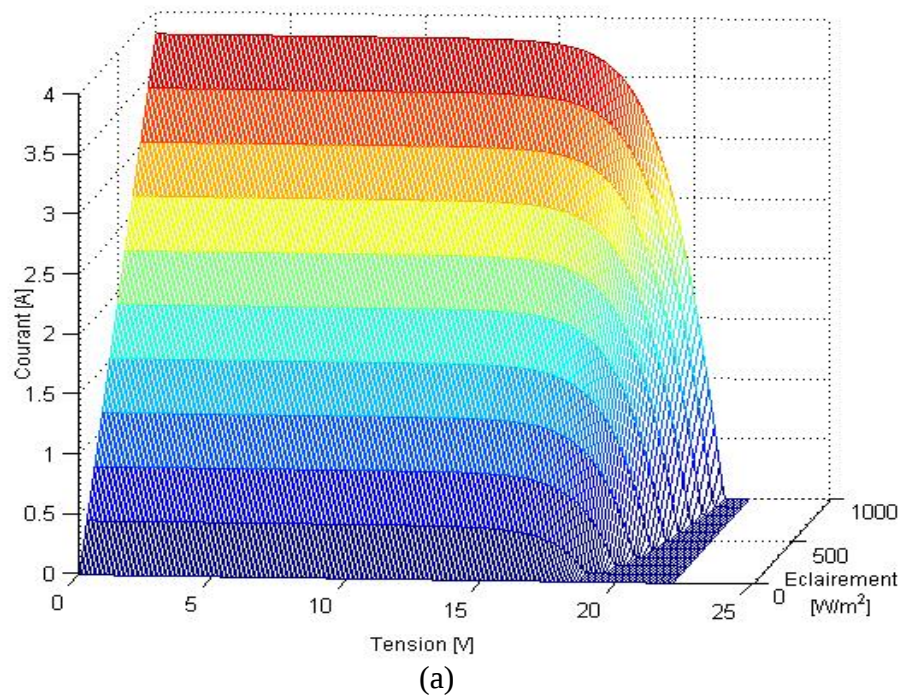


Figure IV.1 : Caractéristique du module photovoltaïque pour différents éclairements.

a) courant- tension b) tension-puissance.

IV.2 TECHNIQUE MPPT-AG:

Le but de ce partie est de résoudre les problèmes d'optimisation de notre système photovoltaïque et trouver la solution optimale (courant et tension) quelque soit les conditions climatique de la température et l'éclairement comme suit:

$$fitness = \begin{cases} P(V, I) / P_{max}; & \text{si } P_{max} < P \\ 0; & \text{si non} \end{cases} \quad (IV.1)$$

La puissance donnée par relation (IV.3) est la fonction objective ou fitness du notre problème qui est en fonction le courant et la tension. Le problème de maximisation est soumis aux contraintes d'égalité et d'inégalité suivante:

$$V < V_{max} \text{ et } p < P_{max}$$

La Figure IV.2. est représentés l'organigramme de l'algorithme génétique pour l'optimisation le système photovoltaïques MPPT-AG.

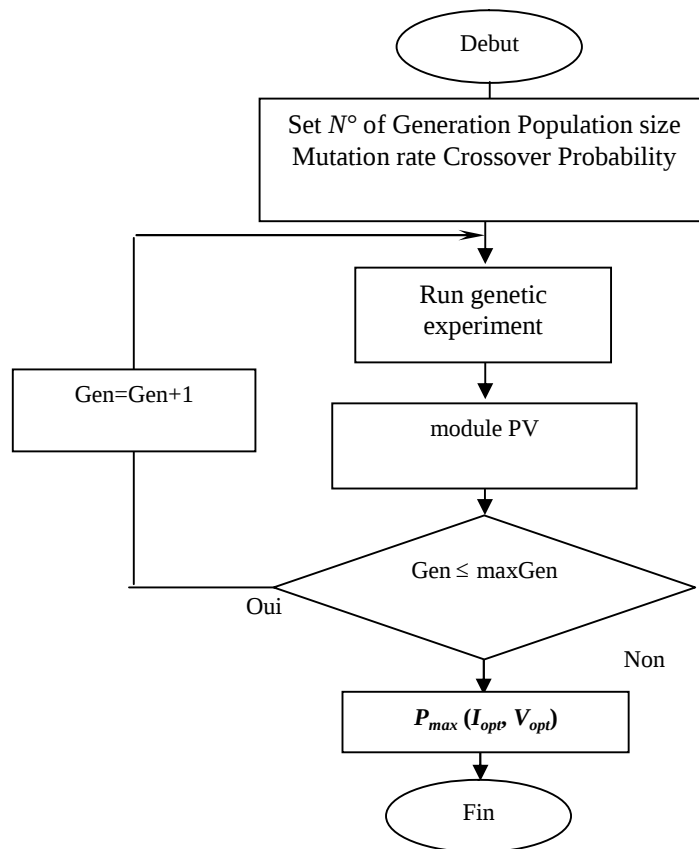


Figure I.2. Organigramme de l'algorithme génétique MPPT-AG.

IV.3. RESULTATS DES SIMULATIONS ET DISCUSSION

Le programme a été élaboré dans l'environnement MATLAB. Le programme a été exécuté sur un Pentium 4 avoir 2.4 GHZ 1GB de RAM DDR.

La paramètres et les constante de l'AG est données :

$N = 50$, $P_C = 0,9$, $P_M = 0,03$, $K_{\max} = 50$.

Les valeurs et les résultats de ce problème d'optimisation sont présentés dans les simulations montrées en tests. Ces résultats de simulation est de l'application de la technique AG qui nous avons voyons clairement la variation de la MPOP quel que soit la variation de l'isolation et la température avec une grande précision (Figure IV.3 - IV.4).

