

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energie renouvelable

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

***Etude des performances d'une station photovoltaïque
connectée au réseau***

Présenté par :
Bida Sara
Soutenu le : 05Juin 2017

Devant le jury composé de :

Mr Guedidi Salim

MCB

Président

Mr Moussi Ammar

Pr

Encadreur

Mme Terki Amel

MCA

Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energie renouvelable

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

*Etude des performances d'une station photovoltaïque
connectée au réseau*

Thème

Présenté par : **Bida Sara**
Avis favorable de l'encadreur : **Moussi Ammar**

Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Résumé :

Ce travail a porté sur l'analyse d'un système photovoltaïque connecté au réseau de la microcentrale du site de l'université de Biskra, on s'est principalement intéressé à étudier les performances énergétiques de cette station. On a proposé d'étudier les paramètres d'exploitation d'une centrale PV et leur influence sur le rendement du système de production en mettant l'accent sur l'effet des conditions climatiques tel que l'effet de la température, la pollution. On a aussi essayé d'observer l'effet de la vieillissement au court du temps.

Les Mots clé :

Système photovoltaïque, performances, microcentrale, la vieillissement, PV.

ملخص:

اعتمد عملنا هذه المذكرة على دراسة النظام الكهروضوئي المرتبط بالشبكة ودراسة مختلف خصائصه، وقمنا بعدة تجارب لتوضيح تأثير أداء النظام بعوامل الطقس والحرارة بالإضافة إلى عامل الزمن وقد تمت هذه الدراسة في مختبر الطاقات المتجددة بجامعة بسكرة.

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire de fin d'étude à :

*Mes très chers parents pour leur sacrifice et qui non jamais cessé de
m'encouragement que dieu me garde,*

Mes très chères sœurs : Djazya et Biba.

Et mes très chers frères : Oussama, Chawki et Waeil.

A ma famille : Bilal, Sorya, Wissam, Hala, Nihad,

Tous mes amis : Iman, Sabrina, Amal, Sara, wafa

A tous mes Collègues du département d'électrotechnique

Tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui connaissent Sara Bida

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Mr : Moussi Ammar, mon directeur de mémoire et je lui exprime toute ma reconnaissance pour sa confiance en mon travail et les nombreux conseils qu'il m'a prodigués.

Nos remerciements vont aux membres de jury qui ont accepté de juger notre travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce dernier.

Je remercie également toute personne qui a contribué de prêt ou de loin à l'accomplissement de ce travail particulièrement :

Ahmed Karfa, Jakob

Liste des références

[1] : Yann RIFFONNEAU, "Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau", thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, 23/10/2009

[2] : C. Darras, “ Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE’’, Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.

[3] : F. Kendouli, K. Nabti, K. Abed and H. Benalla, “ Modélisation, Simulation et Contrôle d’une Turbine Eolienne à Vitesse Variable basée sur la Génératrice Asynchrone à double alimentation ’’, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 14 N°1, pp. 109-120, 2011.

[4] :A. Mirecki, “ Etude comparative de Chaînes de Conversion d’Energie dédiées à une Eolienne de petite puissance’’, Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, Avril 2005.

[5] Souad Saadi « Effet des paramètres opérationnels sur les performances d’un capteur solaire plan ». Mémoire de magister en Physique, Université Mentouri de Constantine, 2010.

[6] : CARREAU.C, DUFOUR .M, GIBILISCO.M, les énergies renouvelables dans l’habitat, France 2001

[7] T. Zhou, “ Commande et Supervision Energétique d’un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d’Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l’Intégration dans le Système Electrique d’un Micro Réseau ’’, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2009.

[8] SoltaneBelakehal « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables ». Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2010.

[9] : C. CABAL, « Optimisation énergétique de l’étage d’adaptation électronique dédié a la Conversion photovoltaïque », Thèse de Doctorat, université de Toulouse 2008.

[10] BorniAbdelhalim"Etude et régulation d’un circuit d’extraction de la puissance maximale d’un panneau solaire", Mémoire magistère Constantine, 2009

- [12] Marcelo Gradella Villalva, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho « Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays ». IEEE Transaction on power electronics, Vol.24, No 5, 1198-1208, May 2009..
- [13] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. SadaSy, "Le pompage photovoltaïque" , Manuel decours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF/Université d'Ottawa /EIER/CREPA. Canada, 1998.
- [14] Anne Labouret et Michel villos « Energie solaire photovoltaïque ». Edition Lemoniteur , 2005
- [15] B. Wafa S. Samah, « étude comparative des systèmes de pompage photovoltaïque " Mémoire ingénieurs. Biskra, 2006
- [16] Zouache Foudil « Etude de la concentration solaire sur les performances des systèmes Photovoltaïques ». Mémoire de magister en Electronique, Université Mentouri de Constantine 2009.
- [17] Anne Labouret et Michel villos « Energie solaire photovoltaïque ». Edition Lemoniteur , 2005.
- [18] R. Chenni, "Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque dans un village solaire ", thèse Doctorat, Constantine, 2007.
- [19] Adel et Shahat « PV cell module modeling and simulation for smart grid applications » Journal of Theoretical and Applied Information Technology, JATIT All rights reserved, pp 9-20, 2010.
- [20] : C. CABAL, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque », Thèse de Doctorat, université de Toulouse 2008.
- [21] : S. PETIBON, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de Doctorat, université de Toulouse 2009.
- [23] K. Bouzidi, Etude comparatives des méthodes d'extraction des paramètres des cellules solaires, Mémoire de magister, département de physique, faculté des sciences, université de Sétif (Algérie), 2007.
- [24] : <http://lucieroux.com/costelec/photovoltaique.html>
- [25] : CARREAU.C, DUFOUR .M, GIBILISCO.M, les énergies renouvelables dans l'habitat, France 2001.

[26] : Violaine Didier, les onduleurs pour systèmes photovoltaïques, fonctionnement, état de L'art et étude des performances, VILLEURBANNE 2007. Site internet : www.hespul.org

[27] : <http://www.lamaisonpassive.be/isolation-thermique>

[28] : B .CHAYMA, «études des performance d'une système PV connecté au réseau», mémoire de master 2, université de Biskra 2016.

[29] : WIKI

Sommaire

Liste des figures	12
Liste des tableaux	14
Introduction générale :	15
Chapitre I Les énergies renouvelables.....	17
I.1 Introduction :	18
I.2 Production de l'électricité par les énergies renouvelables :	18
I.2.1 L'hydraulique :	19
I.2.2 L'éolienne :	19
I.2.3 La biomasse :	20
I.2.4 L'hydrogène :	20
I.2.5 Le solaire :	21
I.3 Rayonnement solaire :	21
I.3.1 Spectre du rayonnement solaire :	23
I.3.2 Différents types de rayonnement :	24
I.3.3 Nomenclature des différents instruments de mesure du rayonnement :	25
I.3.4 Coordonnées terrestres :	26
I.3.5 Coordonnées équatoriales :	27
I.4 Les différentes technologies solaires :	28
I.4.1-Solaire à concentration thermodynamique :	28
I.4.2 Solaire thermique :	29
I.4.3 Solaire photovoltaïque :	30
I.5 L'effet photovoltaïque :	30
I.5.1 Le principe de conversion photovoltaïque :	31
I.5.2 La cellule photovoltaïque :	32
I.5.3 Modèle d'une cellule solaire :	33
I.5.4 Puissance maximale d'une cellule PV :	34
I.5.5 Paramètres photovoltaïques :	34
I.5.6 Association de cellules :	36
I.5.7 Protection classique d'un GPV :	39
I.5.8 L'Effet de l'éclairement :	40
I.5.9 Effet de la température :	42
I.5.10 Influence simultanée du rayonnement et de température :	43
I.6 Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque :	45
I.6.1 Les types d'un système photovoltaïque :	45

I.7 Conclusion :	46
Chapitre II Éléments constitutif d'un système photovoltaïque	47
II.1 Introduction :	48
II.2 Systèmes PV raccordés au réseau :	48
II.3 Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque :	49
II.3.1 Module photovoltaïque :	49
II.3.2 Câblage électrique :	49
II.3.3 Système de protection électrique :	50
II.3.4 Protection courant continue :	51
II.3.5 Protection courant alternatif :	51
II.3.6 Compteur électrique :	52
II.3.7 Onduleur :	52
II.4 Couplage et synchronisation :	57
II.5 Options de raccordement :	57
II.5.1 Injection de la totalité de la production :	57
II.5.2 Injection du surplus de production :	58
II.6 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau :	58
II.7 Conclusion :	59
Chapitre III Caractérisation de la microcentrale	60
III.1 Introduction :	61
III.2 Spécification de la région d'étude :	61
III.2.1 Les différentes zones énergétiques de l'Algérie :	61
III.2.2 Spécification de la région de Biskra :	62
III.3 Identification de la microcentrale :	63
III.3.1 But du travail:	63
III.3.2 Présentation du système :	63
III.3.3 Etude des performances des éléments du système :	63
III.3.4 convertisseur DC/AC ""Ingecon® Sun Lite 5"" :	66
III.4 Principe de fonctionnement de la microcentrale :	68
III.5 Performance énergétique du système PV avec injection dans le réseau :	69
III.6 Conclusion :	69
Chapitre IV Etude expérimentales	70
IV.1 Introduction :	71
IV.2 l'effet de la pollution sur les performances d'un module :	71
IV.2.1 Banc d'essai expérimental :	72
IV.2.2 Relevé les caractéristiques d'essai a déférente éclairement	73
IV.2.3 Interprétation des résultats :	75

IV.3 L'effet de la vieillesse sur la performance d'un module	75
IV.3.1 Relevé des caractéristiques IV/PV:.....	75
IV.3.2 Interprétation des résultats :	77
IV.4 Relever des performances de la station photovoltaïque :	78
IV.4.1 Résultats de différentes grandeurs de la station photovoltaïque	79
IV.5 Conclusion :	81
Conclusion générale :	82

Liste des figures

CHAPITRE 1

Figure I-1 : Les énergies renouvelables

Figure I-2 : Un moulin à eau

Figure I-3 : Énergie Biomasse

Figure I-4 : Le mouvement de la terre autour du soleil.

Figure I-5 : Spectre du rayonnement solaire

Figure I-6 : Différents composants de rayonnement.

Figure I-7 : Appareils de mesure

Figure I-8 : Coordonnées terrestre

Figure I-9 : Schéma de principe de la terre et des angles rentrant dans le calcul de rayonnement.

Figure I-10 : Capteurs thermodynamique paraboliques

Figure I-11 : Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique

Figure I-12 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque

Figure I-13 : les trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie

Figure I-14 : Circuit équivalent de la cellule solaire

Figure I-15 : caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque.

Figure I-16 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série

Figure I-17 : Caractéristiques résultant d'un groupement de N_p cellules en parallèle.

Figure I-18 : Caractéristique de groupement Série/Parallèle d'une cellule photovoltaïque

Figure I-19 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diode by-pass et anti retour

Figure I-20 : diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

Figure I-21 : Module de 36 cellules protégées par deux diodes de by-pass

Figure I-22 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$

Figure I-23 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$

Figure I-24 : L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

Figure I-25 : L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

Figure I-26 : Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur I-V et PV

Figure I-27 : Système PV raccordé au réseau.

