



MEMOIRE

**DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER II ACADEMIQUE EN ELECTROTECHNIQUE**

**OPTION :
MACHINES ELECTRIQUES**

THEME :

MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE

Proposé et dirigé par :

M.OTMANE CHERIF TAHAR

M. KHELIF AMAR

Etudié par :

M. KHALFOUNI ALI

- Promotion 2011-

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Description d'un système photovoltaïque	
I.1 Description d'un système photovoltaïque.....	4
I.2 Description générale des différents blocs constituant la CFCR.....	5
I.2.1 Le générateur.....	5
I.2.2 Le dispositif de conditionnement de puissance (DCP).....	7
I.2.3 Les protections ou les éléments de mesure.....	7
I.3 Classifications des Centrales Photovoltaïques	8
I.3.1 De petite taille.....	8
I.3.2 De taille moyenne	8
I.3.3 De grande taille.....	8
I.3.4 Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie de stockage.....	8
I.3.5 Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie de stockage.....	9
I.4 Capacité Photovoltaïque Connectée au Réseau dans le monde.....	10
I.5 Composants des centrales photovoltaïques	11
I.5.1 Générateur photovoltaïque.....	11
I.5.2 La poursuite du point de puissance maximale.....	13
I.5.2.1 Méthode de la dérivée de la puissance.....	13
I.5.2.2 La méthode de la cellule pilote.....	14
I.5.3 L'onduleur.....	15
I.5.3.1 Les caractéristiques principales d'un onduleur.....	16
I.6 Synoptique de la Centrale PV du CDER Connectée au Réseau.....	17
I-6-1 Principe de fonctionnement de la CPCR de CDER.....	17
Chapitre II- Modélisation et Simulation du Générateur Photovoltaïque sous Matlab Simulink	
II. Modélisation des composants du module photovoltaïque.....	19
II.1 Caractéristiques électriques d'une cellule PV	19

II-2 Point de puissance maximale, rendement, facteur de forme	22
II.2.1 Point de puissance maximale	22
II.3.2 Rendement	22
II.3.3 Facteur de forme	23
II-3 Facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	24
II-3-1 Influence de l'ensoleillement ou irradiation.....	24
II-3-2 Influence de la température.....	24
II-3 Caractéristique d'un module photovoltaïque.....	25
II-4 Model Matlab du module photovoltaïque.....	27
II-5 Courbes I-V et P-V dans les conditions standards	30
II-6 Influence des conditions climatiques sur le rendement de panneau photovoltaïque...	32
II-6-1 Influence de la température.....	32
II-6-2 Influence de rayonnement.....	32
II-7-1 Interprétation des courbes.....	33
II-8 Conclusion.....	33
Chapitre III : Dimensionnement d'un Générateur Photovoltaïque et Balance	
Energétique	
III : Dimensionnement et Balance énergétique.....	35
III-1 Concept de l'équivalent 'Peak Solar Hours'(PSH).....	35
III-2 Calcul de l'angle d'orientation du générateur.....	38
Conclusion générale.....	41
Fiche Technique KYOCERA KAC200GT.....	43

Introduction

L'utilisation massive des énergies fossiles, même si elle a envahi tout le champ de l'activité des hommes d'aujourd'hui, reste un épiphénomène à l'échelle de l'histoire humaine ; elle apparaît à travers deux petits pics, l'un au cours du XIXe siècle avec le charbon et la découverte des machines à vapeur, l'autre au XXe siècle avec le pétrole, le gaz et le nucléaire.

Sur la base des consommations actuelles et des taux de croissance, l'Agence International de l'Energie (AIE) a prédit la date prévisible de l'extinction des ressources stock : 2040 pour le gaz et le pétrole, 2080 pour le nucléaire classique et 2200 pour le charbon.

Or, pour servir les besoins des nations pauvres qui représentent plus des deux tiers de la population, le monde a besoin de se forger une nouvelle stratégie énergétique, qui pour respecter l'environnement global, devra d'abord reposer sur la sobriété et l'efficacité énergétique et inéluctablement utiliser les sources renouvelables.

L'irradiation solaire annuelle sur l'ensemble de la planète au niveau de la mer (754 millions de TWh) représente plus de 5 000 fois l'énergie que nous consommons en 2003 (environ 12 Giga Tonne équivalent pétrole (Gtep) ou 39 000 TWh).

Sur le long terme (environ 50 ans) le potentiel extractible des différentes sources d'énergie renouvelable pourrait en pratique couvrir la consommation mondiale actuelle :

- La photosynthèse au premier avec 6 Gtep (70 000 TWh) ;
- Le vent avec 1,7 Gtep (20 000 TWh);
- L'hydraulique avec 14 à 20 000 TWh, dont le potentiel théorique mondial est d'environ 40 000 TWh ;
- Le solaire installé sur les toits des bâtiments industriels, commerciaux, tertiaires et domestiques 0,25 Gtep (2 900 TWh dont 2 300 de thermique et 600 de photovoltaïque) ;
- La géothermie des couches profondes 0,2 Gtep (2 300 TWh) ;

Jusqu'à la fin des années 80, les forces de changement venaient de réactions négatives aux deux chocs pétroliers. Depuis une quinzaine d'années, le changement est poussé par la nécessité positive de stabilisation du climat de la planète et depuis peu, il est tiré par les opportunités alléchantes d'investissements dans des systèmes de production d'énergie plus performants, plus propres et plus efficaces.

À suivre ce raisonnement, avec des taux de croissance « naturels » de 15 % par an, il aurait fallu encore attendre 2015 pour que la production mondiale annuelle atteigne 1 000 MW/an. Autrement dit, la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire serait restée un gadget, ou au mieux l'énergie pour les sites isolés quand on n'a vraiment pas le choix !... Or le monde a bougé ; des actions politiques d'envergure nous sont venues du Japon, puis de l'Allemagne, et plus récemment de l'Union européenne. En 2003, En 2004, le cumul des productions depuis 1978 s'établissait à 4 090 MWc dont 1 700 (42 %) produits au Japon, 940 (23 %) aux États-Unis, 1 070 (26 %) en Europe et 380 (9 %) essentiellement depuis l'Inde et l'Australie. Ce cumul représente en puissance crête installée, l'équivalent de quatre tranches nucléaires, mais en production réelle, seulement 4 900 GWh car le productible du solaire n'est que de 1 200 h par an au lieu de 6 600 h pour le nucléaire. Le prix de vente moyen des grands modules au silicium cristallin s'établissait entre 2,5 et 2,8 €/Wc dépendant des quantités. Il baisse de 20 % chaque fois que double la production cumulée. Le silicium cristallin est encore la technologie dominante avec plus de 80 % de part de marché.

En ce qui concerne le nord africain, le développement des énergies renouvelables se concentre dans les pays importateurs de pétrole, le Maroc et la Tunisie, et dans ceux où les réserves d'hydrocarbures ne sont pas suffisantes, tels que l'Égypte. Les pays exportateurs de pétrole du nord de l'Afrique comme l'Algérie ou la Lybie, ont déjà créé des institutions et des agences qui se consacrent à explorer le potentiel de ce secteur. Concrètement, en Algérie, le Centre du développement d'énergie renouvelables (CDER) et la New Energy Algeria (NEAL) fonctionnent déjà.

Le présent mémoire a pour objet de contribuer à la modélisation et dimensionnement d'un système photovoltaïque. Le travail réalisé dans ce mémoire, est structuré en trois chapitres et une conclusion finale.

Le premier chapitre met en évidence les généralités sur les systèmes photovoltaïques (connectées au réseau et autonomes) puis ont été cités les différentes méthodes de recherche de point de fonctionnement optimale.

Le deuxième chapitre s'attache à la recherche de modèles et la simulation du module photovoltaïque. Ces modèles de simulation sont développés sous l'environnement MATLAB/Simulink.

Le troisième chapitre s'attache à l'étude de dimensionnement d'un générateur photovoltaïque.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

I-1 Description des Centrales Photovoltaïques

La conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu et directement utilisable. Le système photovoltaïque est un système énergétique qui utilise cette forme de conversion pour un type d'application [2].

Généralement, un système photovoltaïque se compose de trois parties essentielles comme la montre la figure suivante (figure I.1) :

- Le générateur photovoltaïque.
- Le système de stockage d'énergie.
- Le système de conditionnement de puissance.

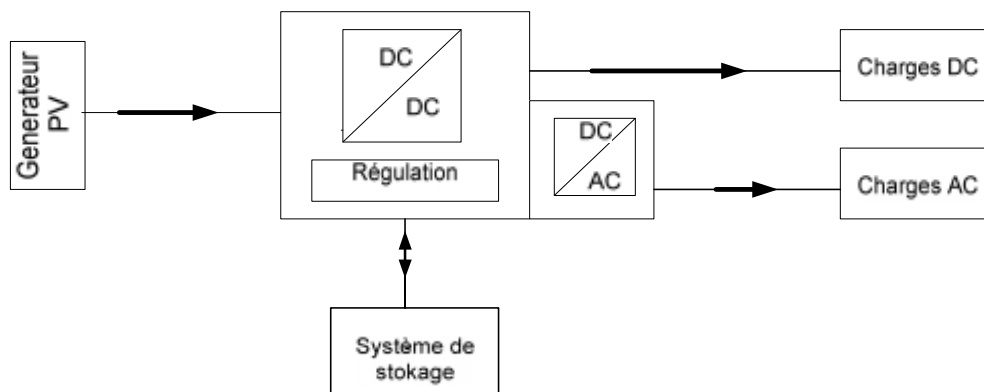


Figure I.1 : Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

I.2 Description générale des différents blocs constituant une Centrale Photovoltaïque

Une Centrale Photovoltaïque schématisée en (figure I.2) est constituée de 4 blocs fonctionnels différents : [1]

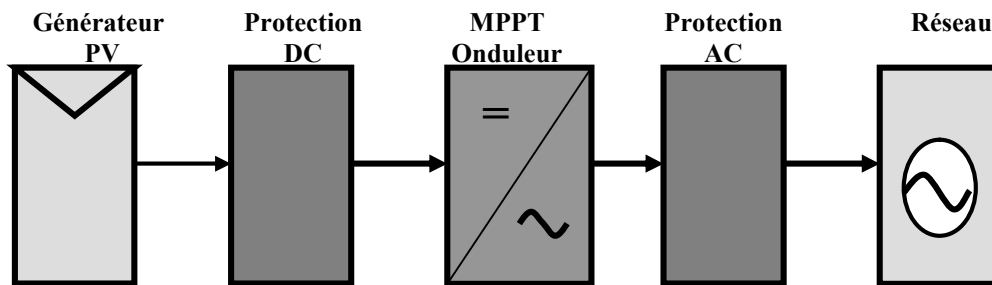


Figure I.2 : Schéma d'une Centrale Photovoltaïque

I.2.1 Le générateur

Le générateur photovoltaïque est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques qui génèrent un courant continu lorsqu'elles sont exposées à la lumière. C'est «l'effet photovoltaïque» découvert par le physicien français Edmond Becquerel en 1839 : ce phénomène physique est caractéristique de certains matériaux appelés «semi-conducteurs», dont le plus connu est le silicium également utilisé pour les composants électroniques. Lorsque les «grains de lumière», appelés photons, heurtent une mince surface de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière ; ceux-ci se mettent immédiatement en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique sans aucun mouvement apparent. Ce courant continu est recueilli au niveau des cellules photovoltaïques par des fils métalliques très fins et peut être ajouté au courant venant d'autres cellules et par extension d'autres panneaux photovoltaïques. [3]

Ce courant peut alors être utilisé pour toutes sortes d'applications, y compris la recharge d'une batterie, le courant continu doit être transformé en courant alternatif normalisé (230-240 Volts - 50 Hertz) par un appareil électronique spécial (onduleur).

