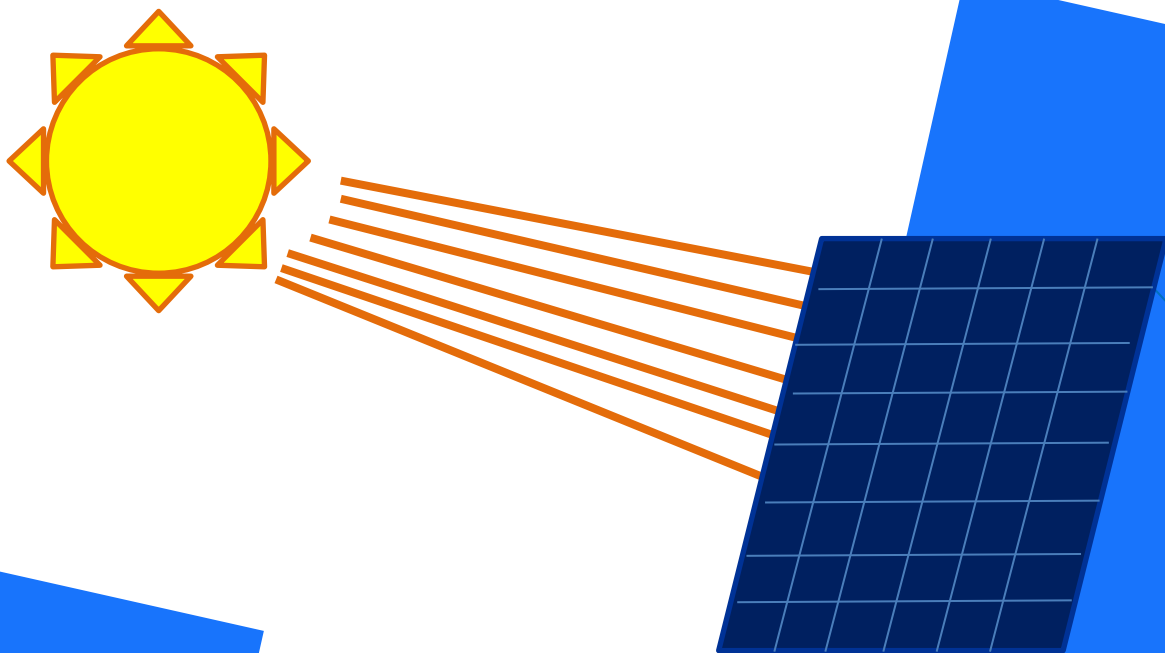


Rapport du projet de fin d'année

**Sujet : Simulation d'un panneau solaire
Photovoltaïque**



Réalisé par :

TAHRAOUI AHMAD AMINE (GEM)

HAJIR KHALID (MSEI)

ARICH ABDELJABAR (MSEI)

Encadré par :

Jury :

Sommaire :

Introduction.....	5
Chapitre 1: Généralités et principe de fonctionnement.....	6
1. Cellule photovoltaïque:	6
2. La structure d'une cellule photovoltaïque :.....	6
3. les différentes technologies des cellules photovoltaïques :	7
3.1. Première génération:	7
3.1.1. Cellule en silicium monocristallin :	7
3.1.2. Cellule en silicium poly-cristallin:.....	8
3.2. Deuxième génération :	8
3.2.1. Cellule en silicium amorphe:	8
3.2.2. Cellules au tellurure de cadmium (CdTe):.....	9
3.2.3. Cellules au di séléniure de cuivre d'indium (CIS):.....	9
3.3 Troisième génération:	9
4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:.....	10
4.1. Effet photovoltaïque:	10
4.2. Semi-conducteur:	10
4.3. La théorie des bandes:	10
4.4. Dopage du silicium:	11
4.5. Eclairement par une source lumineuse:	12
4.6. La jonction PN :	12
4.7. Le fonctionnement de la jonction:	13
4.8. Le but de la jonction:	13
5. Conclusion :	14
Chapitre 2: Les caractéristiques d'une cellule Photovoltaïque	15
1. Les Paramètres électriques d'une cellule photovoltaïque:	15
1.1. Tension de circuit ouvert:	15
1.2. Courant de court-circuit:.....	15
1.3. Rendement:	15
1.4. Puissance maximale:.....	15
1.5. Puissance crête:.....	16
1.6. Facteur de forme:	16
2. Caractéristiques et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque:.....	17

2.1. Le but de schéma équivalent:	17
2.2. La caractéristique (I, U) d'une cellule photovoltaïque:	18
2.3. La caractéristique (P, U) d'une cellule photovoltaïque:	18
3. Association des cellules:	20
3.1. Association séries:	20
3.2. Association parallèle:	21
4. Influence des paramètres sur la caractéristique (I,U) et (P,U) de la cellule:	21
4.1. Paramètres internes:	21
4.1.1. Résistance série R_s :	21
4.1.2. Résistance parallèle R_p :	23
4.1.3. Facteur d'idéalité A:	24
4.2. Paramètres externes:	25
4.2.1. Eclairement:	25
4.2.2. Température:	26
5. Conclusion :	28
Chapitre 3: Simulation d'un panneau photovoltaïque	29
1. Simulation du panneau photovoltaïque:	29
1.1. Description du modèle utilisé:	29
1.2. Simulation du panneau photovoltaïque sous Matlab/Simulink:	31
1.3. Simulation par des équations:	36
1.4. Simulation:	38
2. Création d'un script contenant les valeurs des paramètres du modèle :	39
2.2. Technologie monocristallin Shell SQ80:	39
2.2. Technologie amorphe Shell ST40:	40
2. 3. Technologie poly-cristallin Kyocera KC200GT:	41
3. les résultats de simulation des trois technologies:	41
3.1. Monocristallin Shell SQ80:	41
3.1.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U):	41
3.1.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):	42
3.1.3. Influence de température sur la caractéristique (I, U):	42
3.1.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):	43
3.2. Amorphe Shell ST40:	43
3.2.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I, U):	43

3.2.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):.....	44
3.2.3. Influence de température sur la caractéristique (I,U):	44
3.2.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):.....	45
3.3. Poly-cristallin Kyocera KC200GT:	45
3.3.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U):	45
3.3.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):.....	46
3.3.3. Influence de température sur la caractéristique (I ,U):	46
3.3.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):.....	47
3. Conclusion :.....	47
Conclusion :	48
Bibliographie :	49
Webographie :.....	50

Introduction

On distingue plusieurs types de d'énergies renouvelables: l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Excepté l'énergie géothermique qui provient de la chaleur des profondeurs de la terre, ces sources d'énergie proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera.

L'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple.

L'énergie photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables la plus utilisée. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité. Pour ce faire des convertisseurs photovoltaïques utilisent les cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque.

L'utilisation des cellules photovoltaïques comme convertisseurs d'énergie solaire a fait apparaître le besoin d'étudier ces systèmes afin de les optimiser, et par conséquent développer l'exploitation de cette nouvelle source d'énergie renouvelable propre.

L'expérience montre que le fonctionnement des cellules solaires dépend fortement de plusieurs paramètres; internes (lié au dispositif lui-même; la technologie d'élaboration du dispositif photovoltaïque) et externes (lié à l'entourage du fonctionnement: éclairage, température, etc.). L'étude de l'influence de ces différents paramètres sur le fonctionnement des cellules photovoltaïques est possible à travers la connaissance de l'influence de chaque paramètre sur la caractéristique I-V de la cellule.

La structure de cette étude est comme suit:

Le premier chapitre se concentre sur les généralités des cellules photovoltaïques et principe de fonctionnement. Nous précisons également dans ce chapitre l'élément principal dans la conversion du rayonnement soleil en électricité et leurs différentes technologies et l'étude du principe de fonctionnement (effet photovoltaïque, dopage, théorie des bandes, semi-conducteur, jonction PN.).

Dans le deuxième chapitre on traite sa caractéristique électrique, son circuit électrique équivalent, les paramètres photovoltaïques, le mécanisme de fonctionnement, l'influence de différents paramètres sur la caractéristique, le regroupement des cellules photovoltaïques.

Le dernier chapitre présente l'étude par simulation des caractéristiques d'un panneau solaire photovoltaïque. Les simulations sont réalisées dans l'environnement MATLAB/Simulink

Chapitre 1: Généralités et principe de fonctionnement

1. Cellule photovoltaïque:

L'élément fondamental dans un système photovoltaïque est la cellule photovoltaïque qui convertit l'énergie reçue par rayonnement solaire en énergie électrique .

Elle est un composant électronique qui, exposé à la lumière génère de l'électricité. C'est l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu dépend de la lumière incidente. la cellule photovoltaïque produit un courant continu. Les cellules photovoltaïques les communes sont constituées de semi-conducteur à base de silicium (Si). la cellule photovoltaïque à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.



Figure 1.1: Cellule photovoltaïque

2. La structure d'une cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est un cristal à base de silicium. Elle est constituée de deux couches minces de semi-conducteur, une couche dopée P (chargée positivement, un excès de trou) et une couche dopée N (chargée négativement, un excès d'électron), le rôle de ces couches est de canaliser la fuite des électrons arrachés à la matière. Les deux semi-conducteurs forment une jonction PN.

On utilise les semi-conducteurs à cause de ces propriétés. Ils absorbent facilement la lumière et permettent de générer un champ électrique et une tension électrique. Le dessous de la cellule est recouvert par une couche conductrice alors que le dessus est recouvert par une grille métallique pour ne pas bloquer les photons. De plus, le silicium est très réfléchissant, le but étant de capter un maximum de soleil, on place donc un revêtement anti-réflexion sur le dessus de la cellule. Enfin, une couche de verre est placée sur le dessus de la cellule pour protéger la cellule qui est très fragile. L'épaisseur totale de la cellule est de l'ordre du millimètre voir figure (1.2).

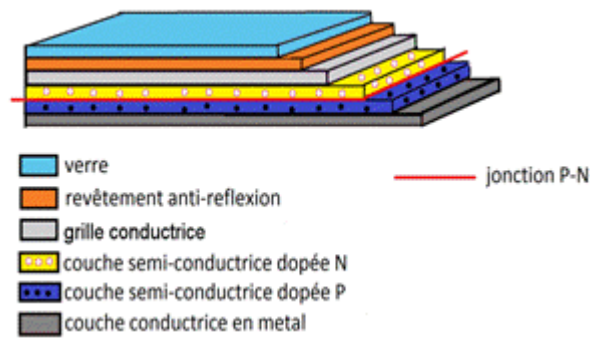


Figure 1.2: Structure d'une cellule photovoltaïque

3. les différentes technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe un grand nombre de technologie de fabrication de cellules photovoltaïques, telles que les cellules issues de plaques de silicium cristallin et les cellules obtenues directement par des procédés en couche mince.

Généralement, on distingue trois générations de cellules photovoltaïques en fonction du développement technologique.

3.1. Première génération:

Les cellules de la première génération sont basées sur une seule jonction PN et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. La méthode de production basée sur les pastilles de silicium est très énergétivore et donc très chère. Elle nécessite par ailleurs un silicium d'une grande pureté. Cette technologie est subdivisée en deux sous filières : le silicium monocristallin et le silicium poly-cristallin, qui sont différenciés par leur procédé d'obtention du cristal.

L'industrie photovoltaïque est concentrée à plus de 90% sur l'utilisation du silicium comme matériau de base. Les cellules au silicium cristallin sont les plus répandues puisque que le silicium possède un arrangement parfait des atomes, selon une structure ordonnée de type tétraédrique.

Ce semi-conducteur présente en effet, différents avantages : il est abondant à la surface du globe, car facilement extrait à partir du sable ; il n'est pas toxique comme certains semi-conducteurs. il possède un oxyde naturel (SiO_2) présentant d'excellentes propriétés électroniques et il peut se doper facilement (avec le phosphore ou le bore). Son seul véritable inconvénient est son gap indirect à 1,1 eV. Ceci entraîne une absorption du rayonnement plus faible qu'avec un matériau à gap direct : pour absorber 90% du spectre solaire, il faudra utiliser une épaisseur de 100 μm pour le silicium.

3.1.1. Cellule en silicium monocristallin :

La cellule monocristalline est constituée d'un seul cristal. Elle est généralement de couleur bleue uniforme et est essentiellement utilisée lorsque les espaces sont restreints.

- **Avantage:**
 - Bon rendement de 14 % à 16 %.
 - Nombre de fabrication élevé [3].
- **Inconvénients:**
 - Cout élevé.
 - Rendement plus faible sous un faible éclairement.
 - Baisse du rendement quand la température augmente [3].

3.1.2. Cellule en silicium poly-cristallin:

La cellule poly cristalline se compose de plusieurs cristaux assemblés, et présente l'aspect d'une « mosaïque ». Actuellement c'est le meilleur rapport qualité/prix et la plus utilisée.

- **Avantage :**
 - Rendement ~13%
 - Meilleur rapport qualité/prix
- **Inconvénient:**
 - Rendement très faible sous un faible éclairement.

3.2. Deuxième génération :

Les couches minces (thin film) constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. La couche du semi-conducteur est directement déposée sur un substrat, par exemple le verre. La production de ce type de cellule est moins coûteuse que celui de la première génération puisqu'elle consomme moins de semi-conducteur et ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en pastille.

3.2.1. Cellule en silicium amorphe:

L'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal, et l'ordre cristallin n'est maintenu qu'à courte distance.

Les modules au silicium amorphe auront un bon avenir car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible lumière. Le silicium amorphe possède un rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin, ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Le silicium amorphe présente plus de 8 % du marché mondial.

- **Avantage:**
 - Fonctionne avec un éclairement faible (même par un temps couvert).
 - Un peu moins chère que les autres techniques.
 - Intégration sur supports souples ou rigides.
- **Inconvénients :**
 - Rendement faible en plein soleil, de 5 % à 7 %.
 - Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes.

- Performance qui diminue avec le temps.

3.2.2. Cellules au tellurure de cadmium (CdTe):

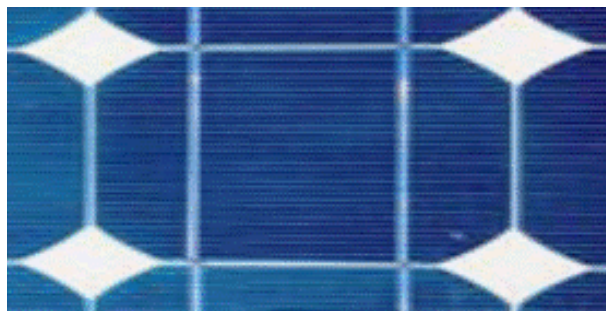
Ce matériau est intéressant du fait de son gap optique 1.45 eV et de sa forte absorption qui permet en moins de 2 μm d'épaisseur d'absorber la quasi-totalité du spectre visible [4].

3.2.3. Cellules au di sélénure de cuivre d'indium (CIS):

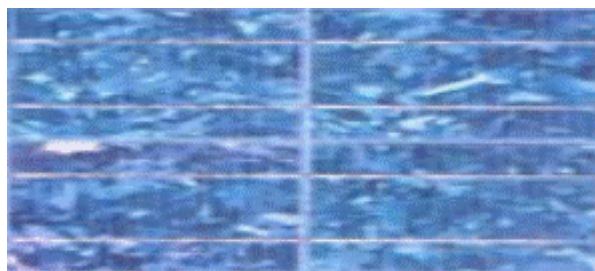
Elles sont encore au stade expérimental, et sont élaborés à bas coût. Mais, malheureusement elles contiennent du cadmium connu par sa toxicité et déjà interdit dans certains pays [4].

3.3 Troisième génération:

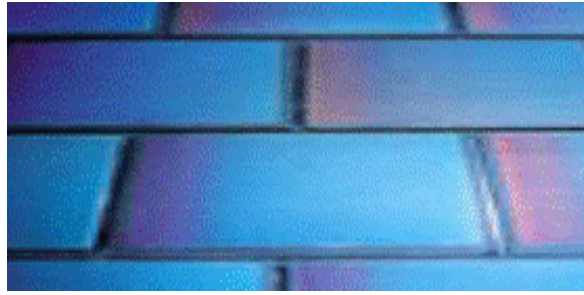
La troisième génération vise à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelles. Les cellules de la troisième génération sont des cellules organiques et plastiques, encore au stade de recherche comprennent la voie des cellules humides dites « Grätzel » ou la voie des polymères organiques dites aussi cellules plastiques [4].



a-(Cellule monocristallin)



b-(Cellule Poly-cristallines)



c- (Cellule à Couches minces)

Figure 1.3: les différentes technologies des cellules.

4. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:

4.1. Effet photovoltaïque:

L'effet photovoltaïque est le phénomène qui associe les mécanismes d'absorption des radiations solaires et l'action d'un champ électrique qui produit une barrière de potentiel dans une jonction. Le rôle de ce champ est de séparer les porteurs générés avant qu'ils ne se recombinent. Ce phénomène a été mis en évidence, par le physicien Français Alexandre Edmond Becquerel qui découvrit en 1839, que certains matériaux délivrent une petite quantité d'électricité quand ils sont exposés à la lumière. Albert Einstein expliqua le phénomène photovoltaïque en 1912.

4.2. Semi-conducteur:

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Ils caractérisent par une bande interdite de largeur inférieure à 3 eV. (Si, $E_g=1,1$ eV)

À 0°K pas d'énergie thermique donnée aux électrons, donc la BC reste vide, le SC se comporte comme isolant.

À T° ambiante certains électrons de la BV passent à la BC et deviennent électrons délocalisés qui participent à la conduction; ces électrons laissent des trous dans la BV.

4.3. La théorie des bandes:

Un atome de Silicium est composé d'un noyau, et d'électrons qui « gravitent » autour. Ces électrons « gravitent » selon des couches bien précises. Lorsqu'un photon est capté par un électron, celui-ci capte son énergie et change de Couche. Mais cette énergie qu'il capte doit être suffisante pour passer sur une autre couche, sinon rien ne se passe. Soit cet électron passe la prochaine marche, soit il reste sur sa première couche que l'on nomme état fondamental. Les autres états sont appelés états excités. Un électron excité est un électron qui possède une énergie potentielle supérieure au strict nécessaire.

Dans la théorie des bandes, les électrons n'ont la possibilité de prendre que des valeurs d'énergie comprises dans certains intervalles, lesquels sont séparés par des bandes d'énergie interdites figure (1.4).

Ainsi, un matériau est conducteur lorsqu'il y a continuité entre la bande de valence, et la bande de conduction. Les électrons n'ont pas besoin d'une certaine excitation pour être conducteurs (c'est le cas des métaux par exemple). Sinon, le matériau est dit isolant. Mais il existe le cas des matériaux semi-conducteurs, comme le silicium. Si la bande interdite est suffisamment fine, alors avec une excitation suffisante, l'électron peut atteindre la bande de conduction et le matériau devient conducteur.

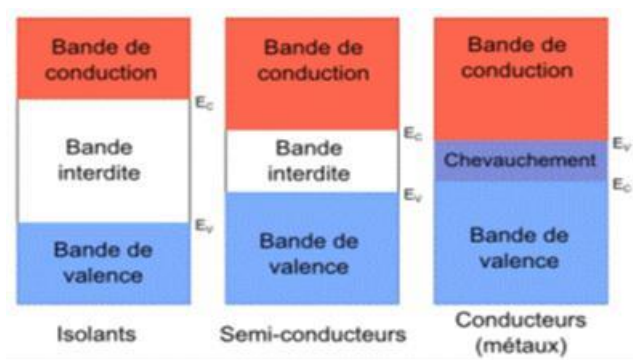


Figure 1.4: La structure des bandes des matériaux.

4.4. Dopage du silicium:

Dans le cas du silicium, l'énergie solaire peut permettre de le rendre conducteur par agitation thermique. Cependant les atomes de silicium se lient entre eux dans un réseau cristallin pour entrer dans un état stable, qui le rendent moins conducteur.

Le dopage consiste à remplacer certains atomes de silicium (4électron en valence) par d'ajouter des atomes voisins du tableau périodique en petites quantités à une substance qui va modifier ses propriétés de conductivités.

On distingue deux types de dopage :

Dopage de type N: qui consiste à produire un excès des électrons qui sont négativement chargé, avec des atomes donneurs comme phosphore à cause de cinq électrons en périphérie. Figure (1.5)

Dopage de type P: qui consiste à produire un excès trou (considérés comme chargé positivement) c.-à-d. un déficit des électrons, avec des atomes accepteurs comme bore à cause de trois atomes en périphérie. Figure (1.6)



Figure 1.5: Dopage de type N.