CHAPITRE 2

Figure II-1 : Système PV raccordé au réseau.

Figure II-2 : Coffret de raccordement

Figure II-3 : Compteur de production électrique

Figure II-4 : Architecture à onduleurs centralisés (module inverter)

Figure II-5 : Architecture à un onduleur centralisé

Figure II-6 : Architecture à onduleurs « string »

CHAPITRE 3

Figure III-1 : les différentes zones énergétiques de l'Algérie

Figure III-2 : Trajectoire du soleil à Biskra (lat. 34,8°N Long. 5,8 °E)

Figure III-3 : schéma synoptique d'une microcentrale

Figure III-4 : structure d'un champ photovoltaïque

Figure III-5 : le module AL PV85-25M-36

CHAPITRE 4

Figure IV-1 : les modules PV utilisés

Figure IV- 2 : Montage pour relever la caractéristique I/V en utilisant l'oscilloscope GDS-2204

Figure IV-3 : caractéristique I/V pour différents éclaircements

Figure IV-4 : caractéristique P/V éclaircissement $E=650\text{w/m}^2$

Figure IV-5 : les caractéristiques I/V à différents éclaircements

Figure IV-6 : les caractéristiques I/V à différents éclaircements

Figure IV-7 : Allure de l'éclaircissement pour une journée

Figure IV-8 : Allures de la puissance (à l'entrée et à la sortie)

Figure IV-9 : Caractéristique de rendement de l'onduleur

Figure IV-10 : Le rendement de l'onduleur INGECON-SUN 5

Liste des tableaux

Tableau III-1 : Les coordonnées géographiques de Biskra

Tableau III-2 : Caractéristique des modules ALPV85-25M-36.

Tableau III-3 : Caractéristiques techniques d'onduleur

Tableau III-4 : les résultats des mesures effectuées le : 08/05/2017

Introduction générale :

Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne et hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées de nos jours. L'énergie alternative qui peut accomplir la demande mondiale jusqu'à maintenant c'est l'énergie solaire. Elle apparaît comme une source importante telle que la quantité d'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre dans un jour est dix fois plus grande que celle consommée.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées, surtout dans les applications du pompage photovoltaïque et alimentation d'électrovane des puits de forage ... [26] [3].

La technologie photovoltaïque (PV) est une solution attrayante comme remplacement ou complément des sources conventionnelles d'approvisionnement en électricité en raison de ses nombreux avantages :

- Elle est un moyen fiable qui requiert peu d'entretien.
- Elle fournit de l'électricité avec l'énergie gratuite et renouvelable du soleil.
- Elle ne nécessite aucun combustible.

Le rendement des panneaux solaires photovoltaïque a toujours été jugé insuffisant pour que ces derniers puissent produire une énergie importante capable d'assurer l'alimentation d'un système plus au moins puissant. Parmi plusieurs paramètres influençant ce rendement, on cite le flux d'ensoleillement projeté sur le panneau solaire et donc capté par les cellules photovoltaïques. Plusieurs études ont été faites afin d'améliorer le rendement global et de profiter ainsi au maximum de la conversion énergétique obtenue [27] [3].

Ce mémoire est organisé autour de quatre chapitres qu'on décrit comme suit :

Après une brève introduction, la première partie de premier chapitre sera consacré au recensement des différentes sources d'énergies renouvelables et le gisement solaire. Dans la deuxième partie on a fait une description détaillée des systèmes photovoltaïques.

Le chapitre suivant a pour objet de fournir un maximum d'information concernant les systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique et de parcourir les différentes composants et structures possibles de ces systèmes.

Introduction générale

Le troisième chapitre s'intéresse à la description des différents composants de la microcentrale étudiée et qui est localisé à l'Université de Biskra toute en spécifiant les caractéristiques de la région d'étude.

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la présentation des essais entamés sur la station PV et l'interprétation des résultats obtenus pratiquement.

Et on termine avec une conclusion regroupant les différents aspects étudiés et les perspectives envisagé pour le futur.

Chapitre I Les énergies renouvelables

I.1 Introduction :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 15000 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une année [4].

L'énergie solaire apparaît comme une source importante telle que la quantité d'énergie solaire qui arrive à la surface de la terre dans un jour est dix fois plus grande que celle consommée.

A travers l'effet photovoltaïque, l'énergie contenue dans la lumière solaire peut être convertie directement à énergie électrique [4,5].

I.2 Production de l'électricité par les énergies renouvelables :

L'énergie renouvelable désigne les formes d'énergies dont le taux de génération est équivalent ou supérieur au taux de leur consommation. Elles sont pratiquement inépuisables et sont pour la plupart issues de l'activité solaire

Y'on a pleinement d'énergies qui rentrent dans cette catégorie, elles sont classées comme suit Figure (I-1)

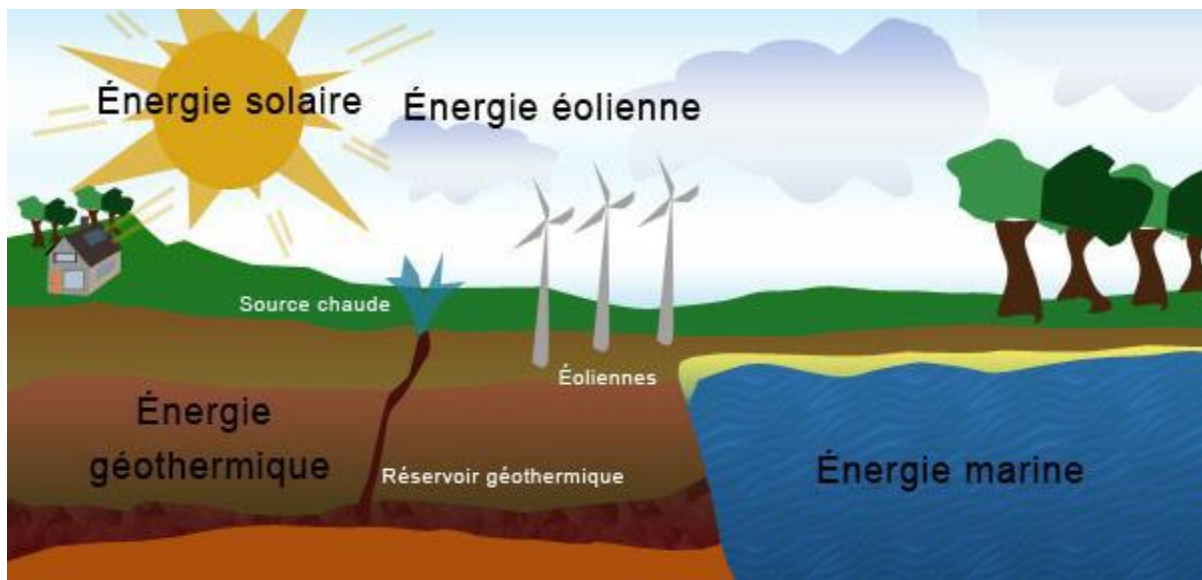


Figure I-1 : Les énergies renouvelables

I.2.1 L'hydraulique :

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice figure (I-2). La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source à l'avantage de ne pas être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres débarrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients [2].



Figure I-2 : Un moulin à eau

I.2.2 L'éolienne :

Les énergies éoliennes sont notamment caractérisées par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique par l'intermédiaire d'un rotor et de pales. Cette source est non polluante.

Néanmoins l'énergie éolienne est intermittente, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores [3].

I.2.3 La biomasse :

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde [4]. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse ce qui est bien montré par la figure (1-3). Elle est exploitée par combustion. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable [12].

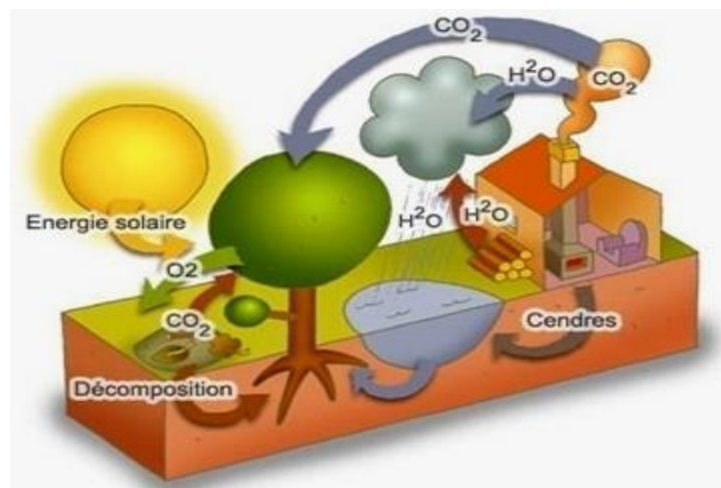


Figure I-3 : Énergie Biomasse

I.2.4 L'hydrogène :

Dans le domaine de la recherche, une autre énergie a le vent en poupe. Très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, ni polluante, ni toxique, elle pourrait, du moins en théorie, répondre à tous nos besoins l'hydrogène tout ça à cause de ses avantages :

- ✓ L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre.
- ✓ L'hydrogène peut être stocké et distribué dans une variété de formes.
- ✓ L'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité de manière différente. Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine. Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Pour les puissances élevées la conversion la

plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée en chaleur [7].

I.2.5 Le solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année [8].

L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

I.2.5 .1 L'énergie solaire thermique :

Qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux solaires. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

I.2.5 .2 L'énergie solaire photovoltaïque : [27]

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.

I.2.5.3 l'énergie solaire passive :

Est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage.

I.3 Rayonnement solaire : [10,15]

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la température superficielle du soleil (environ 5800 K), ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm environ). L'énergie véhiculée par ce rayonnement, moyennée sur une année et sur l'ensemble de la limite supérieure de l'atmosphère, correspond à un éclairage de 340 W.m⁻² Figure (I-5). Un bilan énergétique montre que, sur cette quantité d'éclairage qu'apporte le soleil au système terre atmosphère,

environ 100 W.m^{-2} sont réfléchis vers l'espace ; seul le reste est absorbé, pour un tiers par l'atmosphère et pour les deux tiers par la surface de la terre [6,11].