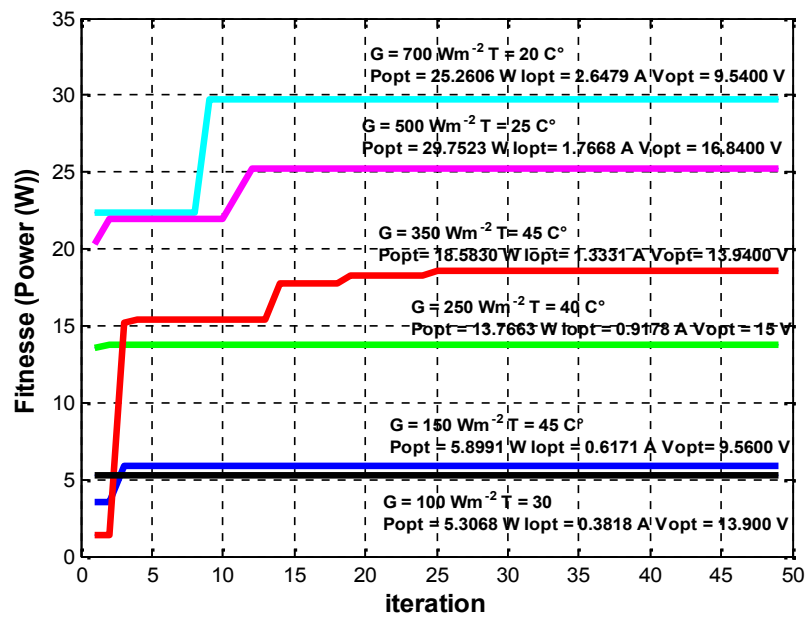


Figure IV.3 : Convergence des AG dans des conditions différentes

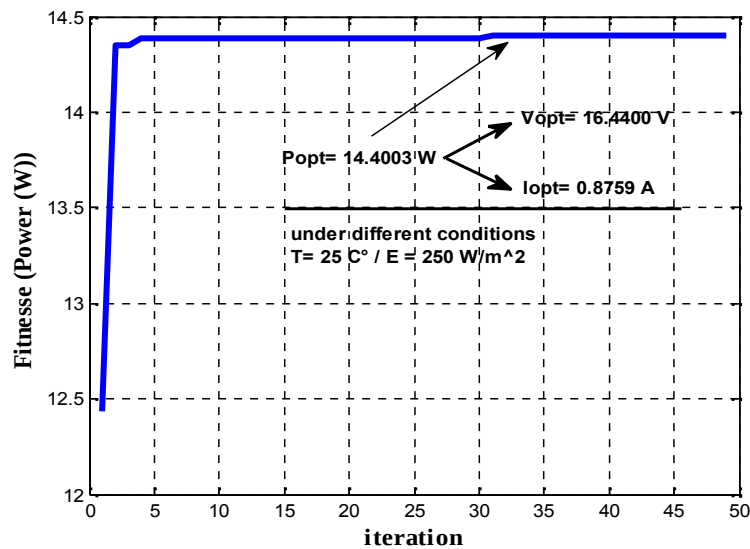
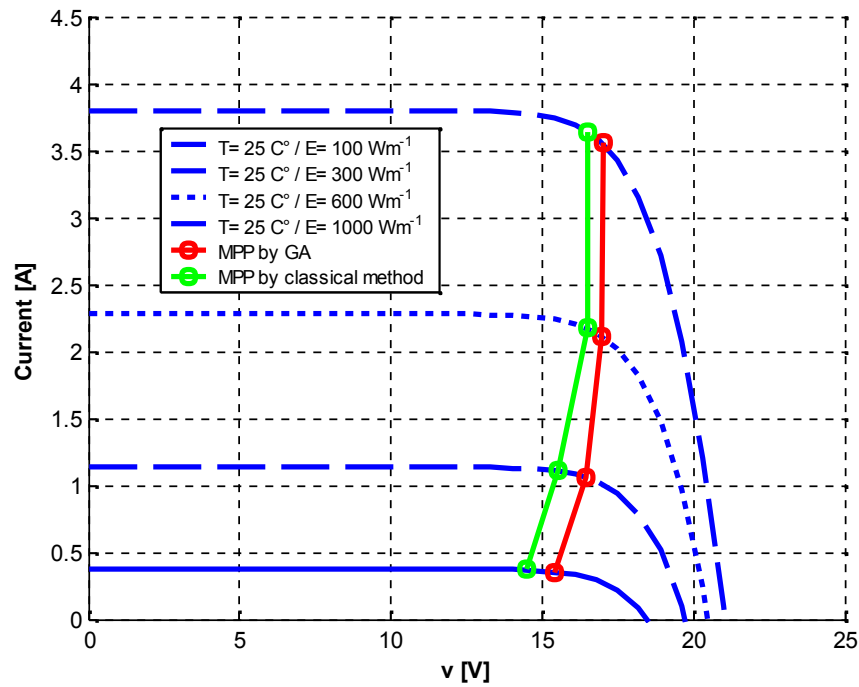
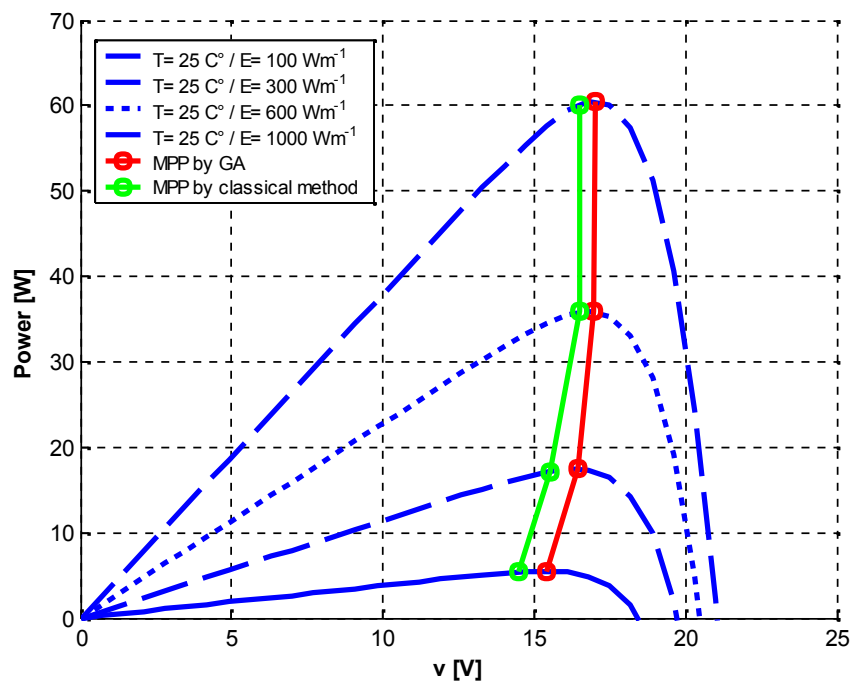


