

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عنابة

FACULTE : Sciences de l'ingénierat.

DEPARTEMENTT : Électrotechnique.

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de :

LICENCE ACADEMIQUE

Thème

Etude et simulation d'un panneau photovoltaïque.

Présenté par : GHEDADBIA ZAHRA & ZERNIDJ NIHEL.

Encadreur : Dr. Soltani Fatma.

Examineur : Dr. Ourici Amel

Année Universitaire :

2020/2021

Remerciement :

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous avoir donné la force et la patience de faire ce travail humble.

Nous remercions également toute l'équipe enseignante de l'Université de Badji Mokhtar-Annaba, en particulier le professeur Soltani Fatma, qui m'a encadré sur cette mémoire, et Mme ourici amel pour les conseils et l'assistance. Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à nous réussite et qui nous ont aidés à rédiger ce mémoire.

Dédicace :

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, je dédie mon travail à mes chers parents, à ma mère Amriou Samira et mon père Ghedadbia Toufik qui ont toujours été à mes côtés et pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études et grâce à eux j'ai surmonté toutes les épreuves.

Mes sœurs Amira et Ritaj et mon frère Abdenour pour leurs encouragements.

À tous mes amis et tous ceux qui n'ont cessé de me soutenir de près ou de loin durant mes années étudiantes.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos prétendus désirs, et le fruit de votre soutien inépuisable.

(Ghedadbia Zahra).

Dédicace:

Toutes les lettres ne peuvent pas trouver les mots justes... Tous les mots ne sauriant exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que
Je suis Zernidj Nihel

je dédie cemémoire

A mes chers parents, à ma mère Bouhala Sihem ET à mon père Zernidj Mohammad echrif , Pour leur patience, leur amour et leur soutien et leursencouragement.

A mes frères Kais et Chams Eddine.

A ma grande famille : je cite en particulier t ma belle tante Bouhala Houda que mes cousins et cousines Amani et Abderahman .

A mes amis et mes camarades.

A mon soutien Hadjaj Yakoub.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit des primaires, du moyen, du secondaire ou de L'enseignement supérieur.

(Zernidj Nihel).

Sommaire:

CHAPITRE I: Les énergies renouvelables.

Introduction.....	
I.1. Les différents types d'énergies renouvelables.....	
I.1.1.Génération de la chaleur.....	
III.1.1.1.L'énergie biomasse	
a). Les avantages.....	
b).Inconvénients.....	
Géothermique.....	
Les avantages et les inconvénients.....	
I.1.1.3.L'énergie solaire thermique.....	
a).Les avantages.....	
b).Inconvénients.....	
I.1.2.Génération d'électricité.....	
I.1.2.1.L'énergie éolienne.....	
a).Les avantages.....	
b).Inconvénients.....	
I.1.2.2.L'énergie hydraulique.....	
a).Les avantages.....	
b).Inconvénients.....	
I.1.2.3.L'énergie photovoltaïque.....	
a).Les avantages.....	
b).Inconvénients.....	
Conclusion.....	

CHAPITRE II : L'énergie solaire.

Introduction.....	
III.1.Potentiel solaire en Algérie.....	
III.2.Bilan des réalisations.....	
III.3.L'énergie solaire et l'effet photovoltaïque.....	
III.3.1.Spectre solaire.....	
III.3.2.Absorption du rayonnement solaire par un semi-conducteur.....	
III.3.3.Angle d'inclinaison.....	
III.4.La cellule photovoltaïque.....	
III.4.1.Historique.....	

I.4.2.Définition.....	.....
I.4.3.Déférents types de cellules.....	.....
I.4.3.1.Cellule photovoltaïque en silicium amorphe.....	.....
a).Les avantages.....	.....
b).Inconvénients.....	.....
I.4.3.2.Cellule photovoltaïque en silicium monocristallin.....	.....
a).Les avantages .....	.....
b).Inconvénients.....	.....
I.4.3.3.Cellule photovoltaïque en silicium poly cristallin.....	.....
a).Les avantages.....	.....
b).Inconvénients.....	.....
I.4.3.4.Cellule photovoltaïque tandem.....	.....
a).Les avantages.....	.....
b).Inconvénients.....	.....
I.4.4.Technique de fabrication .....	.....
I.4.5.Structure d'une cellule photovoltaïque.....	.....
I.4.6.Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	.....
I.5.Association des cellules (le panneau solaire).....	.....
I.5.1.Groupement en série.....	.....
a).Association des modules en série.....	.....
b).Caractéristiques résultante d'un groupement en série de ns cellule Identiques.....	.....
I.5.2.Groupement en parallèle.....	.....
a).Association des modules en parallèle.....	.....
b).Caractéristiques résultante d'un groupement en parallèle de np cellules Identiques.....	.....
I.5.3.Le générateur photovoltaïque (groupement mixte).....	.....
a).Association mixte de modules.....	.....
b).Caractéristique résultante d'un groupement mixte.....	.....
II.6.Rendement maximal d'une cellule PV.....	.....
II.7.Les avantages et les inconvénients d'une installation PV.....	.....
a).Avantages.....	.....
b).Inconvénients : [22]. [23].....	.....
Conclusion.....	.....
CHAPITERE III : Modélisation d'un panneau PV	
Introduction .....	.....

III.1. Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	.....
III.2. Modélisation d'un panneau photovoltaïque .....	.....
III.2.1. caractéristique d'un panneau photovoltaïque .....	.....
III.3 .Calcul de Rset Rp.....	.....
III.4. Evaluation de facteur de qualité .....	.....
III.5. Résolution de l'équation $I=f(V)$ .....	.....
Conclusion.....	.....

CHAPITRE IV : SIMULATION D'UN PANNEAU PV.

Introduction.....	.....
IV.1. Simulation .....	.....
IV.1.1 : Influence de l'irradiation.....	.....
IV.1.2. Influence de la température.....	.....
IV.1.3. Influence de la résistance série RS et parallèle RP .....	.....
IV.1.3.1. Influence de la résistance série.....	.....
IV.1.3.2. Influence de la résistance parallèle.....	.....
Conclusion.....	.....
Conclusion générale.....	.....

Liste des figures :

Fig. I.1. L'énergie biomasse.....	.....
Fig. I.2. L'énergie géothermique.....	.....
Fig. I.3. L'énergie solaire thermique.....	.....
Fig. I.4. L'énergie éolienne.....	.....
Fig. I.5. Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	.....
Fig. I.6. L'énergie hydraulique.....	.....
Fig. I.7. L'énergie solaire.....	.....
Fig. II.1. Potentiel solaire.....	.....
Fig. II.2. Programme d'électrification des 18 villages.....	.....
Fig. II.3. Rayonnement solaire.....	.....
Fig. II.4. Différentes inclinaisons du soleil.....	.....
Fig. II.5. Spectre du corps noir et solaire à différents [13] angles d'inclinaison a par rapport a l'horizon.....	.....
Fig. II.6. Schéma caractérisant les trois bandes un matériau semi-conducteur. [20].....	.....
Fig. II.7. Angle d'inclinaison.....	.....
Fig. II.8. Structure d'une cellule PV.....	.....
Fig. II.9. (AB).....	.....

Fig. II.10. (AB).....	.....
Fig. II.11. (AB).....	.....
Fig.III.1 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.....	.....
Fig.III.2 les différentes zones de la Caractéristique d'une cellule photovoltaïque réelle. [11].	.....
Fig.IV.1.. : Caractéristique $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes irradiations solaires à température constante égale à 35°C.....	.....
Fig.IV.2.: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents éclairagements à température constante égale à 35°C.....	.....
Fig.IV.3 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes températures à Éclairagements constante égale 1000w /m2.....	.....
Fig.IV.4: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents températures à éclairagements constante égale 1000w/m2.....	.....
Fig.IV.5 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température Constante égale à 35°C et éclairagements constante égale 1000w/m2.....	.....
Fig.IV.6 : Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairagements constante égale 1000w/m2.....	.....
Fig.IV.7 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairagements constante égale 1000w/m2.....	.....
Fig.IV.8 : Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairagements constante égale 1000w/m2.....	.....
Liste des tableaux :	
Tableau. II.1.Potentiel solaire.....	.....
Tableau. II.2.Valeur de la bande interdite pour différents semi-conducteurs [20].....	.....
Tableau. IV.1 : caractéristiques électriques du module SI 1088 T2.....	.....

جامعة باجي مختار - عنابة

CHAPITERE I

Badji Mokhtar – Annaba University

LES ENERGIES RENOUVELABLES

I. INTRODUCTION :

Une grande partie de l'énergie consommée par l'humanité est sous forme de chaleur (chauffage, procédés industriels ...). Cette énergie est majoritairement obtenue par la transformation de l'électricité en provenance du nucléaire gaz ou du pétrole. Il existe des moyens de remplacer ces sources conventionnelles par des sources renouvelables.

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas les combustibles fossiles et nucléaires.

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateaux à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière. Notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets.
- elles sont inépuisables.
- elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux.
- elles offrent une importante indépendance énergétique.

Compte tenu de deux usages importants de l'énergie, chaleur et électricité, on classera les énergies renouvelables en deux groupes :

- -génération de la chaleur.
- -génération d'électricité.

I.1. LES DIFFÉRENTS TYPES D'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 issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie géothermique). Aujourd'hui, on assimile souvent par abus de langage les énergies renouvelables aux énergies propres, permis ces énergies cite : **I.1.1.Génération de la chaleur :**

Une grande partie de l'énergie consommé par l'humanité est la forme de chaleur (chauffage, procédés industriels ...). Cette énergie est majoritairement obtenue par la transformation de l'électricité en provenance du nucléaire gaz ou du pétrole. il existe des moyens de remplacer ces sources conventionnelles par des sources renouvelables.

I.1.1.1L'énergie Biomasse :

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Les principales formes de l'énergie de biomasse sont: les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre, d'oléagineux et d'huiles usagées) ; le chauffage domestique (alimenté au bois) ; et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux.(figure I.1).[20]



FIG. I.1. *L'ÉNERGIE BIOMASSE*

a)Les Avantages :

C'est une énergie qui émet peu de gaz à effet de serre et qui peut être stockée. Concernant particulièrement le bois-énergie, il y a une large disponibilité de la ressource et le prix du bois de chauffage ne suit pas le cours du pétrole.

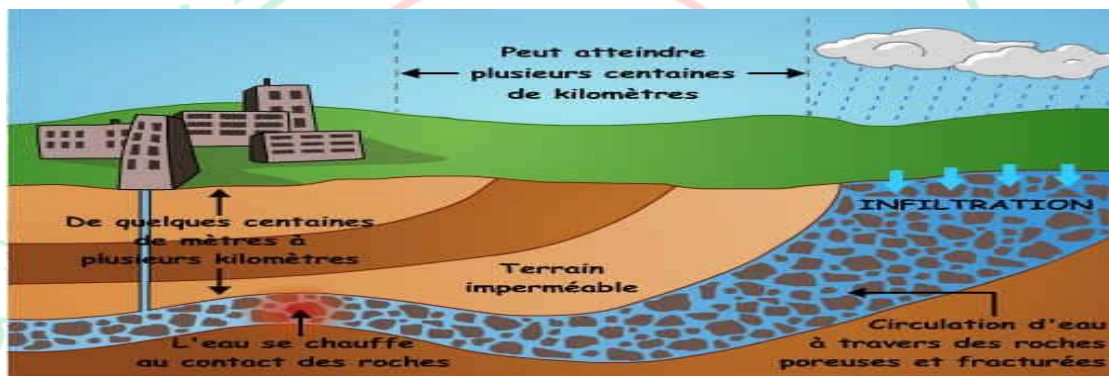
b) Les Inconvénients :

Elle ne peut avoir qu'un apport limité car le recours intensif à la biomasse entraînerait des impacts négatifs sur l'environnement tels que des phénomènes de déforestations (en cas d'exploitation intensive du bois-énergie), d'érosions des sols, de pollution des sols et des eaux (en cas de production intensive de biocarburant)

I.1.1.2.L'énergie géothermique :

Désigne l'énergie provenant de la chaleur contenue dans la croûte terrestre et dans les couches superficielles de la terre.

On distingue habituellement deux formes d'énergie géothermique avec la géothermie de surface et la géothermie profonde. La géothermie de surface consiste en la récupération de la chaleur pendant la période de l'hiver et de la fraîcheur pendant l'été à partir de la couche superficielle du sol. La géothermie profonde consiste quant à elle à capter la chaleur contenue par la croûte terrestre en vue de produire du chauffage lorsque la température est inférieure à 90°, ou même de l'électricité dès lors que la température est comprise entre 90 et 150°.[1]



FIGI.2.* L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE*

❖ Les Avantages et les inconvénients:

Par rapport à d'autres énergie renouvelables, la géothermique présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent), ni même de la disponibilité d'un substrat, comme c'est le cas de biomasse. C'est donc une énergie stable dans le temps.

Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable ce sens qu'un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer.

Selon la nature du sol, les coûts de forage peuvent être très élevés. Mais s la mise en placée d'une installation géothermique correspond à un investissement important, le coût d'exploitation est quasiment nul.

L'épuisement de la ressource est possible sur certains stocks trop petits lors de leur exploitation .l'expansion de la géothermie se heurte également à l'absence de réelle volonté politique, exprimée notamment dans la lourdeur des taxes.

Les seuls risques de pollution existants sont rejeter à la surface du sol l'eau extraite si celle-ci contient des métaux lourds. Ce risque est évité lorsqu'elle est réinjectée en sous-sol.

L'expérience a déjà été tentée avec succès dans plusieurs pays et même en Alsace à Soultz-sous – forêts. Bien sur la technologie de forage est complexe et le prix de revient du Kilowatt/heure encore dissuasif : le double de l'énergie nucléaire. Mais si l'on intensifie les recherches le coût de production devrait chuter considérablement/. ***1.1.1.3.L'énergie solaire thermique :***

L'utilisation de l'énergie thermique du rayonnement solaire. Elle peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique). En utilisant la chaleur transmise par rayonnement plutôt que le rayonnement lui-même, ces modes de transformation d'énergie se distinguent des autres formes d'énergie solaire comme les cellules photovoltaïques.[5]

Deux principes fondamentaux sont appliqués et éventuellement parfois combinés :

- capter l'énergie du rayonnement solaire grâce à un corps noir ; □ concentrer le rayonnement solaire en un point (four solaire).



fig1.3.*L'énergie solaire thermique *

a). Les Avantages :

L'énergie solaire est inépuisable et non polluante

L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre. L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage

L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes

Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles

b).les inconvénients:

Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé. L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint

La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil

Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes

Les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre et chrome

d'électricité :

I.1.2.1.L'énergie éolienne :

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice (figure.4).