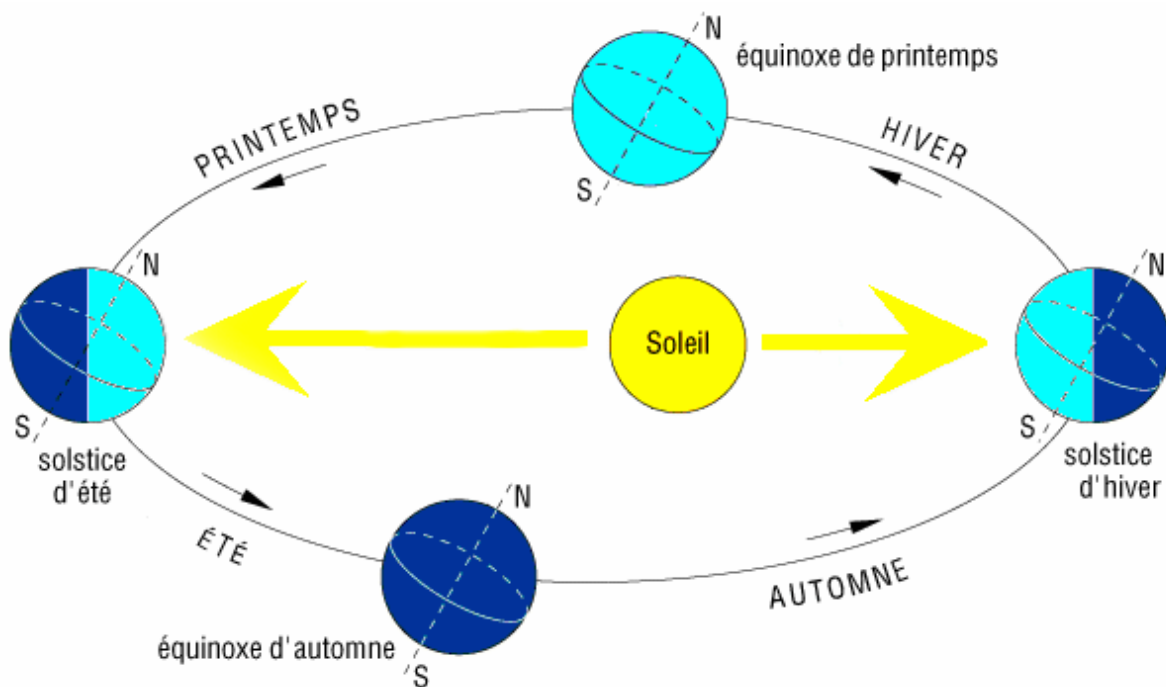


Figure I-4 : Le mouvement de la terre autour du soleil. [20]

Dans cette ronde annuelle autour du Soleil, la Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord - sud fait **un angle de $23^{\circ}27'$** avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil. Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du Soleil et est responsable des variations saisonnières. Ainsi pendant nos mois d'hiver, en hémisphère nord la durée d'insolation est relativement courte et le Soleil ne monte pas très haut dans le ciel, tandis que l'été règne sur l'hémisphère sud. Pendant nos mois d'été, la situation est inversée, l'hémisphère nord est tourné vers le Soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits dans l'hémisphère nord et le rayonnement incident se rapproche de la verticale. [2,3]

I.3.1 Spectre du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0,2 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($2,5 \mu\text{m}$).

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$),
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$),
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

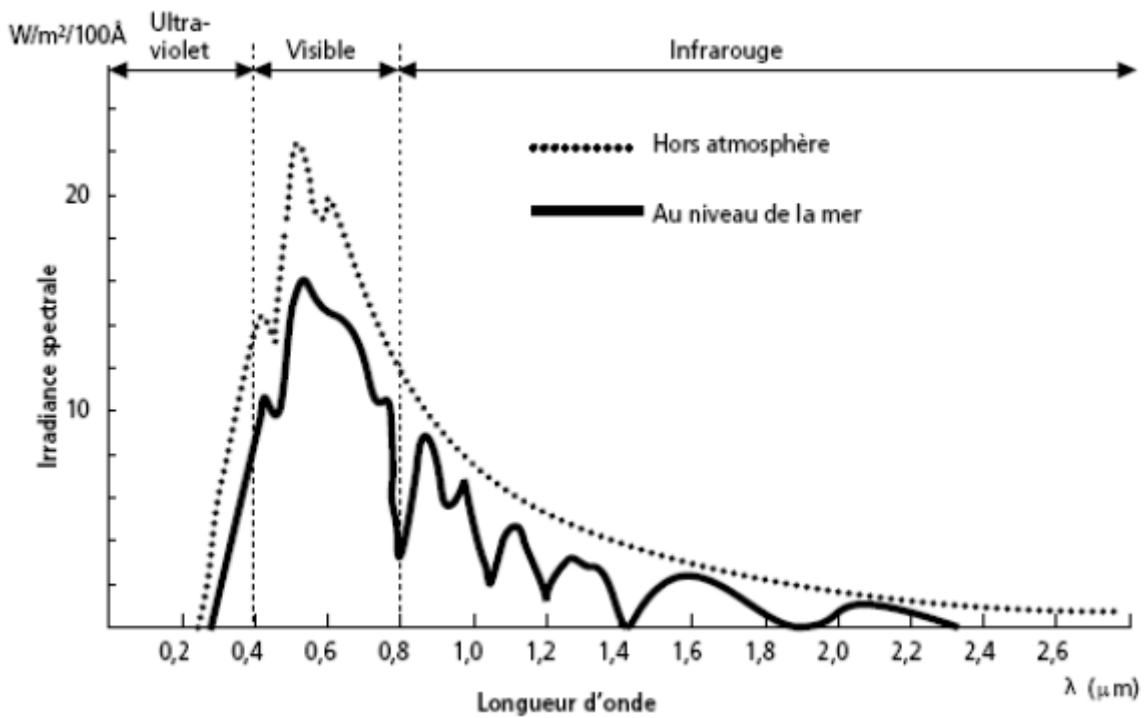


Figure I-5 : Spectre du rayonnement solaire

I.3.2 Différents types de rayonnement : [13,15]

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes.

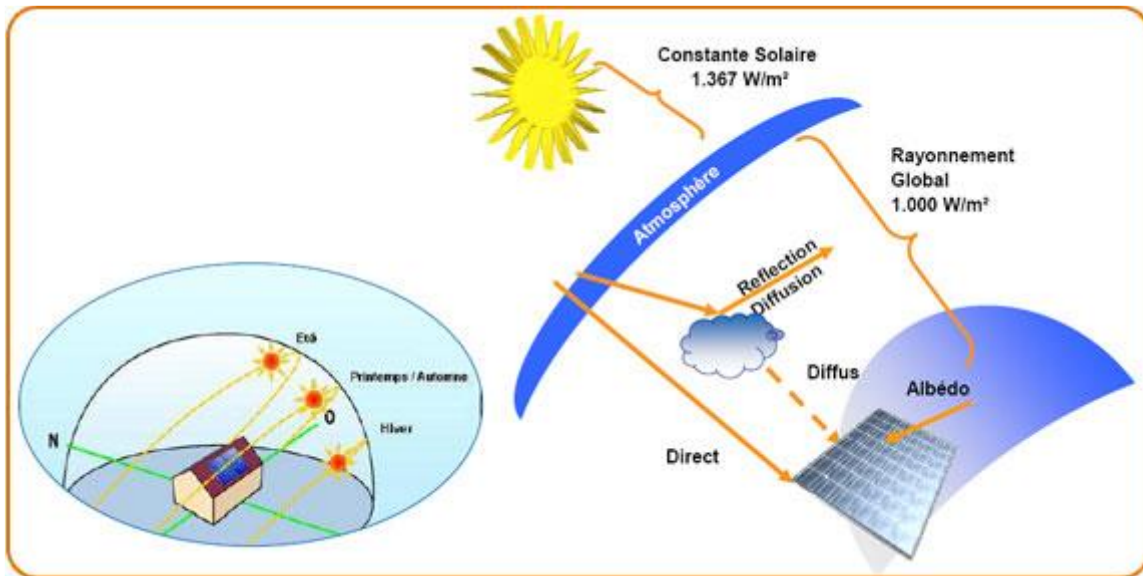


Figure I-6 : Différents composants de rayonnement.

a) Rayonnement direct :

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est « linéaire » (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné. Si I est le rayonnement direct. [12]

Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement s'écrit :

$$I_h = I \times \sin h$$

Avec : h hauteur du soleil.

b) Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Ainsi, par ciel serein, il constitue 20% de l'énergie globale. Par ciel couvert, il correspond à la totalité de l'énergie reçue au sol. [12]

c) Rayonnement réfléchi (L'albédo) :

Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement dépend de l'albédo du sol et il peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige). [28]

$$L' \text{ albédo } ALB = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

d) Le rayonnement global :

Le rayonnement global au sol est donc fonction de la composition et de l'épaisseur de l'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée. Il se décompose en rayonnement direct et rayonnement diffus, et ce sont ces deux rayonnements qui sont exploités par les générateurs solaires [5].

$\text{Rayonnement Global} = \text{Rayonnement Direct} + \text{Rayonnement Diffus} + \text{Albédo}$

I.3.3 Nomenclature des différents instruments de mesure du rayonnement :

Pyranomètre :

Instrument destiné à mesurer le rayonnement global G parvenant à une surface plane à partir d'un angle solide 2π stéradians ; lorsque l'appareil est muni d'un dispositif pare-soleil, il peut mesurer le rayonnement diffus D .

Pyrhéliomètre :

Instrument mesurant le rayonnement solaire direct I , l'appareil est orientable de façon que sa surface réceptrice soit normale aux rayons solaires.

Pyrradiomètre différentiel ou bilanmètre :

Mesure le bilan du rayonnement total, différence entre le rayonnement total descendant et le rayonnement total ascendant (rayonnement solaire et atmosphérique renvoyés vers l'espace).

Héliographe :

Instrument de mesure et d'enregistrement de la durée de l'insolation.



FigureI-7 : Appareils de mesure [10]

I.3.4 Coordonnées terrestres : [13]

La Terre est pratiquement une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle Nord et le pôle Sud.

Tout point sur la terre est caractérisé par sa latitude et sa longitude. Ces deux grandeurs représentent les coordonnées géographiques de ce point ainsi que par son altitude, figure (I-8).

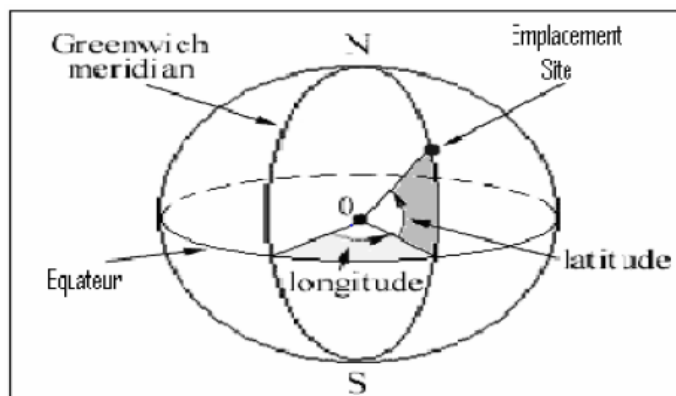


Figure I-8: Coordonnés terrestre

Longitude (λ) :

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

La latitude (Φ) :

La latitude d'un lieu à la surface de la terre est l'angle entre l'équateur et le rayon de la terre passant par le lieu considéré. La latitude _ est comptée de 0° à $+90^\circ$ dans l'hémisphère nord [14]. La latitude a aussi un effet important : les journées estivales s'allongent à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, et le soleil est plus bas au midi solaire.

L'altitude (L) :

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer), on l'exprime généralement en mètre.

I.3.5 Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles ((ω, H))

Déclinaison (ω) :

La déclinaison est l'angle situé entre l'équateur et la distance du centre de la Terre au centre du Soleil. Comme l'axe de la Terre est incliné à $23,45^\circ$, la déclinaison varie au cours d'une année de $\pm 23,45^\circ$. En été et en hiver, la déclinaison atteint son maximum. En revanche, au printemps et à l'automne, elle s'élève à 0° . [16]

$$\omega = 23.45.\sin (2 \pi (284+n) /365)(I.1)$$

Ou n est le nombre de jours de l'année compté à partir du 1er janvier, il varie de 1 à 365 ou 366. Selon l'année Année civile 365 jours Année bissextile 366 jours.