Figure IV.4 : Convergence des AG pour $T = 25^{\circ}C$ et $E = 250 Wm^{-2}$

La convergence où la solution optimale en utilisant l'AG est montrée dans la figure IV.3 et 4, d'après 25 itérations. L'AG s'arrête après 50 itérations et trouver la valeur optimale.



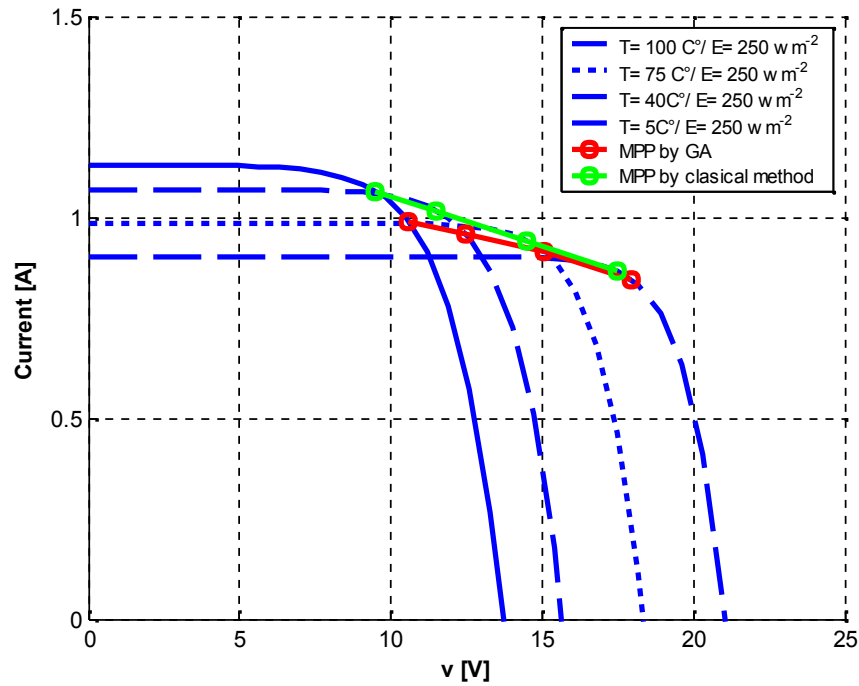
(a)



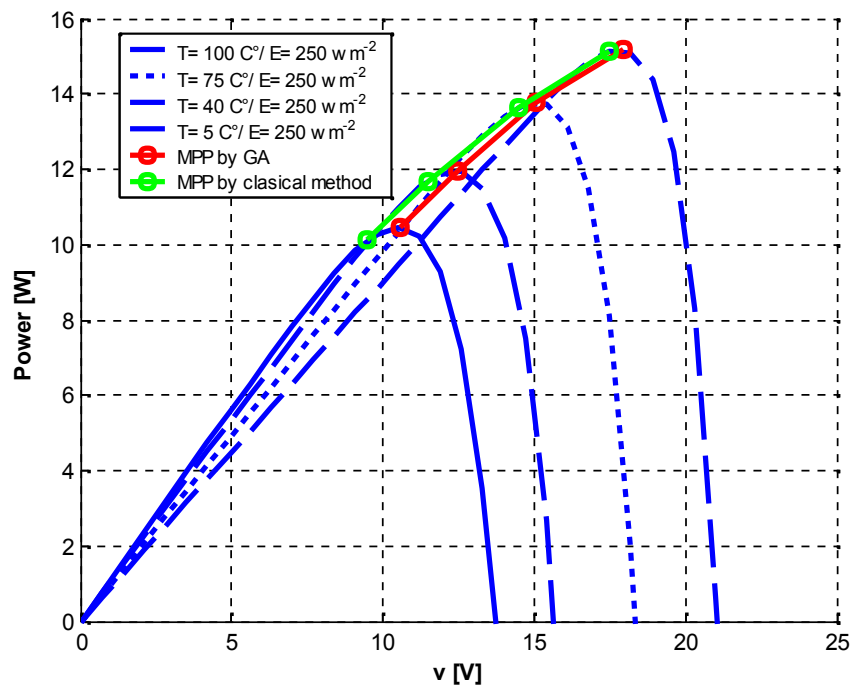
(b)

Figure IV.5 : comparaison les caractéristiques photovoltaïques avec différentes valeurs de l'isolation.

a) courant-tension b) puissance-tension



(a)



(b)

Figure IV.6 : comparaison les caractéristiques photovoltaïques avec différentes valeurs de la température.