Fig.4.*L'énergie éolienne*

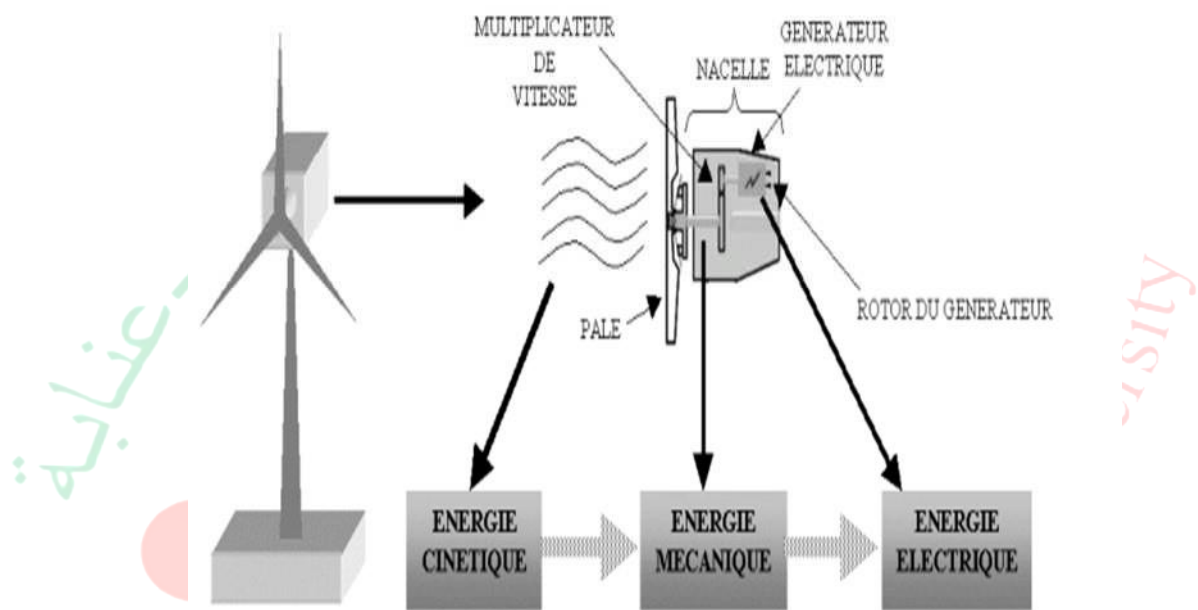


Fig.5.*Conversion de l'énergie cinétique du vent*

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences.[2]

Les matériaux nécessaires à la fabrication des différents éléments

(Nacelle mât, pales et multiplicateur notamment) doivent être technologiquement avancés et sont par conséquent onéreux. L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative viable à l'énergie nucléaire sans pour autant prétendre la remplacer (l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produite étant largement plus faible). Les installations peuvent être réalisées sur terre mais également de plus en plus en mer (fermes éoliennes offshore) où la présence du vent est plus régulière. De plus, les éoliennes sont ainsi moins visibles et occasionnent moins de nuisances sonores. On distingue deux grands types d'éoliennes :

Les éoliennes à axe vertical : ce type d'éolienne a fait l'objet de nombreuses recherches. Il présente l'avantage de ne pas nécessiter de système d'orientation des pales et de posséder une partie mécanique (multiplicateur et génératrice) au niveau du sol, facilitant ainsi les interventions de maintenance. En revanche, certaines de ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage et le mat, souvent très lourd, subit de fortes contraintes mécaniques poussant ainsi les constructeurs à pratiquement abandonner ces aérogénérateurs (sauf pour les très faibles puissances) au profit d'éoliennes à axe horizontal .[2] [6]

Les éoliennes à axe horizontal beaucoup plus largement employées, même si elles nécessitent très souvent un mécanisme d'orientation des pales, présentent un rendement aérodynamique plus élevé, démarrent de façon autonome et présentent un faible encombrement au niveau du sol .[3] [4] [7]

Outre l'aspect visuel des éoliennes, leur impact sur l'environnement est réduit. Une éolienne ne couvre qu'un pourcentage très réduit de la surface totale du site sur laquelle elle est implantée, permettant alors à la plupart des sites de conserver leurs activités industrielles ou agricoles. Leurs nuisances sonores sont de plus relativement faibles. En effet, selon l'ADEME, le niveau sonore d'une éolienne est de 50dB à 150 mètres et devient imperceptible au delà de 400 mètres. Dans la plupart des cas, le bruit du vent est supérieur à celui engendré par l'éolienne. Les éoliennes sont divisées en trois catégories selon leur puissance nominale :

- Eoliennes de petite puissance : inférieure à 40 kW
- Eoliennes de moyenne puissance : de 40 à quelques centaines de kW. **a)Les**

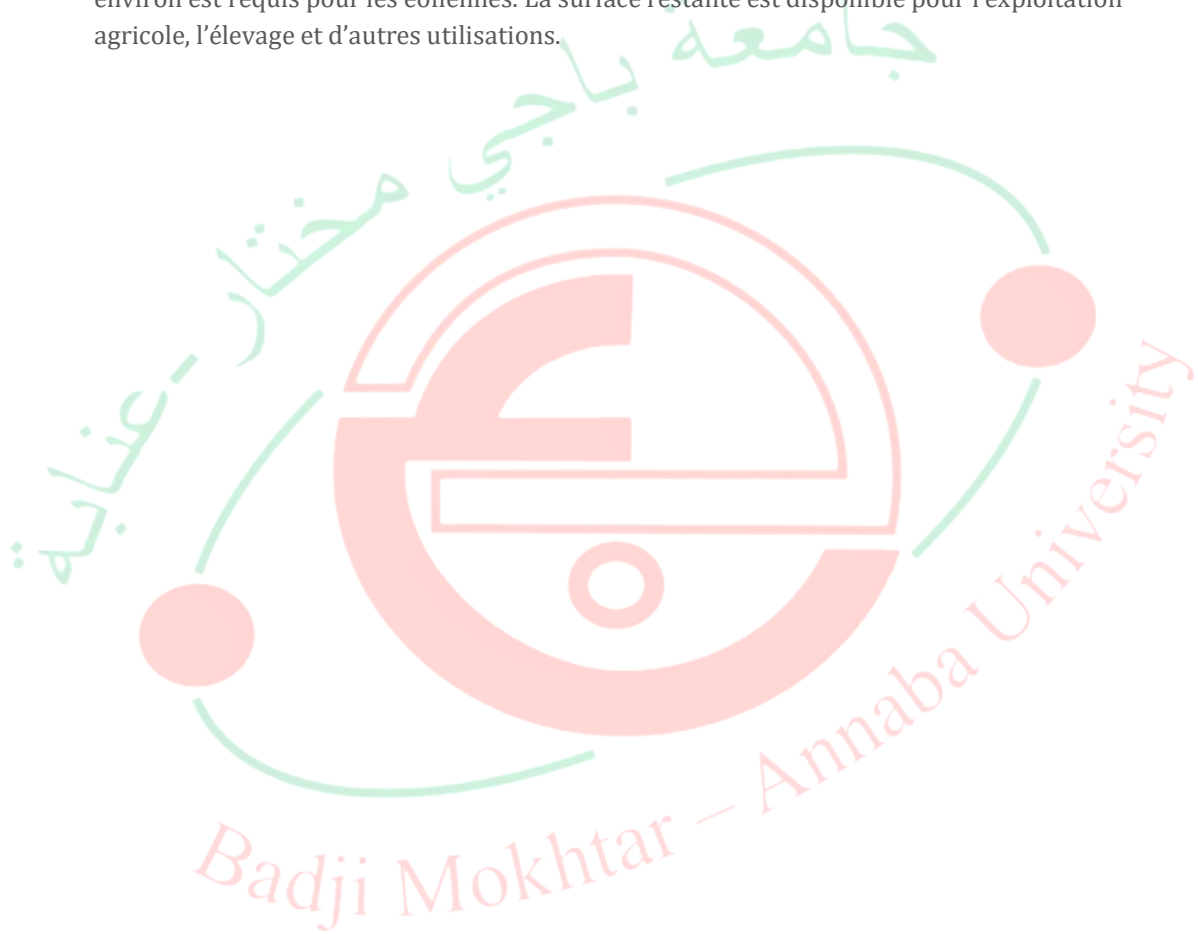
avantages :

Chaque éloigne est garante d'une peu moins de gaz carbonique dans l'atmosphère ou d'un peu moins

de déchets nucléaires à gérer par les générations à venir.

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable idéale :

- ❖ Il s'agit d'une fore d'énergie indéfiniment et propre.
- ❖ Elle ne nécessite aucun carburant.
- ❖ Elle ne crée pas de gaz à effet de serre (sauf si l'on considère que ce type d'énergie est intermittent et nécessite l'utilisation de centrales thermique constamment au ralenti ce qui pollue afin de réguler les variations imprévisibles de la production éolienne).
- ❖ Elle ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs.
- ❖ Lorsque de grands parce d'éoliennes sont installé sur des terres agricoles, seulement 2% du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations.



- ❖ Les propriétaires fonciers reçoivent souvent un paiement pour l'utilisation de leur terrain, ce qu'augmente leur revenu ainsi que la valeur terrain.
- ❖ La propriété des aérogénérateurs par des particuliers et la communauté permet aux gens de participer directement à la conservation de notre environnement.
- ❖ Chaque mégawatt par heure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ produites chaque année par la production d'électricité avec le charbon ou le diesel.
- ❖ L'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies notamment durant le pic de consommation, en hiver par exemple. Mais des pics de production en été, aux USA la production est en été, comme cela est écrit ce n'est qu'une source d'appoint.

b) Les inconvénients :

On constate des freins à l'implantation de champs de production :

- ❖ Les riverains craignent généralement une dégradation de l'aspect visuel des sites concernés, ainsi qu'un impact des cinq secondes en haut des mâts éoliens à la demande de l'aviation civile. Ces flashes perturbent la quiétude nocturne de la campagne et sont une pollution lumineuse supplémentaire la nuit.
- ❖ Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux en étant un obstacle mortel. En effet, les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit. Les oiseaux peuvent alors entrer en collision avec celles-ci plus le parc éolien est dense plus ce risque grand. Des lumières sur les pales peuvent réduire ce danger, mais peut conduire à la pollution lumineuse pour les riverains.
- ❖ Un aspect qui commence à être réalisé est celui de l'interférence avec les radars et en particulier avec les radars météorologiques. En effet, les éoliennes peuvent constituer un obstacle à la propagation de l'onde. Selon la proximité et la densité du parc d'éoliennes, ceci peut constituer un blocage majeur à basse altitude donnant une zone d'ombre dans les données. De plus différentiable d'une cible en mouvement comme la pluie. Habituellement, on filtre les échos indésirables de sol par leur vitesse doppler qui est nulle mais on ne peut pas dans ce cas. Pour empirer la situation, si la vraie précipitation passe ce secteur.

1.1.2.2.L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues¹. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique Centrale hydro-électrique de Nijni Novgorod.

L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique lié au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages(figure1.6).[21]



FIG.1.6. * L'ÉNERGIE HYDRAULIQUE *

a) Les Avantages :

- ❖ Peu d'impact sur l'environnement naturel.
- ❖ aucune consommation onéreuse en matière première. ❖ aucun déchet polluant.
- ❖ évite les difficultés dues à un raccordement de réseaux en site éloignés.
- ❖ disponibilité permanente grâce aux possibilités de stockage.
- ❖ peu de frais d'exploitation.
- ❖ longue durée de vie.

b) Les Inconvénients :

- ❖ Déplacement des populations locales.
- ❖ Dégradation des écosystèmes liés à la construction des barrages et bruit causé par les turbines :
 - Destabilisation et écoulement.
 - Pollution environnementale en cas de contamination de l'eau stockée.
 - Risque de crues.
- Assèchement nappes phréatique en aval (assèchement du passage et écosystème).
- ❖ Intervention dans le régime hydraulique du problème du débit résiduel qui sert a :

- Préserver les biotopes existants.
- Permettre la reproduction des espèces animales et végétales présentes dans le cours d'eau.
- ❖ Effet de marnage (successions de fort et faible débit résiduel) et dépôts de sédiments provoqués par les rejets soudains des centrales.
- ❖ En hivers, l'eau gèle.

1.1.2.3.L'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. Les panneaux solaires actuels sont relativement onéreux à la fabrication malgré la première peu coûteuse et abondante (silice) car une énergie significative est nécessaire à la production des cellules. Cependant, de nets progrès ont été faits à ce sujet et on considère aujourd'hui qu'il suffit de 3 à 5 ans pour qu'un panneau produise l'énergie que sa construction a nécessité. Un autre inconvénient est celui de la pollution à la production qui est due à la technologie utilisée.[5]

Des progrès technologiques sont en cours pour rendre l'énergie photovoltaïque plus compétitive. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et de leurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïques peut être augmenté par les solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale. Cette dernière caractéristique est assez commune avec la production d'énergie éolienne.

Les panneaux solaires sont très pratiques d'utilisation. L'intégration dans le bâtiment est facile et devient même esthétique. Pour les sites isolés et dispersés qui demandent peu d'énergie, c'est une solution idéale (télécommunication, balises, etc.).

La technique photovoltaïque malgré sa complexité est très forte croissance. En 2001, en Europe on comptait environ 250MW installés et en 2003 ce chiffre est monté jusqu'au 560MW de puissance installée. L'évolution mondiale de cette ressource qui est en très nette progression depuis le début du siècle.



FIGI.7.*L'ÉNERGIE SOLAIRE*

a)Les avantages :

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

D'abord, une haute fiabilité - elle 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.

Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

Enfin, 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.

b) Les inconvénients :

Le système photovoltaïque présente toutefois des 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 (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).

Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

CONCLUSION :

Des technologies innovantes ou classiques, parfois fondées sur des principes très simples, permettent d'exploiter les «gisements» solaire, éolien ou hydraulique pour produire de l'électricité.

Les installations qui les utilisent sont souvent onéreuses à l'achat. Mais elles sont très économiques à l'usage, grâce à des coûts de maintenance et d'entretien réduits, à la robustesse des matériels employés et surtout grâce à la gratuité de la matière première.

Vue sa situation géographique, l'Algérie est un pays qui dispose d'un potentiel solaire de plus important, au monde. Des programmes en matière de réalisation d'installation photovoltaïque doivent

être engagés.

CHAPITRE II

L'ÉNERGIE SOLAIRE

I. Introduction:

Le 9 décembre 2011, la société algérienne de l'électricité et du gaz Sonelgaz et DesertedIndustry Initiative ont signé à Bruxelles un accord de coopération visant au renforcement des échanges d'expertise technique, à l'examen des voies et moyens pour l'accès aux marchés extérieurs et à la promotion commune du développement des énergies renouvelables en Algérie .

Pour que l'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire. Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a réalisé la première centrale électrique de HassiR'mel à Tilghemt dans la wilaya de Laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts. C'est la société New Energie Algérie (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables. La première usine privée algérienne de fabrication de panneaux solaires est opérationnelle à partir du mois de mars 2012 avec un taux d'intégration nationale.