Angle horaire du soleil (δ) :

C'est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction du méridien du lieu, l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation : [16]

$$\delta = 15 (\text{heures UTC} - 12 + \lambda / 15) \quad (I.2)$$

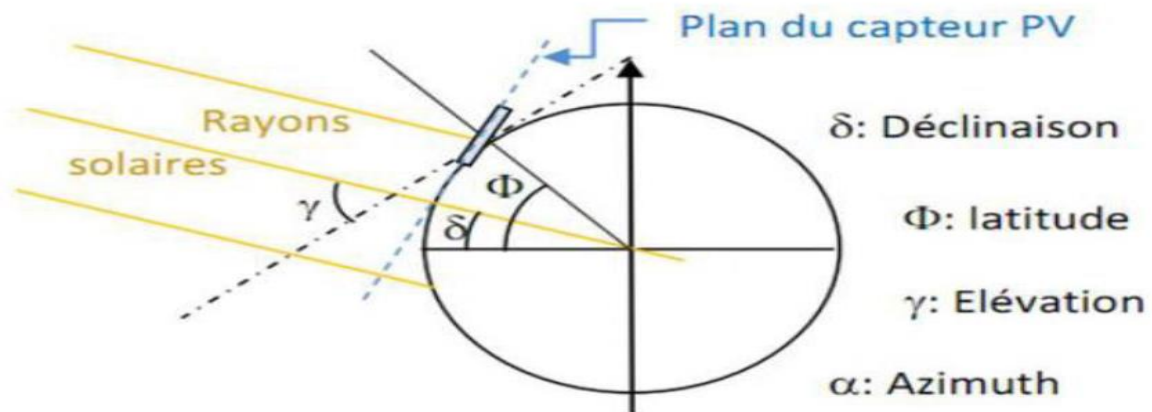


Figure I-9 : Schéma de principe de la terre et des angles rentrant dans le calcul de rayonnement.

I.4 Les différentes technologies solaires :

Il existe principalement trois façons d'utiliser directement l'énergie solaire : la thermodynamique, la thermique et le photovoltaïque.

I.4.1-Solaire à concentration thermodynamique :

Le solaire à concentration thermodynamique est une technologie qui utilise des miroirs qui concentrent l'énergie solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur qui chauffe jusqu'à une température pouvant atteindre 500°C. La chaleur obtenue est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. L'un des grands avantages de cette technologie provient du fait que la chaleur peut être stockée, permettant ainsi aux centrales solaires de produire de l'électricité pendant la nuit. La centrale ANDASOL 1, à Grenade, a ainsi une autonomie de 7 heures, mais des projets en cours ont comme objectif une autonomie de 20 heures [6].

Les miroirs qui collectent l'énergie solaire (placés à 3 ou 4 mètres du sol) forment une zone d'ombre sur le sol, cependant il arrive suffisamment de lumière pour cultiver des fruits ou des légumes. Une partie de l'eau douce formée sur place par condensation en sortie de turbine, peut être utilisée pour l'arrosage [6,13].



Figure I-10 : Capteurs thermodynamique paraboliques

I.4.2 Solaire thermique :

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil, Figure (I-10).

Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud).

Le principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique est montré par la Figure (I-11).

Pour commencer, le rayon solaire traverse une plaque de verre transparente ; le rayon lumineux sera alors absorbé après avoir passé la plaque de verre, par une plaque de métal noir qui absorbera environ 80 à 90% des rayons solaires. Puis, la chaleur ainsi générée est transmise à un circuit d'eau qui alimente un circuit secondaire qui, à son tour, alimente une habitation en eau sanitaire ou en chauffage.

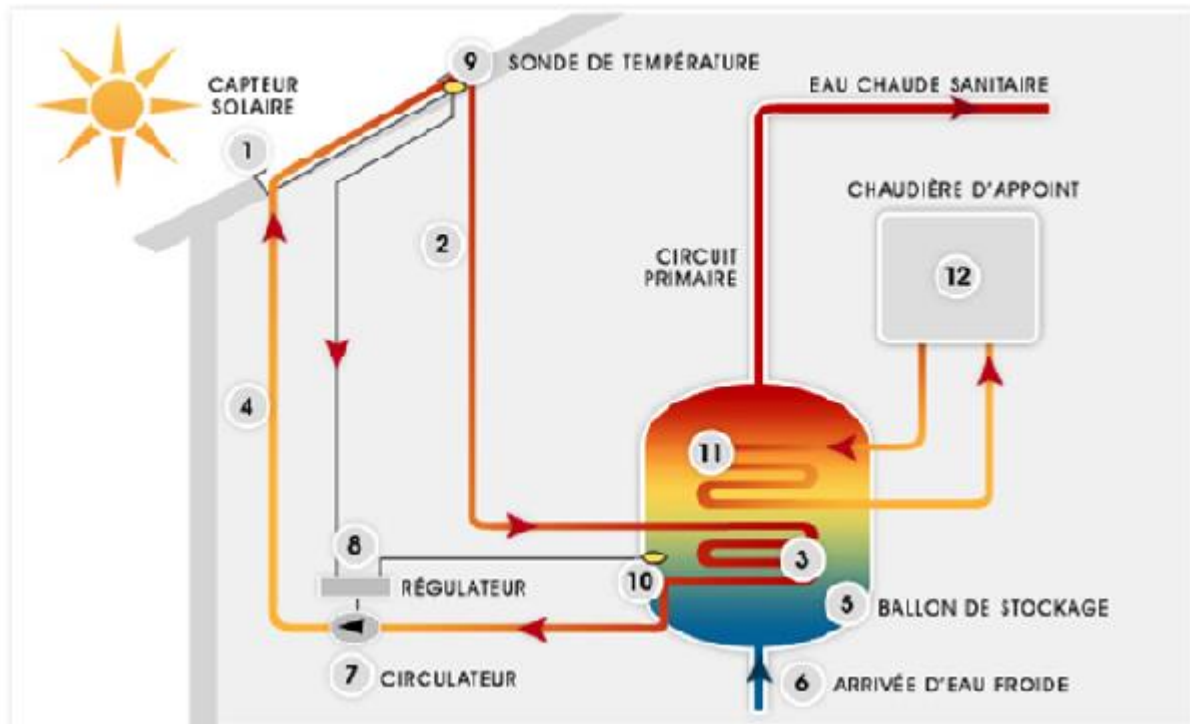


Figure I-11 : Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique

I.4.3 Solaire photovoltaïque :

Contrairement à l'énergie solaire thermique qui utilise le soleil comme source de chaleur, l'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme source de lumière en transformant en électricité l'énergie des photons arrivant à la surface de la Terre. La lumière solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque). [11]

Cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible.

I.5 L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un processus de transformation de l'énergie émise par le soleil, sous forme de photons, en énergie électrique à l'aide de composant semi-conducteur appelé cellule solaire [15,18]. L'effet photovoltaïque ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur avant qu'il ne soit éclairé. Une telle barrière existe, par exemple, à l'interface entre deux volumes dopés différemment c'est à dire où l'on a introduit deux types différents d'impuretés concentration différente, par exemple de type P-

N. Si ce matériau est éclairé, les charges électriques, rendus mobiles par la lumière (l'effet photoélectrique), seront séparées par la barrière avec d'un côté les charges positives et de l'autre côté les charges négatives [30,19]. Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium, le sulfure de Gallium et l'arséniure de Gallium.

I.5.1 Le principe de conversion photovoltaïque :

***Comment fonctionne une cellule solaire photovoltaïque ?**

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée [11,15]. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un pair électron - trou. Si une charge placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel le courant électrique circule [27,13], voir la figure (I-12).

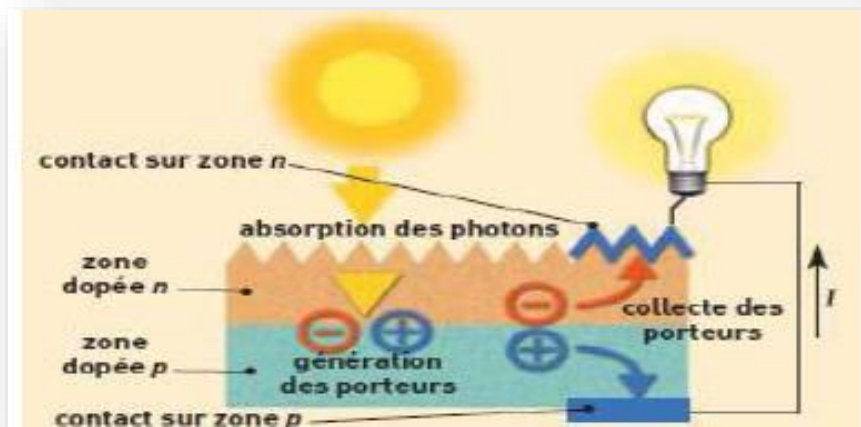


Figure I-12 : Description d'une photopile ou cellule photovoltaïque

I.5.2 La cellule photovoltaïque :

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage. La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches de type P ou N en y diffusant du brome ou du phosphore. Une cellule photovoltaïque donc est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants : Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif ; Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électrons/trous dans le matériau semi-conducteur ; Collecte des particules générées dans le dispositif [4]. La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.



Figure I-13: les trois mécanismes de transformation de l'énergie solaire en une énergie

I.5.3 Modèle d'une cellule solaire :[9,20]

Une cellule photovoltaïque peut être illustrée par son schéma équivalent comme le montre la figure (I-14).

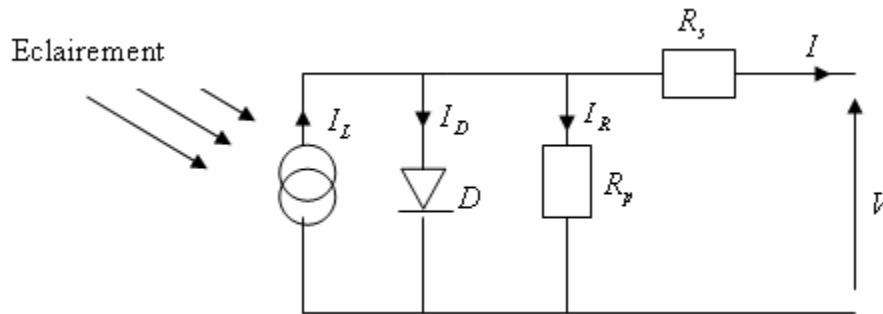


Figure I-14 : Circuit équivalent de la cellule solaire

La cellule comporte une résistance série (R_s) et une résistance en dérivation ou shunt (R_p). Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la photopile :

- la résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles ;
- la résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la fonction dont celle-ci a été réalisée. Relation suivante :

$$I_{Ph} = I_D + I_{RS} + I_{RP} \quad (I.3)$$

Le courant qui passe dans la résistance R_p est donné par :

A partir de la figure (I-14) la loi des nœuds nous permet d'écrire la

$$I_{RP} = \left(\frac{V + R_s I}{R_p} \right) \quad (I.4)$$

Le courant dans la diode est donné par :

$$I_d = I_0 \cdot \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{nVT} \right) - 1 \right) \quad (I.5)$$

$$I_0 = K_1 T^3 \exp \left(\frac{E_g}{Kt} \right) \quad (I.6)$$

Où :

$V_t = \left(\frac{Kt}{q}\right)$: tension thermique à la température T

R : La résistance série de la cellule. [Ω]

T : La température de la cellule [$^{\circ}\text{K}$].

q : La charge d'électron $e = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{C}$.