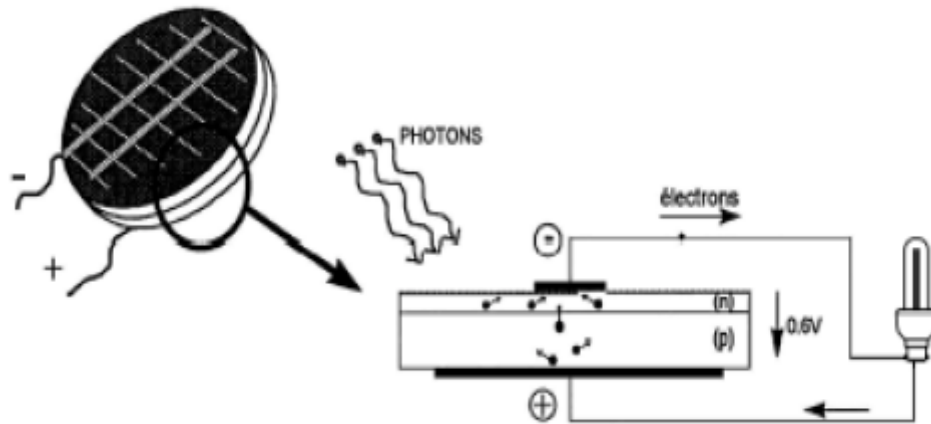


Figure I.3 : Principe d'une cellule photovoltaïque.

Les capteurs les plus utilisés actuellement sont des panneaux rectangulaires de quelques centimètres d'épaisseur, pesant quelques kilos et d'une surface comprise entre 0.5 et 3 m² ; leurs performances sont variables selon la composition du semi-conducteur et la technologie utilisée (rendement de 8% à 14%).

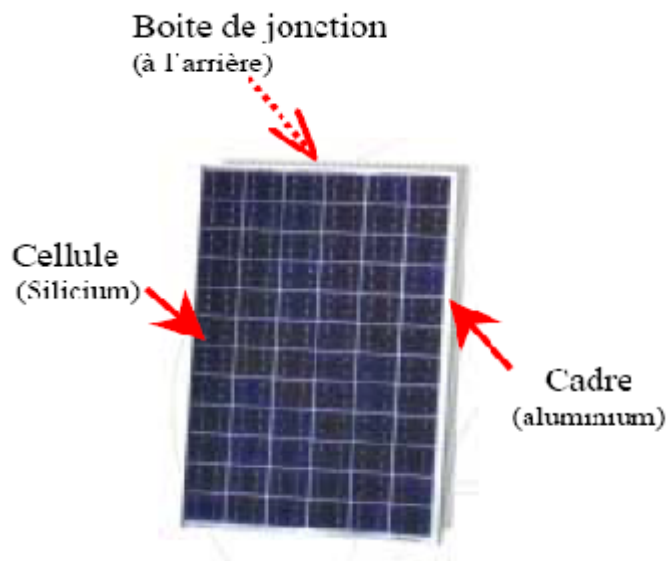


Figure I.4 : module photovoltaïque

Grâce aux expériences réalisées, il est possible, en connaissant la localisation précise, la puissance crête, l'orientation et l'inclinaison d'une installation donnée, de calculer la production électrique annuelle moyenne avec une faible marge d'erreur.

I.2.2 Le dispositif de conditionnement de puissance (DCP)

Le DCP est constitué d'un convertisseur DC/DC ou hacheur, ayant pour fonction la poursuite du point de puissance maximum (MPPT) et d'un convertisseur DC/AC ou onduleur, qui permet d'adapter les caractéristiques de l'énergie produite par le générateur PV (DC) aux besoins du réseau électrique. [2]

- **Le hacheur**

Le hacheur est un convertisseur continu- continu, il a pour rôle de rechercher le point de puissance maximale donné par les panneaux photovoltaïques.

- **L'onduleur**

Il a pour rôle de convertir le courant continu des panneaux photovoltaïques en courant alternatif. C'est un appareil électronique de haute technologie conçu pour répondre à toutes les exigences du réseau, comme la qualité, la sécurité et la fiabilité, et pour permettre un contrôle parfait du fonctionnement. Afin de limiter les pertes, il doit être placé le plus près possible des panneaux photovoltaïques.

L'onduleur connecté au réseau s'arrête automatiquement de fonctionner lorsque le réseau est mis hors tension. Une sécurité est en effet prévue afin de supprimer les risques d'électrocution lorsque des techniciens font une opération de maintenance sur le réseau.

I.2.3 Les protections ou les éléments de mesure

Adaptés pour garantir la qualité de l'onde sinusoïdale injectée au réseau et d'une manière générale la sécurité de la centrale photovoltaïque connectée au réseau (CPCR) et du réseau.

I.3 Classifications des Centrales Photovoltaïques

Une première classification des CP en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante : [1]

I.3.1 De petite taille avec des puissances allant de 1 à 10 kWc

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings.

I.3.2 De taille moyenne avec des puissances allant de 10 kWc à quelques centaines de kWc.

Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille.

I.3.3 De grande taille avec des puissances allant de 500kWc et plus (en général 1 MWc en PV).

Ce sont des systèmes centralisés et sont propriétés de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non.

I.3.4 Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie de stockage

Ces systèmes sont ainsi conçus pour fonctionner en parallèle et en interconnexion avec le réseau public d'électricité (figure I.5).

Le principal composant de ce type de système est l'onduleur. Il convertit la puissance continue (DC) obtenue à partir des modules PV en puissance alternative en respectant les conditions de qualité de la tension et de la puissance exigées par le réseau, avec une possibilité d'arrêt automatique quand le réseau n'est pas en fonctionnement.

Une interface bidirectionnelle est placée entre la sortie alternative du système PV et le réseau constitué par un panneau de distribution. Cela permet de produire une puissance alternative à partir du système PV soit en alimentant directement toutes les charges électriques, soit en injectant le surplus d'électricité PV dans le réseau lorsque les besoins sont plus importants. La nuit ou par faible ensoleillement durant les périodes où les besoins des consommateurs sont supérieurs à la production PV, le réseau fournit l'appoint nécessaire, l'équilibre énergétique peut être ainsi obtenue.

Lorsque le réseau est à l'arrêt, le système PV est automatiquement coupé et déconnecté du réseau à partir du panneau de distribution. Ce facteur de sécurité supplémentaire est exigé pour s'assurer que la centrale PV est coupé du réseau lorsque celui-ci est hors service pour raison de maintenance ou autre (cette fonction est appelée îlotage ou islanding).

La maintenance des CP fonctionnant sans batterie, est particulièrement facile : Elle se résume à la vérification de l'état de propreté des modules PV.

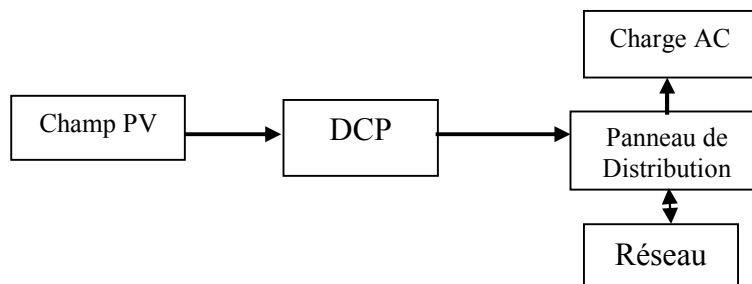


Figure I.5 : Système PV connecté au réseau sans batterie de stockage

I.3.5 Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie de stockage

Ce type de système est utilisé généralement lorsqu'une puissance supplémentaire est nécessaire pour alimenter des charges critiques telles que la réfrigération, les pompes à eau, l'éclairage ou autres (figure I.6). Dans des circonstances normales, le système fonctionne en mode relié au réseau en alimentant toutes les charges ou en renvoyant la puissance en surplus sur le réseau tout en maintenant la batterie en pleine charge.

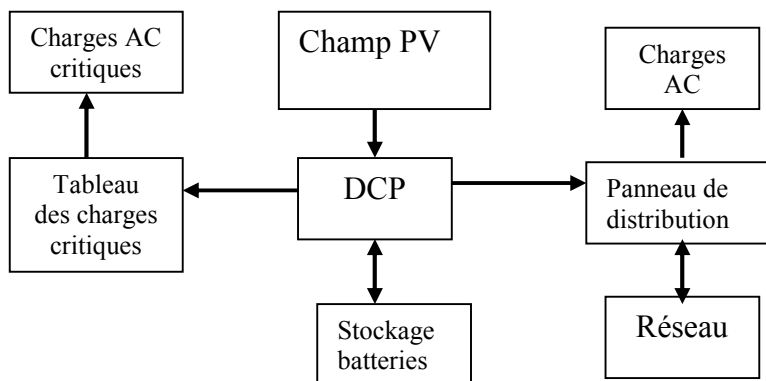


Figure I.6 : Système PV connecté au réseau avec batterie

I.4 Capacité Photovoltaïque Connectée au Réseau dans le monde

La (figure I.7), montre la capacité PV installée en CPRC dans le monde et en centrales autonomes à la fin de l'année 2000, exprimée en pourcentage de la capacité PV totale installée dans les pays mentionnés.

Ces dix dernières années, l'évolution des CPRC révèle une tendance à l'intégration architecturale des modules PV comme matériaux de construction et à l'optimisation du générateur PV en fonction de la puissance et du type d'édifice commerciaux, des industries et édifices institutionnels, etc.

Ainsi, actuellement il existe des modules PV de la forme d'un toit, de tuiles ou de modules vitrés pouvant servir de façades. La puissance unitaire d'une CPRC varie entre 1 et 500kWc et leur lieu d'emplacement peuvent être des logements, des écoles, des centres. Finalement, pour situer les CPRC dans le contexte générale des applications PV, la (figure 1.8) montre l'évolution expérimentale dans les principaux pays qui utilisent les applications PV.

On peut observer que les systèmes autonomes sont suivis majoritairement, 93% du total, par les CPRC, avec un accroissement notable de 29% du total par an. [1]

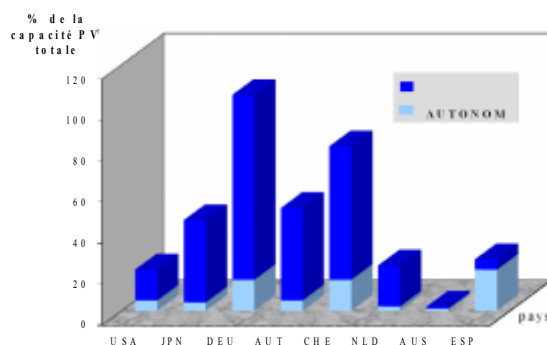


Figure I.7 : Capacité PV installée en CPRC dans le monde

I.5 Composants des centrales photovoltaïques

I.5.1 Générateur photovoltaïque

La production d'électricité par conversion de la lumière à l'aide de cellules PV connaît un essor fulgurant à l'aube du 21ème siècle avec un taux de croissance record de plus de 40% depuis 2000. De nouvelles approches technologiques seront toujours nécessaires afin de réaliser des cellules à faible coût et à haut rendement de conversion énergétique afin de permettre au PV d'atteindre le seuil de compétitivité des autres sources de production d'électricité.

La réalisation de cellules à base de silicium cristallin reste la filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel. En effet, le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique.

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

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Le courant de sortie, et donc la puissance, seront proportionnels à la surface du module. L'interconnexion de modules entre eux - en série ou en parallèle - pour obtenir une puissance encore plus grande, définit la notion de champ PV.

Le générateur PV se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

Le module est un assemblage de cellule élémentaire connectée les unes aux autres pour former des chaînes. Le nombre de cellules connectées en parallèle et en série définissant les caractéristiques du module PV.

Les chaînes de cellules sont encapsulées dans un plastique E.V.A. (Ethylène Vinyle Acétate) pour les protéger des agressions extérieures (rayons U.V., humidité) et les isoler électriquement.

L'ensemble est protégé sur la surface avant par un verre trempé à haute transmission et ayant une bonne résistance mécanique, et sur la face arrière par une feuille de Tedlar ou de polyéthylène. Les différents composants sont soudés à haute température en un laminé protégé de la majorité des agressions extérieures.

Le module est placé dans un cadre métallique rigide qui va lui donner une grande rigidité mécanique. Ce cadre est généralement pourvu de moyens de fixation (trous oblongs, barre profilée...). Les modules PV dépourvus de cadre et encapsulés dans une résine sont appelés «lamine».

Pour éviter les problèmes de "Hot Spot" ou encore point chaud, qui se traduit par une surchauffe due à l'occultation d'une ou plusieurs cellules (à l'ombrage ou à leur défaillance), ces dernières deviennent des consommatrices de puissance et non des génératrices ce qui cause des pertes d'énergie. Pour y remédier une diode en parallèle appelée diode by-pass est placée dans la boîte de connexion. Ces diodes éviteront que le courant passe à travers les cellules défaillantes lorsque leur tension tombe au-dessous de la tension de seuil de la diode. Une diode série pour n modules en parallèle, sera montée pour éviter le retour de courant des autres modules montés en parallèle lorsqu'un ou plusieurs modules se retrouvent à l'ombre ou sont défaillants.