1.1. POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde et en particulier de la région MENA (figure II.1).

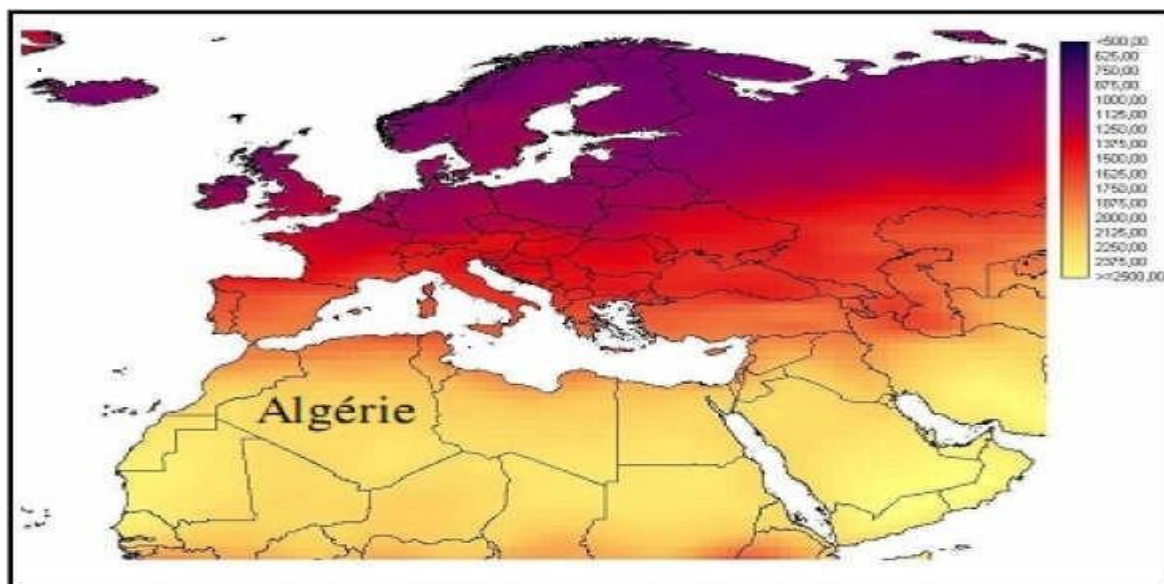


Fig. II.1 *Potentiel solaire*[9]

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit prèsde 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau suivant résume le potentiel solaire en Algérie. [10]

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie Moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tab.II.1. *Potentiel solaire*

1.2. 1.BILAN DES REALISATIONS :

Les réalisations en matière d'installations photovoltaïques concernent en plus grande partie les applications liées à l'électrification rurale avec près de 60%. En effet, avec un taux d'électrification au niveau national avoisinant les 98%, les foyers restants à électrifier sont très épars et éloignés du réseau. La solution la plus adéquate techniquement et la plus compétitive financièrement est l'électrification à l'énergie photovoltaïque.

Un premier programme d'électrification a été réalisé durant la période 1995-2002 et a concerné l'alimentation de 18 villages du sud de l'Algérie en énergie électrique, soit l'électrification de près de 1000 foyers. Pour faire bénéficier ces foyers d'un minimum de confort, une quantité d'énergie de 02 kWh par jour et par foyer a été mise à leur disposition, ce qui correspond à la consommation de 05 réglottes d'éclairage, un réfrigérateur, une télévision avec récepteur numérique, un poste radio et un ventilateur. Les villages touchés par ce programme apparaissent sur la (figure. II.2).

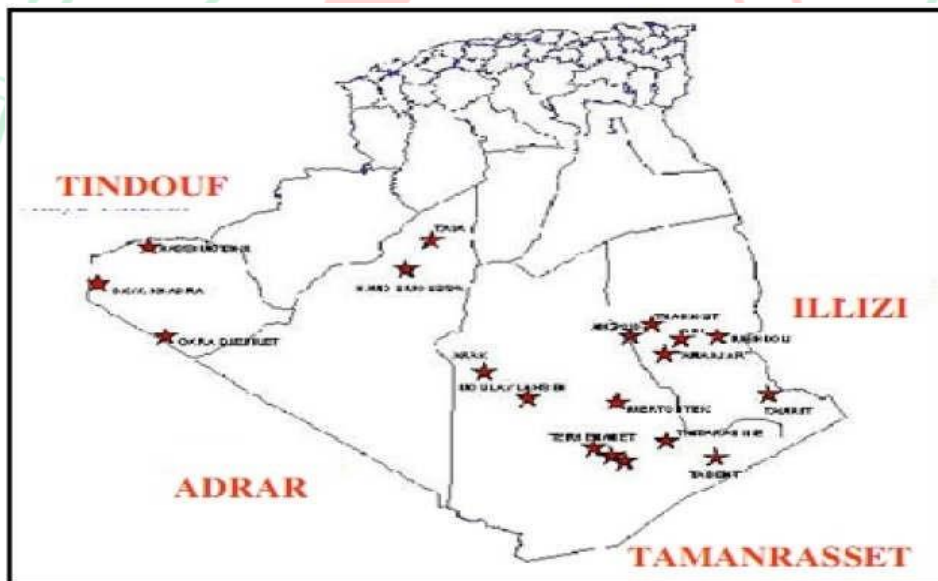


Fig.I I.2* Programme d'électrification des 18 villages*

I.3.L'énergie solaire et l'effet photovoltaïque :

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à 1367W/m^2 .

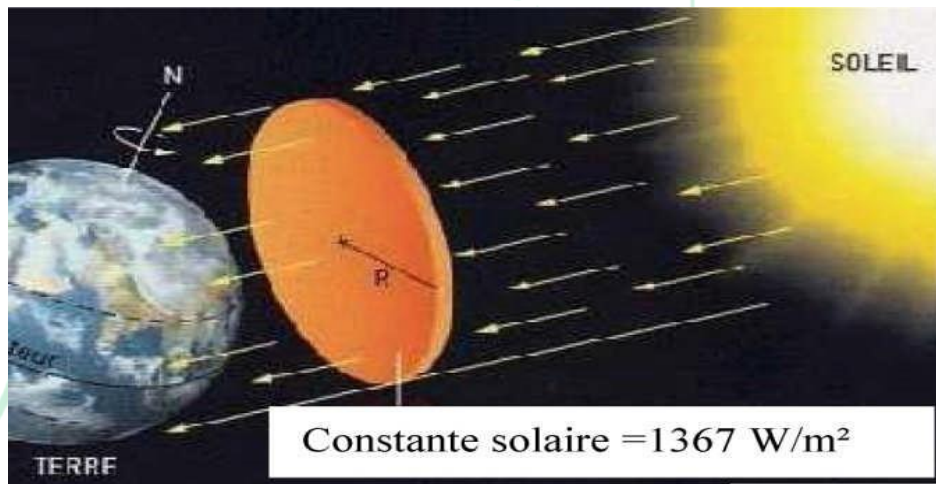


FIG. II .3. *RAYONNEMENT SOLAIRE*

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air AM.

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000W/m^2 et est décrit en tant que Rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1). Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000W/m^2 .

Les scientifiques ont donné un nom au spectre standard de la lumière du soleil sur la surface de la terre : AM1.5G ou AM1.5D.

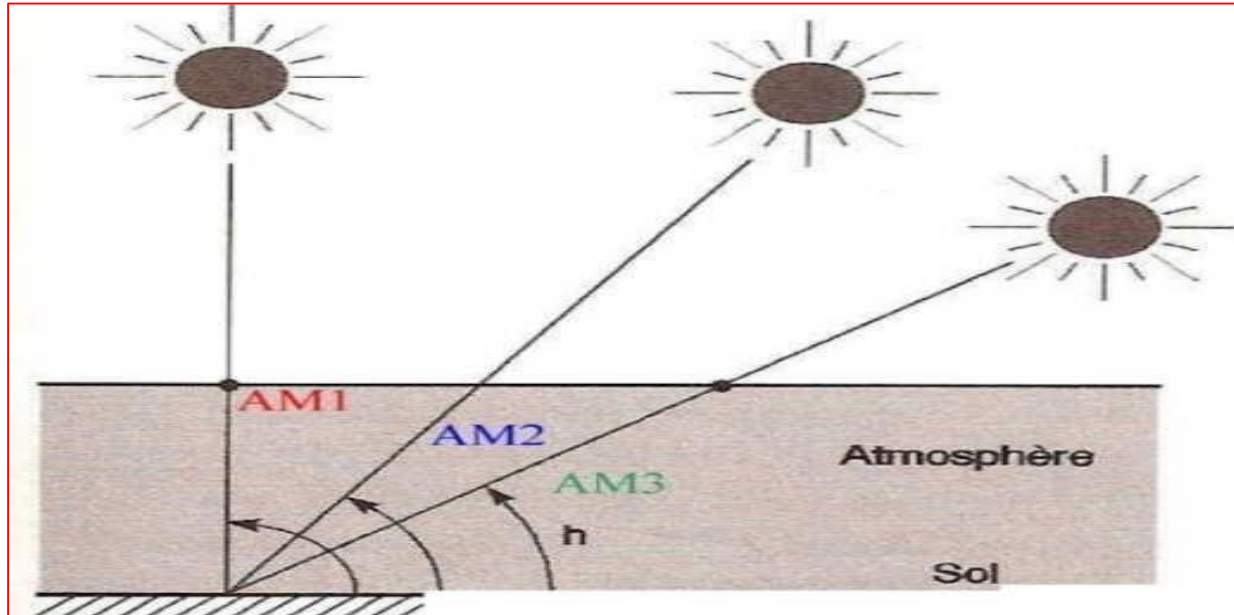


Fig.II.4. *Déféréntinclinaisonsdusoleil*

Le nombre "1.5" indique que le parcours de la lumière Dans l'atmosphère est 1.5 fois supérieur au parcours Le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith (Correspondant à une inclinaison du soleil de 45° par rapport au zénith).

Le « G » représente le rayonnement "global" incluantRayonnement direct et rayonnement diffus et la lettre «D » tient compte seulement du rayonnement direct. [12]

I.3.1.Spectre solaire :

Le soleil de rayon R_S de 696 000 km, de masse $1,99 \times 10^{30}$ kg et de température intérieure supérieure a 10 millions de degrés, permet grâce aux réactions nucléaires de fusion de transformer a chaque seconde environ 6 millions de tonnes de sa masse en énergie rayonnée dans l'espace. En première approximation, le soleil rayonne globalement comme un corps noir de température $T_S = 5800$ °K. Ce qui équivaut une puissance totale rayonnée par le Soleil de $3,85 \times 10^{23}$ kW. Le flux énergétique reçu par la terre de rayon R_T Vaut environ 1.7×10^{17} km

Les satellites ont permis de mesurer avec précision le spectre réel solaire hors de l'atmosphère terrestre, qui diffère légèrement du spectre théorique du corps

noir à 5800 K dont la répartition spectrale $MS(\lambda)$ du rayonnement

électromagnétique est donnée par la loi de Planck :[13]

$$M_{\lambda} = A \lambda^{-5} \exp\left(-\frac{B}{\lambda}\right) \quad \text{II.1}$$

Avec :

$$A = 3.75 \times 10^{-10} \text{ W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$$

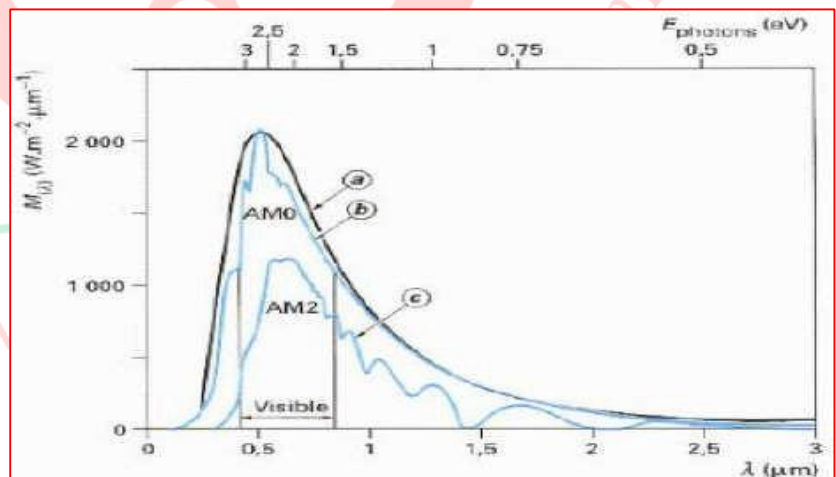
$$B = 14.39 \times 10^{-3} \text{ m.k}$$

λ (μm) longueur d'onde

Sur la figure est représenté le spectre du corps noir a **5 800 °K** (courbe a) et le spectre réel hors atmosphère du soleil a différentes inclinaison par rapport a l'horizon (courbe b et c). Ces spectres montrent que les longueurs d'onde du rayonnement solaire sont comprises entre **0,2 pm (ultraviolet)** et **4 pm (infrarouge)** ; **97,5 %** de l'énergie est comprise dans la zone des longueurs d'onde inférieures a **2,5 pm**, notamment dans la zone du rayonnement visible :

- a) Spectre du corps noir
- b) Spectre AM0 : $\lambda = 90^\circ$
- c) Spectre AM2 : $\lambda = 30^\circ$

FigII.5. Spectre du corps noir et solaire à différents [13] angles d'inclinaison a par rapport a



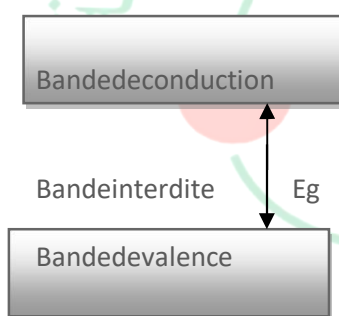
l'horizon.

I 3.2. Absorption du rayonnement solaire par un semi conducteur :

Une photopile est constituée d'un matériau absorbant l'énergie des photons et la transformant en énergie électrique.

Dans le schéma simple d'un matériau à deux niveaux d'énergie (fig..II.6.),

Un électron possédant l'énergie E_1 appartient à la bande de valence et se trouve lié à l'atome. S'il reçoit une énergie (sous la forme d'un photon par exemple) qui lui permet d'atteindre le niveau E_2 , énergie correspondant à la bande de conduction, il devient libre et peut alors participer à un courant électrique. Cette énergie, nécessaire pour que l'électron devienne libre, est notée E_g (« g » pour gap en anglais). On la donne le plus souvent en électron-volt (ev). On a bien sur :



$$E_g = E_2 - E_1. \text{ II.2}$$

On appelle largeur de bande interdite cet écart énergétique entre la bande de valence et la bande de conduction. La tension de sortie du générateur est donnée par E_g/q ou q est la charge de l'électron. (Figure. II.6).[20].

E2 Fig. II.6. Schéma caractérisant les trois bandes dans un matériau semi-conducteur. [20]

E1

Si on choisit un matériau ayant une large bande interdite étroite, cela favorisera le déplacement des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction mais alors la tension aux bornes de la cellule élémentaire sera faible. C'est le cas des métaux. Si par contre on choisit un matériau ayant une largeur de bande interdite élevée, les électrons auront du mal à se libérer de la bande de valence et aucun

courant n'apparaîtra. C'est le cas des isolants électriques ($E_g > 5\text{eV}$). le cas des semi-conducteurs est un compromis qui permet d'obtenir un courant sous une tension acceptable. [20] Le tableau II.2. donne la valeur d' E_g pour quelques matériaux semi-conducteurs.

Matériau	Symbole	E_g (ev)
Germanium	Ge	0.67
Silicium	Se	1.11
Arséniure de gallium	GaAs	1.35
Sulfure de cadmium	Cds	2.40

Tab.II.2.Valeurs de la bande interdite pour différents semi-conducteurs [20]

Mais pour qu'un électron libéré par l'absorption d'un photon participe à un courant utile, faut-il encore la canaliser, le collecter ; C'est le rôle de la dissymétrie électrique que l'on obtient par création d'une jonction entre deux semi-conducteurs dopés différemment.