I_0 : Le courant de saturation [A]

K : La constante de Boltzmann ($1.3854 \cdot 10^{-23}\text{JK}^{-1}$)

V_g : La tension de seuil de diode.

n : Le facteur de qualité de diode.

$$I = I_{PH} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{V+R_s I}{nVT}} - 1 \right) - \frac{V+R_s I}{RP} \quad (I.7)$$

I.5.4 Puissance maximale d'une cellule PV :

La puissance maximale d'une cellule photovoltaïque éclairée est la grandeur essentielle pour évaluer sa performance ; la puissance maximale P_{max} , idéal correspondrait donc à la tension de circuit ouvert V_{co} multipliée par le courant de court-circuit I_{cc} : elle est donnée par la relation :

$$P_{\text{max, idéal}} = V_{\text{co}} \cdot I_{\text{cc}} \quad (I.8)$$

I.5.5 Paramètres photovoltaïques :

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique $I(V)$. La figure (I-15) représente une caractéristique courant-tension $I(V)$ dans le noir et sous illumination typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN. Le tracé de cette courbe permet d'accéder à bon nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant. Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court-circuit (I_{cc}), la tension à circuit ouvert (V_{co}) et le facteur de forme (FF) du composant.

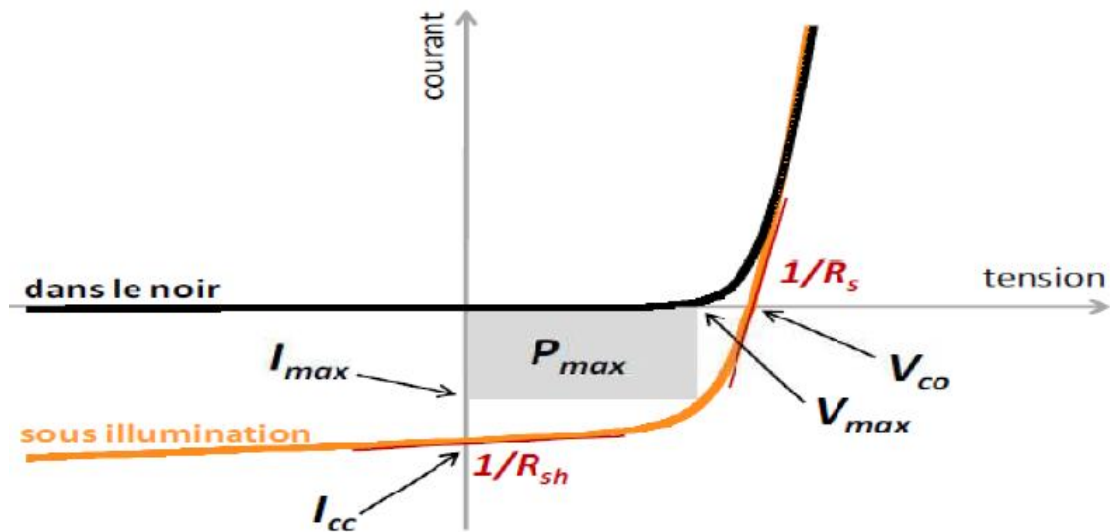


Figure I-15 : caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque. [7]

Courant court-circuit :

Il s'agit du courant lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celui-ci est fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface active de la cellule, de la mobilité des porteurs. Ce courant est linéairement dépendant de l'intensité lumineuse reçue.

Tension à vide :

(V_{co}) Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée, La tension en circuit ouvert (V_{co}) d'une cellule PV est comprise entre 0,3V et 0,7V selon le matériau utilisé.

Facteur de forme FF :

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou fill factor (FF). Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle $I_{cc} \cdot V_{oc}$. Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules sauront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales [21]. Il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.9)$$

Le rendement η :

Le rendement des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente, P_{in} .

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (I.10)$$

I.5.6 Association de cellules :

a) Mise en série :

Une association de N_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). 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 (I-16). L'équation (I.10) résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules.

$$V_{co} = N_s \cdot V_{co} \quad (I.10)$$

L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble.

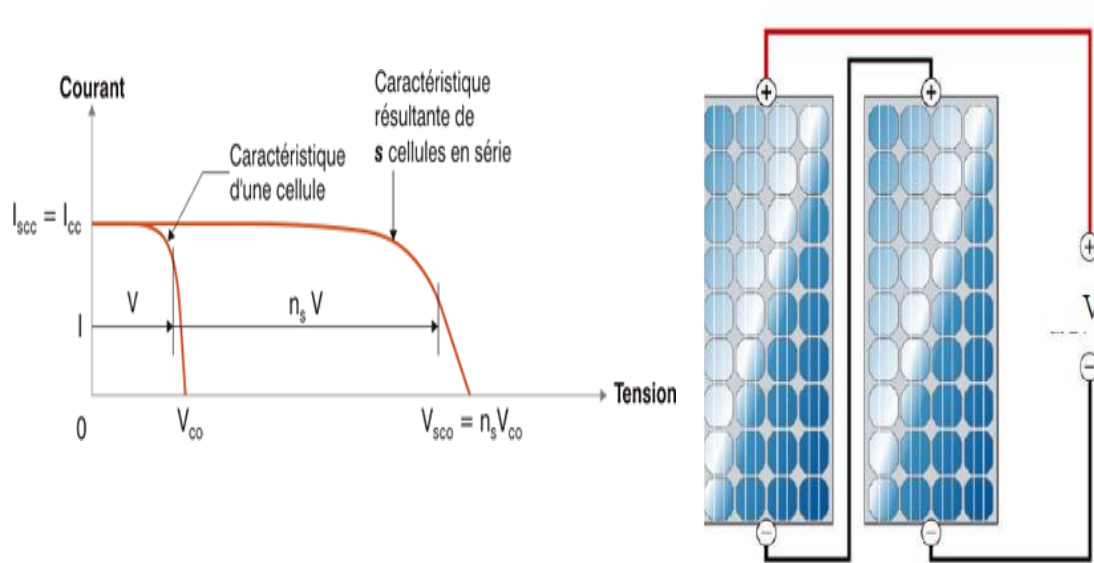


Figure I-16 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série

b) Mise en parallèle :

D'autre part, une association parallèle de N_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. 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, Figure (I-17). L'équation (I.11) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de N_p cellules. [23]

$$I_{cc} = N_p * I_{cc} \quad (I.11)$$

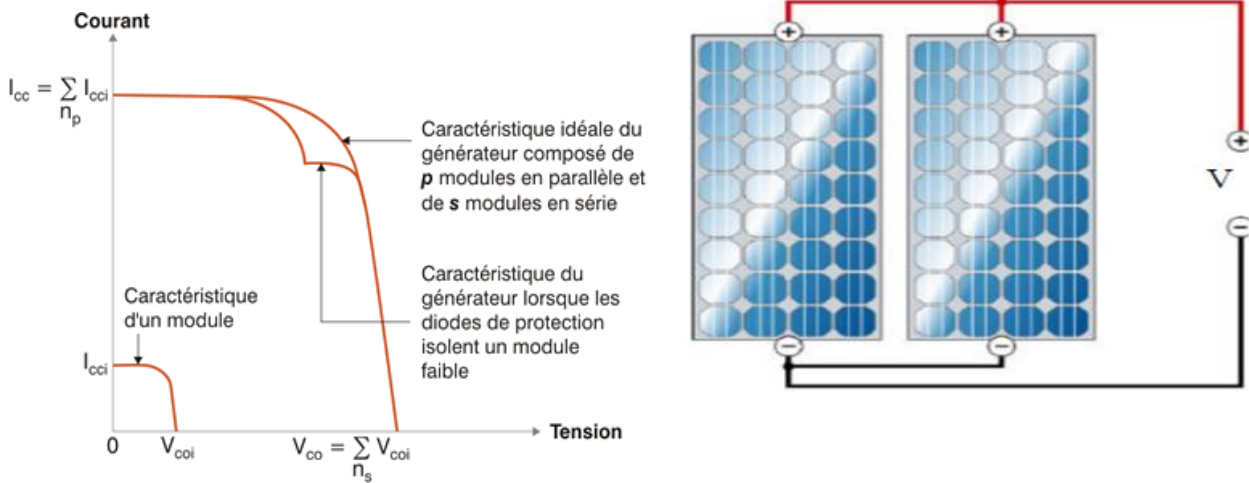


Figure I-17 : Caractéristiques résultant d'un groupement de N_p cellules en parallèle.

c) Association mixte (Série + Parallèle) des cellules PV :

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle [6]. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

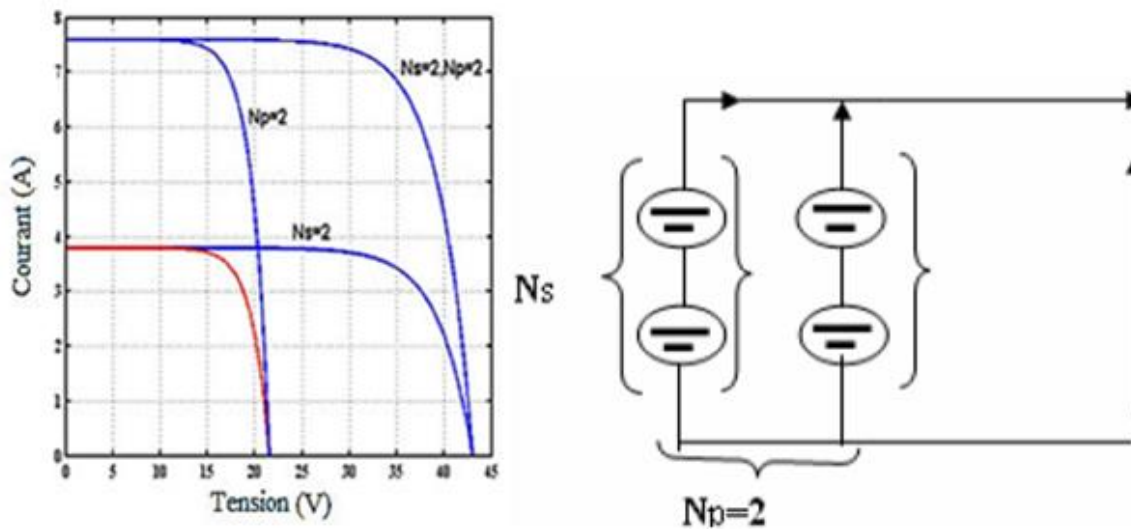


Figure I-18 : Caractéristique de groupement Série/Parallèle d'une cellule photovoltaïque

I.5.7 Protection classique d'un GPV :

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en série et en panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles, figure (I-19).