La puissance crête (exprimée en Wc) annoncée par les fabricants n'est qu'un point de comparaison. Elle est basée sur les conditions standards, pour un éclairement solaire de 1000 W/m². La puissance utile maximale est en pratique un peu plus faible, et chute en cas de mauvaises conditions. En outre, comme l'orientation du module est généralement fixe, il n'est que quelques heures par jour orienté de manière optimale vers le soleil. Pour un capteur fixe pour la latitude d'un site dans l'hémisphère nord, l'orientation optimale est plein sud-sud est avec une inclinaison de l'ordre de 30° par rapport à l'horizontale.

Le module PV capte non seulement l'éclairement direct du soleil mais aussi le diffus en provenance du reste du ciel. Il importe que le capteur soit bien dégagé des arbres et constructions environnants. C'est pourquoi il est généralement placé en hauteur. [3]

I.5.2 La poursuite du point de puissance maximale

Pour obtenir un meilleur rendement dans le fonctionnement des générateurs photovoltaïques, la technique appelée la ‘poursuite de la puissance maximale- MPP’ qui consiste à transférer de façon optimale toute la puissance électrique à extraire de cette source de l’énergie photovoltaïque vers la charge à alimenter. Elle doit être utilisée dans toutes applications utilisant ces générateurs, et deviendra nécessaire et même indispensable selon la théorie du transfert optimal de puissance.

Les techniques de contrôle employé pour la poursuite de point de puissance sont : [2]

- La méthode de la dérivée de la puissance
- La méthode de la cellule pilote

I.5.2.1 Méthode de la dérivée de la puissance

Cette méthode est basée sur la recherche de l’extremum de la courbe de puissance $P=f(V)$ obtenu directement de la caractéristique de générateur photovoltaïque $I=f(V)$. Le point de puissance maximale PPM est obtenu lorsque la dérivée de la puissance par rapport à la tension s’annule c'est-à-dire lorsque $\frac{dp}{dv} = 0$.

L’étude de signe de ce gradient de la puissance est directement déterminée à partir du signe de $\frac{dp}{dt}$ et du signe de $\frac{dv}{dt}$.

La valeur de la pente donne alors une information précise sur la position du point de fonctionnement par rapport au point maximum.

Deux cas sont à distinguer :

- $\frac{dp}{dv}$ est positif ; dans ce cas le point de fonctionnement se trouve à gauche du ‘PPMT’, alors il faudrait augmenter la tension pour s’approcher de ce point ‘PPM’.
- $\frac{dp}{dv}$ est négatif ; le point de fonctionnement se trouve donc à droite du ‘PPM’, alors il faudrait diminuer la tension pour s’approcher du ‘PPMT’ [1].

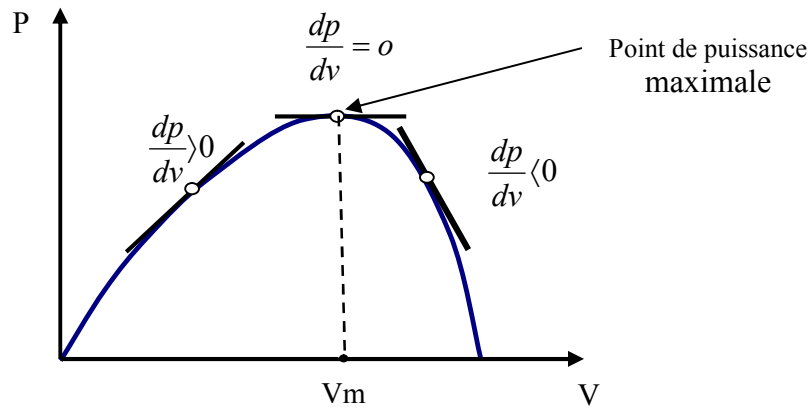


Figure I.8 : Courbe de la puissance en fonction de la tension et position du MPP

I.5.2.2 La méthode de la cellule pilote

Le principe de la cellule pilote est essentiellement basé sur l'utilisation d'une unité photovoltaïque de même nature que le générateur photovoltaïque contrôlé dans le but de le faire fonctionner au point de puissance optimale.

Cette unité est constituée principalement d'une cellule photovoltaïque élémentaire au silicium ou d'un ensemble de cellule de même matériau. Elle est électriquement séparée du champ de modules photovoltaïques principal.

Le point de fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque est atteint lorsqu'on asservit la tension de sortie V_{opt} à la tension de circuit ouvert V_{co} de la cellule pilote, ou lorsqu'on asservit le courant I_{opt} produit par les modules par rapport au courant de court-circuit I_{cc} de la cellule pilote.

Les valeurs de la tension et de courant fournis par le générateur photovoltaïque sont alors respectivement des multiples de la tension de circuit ouvert V_{co} et de courant de court circuit I_{cc} de la cellule pilote.

L'asservissement le plus utilisé est celui pris par rapport à la tension de circuit ouvert car l'asservissement à l'aide du courant de court circuit entraîne l'échauffement de la cellule qui par conséquent diffère de celle du générateur. [2]

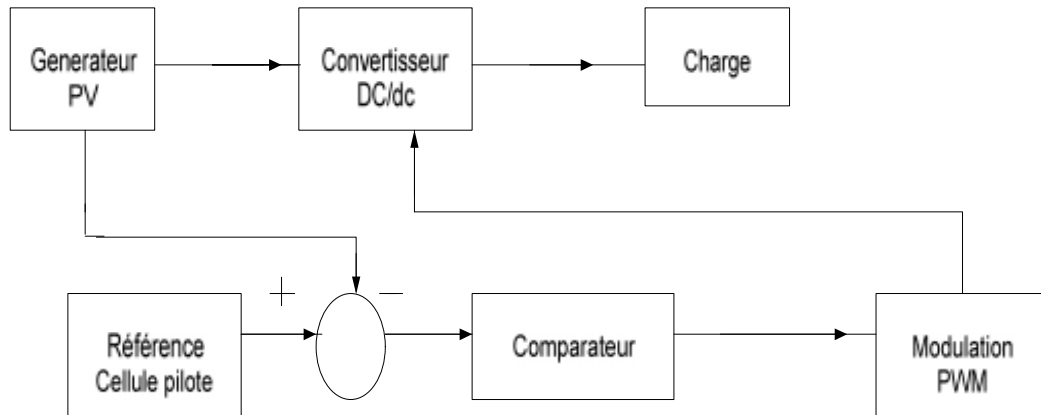


Figure I.9 : Schéma de principe de la méthode de la cellule pilote

1.5.3 L'onduleur

Les charges alimentées en courant alternatif nécessitant donc un convertisseur de type Continu/alternatif (DC-AC) adapté à leurs caractéristiques. Ce convertisseur transforme en énergie électrique alternative, une énergie de type continu provenant soit de la batterie d'accumulateur, soit directement du générateur photovoltaïque via le dispositif de régulation et de contrôle.

Le convertisseur DC-AC est couramment un onduleur. C'est un dispositif électronique qui utilise les composants de puissance, tels que les MOSFET, BJT, IGBT etc. Il doit délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence fixe. En effet pour les fonctionnements de la plus part des charges, la présence de certains harmoniques néfaste. A cet effet, toute approche de commande doit prendre en compte les contraintes suivantes :

- La distorsion harmonique en régime permanent doit être rigoureusement minimisée.
- Le terme fondamental de la tension de sortie doit être réglé à une valeur de référence.

Si l'établissement, le maintien puis l'ouverture des connexions entre l'entrée et la sortie ne dépend que de la commande des semi-conducteurs, l'onduleur est dit autonome.

Si l'énergie nécessaire à la commande des semi conducteurs est fournie par une autre source d'énergie telle que le réseau alternatif par exemple, l'onduleur sera dit non autonome. [4]

Les trois principaux éléments constituant un onduleur sont les suivants [1] :

- La source de tension continue (dans notre cas le champ photovoltaïque).
- L'onduleur DC/AC.
- Le filtre LC.

1.5.3.1 Les caractéristiques principales d'un onduleur

Les caractéristiques les plus importantes d'un onduleur sont : [1]

- **Tension d'entrée**

C'est la gamme de la tension d'entrée V_e acceptable durant le fonctionnement nominal de l'onduleur.

- **Puissance de sortie nominale et maximale**

C'est la valeur nominale et maximale de la puissance de sortie AC que peut délivrer l'onduleur en fonctionnement continu.

- **Le rendement**

Le rendement de l'onduleur est défini comme le rapport de la valeur efficace de la puissance de sortie sur la valeur de la puissance d'entrée continue et s'écrit :

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Le courant maximal :

En fonctionnement continu, il est nécessaire de connaître le courant maximal et celui pouvant être débité pendant un temps très bref qui peut atteindre 2 à 10 fois le courant nominal d'une charge telle que lors du démarrage d'un moteur.

I.6 Exemple : Synoptique de la Centrale PV du CDER Connectée au Réseau [1]

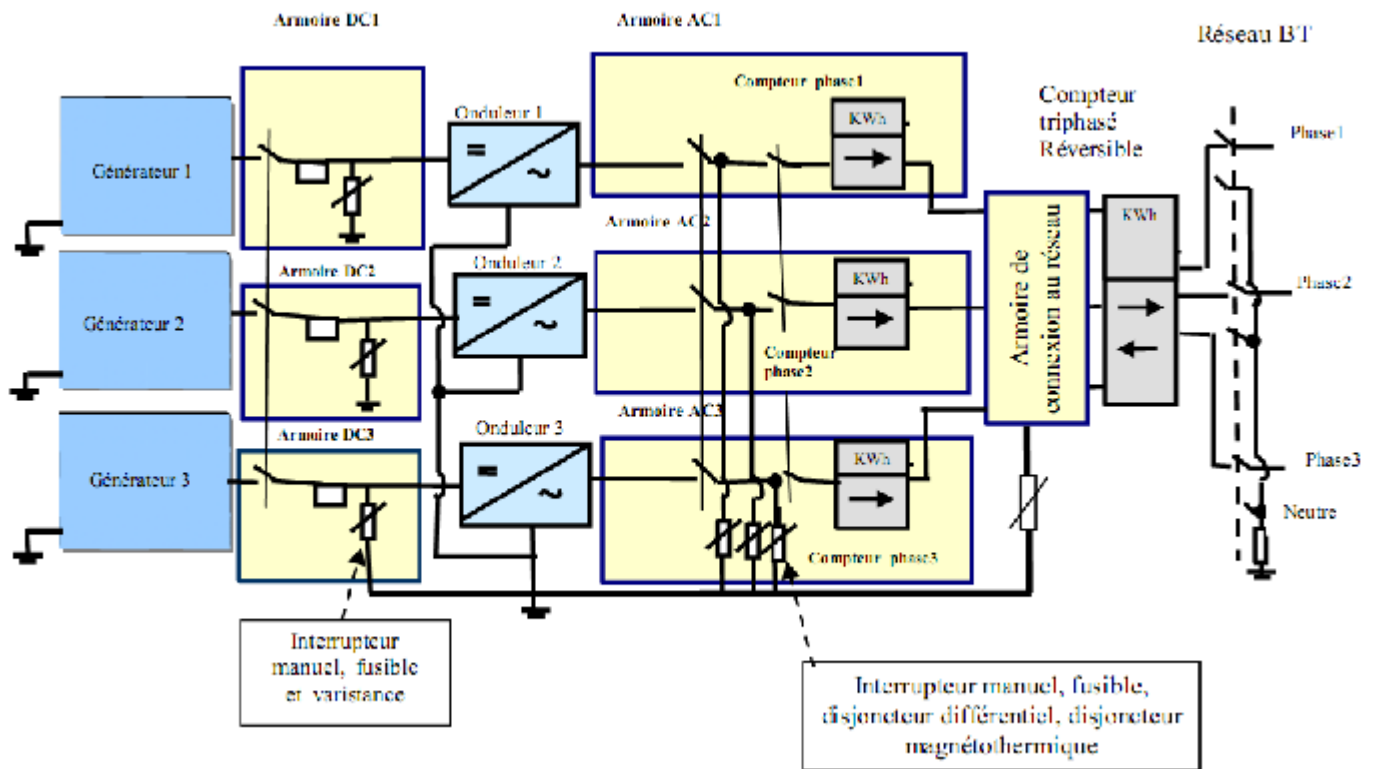


Figure I.10 : Synoptique de la Centrale PV du CDER Connectée au Réseau

I-6-1 Principe de fonctionnement de la centrale photovoltaïque connectée au réseau de CDER :

Le générateur PV est constitué de 90 modules photovoltaïques 160Wc, couplé sur trois onduleurs de 2500W monophasé. Chacun de ces onduleurs est branché sur une phase 220V ,50Hz du réseau Sonelgaz (figure I.10).

