



Faculté des Science de L'ingénieur

Département d'Electrotechnique

3^{ème} année licence

Mémoire de fin d'étude en électrotechnique

Etude d'un panneau photovoltaïque

Préparée par :

HEDLI ABDERRAHIM

LAMRI HICHAM

Encadré par :

Mem soltani

Président de jury :

Mem ourici

Sommaire

INTRODUCTION GENERAL.

CHAPITRE I

LES ENERGIES RENOUVELABLES

INTRODUCTION :	1
I. LES ENERGIES RENOUVELABLES :	1
I.1.RESSOURCES ENERGETIQUES RENOUVELABLES :	1
I.1.1. Génération de la chaleur :	1
I.1.1.1. L'énergie géothermique :	2
I.1.1.2L'énergie Biomasse	3
I.1.1.3. L'énergie Thermo Solaire :	5
I.2. Génération d'électricité :	7
I.2.1. L'énergie hydraulique :	7
I.2.2. Energie éolien :	9
I.2.3. Energie photovoltaïque :	12
CONCLUSION :	13

CHAPITRE II

L'ENERGIE SOLAIRE

INTRODUCTION :	15
II.1. Généralités :	15
II.2. potentiel solaire en Algérie :	16
II.2.1bilan des réalisations :	17
II.3. l'énergie solaire et l'effet photovoltaïque :	19
II.4. La cellule photovoltaïque :	21
II.4.1. Historique :	21
II.4.2. Définition :	21
II.4.3. Type de	

cellule :.....	22
II.4.3.1 Les cellules mono- cristallines :.....	22
II.4.3.2. les cellules poly- cristallines :.....	22
II.4.3.3. Les cellules amorphes :.....	23
II.4.3.4. les cellules nanocristallines :.....	25
II.4.4. Structure d'une cellule photovoltaïque :	27
II.5. Module solaire photovoltaïque :.....	25
II.5.1 ASSOCIATION DES CELLULES (le panneau solaire) :.....	26
II.5.1.1 Groupement en série	26
II.5.1.2 Groupement en parallèle	27
II.5.1.3 Le Générateur PV (Groupement mixte).....	28
II.6 Les différents types d'utilisation de générateurs photovoltaïques :.....	29
II.6.1 Alimentations électriques faibles puissances :.....	29
II.6.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes :.....	29
II.6.3 Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau :.....	30
II.7. Les avantages et inconvénient d'une installation PV	31
Conclusion :.....	32

CHAPITRE III
Modélisation d'un panneau PV

Introduction.....	34
III.1.Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	34
III.1.1.modèle mathématique.....	34
III.2.Modélisation d'un panneau photovoltaïque	35
III.2.1.caractéristique d'un panneau photovoltaïque	35
Conclusion.....	37

CHAPITRE IV
SIMULATION D'UN PANNEAU PV

Introduction.....	39
IV.1 : Simulation	39
IV.1.1 : Influence de l'irradiation	39
IV.1.2 Influence de la température	40
IV.1.3 : Influence de la résistance série	41
IV.1.4 : Influence de la résistance parallèle	42
Conclusion.....	43

CONCLUSION GENERAL

LISTE DES FIGURES
Chapitre I

Figure I.1 : l'énergie géothermique.....	2
Figure I.2 : l'énergie biomasse.....	4
Figure I.3 : l'énergie Thermo Solaire.....	5
Figure I.4 : L'énergie hydraulique.....	7
Figure I.5 : conversion de l'énergie cinétique du vent.....	9
Figure I.6 : énergie éoliens.....	11
Figure I.7 : énergie solaire	13

Chapitre II

Figure II.1 : Potentiel	
-------------------------	--

solaire.....	16
Figure II.2 : Programme d'électrification des 18 villages.....	18
Figure II.3 : programme complémentaire de soutien à la croissance.....	18
Figure II.4 : Programme de développement des wilayates des hauts plateaux	19
Figure II.5 : rayonnement solaire.....	20
Figure II.6 : déferent inclinaisons du soleil.....	20
Figure II.7 : spectre du corps noir et solaire à différents angles d'inclinaison a par rapport a l'horizon	21
Figure II.8: angle d'inclinaison.....	22
Figure II.9 : Carte du monde de l'irradiation moyenne en kWh/m ² /jour sure un plant horizontal.....	23
Figure II.10 : cellule photovoltaïque	23
Figure II.11 : Cellule au Silicium Monocristallin.....	24
Figure II.12 : Cellule au Silicium Poly-cristallin.....	25
Figure II.13 : Cellule au Silicium amorphe (couche mince).....	26
Figure II.14 : cellule nanocristalline.....	26
Figure II.15: Structure d'une cellule PV.....	26
Figure II.16 : Déferent étapes pour production du courant à partir dune cellule PV.....	27
Figure II.17 :module solaire PV.....	27
Figure II.18 : Association des modules en série.....	28
Figure II.19 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules Identiques.....	

.....28

Figure II.20 : Association des modules en
parallèle.....29

Figure II.21 : Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de np cellules
Identiques.....30

Figure II.22 : Association mixte des
modules.....30

Figure II.23 :Caractéristique résultante d'un groupement
mixte.....38

Figure II.24 : Système PV convertit la lumière du soleil en
électricité.....39

Figure II.25 : système PV
isolé.....40

Figure II.26 : Installations électriques photovoltaïques raccordées au
réseau40

Chapitre III

Figure III.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque
réelle.....34

Figure III.2 : les différentes zones de la Caractéristique d'une cellule photovoltaïque
réelle.....35

Figure III.3 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque
idéal.....35

Chapitre IV

Figure IV.1 : organigramme de courant et tension de sortie du
module.....40

Figure IV.2: Caractéristique $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes irradiances
solaires à température constante égale à
25°C.....40

Figure IV.3: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents
éclairagements à température constante égale à
25°C.....41

Figure IV.4 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes
températures à éclairagements constante égale
1000w /m².....41

Figure IV.5 : Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents
températures à éclairagements constante égale
1000w/m².....42

Figure IV.6 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à
température constante égale à 25°C et éclairagements constante égale

1000w/m².....42

Figure IV.7 : Caractéristiques P=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale

1000w/m².....43

Figure IV.8 : Caractéristiques I=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale

1000w/m².....43

Figure IV.9 : Caractéristiques P=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale

1000w/m².....43

LISTE DES TABLEAUX

N°Tableau	Intitulé	Page
Tableau II.1	Potentiel solaire	17
Tableau II.2	comparatif des différentes technologies	24
Tableau IV .1	caractéristiques électriques du module Schueco, S 325 - PP	39

Notations des symboles

AM	Le nombre de masse d'air
AM1	Rayonnement de la masse d'air "1"
D	Le rayonnement direct
G	Le rayonnement "global"
R _S	Rayon du soleil (Km)
R _T	Rayon de la terre (km)
M	répartition spectrale
E	L' énergie (J)
λ	Longueur d'onde (μm)
ν	fréquence des photons (HZ).
E _g	l' énergie de la bande interdite du semi-conducteur
$h\nu$	énergie de rayonnement
Si	silicium
GPV	Générateur Photovoltaïque
ns	nombre des cellules en série
np	nombre des cellule en parallèle
N _{ss}	nombre des panneaux en série
N _{pp}	nombre des panneaux en parallèle
V _{opt}	Tension optimal (V)
I _{opt}	courant optimal (A)
P _{max}	puissance maximale
V _T	La potentielle thermodynamique à une température donnée
I _{PV}	photo courant (A)
I _D	le courant d'une jonction p-n (A)
I _{sat}	le courant de saturation(A)
R _s	résistance série (Ω)
R _p	résistance parallèle (shunt)(Ω)
K	la constante de Boltzmann ($j / ^\circ\text{k}$)
q	la charge de l'électron (c)
T	la température de la cellule ($^\circ\text{k}$)
a	le facteur d'idéalité
I _{sat,n}	le courant de saturation nominale (A)
V _{T,n}	la tension thermique à la température nominale (V)
P _{max,m}	la puissance maximale mesurée (W)
P _{max,e}	la puissance maximale expérimentale (W)
R _{S max}	la résistance série maximal (Ω)
R _{Pmin}	la résistance parallèle minimale (Ω)
X _n	la valeur de l'itération n

X_{n+1}	la valeur de l'itération n+1
G	irradiation sur la surface du dispositif (w/m^2)
G_n	irradiation nominale (w/m^2)
K_i	coefficient de température courant
K_v	coefficient de température tension
I_G	courant du générateur PV (A)

INTRODUCTION GENERAL

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement Socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, une forme d'énergie dont on ne peut se passer. Face à la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructive pour l'environnement, les pays industrialisés ont massivement fait recours aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques traditionnelles, mais le risque d'accident nucléaire, le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures. Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement. C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables comme le solaire, la biomasse, la géothermie, la marémotrice, l'hydraulique.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissent de l'utilisation de l'énergie solaire, car elle dispose d'un des gisements solaires les plus importantes au monde dans ce contexte, l'objet du travail présenté dans ce mémoire, est l'étude de fonctionnement et la simulation d'un module photovoltaïque.

CHAPITRE I
LES ENERGIES RENOUVELABLES

INTRODUCTION :

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

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

I. LES ENERGIES 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.

I.1.RESSOURCES ENERGETIQUES RENOUVELABLES :

I.1.1. Génération de la chaleur :

Une grande partie de l'énergie consommée 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. Une description commentaires sont proposés ci-dessous.