a) courant-tension b) puissance-tension

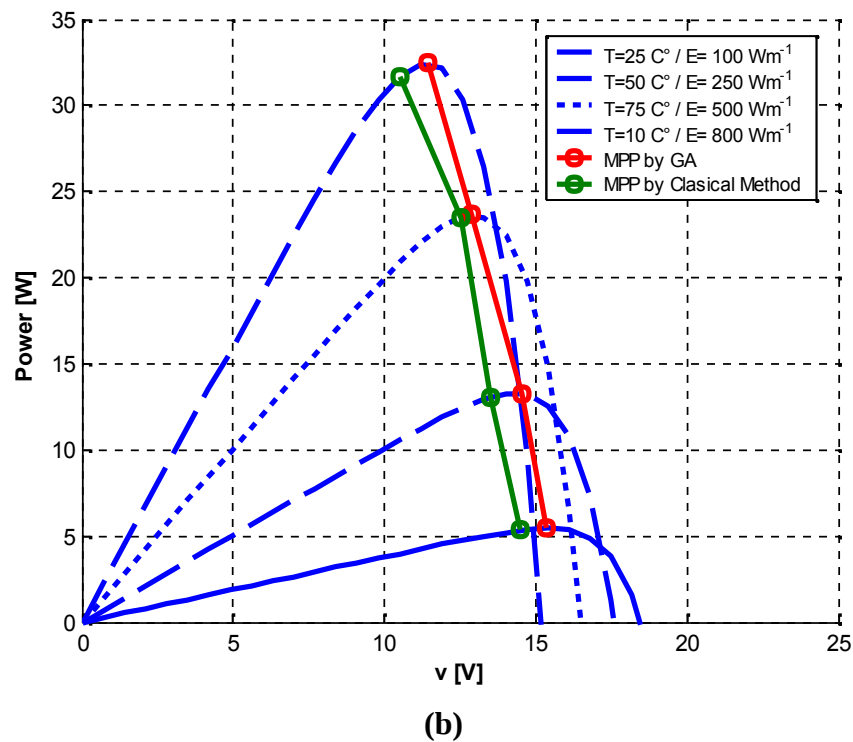
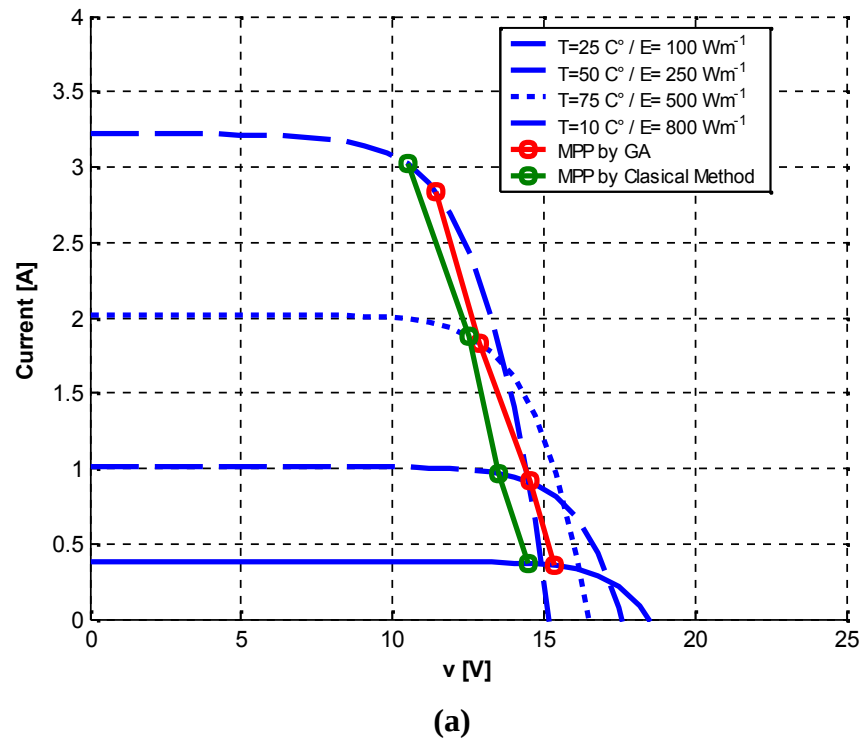


Figure IV.7 : comparaison les caractéristiques photovoltaïques avec différentes valeurs de isolation et la température.
a) courant-tension b) puissance-tension

La figure IV.5-7 présentés la comparaison des caractéristiques du générateur photovoltaïque PV obtenus en utilisant les deux méthodes : la technique MPPT-AG et la méthode classique l'algorithme MPPT-P&O. On peut constater on utilisant l'algorithme MPPT-AG proposées par rapport la méthode classique l'algorithme MPPT P&O est très meilleur dans trouve le point maximale de la puissance MPP du générateur photovoltaïque le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque.

IV.3.1 Application MPPT-GA: Simulations en temps réel

Donc de même manière du simulation le technique précédemment, il est nécessaire d'utiliser les données d'ensoleillement et température d'une location spécifique durant 24 heures. Et Pour choisi les même données à travers la région de Golden, Colorado en 14 Juillet 2009 et 14 Mars 2010 parce que ces données sont disponibles à faire, en plus, on y confiant de son exactitude [18].

La première journée du 14 Juillet 2009 présente un bon ensoleillement tout au long de la journée avec de petites variations d'irradiations lumineuses entre 12h et 14h et en fin d'après-midi. Au contraire, la deuxième journée du 14 Mars 2010 fut très nuageuse où l'éclairement peut atteindre la valeur $G = 356.35 \text{ W/m}^2$, $T = 1.226 \text{ }^\circ\text{C}$ à l'instant $t = 8\text{h}27$. (Figures IV.8 et IV.9).