Chacun de ces onduleurs aura son champ photovoltaïque indépendant. Le générateur PV sera donc constitué de trois champs de 30 modules chacun.

Le courant continu du générateur photovoltaïque est transformé en courant alternatif par les onduleurs qui injectent celui-ci sur le réseau Sonelgaz à travers un compteur d'énergies.

Chapitre II:

II-Modélisation des composants du module photovoltaïque

Il existe de nombreux modèles pour représenter les composants du système ; nos choix se sont portés sur des modèles jugés adéquats à notre système, c'est-à-dire, permettant de tenir compte des interactions entre les différents éléments tout en donnant lieu à une modélisation simple du système global.

II.1 Caractéristiques électriques d'une cellule PV

La figure ci-dessous, représente le schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

[3]

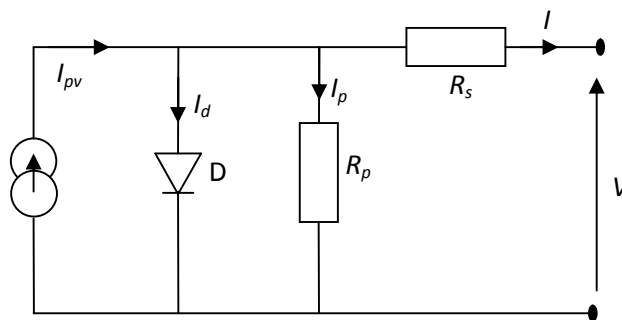


Figure II.1 : Schéma électrique équivalent d'une cellule PV

▪ Caractéristique courant tension

Une cellule PV est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode.

$$I = I_{pv} - I_d - I_p \quad (\text{II.1})$$

Avec :

I_p : Courant dans la résistance shunt

I : Courant de charge (A)

$I_{pv} = K.\phi$: Courant photo-généré (A)

Où K est une constante et ϕ le flux d'irradiation solaire en (W/m²)

I_d : Courant dans la diode et qui se calcule avec l'expression suivante :

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{a K_B T} \right) - 1 \right) \quad (\text{II.2})$$

Où :

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode

q : charge électrique de l'électron (1,6.10⁻¹⁹ Coulombs)

K_B : Constante de Boltzmann (1,3810⁻²³ J / K)

T : Température de la jonction (°K)

a : facteur d'idéalité de la diode, valeur comprise entre 1 et 2

R_s : Résistance série (Ω)

Et

$$I_p = \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (\text{II.3})$$

En remplaçons I_d ; $I_{R_{sh}}$ et I_{pv} par leurs équations dans (1.1), on obtient :

$$I = K.\phi - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{a K_B T} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (\text{II.4})$$

▪ Courant de court circuit :

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule du générateur PV est nulle.

$$I_{cc} = I_{pv} - I_0 \left(\exp \left(\frac{q R_s I_{cc}}{a K_B T} \right) - 1 \right) - \frac{R_s I_{cc}}{R_p} \quad (\text{II.5})$$

Pour la plus part des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme

$I_0 \left(\exp \left(\frac{qR_s I_{cc}}{aK_B T} \right) - 1 \right)$ devant I_{pv} . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors :

$$I_{cc} \cong \frac{I_{pv}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_p} \right)} \quad (\text{II.6})$$

On sait que $R_s / R_p \approx 0$, ce qui donne :

$$I_{cc} = I_{pv} = K \cdot \phi \quad (\text{II.7})$$

▪ Tension de circuit ouvert, V_{co}

C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur PV est nul (la tension maximal d'une cellule ou d'un générateur PV). Son expression est déduite de l'équation suivante :

$$0 = I_{pv} - I_0 \left(\exp \left(\frac{qV_{co}}{aK_B T} \right) - 1 \right) - \frac{V_{co}}{R_p} \quad (\text{II.8})$$

Dans la plus part des cas, la résistance shunt est infinie, on obtient :

$$V_{co} \cong \frac{aK_B T}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{pv}}{I_0} \right) \quad (\text{II.9})$$

▪ Le rendement

C'est la relation entre la puissance P obtenue aux bornes de la cellule et la puissance incidente P_0 .

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A_c \phi} = \frac{V \cdot I}{A_c \phi} \quad (\text{II.10})$$

NB : le courant de saturation inverse est donné par l'équation suivante:

$$I_0 = \frac{I_{scn} + K_i \Delta T}{\exp((V_{ocn} + K_v \Delta T) / aV_t) - 1} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

K_v : Coefficient de tension de circuit ouvert.

K_i : Coefficient de courant de court circuit.

I_{scn} : Courant de court circuit dans les conditions nominal

V_{ocn} : Tension en circuit ouvert dans les conditions nominales

V_t : Potentiel thermique

II-2 Point de puissance maximale, rendement, facteur de forme

II-2-1 Point de puissance maximale

Pour une cellule PV, nous pouvons définir le courant de court circuit I_{sc} et la tension à vide V_{oc} . Le courant I_{sc} correspond à la valeur du courant débité lorsque la cellule est court-circuitée alors que V_{oc} est la tension à ses bornes en l'absence de charge.

Si nous traçons la courbe de puissance, nous obtenons un point de fonctionnement P où la puissance est maximale. [4]

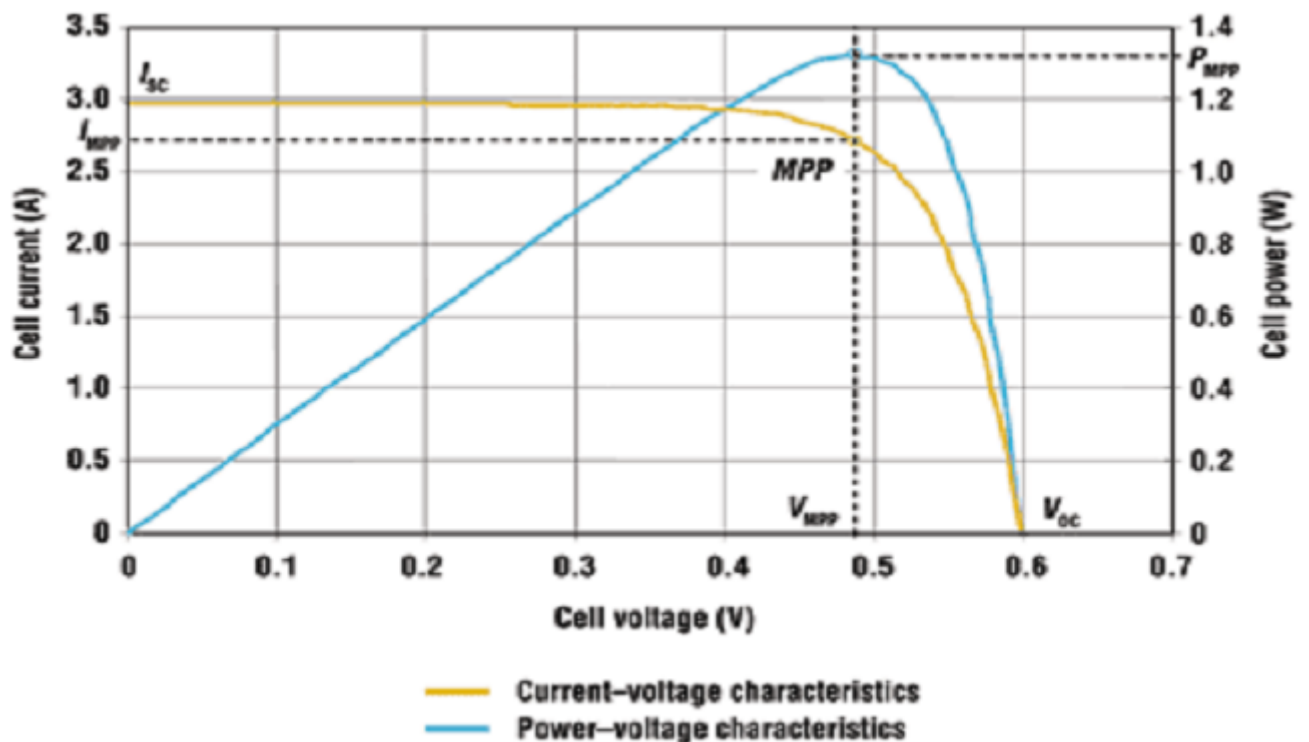


Figure II.2 : Mise en évidence du MPP

II-2-2 Rendement

Nous pouvons définir le rendement d'une cellule photovoltaïque comme le quotient de la puissance maximale et de la puissance lumineuse reçue par la cellule. Cette puissance lumineuse correspond au produit de l'aire de la cellule A_c par l'ensoleillement ϕ .

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A_c \phi} \quad (\text{II.12})$$

II-2-3 Facteur de forme

Il permet de juger de la qualité d'une cellule photovoltaïque. Il est défini comme le rapport entre le point de puissance maximum et la puissance à courant de court-circuit et tension en circuit ouvert.

$$F_F = \frac{P_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} = \frac{\eta \cdot A_c \cdot \phi}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (\text{II.13})$$

A partir de cette définition, pour une cellule dont la caractéristique $I(V)$ est rectangulaire (source de courant), le facteur de forme sera donc unitaire. Le facteur de forme d'une bonne cellule photovoltaïque devra être compris entre 0,75 et 0,85.

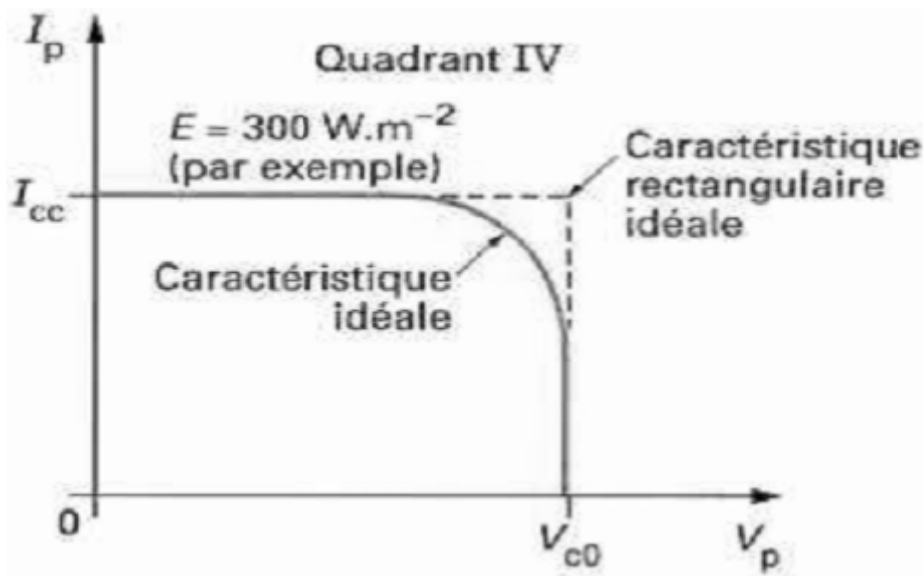


Figure II. 3 : Caractéristique idéale d'une cellule PV

C'est dans ce quatrième quadrant, où la jonction PN fonctionne en générateur, que la tension à vide est celle de la diode en polarisation directe (0,5 à 0,8 V pour Si). La caractéristique dans le quatrième quadrant de la jonction est donc celle de la cellule photovoltaïque. L'intersection de cette caractéristique avec celle de la charge donne le point de fonctionnement de la cellule.