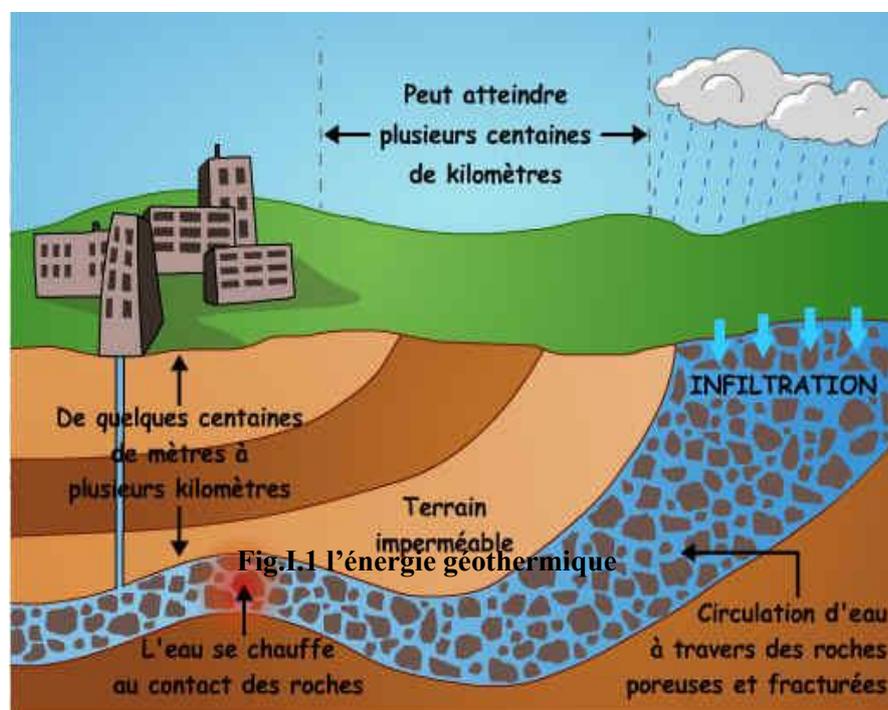
I.1.1.1. L'énergie géothermique :

Classiquement, trois types de géothermie sont distingués selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- La géothermie à haut énergie ou géothermie privilégiée qu'exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité.
- La géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100 °C.

la principale utilisation est appliquée pour les réseaux de chauffage urbain.

- La géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30 °C. sa principale utilisation est le chauffage et la climatisation individuelle par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue, car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie (voir la figure I.1).



Avantages et 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.

I.1.1.2L'énergie Biomasse :

La biomasse se définit comme « la fraction biodégradable » des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. Toutes ces matières organiques peuvent devenir source d'énergie par combustion (ex : bois énergie), après méthanisation (biogaz) ou après de nouvelles transformations chimiques (bio-carburant). (Figure I.2.).

Solution d'avenir, la biomasse constitue la 1ère source d'énergies renouvelables produites, devant l'énergie hydraulique, éolienne et géothermique.



Fig.I.2 : l'énergie biomasse

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.

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.1.1.3. L'énergie Thermo Solaire :

Une des façons de profiter directement de l'énergie des photons émis par le soleil est le chauffage direct des capteurs thermiques. Ils se comportent comme une serre où les rayons du soleil cèdent leur énergie à des absorbeurs qui à leur tour réchauffent le fluide circulant dans l'installation de chauffage. La température du fluide peut atteindre jusqu'à 60 à 80 °C. ce système est totalement écologique, très peu cher et la durée de vie des capteurs est élevée.

Une autre propriété qui rend ce type des capteurs universels est que l'ensoleillement ne doit pas forcément être direct ce que signifie que, même dans les zones couvertes de nuages (peu denses évidemment) le fonctionnement reste correct. Le grand inconvénient est l'impossibilité de transporter l'énergie ainsi captée à grande distance. Cette source est donc à utilisation locale (principalement chauffage individuel, piscines). En 2003 environ 14000 m² de capteurs de ce type ont été en utilisation en Union Européenne avec une croissance annuelle de 22%.

Une autre application de la technique solaire est la production d'eau douce par distillation qui est très intéressante du point de vue des pays en voie de développement. La technologie thermo solaire plus évoluée utilisant des concentrateurs optiques (jeu de miroirs) permet d'obtenir les températures très élevées du fluide chauffé. Une turbine permet alors de transformer cette énergie en électricité à l'échelle industrielle. Cette technologie est néanmoins très peu utilisée et demande un ensoleillement direct et permanent. (Figure. I.3).



Fig.I.3 énergie Thermo Solaire

Les Avantages :

L'utilisation thermique de solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses avantages propres, à savoir :

- ❖ Les technologies à mettre en œuvre pour utiliser l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux situations de toutes les régions.
- ❖ Les techniques et les matériaux utilisés sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. La main d'œuvre ne nécessite qu'une formation complémentaire aisément maîtrisable.
- ❖ Il s'agit d'une forme modulable de production d'énergie que l'on peut adapter en fonction de ses besoins.
- ❖ Si l'entretien des installations ne doit pas être négligé, les frais de maintenance et donc de fonctionnement sont relativement faibles.

Les Inconvénients :

L'énergie solaire thermique active a toutefois certaines limites :

- ❖ La production de chaleur est maximale pendant les mois d'été alors que les besoins en chaleur sont habituellement plus importants en hiver.
- ❖ La chaleur est une forme d'énergie qui est difficilement stockable pour une longue durée, et qui est difficilement transportable. Dès lors, l'installation solaire thermique doit être soigneusement dimensionnée en fonction des besoins de son application pour éviter tout ``gaspillage``.
- ❖ L'énergie solaire est une énergie diffuse. La puissance disponible par surface est relativement limitée, ce qui rend difficile une réponse à des besoins importants (grands ensembles d'appartements)

I.2. Génération d'électricité :

I.2.1. L'énergie hydraulique :

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes, chute, cours d'eau, marée.

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.

Un système hydraulique autonome de production d'électricité se compose :

- D'un hydro générateur.
- D'un système de stockage (l'accumulateur).

Le système le plus répandu dans l'exploitation de l'énergie hydraulique, consiste à raccorder son installation au réseau basse et moyenne tension (gère par les organismes de distribution d'électricité). Vous prenez du courant sur le réseau lorsque votre production électrique est inférieure à votre consommation et, inversement, vous approvisionnez le réseau lorsqu'elle est supérieure.

Une installation raccordée au réseau doit toutefois répondre à certaines conditions techniques – de compatibilité et de sécurité.

Le coût d'une installation varie fortement en fonction de l'infrastructure périphérique qu'il faut mettre en œuvre (bief, barrage...) (figure. I.4) ; dans les installations de très haute chute (plus de 10m), le coût de cette infrastructure peut dépasser celui de la turbine elle-même .

En règle générale, on prévoit 1/3 de l'investissement pour la turbine et 2/3 pour le reste.



Fig .I.4 L'énergie hydraulique

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.

Les Inconvénients :

- ❖ Déplacement des populations locales.
- ❖ Dégradation des écosystèmes liés à la construction des barrages et bruit causé par les turbines :
 - Destabilisation et écroulement.
 - 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.

I.2.2. Energie éolienne :

Définition :

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. I.5)

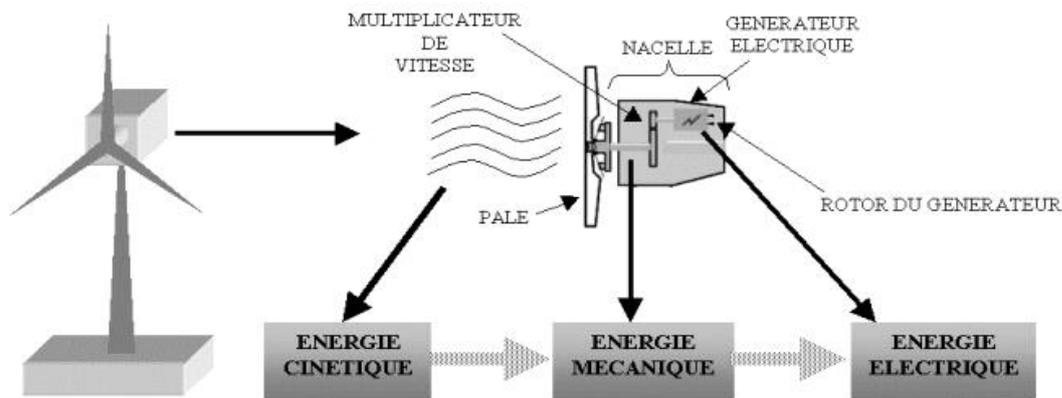


Fig.I.5 : conversion de l'énergie cinétique du vent

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 .

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

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

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.
- Eoliennes de forte puissance : supérieure à 1 MW.



Fig.I.6 énergie éoliens

Les avantages :

Chaque éolienne 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 parcelles d'éoliennes sont installées 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 qui 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.

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 sur l'écosystème par le bruit des éoliennes et les interférences électromagnétiques induites par leurs générateurs.
- ❖ Les riverains déplorent les bruits éoliens : le bruit peut être d'origine mécanique ou d'origine aérodynamique ; le récepteur des ondes hertziennes peut être perturbé, ce qui provoque une image bruitée sur les récepteurs de télévision.
- ❖ Des flashes très puissants sont émis toutes les cinq secondes en haut des mats 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.

1.2.3. Energie 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 nécessitée. Un autre inconvénient est celui de la pollution à la production qui est due à la technologie utilisée.

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'à 560MW de puissance installée. (La figure .I.7) montre l'évolution mondiale de cette ressource qui est en très nette progression depuis le début du siècle.



Fig.I.7 énergie solaire

CONCLUSION :

Des technologies innovantes ou classiques, parfois fondées sur des principes très simples, permettent d'exploiter les «gisements» solaires, 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'ENERGIE SOLAIRE

Introduction :

L'homme utilise l'énergie solaire depuis l'antiquité. Archimède aurait fait brûler les navires romains assiégeant Syracuse en focalisant les rayons du Soleil sur leurs voiles à l'aide de 70 miroirs.

Au 18^{ème} siècle, le chimiste français Antoine Laurent de Lavoisier crée un four solaire permettant d'atteindre une température de 1755°C. En 1872, un distillateur solaire de 5000m² est construit au Chili pour produire 20 000 litres d'eau douce par jour, et en 1878 le professeur de mathématiques Augustin Mouchot crée une machine solaire à vapeur qui sert à actionner L'imprimerie de l'Exposition Universelle.

A cette époque, l'énergie solaire n'est pas développée car elle n'est pas assez rentable par rapport aux énergies fossiles. Il faut attendre 1954 et la conquête spatiale pour voir apparaître les premières cellules photovoltaïques. D'abord construites pour alimenter les satellites, elles ne seront utilisées dans le civil que plus tard, lors de la crise du pétrole.

En 1976, la première centrale solaire française voit le jour; c'est la centrale Thémis, construite sur le site de Targassonne (Pyrénées-Orientales).

L'énergie solaire est aujourd'hui utilisée pour produire de l'électricité (à des fins industrielles ou domestiques), pour chauffer les habitations ou encore pour dessaler l'eau de mer.

II.1. Généralités :

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, et la flambée des cours du brut, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie : l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.