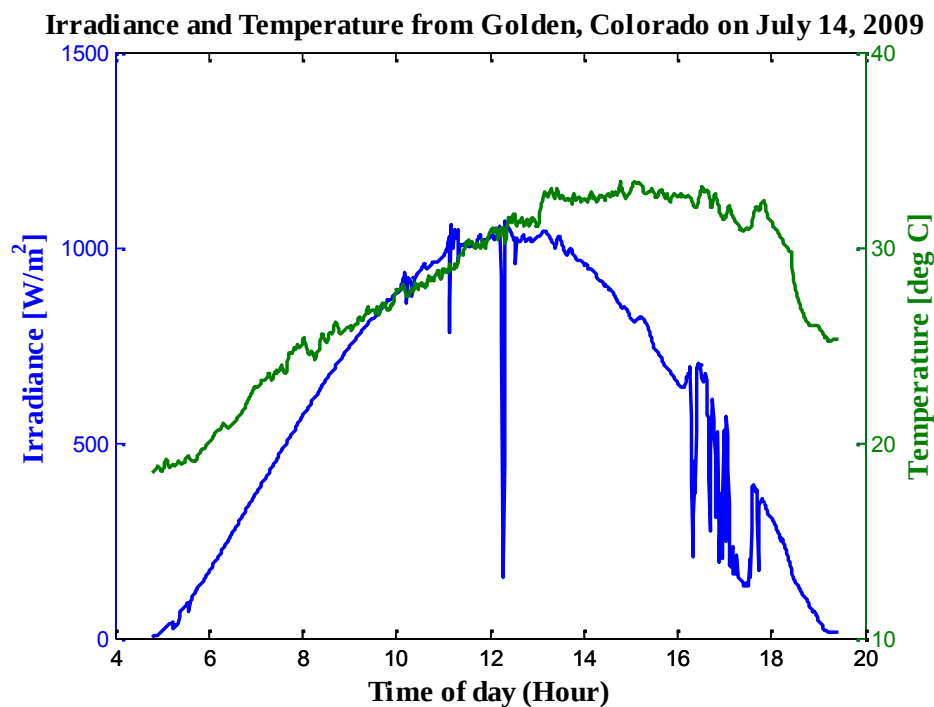


Figure IV.8 Données d'Ensoleillement et température d'un jour ensoleillé.

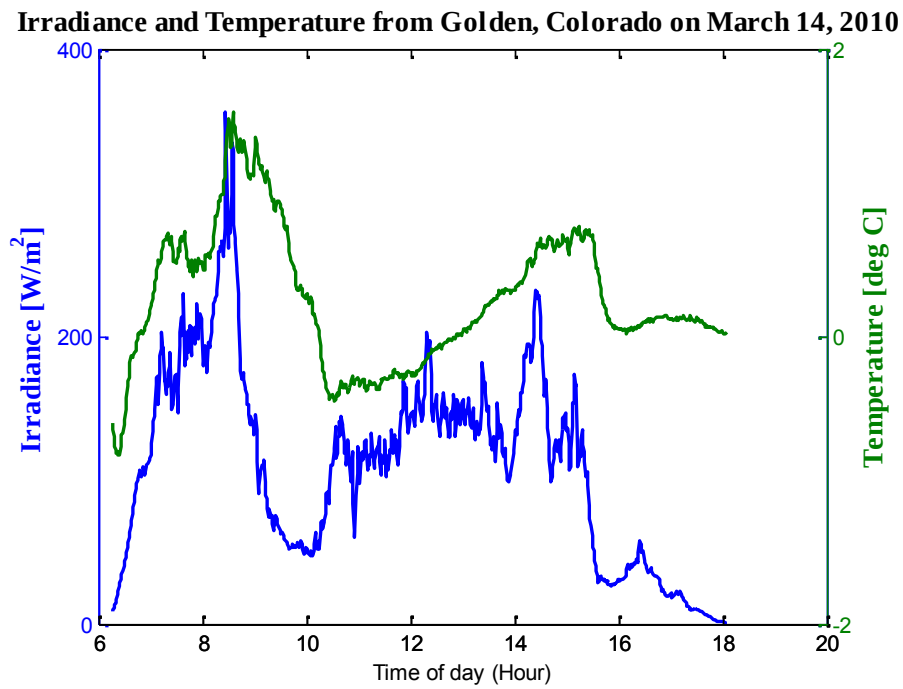


Figure V.9 Données d'ensoleillement et température d'un Jour nuageux.

IV.3.1.A. Simulation 1 : conditions d'un jour ensoleillé

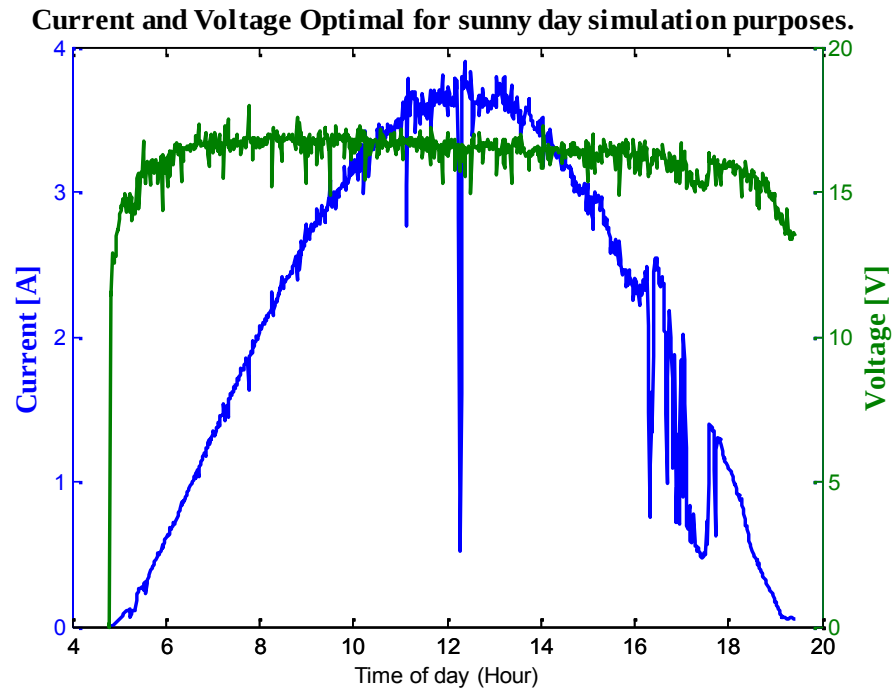


Figure IV.10 Courant et tension optimaux d'un jour ensoleillé.