Ainsi du silicium tétravalent dopé par du phosphore pentavalent fournit un matériau du type N dans lequel des électrons restent libres. Ce même silicium dopé avec de bore trivalent donnera un matériau de type P dans lequel apparaîtra une lacune d'électrons. Le contact entre ces deux type de silicium fournit une jonction où règne un champ électrique E_{int} qui oriente sélectivement les porteurs positifs et négatifs. Ceux-ci donnent alors naissance à un courant.

$$E_v(\lambda) = hc/\lambda \quad \text{II.3}$$

Avec : h constante de Planck ($h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$) c vitesse de la lumière ($c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$).

Si cette énergie est inférieure à l'énergie E_g de la bande interdite, il ne produira pas de paire électron-trou. On peut donc définir une longueur d'onde de coupure λ_c , donnée par l'égalité suivante :

$$\lambda_c = hc/E_g \quad \text{II.4}$$

1.3.3. Angle d'inclinaison :

Le rendement des panneaux solaires dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels, l'angle d'incidence des rayons du soleil. fig II.6.

L'idéal serait que l'angle d'incidence des rayons du soleil, c'est-à-dire l'angle formé par le plan des panneaux solaires et ces rayons, soit toujours égal à 90° , car c'est ainsi que les panneaux reçoivent le plus de photons. tel n'est malheureusement pas le cas.

D'abord, l'angle incident varie au fil de la journée : s'il augmente progressivement depuis le lever du soleil jusqu'à midi, heure du zénith, il diminue à nouveau jusqu'au couchant. Ensuite, il atteint rarement 90° .

Des essais ont donc été effectués sur des panneaux pourvus de mécanismes d'orientation, c'est-à-dire capables d'adapter leur inclinaison en fonction de la

Position du soleil.

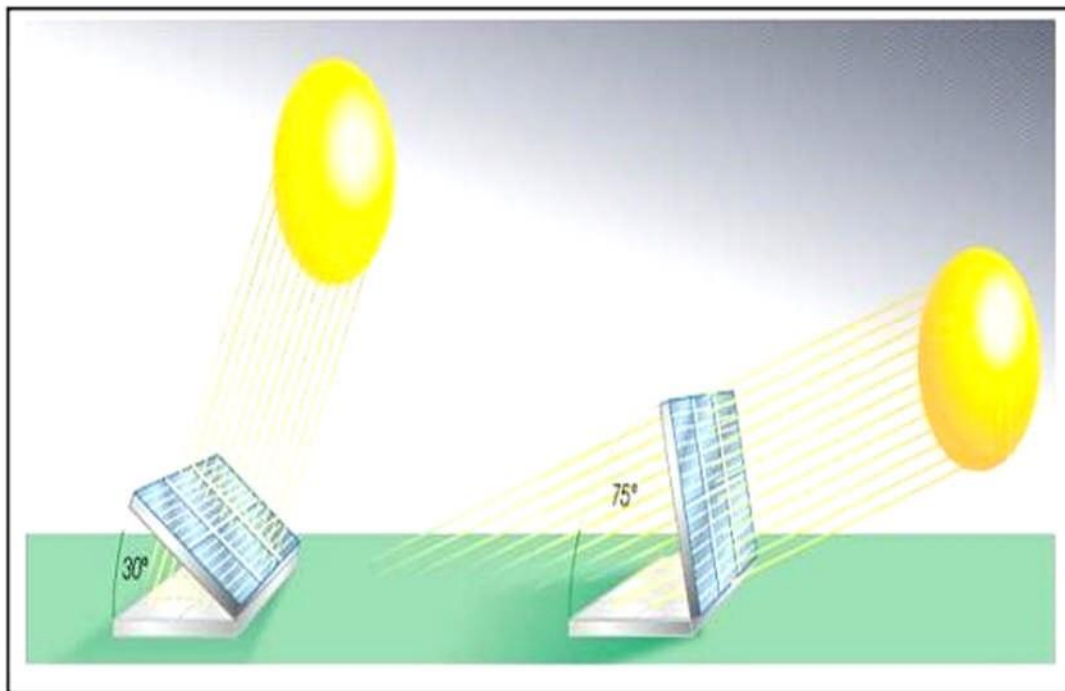


Fig.II.7.*Angle d'inclinaison*

La combinaison de tous ces paramètres produit la variabilité dans l'espace et le temps de l'irradiation journalière. Des cartes météorologiques sont établies et nous renseignent sur l'irradiation moyenne par jour ou bien sur une année.

La meilleure inclinaison des panneaux solaires photovoltaïques pour un usage à long terme est celle de la latitude de l'endroit où sont installés les capteurs. Toutefois, ce sont souvent les dispositions constructives de l'habitation qui déterminent l'inclinaison.

I.4. La cellule photovoltaïque :

I.4.1. Historique:

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
 - 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.
- Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains, Chaplin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
 - 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
 - 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
 - 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé.

I.4.2. Définition :

Une cellule photovoltaïque (ou <<photo galvanique>>) est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photo), génère de l'électricité.

C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu est fonction de la lumière incidente. L'électricité produite est fonction de l'éclairement, la cellule photovoltaïque produite un courant continu

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs.[14]

Sulfure de cadmium (Cds), tellure de cadmium

(CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines blanches d'une dizaine de centimètres de côté,

Prises en sandwich entre deux contacts métallique, pour une épaisseur de l'ordre du millimètre.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïque ou panneaux solaires, en fonction de puissance recherchée. **I.4.3. Différents types de cellules**

⋮

I.4.3.1. Cellule photovoltaïque en silicium amorphe :

Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires ». [8]

- **a) Avantages :**
 - fonctionne avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel de 20 à 3000 lux),
 - un peu moins chère que les autres techniques, ○ intégration sur supports souples ou rigides.
- **B) Inconvénients :**
 - rendement faible en plein soleil, de 5 % à 7 %, ○ nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin (ratio Wc/m^2 plus faible, environ $60 Wc/m^2$),

- performances qui diminuent avec le temps dans les premiers temps d'exposition à la lumière naturelle (3-6 mois), pour se stabiliser ensuite
- (-10 à 20 % selon la structure de la jonction).^[réf. nécessaire]

I.4.3.2. Cellule photovoltaïque en silicium

monocristallin :



Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

a)Avantage : ○ bon rendement, de 14 % à 16 % ($\sim 150 \text{ WC/m}^2$)^{8,7};

○ nombre de fabricants élevé. **B) Inconvénients :**

- coût élevé ;
- rendement plus faible sous un faible éclairement ou un éclairement diffus⁹ ;
- baisse du rendement quand la température augmente.

I.4.3.3. Cellule photovoltaïque en silicium poly cristallin :

Badji Mokhtar – Annaba University



Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. [8]

a)Avantage :

- cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module,
- bon rendement de conversion, environ 100 WC/m^2 (voire plus), mais cependant un peu moins bon que pour le monocristallin, ○ rendement de 9 à 11 % ○ lingot moins cher à produire que le monocristallin.

B) Inconvénient :

On parlera ici de silicium multi cristallin (réf. IEC TS 61836, vocabulaire international photovoltaïque). Le terme poly cristallin est utilisé pour les couches déposées sur un substrat (petits grains).

1.4.3.4.Cellule photovoltaïque tandem :

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbant dans des domaines spectraux connexes, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines. [8]

a)Avantage :

- sensibilité élevée sur une large plage de longueur d'onde. Excellent rendement.

□ B) Inconvénient :

- coût élevé dû à la superposition de deux cellules.

I.4.4. Technique de fabrication :

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. On l'obtient par réduction à partir de silice, composé le plus abondant dans la croûte terrestre et notamment dans le sable ou le quartz. La première étape est la production de silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement, obtenu à partir de morceaux de quartz provenant de galets ou d'un gisement filonien (la technique de production industrielle ne permet pas de partir du sable). Le silicium de qualité photovoltaïque doit être purifié jusqu'à plus de 99,999 %, ce qui s'obtient en transformant le silicium en un composé chimique qui sera distillé puis retransformé en silicium. Le silicium est produit sous forme de barres nommées « lingots » de section ronde ou carrée. Ces lingots sont ensuite sciés en fines plaques mises au carré (si nécessaire) de 200 micromètres d'épaisseur qui sont appelées « wafers ». Après un traitement pour enrichir en éléments dopants (P, As, Sb ou B) et ainsi obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N, les wafers sont « métallisés » : des rubans de métal sont incrustés en surface et reliés à des contacts électriques. Une fois métallisés les wafers sont devenus des cellules photovoltaïques.

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'un module photovoltaïque doit fonctionner environ deux à trois ans⁵ suivant sa technique de fabrication pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication (retour énergétique du module).

Les techniques de fabrication et les caractéristiques des principaux types de cellules sont décrits dans les trois paragraphes suivants. Il existe d'autres types de cellules actuellement à l'étude, mais leur utilisation est minoritaire (part de marché record de 16 % en 2009⁶).

Les matériaux et procédés de fabrication font l'objet de programmes de recherches ambitieux pour réduire les coûts de possession et de recyclage des cellules photovoltaïques. Les techniques couches minces sur substrats banalisés semblent recueillir les suffrages de l'industrie naissante. En 2006 et 2007, la croissance de la production mondiale de panneaux solaires a été freinée par manque de silicium, et les prix des cellules n'ont pas baissé autant qu'espéré. L'industrie cherche à faire baisser la quantité de silicium utilisé.

I.4.5. Structure d'une cellule photovoltaïque :

La photovoltaïque c'est la manière la plus élégante de produire de l'électricité. Elle se produit sans bruit, sans parties mécaniques et sans que des produits toxiques soient libérés dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un « trou ». Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme une pile. [12]

Pour cela, on s'arrange pour créer un champ électrique permanent au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N. (figure II.8)

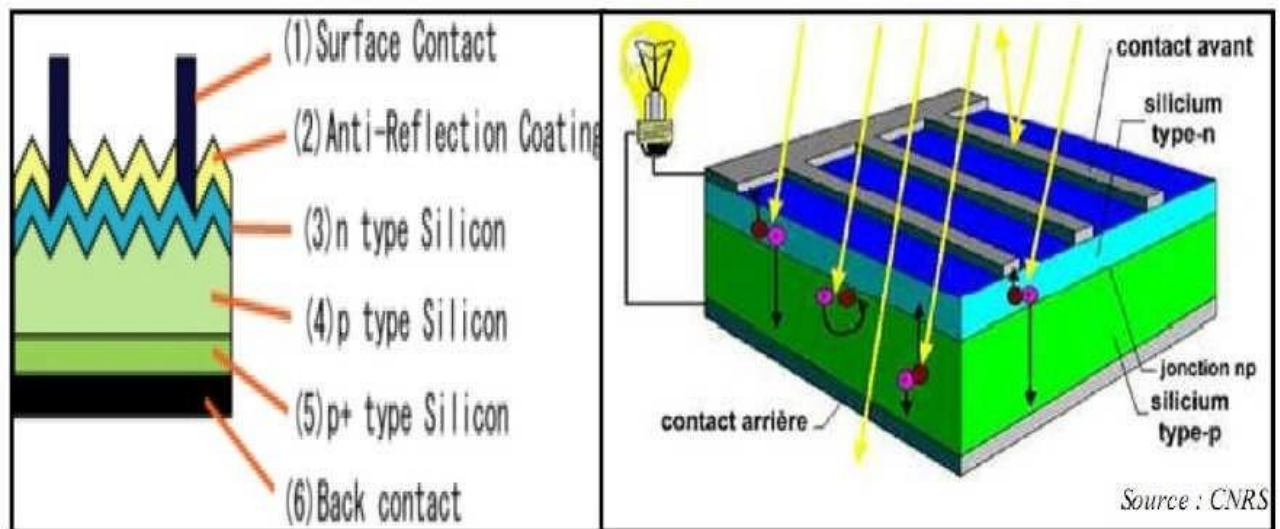


Fig. II.8. *Structure d'une cellule PV*

I.4.6. Principe de fonctionnement d'une cellule PV :

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant ainsi un « trou ». Normalement, l'électron trouve rapidement un trou pour se replacer, et l'énergie apportée par le photon est ainsi dissipée. Le principe d'une cellule photovoltaïque est de forcer les électrons et les trous à se diriger chacun vers une face opposée du matériau au lieu de se recombiner simplement en son sein : ainsi, il apparaîtra une différence de potentiel et donc une tension entre les deux faces, comme dans une pile.

L'une des solutions, couramment utilisée, pour extraire sélectivement les électrons et les trous utilise un champ électrique au moyen d'une jonction PN, entre deux couches dopées respectivement P et N.

I.5. ASSOCIATION DES CELLULES (le panneau solaire) :

I.5.1. Groupement en série :

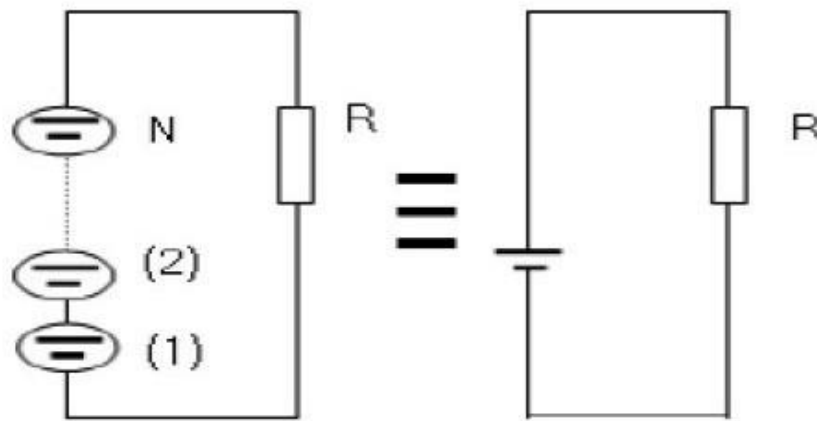
Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant. La figure A et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné. La figure B montre la caractéristique résultante (I_s , V_s) obtenue par l'association en série (indice s) de

ns cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

Avec :

$I_{scc}=I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{sco}=nsV_{co}$: la tension de circuit ouvert.