II-3 Facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

II-3-1 Influence de l'ensoleillement ou irradiation

L'apport d'énergie permettant la séparation électron-trou étant assuré par l'énergie lumineuse, il est donc normal que l'augmentation de l'ensoleillement E entraîne automatiquement l'augmentation des paires électron-trou séparées. Le courant débité I est donc proportionnel à l'ensoleillement E . [5]

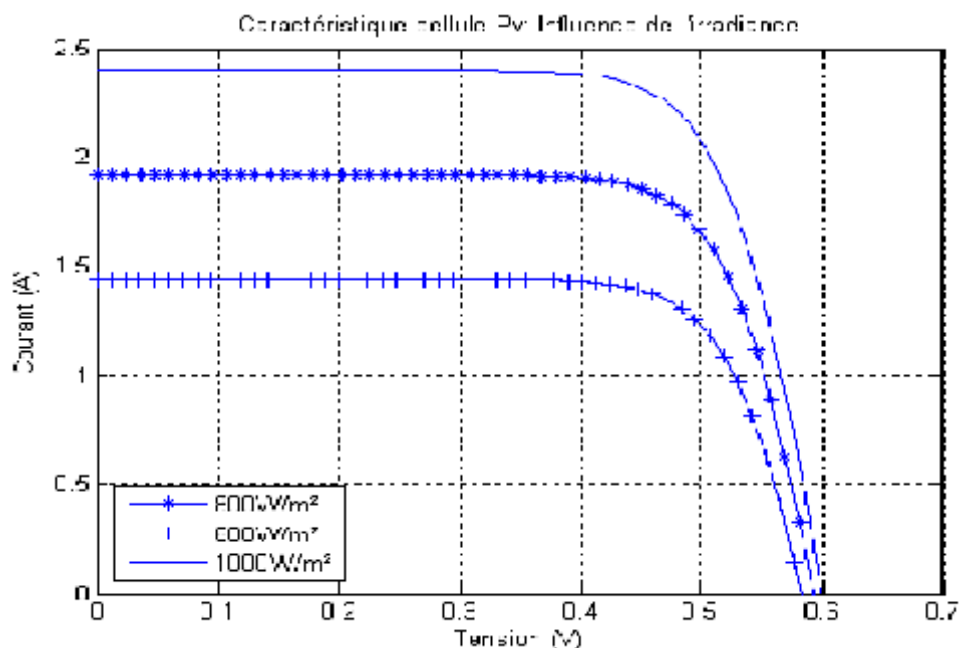


Figure II. 4 : Influence de l'ensoleillement sur la caractéristique I(V) d'une cellule PV

II-3-2 Influence de la température

La température a une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque. De manière générale, nous pouvons définir le coefficient de température pour une variable y de la façon suivante :

$$Tc(y) = \frac{1}{y} \cdot \frac{\partial y}{\partial T} \quad (\text{II.14})$$

Expérimentalement, on remarque que le courant de court circuit varie peu avec la température tandis que la tension à vide est beaucoup plus influencée (de l'ordre de 0.4%/K). La température a donc une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque (perte de puissance de l'ordre de 9-15% pour une augmentation de 30°).

Pour le même éclairage, les courbes I-V changent avec la température des cellules,

Nous remarquons que le courant débité par la cellule est proportionnel à l'ensoleillement tandis que la tension des panneaux est inversement proportionnelle à la température.

La cellule PV étant le composant unitaire d'un module PV, nous verrons dans les prochains paragraphes la modélisation et la simulation de panneaux PV.

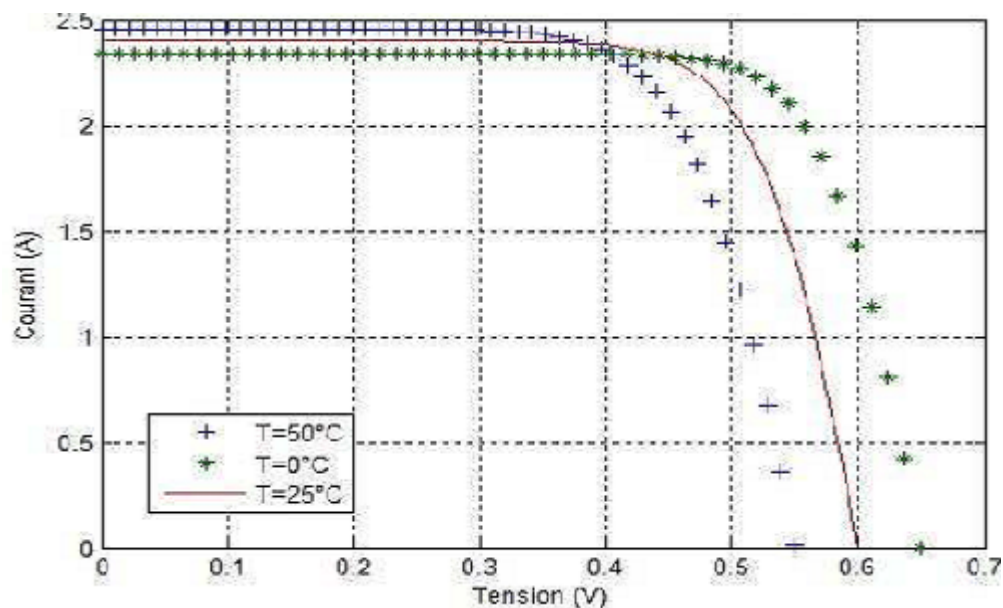


Figure II.5 : Influence de la température sur la caractéristique I(V) d'une cellule PV

II-3 Caractéristique d'un module photovoltaïque

Pour utiliser les cellules dans un système photovoltaïque, on est amené à les associer en série pour augmenter la tension. Le courant est fixé par la surface de chaque cellule élémentaire mais aussi par le nombre de cellule en parallèle. Cette association série parallèle doit se faire suivant des précautions car, même si les cellules sont identiques, il existe des

dispersions au niveau de leurs paramètres internes. L'ajout d'une cellule en silicium en série correspond à une augmentation de la tension totale d'environ 0,6 V (tension de la jonction).

Dans un groupement en série, 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.

Les expressions du courant débité par le module PV et la tension à ses bornes sont données par les équations suivantes : [6]

$$I_{\text{mod}} = N_p \cdot I \quad (\text{II.15})$$

$$I_{\text{sc0mod}} = N_p \cdot I_{\text{PV}} \quad (\text{II.16})$$

$$V_{\text{mod}} = N_s \cdot V \quad (\text{II.17})$$

$$V_{\text{comod}} = N_s \cdot V_{\text{co}} \quad (\text{II.18})$$

Avec :

N_s : Le nombre de cellules connectées en série,

N_p : Le nombre de cellules connectées en parallèle,

I_{sc0mod} : Le courant de court circuit du module.

V_{comod} : La tension en circuit ouvert du module.

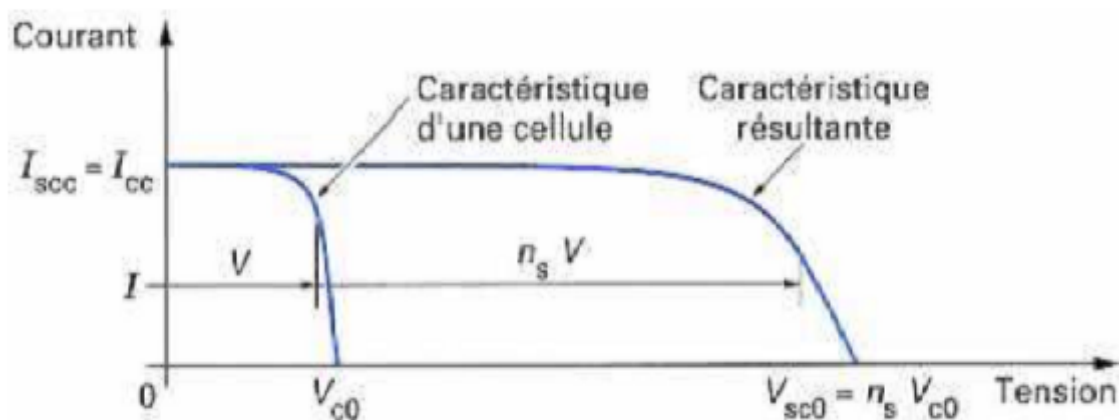


Figure II.6. Association en série de cellules identiques

Les expressions de la tension V_{mod} et du courant I_{mod} du module PV sont :

$$V_{\text{mod}} = \sum V_{\text{cel}} \quad (\text{II.19})$$

$$I_{\text{mod}} = I_{\text{cel}} \quad (\text{II.20})$$

Où V_{cel} et I_{cel} sont respectivement la tension et le courant d'une cellule PV.

II-4 Model du module photovoltaïque sous Powersim de Matlab

Comme défini dans le chapitre précédent, une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode. En addition au modèle idéal, le modèle réel tient compte des propriétés résistives de la cellule qui sont modélisées par une résistance série R_s mais aussi des courants de fuites modélisés par une résistance parallèle R_{sh} .

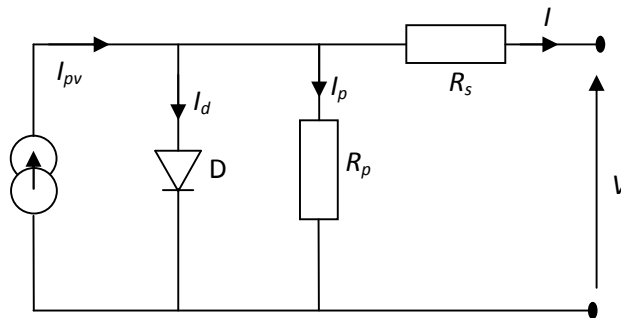


Figure II.7 : Modèle de la cellule PV

Ce modèle qui permet de tenir compte de l'influence de la température et de l'ensoleillement a été implémenté sous Matlab Simulink (fig II.7) il a comme paramètres d'entrée : la tension aux bornes des panneaux PV, l'ensoleillement et la température. Notons que lors des simulations, la tension des panneaux est calculée à chaque instant et réutilisée comme paramètre d'entrée.

Pour obtenir ces différentes caractéristiques, un balayage de la tension des panneaux de 0 à V_{co} (tension en circuit ouvert) a été effectué.