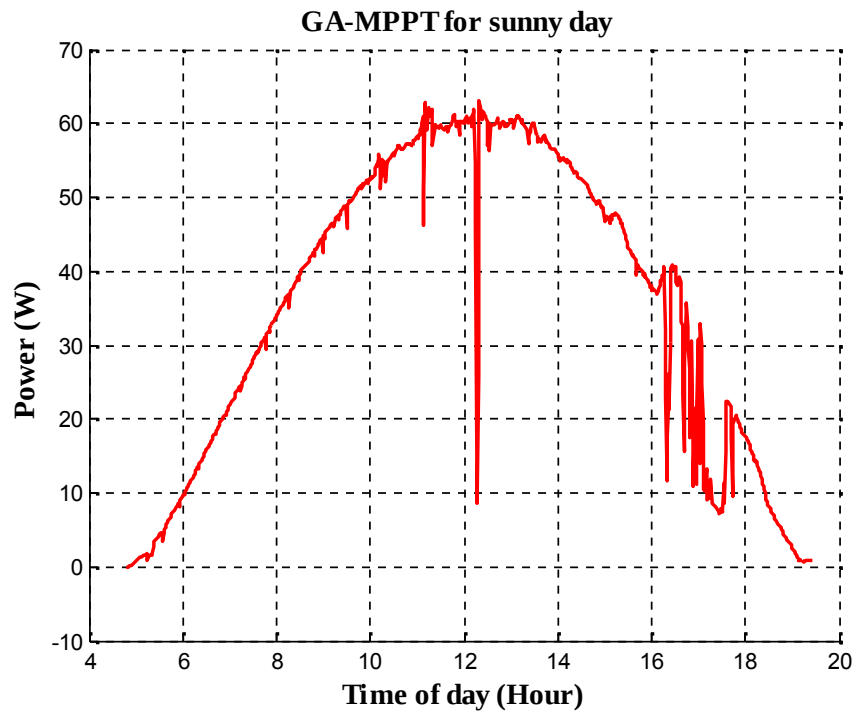


Figure IV.11 puissance optimale d'un jour ensoleillé.

IV.3.1.B. Simulation 2: conditions d'un jour Nuageux

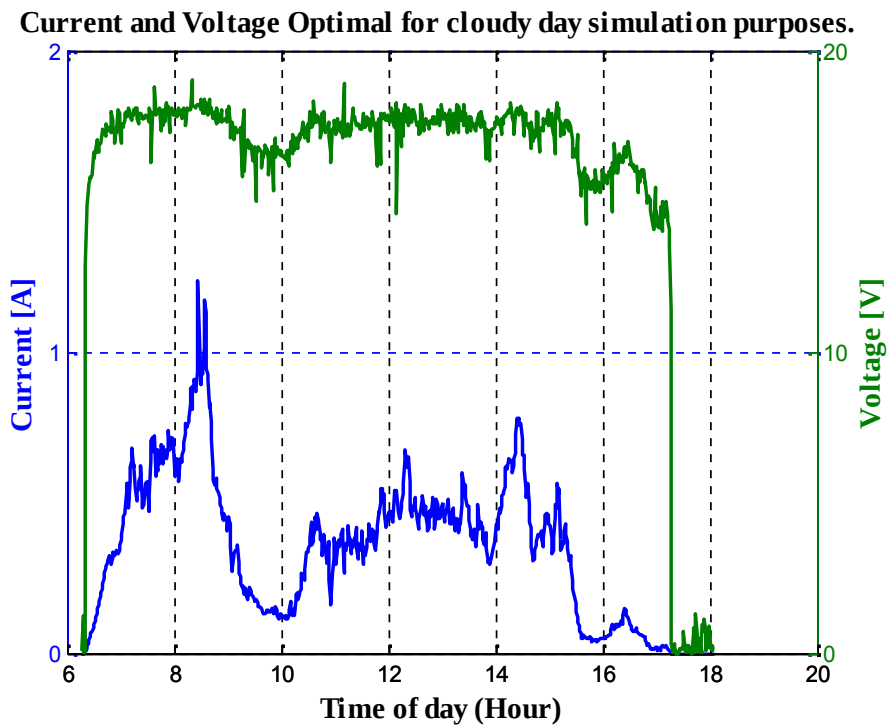


Figure IV.12 Courant et tension optimaux d'un jour nuageux.

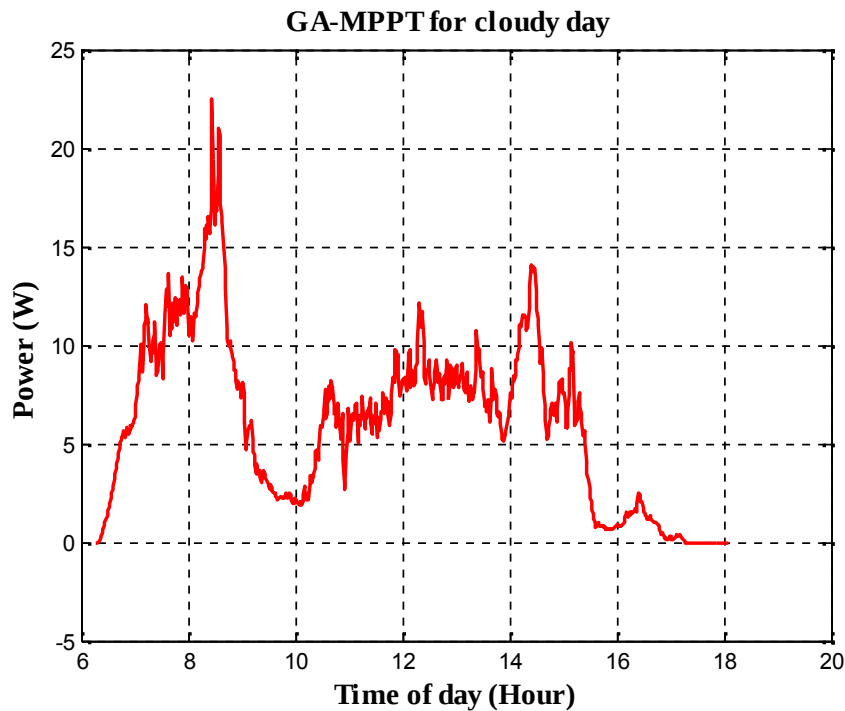


Figure IV.13 puissance optimale d'un jour nuageux.