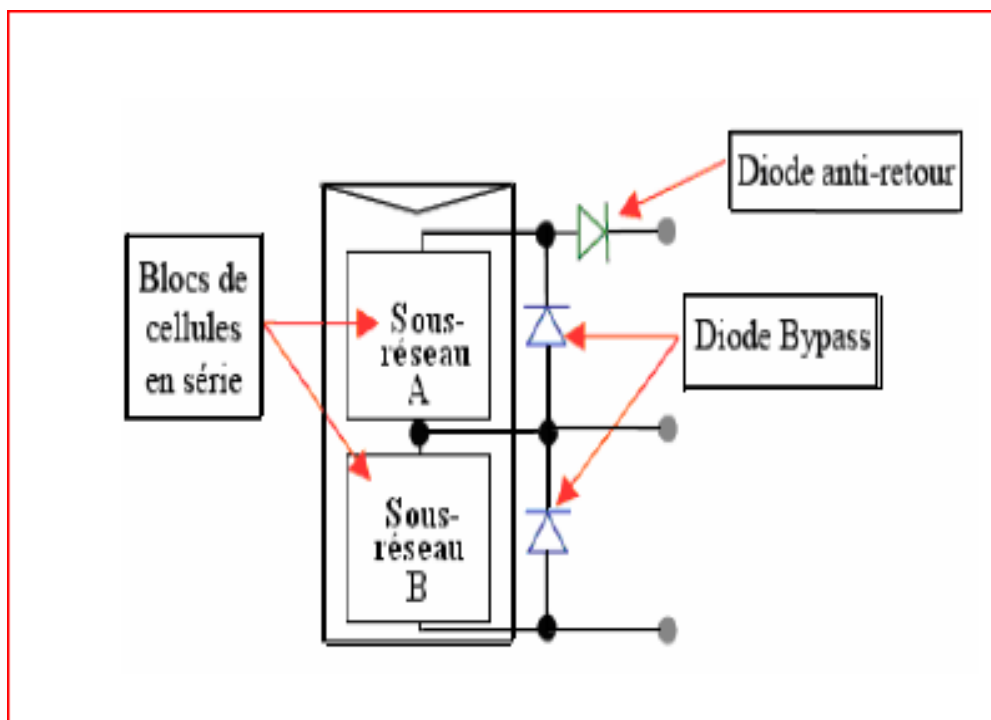


Figure I-19 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diode by-pass et anti retour

1.5.7.1 Diode anti-retour : [11]

La tension produite par chaque string peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le courant inverse provenant des autres strings. Cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant inverse pourraient être également susceptibles de la défaillance. Pour éviter ces courants inverses, une diode anti chaque string. Voir Figure (I-20).

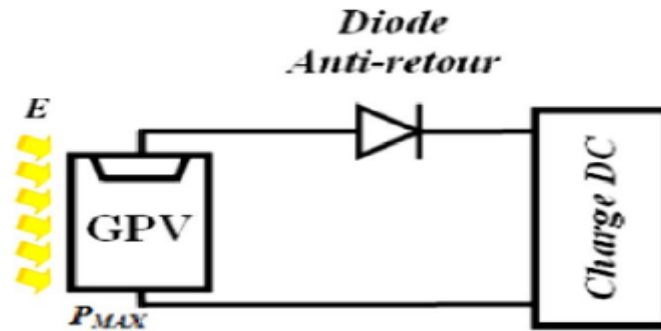


Figure I-20: diode anti-retour placée à la sortie du string et avant la charge et la connexion des autres strings.

1.5.7.2 Diode de by-pass :

La diode de by-pass est connectée en antiparallèle avec un groupe de cellules pour protéger les cellules les plus faibles contre la polarisation inverse. [9]

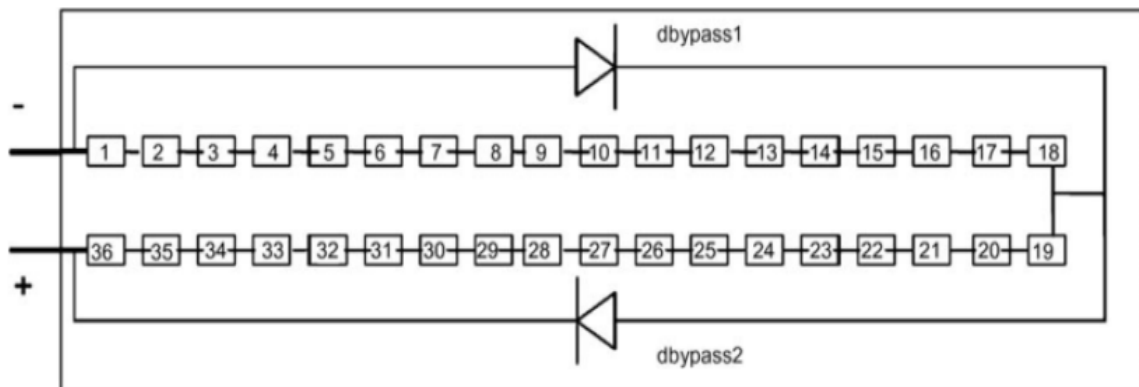


Figure I-21: Module de 36 cellules protégé par deux diodes de by-pass

I.5.8 L'Effet de l'éclairement :

La figure (I-22) montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique

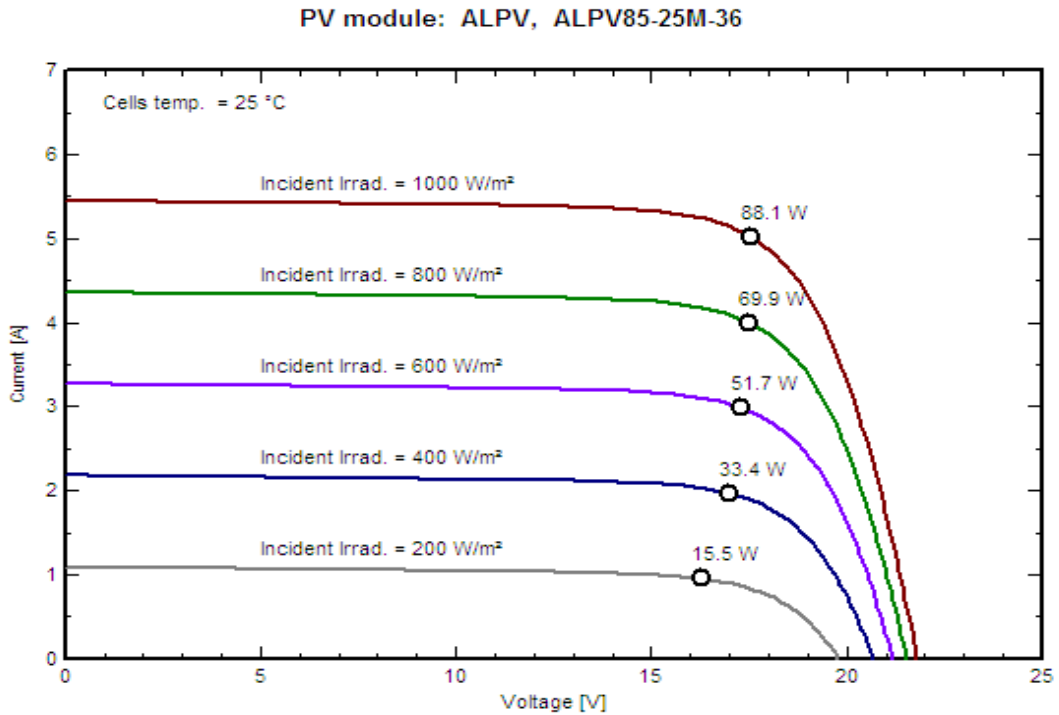


Figure I-22 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure (I-23) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$ [5].

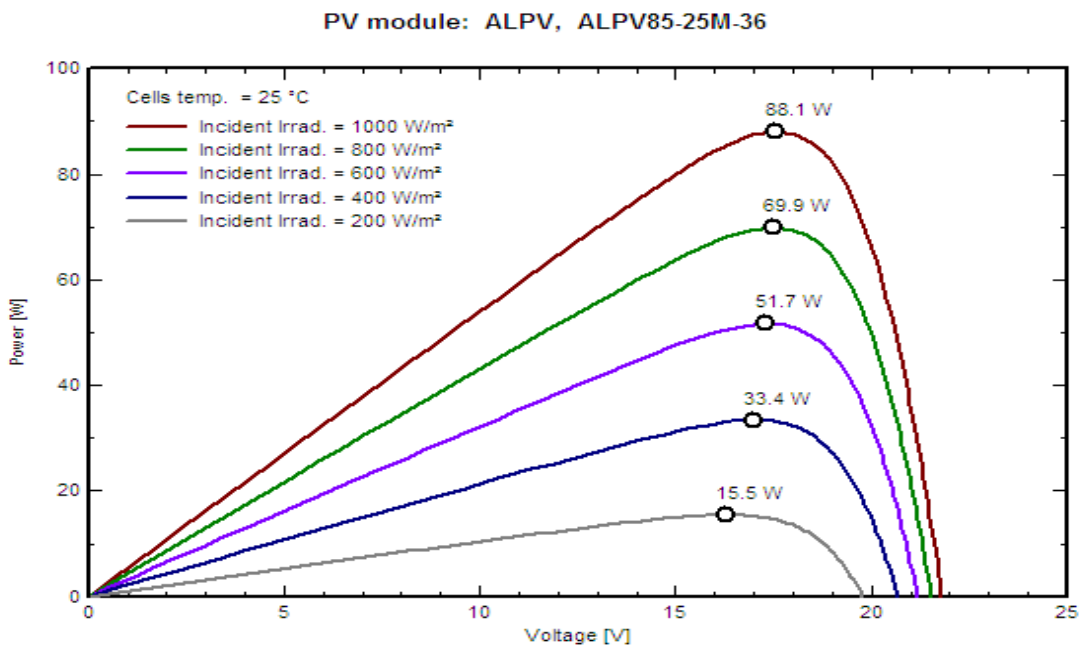


Figure I-23: L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$

I.5.9 Effet de la température :

La figure (I-24) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$.

Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution [3].