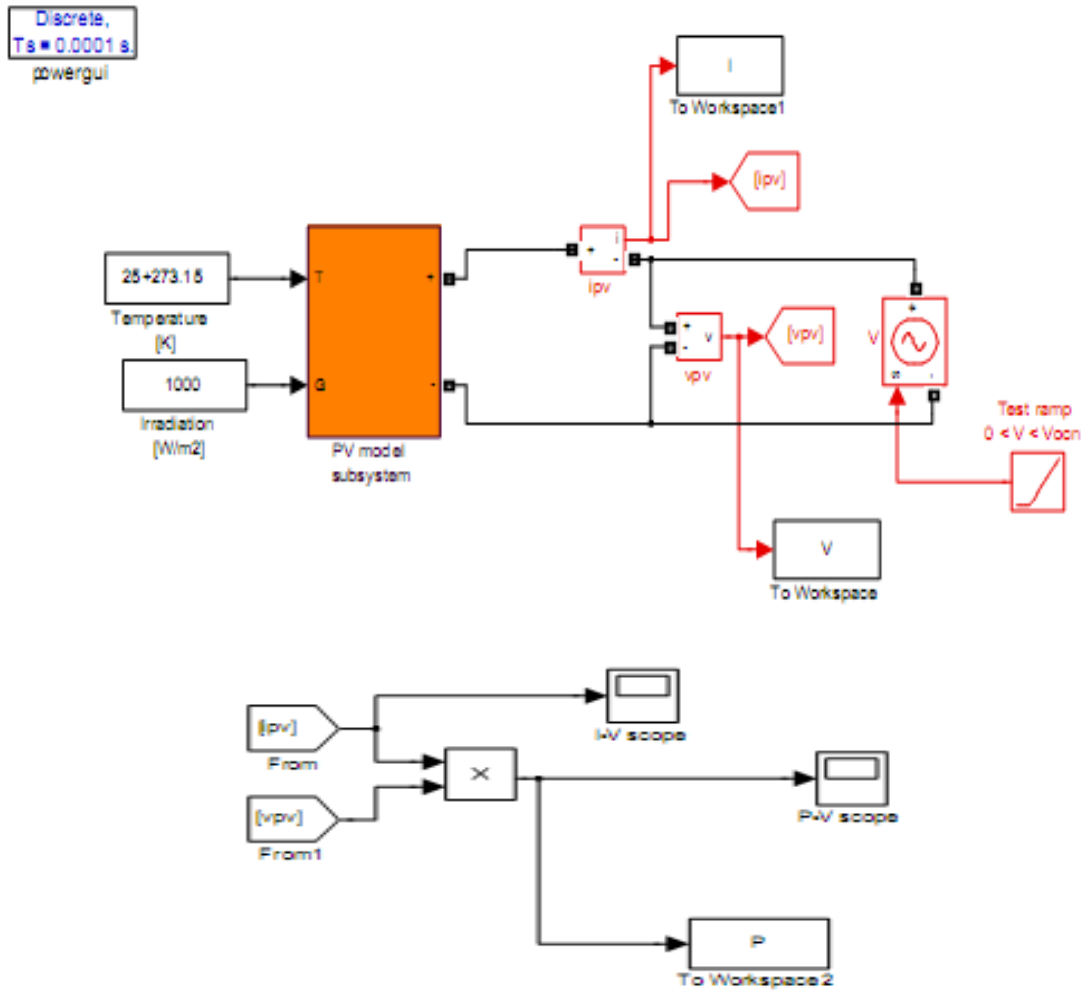
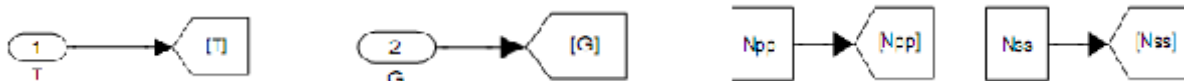
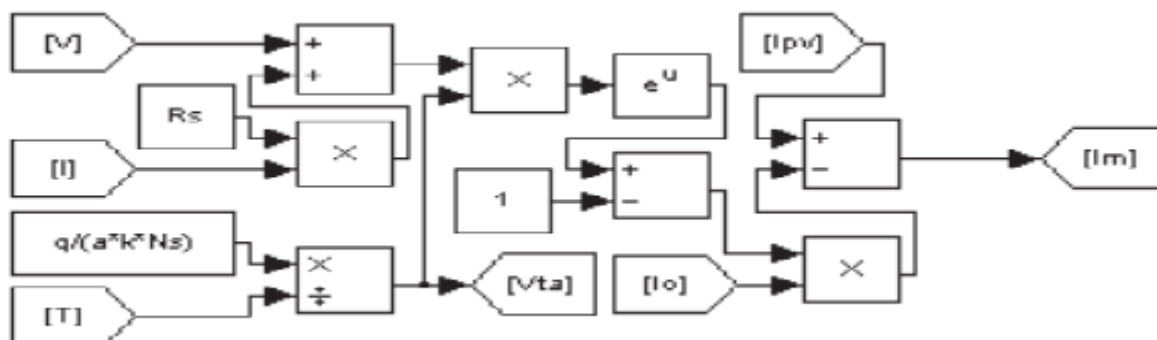


Figure II.8 : Schéma modèle photovoltaïque sur Matlab PowerSim

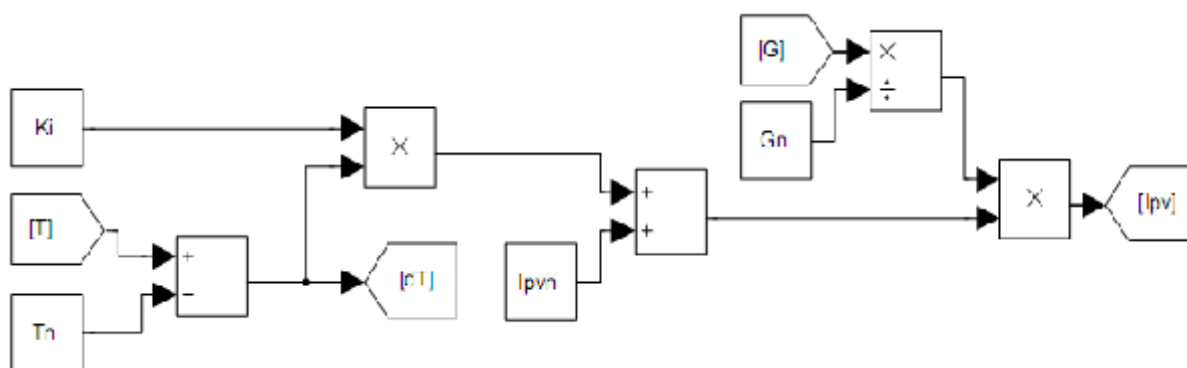
Entrées



Calcul de $I_m = I_{pv} - I_d$



Calcul de I_{pv}



Calcul de I_o

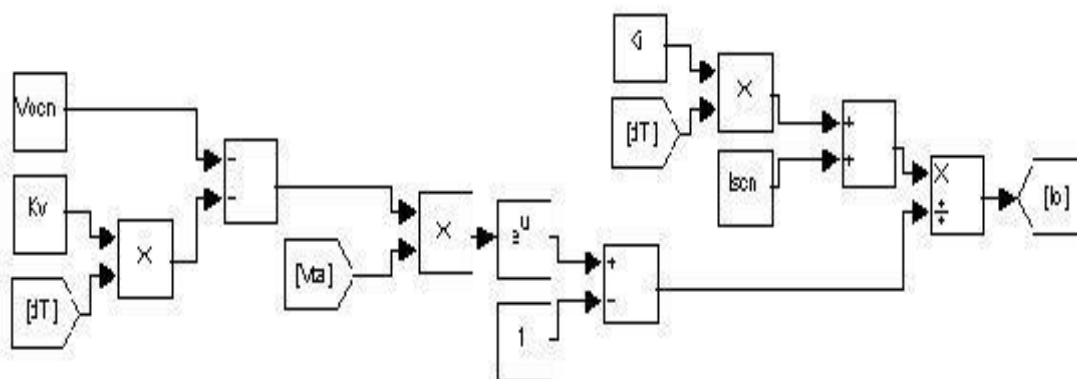


Fig. II.9: Schéma modèle photovoltaïque sur Matlab /Simulink.

Type de panneau utilisé :

Pour la simulation des graphes sous l'environnement Matlab, on a utilisé un model de panneau qui a les caractéristiques suivantes :

Panneau : KYOCERA KC200GT, Condition standards (25°C, 1.5AM,1000W/m²)

Caractéristiques techniques :

$$I_{mp} = 7.61 A$$

$$V_{mp} = 26.3V$$

$$P_{max,m} = 200.143W$$

$$I_{sc} = 8.21 A$$

$$V_{oc} = 32.9V$$

$$I_{on} = 9.825 \cdot 10^{-8} A$$

$$I_{pv} = 8.214 A$$

$$a = 1.3$$

$$R_p = 415.405\Omega$$

$$R_s = 0.221\Omega$$

$$K_v = -0.1230V / K$$

$$K_i = 0.00318 A / K$$

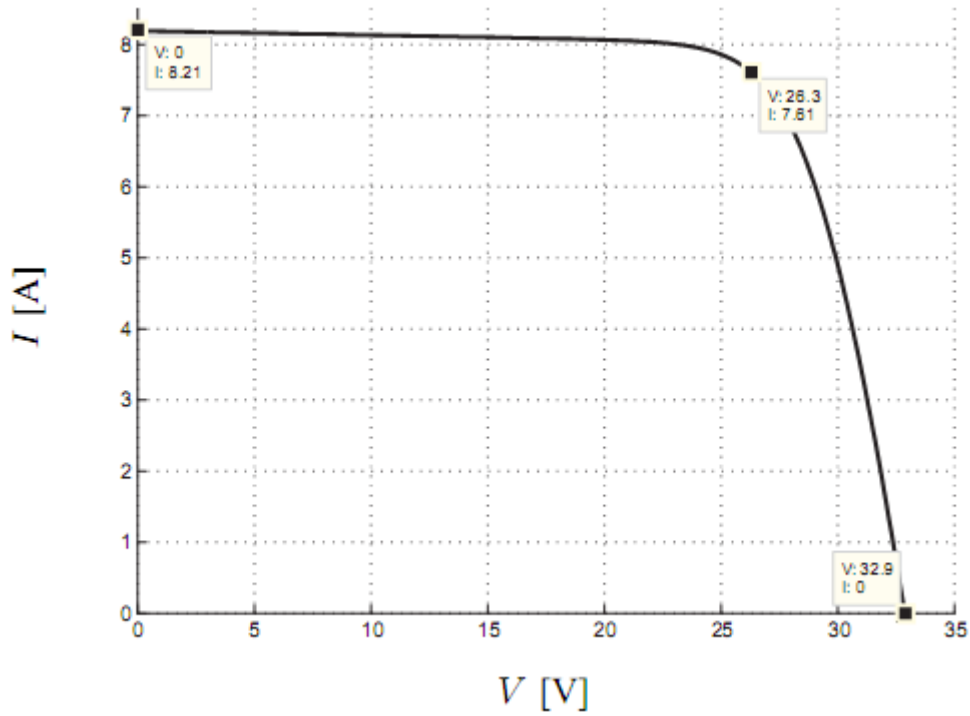
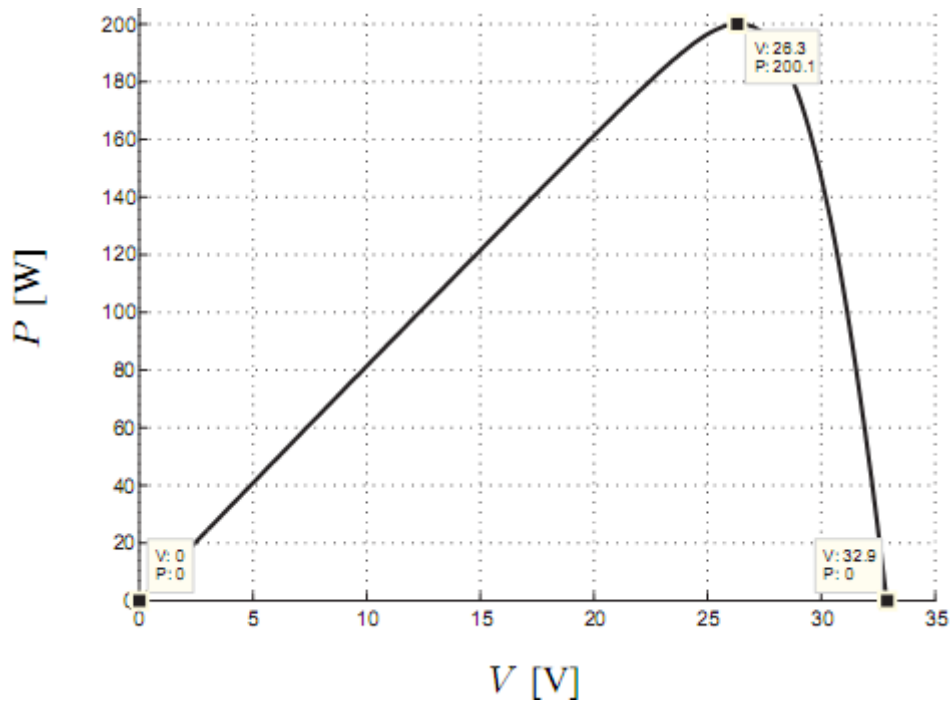
$$N_s = 54 \dots\dots\dots \text{Nombre de cellules en série}$$

$$N_{ss} = 1 \dots\dots\dots \text{Nombre de modules en série}$$

$$N_{pp} = 1 \dots\dots\dots \text{Nombre de modules en parallèle}$$

II-5 Courbes I-V et P-V dans les conditions standards

Les courbes $I(V)$ et $P(V)$ dans les conditions standards (25°C, 1000W/m², 1.5AM) sont données par les courbes ci-dessous :

Figure II.10: Courbes $I(V)$ dans les conditions standardsFigure II.11: Courbes $P(V)$ dans les conditions standards

Dans les conditions standards (25°C , $1000\text{W}/\text{m}^2$), le module photovoltaïque fournit le maximum de puissance.

II-6 Influence des conditions climatiques sur le rendement de panneau photovoltaïque :

Pour voir l'influence des conditions climatiques (température, rayonnement) sur le rendement du panneau photovoltaïque, on a procédé à des simulations dans l'environnement MATLAB pour différentes températures et rayonnements.

La simulation des graphes sont donnés dans les figures suivantes :

II-6-1 Influence de la température :

La figure suivante montre l'influence de la variation de la température sur un panneau photovoltaïque (on gardant le même rayonnement (1000W/M2)).