*A)*Association des modules en série**

*B)*Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules Identiques**

Badji Mokhtar – Annaba University

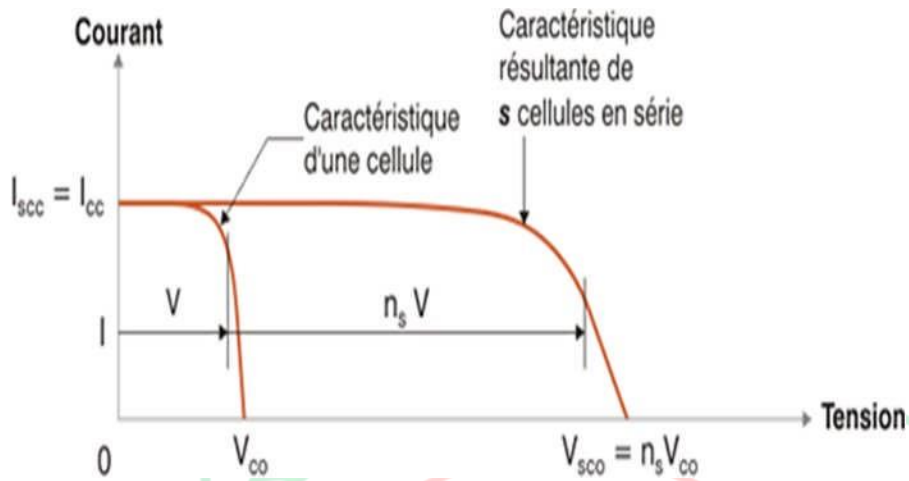
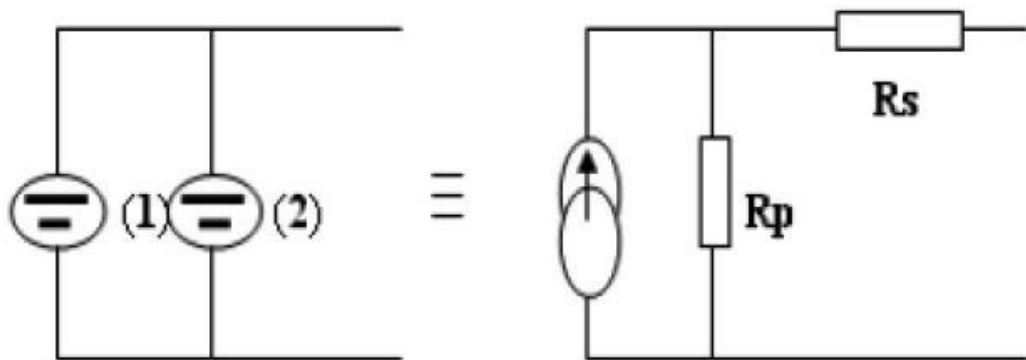


Fig. II.9(A.B).

I.5.2. Groupement en parallèle :

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent. La figure A et la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée. La figure B montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) np cellules identiques (I_{cc} , V_{co}). Figure II.9(A.B). [19]

$I_{pcc} = n I_{cc}$: le courant de court-circuit.



$V_{pco} = V_{co}$
tension de circuit ouvert.

:la

A). * ASSOCIATION DES MODULES EN PARALLÈLE *

B)*Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules Identiques*

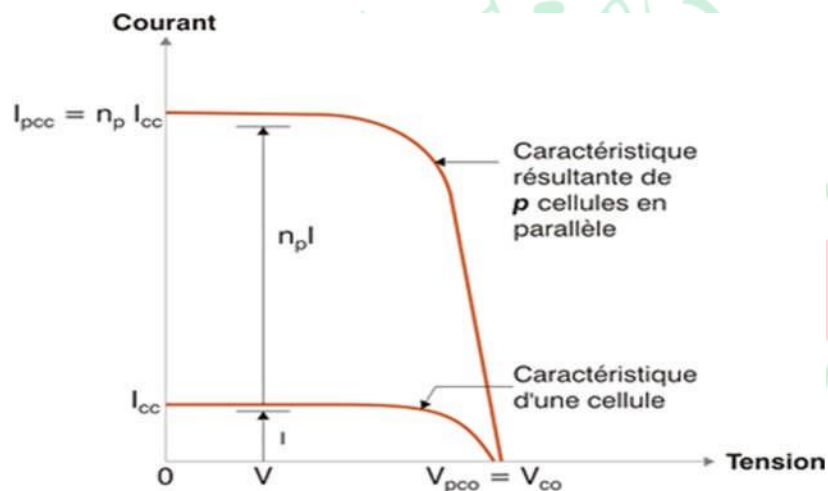


Fig. II.10. (A.B).

I.5.3. Le Générateur photovoltaïque (Groupement mixte):

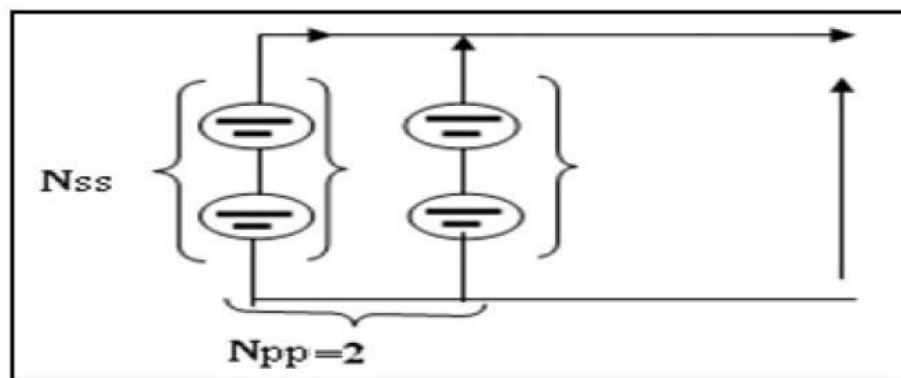
Le générateur photovoltaïque est constitué d'un réseau série-parallèle de nombreux.

Modules photovoltaïques regroupés par panneaux photovoltaïques. la figure A La caractéristique électrique globale courant/tension du GPV se déduit donc théoriquement de la combinaison des caractéristiques des cellules élémentaires supposées identiques qui le composent par deux affinités de rapport n_s parallèlement à l'axe des tensions et de rapport n_p parallèlement à l'axe des courants, ainsi que

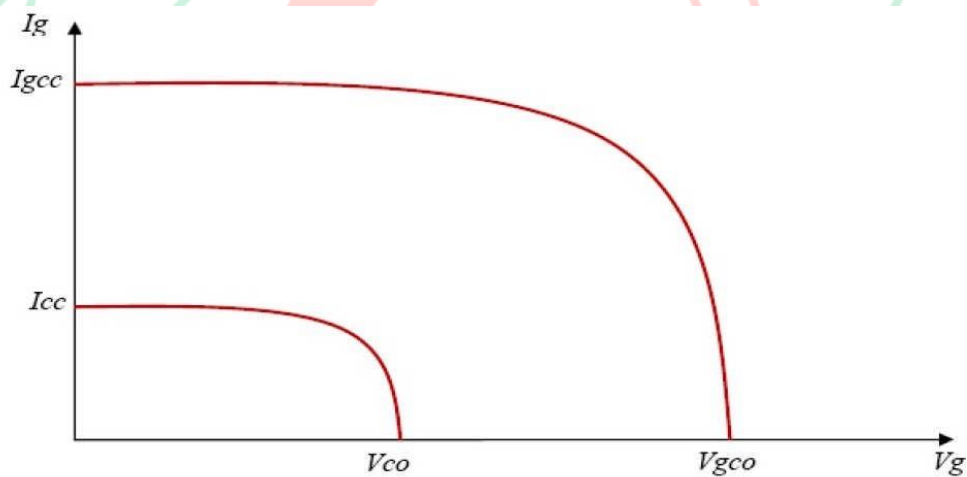
l'illustre la figure B, n_s et n_p étant respectivement les nombres totaux de panneaux en série et en parallèle la figure B.[19]

$I_{gcc} = n_p \cdot I_{cc}$: courant de court-circuit du générateur résultant.

$V_{gco} = n_s \cdot V_{co}$: tension du circuit ouvert du générateur résultant.



A). * ASSOCIATION MIXTE DES MODULES *



B). * Caractéristique résultante d'un groupement mixte *

FIG. II.11(A.B)

Si l'on désire avoir un générateur PV ayant un courant de sortie plus intense, on peut soit faire appel à des cellules PV de plus grande surface et de meilleur rendement, soit associer en constitué puisse fonctionner

de façon optimale, il faut que les (Nss. Npp) panneaux se comportent toutes de façon identique. Elles doivent pour cela être issues de la même technologie, du même lot de fabrication et qu'elles soient soumises aux mêmes conditions de fonctionnement (éclairage, température, vieillissement et inclinaison).

La puissance du générateur PV sera optimale si chaque cellule fonctionne à sa puissance maximale Notée **P_m**. Cette puissance est le maximum d'une caractéristique P(V) du générateur, et correspond au produit d'une tension optimale notée **V_{op}** et d'un courant optimal noté **I_{op}**. [19]

II.6 : Rendement maximal d'une cellule PV :

La puissance maximale d'une cellule PV est donnée par l'expression.

$$P_m = I_{op} \cdot V_{op} \quad \text{II.4}$$

Cette puissance est le maximum de la caractéristique P(V) de la cellule.

Si
$$P = W \cdot S_{cel} \quad \text{II.5}$$

Correspond à la puissance solaire en W tombant sur la cellule. Le rendement maximal est alors obtenu en écrivant :

$$\eta_M = P_M / P \quad \text{II.6}$$

II.7 : Les avantages et Les inconvénient d'une installation PV : a) Avantages : [22].[23]

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'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.

b) Inconvénients : [22]. [23]

Le système photovoltaïque présente toutefois des 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 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. · Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

- Tributaire des conditions météorologiques.
- 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. Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

Conclusion :

L'énergie solaire est donc transformée en électricité grâce à l'effet photovoltaïque, qui consiste à créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule en libérant des électrons sous l'action des photons.

En effet le silicium, contenu dans les semi - conducteurs, nous permet d'utiliser la lumière comme source d'électricité à travers les cellules photovoltaïques. Les panneaux solaires, constitué d'un grand nombre de ces cellules, permet d'utiliser l'effet photovoltaïque dans la vie courante. Même si cette source est très abondante, nous avons vu que l'énergie solaire photovoltaïque ne pouvait

Vraisemblablement ne pas être utilisé comme énergie principale à cause des faibles rendements des

cellules.

Malgré tout, certains domaines d'applications semblent plus adaptés au photovoltaïque comme le spatial, les lieux isolés, les télécommunications, la « petite » électronique, nécessitant peu de puissance.

Le photovoltaïque pourrait devenir l'énergie du futur si, d'une part son coût de production diminuait car, pour l'instant, seule une minorité de gens peuvent se procurer ces systèmes; et si d'autre part le rendement des cellules augmentait.

Le photovoltaïque serait alors une énergie propre, économique et surtout rentable. Nous pouvons alors nous demander dans quelles mesures les énergies renouvelables peuvent-elles remplacer les énergies fossiles.

CHAPITEREIII

Modélisation d'un panneau PV

جامعة بادجي مختار - عنابة
Badji Mokhtar – Annaba University

Introduction :

Lorsque la jonction PN est éclairée, elle peut fonctionner en générateur. Dans ce chapitre nous allons établir le modèle mathématique d'un panneau photovoltaïque, qui nous permette de tracer la caractéristique courant-tension de sortie.

III.1. Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

III.1.1. modèle mathématique :

Le modèle mathématique associé à une cellule se trouve à partir de celui d'une jonction PN. On y ajoute le courant I_{pv} proportionnel à la quantité de photons reçus par la cellule [20], ainsi qu'un terme modélisant les phénomènes internes. Le courant I issu de la cellule s'écrit alors.

$$I = I_{pv\text{celle}} - I_{sat\text{celle}} \left[\exp \left(\frac{q \cdot V}{a \cdot k \cdot T} \left(1 + \frac{V + R_s I}{R_p} \right) \right) - 1 \right] \quad \text{III.1}$$

Ou:

$I_{pv\text{celle}} = a \cdot 1 \cdot W$,photo courant (A).

Avec : $a_1=2.5 \cdot 10^{-7}T+2 \cdot 10^4$ [en A/ (w/m²)]

$$I_D = I_{\text{satcell}} \left(\exp \left(\frac{q \cdot v}{a \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right)$$

Avec:

III.2

$$I = I_{\text{pvcell}} - I_D$$

$V_T = kT / q$: la potentielle thermodynamique à une température donnée.

I_D : le courant d'une jonction PN (A).

I_{sat} : le courant de saturation (A).

R_s : résistance série (Ω).

R_p : résistance parallèle (shunt) (Ω).

K : la constante de Boltzmann ($k=1.38 \cdot 10^{-3}$ (j /°k)). q : la charge

de l'électron ($q=1.6 \cdot 10^{-19}$ (c)).

T : la température de la cellule (°k).

a : le facteur d'idéalité ($1 \leq a \leq 2$, $a=2$ pour une diode en silicium).

On peut déduire de ces expressions, un schéma équivalent comme le montre la figure.III.1

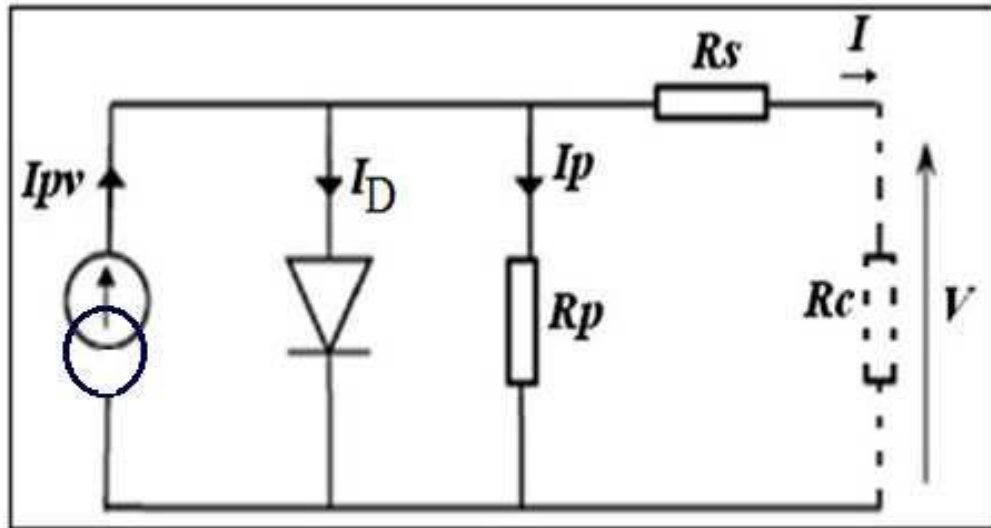


Fig.III.1 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle

Les valeurs respectives de ces éléments déterminent les performances de la cellule réelle en particulier les caractéristiques courant-tension $I = f(V)$ comme le montre la figure III.2

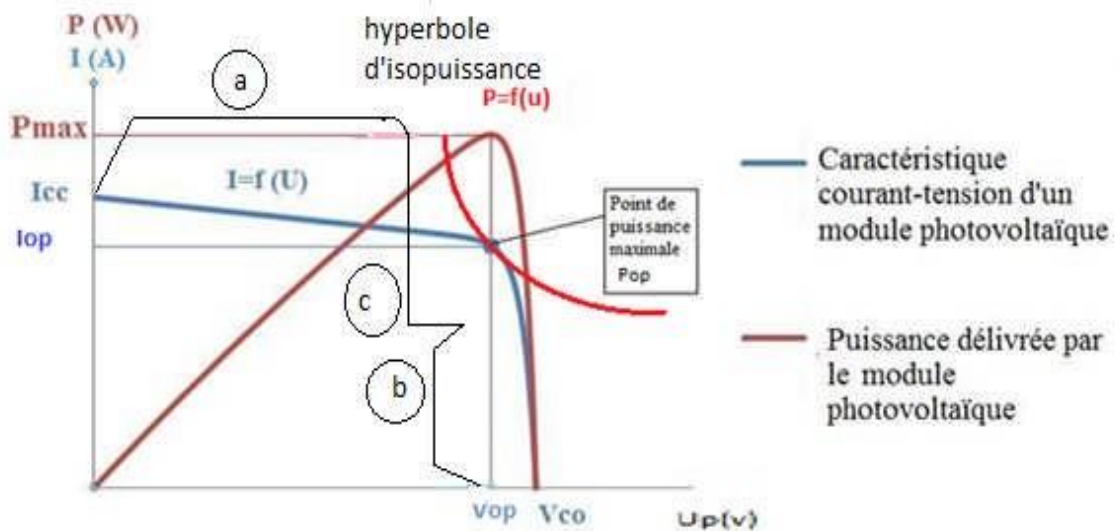


Fig.III.2 les différentes zones de la Caractéristique d'une cellule photovoltaïque réelle. [11]

❖ Quatre données essentielles permettent de déterminer la caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque :

- le courant de court-circuit noté I_{cc} .
- la tension à vide noté V_{co} .
- le courant de puissance maximale noté I_{op} .
- la tension de puissance maximale noté V_{op} .