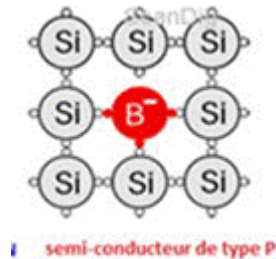


Figure 1.6: Dopage de type P.

4.5. Eclairement par une source lumineuse:

Si un semi-conducteur est éclairé avec des photons d'énergie supérieure à l'énergie de la bande interdite E_g , ces photons sont absorbés et il en résulte l'excitation d'un certain nombre d'électrons de BV vers BC. Il reste des trous dans BV. Mais rien ne permet de séparer les paires électron-trou ainsi formées, leur recombinaison est très rapide. On ne peut pas recueillir d'énergie électrique de cette façon. Il faut donc trouver un moyen de séparer les charges initialement formées. Ceci est réalisé dans un dispositif appelé jonction NP (figure 1.7).

4.6. La jonction PN :

La juxtaposition d'un semi-conducteur dopé positivement (P), et d'un semi-conducteur dopé négativement (N) permet d'obtenir une jonction PN.

On observe au niveau de la jonction l'apparition d'une zone de charges d'espace, dans laquelle il n'y a pas de charges mobiles. En effet, à l'interface de ces deux couches, un champ électrique se forme à cause de la différence de charge et empêche les électrons libres de rejoindre les trous.

La jonction PN est le dispositif utilisé dans les cellules photovoltaïques. En effet, quand des photons sont absorbés dans la zone de charge d'espace, les paires électron-trou formées sont séparées par le champ électrique de la jonction qui fait migrer les électrons vers la région N et les trous vers la région P (figure 1.7).

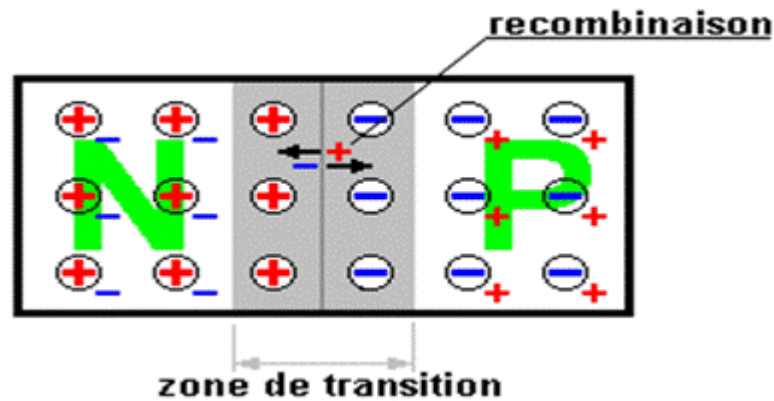


Figure 1.7: La jonction PN.

4.7. Le fonctionnement de la jonction:

Dans un semi-conducteur exposé à la lumière, un photon d'énergie suffisante arrache un électron, créant au passage un trou. Théoriquement, l'électron trouve rapidement un trou pour se remplacer, 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 par conséquent une tension entre deux faces comme une pile.

4.8. Le but de la jonction:

Lorsque la cellule est exposée à un rayonnement, les photons incidents dont l'énergie est suffisante peuvent créer des paires électron/trou dans la zone N et P. Le champ électrique interne de la jonction PN bloque la recombinaison électron/trou. La séparation des paires électron-trou par le champ électrique (figure 1.8) de la jonction PN fait passer au travers de celle-ci un courant (courant généré par la lumière) de la région N vers la région P. Simultanément la région P se charge positivement et la région N négativement, créant ainsi une polarisation inverse de la Cellule. Donc la cellule est une jonction polarisée en inverse (photodiode). (figure 1.9)

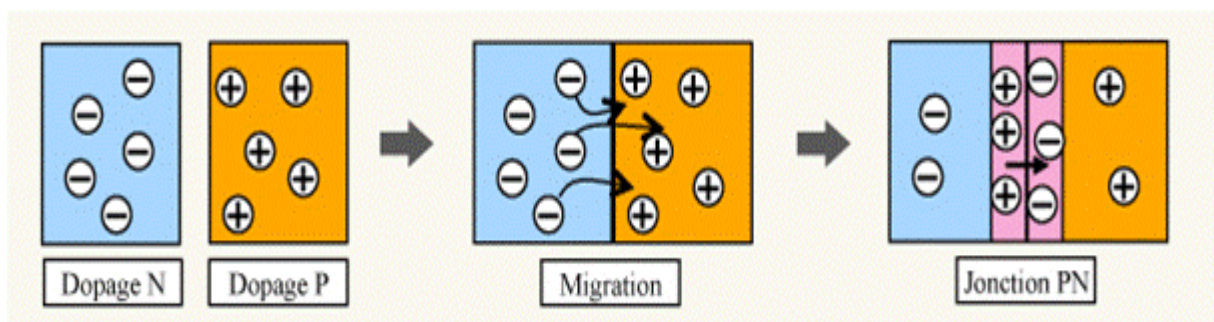


Figure 1.8: La création d'un champ électrique interne

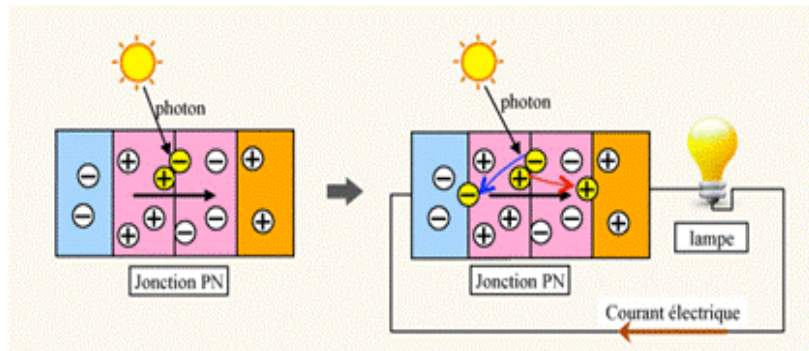


Figure 1.9: Fonctionnement de la cellule.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les cellules photovoltaïques, leur structure et leurs différentes technologies.

Et puis en fait une explication sur le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque.

Chapitre 2: Les caractéristiques d'une cellule Photovoltaïque

1. Les Paramètres électriques d'une cellule photovoltaïque:

1.1. Tension de circuit ouvert:

Si l'on place une cellule sous une source lumineuse constante, sans aucune charge à son borne, celle-ci va produire une tension continue d'environ 0,6 V, appelée tension en circuit ouvert V_{CO} ou à vide (elle varie légèrement avec la température et l'éclairement).

1.2. Courant de court-circuit:

C'est le courant obtenu aux bornes de la cellule quand la tension à ces bornes est nulle, Il constitue le maximal de courant qui peut être obtenu d'une cellule. Sa valeur typique sera à peu près d'une dizaine de milliampères pour centimètre carré de cellule. Puisque $R_s \ll R_p$ on peut émettre $I_{sc} \simeq I_{ph}$.

1.3. Rendement:

Le rendement énergétique est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire parvenant au module. Soit S la surface du module et E l'éclairement en W/m^2 , ce rendement a pour formule:

$$\eta = \frac{P_m}{S \times E} \quad (2.1)$$

1.4. Puissance maximale:

L'objectif principal de l'utilisateur de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible, c'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module (assemblage des cellules en série ou en parallèle), qui est associé à une tension maximale U_m et à une intensité maximale I_m .

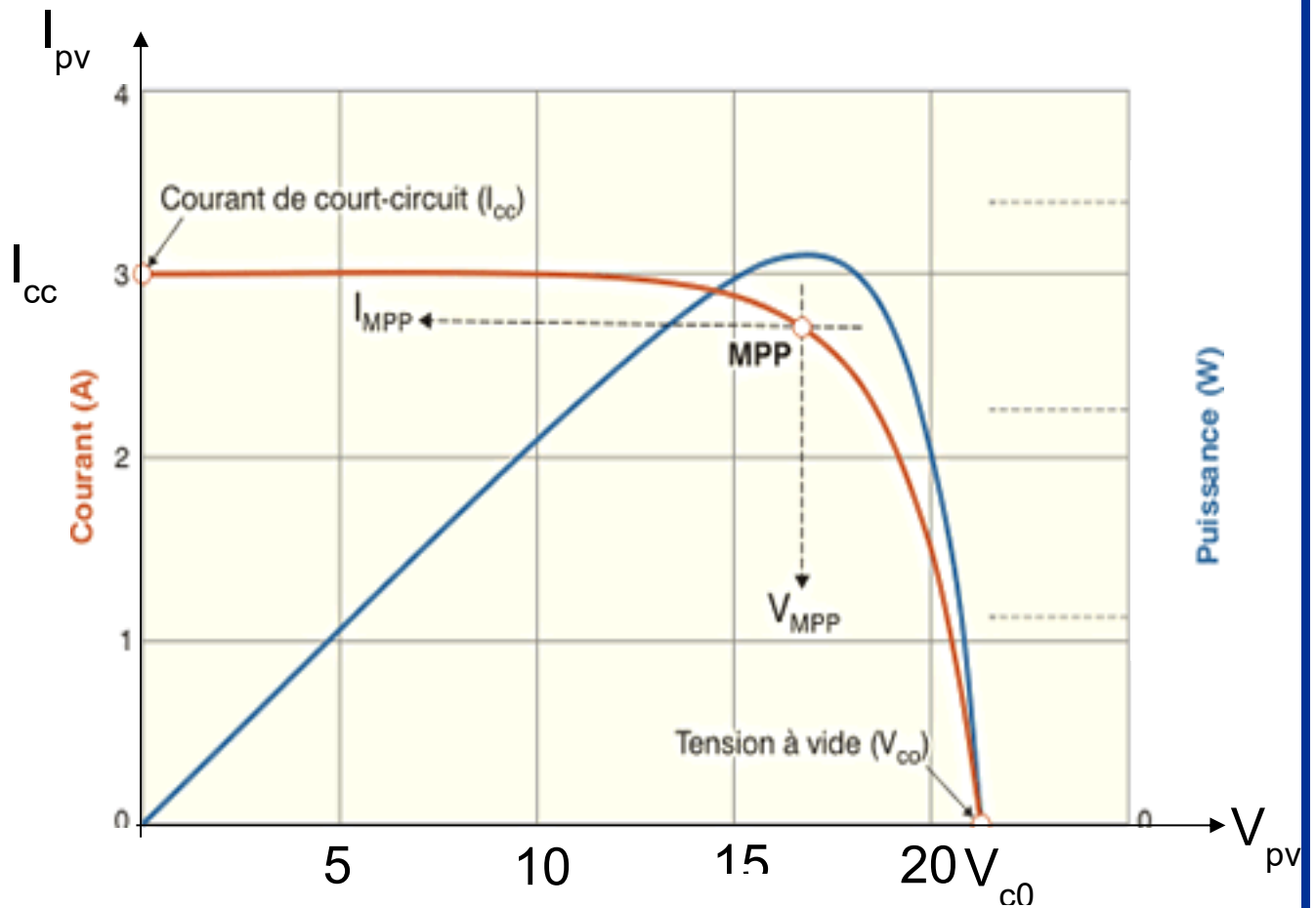


Figure 2.1: Point de puissance maximale MPP

1.5. Puissance crête:

La puissance crête d'une cellule photovoltaïque, notée W_c (Watt crête) ou W_p (Watt peak) représente la puissance électrique maximum délivrée dans les conditions suivantes, dites Conditions Standard de Test (STC):

- Eclairement solaire de 1000 W / m^2 (correspondant à peu près à une exposition perpendiculaire aux rayons du soleil à midi par temps clair d'été);
- Température de la cellule PV égale à $+ 25^\circ\text{C}$.
- Répartition spectrale du rayonnement dit $AM=1,5$ (correspondant au rayonnement solaire parvenant au sol après avoir traversé une atmosphère de masse 1 à 45°);

1.6. Facteur de forme:

Le facteur de forme est un paramètre important souvent utilisé à partir de la caractéristique (I , U) pour évaluer la qualité d'une cellule. Il est illustré sur la figure (2.2). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} (surface de rectangle bleu) et la puissance d'une cellule idéale $I_{cc} \cdot V_{co}$ (la puissance formée par le rectangle bleu ciel).

Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également.

Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de révolution technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales [16]. Le facteur de forme pour une cellule de bonne qualité est supérieur à 0.7, Il diminue avec l'augmentation de la température [15] [16].

$$FF = \frac{P_m}{V_{CO} \times I_{CC}} = \frac{V_m \times I_m}{V_{CO} \times I_{CC}} \quad (2.2)$$

Pour une cellule idéale: $FF = 1$

Pour une cellule réelle: $FF < 1$

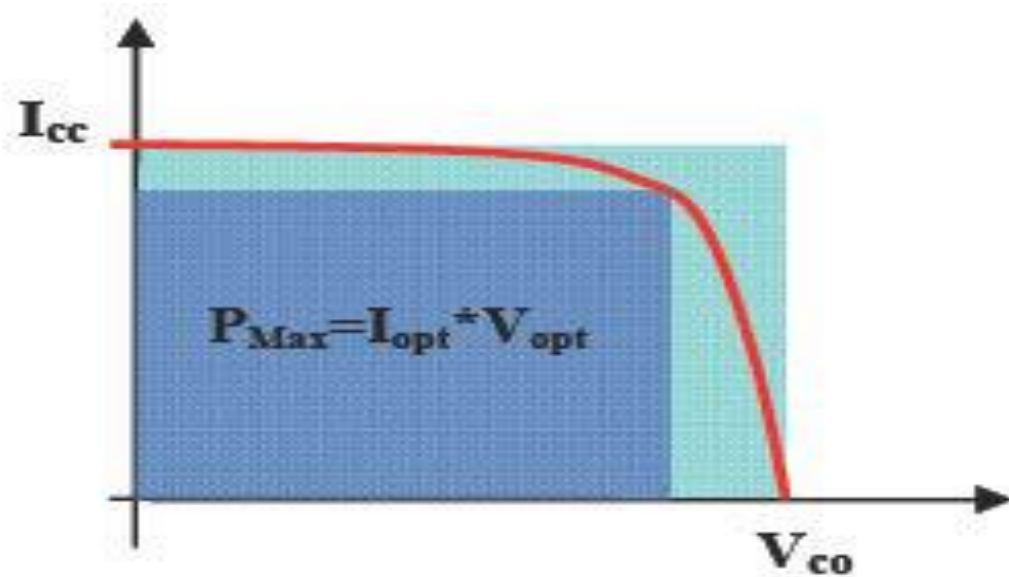


Figure 2.2: Facteur de forme d'une cellule photovoltaïque

2. Caractéristiques et schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque:

2.1. Le but de schéma équivalent:

Pour comprendre le comportement d'une cellule photovoltaïque, il faut faire un modèle électronique qui contient des composantes connues.

Le circuit équivalent conserve tous les propriétés électriques de la cellule et aussi simplifié le calcul.

La cellule photovoltaïque est représentée par un circuit électrique qui contient une diode ayant le courant de saturation I_s qui représente le courant des fuites d'ordre de 10^{-10} A (courant des minoritaires dans la jonction PN) et aussi la diode est caractérisée par la facteur d'idéalité A , et d'une source de courant produisant un photo-courant I_{ph} qui dépend de l'éclairement (sensible au photon), et aussi deux résistances une résistance parallèle et une résistance série qui sont modélisent les pertes (perte au niveau des fils et aussi dans la transformation de rayonnement en électricité) car il n'y a pas une cellule parfaite.

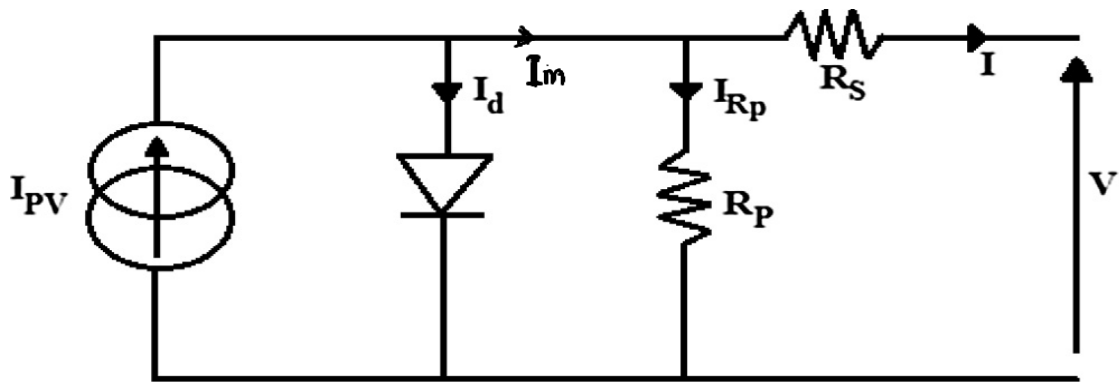


Figure 2.3: Schéma équivalent d'une cellule.

I_{PV} : le photon-courant.

I_d : courant de la diode.

I : courant produit par la cellule.

I_{Rp} : courant qui travers la résistance R_p .

V : tension délivré par la cellule.

2.2. La caractéristique (I, U) d'une cellule photovoltaïque:

La caractéristique (I, U) représente de courant de la cellule en fonction de tension délivré.

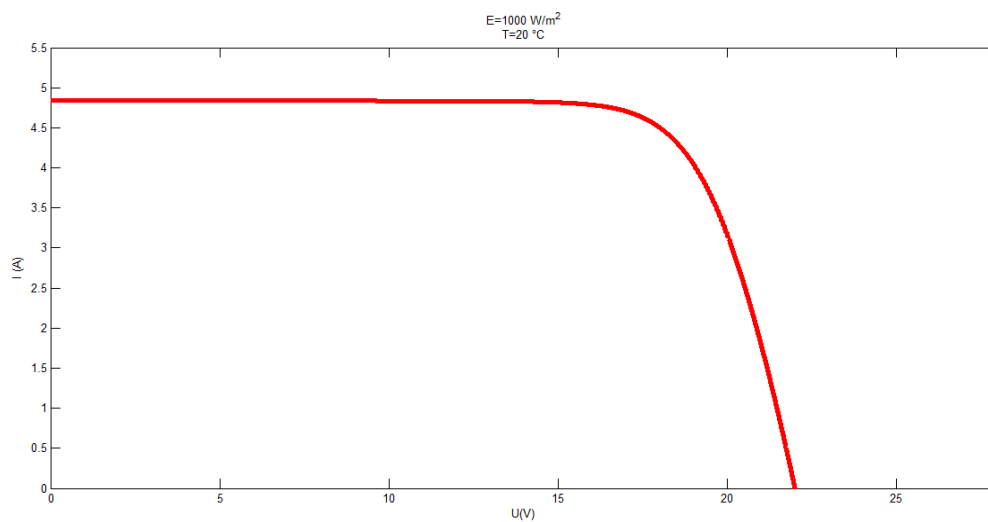


Figure 2.4: Caractéristique (I, U) d'une cellule.

2.3. La caractéristique (P, U) d'une cellule photovoltaïque:

La caractéristique (P, U) représente la puissance fournie par la cellule en fonction tension délivré.

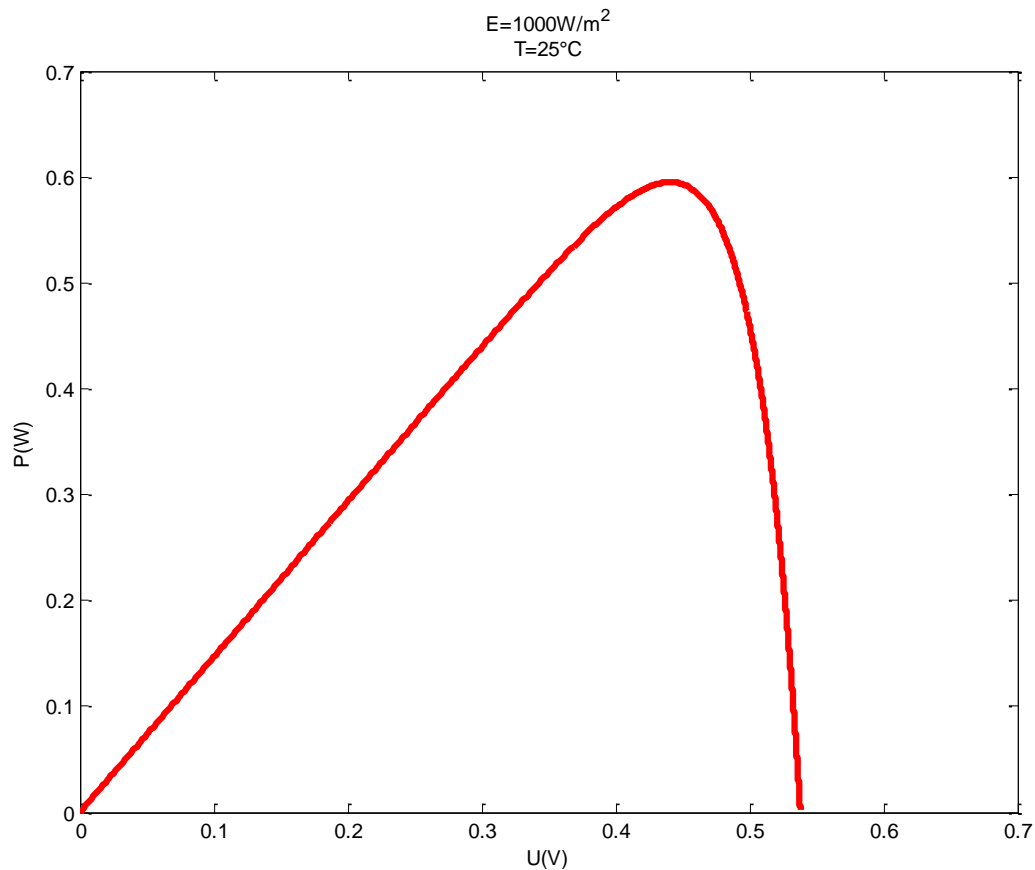


Figure 2.5: Caractéristique (P, U) d'une cellule idéale.