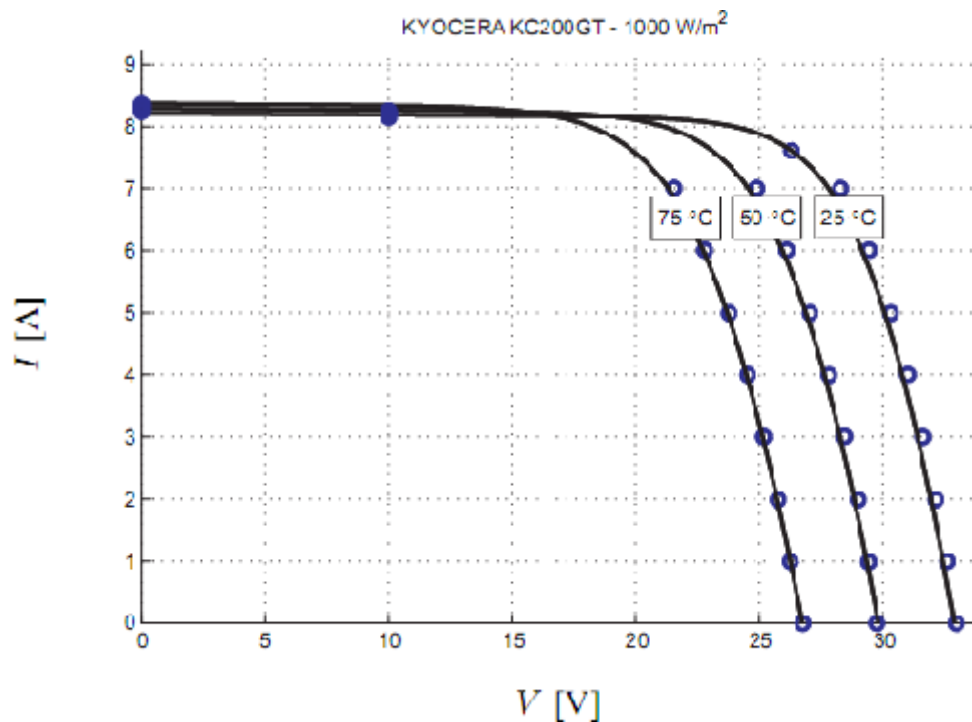


Figure II.12: Influence de la température sur le rendement du panneau photovoltaïque

II-6-2 Influence de rayonnement :

La figure suivante montre l'influence de la variation de rayonnement sur un panneau photovoltaïque (on gardant la même température des conditions standards qui est de 25°C).

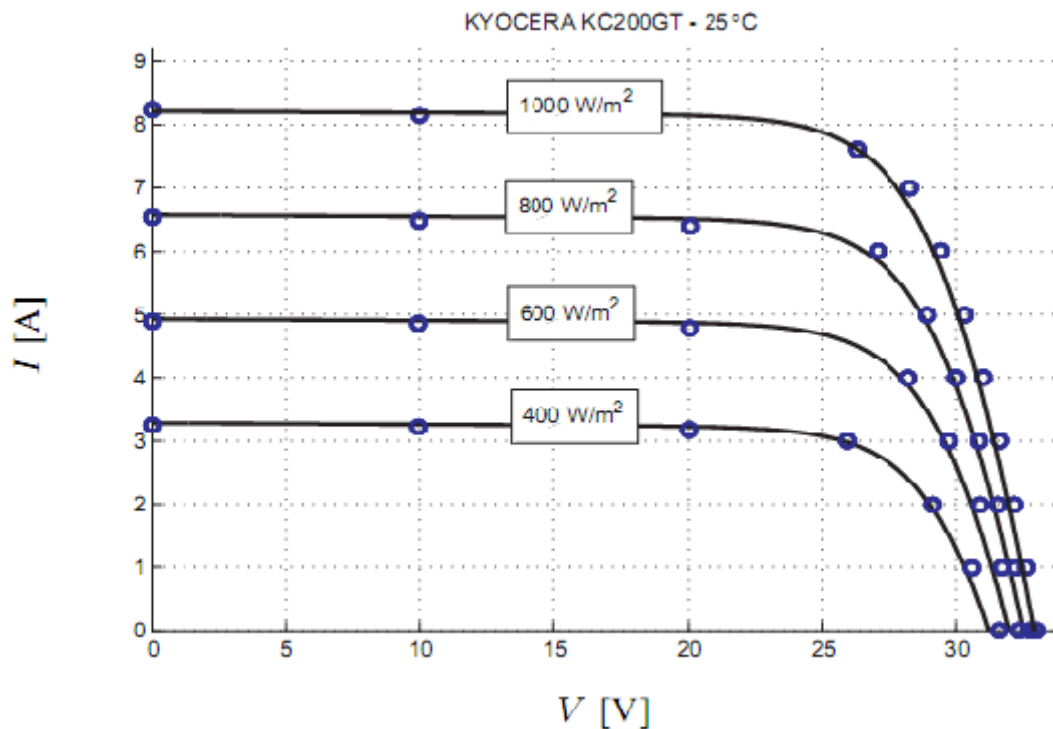


Figure II.13: Influence de rayonnement sur le rendement du panneau photovoltaïque

II-7-1 Interprétation des courbes :

Les figures II.12 et II.13 montrent l'influence de la température et le rayonnement sur le rendement du panneau photovoltaïque. En augmentant ou en diminuant la température, la tension du panneau photovoltaïque diminue, le même cas pour la diminution ou l'augmentation de rayonnement. Le courant débité par le panneau photovoltaïque est proportionnel à l'ensoleillement tandis que la tension des panneaux est inversement proportionnelle à la température.

II-8 Conclusion :

Le modèle des courbes correspondent exactement avec les données expérimentales sur les trois points fournis par La plaque signalétique du panneau: le courant de court-circuit, la puissance maximale, et la tension de circuit ouvert.

Le test de la validité du modèle en comparant avec d'autres données expérimentales est très utile. La Figure II.12 représente les courbes IV du panneau solaire KC200GT simulées par différentes données de température. La Figure II.13 représente les courbes IV pour des données d'irradiations différentes. Certains points ne sont pas exactement inclus dans la courbe parce que le modèle n'est pas purement parfait.

Chapitre III

III-Dimensionnement et Balance Énergétique

Le dimensionnement d'un générateur n'est pas une tâche aisée, étant donnée la nature aléatoire de l'éclairement solaire pour un site donné, l'effet d'horizon (masque), la réflexion due à l'albédo du lieu et l'orientation de la surface du générateur (qui dépend de l'azimut et de l'inclinaison).

Les méthodes de dimensionnement décrites dans la littérature sont approximatives pour différentes raisons citées ci-dessus. Il est donc d'usage d'utiliser les méthodes de dimensionnement simplifiées.

La méthode que nous allons utiliser se base sur le principe de la balance énergétique et sur le concept du **PSH**. [1]

III-1 Concept de l'équivalent 'Peak Solar Hours'(PSH)

➤ Le PSH :

L'équivalent 'Peak Solar Hours' ou PSH est défini comme la durée d'un jour équivalent pour lequel l'éclairement est aux conditions standard à savoir 1000W/m^2 à une température de 25°C .

Autrement dit (qui est l'intégrale de l'éclairement sur une journée) est le même qu'un jour entier équivalent de soleil (Sun Equivalent Day) et sera défini comme un jour réel.

Si $f(t)$ est le profil de l'éclairement d'un jour donné, nous pourrions alors écrire que l'éclairement total émis pendant un jour équivalent et par définition de 1kW/m^2 durant un temps d'une durée d'1 PSH heures:

$$\int_{\text{jour}} f(t) dt = 1\text{PSH} \quad (\text{III.1})$$

Comme on peut le constater, puisque l'unité de l'éclairement est le kW/m^2 , la valeur numérique de l'énergie irradiée par le soleil dans une journée est égale à la valeur numérique du paramètre PSH.

On note une valeur de $6\text{kWh/m}^2/\text{jour}$ et d'après l'équation précédente, nous pouvons tirer la valeur de PSH qui est de 6 heures. D'après cette définition, nous aurons 6 heures d'ensoleillement à 1kW/m^2 dans la journée.

Étant donné que le PSH est indépendant de la valeur initiale et la valeur finale du temps, pour déterminer le jour équivalent soleil, nous pourrions choisir par exemple comme heure initiale du jour équivalent 11h et 17h l'heure finale.

L'utilité de PSH provient du fait que les informations techniques usuellement données par les fabricants sont les caractéristiques aux conditions standard des modules PV.

Bien qu'il soit possible de faire la conversion aux conditions d'éclairement et de température réel, afin d'évaluer l'énergie injectée d'un générateur PV donné, le concept de PSH nous permet de travailler aux conditions standards à condition de disposer de la longueur d'un jour équivalent d'ensoleillement.

Nous faisons bien sur une approximation sur l'estimation de l'énergie produite par le générateur due au fait que l'on ne tient pas compte de l'effet de la température. [1]

➤ **Balance énergétique :**

La balance énergétique d'une centrale photovoltaïque (CP) est obtenue lorsque l'énergie consommée pendant une période du temps donnée est égale à l'énergie générée par le système PV durant la même période de temps.

Soit $P_{max,Gr}$ la puissance nominale de sortie du générateur photovoltaïque aux conditions standards.

Soit L l'énergie électrique continue générée à la sortie du champ PV durant une période de temps correspondant à la durée de PSH.

La balance énergétique utilisant le PSH s'écrira alors de la manière suivante :

$$L = P_{max,Gr} \cdot PSH \quad (III.2)$$

En considérant que V_{mGr} et I_{mGr} sont respectivement la tension et le courant du point de puissance maximale du générateur aux conditions standard, on peut écrire :

$$P_{max,Gr} = V_{mGr} \cdot I_{mGr} \quad (III.3)$$

Si le générateur comprend N_s modules en série et N_p modules en parallèle, l'équation précédente pourra alors s'écrire en considérant que V_{mMr} et I_{mMr} sont, respectivement, la tension et le courant du point de puissance maximale du module aux conditions standards :

$$N_s \cdot V_{mMr} \cdot N_p \cdot I_{mMr} \cdot (PSH) = L \quad (III.4)$$

Soit P_{DC_crete} la puissance continue crête du système PV qui s'écrira ainsi:

$$P_{DC_crete} = N_s \cdot N_p \cdot V_{mMr} \cdot I_{mMr} \quad (III.5)$$

Connaissant la valeur de PSH d'un lieu donné ou le système PV est installé et la valeur de l'énergie produite que l'on désire consommer pendant une période voulue, on pourra déterminer la taille du générateur qui sera donnée par le nombre de module en série et de branche en parallèle.

La première étape de ce dimensionnement est la détermination de la taille de l'onduleur qui peut être obtenu en tenant compte de sa puissance nominale P_{nom} de sortie.

Aux conditions standards d'éclairement, on peut considérer que la puissance AC de sortie de l'onduleur correspond à sa puissance crête qui est plus petite que sa puissance nominale.

Si P_{Ac_crete} est la puissance de sortie crête de l'onduleur, le rendement de l'onduleur pourra s'écrire :

$$\eta = \frac{P_{Ac_crete}}{P_{Dc_crete}} \quad (III.6)$$

L'équation précédente devient :

$$N_s \cdot V_{mMr} \cdot N_p \cdot I_{mMr} = \frac{P_{Ac_crete}}{\eta} \quad (III.7)$$

De plus, le courant I_{mMr} devrait être inférieur ou au moins égale au courant maximum d'entrée de l'onduleur I_{max} , le nombre de branches de modules en parallèle pourra s'écrire :

$$N_p = \frac{I_{max}}{I_{mMr}} \quad (III.8)$$

Finalement le nombre de modules en série et la surface totale du générateur, S, peut être obtenu grâce à l'équation 2.56 de la manière suivante :

$$N_s = \frac{P_{Ac_crete}}{\eta \cdot V_{mMr} \cdot N_p \cdot I_{mMr}} \quad (III.9)$$

Et

$$S = N_p \cdot N_s \cdot S_M \quad (III.10)$$

Avec S_M étant la surface d'un module.

En utilisant une fiche technique d'un module PV, et en remplaçant dans les équations précédentes, on trouve le nombre de panneaux en série et en parallèle.