-Le courant de puissance maximale et la tension de puissance maximale sont définis tels que le produit $I_{op} \cdot V_{op}$ est maximale.

-La valeur des 4 paramètres ci-dessus sont dépendants de l'éclairement et de la température de module. La figure III.1 montre que la caractéristique $I=f(u)$ se divise en 3 parties. [11]

1- La zone (a): où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le

générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant. **2- La zone (b):**

correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

3- La zone (c): qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension

III.2. Modélisation d'un panneau photovoltaïque :

III.2.1. caractéristique d'un panneau photovoltaïque :

Une fois que l'on a caractérisé la cellule photovoltaïque, on modélise le module comme une association de N_S cellules en série, N_P cellule en parallèles en supposant qu'elles sont identiques. Le courant de court-circuit du module se multiplie par N_P , tandis que la tension à circuit ouvert du module se multiplie par N_S .

La caractéristique d'un module qui comporte N_S cellules connectées en série et en N_P cellules connectées en parallèle est donnée par :

$$I = I_{pv} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{a V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p}$$

III.5

Avec : $I_{pv} = I_{pvcell} * N_P$ et $I_{sat} = I_{satcell} * N_P$

Et $V_T = N_S k T / q$: le potentiel thermodynamique d'un panneau photovoltaïque.

Les équations du modèle sont présentées en détails et le modèle

Est validé avec les données expérimentales

Le courant généré par le panneau photovoltaïque dépend linéairement de l'irradiation solaire et est également influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{pv} = (I_{pv,n} + K_I \Delta T) W / W_n \quad \text{III.6}$$

Avec : $I_{pv,n} = \frac{I_{ccn}}{K_I}$

$I_{pv,n}$: est le courant généré par la lumière à la valeur nominale .(Généralement de 25°C et 1000w /m²),

$\Delta T = T - T_n$: (T et T_n étant la température réelle et nominale [K]),

W [w/m²] : est l'irradiation sur la surface du dispositif,

W_n : est l'irradiation nominale [24], [25], [26].

L'hypothèse $I_{cc} \approx I_{pv}$ est généralement utilisée dans les modèles photovoltaïques, car dans les dispositifs pratiques la série la résistance est faible et la résistance parallèle est élevée être exprimée par [22],[25],[26]:

$$I_{cc} = (I_{ccn} + k_I \Delta T) W / W_n$$

I_{cc} : courant de court circuit

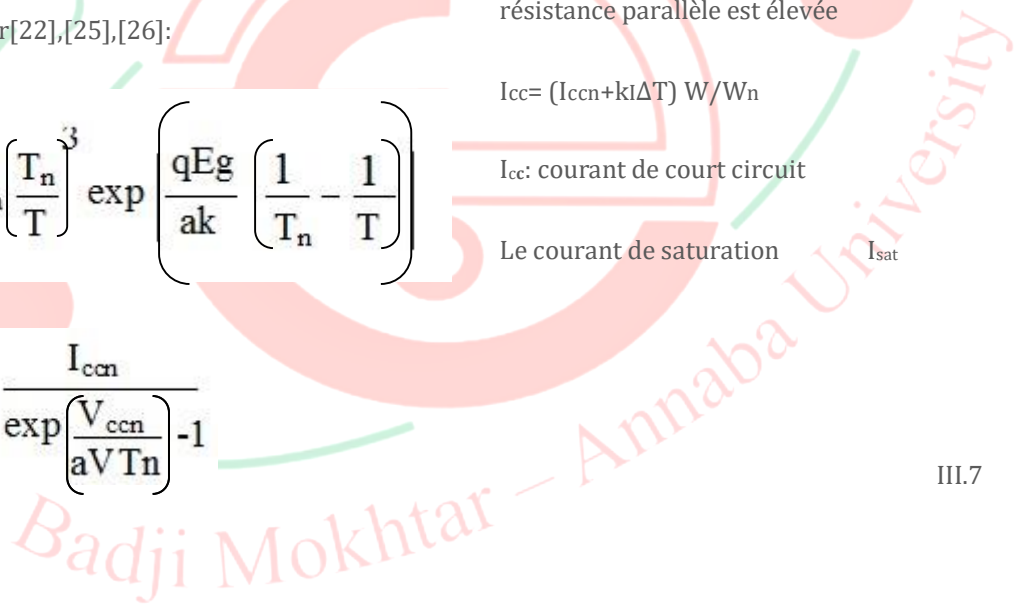
Le courant de saturation I_{sat}

$$I_{sat} = I_{satn} \left(\frac{T_n}{T} \right)^3 \exp \left(\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right)$$

Avec

$$I_{satn} = \frac{I_{ccn}}{\exp \left(\frac{V_{ccn}}{aVT_n} \right) - 1}$$

III.7



E_g : l'énergie de la bande interdite du semi-conducteur ($E_g \approx 1,12\text{eV}$ pour le silicium à 25°C)

$I_{\text{sat},n}$: le courant de saturation nominale

$V_{T,n}$: la tension thermique à la température nominale [25] , [27].

Le modèle photovoltaïque décrit dans la section précédente peut être améliorée si l'équation (III.7) est remplacé par :

$$I_{\text{Sat}} = \frac{I_{\text{ccn}} + K_i \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{\text{CCn}} + K_v \Delta T}{aVT}\right) - 1}$$

III.9.

L'équation (III.10) peut être introduite dans le modèle :

III.10

$$I_{\text{PVn}} = \frac{R_p + R_s}{R_p} I_{\text{ccn}}$$

III.3 Calcul de R_s et R_p :

La relation entre R_s et R_p , les seules inconnues de l'équation (III.5) , peut être trouvée en faisant :

$P_{\text{max},m} = P_{\text{max},e}$ et la résolution de l'équation résultante pour R_s , comme le Montre les équations (III.11) et (III.12) :

$$P_{\max,m} = P_{\max,e} = V_{op} * I_{op}$$

Ou $P_{\max,m}$: la puissance maximale mesurée

$P_{\max,e}$: la puissance maximale expérimentale

$$P_{\max,m} = V_{mp} \left(I_{PV} - I_{sat} \left[\frac{q}{kT} \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{a \cdot N_s} \right] - \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{R_p} \right) = P_{\max,e}$$

$$R_p = \frac{V_{mp}(V_{mp} + I_{mp})}{V_{mp} I_{PV} - V_{mp} I_{sat} \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{a \cdot N_s} \frac{q}{kT}\right) + V_{mp} I_{sat} - P_{\max,e}} \quad \text{III.12}$$

Les valeurs initiale de R_p et R_s peuvent être proposées par :

$$R_{p\min} = \frac{V_{mp}}{I_{ccn} - I_{mp}} - \frac{(V_{ccn} - V_{mp})}{I_{mp}} \quad \text{III.13}$$

$$R_{s\max} = \frac{(V_{ccn} - V_{mp})}{I_{mp}}$$

La résistance série (R_s) du module PV a un grand impact sur la pente de la courbe I-V, par conséquence la valeur de R_s est calculée en évaluant la pente dI / dV de la courbe I-V au point V_{cc} [28]. D'après l'équation (II8), la valeur de R_s est évaluée de la façon suivante :

$$dI=0-I_{sat} *q \left[\frac{dV+R_s *dI}{aKT} \right] *exp \left[q \left(\frac{V+IR_s}{aKT} \right) \right]$$

$$R_s = - \frac{dV}{dI} - \frac{aKT/q}{I_{sat} *exp \left(q \left(\frac{V+IR_s}{aKT} \right) \right)} \quad \text{III.14}$$

III.15

Alors, d'après l'équation (III.15), la valeur de R_s est estimée en fonction de $V_{CC}=V$.

$$R_s = - \left. \frac{dV}{dI} \right|_{V_{CC}} - \frac{akt/q}{I_{sat} *exp \left(\frac{qV_{CC}}{akt} \right)} \quad \text{III.16}$$

III.4 Evaluation de facteur de qualité :

Le facteur de qualité de diode (a) est inconnu et doit être estimé, généralement il prend une valeur entre 1 et 2. On prend la valeur de $a=2$ (pour la diode idéale en silicium).

[28]

III.5 Résolution de l'équation $I=f(V)$:

Finalement après la détermination des différents paramètres du circuit équivalent, il est possible de résoudre l'équation de la caractéristique $I(V)$, donc on peut résoudre numériquement pour un éclairage donné et une température de module, l'ensemble des paramètres inconnus qui sont (I_L , I_0 , n , R_s), puis les autres variables inconnues dans l'équation $I(V)$ originale sont I et V du module [6].

Bien qu'il puisse être possible de trouver la réponse par des itérations simples, la méthode du newton est choisie pour la convergence rapide de la réponse [28].

La méthode de newton est décrite par la formule suivante :

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)},$$

Ou : $f'(x_n)$ est le dérivé de la fonction $f(x)$.

x_n : la valeur de l'itération n .

x_{n+1} : la valeur de l'itération $n+1$.

Par conséquent, l'équation (III.4) devient :

$$f(I) = I_{PV} - I - I_{SAT} \left(\exp \left(q \left(\frac{V + IR_s}{aKT} \right) \right) \right) \quad \text{III.17}$$

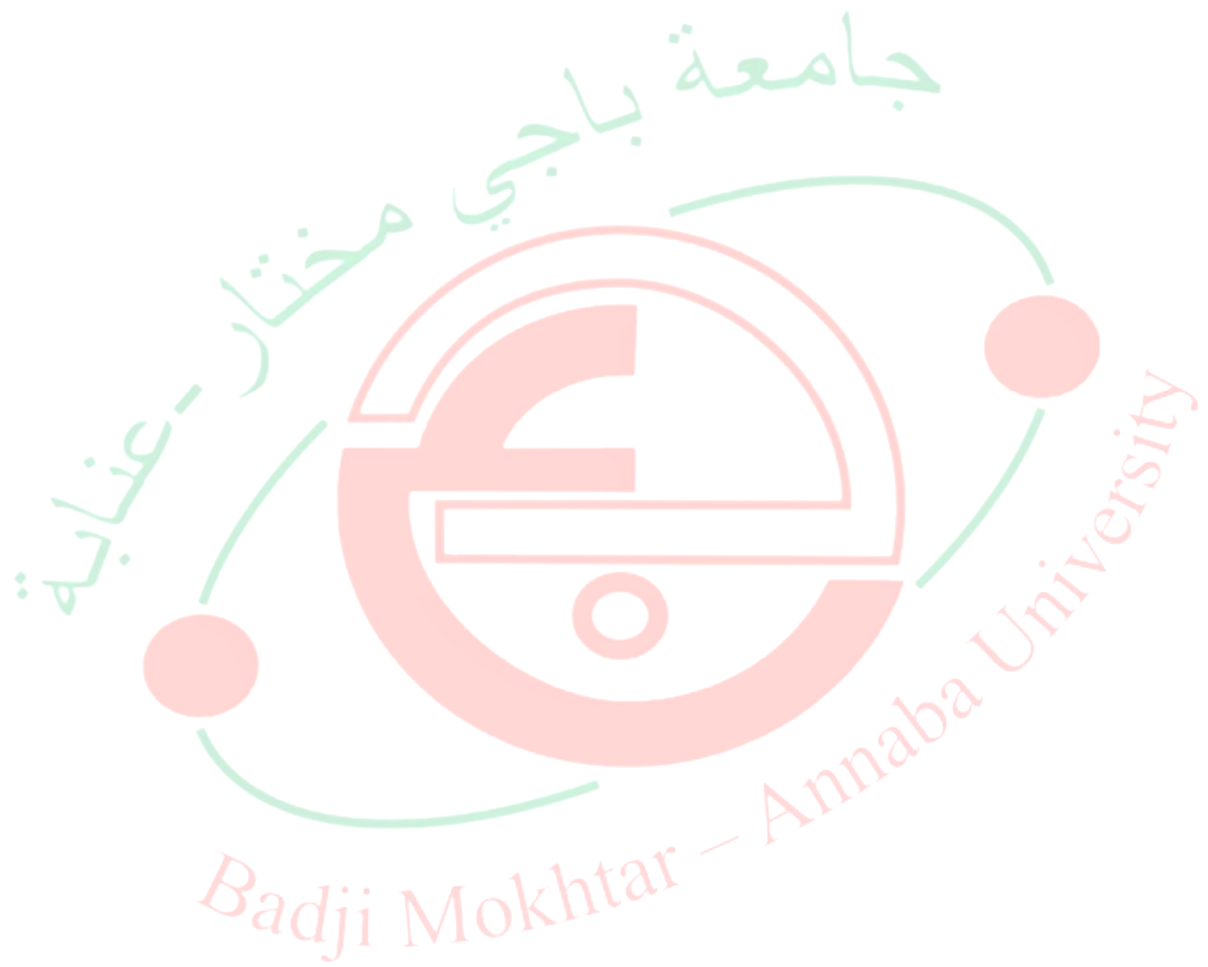
La substitution de cette équation dans la formule (III.2) donne l'équation (III.4) et le courant de sortie I est calculé itérativement :

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{pv} - I_n - I_{SAT} \left(\exp \left(q \left(\frac{V + I_n R_s}{aKT} \right) \right) - 1 \right)}{-1 - I_{SAT} \left(\frac{qR_s}{aKT} \right) \exp \left(q \left(\frac{V + I_n R_s}{aKT} \right) \right)} \quad \text{III.18}$$

Conclusion :