A partir de ces caractéristiques on peut extraire plusieurs paramètres. (FF, P_m , V_{cc} , I_{co} , V_m , I_m).

On peut déduire la valeur de courant en court-circuit I_{cc} qui représente le courant généré par la cellule en court-circuit ($V_{co}=0$), et aussi la valeur de tension en circuit ouvert V_{co} qui représente la tension délivrée par la cellule à vide. Figure(2,6).

La caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque met en évidence un point de puissance maximum P_{MPP} . Et aussi on peut utiliser pour le calcul du facteur de forme FF (voir chap2 paragraphe1.6).

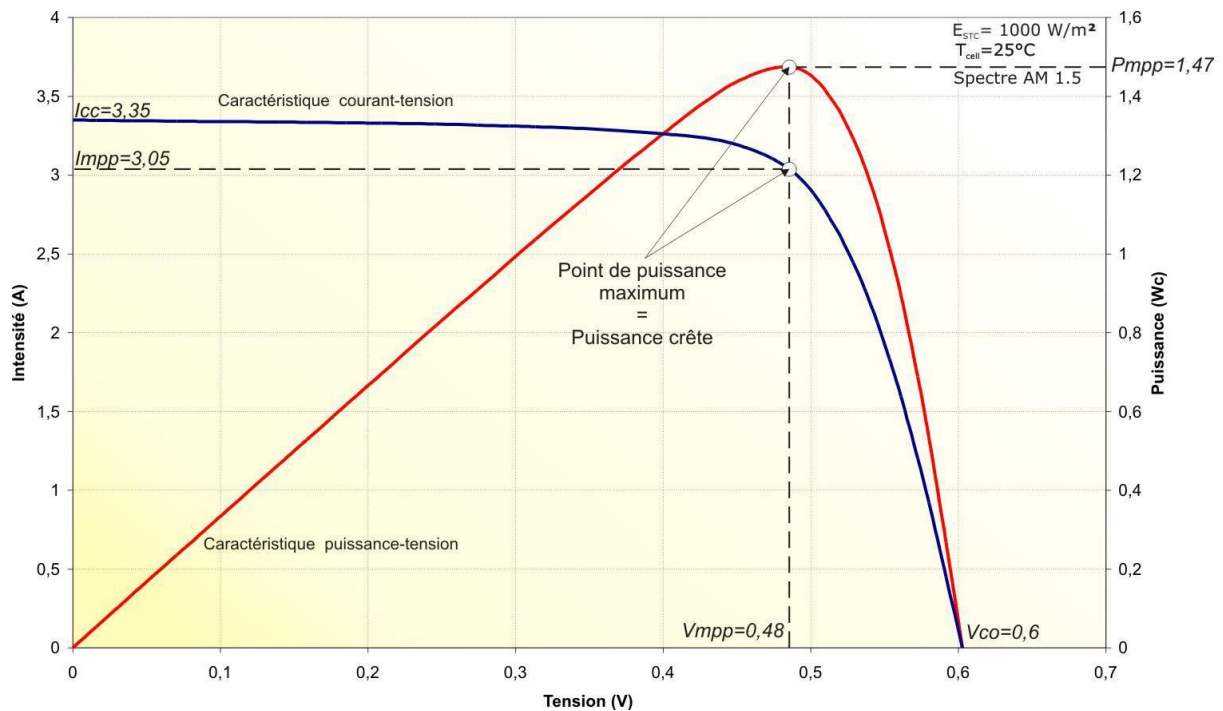


Figure 2.6: Exploitation des caractéristiques (I, U) et (P, U).

3. Association des cellules:

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut donc nécessaire d'associer en série et en parallèle de telles cellules, pour obtenir des modules de puissance compatible avec le matériel électrique usuel.

3.1. Association séries:

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule figure (2.17).

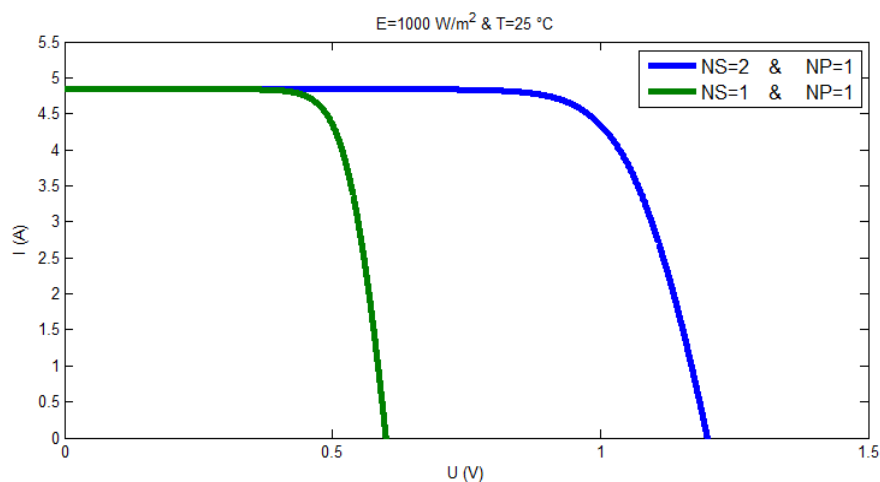


Figure 2.7: La caractéristique (I, U) d'association série.

3.2. Association parallèle:

D'autre part une association parallèle de N_p est possible et permet d'augmenter le courant de sortie. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants N_p . figure (2.18).

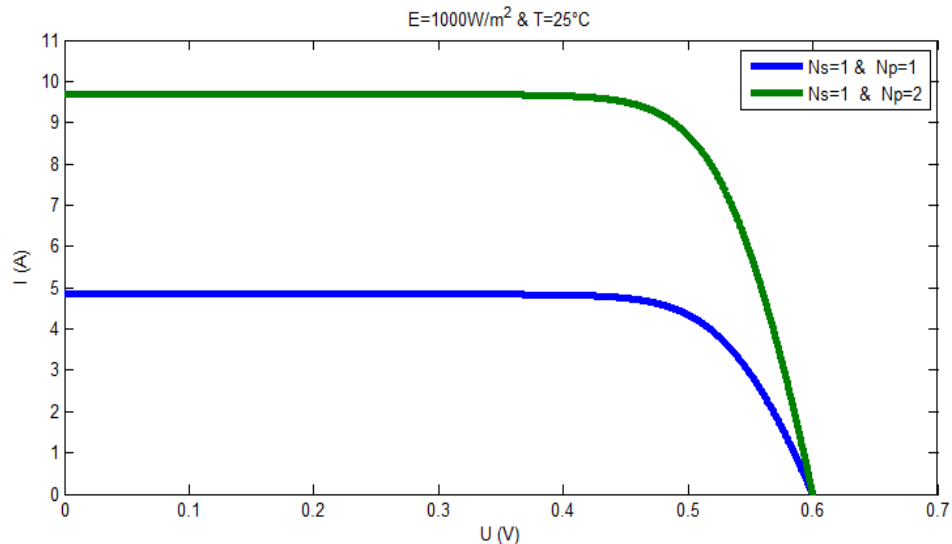


Figure 2.8: La caractéristique (I, U) d'association parallèle

4. Influence des paramètres sur la caractéristique (I, U) et (P, U) de la cellule:

Les caractéristiques (I, U) et (P, U) dépendent des paramètres qui caractérisent la cellule. Lorsqu'on varie l'un de ces paramètres on regarde une influence sur ces caractéristiques.

On distingue deux types de ces paramètres:

4.1. Paramètres internes:

4.1.1. Résistance série R_s :

La résistance série est due aux contacts entre les semi-conducteur et les parties métalliques. Elle est très faible. La résistance série caractérise les pertes par effets Joule de la résistivité du semi-conducteur et les pertes à travers les grilles de collectes et les mauvais contacts ohmiques de la cellule.

Les contacts semi-conducteur-électrodes à résistance élevée abaissent appréciablement la tension et le courant de sortie ce qui va limiter le rendement de conversion.

Les figures (2.7) (2.8) présentent respectivement l'effet de la résistance série sur les caractéristiques (I, U) et (P, U) de la cellule photovoltaïque. L'augmentation de la résistance R_s

introduit une déformation sur caractéristique (I-U), et cette déformation est traduire par le déplacement de point de puissance maximale vers le bas.

On exploite que la performance de la cellule diminuent avec l'augmentation de R_s .

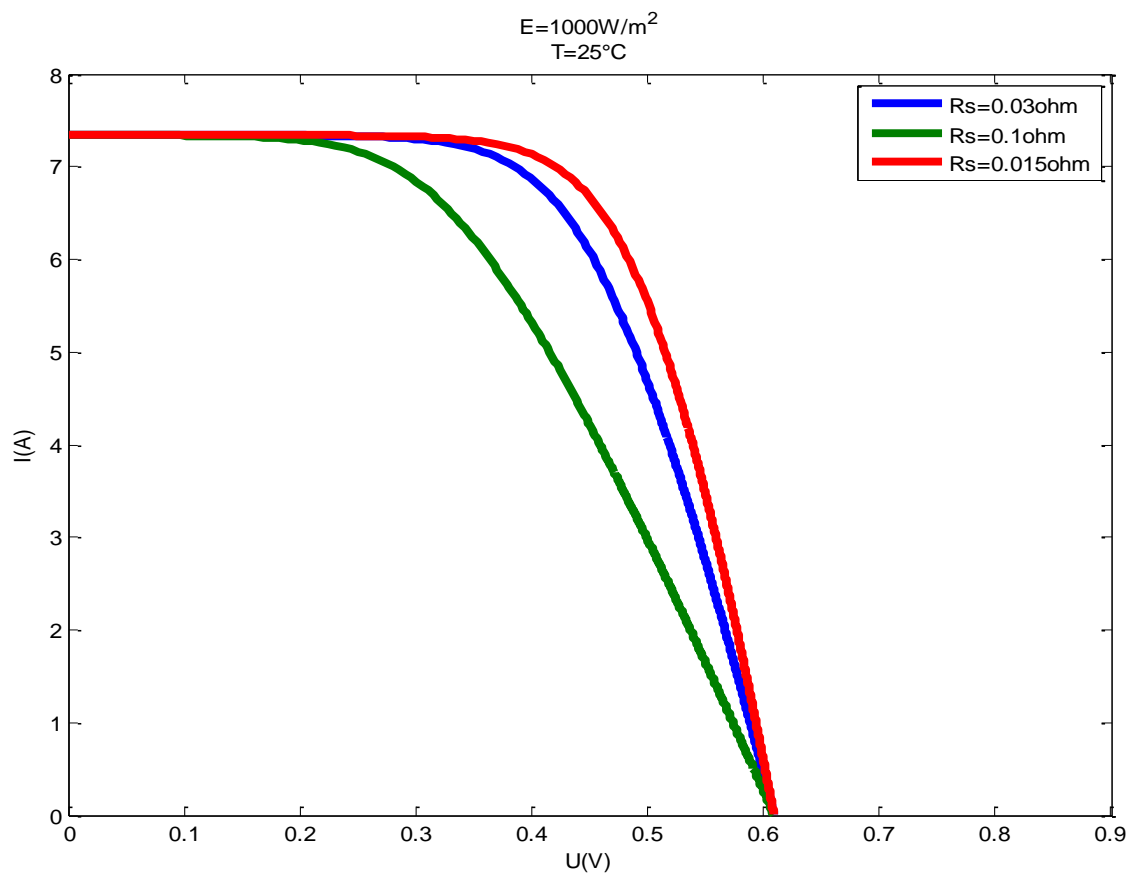


Figure 2.9: Influence de la résistance R_s sur la caractéristique (I,U).

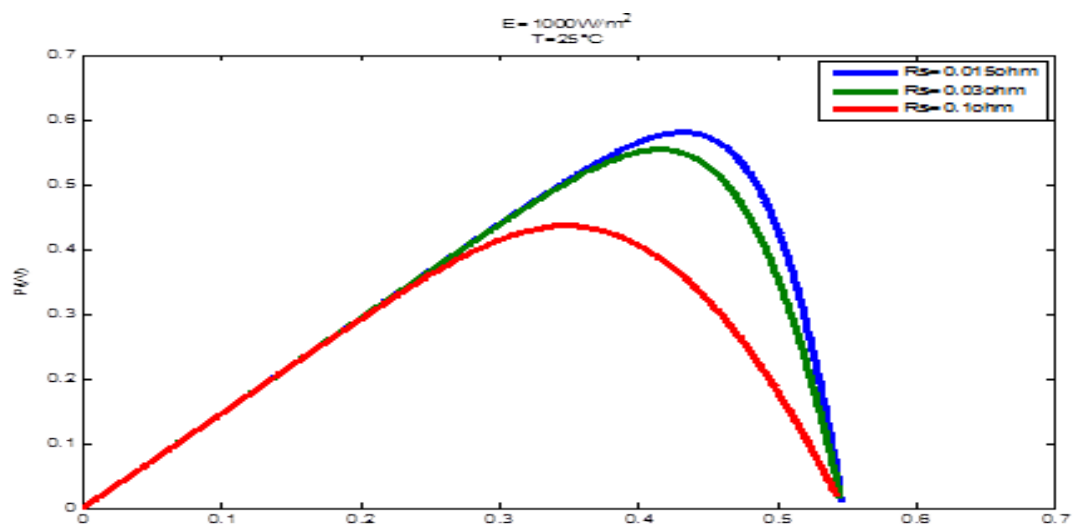


Figure 2.10: Influence de R_s la résistance sur la caractéristique (P, U).

4.1.2. Résistance parallèle R_p :

La résistance parallèle (ou shunt) caractérise les pertes par recombinaison des porteurs dues aux défauts structuraux du matériau épaisseurs des régions N et P et de la zone de charge d'espace [].

L'existence de fissures et de défaut de structures complexes devient le siège de phénomène physique assimilable aussi à une résistance parallèle (R_p). Ordre de grandeur de R_p pour une cellule au Si: $R_p = 100$ à 10000 ohm. R_p augmente avec le groupement série de cellules photovoltaïques et diminue avec une connexion parallèle [9].

Les figures (2.9) (2.10) présentent respectivement l'effet de la résistance R_p sur les caractéristiques (I-U) et (P-U) d'une cellule photovoltaïque. On remarque que la résistance R_p influe légèrement sur les caractéristiques (I-U), et (P-U) d'une cellule photovoltaïque.

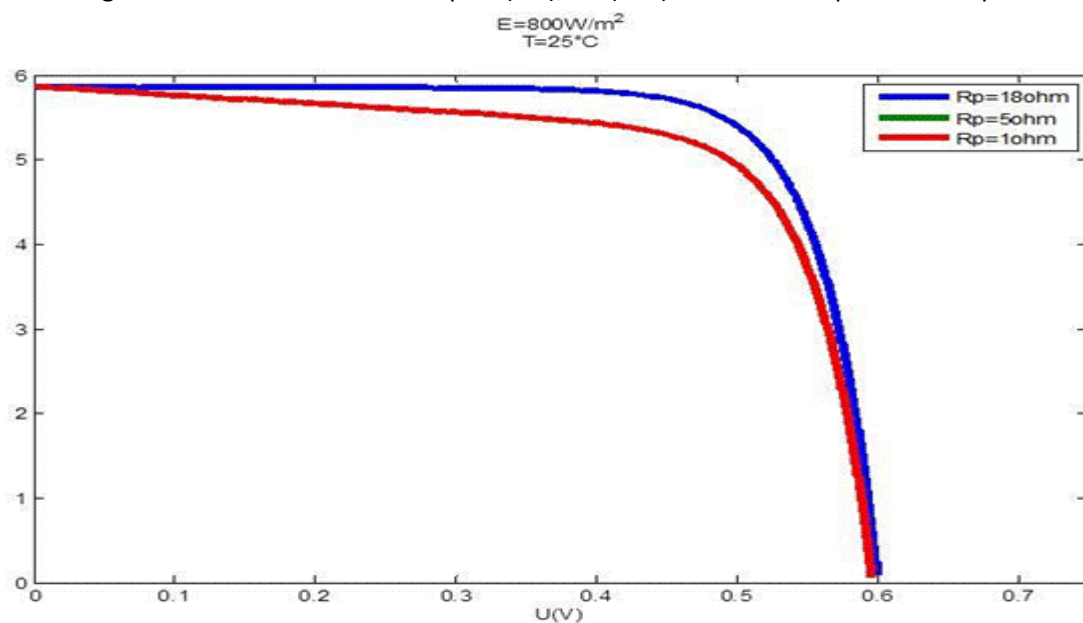


Figure 2.11: Influence de la résistance R_p sur la caractéristique (I, U).

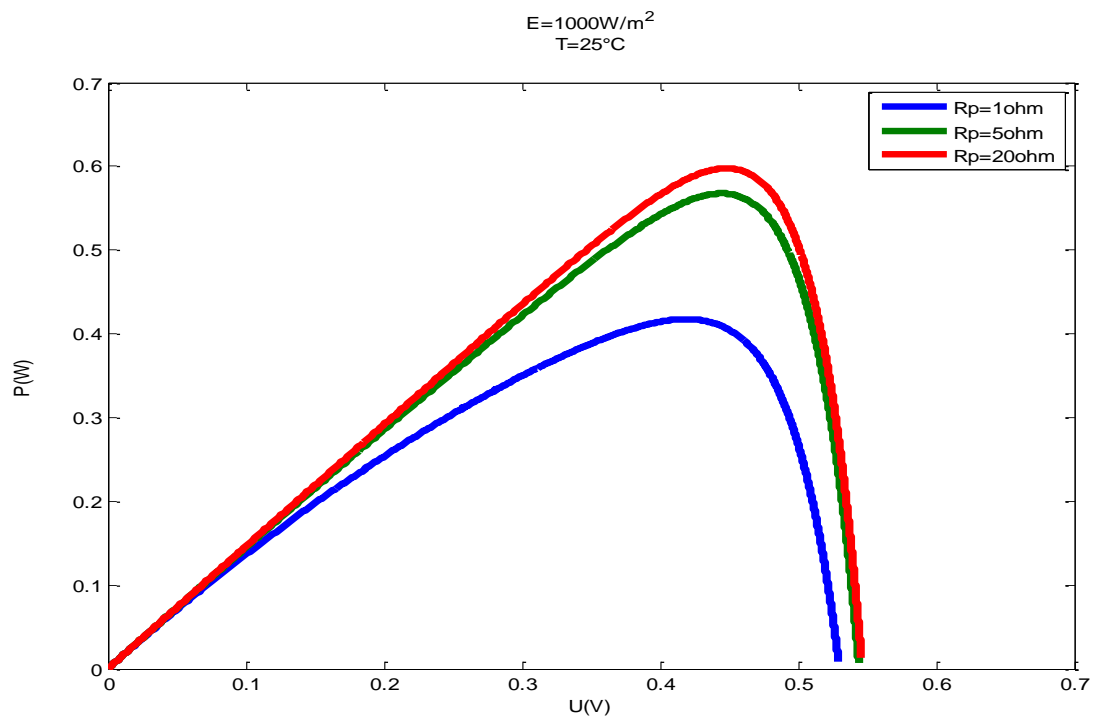


Figure 2.12: Influence de la résistance R_p sur la caractéristique (P, U).

4.1.3. Facteur d'idéalité A:

Facteur d'idéalité A est une grandeur qui caractérise la diode. il est égal 1 pour une diode idéale [12].