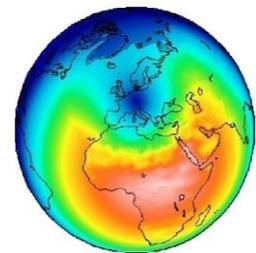
On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...).

Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse, ou dans les diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, la quantité restante demeure encore importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m², lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau.

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante :

La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est **l'énergie solaire photovoltaïque**. Ce mode de production ne nécessite pas de réseau de distribution. En effet on peut produire de l'énergie électrique là où on la consomme :

- Villages, maisons isolées (Un tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'énergie électrique).
- Relais de communication
- Pompage de l'eau
- Refuges



II.2. 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).

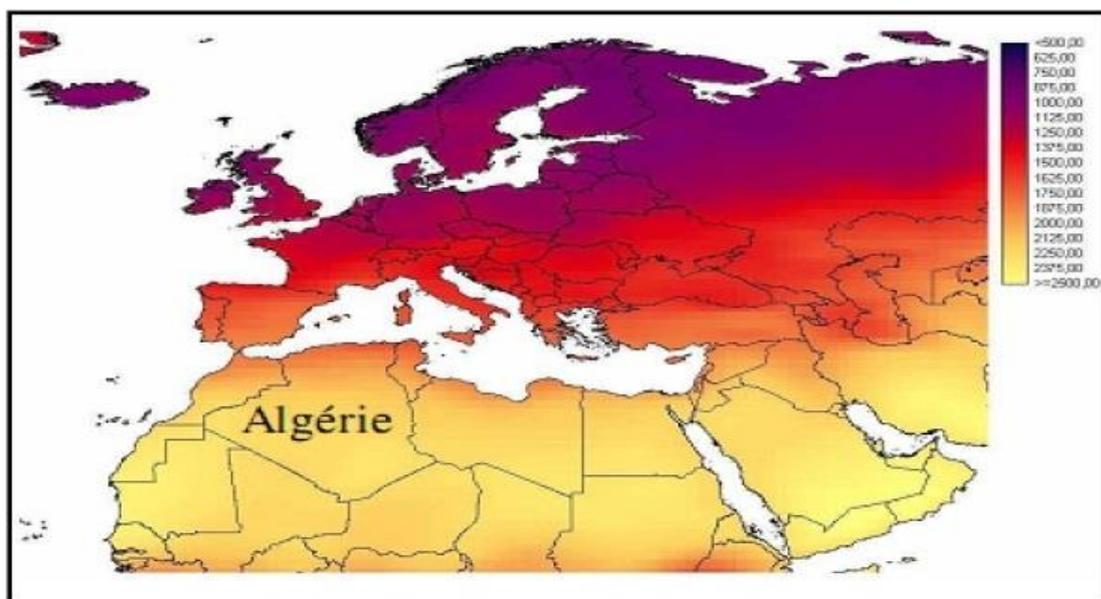


Fig.II.1 Potentiel solaire

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 près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau(II.1) résume le potentiel solaire en Algérie .

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

Tab.II.1. Potentiel solaire

II.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 à été réalisée 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).

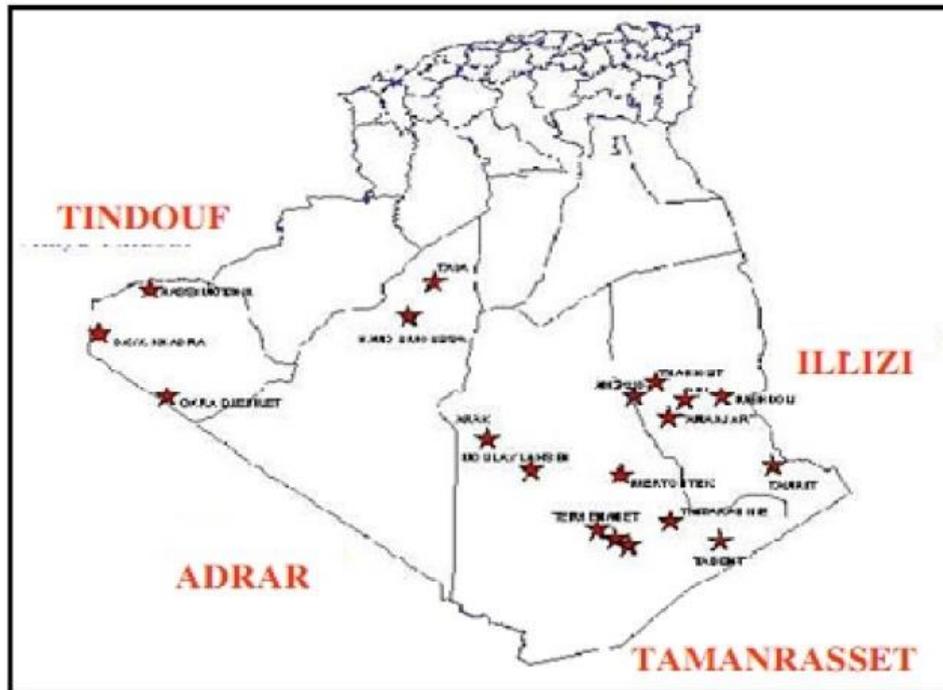


Fig.II.2 Programme d'électrification des 18 villages

D'autres programmes d'envergure ont été engagés, tel que la programme complémentaire de soutien à la croissance qui concerne l'électrification de 16 villages du sud de l'Algérie à l'énergie photovoltaïque et le programme de développement des wilayates des hauts plateaux.

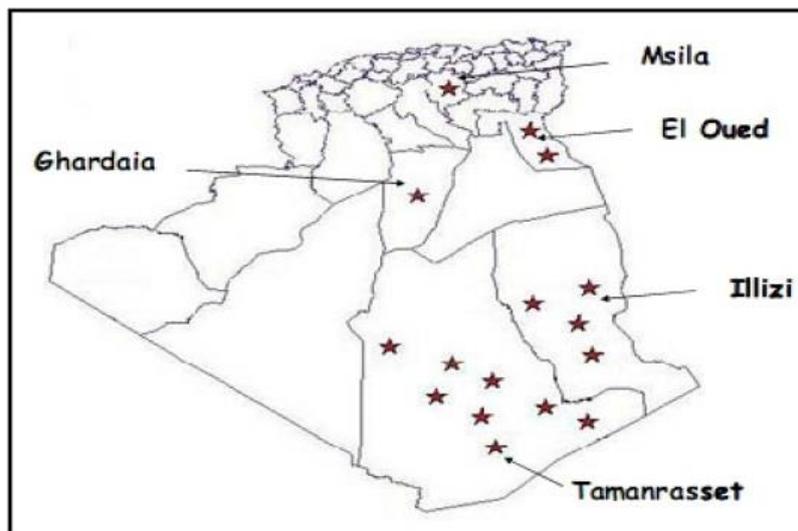


Fig.II.3 programme complémentaire de soutien à la croissance

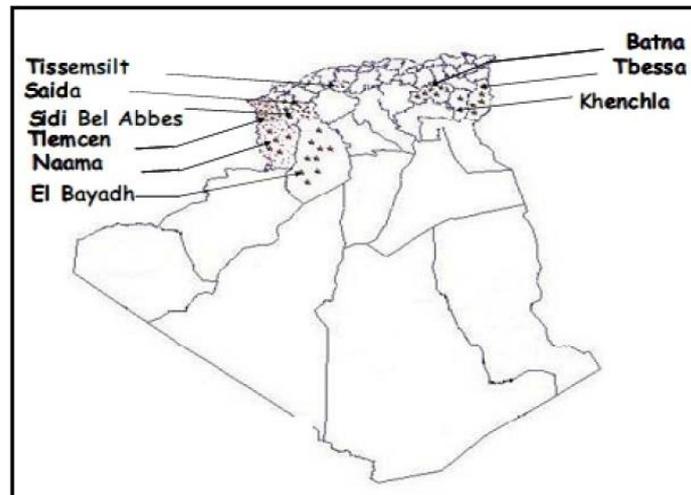


Fig.II.4 Programme de développement des wilayates des hauts plateaux

L'objectif à atteindre, affiché par le programme indicatif des besoins en moyen de production, est la contribution des énergies renouvelables à hauteur de 5% dans le bilan énergétique national à l'horizon 2017, dont une partie est dédiée à l'énergie photovoltaïque. Pour se faire, le groupe Sonelgaz en tant que principal acteur dans le domaine de la production de l'électricité s'est engagé à mettre en place une unité de fabrication de modules photovoltaïques d'une

Capacité qui avoisine les 50 MW. Cette unité

Qui sera opérationnelle à partir de septembre 2012 aura pour conséquence :

- La disponibilité du module photovoltaïque sur le marché national à moindre coût,
- La mise à disposition de ce produit au niveau du marché régional,
- L'acquisition d'une nouvelle technologie et le développement de l'expertise,
- La réduction de la dépendance vis-à-vis des pays producteurs de modules,
- La création d'emplois directs et indirects.

II.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/m².

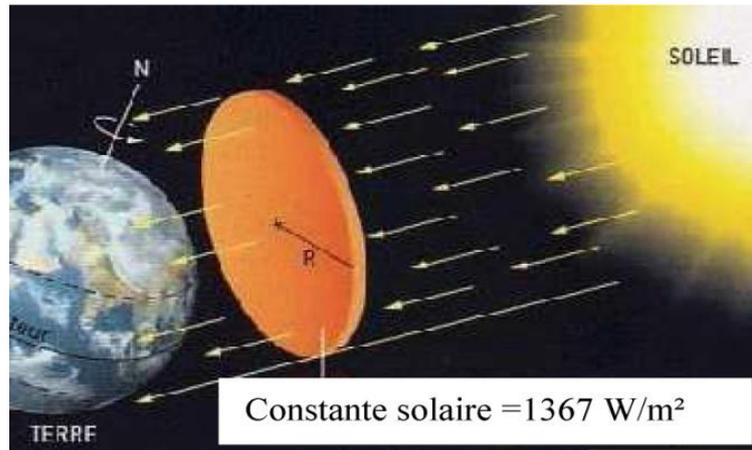


Fig.II.5 rayonnement solaire

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 1000 W/m² 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 1000 W/m².

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.