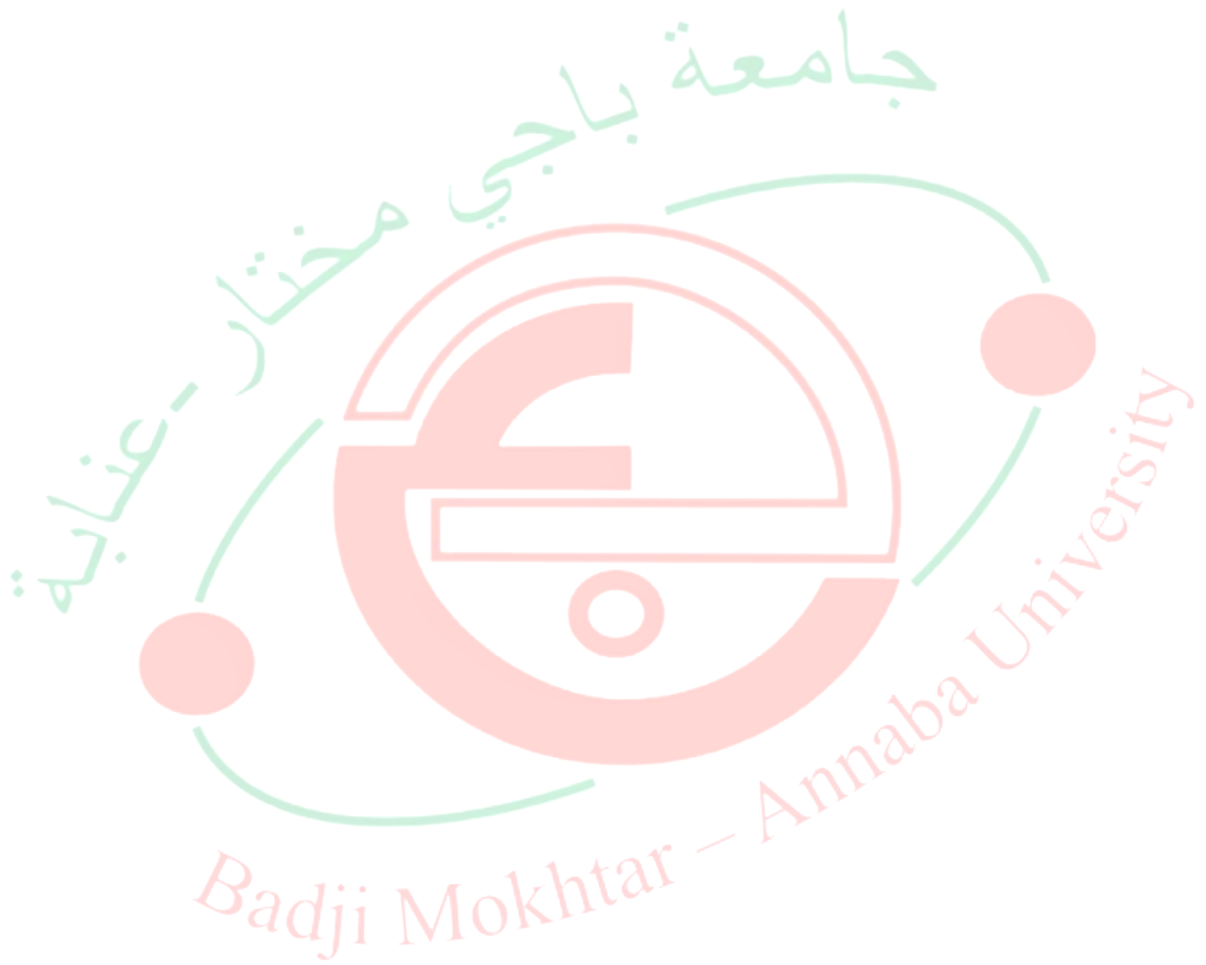
Ce chapitre a été consacré à la modélisation des panneaux PV. Nous avons d'abord caractérisé la cellule

PV à partir de celui d'une jonction PN éclairée, puis nous avons décrit le modèle mathématique associé à un panneau PV, qui nous permet de tracer la caractéristique courant-tension à la sortie du module.



CHAPITEREIV

SIMULATION D'UN PANNEAU PV



Introduction :

La stratégie de modéliser un module PV n'est aucun différent de modéliser une cellule PV.

Les paramètres sont les mêmes, mais seulement la tension qui va changer (la tension du circuit ouvert) est différente et doit être multipliée par le nombre de cellules en série.

IV.1.Simulation :

A l'aide du logiciel **PVsystem** version 5.4 (study of photovoltaicSystems) copyright from université of Geneva on simule un panneau photovoltaïque. La méthode employée ici est appliquée dans programmes script pour la simulation des différents effets sur la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ telle que, l'influence d'irradiation, température, la résistance série.

Pour effectuer nos simulations on a utilisé le panneau SI 1088 T2 Dont les caractéristiques sont regroupées dans le Tableau (IV.1).

Les paramètres	Symbole	Unité
Tension de circuit ouvert	VCO	370V
Courant de court circuit	ICC	5.10A
Tension de puissance maximale	Vmp	264.00V
Courant de puissance maximal	Imp	3.89A
Puissance maximal	PMAX	1119.4w
Nombre de cellule en série	NS	176
Nombre de cellule en parallèle	NP	5
Coefficient de température courant	K _i	5.1 mA/°C
coefficient de température tension	k _v	-1345 mv/°C
coefficient de température		0.10%/°C

Facteur d'idéalité	A	4.25
--------------------	---	------

Tableau. IV.1 : caractéristiques électriques du module SI 1088 T2

IV.1.1 :Influence de l'irradiation :

Lorsque l'éclairement w varie, ce qui est inévitable le long d'une journée ensoleillée la caractéristique d'un panneau PV évolue.

Il ya proportionnalité entre le photo courant et le flux la lumineux tombant sur le panneau.

Pour extraire le maximum d'énergie électrique, il faut adapter l'impédance de la charge.

Les résultats de simulation montrent comment doit évoluer la résistance de charge en fonction de l'éclairement pour extraire de maximum de puissance.

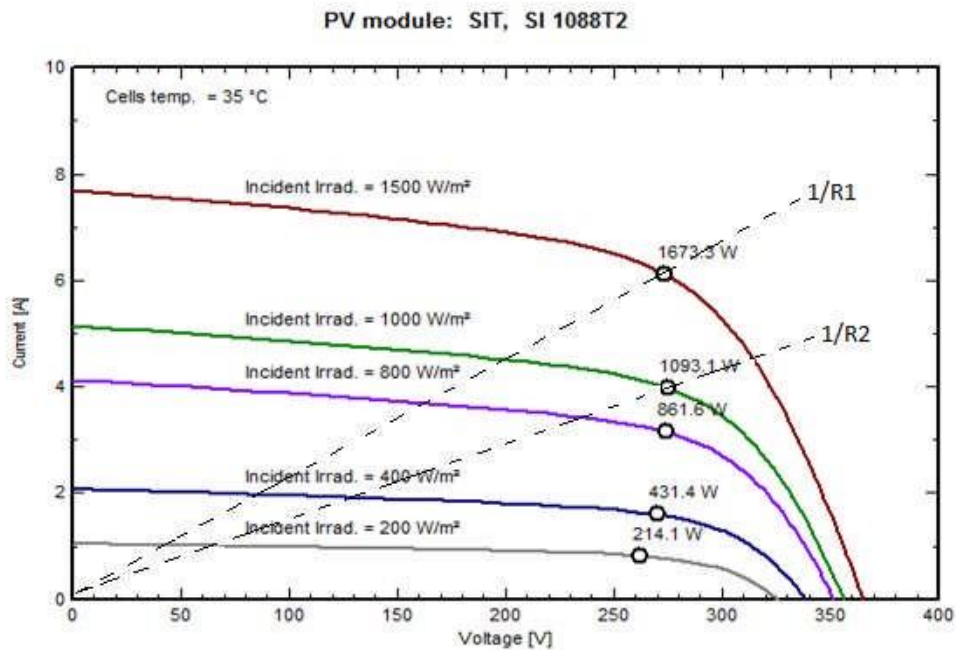


Fig.IV.1 : Caractéristique $I = f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes irradiances solaires à température constante égale à 35°C.

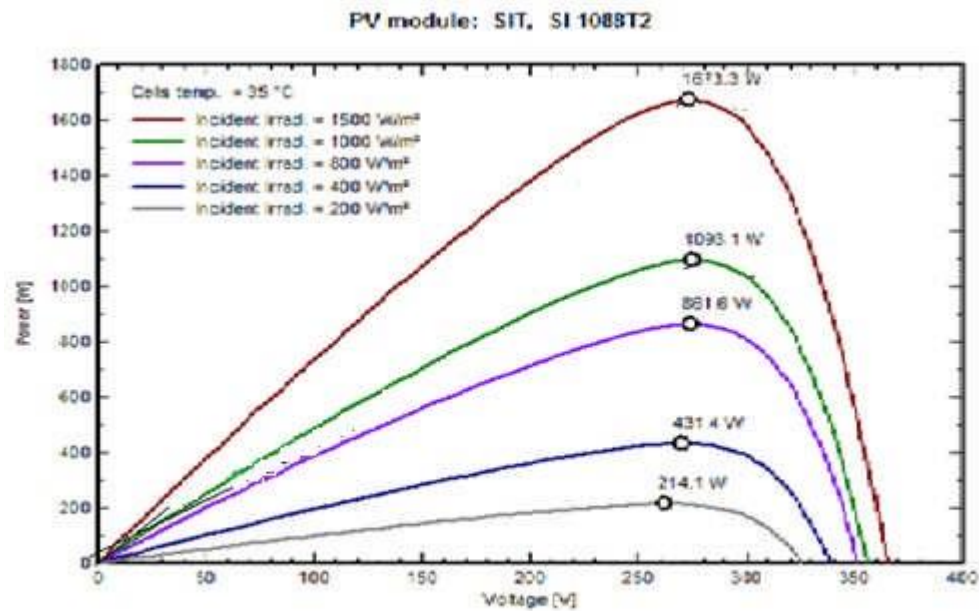


Fig.IV.2: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents éclairagements à température constante égale à $35^{\circ}C$.

IV.1.2 Influence de la température :

Quand la température des cellules d'un panneau PV augmente, le courant d'obscurité I_d croît très vite, faisant ainsi chuter la tension comme le montre les résultats de simulation. Pour améliorer les performances de l'installation il faut chercher à refroidir les cellules PV.

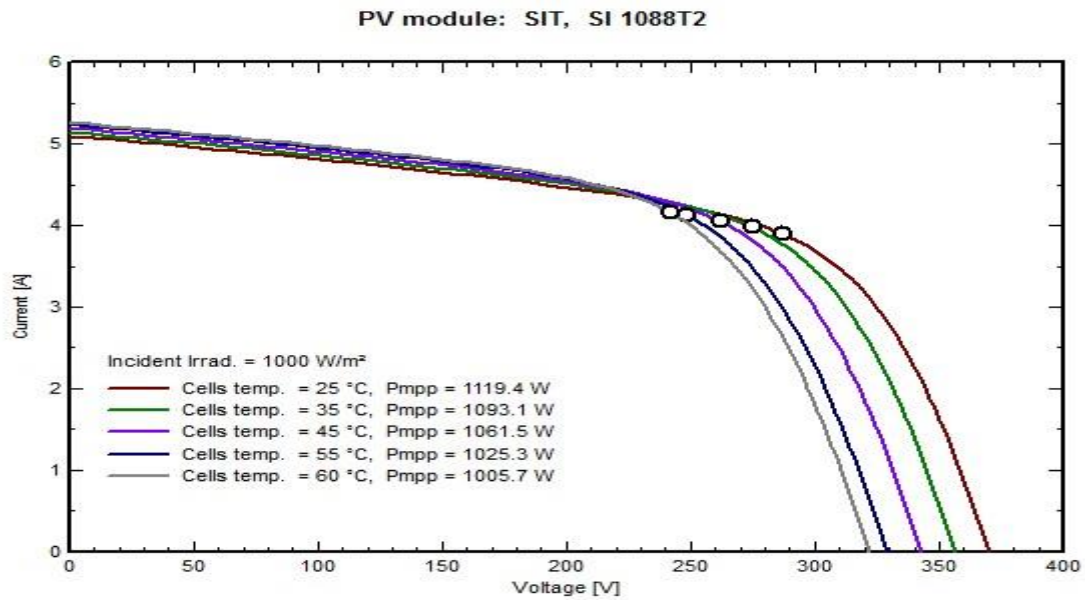
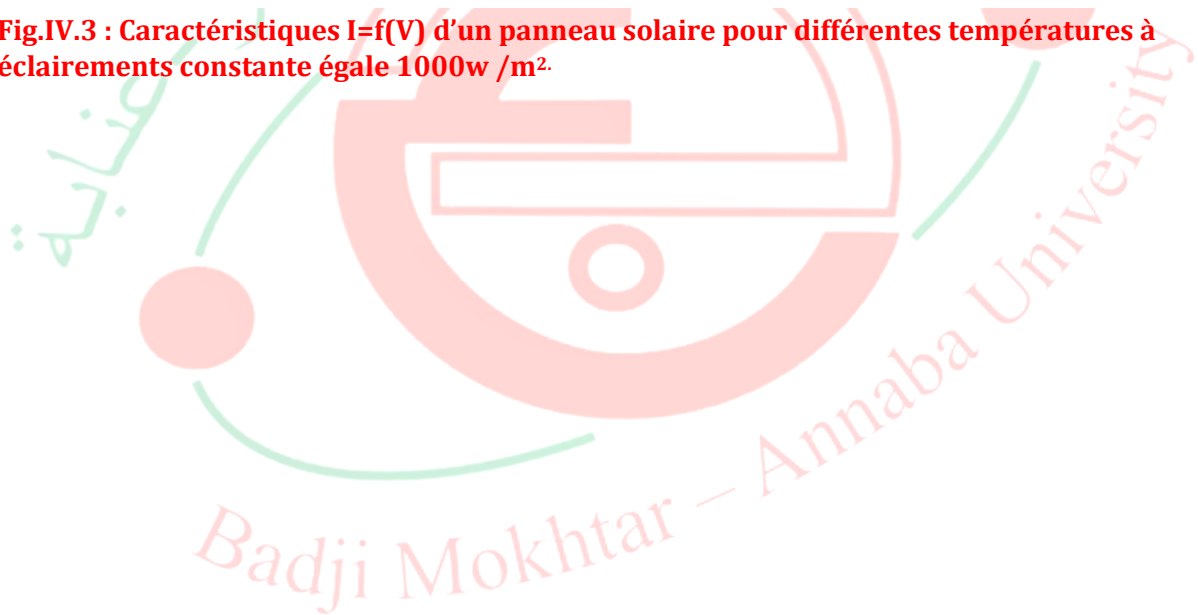


Fig.IV.3 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes températures à éclairements constante égale 1000w /m².