D'après la figure (2.12), on constate que lorsque facteur d'idéalité augmente le point puissance optimale se déplace en bas.

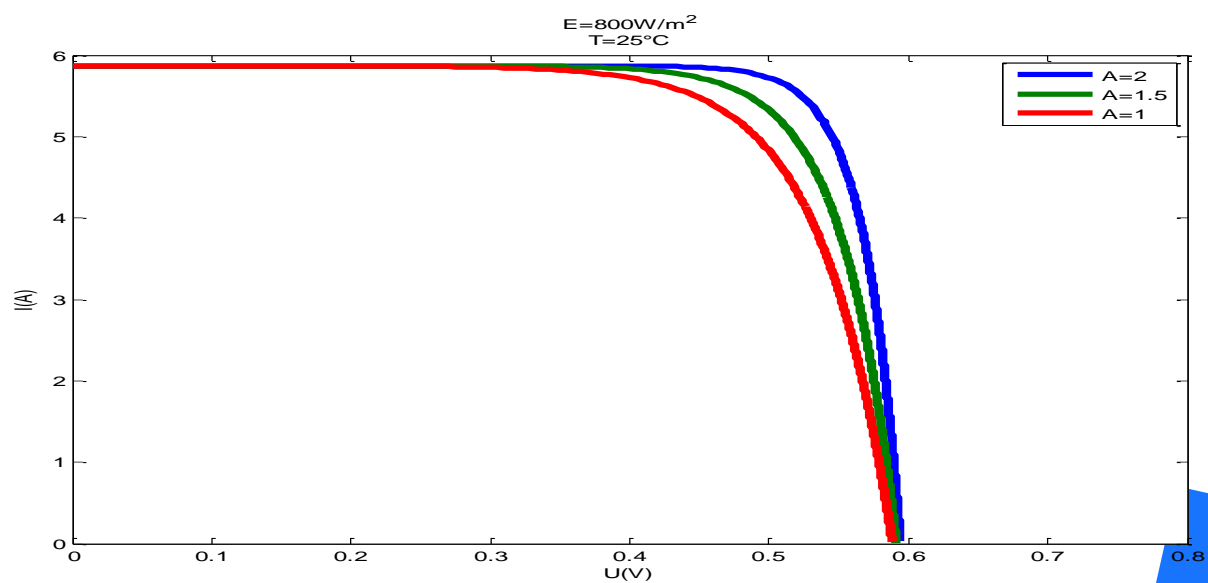


Figure 2.13: Influence de facteur d'idéalité A sur la caractéristique (I,U).

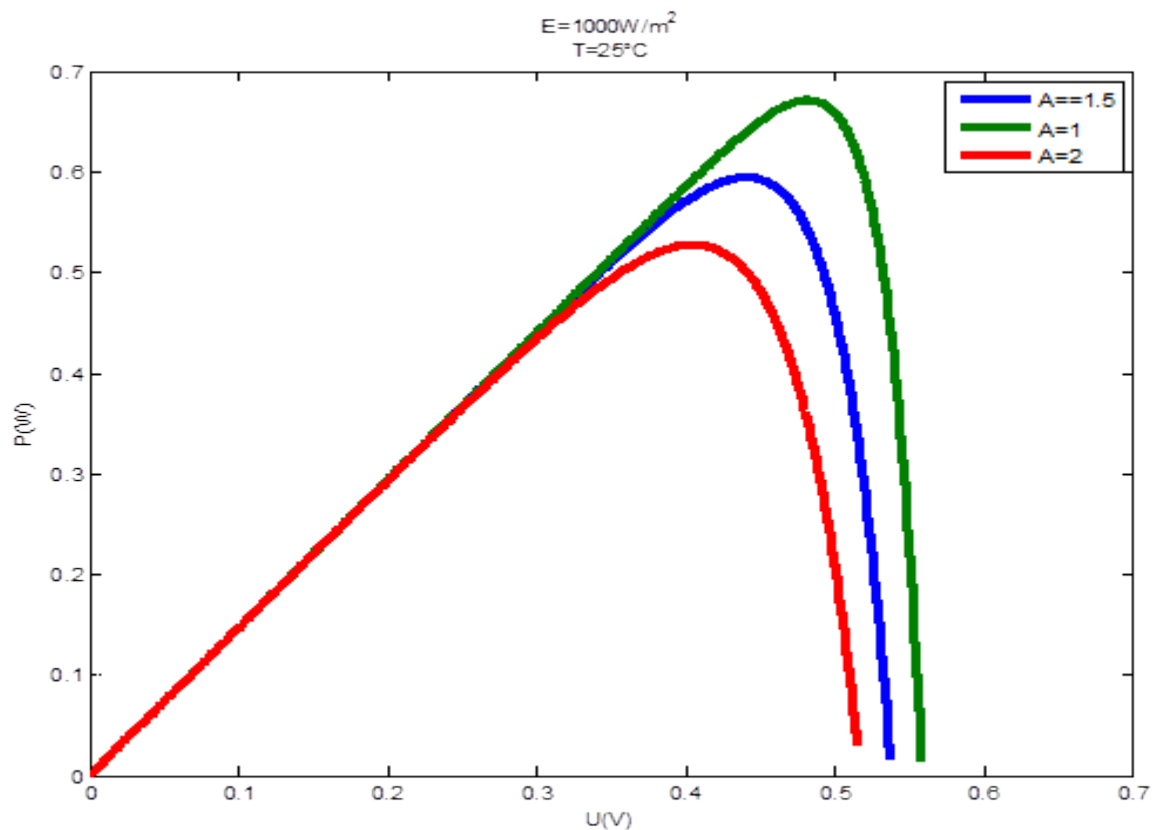


Figure 2.14: Influence de facteur d'idéalité A sur la caractéristique (P, U) .

4.2. Paramètres externes:

4.2.1. Eclairement:

L'augmentation de l'éclairement avec une température fixe provoque une augmentation ou la cellule fonctionne comme un générateur de courants, mais il y a une l'égerment d'augmentation pour la tension en circuit ouvert. , le courant (ainsi que le photo-courant) est directement proportionnel à l'éclairement où le courant de court-circuit (I_{cc}) est clairement sensible à l'éclairement, Par contre, la tension est relativement peu dégradée. On en déduit donc que la cellule peut fournir une tension près que correcte, même à faible éclairage.

Enfin, on voir dans les figures (2.13), et (2.14) quand l'éclairement croît, l'intensité de court-circuit augmente, les courbes des caractéristiques se décalent vers des valeurs croissantes, permettant à la cellule de produire une puissance électrique plus importante.

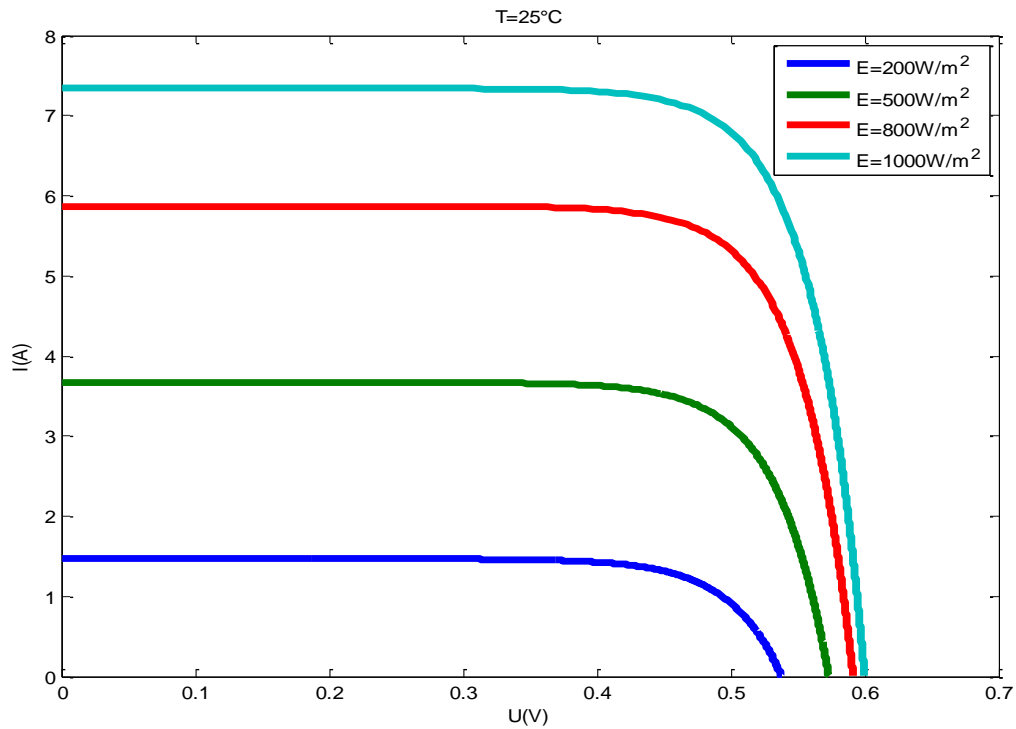


Figure 2.15: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I, U).

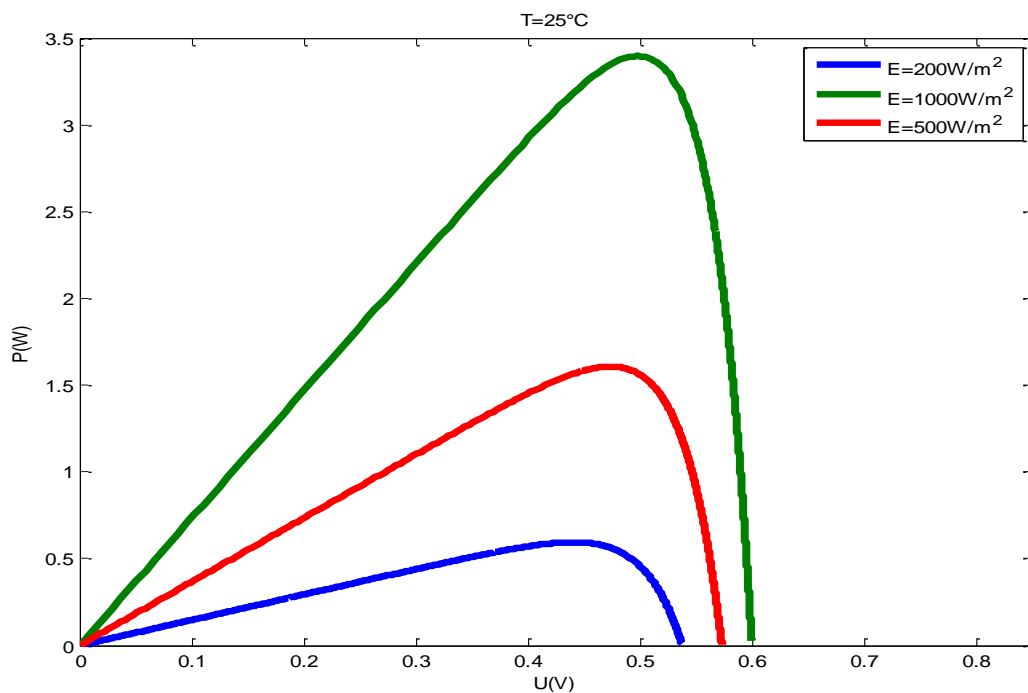


Figure 2.16: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P, U).

4.2.2. Température:

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules. L'augmentation de la température avec un éclairement fixe entraîne une diminution de tension de circuit ouvert (V_{oc}). Par contre, le courant de court-circuit (I_{cc}) est relativement peu dégradée,

comme dans la figure (2.15), ainsi qu'une diminution de la puissance maximale (P_{max}) voir figure (2.16). L'influence de la température est plus réduite par rapport à ce de l'ensoleillement, mais il n'est plus négligeable sur la caractéristique courant/tension d'une cellule. Pour une température qui change de 0 à 100 °C.

On peut voir que la variation de la tension change beaucoup plus que le courant. Ce dernier varie très légèrement figure (2.15). Le courant de court-circuit, quant à lui, augmente avec une hausse de la température. Ceci s'explique par une meilleure absorption de la lumière, le gap optique baissant avec cette hausse. Toutefois, cet accroissement d'intensité étant très faible, il peut être négligé au point de puissance maximale.

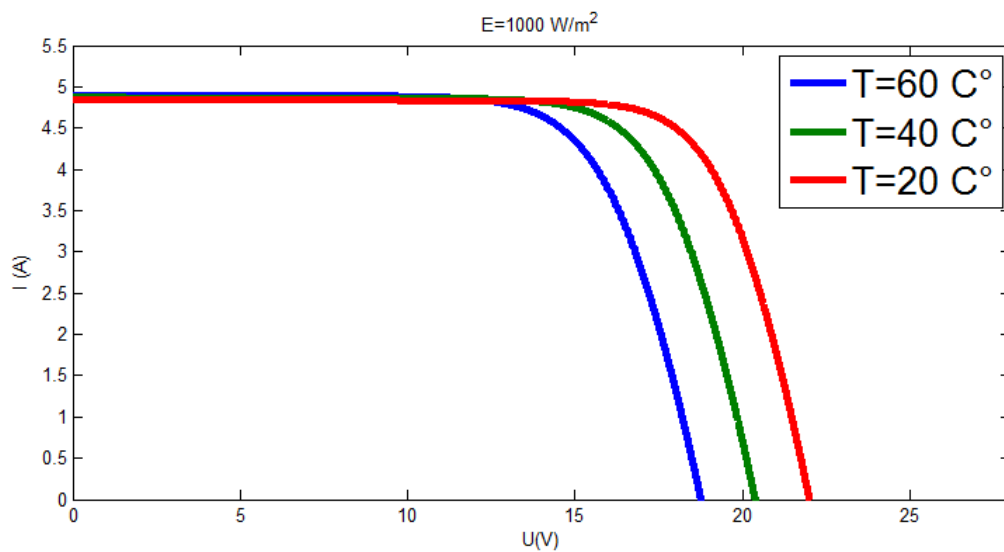


Figure 2.17: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I , U).

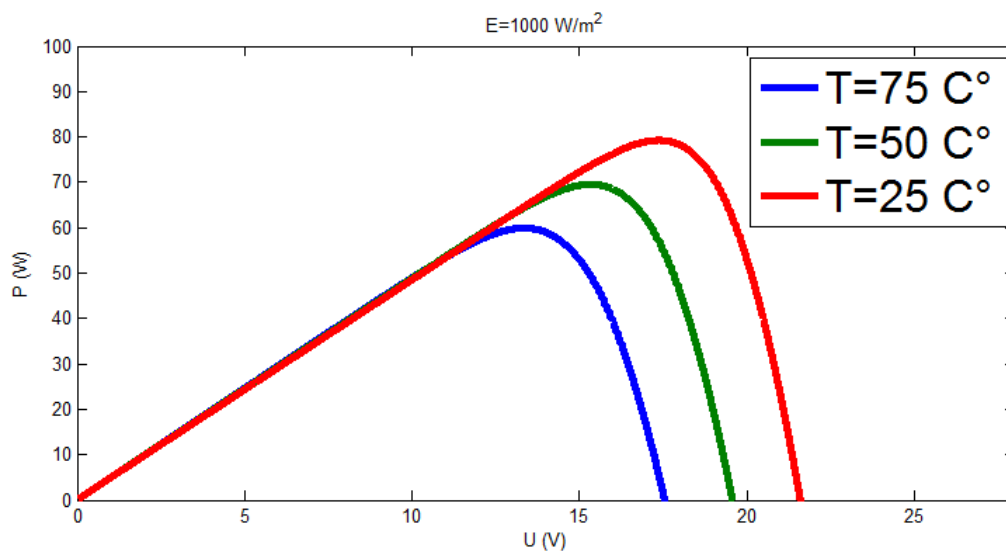


Figure 2.18: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P , U).

5. Conclusion :

Ce chapitre présente une analyse sur les caractéristiques (I, U) , (P, U) d'une cellule photovoltaïque.

Et aussi nous avons présenté les différents paramètres d'une cellule photovoltaïques et leur influence sur les caractéristiques (I, U) , (P, U) .

Chapitre 3: Simulation d'un panneau photovoltaïque

1. Simulation du panneau photovoltaïque:

1.1. Description du modèle utilisé:

La cellule photovoltaïque est représentée généralement par le schéma suivant :

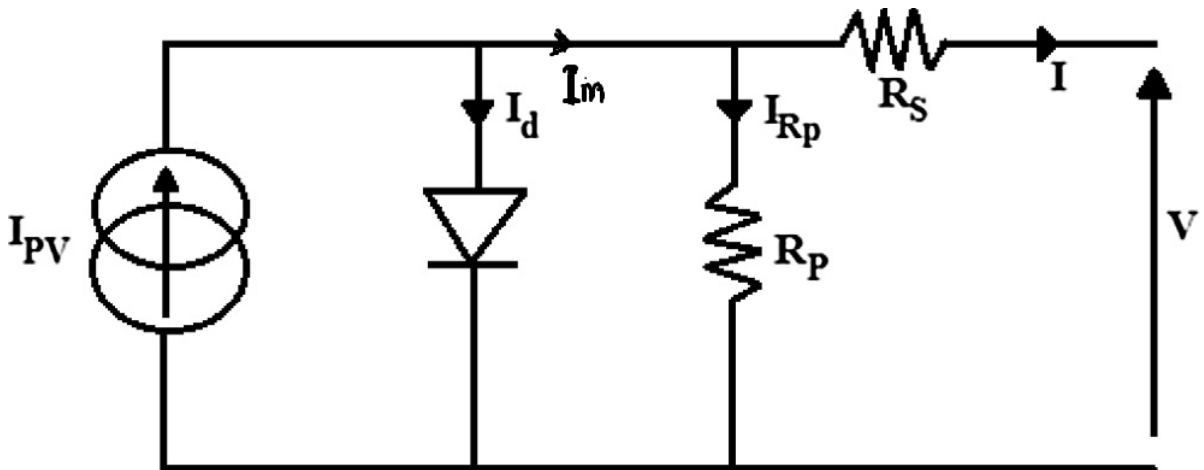


Figure 3.1: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

C'est le modèle le plus classique dans la littérature, il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes physique de polarisation et deux résistances (série et shunt).

Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique (I , V) de la cellule :

- la résistance série est la résistance interne de la cellule, elle principalement la résistance du semi-conducteur.
- la résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

➤ Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles :

$$I = I_{PV} - I_d - I_{RP} \quad (3.1)$$

- I : Le courant délivré par la cellule (A).

- I_{PV} : Photo courant (A)

- I_d : Courant de diode (A).

- I_{RP} : Le courant shunt (A).

➤ le courant photonique est donnée par :

$$I_{pv} = \frac{G}{G_r} * (I_{pvn} + K_i * dT) \quad (3.2)$$

-**G**: Eclairement (W/m²).

-**G_r**: Eclairement de référence 1000 W/m².

-**I_{pvn}**: Photo courant à STC (A).

-**K_i**: coefficient de température courant (A/°C).

-**dT**: différence de température (dT = T - T_r) (K).

➤ Le courant qui traverse la résistance parallèle R_p:

$$I_{RP} = \frac{V_{oc} + R_s * I}{R_p} \quad (3.3)$$

-**V_{oc}**: tension de circuit ouvert(V).

➤ Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_o * \exp^{\frac{V + R_s * I}{A * N_s * V_t}} - 1 \quad (3.4)$$

Avec

$$V_t = \frac{k * T}{q}$$

- **I_o** : courant de saturation(A).

- **T** : température de la cellule en kelvin.

- **T_r**: température de la cellule à STC (=298 K).

- **K**: constante de Boltzmann 1,38x10⁻²³ J*K⁻¹.

- **q** : charge de l'électron 1,602x10⁻¹⁹ C.

-**N_s**: nombre de cellule en série.

-**A**; facteur d'idéalité.

-**R_s**: résistance série (Ω).

-**R_p**: résistance parallèle (Ω).

➤ Le courant de saturation de la diode est donné par la relation suivante :

$$I_o = \frac{I_{scn} + K_i \cdot dT}{\exp \frac{V_{ocn} + K_v \cdot dT}{A \cdot N_s \cdot V_t} - 1} \quad (3.5)$$

$-I_{scn}$: courant de court-circuit à STC (A).

$-V_{ocn}$: tension de circuit ouvert à STC (V).

$-K_v$: coefficient de température tension (V/°C).

1.2. Simulation du panneau photovoltaïque sous Matlab/Simulink:

Pour créer notre modèle, on va travailler avec les composants disponibles dans la library Simscape.

Pour modéliser notre panneau photovoltaïque nous avons besoin de:

• **Générateur de courant:** Ce générateur doit être commandé en fonction de l'éclairement du panneau photovoltaïque. Pour cela, on va utiliser un « **Controlled current source** » de la **library Simscape/Electrical/Specialized Power Systems/Fundamental Blocks/Electrical Sources**. Pour trouver rapidement ce générateur de courant, taper Controlled current source au niveau de zone de recherche du browser de Simulink.