III-2 Calcul de l'angle d'orientation du générateur [1]

En fonction de certains paramètres connus propre au site sur lequel sera implanté le générateur PV, il sera possible de calculer l'angle optimal d'inclinaison du générateur.

Parmi ces paramètres, l'éclairement global sur une surface horizontale et la latitude du lieu caractérisent respectivement l'intensité de l'éclairement solaire reçue en ce lieu et sa position géographique.

Il existe cependant de nombreuses méthodes et outils de calcul dont les résultats ne sont autres qu'une estimation de l'angle d'inclinaison du capteur car la résolution des équations mathématiques décrivant les différents modèles de l'éclairement solaire donne des solutions approximatives.

Pour plus de simplicité nous proposons d'utiliser les deux formules III.11 et III.12 qui résument assez bien toutes les formules proposées dans la littérature [1].

L'éclairement annuel Φ_a sur une surface orientée de façon optimale s'écrit:

$$\Phi_a(\beta_{\text{opt}}) = \Phi_a(0) / [1 - 4,46 \times 10^{-4} \beta_{\text{opt}} - 1,19 \beta_{\text{opt}}^2] \quad (\text{III.11})$$

$\Phi_a(0)$ étant l'éclairement global sur une surface horizontale

β_{opt} est donnée par la formule suivante :

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 \varphi \quad (\text{III.12})$$

Où

β_{opt} est l'angle optimal d'inclinaison du générateur exprimé en degré.

φ est la latitude du lieu exprimé en degré Celsius.

Conclusion Générale

Les cellules solaires photovoltaïques transforment directement le rayonnement solaire en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Les cellules solaires photovoltaïques sont des dispositifs fabriqués à partir de matériaux semi-conducteurs (principalement le silicium) par le biais de différentes technologies, donnant lieu à des matériaux cristallins, polycristallins et à lame mince, dont les caractéristiques de rendement de conversion énergie solaire/énergie électrique varie légèrement en fonction de ladite technologie.

La puissance produite par une cellule solaire dépend directement du rayonnement solaire incident et décroît avec l'augmentation de la température de fonctionnement.

Une seule cellule solaire, outre produire une faible puissance pour les applications où elle est généralement utilisée, est un élément fragile, c'est pourquoi elles sont souvent regroupées en connexions série/parallèle et se scellent, formant un module photovoltaïque ou une unité de base obtenue par l'installateur de systèmes. À leur tour, les modules photovoltaïques peuvent être connectés en série/parallèle jusqu'à obtenir la puissance nécessaire pour une application concrète, formant ainsi le générateur photovoltaïque.

A fin d'être utilisées dans des systèmes autonomes ou raccordés au réseau électrique, outre les modules photovoltaïques, une série d'éléments ou de composants photovoltaïques sont nécessaires, qui sont essentiellement : des batteries, des régulateurs de charge ou des inverseurs autonomes ou pour la connexion au réseau électrique.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre le principe de la conversion photovoltaïque, le générateur photovoltaïque possède deux convertisseurs ; un hacheur qui permet la recherche du point de fonctionnement maximal et un onduleur qui assure la conversion de l'énergie continue en énergie alternative.

L'énergie produite par le générateur dépend fortement des conditions climatiques (rayonnement solaire et température).

Le bon dimensionnement du générateur photovoltaïque nous permet d'avoir le meilleur rendement et le bon fonctionnement de notre système.



KC200GT

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%.

These cells are encapsulated between a tempered glass cover

and a pottant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.

The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug-in connectors.



APPLICATIONS

KC200GT is ideal for grid tie system applications.

- Residential roof top systems
- Large commercial grid tie systems
- Water Pumping systems
- High Voltage stand alone systems
- etc.

QUALIFICATIONS

- **MODULE** : UL1703 certified
- **FACTORY** : ISO9001 and ISO 14001

QUALITY ASSURANCE

Kyocera multicrystal photovoltaic modules have passed the following tests.

- Thermal cycling test
- Thermal shock test
- Thermal / Freezing and high humidity cycling test
- Electrical isolation test
- Hail impact test
- Mechanical, wind and twist loading test
- Salt mist test
- Light and water-exposure test
- Field exposure test

LIMITED WARRANTY

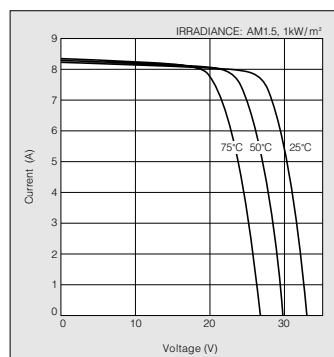
※ 1 year limited warranty on material and workmanship

※ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

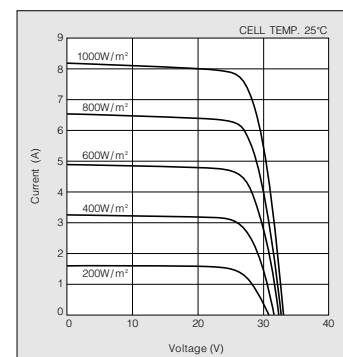
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC200GT at various cell temperatures



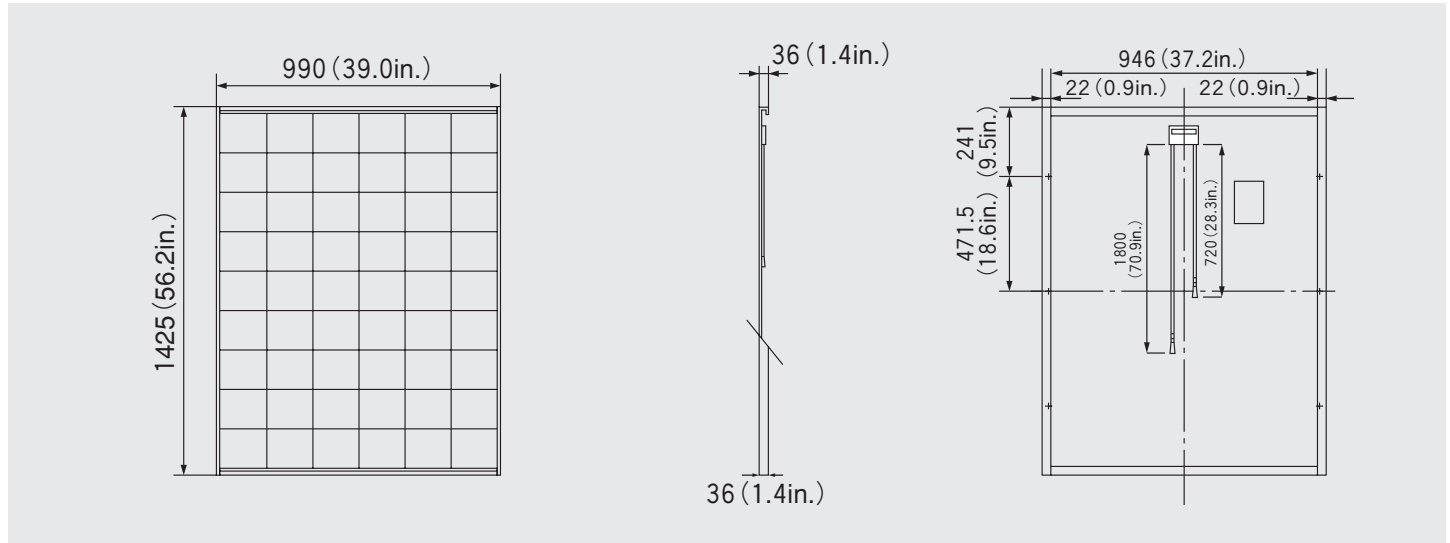
Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC200GT at various irradiance levels



MODEL
KC200GT

Physical Specifications

Unit : mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)

Maximum Power (Pmax)	200W (+10%/−5%)
Maximum Power Voltage (Vmpp)	26.3V
Maximum Power Current (Impp)	7.61A
Open Circuit Voltage (Voc)	32.9V
Short Circuit Current (Isc)	8.21A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of Voc	−1.23×10 ⁻¹ V/°C
Temperature Coefficient of Isc	3.18×10 ⁻³ A/°C

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m², NOCT, AM1.5

Maximum Power (Pmax)	142W
Maximum Power Voltage (Vmpp)	23.2V
Maximum Power Current (Impp)	6.13A
Open Circuit Voltage (Voc)	29.9V
Short Circuit Current (Isc)	6.62A

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) : 47°C

Cells

Number per Module	54
-------------------	----

Module Characteristics

Length × Width × Depth	1425mm(56.2in)×990mm(39.0in)×36mm(1.4in)
Weight	18.5kg(40.7lbs.)
Cable	(+)720mm(28.3in.), (-)1800mm(70.9in)

Junction Box Characteristics

Length × Width × Depth	113.6mm(4.5in)×76mm(3.0in)×9mm(0.4in)
IP Code	IP65

Reduction of Efficiency under Low Irradiance

Reduction	7.8%
-----------	------

Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (module temperature 25°C)

Please contact our office for further information



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
6 Takeda Tobadono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL:(81)75-604-3476 FAX:(81)75-604-3475
<http://www.kyocera.com>

KYOCERA Solar, Inc.

7812 East Acoma Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL:(1)480-948-8003 or (800)223-9580 FAX:(1)480-483-6431
<http://www.kyocerasolar.com>

KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

Av. Guignard 661, Loja A
22790-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL:(55)21-2437-8525 FAX:(55)21-2437-2338
<http://www.kyocerasolar.com.br>

KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde
N.S.W. 2113, Australia
TEL:(61)2-9870-3948 FAX:(61)2-9888-9588
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

KYOCERA Fineceramics GmbH

Fritz Muller strasse 107, D-73730 Esslingen, Germany
TEL:(49)711-93934-917 FAX:(49)711-93934-950
<http://www.kyocerasolar.de/>

KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #13-03/05
Central Plaza, Singapore 168730
TEL:(65)6271-0500 FAX:(65)6271-0600

KYOCERA Asia Pacific Ltd.

Room 801-802, Tower 1 South Seas Centre, 75 Mody Road,
Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
TEL:(852)2-7237183 FAX:(852)2-7244501

KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

10 Fl., No.66, Nanking West Road, Taipei, Taiwan
TEL:(886)2-2555-3609 FAX:(886)2-2559-4131

KYOCERA(Tianjin) Sales & Trading Corporation

19F, Tower C HeQiao Building 8A GuangHua Rd.,
Chao Yang District, Beijing 100026, China
TEL:(86)10-6583-2270 FAX:(86)10-6583-2250

[1] :F.BOUKHTOUCHE.CHERFA

«Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution BT».Mémoire de magister de l'école national polytechnique, 2005.

[2] :L.HASSAINE

«Modélisation et simulation d'un système de conditionnement de puissance pour la poursuite de MPPT dans les systèmes photovoltaïques». Mémoire de magister de l'école national polytechnique, 2002.

[3] :Y.PANKOW

«Eude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension».

«Application au générateur photovoltaïque»Thèse Doctorat de l'école nationale supérieur d'Arts et Métiers, 2004.

[4] : Akassewa Tchapo SINGO

« Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome »Thèse Doctorat U.F.R. Sciences & Techniques Mathématiques Informatiques Automatiques Ecole Doctorale IAEM Lorraine Département de Formation Doctorale Electronique-Electrotechnique .

[5]: Anca D.Hansen,Poul Sorensen, Lars H.Hensen and Henrik Bindner

«Models for a Stand-Alone PV System ».Riso National Laboratory,Roskilde.December 2000

[6]: Ionel VECHI

« Modélisation et Analyse de l'Intégration des Energies Renouvelables dans un Réseau Autonome»
Thèse Doctorat de l'université de Havre 2005.

[7] : M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F.

« Modeling and Circuit-Based Simulation of Photovoltaic Arrays ».Brazilian Journal of Power Electronics, University of Campinas - UNICAMP, Brazil 2009 .vol. 14, no. 1, pp. 35--45, ISSN 1414-8862

Autre sources bibliographies:

➤ **Miguel Alonso**

« Gestion des énergies renouvelables : Perspectives d’Avenir, 1ere Edition» Ecole de Formation Espagnoles CEDDET.

Site Internet :

<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/> <http://www.eurosur.org/medioambiente/esf/>

http://www.acre.ee.unsw.edu.au/acrelab/design_guide

<http://www.eurosur.org/medioambiente/esf/>