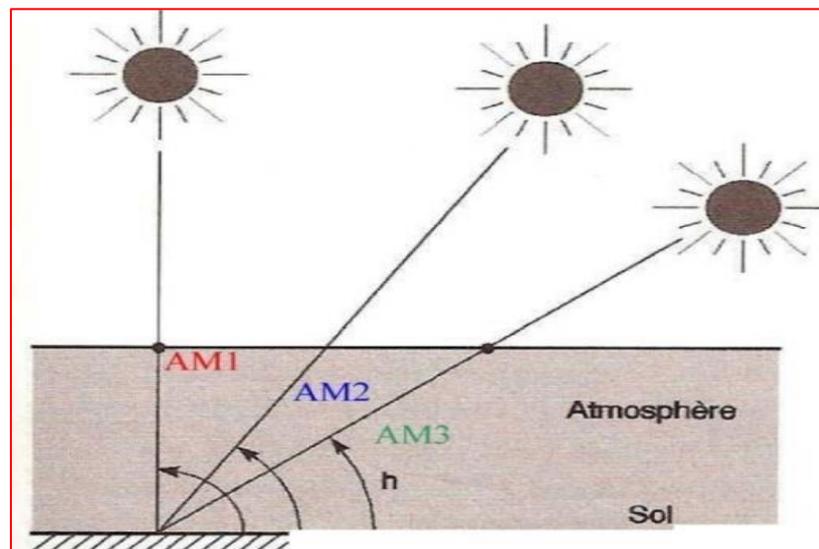


Fig.II.6 différent inclinaisons du soleil

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" incluant Rayonnement direct et rayonnement diffus et la lettre «D » tient compte seulement du rayonnement direct.

II.4. La cellule photovoltaïque :

II.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, Chapin, 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.

II.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



Fig.II 7 : cellule PV

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs,[1]

Principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs 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.

II.4.3. Type de cellule.

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou (cuivre indium sélénium).[2]

II.4.3.1 Les cellules mono-cristallines :

Sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant.

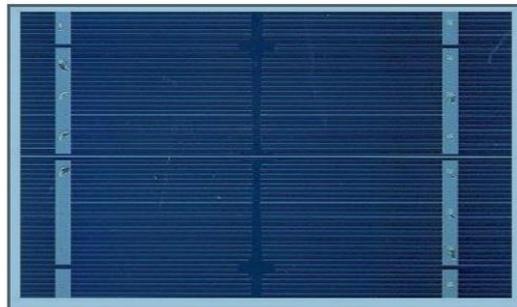


Fig II.8 Cellule au Silicium Monocristallin

II.4.3.2. les cellules poly-cristallines :

Sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (Tonalités différentes). Elle ont un rendement de 11 à 15 % , mais leur coût de production est moins élevé que les cellule mono-cristallines .

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins

d'énergie pour leur fabrication.

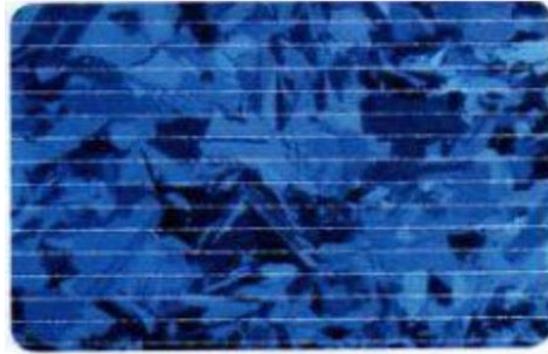


Fig II.9 Cellule au Silicium Poly-cristallin

II.4.3.3. Les cellules amorphes :

Ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8 % actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies poly cristallines ou monocristallines .cependant, les silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surface à bas coût en utilisant peu de matière première.

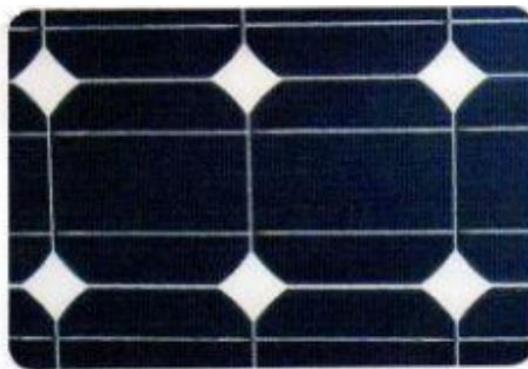


Fig II.10 Cellule au Silicium amorphe (couche mince)

II.4.3.4. les cellules nanocristallines :

une des dernières génération de photopiles ; fonctionnent selon un principe qui différencie les fonctions d'absorption de la lumière et de séparation des charges électrique ; rendement global de 10 ,4% , confirmé par des mesures au laboratoire ; procédé et coût de production encore plus bas .



Fig.II.11 cellule nanocristalline

le tableau suivant donne la comparaison entre les différentes technologies de production de cellule photovoltaïque

Matériau	Rendement	Longévité	caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18 % (24,7% en laboratoire)	20 à 30ans	*très performant *stabilité de production d' W *méthode de production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale , modules pour toits, façades,...
Silicium poly cristallin	11 à 15 % (19,8% en laboratoire)	20 à 30ans	*adapté à la production à grande échelle. *stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché mondial.	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	5 à 8 % (13% en laboratoire)		*peut fonctionner sous la lumière fluorescente. *fonctionnement si faible luminosité *fonctionnement par temps couvert. *fonctionnement si ombrage partiel *la puissance de sortie varie , la puissance délivrée est de 15 à 20 % supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois	Appareils électriques (montres , calculatrices...), intégration dans le bâtiment
Composite mono cristallin (GaAs)	18 à 20 % (27,5% en laboratoire)		*lourd , fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite poly cristallin (CdS ,CdTe ,CuInGaSe2 , Etc .)	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres , calculatrices ...), Intégration dans le bâtiment

Tableau.II.2 : comparatif des différentes technologies

II.4.4. 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.

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 .

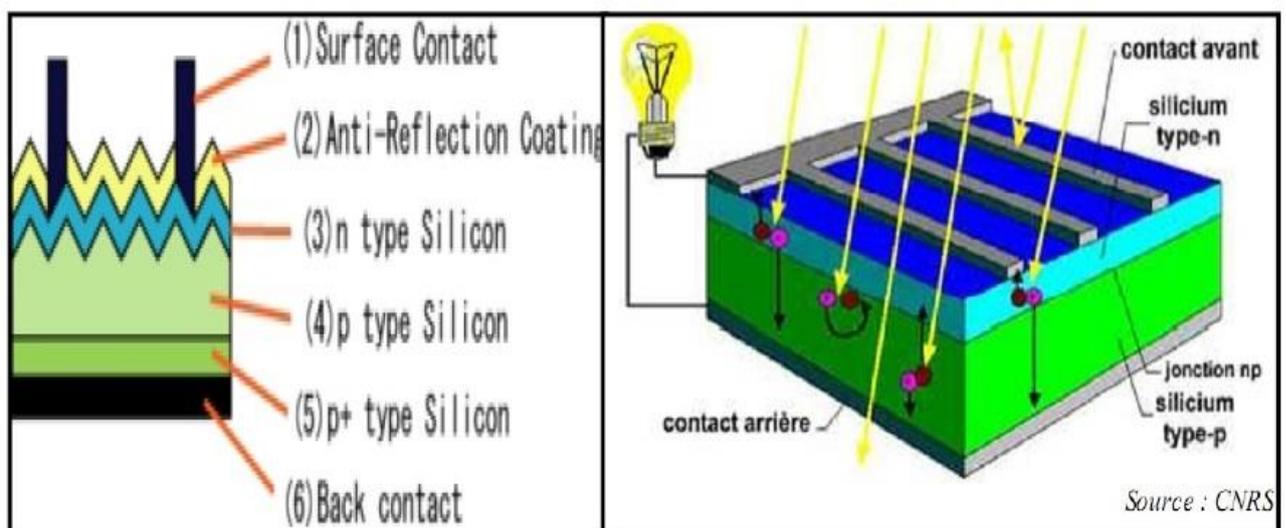


Fig.II.12 : Structure d'une cellule PV

II.5. Module solaire photovoltaïque :

Un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque) est un panneau constitué d'un ensemble des cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement.

Compte tenu d'un rendement d'environ 10% la puissance crête d'un panneau photovoltaïque est de l'ordre de 100% à 180% watts par mètre carré. L'énergie par un module dépend de la surface du panneau mais aussi de la latitude et de l'ensoleillement du lieu où il se trouve. Un module photovoltaïque ne génère aucun déchet en fonctionnement, son coût de démantèlement est très faible et ses coûts d'exploitation sont quasi nuls. La durée de vie d'un tel module est supérieure à 20 ans.



Fig.II.13 module solaire PV

II.5.1 : ASSOCIATION DES CELLULES (le panneau solaire) :

II.5.1.1 Groupement en série :

Dans un groupement en série figure (II.18), les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à courant donné. La figure (II.19) montre la caractéristique résultante (I_s , V_s) obtenue par l'association en série (indice s) de n_s cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

Avec :

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

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

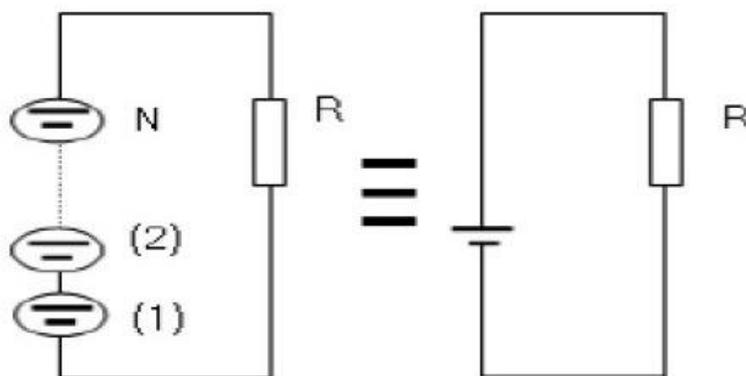


Fig II.14 Association des modules en série

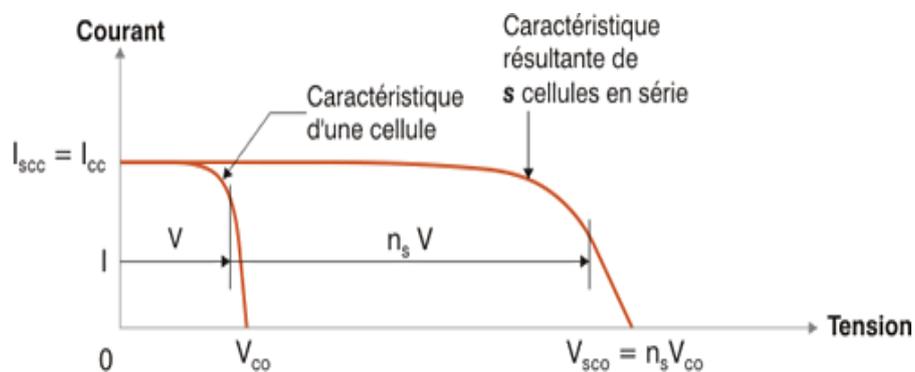


Fig.II.15 Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules Identiques

II.5.1.2 Groupement en parallèle :