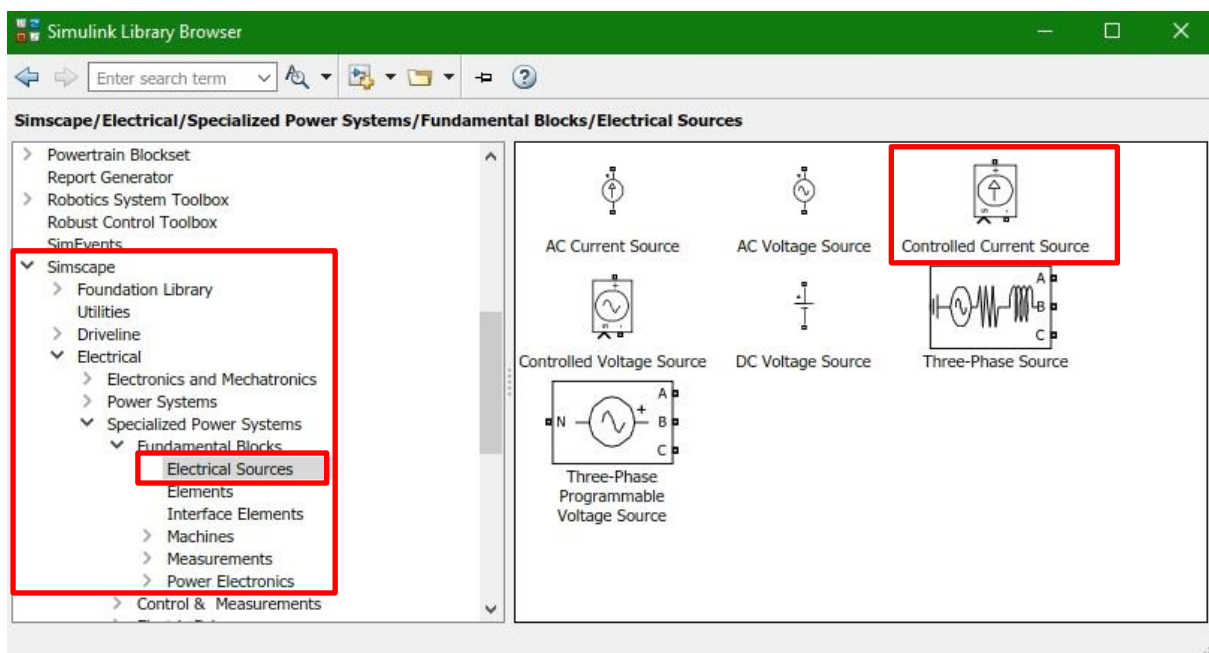


Figure 3.2:

• **power gui**: on la trouve dans **powerlib**

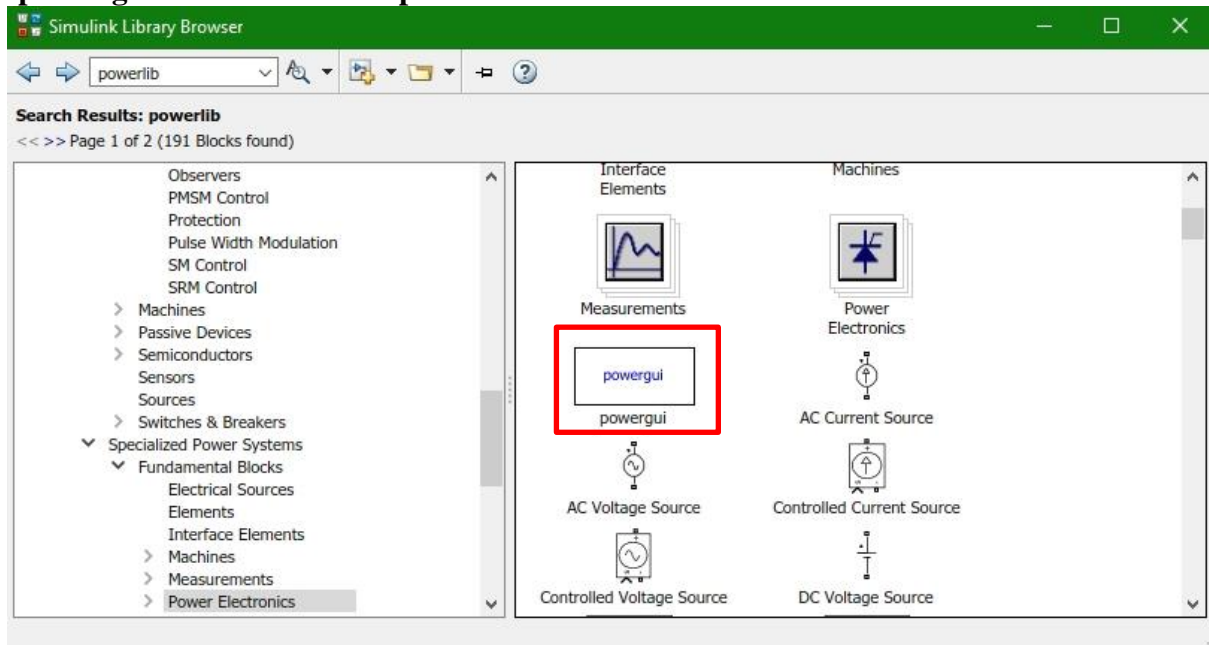


Figure 3.3:

• **Résistances**: on les trouve en cherchant **powersystems**.

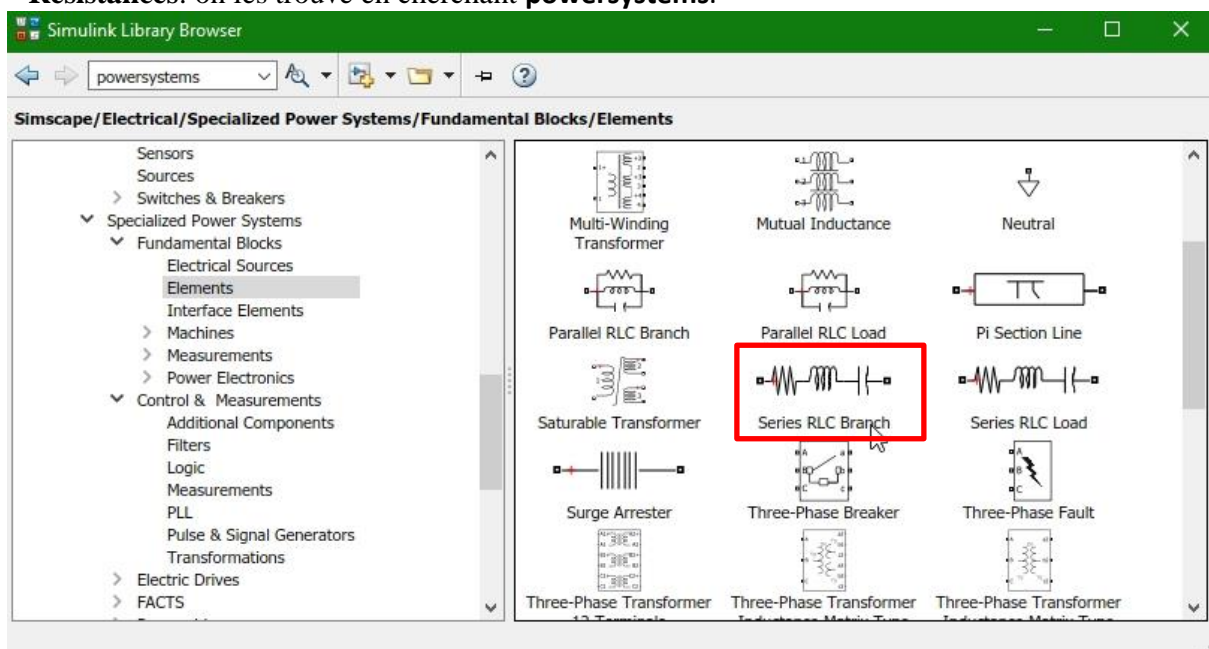
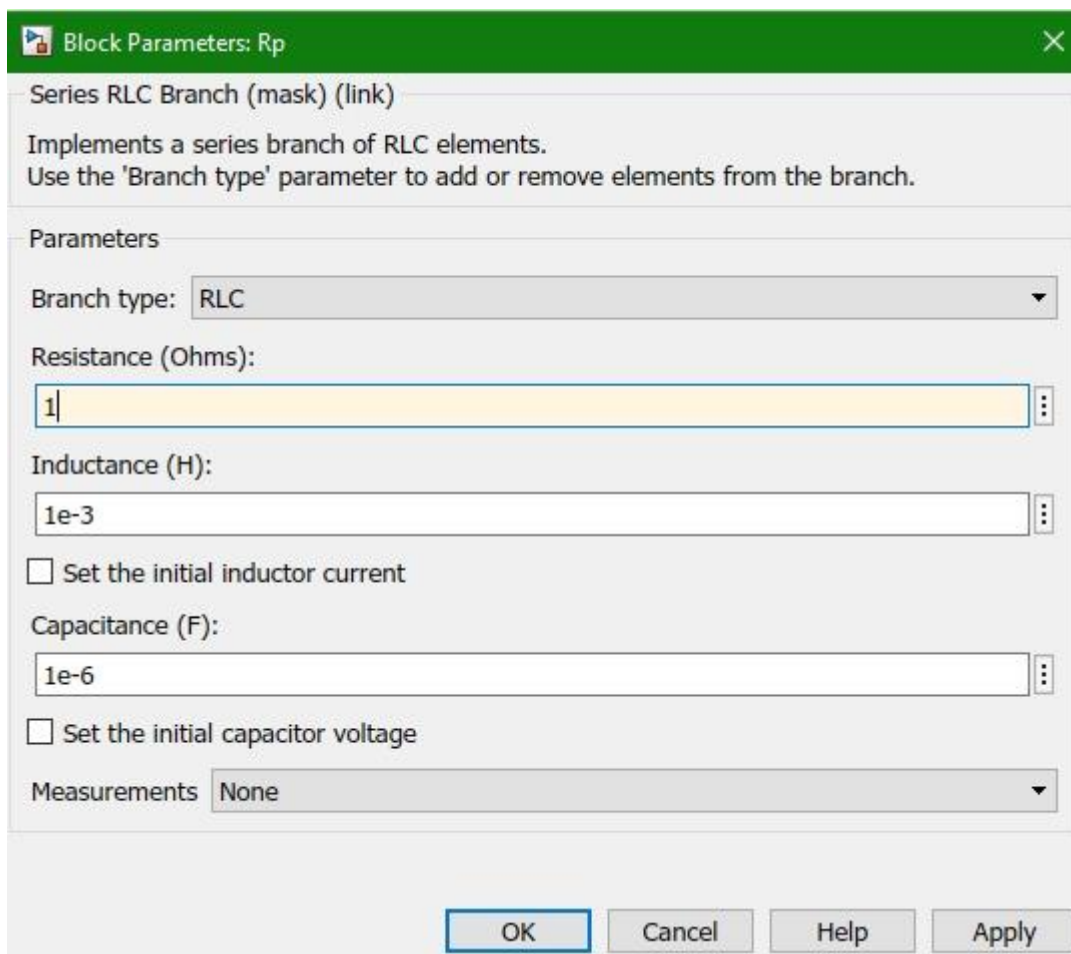


Figure 3.4:

Double cliquer sur «**serie RLC branch**», choisir «R» dans «**branch type**»



Block Parameters: Rp

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: RLC

Resistance (Ohms): 1

Inductance (H): 1e-3

☐ Set the initial inductor current

Capacitance (F): 1e-6

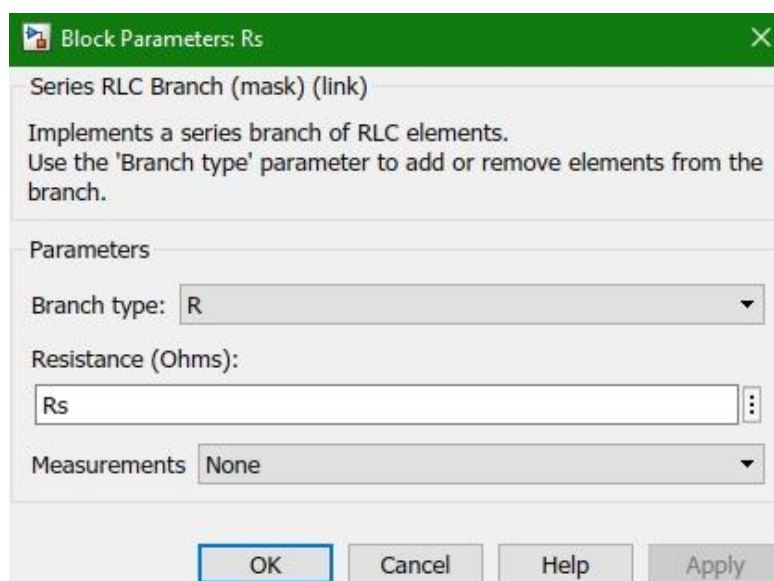
☐ Set the initial capacitor voltage

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Figure 3.5:

On entre Rs et Rp.



Block Parameters: Rs

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type: R

Resistance (Ohms): Rs

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Figure 3.5:

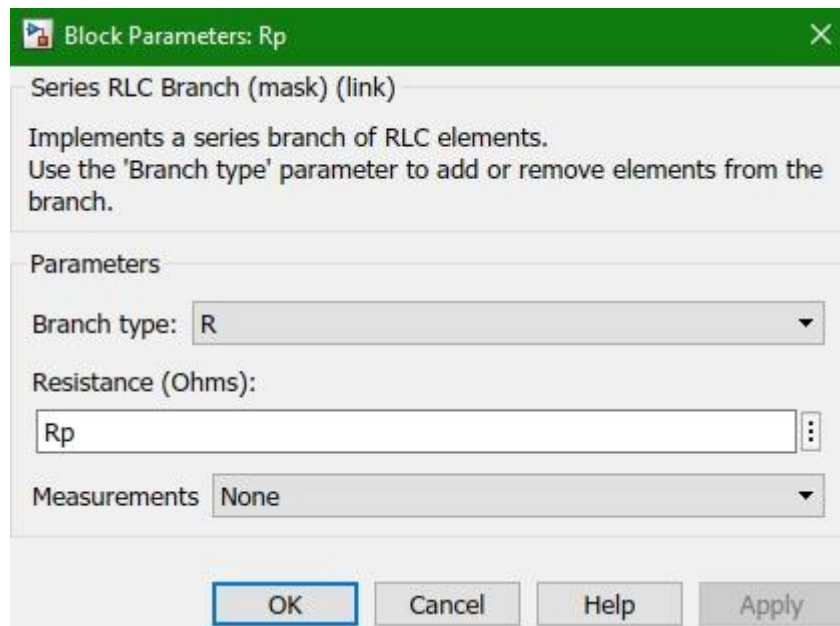


Figure 3.6:

•**voltmètre**: on le trouve dans **voltage measurements**.

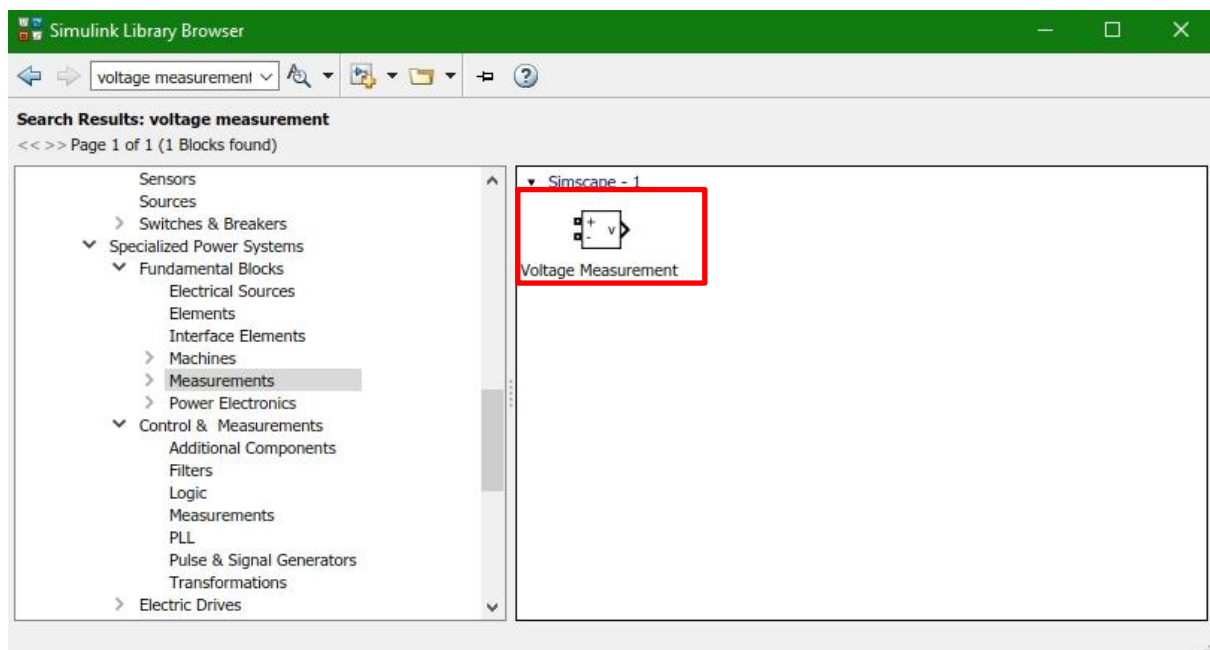


Figure 3.7:

•**Ampèremètre**: on le trouve en cherchant **current measurements**.