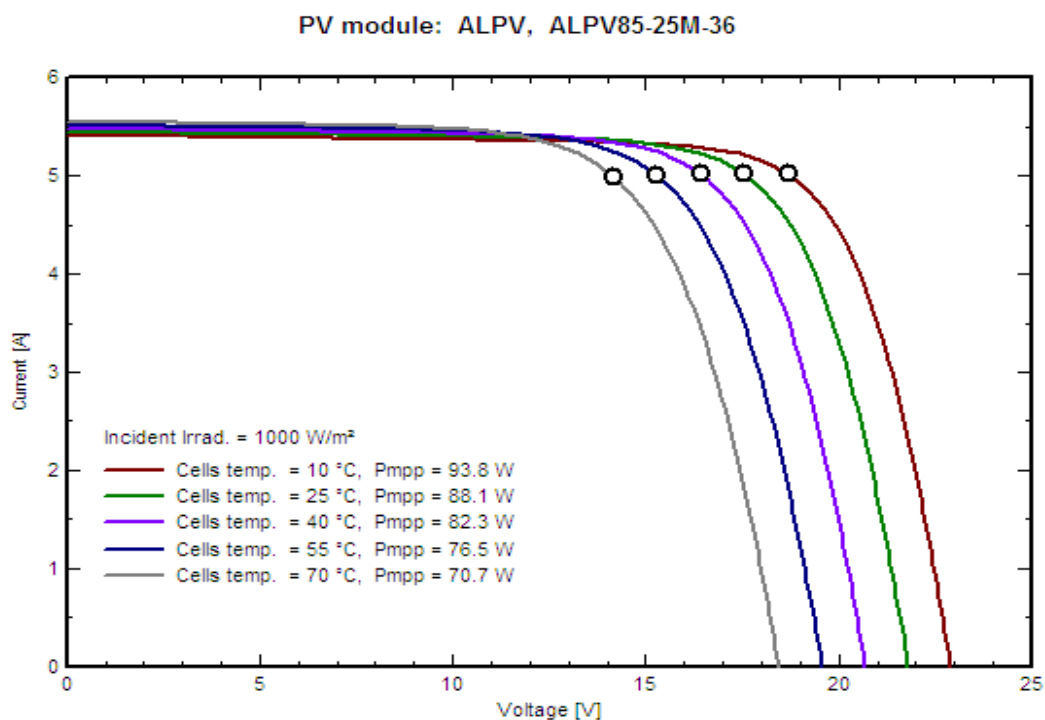


Figure I-24 : L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure (I-25) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P = f_{ct}(V)$ [5].

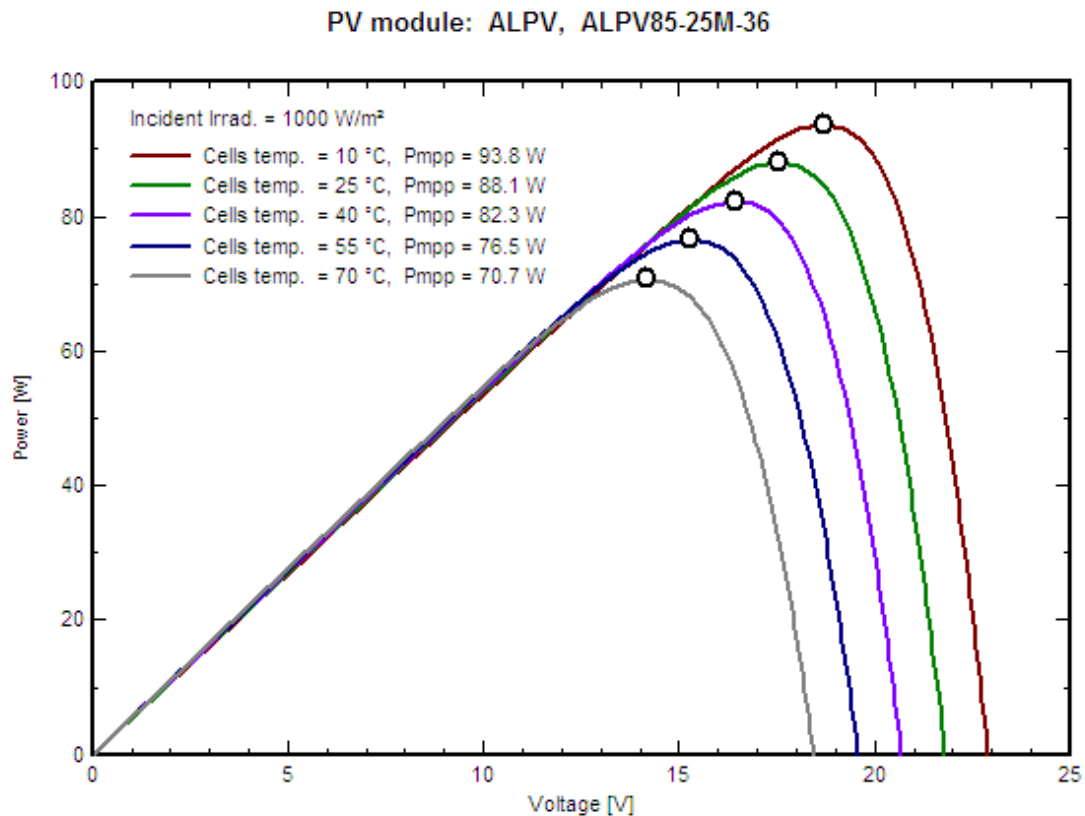


Figure I-25 : L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

I.5.10 Influence simultanée du rayonnement et de température :

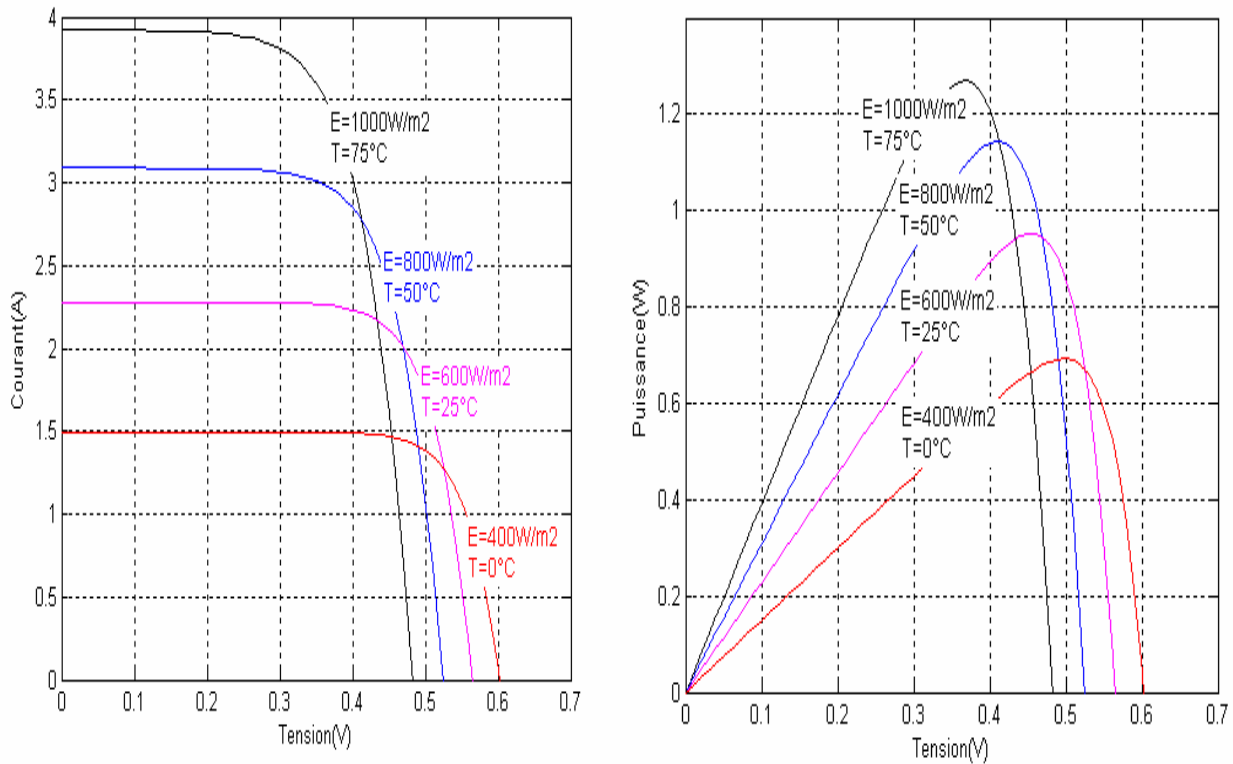
L'augmentation du rayonnement et de la température entraîne une diminution de la tension et une augmentation du courant.

La caractéristique d'une cellule PV (ou d'un générateur PV) est directement dépendante de l'éclairement et de la température.

Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairements à température maintenue constante 25°C, figure (I-26), montrent clairement l'existence de maxima sur les courbes de puissance correspondant aux Points de Puissance Maximale P_{max}. Lorsque l'irradiation varie pour une température donnée, le courant de court-circuit I_{cc} varie proportionnellement à l'irradiation. Dans un même temps, la tension de circuit ouvert V_{co} (à vide) varie très peu.

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules.

La température a également une influence sur la caractéristique d'un générateur PV.

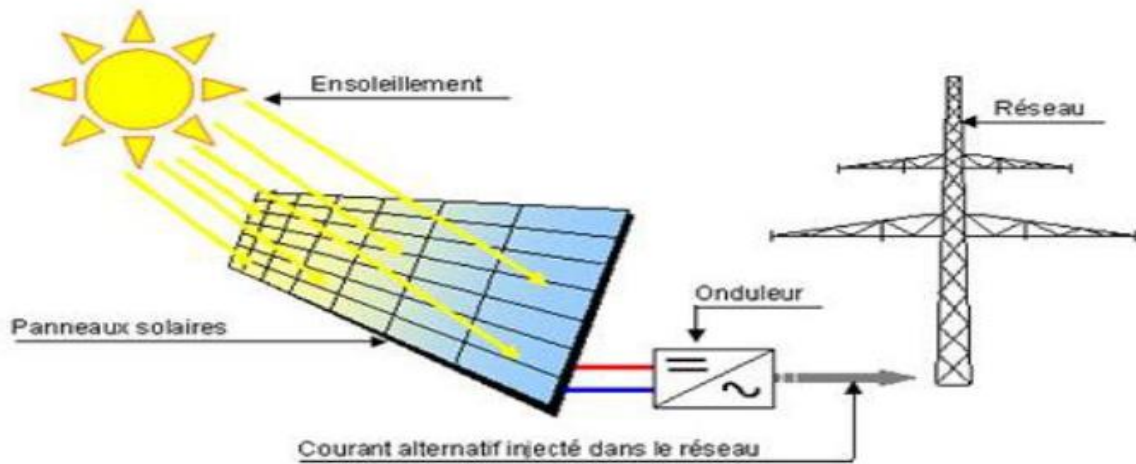


FigureI-26 : Influence simultanée de l'éclairement et de la température sur I-V et PV.

Par contre, si la température croît à irradiation constante, la tension à vide V_{co} décroît avec la température. Plus la température est élevée plus V_{co} est faible et le courant de court-circuit I_{cc} augmente avec la température. Cette hausse est nettement moins importante que la baisse de tension. L'influence de la température sur I_{cc} peut être négligée dans la majorité des cas. La température et l'éclairement sont donc les deux principaux paramètres qui vont modifier la caractéristique d'un générateur PV. Ces deux paramètres devront donc être étudiés avec soin lors de la mise en place d'une installation PV.

I.6 Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque :

Une installation photovoltaïque se compose de modules solaires, eux-mêmes constitués de cellules photovoltaïques.



FigureI-27 : Système PV raccordé au réseau. [25]

Ces générateurs transforment directement l'énergie solaire en électricité (courant continu). La puissance est exprimée en Watt-crête (Wc), unité qui définit la puissance électrique disponible aux bornes du générateur dans les conditions d'ensoleillement optimales.

Un ou plusieurs onduleurs convertissent le courant continu produit en courant alternatif à 50Hz et 220 V. Selon le choix retenu, toute ou une partie de la production est injectée sur le réseau public, et le reste est consommé par le producteur. Lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'électricité nécessaire, voir figure (I-27).