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle figure (II.20), les cellules étant soumises à la même tension, les intensités s'additionnent : la caractéristique résultante est obtenue par addition de courants à tension donnée. La figure (II.21) montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) n_p cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

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

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

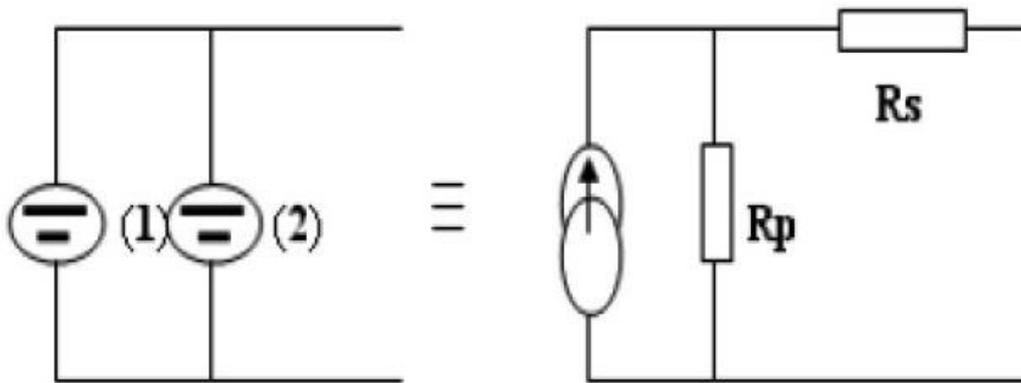


Fig.II.16 Association des modules en parallèle

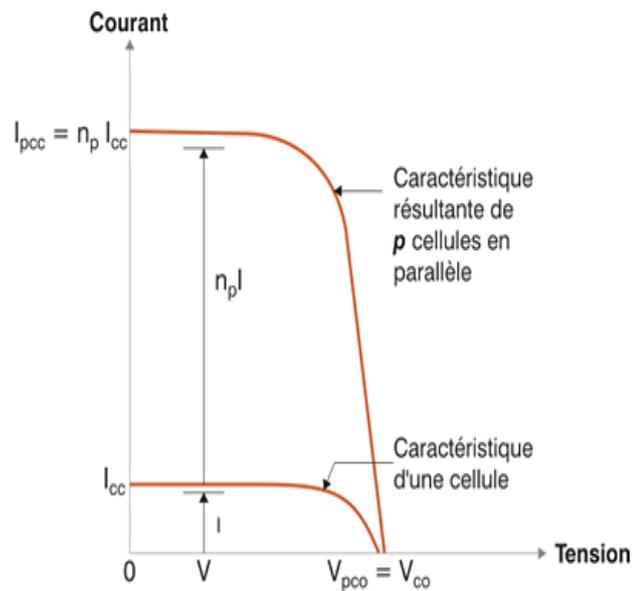


Fig.II.17 Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de np cellules Identiques

II.5.1.3 Le Générateur photovoltaïque (Groupement mixte):

❖ Constitution :

Le générateur photovoltaïque est constitué d'un réseau série-parallèle de nombreux Modules photovoltaïques regroupés par panneaux photovoltaïques figure (II.22). 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_{ss} parallèlement à l'axe des tensions et de rapport N_{pp} parallèlement à l'axe des courants, ainsi que l'illustre la figure (II.23), N_{ss} et N_{pp} étant respectivement les nombres totaux de panneaux en série et en parallèle.

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

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

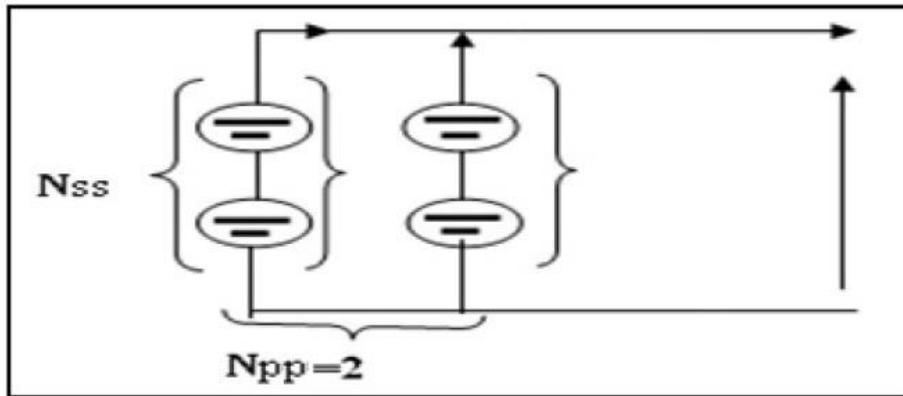


Fig.II.18 Association mixte des modules

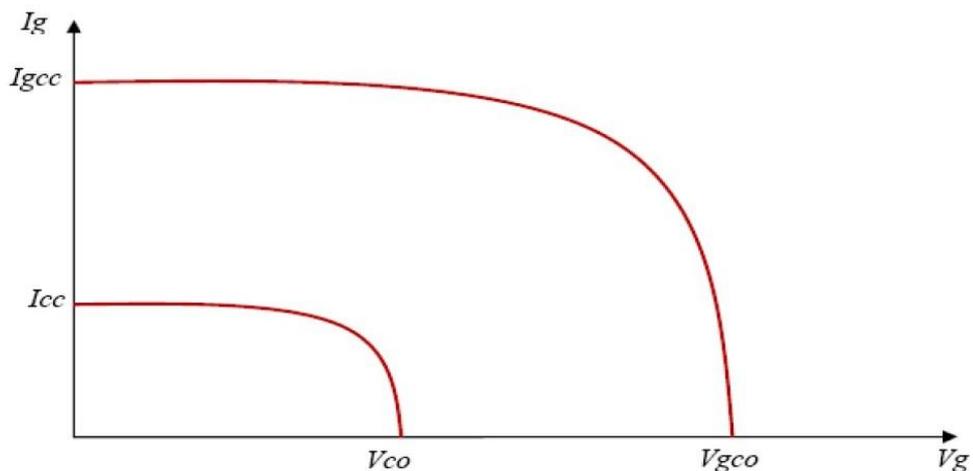


Fig.II.19 Caractéristique résultante d'un groupement mixte

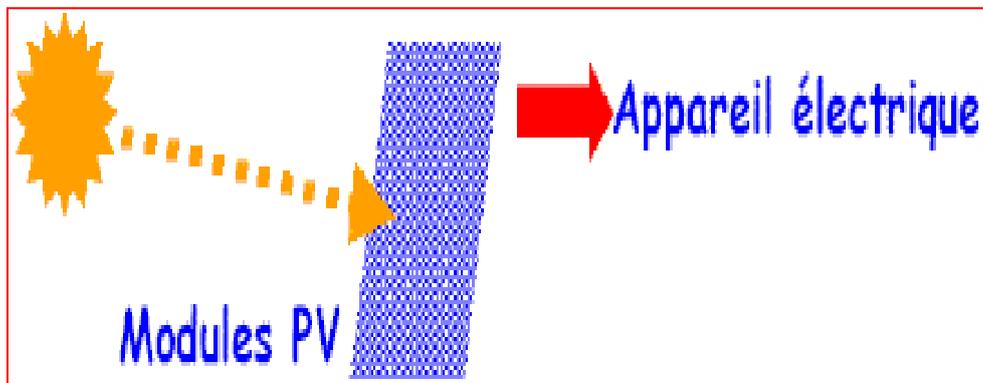
Si l'on désire avoir un générateur PV ayant un courant de sortie plus intense, on peut soit faire appel à des cellules PV de plus grande surface et de meilleur rendement, soit associer en parallèle plusieurs modules PV de caractéristique similaires. Pour qu'un générateur PV ainsi constitué puisse fonctionner de façon optimale, il faut que les (N_{ss} . N_{pp}) 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_{max}**. Cette puissance est le maximum d'une caractéristique P(V) du générateur, et correspond au produit d'une tension optimale notée **V_{opt}** et d'un courant optimal noté **I_{opt}**

II.6 Types d'utilisations des générateurs photovoltaïques :

II.6.1 Alimentations électriques de faibles puissances :

Les alimentations électriques faibles telles que les calculettes ou les chargeurs de piles. Des modules PV Peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.



II.6.2 Installations électriques photovoltaïques autonomes :

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique (**figure II:25**). Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie .

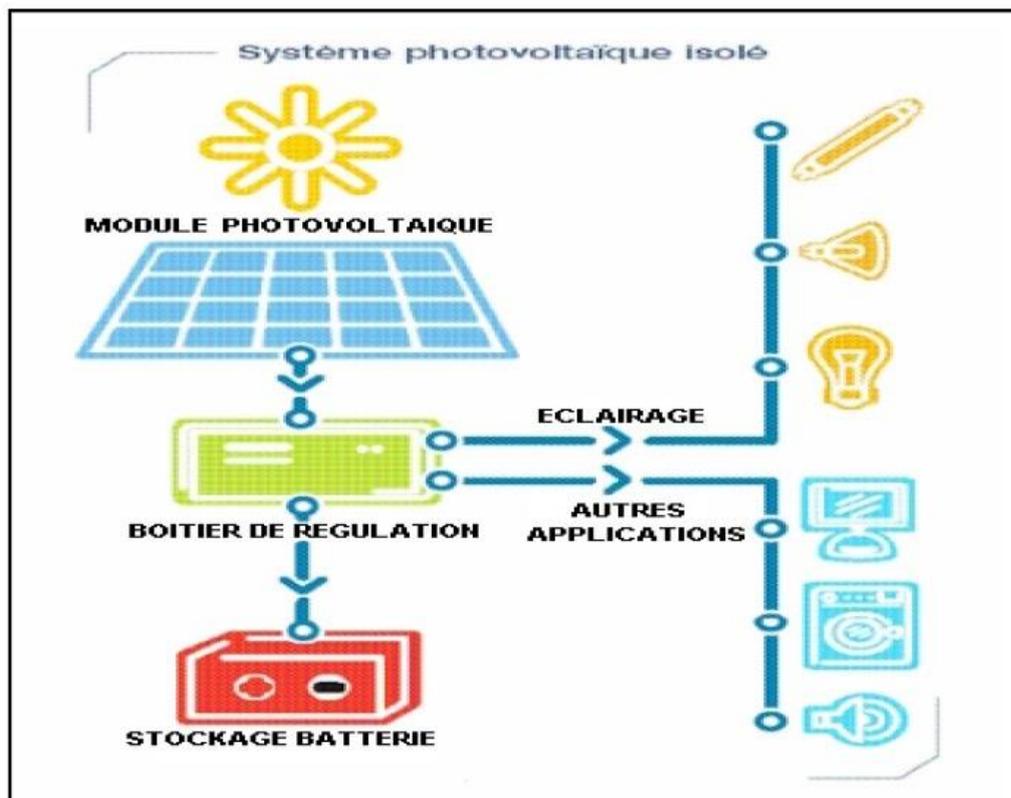


Fig.II.21 système PV isolé

II.6.3 Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau :

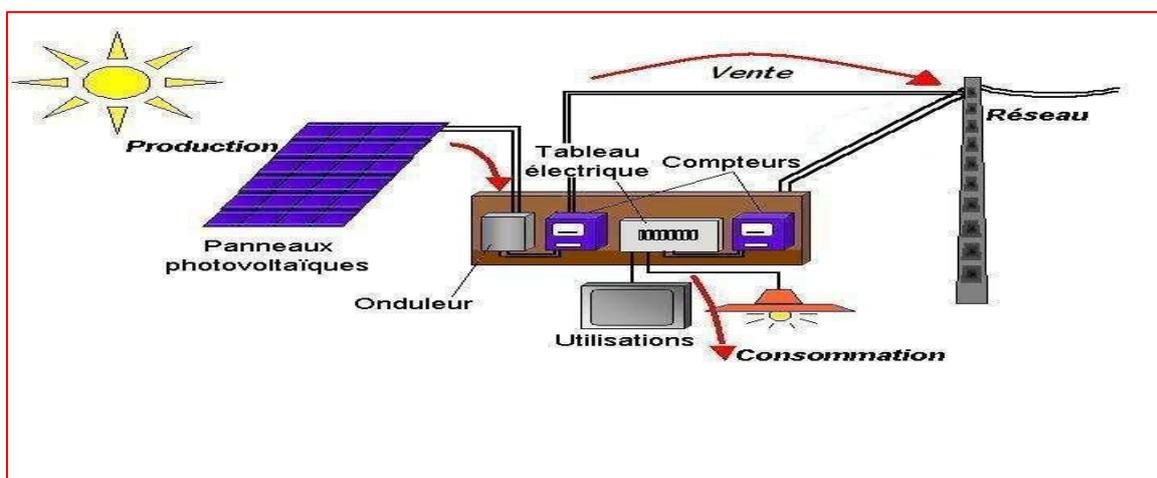


Fig.II.22 : Installations électriques photovoltaïques raccordées au réseau

Ce système c'est le [photovoltaïque raccordé au réseau](#). Après avoir été transformée par un [onduleur](#), de courant continu de tension variable fourni par les panneaux, en courant alternatif à fréquence, tension et synchronisme de phase, adaptés aux caractéristique du réseau, l'[électricité](#) produite par les panneaux solaires photovoltaïques est injectée sur le réseau de distribution électrique et peut ainsi être consommée immédiatement sans qu'il y ait besoin de dispositif de stockage (batteries).

On se trouve alors en présence d'un mini central électrique dont la fonction est comparable à celle d'une centrale électrique industrielle, mais dont la puissance est un ou deux millions de fois inférieure. Également, la production d'une centrale photovoltaïque est cyclique et varie en fonction de l'heure du jour et de la saison.

Un équipement normalement raccordé au réseau peut aussi servir à assurer l'alimentation en électricité d'un site ou d'une installation en cas de panne.

II.7. Les avantages et inconvénient d'une installation PV :

a) Avantages :

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 :

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 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

CHAPITRE III
MODELISATION D'UN PANNEAU PV

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.

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

$$\text{III.2} \quad I_D = I_{sat\text{celle}} \left(\exp \left(\frac{q \cdot v}{a \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right)$$

Avec :

$$I = I_{pv\text{celle}} - I_D$$

$V_T = KT/q$: le potentiel thermodynamique à une température donnée

$I_{pv\text{celle}}$: photo courant (A)

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 ($k=1.38 \cdot 10^{-3}(\text{j}/^\circ\text{k})$)

q : la charge de l'électron ($q=1.6 \cdot 10^{-19}(\text{c})$)

T : la température de la cellule ($^\circ\text{k}$)

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

On peut déduire de cette expression un schéma équivalent comme le montre la figure.III.1

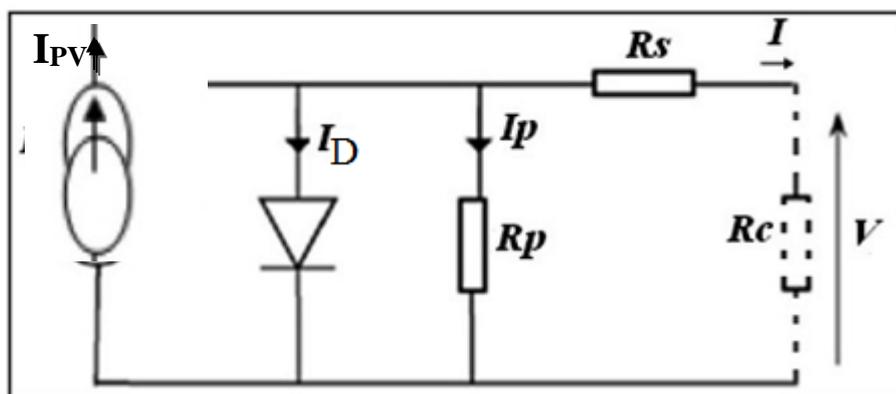


Fig.III.1 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle

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

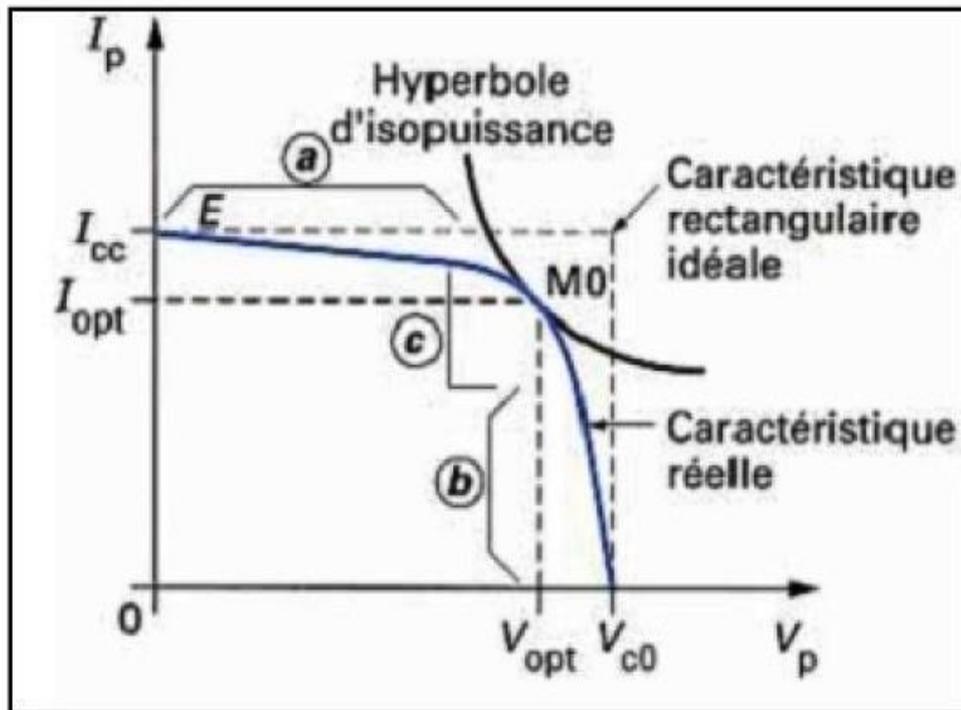


Fig.III.2 les différentes zones de la Caractéristique d'une cellule photovoltaïque réelle

La caractéristique se divise en trois parties :

- **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.
 - **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.
 - **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
- La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité. Le générateur de courant modélise le courant I_{pv} .

Enfin les deux résistances modélisent les pertes internes :

R_s (résistance série) : modélise les pertes ohmiques du matériau.

R_p (résistance parallèle) : modélise les courants parasites qui traversent la cellule.

III.2.Modélisation d'un panneau photovoltaïque :

III.2.1.caractéristique d'un panneau photovoltaïque :

Une fois que l'on a caractérisée la cellule photovoltaïque, on modélise le module PV comme une association de n cellules en série, en supposant qu'elles sont identiques .le courant de court-circuit du module est égale à celui de la cellule, tandis que la tension à circuit ouvert du module se multiplie par le nombre de cellules en parallèle.

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

$$I = I_{pv} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{a \cdot V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad \text{III.3}$$

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

Et $V_T = N_s k T / q$: la potentielle 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 de la cellule photovoltaïque dépend linéairement de l'irradiation solaire et est également influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{pv} = (I_{pvn} + K_I \Delta T) G / G_n \quad \text{III.4}$$

Avec : $I_{pvn} = \frac{R_p + R_s}{R_p} I_{ccn}$

$I_{pv,n}$: 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]),

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

G_n : est l'irradiation nominale .

les dispositifs pratiques la série la résistance est faible et la résistance parallèle est élevée

$$I_{cc} = (I_{ccn} + k_I \Delta T) G / G_n$$

I_{cc} : courant de court circuit

Le courant de saturation I_{sat} de diode et de sa dépendance sur le la température peut être exprimée par :

$$\text{III.5 } I_{\text{sat}} = I_{\text{satn}} \left(\frac{T_n}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Avec

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

III.6

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 .

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la modélisation des panneaux PV. Nous avons d'abord caractérisé la cellule PV à partir de celle d'une jonction PN, 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.