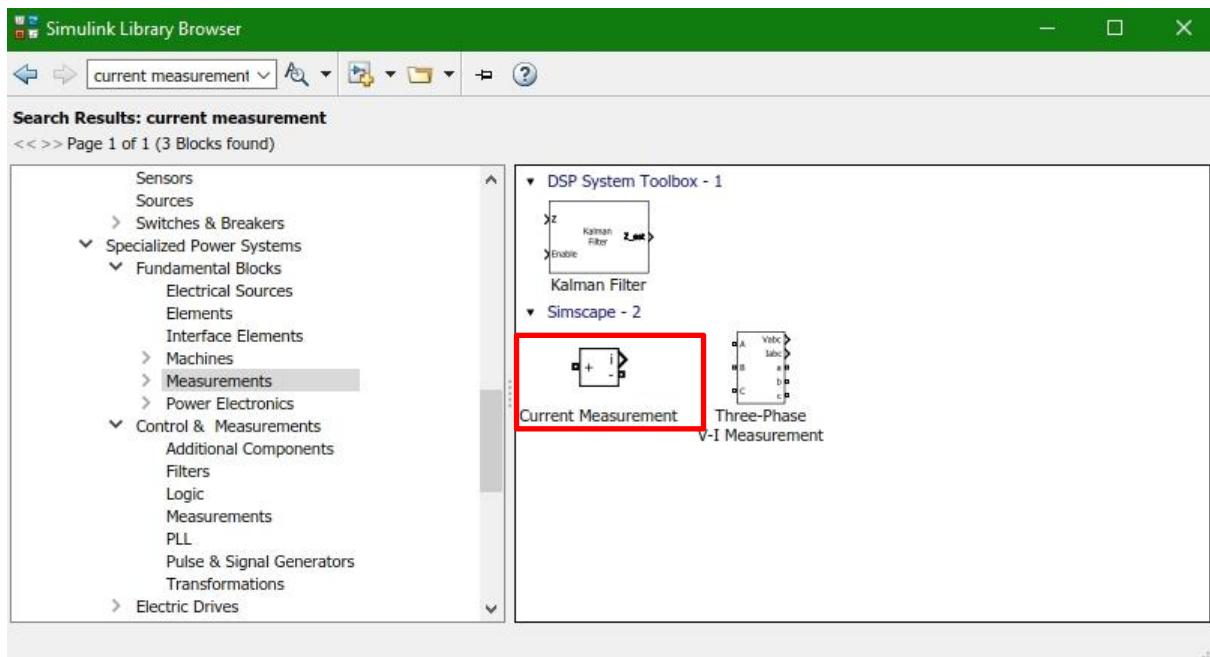


Figure 3.8:

•**charge**: on considère comme une charge «**Controlled Voltage Source**» qui est varié automatiquement avec «**Ramp**», on le trouve dans **Simscape/Electrical/Specialized Power Systems/Fundamental Blocks/Electrical Sources**

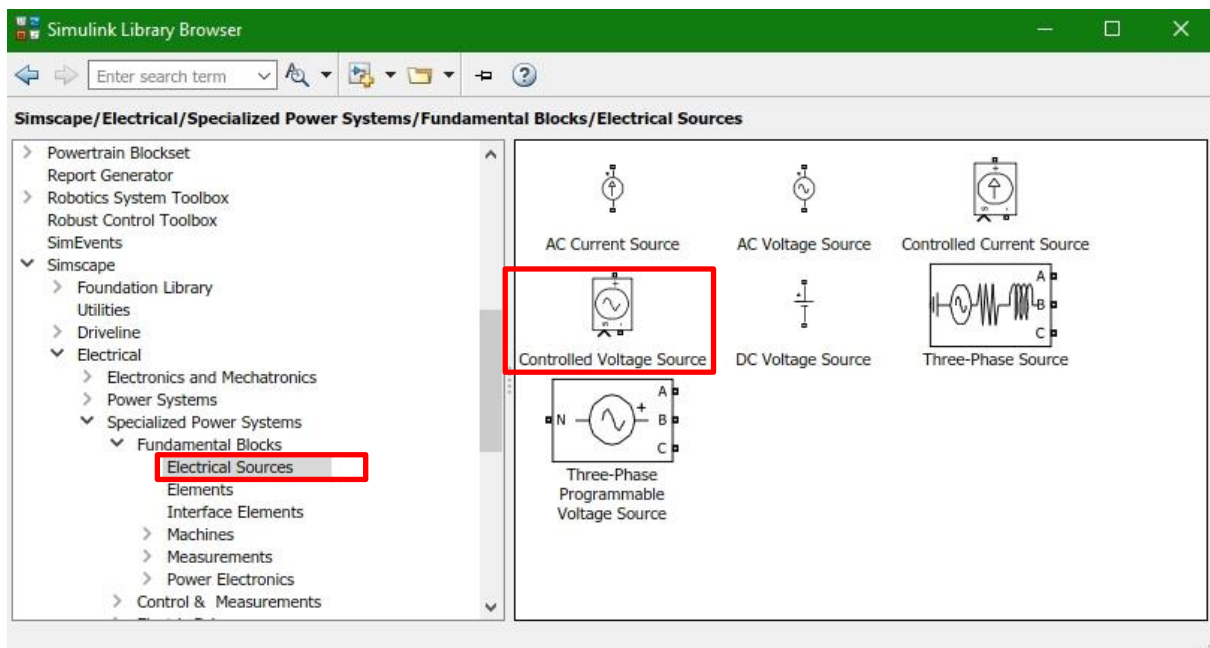


Figure 3.9:

1.3. Simulation par des équations:

- On va simuler le courant de saturation de la diode

$$I_o = \frac{I_{scn} + K_i * dT}{\exp \left(\frac{V_{ocn} + K_v * dT}{A * N_s * V_t} \right) - 1}$$

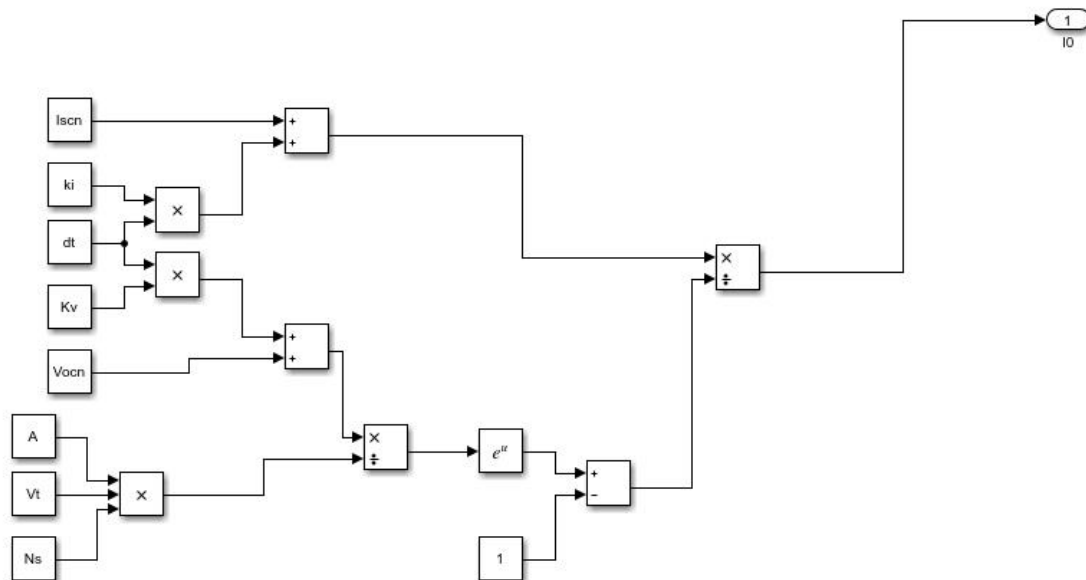


Figure 3.10:

- Maintenant on va créer le courant de la diode

$$I_d = I_o * \left(\exp \frac{V_d}{A * N_s * V_t} - 1 \right)$$

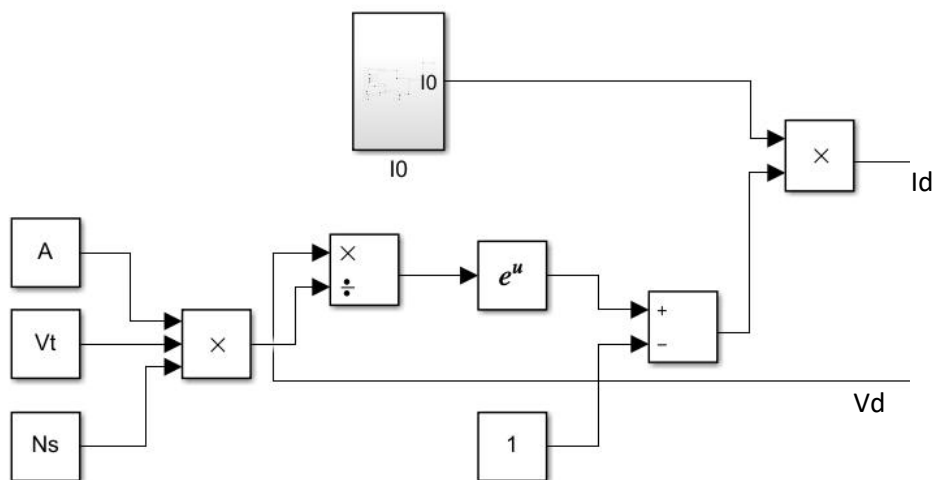


Figure 3.11:

- Création du courant photonique qui dépend de éclairement et température.

$$I_{pv} = \frac{G}{G_r} * (I_{pvn} + K_i * dT)$$

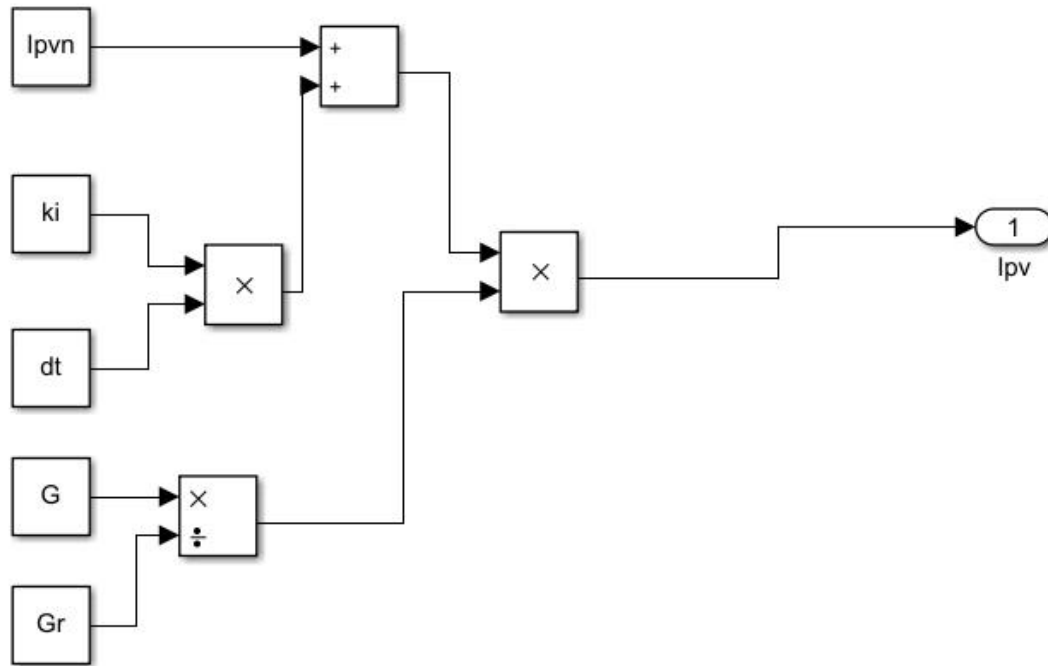


Figure 3.12:

- La simulation du courant I_m qui entrera dans le générateur de courant « **Controlled current source** ».

$$I_m = I_{pv} - I_d \quad (3.6)$$

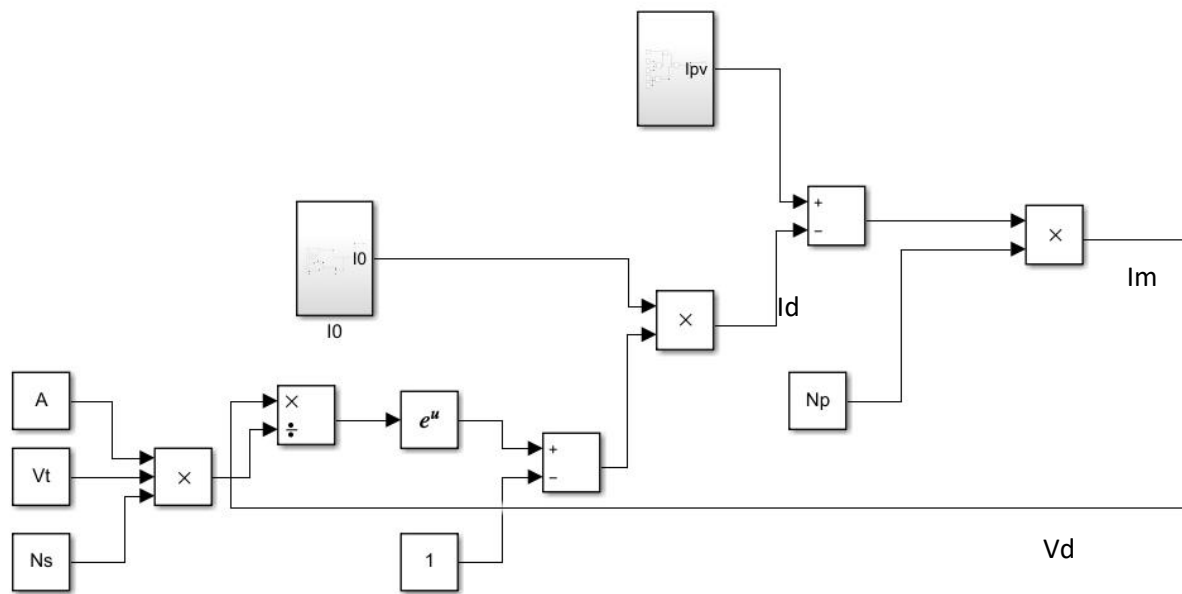


Figure 3.13:

On obtient ce circuit par l'association des circuits précédents.

1.4. Simulation:

Par le regroupement de circuit qui crée le courant I_m avec les composantes qui nous avons présenté précédemment. On obtient le circuit global qui représente la simulation d'un panneau solaire photovoltaïque.

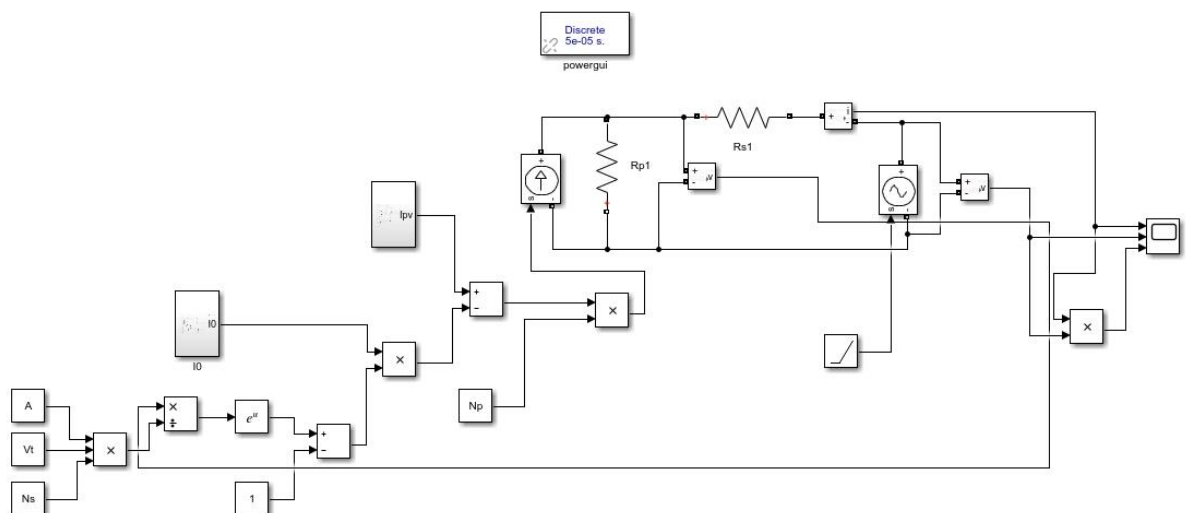
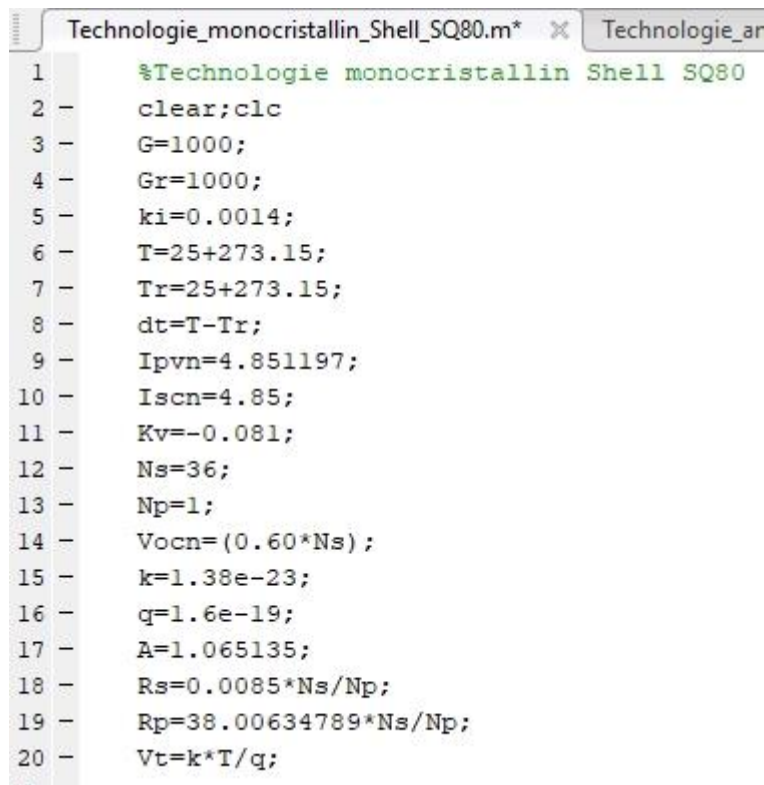


Figure 3.14:

2. Création d'un script contenant les valeurs des paramètres du modèle :

2.2. Technologie monocristallin Shell SQ80:

Les valeurs des paramètres externes (éclairage, température), et aussi les paramètres internes de panneau à base de technologie monocristallin Shell SQ80.

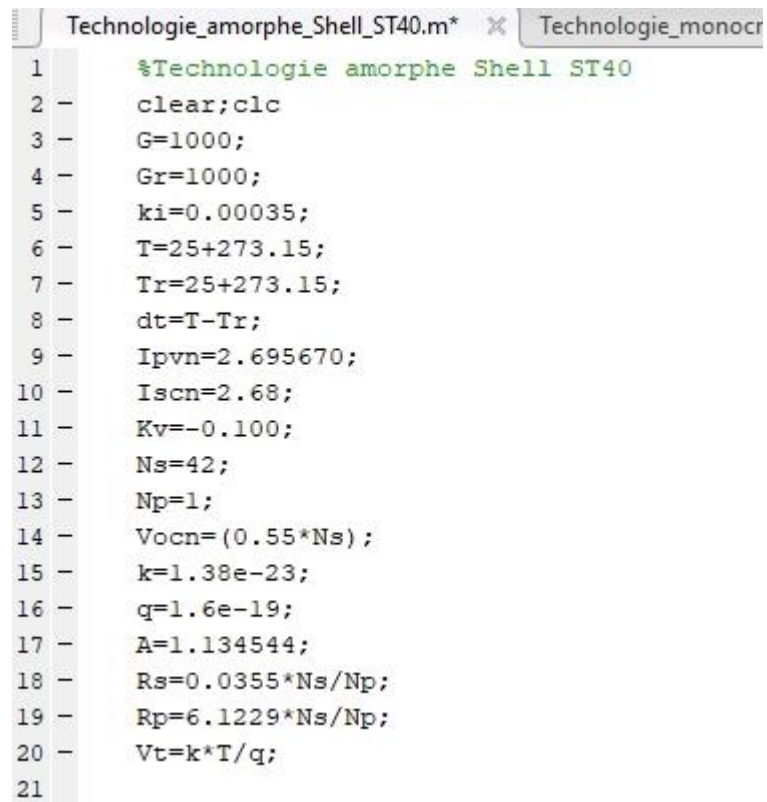


```
Technologie_monocristallin_Shell_SQ80.m* X Technologie_ar
1 %Technologie monocristallin Shell SQ80
2 - clear;clc
3 - G=1000;
4 - Gr=1000;
5 - ki=0.0014;
6 - T=25+273.15;
7 - Tr=25+273.15;
8 - dt=T-Tr;
9 - Ipvn=4.851197;
10 - Iscn=4.85;
11 - Kv=-0.081;
12 - Ns=36;
13 - Np=1;
14 - Vocn=(0.60*Ns);
15 - k=1.38e-23;
16 - q=1.6e-19;
17 - A=1.065135;
18 - Rs=0.0085*Ns/Np;
19 - Rp=38.00634789*Ns/Np;
20 - Vt=k*T/q;
```

Figure 3.15:

2.2. Technologie amorphe Shell ST40:

Les valeurs des paramètres externes (éclairage, température), et aussi les paramètres internes de panneau à base de technologie amorphe Shell ST40.