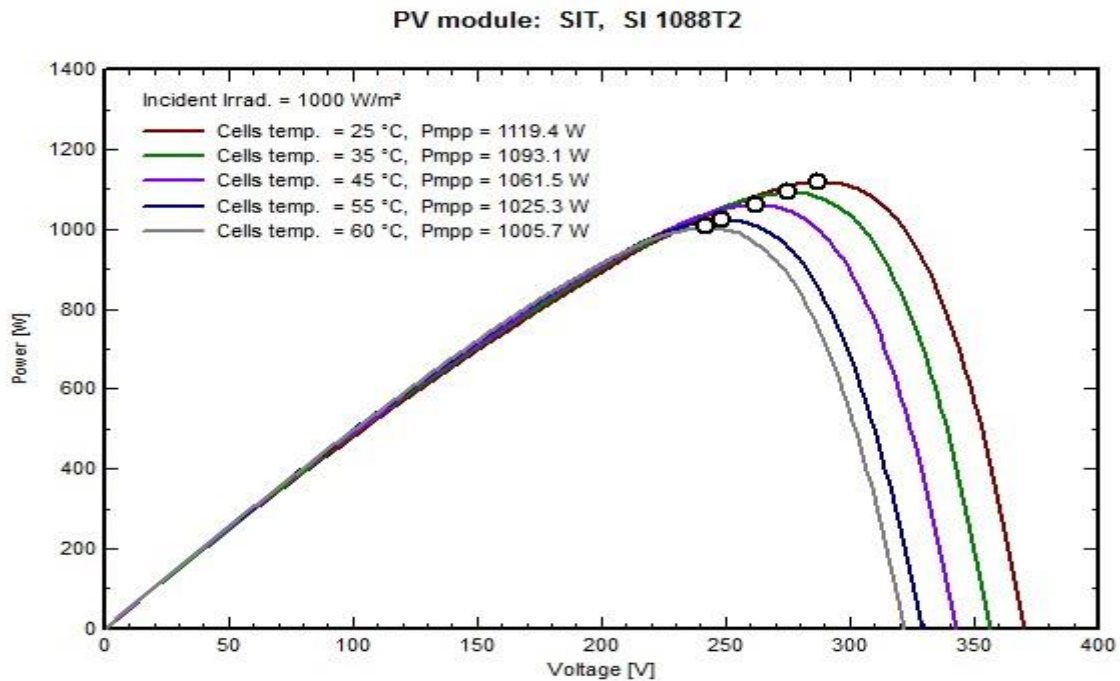


Fig.IV.4: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes températures à éclairements constante égale 1000w/m^2

IV.1.3 Influence de la résistance série R_S et parallèle R_P :

Le matériau semi-conducteur présente une résistance série R_S le plus souvent inférieure à $1\ \Omega$ et une résistance parallèle R_P bien supérieure à R_S due aux contacts métallique. Ces deux résistances altèrent sensiblement la puissance maximale fournie par le panneau PV comme le montrent les résultats du simulation.

IV.1.3.1 :Influence de la résistance série :

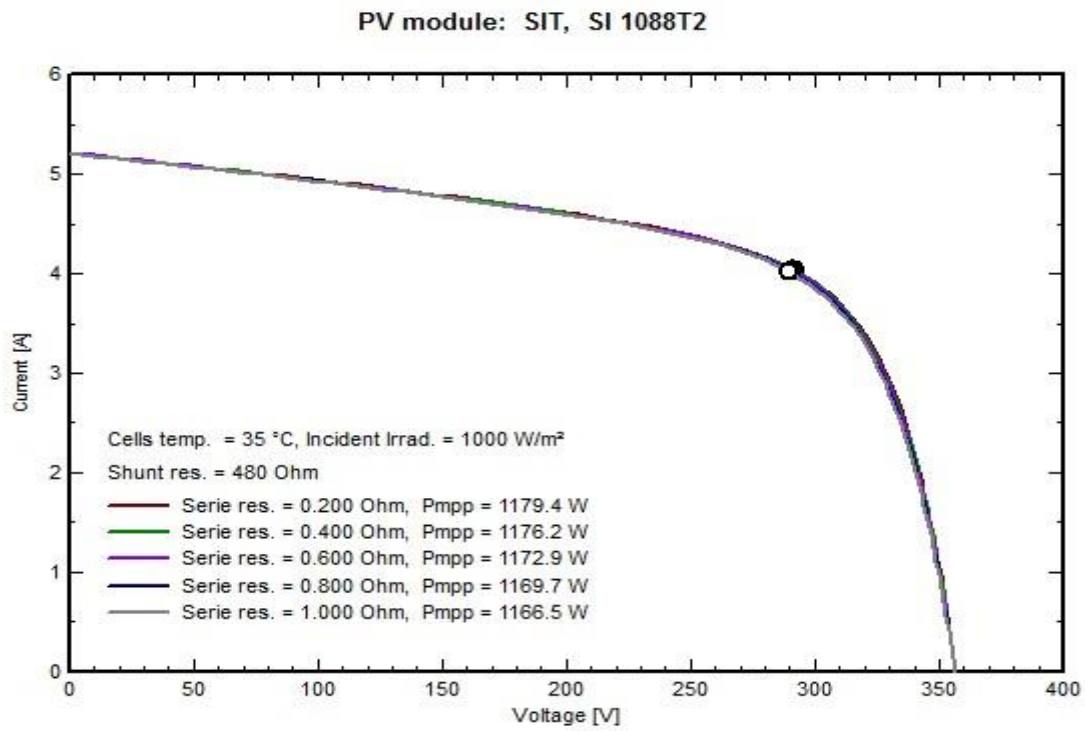


Fig.IV.5 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairements constante égale 1000w/m²

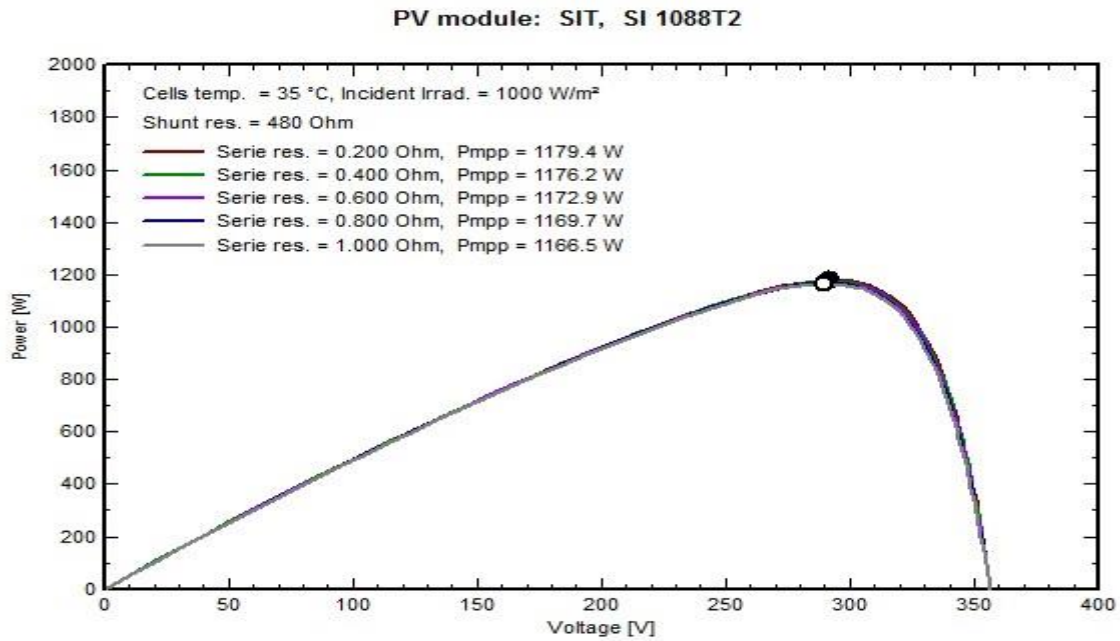


Fig.IV.6 : Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairements constante égale 1000w/m².

IV.1.3.2 : Influence de la résistance parallèle :

Badji Mokhtar – Annaba University

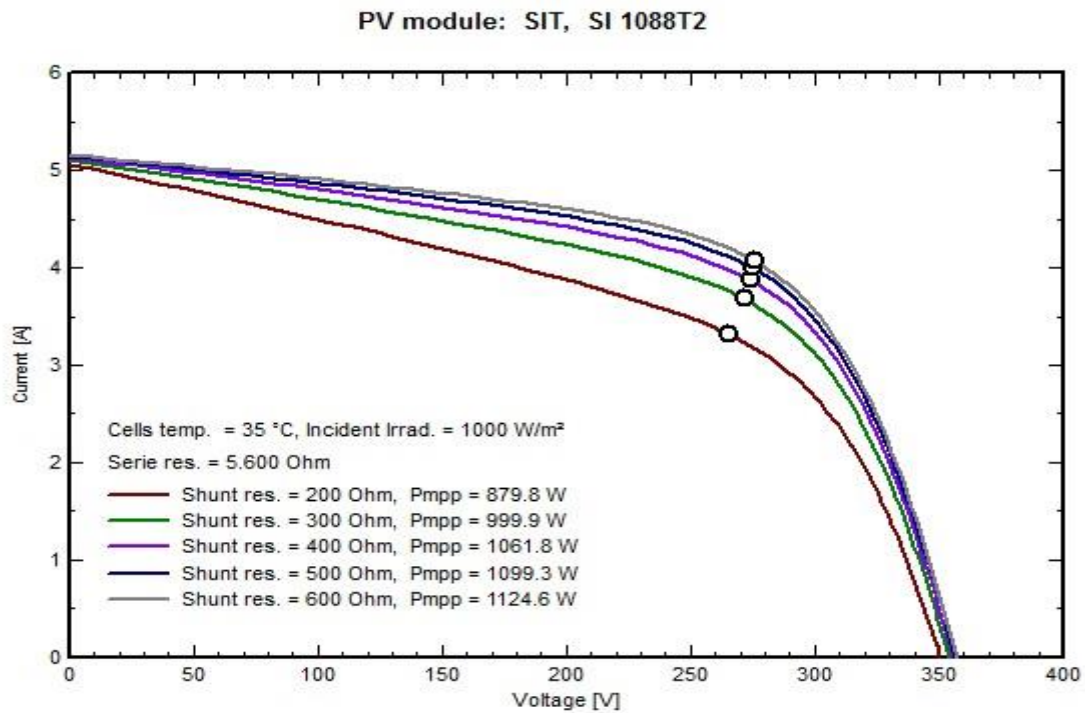


Fig.IV.7 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairements constante égale 1000w/m²

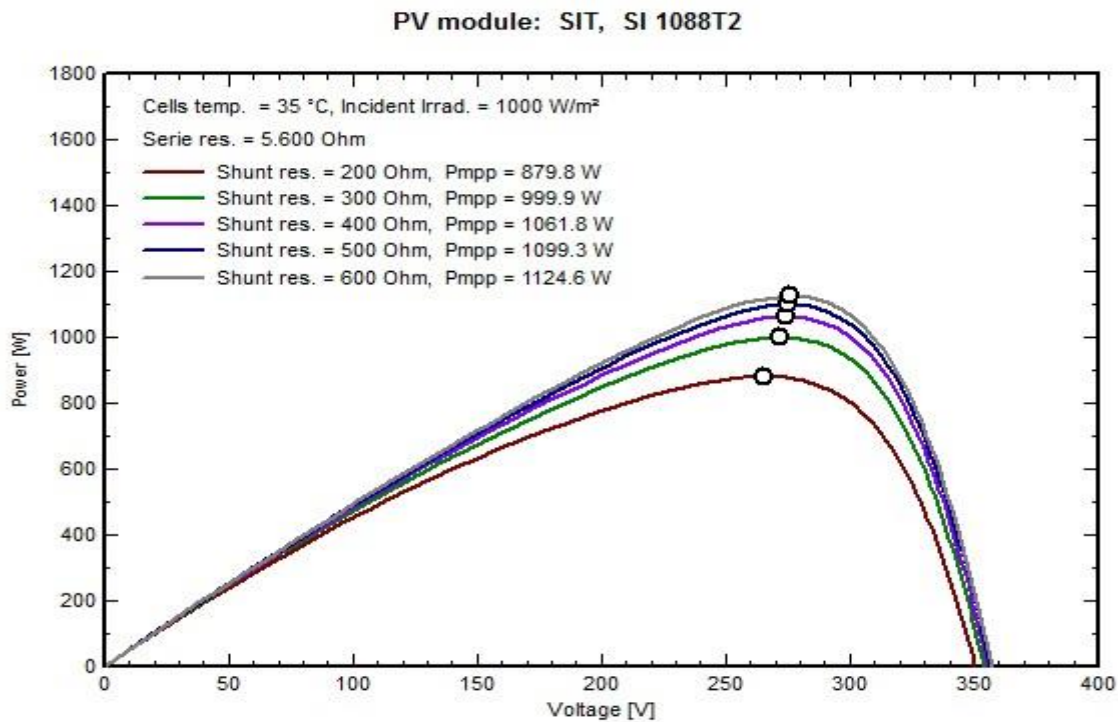


Fig.IV.8 : Caractéristiques P=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 35°C et éclairements constante égale 1000w/m².

Conclusion :

Les résultats de simulation montrent que les performances d'un panneau PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'éclairage solaire et la température.

Quant l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant croît, ce qui permet au module de produire une puissance électrique plus importante.

Quant l'ensoleillement diminue il faut adapter la charge aux nouvelles conditions pour se trouve au maximum du rendement : $R=V_m/I_m$.

L'évolution de la caractéristique I=f(V) en fonction de la température montre que le courant augmente lorsque la température s'élève.

L'augmentation de la température entraîne une diminution de V_m et une légère augmentation du courant I_m et par suite une baisse du rendement maximal.

Les performances d'un panneau PV sont d'autant plus dégradées que R_s est grande, cette influence se

traduit par une diminution du point de puissance maximum.

La caractéristique $P=f(V)$ comporte un point de puissance maximal (PPM). Le raccordement direct du générateur PV ne permet de transmettre une puissance maximale que dans des conditions restreintes c'est l'inconvénient majeur des générateurs PV.

Conclusion générale :

Dans Le premier chapitre nous avons étudié les différents types d'énergies renouvelables.

Nous avons vu qu'elles constituent une alternative aux énergies fossiles, car elles sont moins

Perturbatrices de l'environnement, inépuisables et n'émettent pas de gaz à effet de serre.

Le deuxième chapitre c'est articulé sur le principe de la production de l'énergie solaire notamment l'étude de la cellule PV.

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques.

Le premier problème majeur surgissant est le faible rendement de conversion de ce matériau (dans les meilleurs des cas, il est de 17%).

Dans le troisième chapitre a été consacré à la modélisation d'un panneau PV afin d'analyser son fonctionnement et l'influence des conditions climatiques sur les caractéristiques de sortie.

Enfin, dans le quatrième chapitre nous avons simulé le panneau PV (PV module : SIT, SI 1088T2).

Les résultats obtenus montrent que les performances d'un module PV sont fortement influencées par les conditions climatiques notamment l'éclairement solaire et la température.

Le problème majeur est que les modules photovoltaïques se comportent comme des générateurs non linéaires. Le module photovoltaïque possède un point de fonctionnement optimum appelé le point de puissance maximal (PPM).

L'addition d'un dispositif d'optimisation (convertisseur DC-DC) au système PV peut être proposée comme thème pour une nouvelle étude.

*** RÉSUMÉ ***

L'augmentation du prix du pétrole ces dernières années, nous pousse à interroger de plus en plus sur la nécessité de s'intéresser à d'autres types d'énergies.

En effet, ces énergies ne sont autres que les énergies renouvelables, telles que l'énergie du vent, des cours d'eau, de la biomasse et du soleil.

La conversion de la lumière en électricité est appelée effet photovoltaïque l'énergie, l'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement solaire. Les panneaux photovoltaïque composés de cellules photovoltaïque à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en énergie électrique.

Dans ce mémoire, le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque et la simulation d'un panneau photovoltaïque pour différentes conditions climatiques ont été abordés dans leur globalité.