CHAPITRE IV
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 **PVsys** version 5.4 (study of photovoltaic Systems) copyright from university 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 Schueco, S 325 - PP

Dont les caractéristique sont regroupées dans le Tableau (IV.1).

Les paramètres	Symbole	unité
Tension de circuit ouvert	VCO	88.3 V
Courant de court circuit	ICC	5.05 A
Tension de puissance maximale	V_{mp}	72.00 V
Courant de puissance maximal	I_{mp}	4.51 A
Puissance maximal	P_{MAX}	325.5 W
Nombre de cellule en série	NS	144
Nombre de cellule en parallèle	NP	1
Coefficient de température courant	K_i	5 mA/°C
coefficient de température tension	k_v	-289 mv/°C
coefficient de température		0.10%/°C
Facteur d'idéalité	a	1.35

Tableau. IV.1 : caractéristiques électriques du module Schueco, S 325 – PP

IV.1.1 : Influence de l'irradiation :

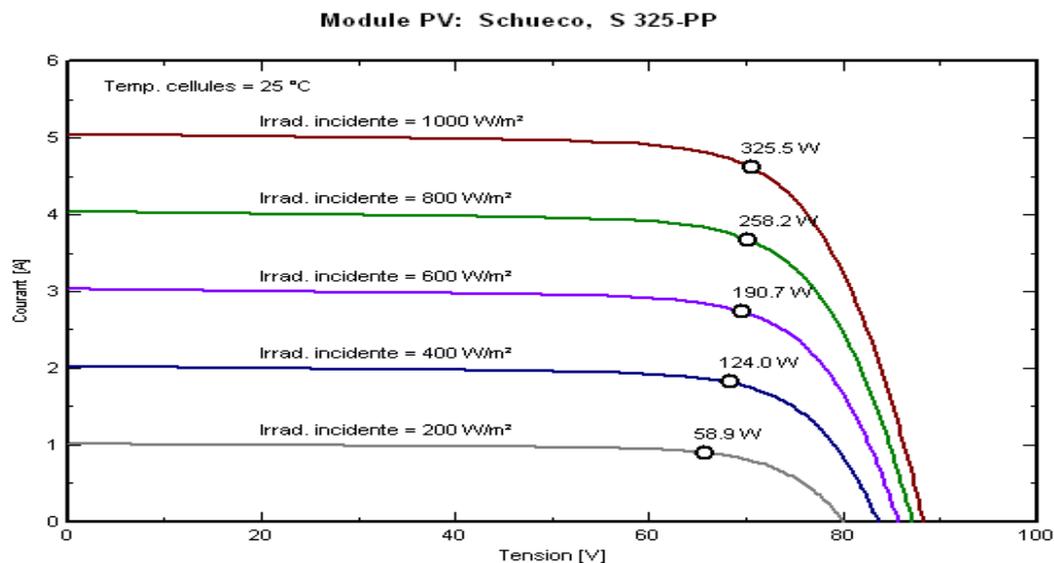


Fig.IV.1 : Caractéristique $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différentes irradiances solaires à température constante égale à 25°C

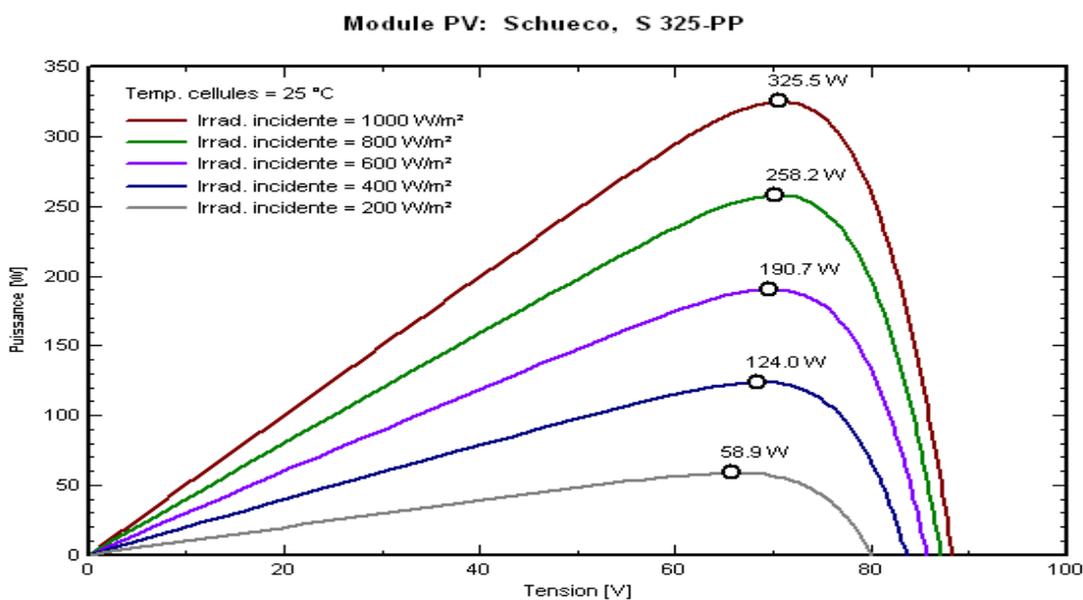


Fig.IV.2: Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents éclairagements à température constante égale à 25°C

IV.1.2 Influence de la température :

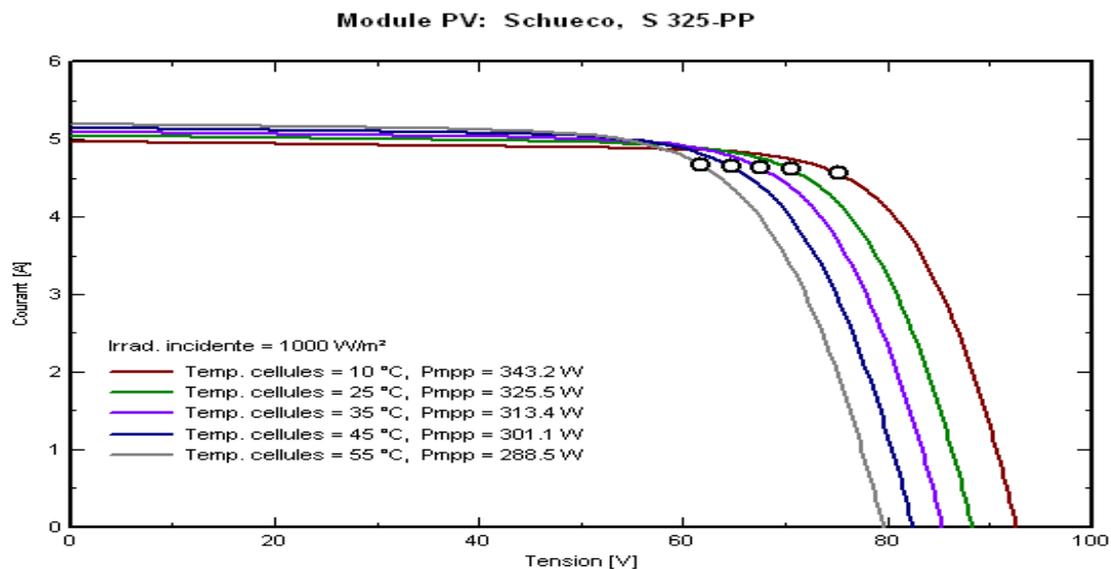


Fig.IV.3 : Caractéristiques I=f(V) d'un panneau solaire pour différentes températures à éclairements constante égale 1000w /m²

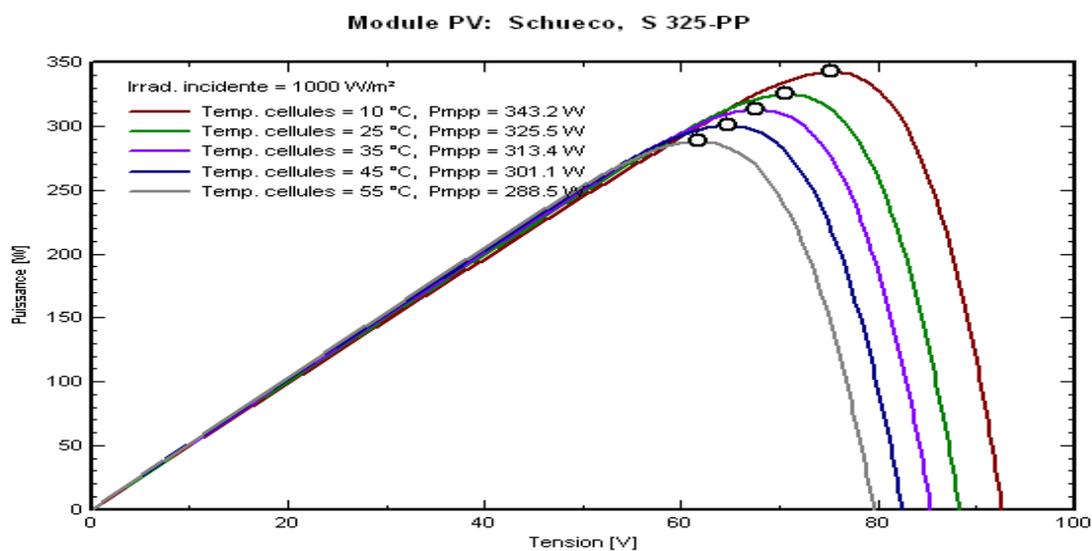


Fig.IV.4: Caractéristiques P=f(V) d'un panneau solaire pour différentes températures à éclairements constante égale 1000w/m²

IV.1.3 : Influence de la résistance série :