De toute évidence, le système fonctionne beaucoup mieux dans des conditions ensoleillées. Les données utilisées pour la journée nuageuse ont laissé tomber la puissance maximale de PV d'environ 80%, indiquant que le maximum de deux pouvoirs consécutifs de journées nuageuses peuvent être traités par le système. Toutefois, étant donné la diminution importante de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, il peut avoir été un autre facteur (la neige par exemple) qui n'aurait pas eu une telle question à une latitude plus basse. Par conséquent, je recommande que des simulations soient exécutées pour plusieurs scénarios de plus par jour nuageux. En outre, une simulation dans laquelle une journée nuageuse est suivie par une journée ensoleillée peut nous donner une idée de la rapidité avec laquelle le système serait en mesure de rebondir à condition normale.

IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous présentons les techniques d'optimisation MPPT-AG, qui calculent instantanément le point de puissance maximum PPM d'un module photovoltaïque afin de maximiser le profit de puissance avec les contraintes du changement instantané des conditions climatiques. On peut dire que ces techniques basées sur les méthodes métaheuristiques (MPPT-AG) sont la meilleure technique utilisée pour suivre la puissance optimale PPM en comparaison avec les autres MPPT classiques (P&O).

CONCLUSION GÉNÉRALE

A la fin de ce modeste travail on peut dire que notre contribution a été axée sur l'énergie solaire qui en plus d'être renouvelable est aussi d'une flexibilité utile, cette énergie qui est fournie par des générateurs photovoltaïque caractérisés par un point où la puissance est maximale.

Ce point se déplace en fonction des conditions atmosphériques, un mécanisme de poursuite s'avère indispensable pour une efficacité meilleure du générateur. A travers ce projet, les AGs est proposée afin de maximiser le profit en termes d'énergie qui alimentant la charge ce qui signifie la minimisation des pertes d'énergie.

On peut dire après la comparaison des techniques d'optimisation MPPT-AG aux les autres MPPT classique a été présenté, pour le calcul instantanément le point de puissance maximum PPM d'un module photovoltaïque afin de maximiser le profit de puissance avec les contraintes du changement instantané de les conditions climatiques. ces techniques basé sur les méthodes métaheuristique (MPPT-AG) est la meilleure technique utilisée pour suivre la puissance optimale PPM qui remarquent elle converge rapidement à la solution optimale avec un nombre d'itération minimale.

Et après les différents résultats de sortie du générateur photovoltaïque pour différentes valeurs d'insolation et de température, ont été obtenus en simulant les contrôleurs MPPT basé sur GA et P&O, on peut dire que les résultats obtenus à partir les contrôleurs MPPT-GA sont très satisfaisants.

ANNEXE :

Fiche technique d'un module MSX-60, sous ($G = 1000 \text{ W/m}^2$ et $T = 25^\circ\text{C}$)

Spécification du module solaire (donnée du fabricant)	
Température des conditions standards ou de références (T_{ref})	25°C
Eclairement des conditions standards ou de références (G_{ref})	1000 W/m^2
Puissance crête maximale (P_m)	60W
Tension de crête maximale (V_m)	17.1V
Courant de crête maximale (I_m)	3.5A
Courant de court-circuit (I_{sc})	3.8A
La tension de circuit ouvert	21.1V
Coefficient de la température de la tension de circuit ouvert α	-73 mA/°C
Coefficient de la température du courant de court-circuit β	3mA/°C
Tolérance sur puissance de crête	-0.38W/°C
Température nominale de fonctionnement (NOCT)	49°C

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Yannick Veschetti, "Modélisation, caractérisation et réalisation de nouvelles Structures Photovoltaïque sur substrat de silicium mince". Thèse de Doctorat, Université Louis pastor, Strasbourg 2005.
- [2] Alain Bilbao Learreta, "Réalisation de commandes MPPT numériques", Diplôme ingénieur technique Industriel Toulouse 2004
- [3] Rezzoug Mouhamed Ridha , "Etude et conception d'un positionneur automatique de panneau solaire Mémoire de Magister. université d'Oum El Bouaghi 2005.
- [4] Mme Barkani Aicha, "Simulation d'un système photovoltaïque à thyristor Couplage à un moteur à, Courant continu", Mémoire de fin d'étude ingénieur, Oum El Bouaghi, université d'Oum El Bouaghi 2001.
- [5] Valérie Pommier, Marc Budinger, Gilles pérusot, "Les énergies renouvelables étude et optimisation du fonctionnement d'un Système photovoltaïque" Toulouse 2005.
- [6] A.Betka "perspectives for the sake of photovoltaic pumping development in the south" Thèse de doctorat, université de Batna
- [7] H. Mehires et M.C. Sekal, "Mis en oeuvre d'un ordinateur mono carte pour la caractérisation d'un générateur", Mémoire de Fin d'Etude pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat en Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, Promotion Juin 2007.
- [8] S. Rodriguez, "Réalisation d'un étage d'adaptation pour générateur photovoltaïque à partir d'un girateur de puissance", Diplôme : Ingénieur Technique Industriel, Université ROVIRA I VIRGILI, Espagne Juin 2008.
- [9] A. Tsamda et K. Mahmoud, " Développement d'un logiciel de dimensionnement des installations photovoltaïques ", Mémoire de Fin d'Etude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, Promotion Juin 2007.
- [10] Z. Bendjellouli, "Contribution à la modélisation d'une cellule", Mémoire de Magistère, Université de Bechar, 28 Juin 2009
- [11] S. Ameziane, "Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien", Mémoire de Magistère, Université de Batna, Laboratoire des Systèmes Propulsion-Induction Electromagnétiques LSP-IE Batna 01 juillet 2009.