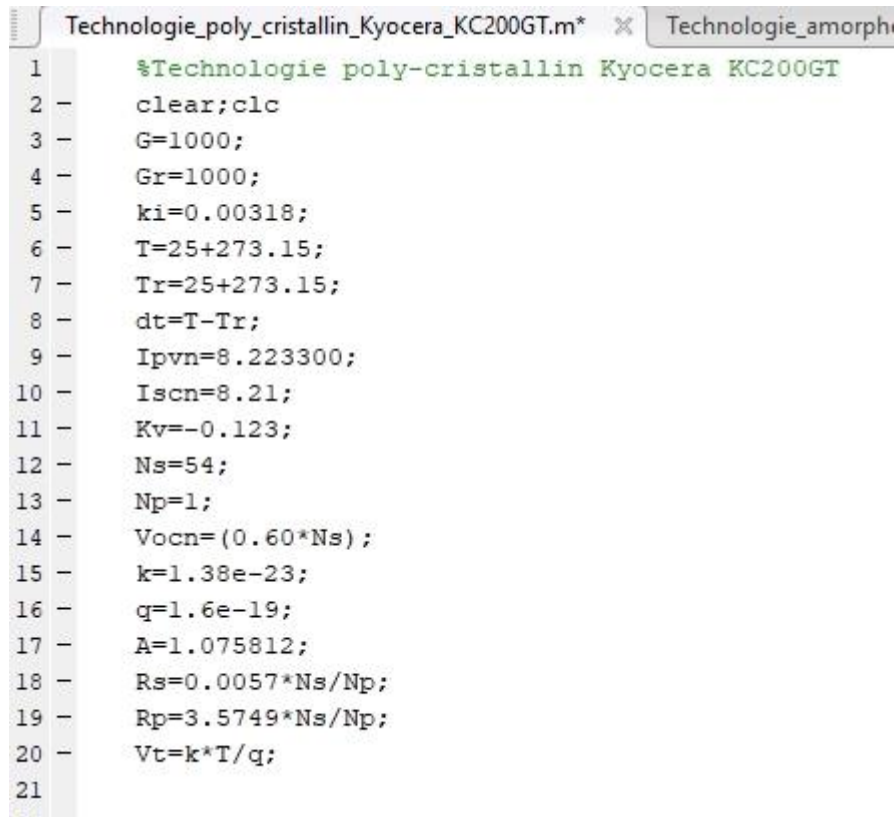


```
Technologie_amorphe_Shell_ST40.m* X Technologie_monocr
1 %Technologie amorphe Shell ST40
2 - clear;clc
3 - G=1000;
4 - Gr=1000;
5 - ki=0.00035;
6 - T=25+273.15;
7 - Tr=25+273.15;
8 - dt=T-Tr;
9 - Ipvn=2.695670;
10 - Iscn=2.68;
11 - Kv=-0.100;
12 - Ns=42;
13 - Np=1;
14 - Vocn=(0.55*Ns);
15 - k=1.38e-23;
16 - q=1.6e-19;
17 - A=1.134544;
18 - Rs=0.0355*Ns/Np;
19 - Rp=6.1229*Ns/Np;
20 - Vt=k*T/q;
21
```

Figure 3.16:

2. 3. Technologie poly-cristallin Kyocera KC200GT:

Les valeurs des paramètres externes (éclairage, température), et aussi les paramètres internes de panneau à base de technologie poly-cristallin Kyocera KC200GT.



```
Technologie_poly_cristallin_Kyocera_KC200GT.m* Technologie_amorph
1 %Technologie poly-cristallin Kyocera KC200GT
2 clear;clc
3 G=1000;
4 Gr=1000;
5 ki=0.00318;
6 T=25+273.15;
7 Tr=25+273.15;
8 dt=T-Tr;
9 Ipvn=8.223300;
10 Iscn=8.21;
11 Kv=-0.123;
12 Ns=54;
13 Np=1;
14 Vocn=(0.60*Ns);
15 k=1.38e-23;
16 q=1.6e-19;
17 A=1.075812;
18 Rs=0.0057*Ns/Np;
19 Rp=3.5749*Ns/Np;
20 Vt=k*T/q;
21
```

Figure 3.17:

3. les résultats de simulation des trois technologies:

3.1. Monocristallin Shell SQ80:

3.1.1. Influence de l'éclaircement sur la caractéristique (I,U):

Nous avons effectué une simulation sur un panneau à base de cellule monocristallin Shell SQ80 ; et on obtient les courbes dans les figures (3.2) ;(3.3) ;(3.4) et (3.5).

Ces résultats sont compatibles avec celles dans l'annexe de Shell SQ80.

Dans cette figure on voit que l'augmentation de l'éclaircement introduit une augmentation grande au niveau de courant et aussi une augmentation légère sur la tension.

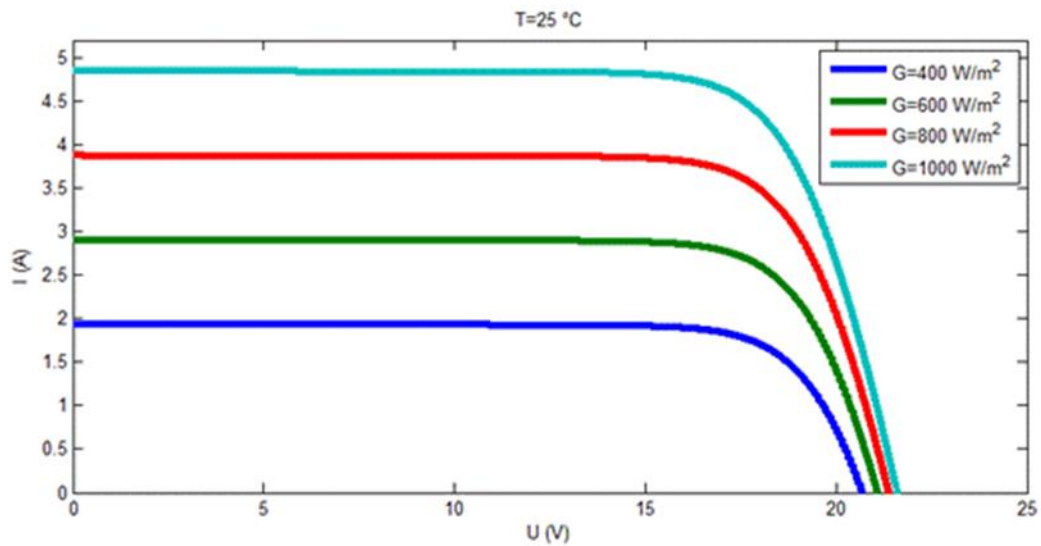


Figure 3.18: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U).

3.1.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):

La puissance est augmentée lorsqu'on augmente l'éclairement avec une température constante.

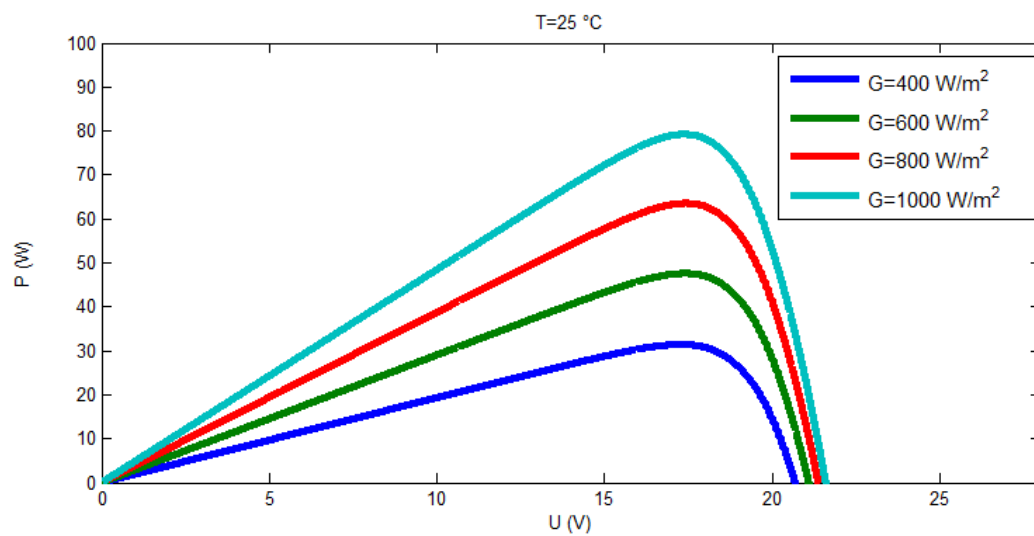


Figure 3.19: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U).

3.1.3. Influence de température sur la caractéristique (I, U):

Lorsqu'on augmente la température avec un éclairement constant on trouve une diminution sur la tension mais le courant reste inchangé.

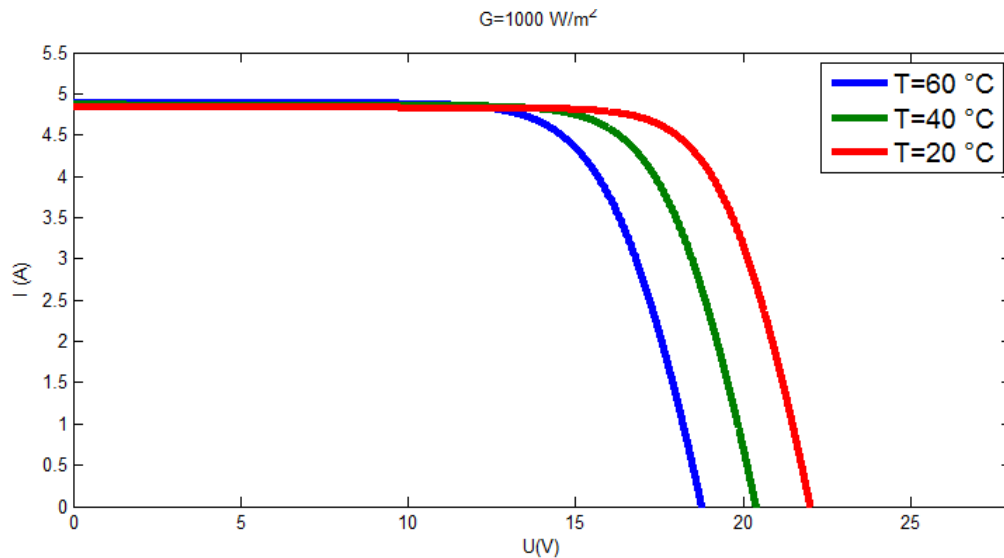


Figure 3.20: Influence de température sur la caractéristique (I,U).

3.1.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):

La puissance est diminuée lors d'augmentation de température à l'éclairement constant.

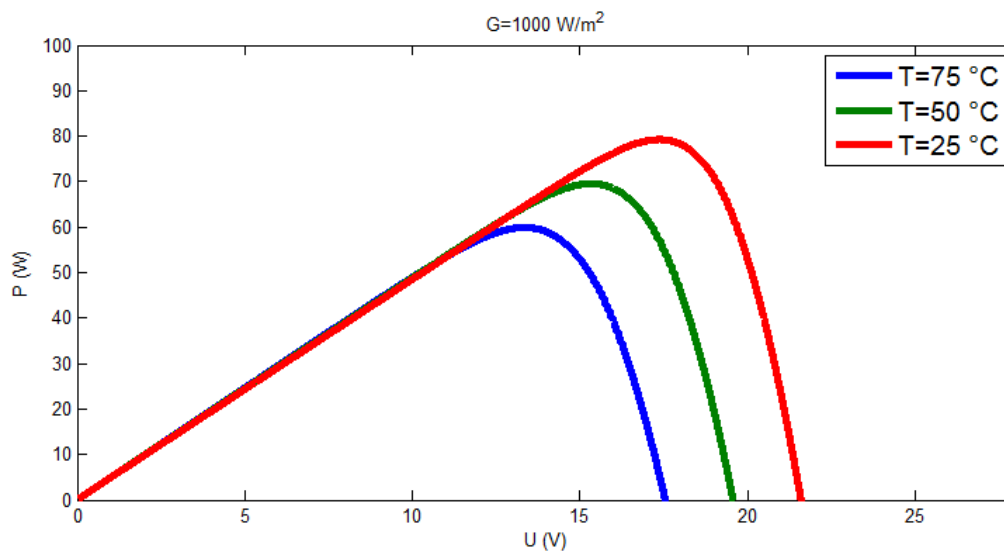


Figure 3.21: Influence de température sur la caractéristique (P,U):

3.2. Amorphe Shell ST40:

3.2.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I, U):

Maintenant ont effectué une simulation sur un panneau à base de cellule Amorphe Shell ST40 ; et on obtient les courbes dans les figures (3.6) ;(3.7) ;(3.8) et (3.9).

Ces résultats sont compatibles avec celles dans l'annexe de Shell ST40.

Cette figure représente l'augmentation de l'éclairement à température constante qui donne une grande augmentation sur le courant, par contre la tension varie légèrement.

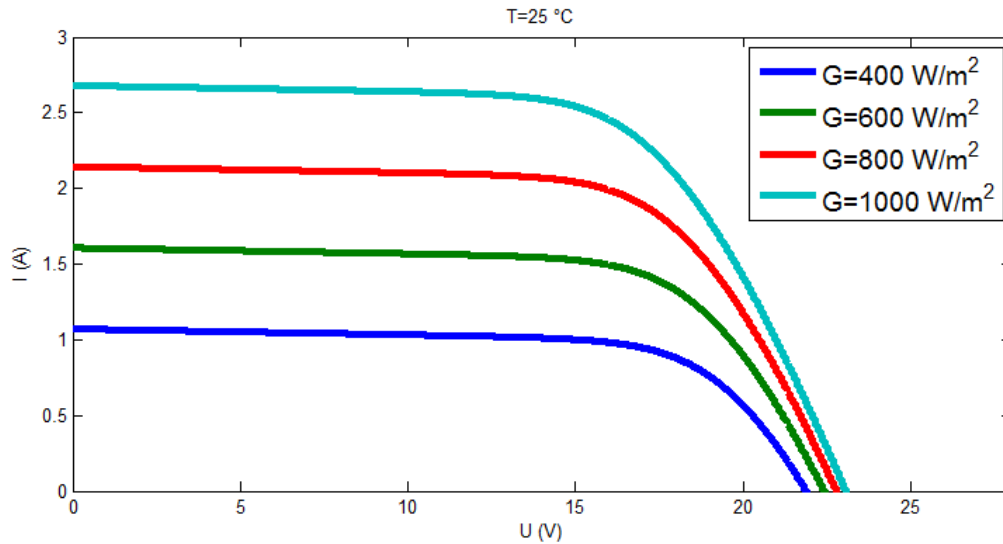


Figure 3.22: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U.)

3.2.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):

La puissance est augmentée lors une augmentation de l'éclairement. Cette figure montre la variation de la puissance à une température constante avec déférent valeur de l'éclairement.

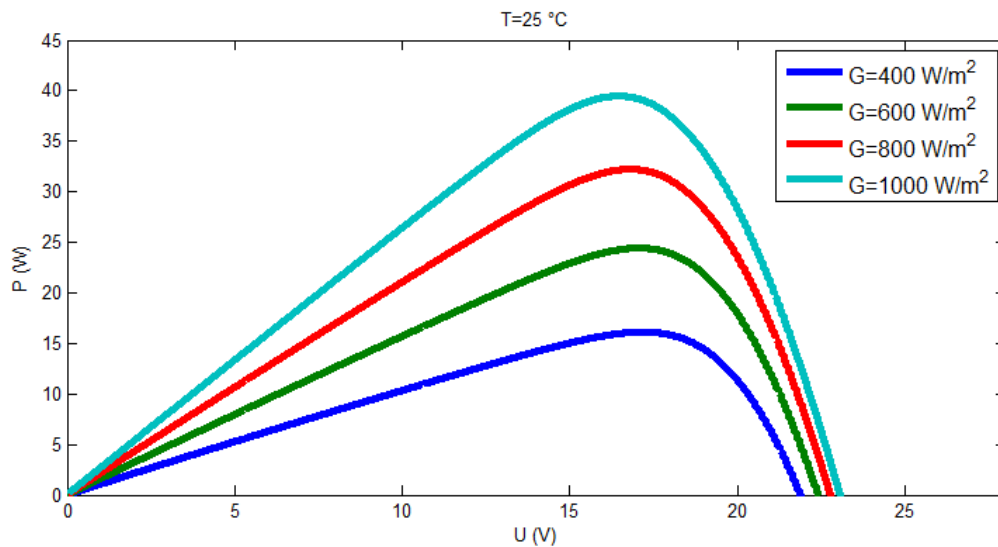


Figure 3.23: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U).

3.2.3. Influence de température sur la caractéristique (I,U):

Maintenant nous avons fixes l'éclairement et on varie la température .on obtient une diminution de la tension lorsqu'on augmente la température

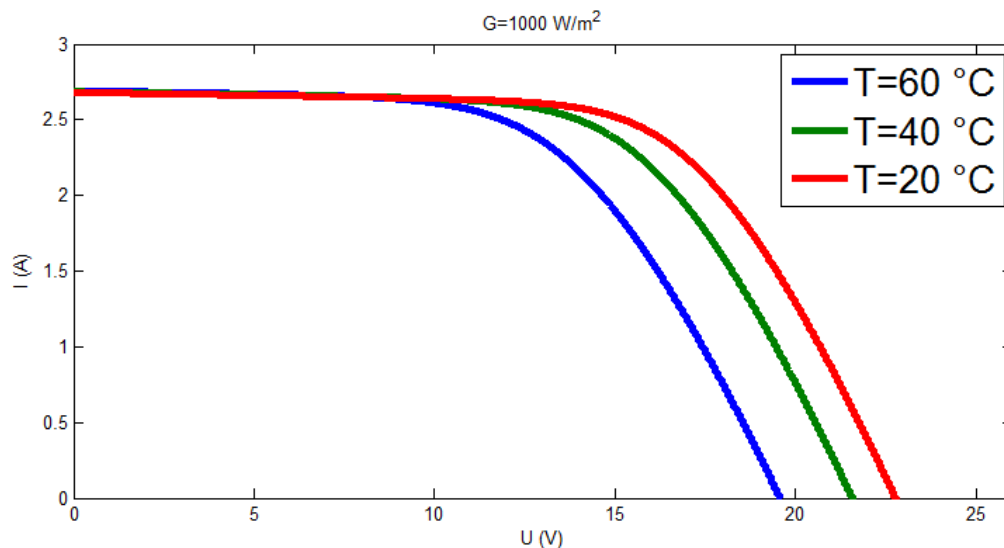


Figure 3.24: Influence de température sur la caractéristique (I,U).

3.2.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):

La puissance est diminuée si on augmente la température avec l'éclairement constante.

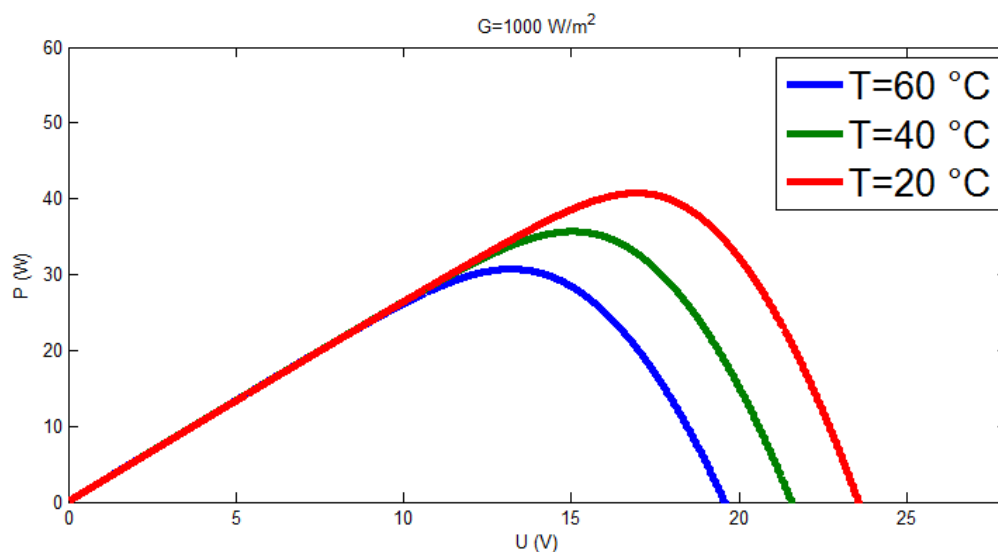


Figure 3.25: Influence de température sur la caractéristique (P,U).

3.3. Poly-cristallin Kyocera KC200GT:

Finalement ont effectué une simulation sur un panneau à base de cellule Poly-cristallin Kyocera KC200GT et on obtient les courbes dans les figures (3.10) ;(3.11) ;(3.12) et (3.13). Ces résultats sont compatibles avec celles dans l'annexe de KC200GT.

3.3.1. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U):

Le courant est varié avec la variation de l'éclairement .dans cette figure on augmenter l'éclairement avec température constante, on trouve grand élévation de courant.

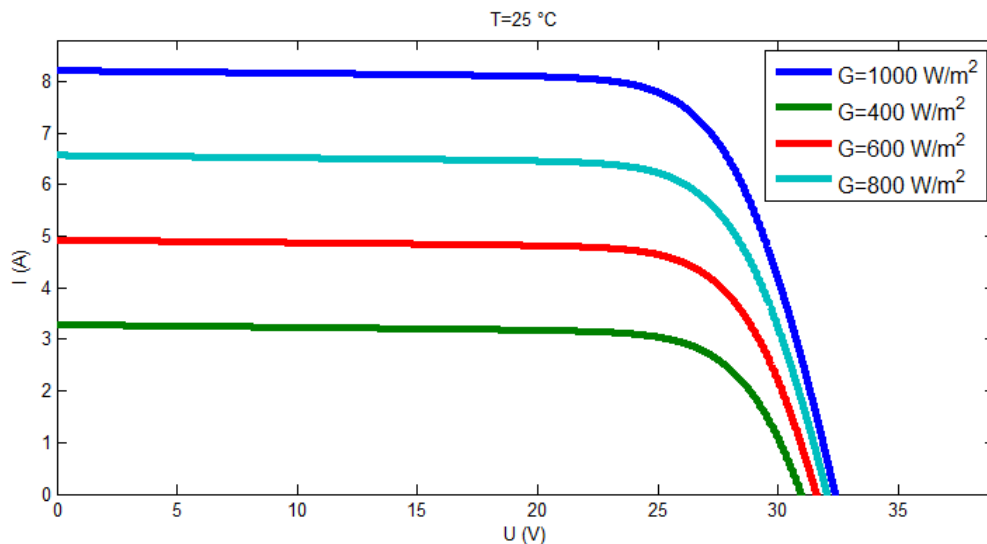


Figure 3.26: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (I,U).