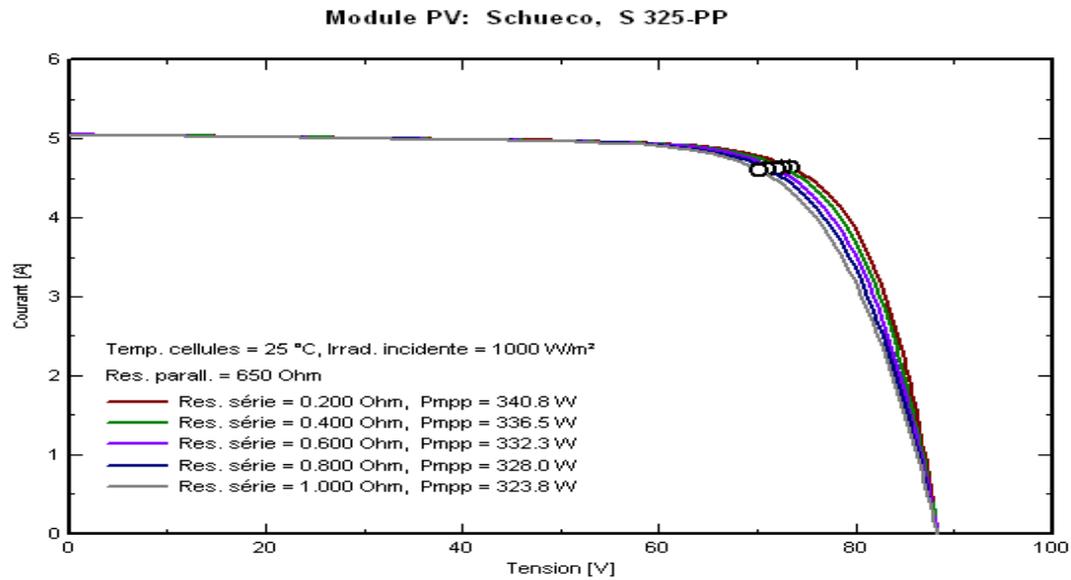


Fig.IV.5 : Caractéristiques $I=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale 1000w/m²

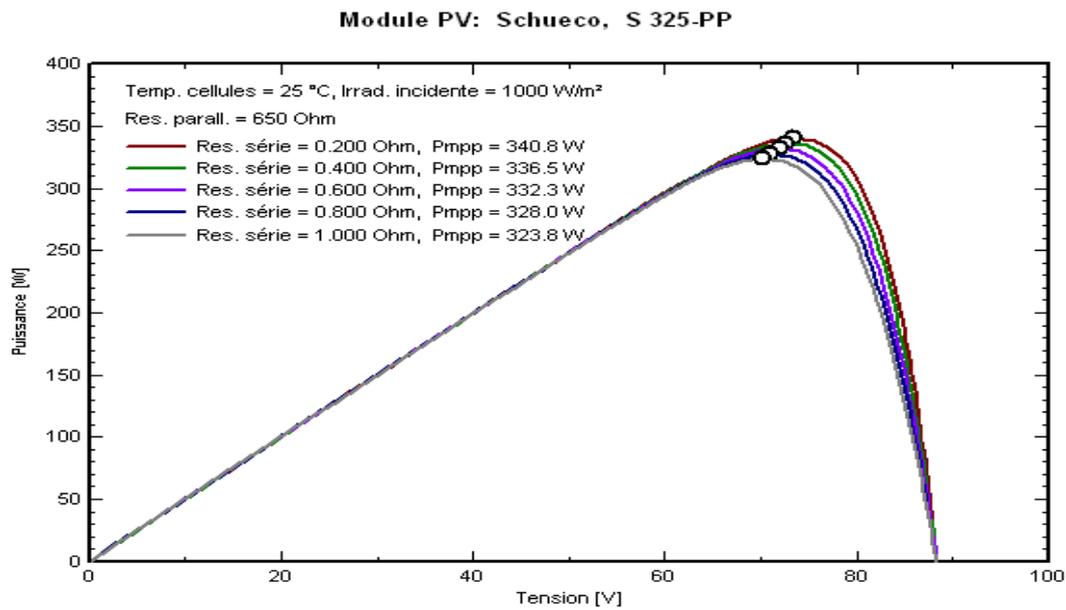


Fig.IV.6 : Caractéristiques $P=f(V)$ d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale 1000w/m²

IV.1.4 : Influence de la résistance parallèle :

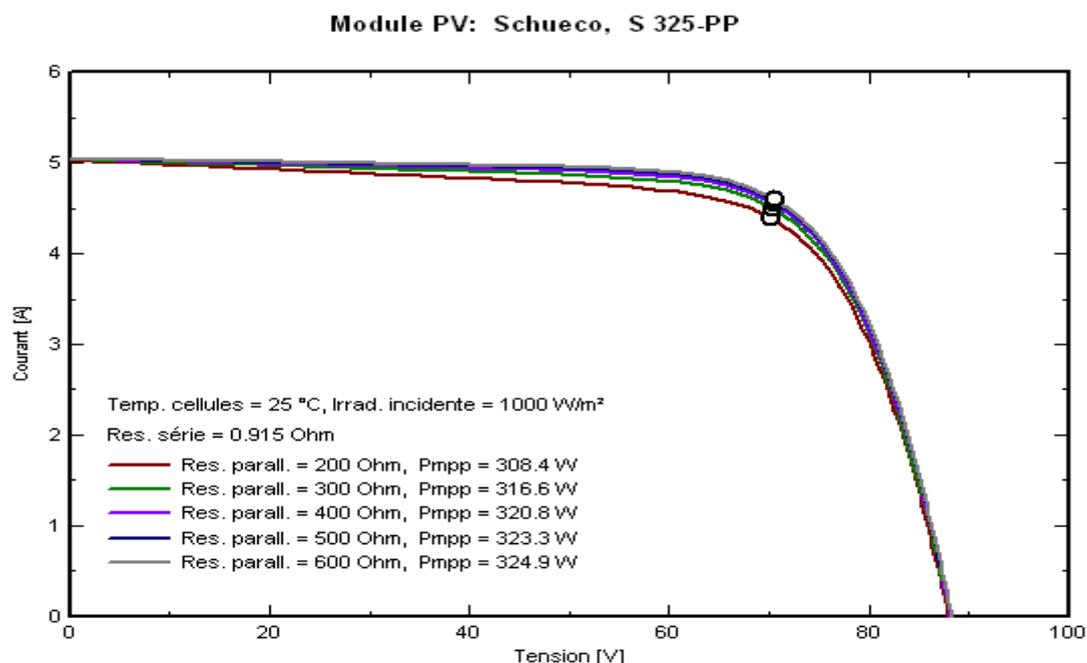


Fig.IV.7 : Caractéristiques I=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale 1000w/m²

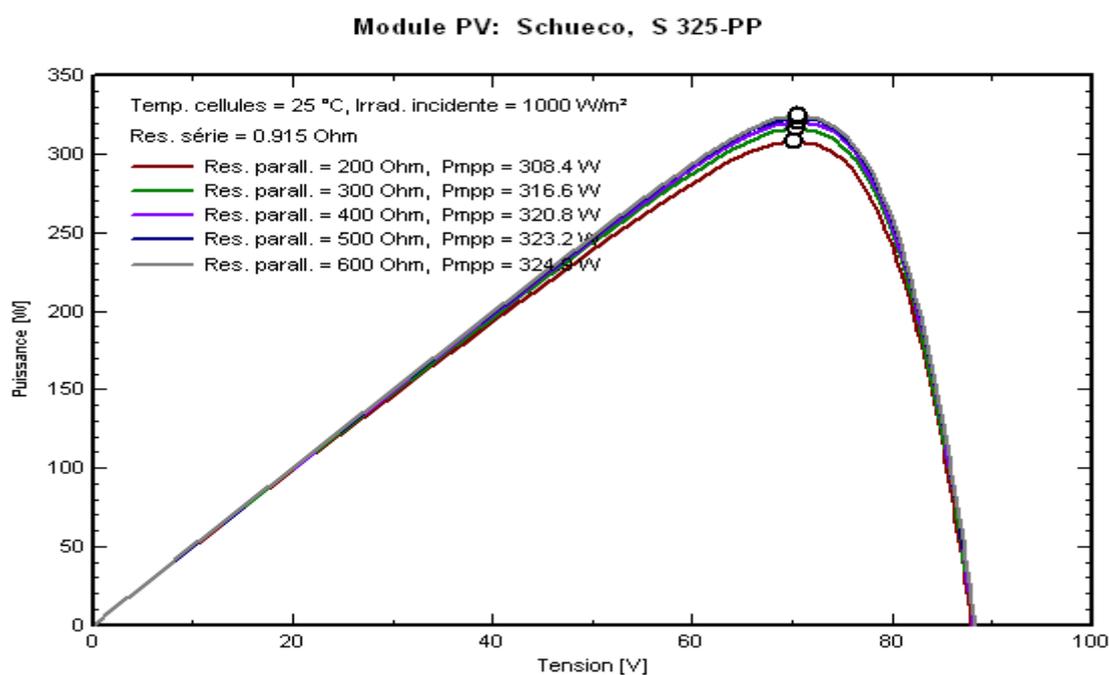


Fig.IV.8 : Caractéristiques P=f(V) d'un panneau solaire pour différents résistance à température constante égale à 25°C et éclairements constante égale 1000w/m²

Conclusion :

Les résultats de simulation montrent que les performances d'un panneau PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'éclairément 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.

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

Et que 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 GENERALE

Conclusion générale :

Le premier chapitre nous avons allé les différents types d'énergie renouvelable avons ou qu'elles constituent une alternative, aux énergies fossiles, car elles sont moins perturbatrices de l'environnement, inépuisable et n'émettent pas de gaz à effet de serre.

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

Dans le chapitre 3 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 (Schueco, S 325 - PP) 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 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 photovoltaïques est obtenue directement à partir du rayonnement solaire. Les panneaux photovoltaïques composés de cellules photovoltaïques 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.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : BOUZERIA HAMZA , ZOUITEN ISSAM "étude des hacheurs et leurs application dans l'optimisation des générateurs photovoltaïque" Mémoire de master d'électrotechnique, Université badji mokhtar ,annaba .2011.

- [2] : M.Dietschy , Professeur accompagnateur , Classe préparation CPE Institution des **Chartreax Année 2004.**

- [3] : Aalain RICAUD , "Modules photovoltaïque , Filières technologiques", Technique de l'ingénieur, D3940

- [4] : L'électricité photovoltaïque,Yver JAUTARD et Thierry BOUDOL (Solarte)-25/05/2000

- [5] : Belhadji Mohammed . "modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome . mémoire de magister ,center universitaire de bechar.

- [6] : A.Ould Mohamed Yahya et I.Youm,"étude et modélisation d'un générateur photovoltaïque ",énergies renouvelables , vol.11 N°3 (2008) 473 – 483
Modulisation gé

- [7] : Y .Sukamongkol,S.Chungpaibulapatana and W.Ongsakul,"Simulation Model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads",Renewable Energy,Vol.27 , N°2, pp. 237 - 235 , 2002.