- [12] M. Boudjema et N. Belhaouas, "Commande d'une poursuite du point de puissance maximum MPPT par les Réseaux de Neurones et implémentation sur FPGA et DSP", Mémoire de Fin d'Etude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, Promotion Juin 2007.
- [13] D. Bellala, "Contribution à l'optimisation des systèmes de conversion d'énergie. Application aux systèmes photovoltaïques", Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Batna.
- [14] D.E. Goldeberg, "*Genetic Algorithms in search, Optimization and Machine learning*", Addison-Wesley, 1989.
- [15] C. Eyquem et A. Montaut, "*Les Algorithmes Génétiques*" 21 juin 2001.
- [16] C. Bontemps, "*Principes Mathématiques et Utilisations des Algorithmes Génétiques*", 18 Novembre 1995.
- [17] F. Bouziani et L. Badji, "*Application des Algorithmes Génétiques en Identification et en commande des processus*", Mini Projet, Ecole National Département Génie–électrique, Promotion 2000/2001.
- [18] National Renewable Energy Laboratory (NREL) Daily plot and Raw Data Files March 08, 2010 and May 11, 2009 (downloaded from http://www.nrel.gov/midc/srrl_bms/).
- [19] G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model", Journal of Electrical & Electronics Engineering. Australia, IE Aust. Vol.21.No.1. 2001, PP.49-56.
- [19] M. Belhadj, "Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome ", Mémoire de Magistère, Centre Universitaire de Bechar, 2007/2008.
- [20] M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007
- [21] O. Gergaud, "Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur", Thèse de Doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan
- [22] I. Vechiu, "Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome", Thèse de Doctorat, Université de Havre, France 15 Décembre 2005.

L'énergie solaire représente certainement la source d'énergie renouvelable la plus élégante. Les panneaux solaires, bien qu'ils soient de plus en plus performants, ont des rendements qui restent assez faibles (autour de 20%), c'est pourquoi il faut exploiter le maximum de puissance qu'ils peuvent générer en réduisant au maximum les pertes d'énergie.

Plusieurs critères d'optimisation de l'efficacité des systèmes photovoltaïques étaient appliquée, et des techniques suivies pour avoir une adaptation et un rendement élevé. La méthode MPPT (Maximum Power Point Tracking) rentre en compte ici, elle fait appel à plusieurs techniques, à savoir les techniques traditionnelles: numériques, analogiques et analytiques ou les technique basées sur l'intelligence artificielle telle que les réseaux de neurones, la logique floue, le neurone- flou, les algorithmes génétiques (GA).

Dans ce sens, l'optimisation par les méthodes méta éristique (GA) sera l'objectif primordial de notre travail, pour détecter le point de puissance maximale (émanent du générateur photovoltaïque) dans un système photovoltaïque sous différentes conditions climatiques. Afin de valider l'importances des telles méthodes, on va la comparaisons avec la célèbre méthode classique dite Perturbation et Observation (P&O) où l'on cherche toujours à avoir un algorithme dit efficace.

Mots clé: Les panneaux solaires PV, MPPT (Maximum Power Point Tracking), Perturbation et Observation (P&O), les algorithmes génétiques (GA)

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : L'ENERGIE SOLAIRE	
I-1 INTRODUCTION	3
I-2 LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE	3
I-2-1 Le principe de production	3
I-2-2 Les différents types d'énergie	3
I-2-2-1 Énergies non renouvelable	4
I-2-2-1 Énergies renouvelable	4
I-3 ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE	8
I-3-1 Histoire	8
I-3-2 Le soleil et le rayonnement	9
I-3-2-1 Le soleil	9
I-3-2-2 Le rayonnement	9
I-3-2 -3Modèle simplifié de l'éclairement	9
I-4 CONCLUSION	11
Chapitre II : LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE ET LES CARACTERISTIQUES DE GENERATEUR PV	
II-1 INTRODUCTION	12
II-2 LES CELLULES SOLAIRES	12
II-3 LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	12
II-4 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CELLULES SOLAIRES	13
II-5 LES MODULES (OU PANNEAUX)	15
II-6 SCHÉMA ÉQUIVALENT D'UNE CELLULE SOLAIRE	15
II-7 LE GÉNÉRATEUR PV ET SES PERFORMANCE	17
II-7-1 Caractéristique Courant-Tension	17
II-7-2 Caractéristique Puissance-Tension	19
II-7-3 Influence de l'Éclairement	19
II-7-4 Influence de la Température	21
II-7-5 Influence de la résistance série et la résistance shunt	22
II-7-6 Rendement	23

II-7-7 Facteur de forme	24
II-7-8 Association de Cellules Photovoltaïques en Série	24
II-7-9 Association de Cellules Photovoltaïques en Parallèle	24
II-8-CONCLUSION	25

Chapitre III : LES METHODES DE POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE 'MPPT' ET MPPT-GA

III-1 INTRODUCTION	26
III-2 PRINCIPE DU MPPT	26
III-2.1 Rendement de la chaîne de puissance	27
III-2.2 Technique de la perturbation puis observation (P&O)	28
III.3 ALGORITHME GENETIQUES	30
III.3.1 Principe	31
III.3.2 Présentation des algorithmes génétiques	31
III.3.2.1 Fonction d'évaluation et fonction fitness	31
III.3.2.2. Codage et décodage des variables	32
III.3.2.3 Sélection des parents	33
III.3.2.4 La recombinaison génétique	33
III.3.3 Critère d'arrêt:	35
III-4 CONCLUSION	36

Chapitre IV : APPLICATION, RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1 INTRODUCTION	37
IV.2 TECHNIQUE MPPT-AG	39
IV.3. RESULTATS DES SIMULATIONS ET DISCUSSION	40
IV.3.1 Application MPPT-GA: Simulations en temps réel	44
IV.3.1.A. Simulation 1 : conditions d'un jour ensoleillée	45
IV.3.1.B. Simulation 2: conditions d'un jour Nuageux	46
IV.4 Conclusion	47
Conclusion générale	48

Annexe

Bibliographie