3.3.2. Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U):

La puissance est augmentée lors une augmentation de l'éclairement avec la température constante.

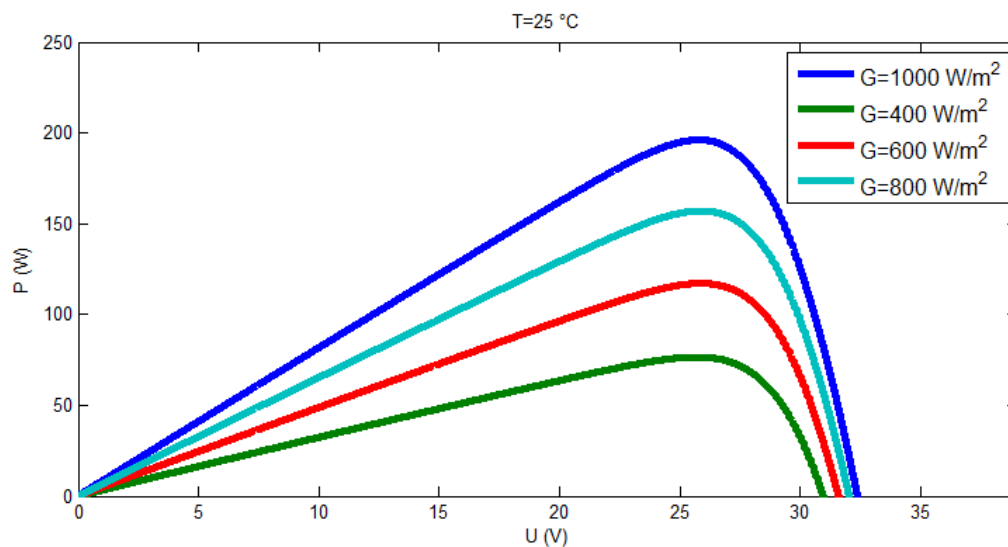


Figure 3.27: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (P,U).

3.3.3. Influence de température sur la caractéristique (I,U):

On fixe l'éclairement et on varie la température .on obtient une diminution de la tension lorsqu'on augmente la température

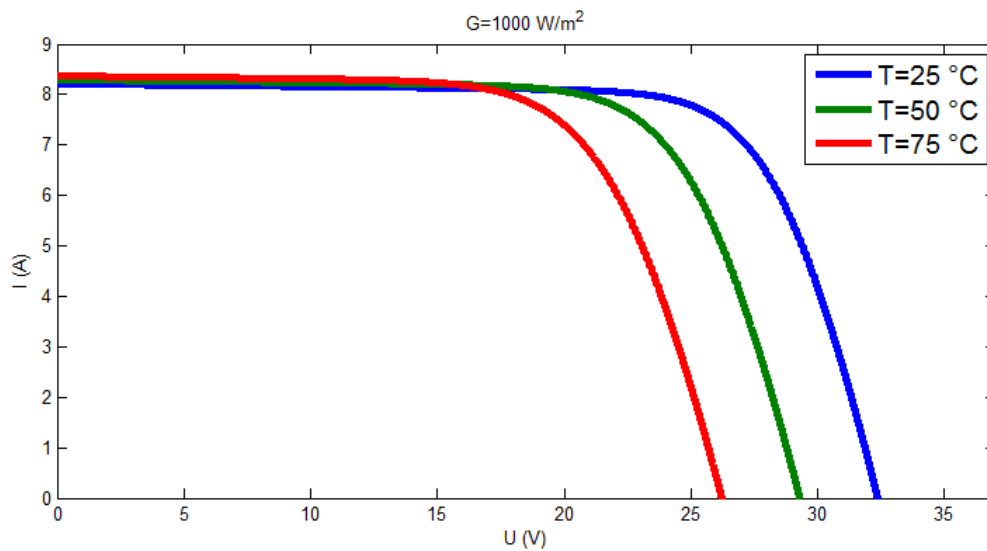


Figure 3.28: Influence de température sur la caractéristique (I,U).

3.3.4. Influence de température sur la caractéristique (P,U):

La puissance est diminuée lorsqu'on augmente la température avec l'éclairement constante, et aussi la tension.

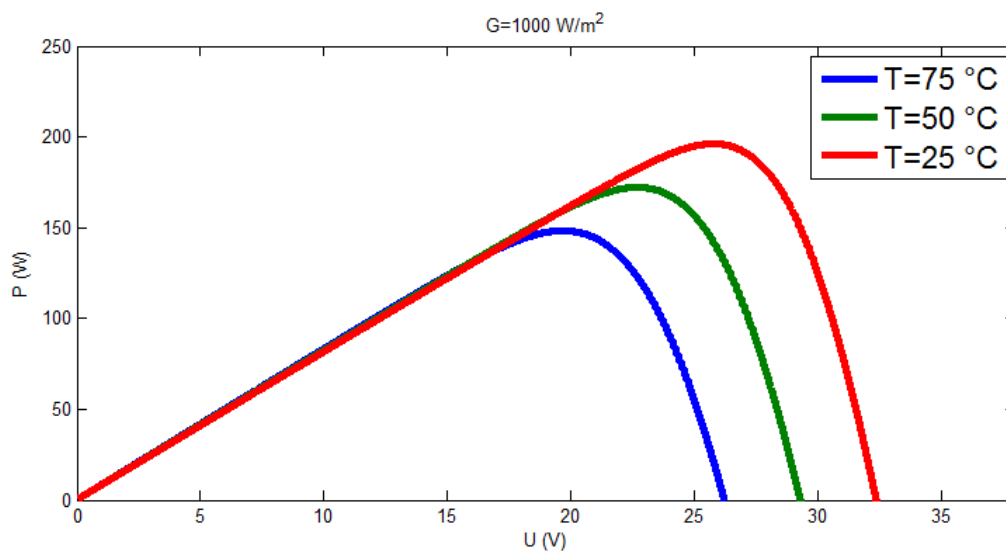


Figure 3.29: Influence de température sur la caractéristique (P, U).

3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails la simulation d'un panneau photovoltaïque dans environnement MATLAB par méthode des équations.

Conclusion :

Le travail présenté dans ce travail traite des généralités sur la cellule photovoltaïque, les caractéristiques (I , U) et (P , U) et aussi les paramètres (externe et interne), leur influence sur ces caractéristiques.

Et puis une simulation en détails d'un panneau solaire photovoltaïque

Dans le premier temps, nous avons présentée la cellule photovoltaïque qui transformé le rayonnement solaire en électricité par l'effet photovoltaïque et puis nous avons abordé leurs différents technologies (1^{er} génération, 2^{ème} génération, 3^{ème} génération).

Et puis on traite le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque, et l'intérêt de la jonction PN.

Dans le deuxième temps, nous avons présenté les paramètres de la cellule photovoltaïque qui commande le fonctionnement de la cellule, ces paramètres divisé en deux des paramètres interne (résistance parallèle, résistance série, facteur d'idéalité....) et des paramètres externe (éclairage, température) et aussi leur influence sur les caractéristiques (I , U) et (P , U).

Et puis en fait des associations, une association série pour augmenter la tension et une association parallèle pour augmenter le courant.

Une dernière partie est traite la simulation d'un panneau solaire photovoltaïque dans l'environnement MATLAB /SIMULINK par méthode des équations. et on utilise modèle avec une seule diode de la cellule pour établir les équations.

Cette simulation a été effectuée en détails et en plusieurs étapes.

Bibliographie :

A. Mahfoud, "Modélisation des cellules solaires tandem à couches minces à haut rendement", thèse de doctorat, université Setif, 2015.

H.Moufdi, "Développement des performances d'un système photovoltaïque", mémoire de magister, université Djillali Liabes Sidi Bel Abbes, 2011.

S.Abada, "Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur SEPIC", mémoire pour l'obtention du grade de maitre, université Laval Québec.

K. Fatma Zohra, "Caractérisation des modules photovoltaïques de différentes technologies ", mémoire de magister, université Hassiba Benbouali de Chlef, 2013.

B. Amana, "Cellules photovoltaïques. Etude et comparaison de deux types de cellules", université de Cergy-Pontoise.

R. Merahi, "Modélisation d'un dispositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateur photovoltaïques", mémoire de magister, université Bdji Mokhtar Annaba, 2010.

R. El Mokni et N.Amaimia, "Formation 2011: Installation et maintenance des systèmes PV, "

Cellule-Solaire-02 : Modèle Spice F. Giamarchi Départ : GE2I IUT de Nîmes

Webographie :

[1] http://www.composelec.com/cellule_photovoltaique.php

[2] <http://notresolairephotovoltaique.e-monsite.com/pages/l-energie-solaire-une-alternative-aux-energies-non-renouvelables/apparition-et-fonctionnement.html>

[3] <http://sef.xena.ad/lcf/blogs/terminale/semis.pdf>

[4] https://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_circuit

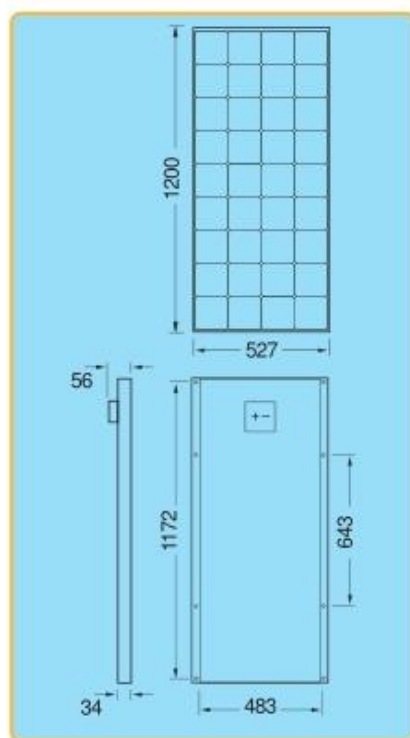
[5] telecharger-cours.com/doc/1020.doc

Annexes

Shell SQ80 Photovoltaic Solar Module

Mechanical Specifications Module

A torsion and corrosion-resistant anodised aluminium frame ensures dependable performance, even under harsh weather conditions. Pre-drilled mounting holes are provided for ease of installation.



Outside dimensions (mm)	1200 x 527
Thickness (inc. junction box) (mm)	56
Thickness (exc. junction box) (mm)	34
Weight (kg)	7.6

For installation instructions, please refer to the **Installation Manual** which is available from Shell Solar.

Electrical Characteristics

Data at Standard Test Conditions (STC)

STC: irradiance level 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature 25°C

Rated power	P_r	80W
Peak power	P_{mpp}	80W
Peak power voltage	V_{mpp}	17.5V
Peak power current	I_{mpp}	4.58A
Open circuit voltage	V_{oc}	21.8V
Short circuit current	I_{sc}	4.85A
Series fuse rating		15A

Minimum peak power	$P_{mpp \min}$	75W
--------------------	----------------	-----

The abbreviation 'mpp' stands for Maximum Power Point.

Typical data at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions

NOCT: 800W/m² irradiance level, AM 1.5 spectrum, wind velocity 1m/s, T_{amb} 20°C

Temperature	T_{NOCT}	46°C
Mpp power	P_{mpp}	58W
Mpp voltage	V_{mpp}	16V
Open circuit voltage	V_{oc}	20.0V
Short circuit current	I_{sc}	3.95A

Typical data at low irradiance

The relative reduction of module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² both at 25°C cell temperature and AM 1.5 spectrum is 8%.

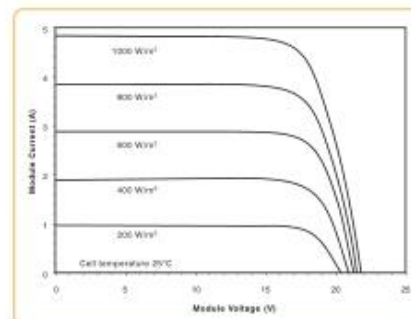
Temperature coefficients

αP_{mpp}	-0.52 %/°C
αV_{mpp}	-84 mV/°C
αI_{sc}	1.4 mA/°C
αV_{oc}	-81 mV/°C

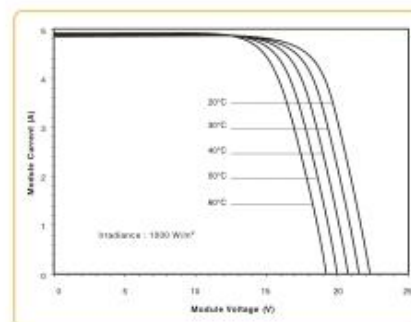
Maximum system voltage: 715 Vdc

Typical I/V Characteristics

The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various levels of irradiance.



The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various cell temperatures.



References in this Product Information Sheet to 'Shell Solar' are to companies and other organisational entities within the Royal Dutch/Shell Group of Companies that are engaged in the photovoltaic solar energy business. Shell Solar was set up in 1999 and has its principal office in Amsterdam, the Netherlands.

For further information on all Shell Solar products contact:

Shell Solar
Customer Service Centre
P.O. Box 460705 80915 Munich Germany
E-mail: solarinfo@si.shell.com
Web: www.shell.com/solar
Tel: +49 89 636 50620
Fax: +49 89 636 50622

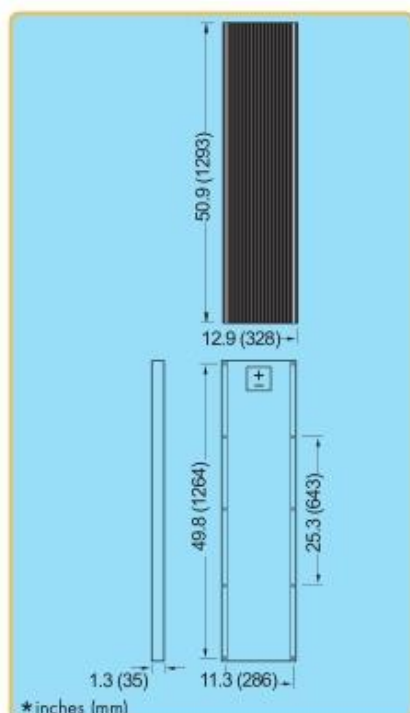
V4/SQ80/02/04

SAP ref: 400487

Shell ST40 Photovoltaic Solar Module

Mechanical Specifications Module

A torsion and corrosion-resistant anodized aluminium frame ensures dependable performance, even under harsh weather conditions. Pre-drilled mounting holes are provided for ease of installation.



Outside dimensions (in)	50.9 x 12.9
Thickness (inc. junction box) (in)	1.3
Thickness (exc. junction box) (in)	1.3
Weight (lbs)	15.4

For installation instructions, please refer to the **Installation Manual** which is available from Shell Solar.

Electrical Characteristics

Data at Standard Test Conditions (STC)

STC: irradiance level 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature 25°C

Rated power	P_r	40W
Peak power	P_{mpp}	40W
Peak power voltage	V_{mpp}	16.6V
Peak power current	I_{mpp}	2.41A
Open circuit voltage	V_{oc}	23.3V
Short circuit current	I_{sc}	2.68A
Series fuse rating		5A
Minimum peak power	$P_{mpp \text{ min}}$	36W

The abbreviation 'mpp' stands for Maximum Power Point.

Typical data at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions

NOCT: 800W/m² irradiance level, AM 1.5 spectrum, wind velocity 1m/s, T_{amb} 20°C

Temperature	T_{NOCT}	47°C
Mpp power	P_{mpp}	27.7W
Mpp voltage	V_{mpp}	14.7V
Open circuit voltage	V_{oc}	20.7V
Short circuit current	I_{sc}	2.2A

Typical data at low irradiance

The relative reduction of module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² both at 25°C cell temperature and AM 1.5 spectrum is 5%.

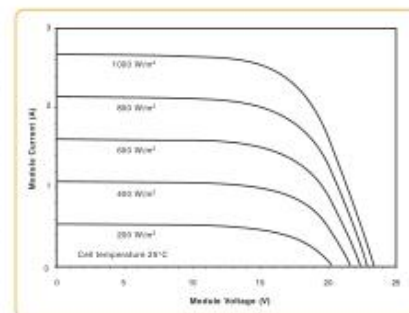
Temperature coefficients

αP_{mpp}	-0.6 %/°C
αV_{mpp}	-100 mV/°C
αI_{sc}	+0.35 mA/°C
αV_{oc}	-100 mV/°C

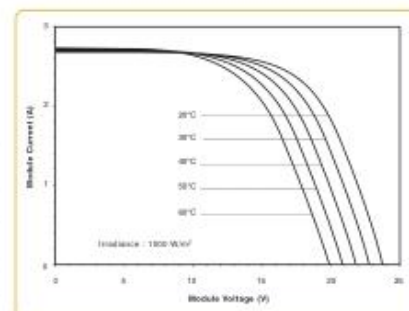
Maximum system voltage: 600 Vdc

Typical I/V Characteristics

The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various levels of irradiance.



The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various cell temperatures.



References in this Product Information Sheet to 'Shell Solar' are to companies and other organizational entities within the Royal Dutch/Shell Group of Companies that are engaged in the photovoltaic solar energy business. Shell Solar was set up in 1999 and has its principal office in Amsterdam, the Netherlands.

For further information on all Shell Solar products contact:

Shell Solar
4650 Adohr Lane, Camarillo CA 93012
805-482-6800 Fax 805-388-6511
Web www.shell.com/renewables

V2/ST40/05/02/US



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

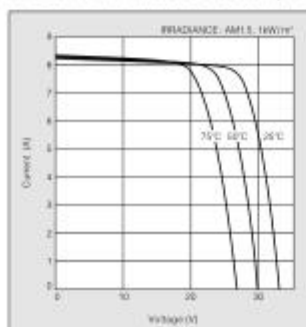
※ 1 year limited warranty on material and workmanship

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

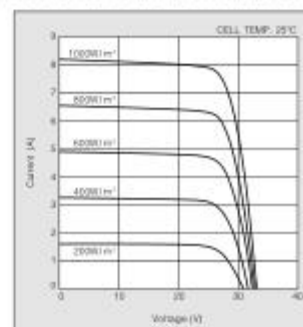
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under 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

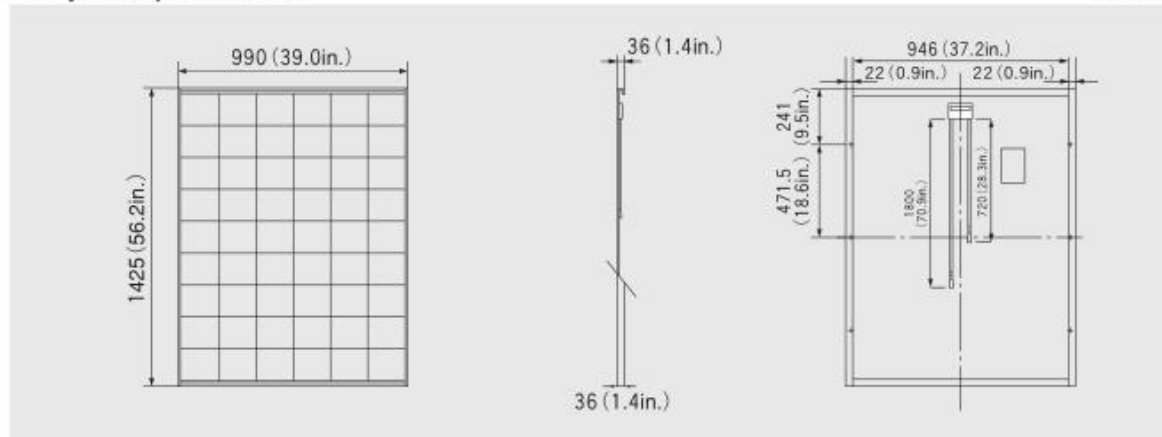


SPECIFICATIONS

KC200GT

Physical Specifications

Unit : mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	200W (+10%/-5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.3V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.61A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	32.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.21A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	-1.23×10 ⁻¹ V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	3.18×10 ⁻³ A/°C

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

Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	142W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	23.2V
Maximum Power Current (I _{mp})	6.13A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	29.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	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.)×38mm(1.4in.)
Weight	18.5kg(40.7lbs.)
Cable	(+)720mm(28.3in.) (-)1800mm(70.9in.)

Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	113.8mm(4.5in.)×78mm(3.0in.)×39mm(1.4in.)
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)