I.6.1 Les types d'un système photovoltaïque :

Les systèmes PV sont deux types : autonomes et reliés au réseau [24] :

a) Systèmes autonomes :

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. En règle générale, les

systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

b) Connecté au réseau :

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (SONELGAZ en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers d'un onduleur et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Car il doit respecter des normes sur sa qualité « sinusoïdale ».

Ces systèmes ne sont pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau, car ils ne comportent aucune réserve d'énergie. Dans certains cas, on ajoute au système une batterie de secours pour les coupures de courte durée.

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu des possibilités des énergies renouvelables, en nous focalisant davantage sur les filières photovoltaïques et les technologies associées. Au cours de ce chapitre, nous avons étudié la source de production photovoltaïque, la modélisation et la simulation, et effectué nous permet de bien comprendre le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi les différentes applications de ce système.

Chapitre II Éléments constitutif d'un système photovoltaïque

II.1 Introduction :

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où.

II.2 Systèmes PV raccordés au réseau :

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau. Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement. L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers d'un onduleur, et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant, car il doit respecter des normes sur sa qualité « sinusoïdale ». Ces systèmes ne sont pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau car ils ne comportent aucune réserve d'énergie. Dans certains cas, on ajoute au système une batterie de secours pour les coupures de courte durée. [27]

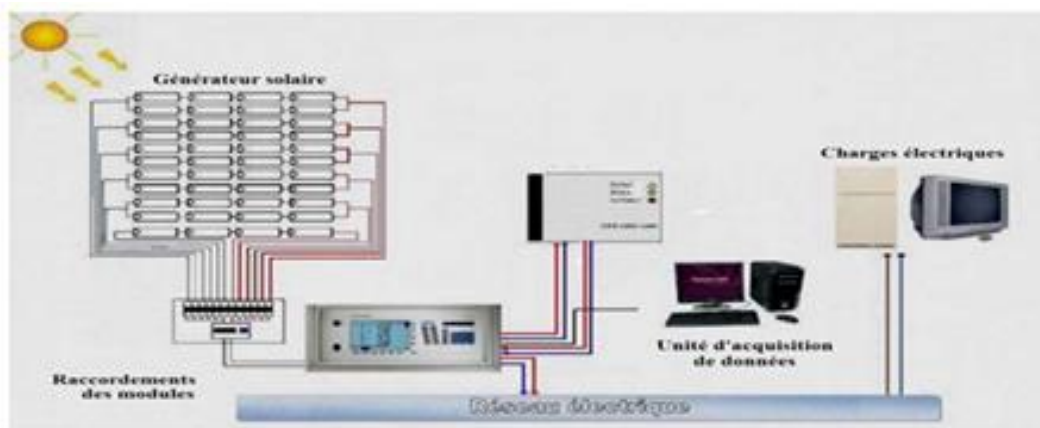


Figure II-1 : Système PV raccordé au réseau.

II.3 Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque :

II.3.1 Module photovoltaïque :

Le module photovoltaïque [1] est par définition un ensemble de photopiles (cellules solaires) assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition au rayonnement utile (solaire ou autre). En effet, une photopile élémentaire ne produit qu'une très faible puissance électrique moins de 3 W avec une tension de l'ordre d'un volt (1 V) entre 0,5 et 1,5 V selon les technologies. Afin de produire plus de puissance, les cellules sont assemblées en série et en parallèle pour former un module photovoltaïque.

Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation. De plus, la fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement et celles-ci sont généralement encapsulées sous verre ou sous composé plastique [11].

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires 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.

II.3.2 Câblage électrique :

Une installation photovoltaïque comprend plusieurs types de câble en fonction des contraintes électriques ou extérieure. Le câblage entre les modules photovoltaïques et l'onduleur intègre une connectique particulière pour éviter les risques de chocs électriques pendant l'installation. Enfin toutes les parties métalliques d'une installation photovoltaïque sont interconnectées et reliées à la même prise de terre. La qualité du câblage DC est un élément déterminant pour assurer la sécurité et l'efficacité de la production d'énergie.

Le raccordement des modules représente des milliers de boîtiers de connexion dont la fiabilité est primordiale ; en outre la commodité de montage n'est pas à négliger. La plupart des modules courants ont des borniers avec serrage à vis qui devraient être contrôlés régulièrement, mais la tendance à utiliser des connecteurs embrochables apparaît, surtout pour les modèles destinés à l'intégration. On trouve aussi des boîtiers avec borniers à contacts à ressort. [25]

Le câblage du champ proprement dit est déterminé d'une part par les critères de mise en série et en parallèle des modules et d'autre part par la disposition géométrique des éléments, lesquels sont souvent préassemblés et précâblés par groupes. Les sections de câbles doivent être calculées de façon à limiter la perte de puissance à 1%. La perte d'énergie est

proportionnelle au carré du courant, ce qui justifie dans les installations importantes de travailler à des tensions plus élevées. Les coffrets de raccordement contiennent normalement les borniers séparés, positifs et négatifs, des arrivées de tous les câbles provenant des chaînes de modules en série. Ils contiennent également les diodes anti-retours et les dispositifs de protection. Il faut rappeler que les fusibles ne protègent pas les circuits PV, du fait que le courant de court-circuit peut être plus faible que le courant nominal.

Un interrupteur DC n'est pas obligatoire à ce niveau s'il existe à l'entrée de l'onduleur, mais il peut s'avérer fort utile pour isoler des éléments du champ photovoltaïque pendant le montage ou des travaux sur le bâtiment. Les coffrets doivent répondre aux exigences d'étanchéité, de longévité et de sécurité ; ils doivent être largement dimensionnés pour permettre un câblage propre et bien accessible, et construits en matière ininflammable, si possible en métal.

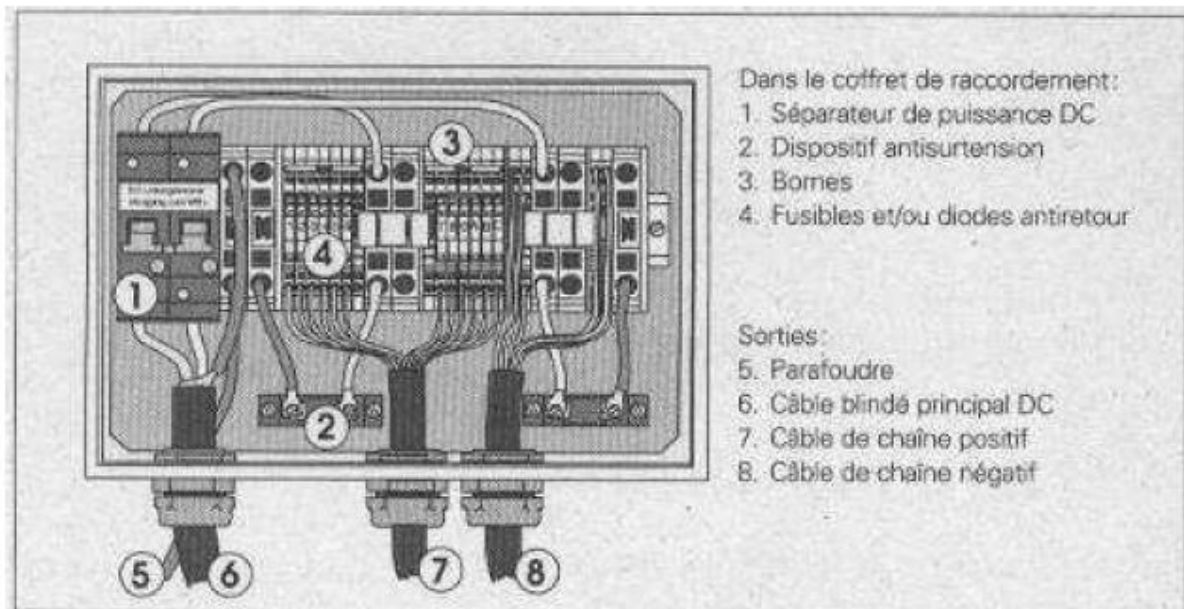


Figure 1I-2 : Coffret de raccordement

II.3.3 Système de protection électrique :

L'installation d'un système photovoltaïque est régie par des normes françaises et européennes en termes de sécurité électrique. La norme européenne EN 50160 et la norme française C15-100 relatives aux installations électriques basse tension imposent l'installation de système de protection en courant continu et en courant alternatif.

II.3.4 Protection courant continue : [26]

Ne protection courant continu est exigée en amont de l'onduleur. Il est donc placé entre les modules photovoltaïques et l'onduleur. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale.

La coupure générale DC doit respecter les dispositions suivantes :

- Coupure électromécanique omnipolaire et simultanée assurée par une commande directe ou par l'intermédiaire d'une action télécommandé.
- Commande des dispositifs de coupure d'urgence facilement reconnaissables et rapidement accessibles à proximité de l'onduleur.
- Tension assignée d'emploi $\geq U_{comax}$.

Le sectionnement général DC doit :

- Être bipolaire pour isoler électriquement les 2 conducteurs correspondant à chaque polarité mais peut ne pas être à sectionnement simultané.
- Être spécifié pour le courant continu.
- Se situer en amont et à proximité de l'onduleur.

Dans la pratique ces deux fonctions sont assurées par un interrupteur-sectionneur.

Dans le cas d'un générateur photovoltaïque comportant plusieurs groupes en parallèle, un système de protection des courants inverse est ajouté.

La protection des biens et des personnes notamment contre les surtensions atmosphériques (la foudre) exigent également l'installation de parafoudres DC.

II.3.5 Protection courant alternatif :

Une protection courant alternative est exigée en aval de l'onduleur. Il est donc placé entre l'onduleur et le réseau de distribution. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général AC sur la liaison principale.

Chaque onduleur nécessite l'installation d'un disjoncteur différentiel.

La protection des biens et des personnes notamment contre les surtensions atmosphériques (la foudre) exigent également l'installation de parafoudres AC.

II.3.6 Compteur électrique :[25]

Dans le cas d'une installation photovoltaïque reliée au réseau avec injection totale, le gestionnaire du réseau ajoute deux compteurs d'énergie. Un pour mesurer la production d'électricité et un autre pour mesurer la consommation des appareils électriques de l'installation photovoltaïque, notamment les onduleurs.

Dans le cas d'un système en autoconsommation, un seul compteur d'énergie est ajouté pour mesurer la production d'énergie. L'existant continuant de mesurer la consommation électrique du bâtiment.

En règle générale, l'onduleur réseau possède une fonction permettant de mesurer la production photovoltaïque. Il est aussi tout à fait possible d'ajouter un compteur externe dans le but de superviser le fonctionnement de l'installation photovoltaïque



Figure II-3 : Compteur de production électrique

II.3.7 Onduleur :[27]

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Le rôle de l'onduleur est d'extraire le maximum de puissance du GPV et de la convertir en une puissance alternative avant de l'injecter dans le réseau.

II.3.7.1 Utilisation des onduleurs : [14]

Ils sont utilisés en électrotechnique pour :

1. Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables.
2. Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes.

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue : source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW).

II.3.7.2 caractéristiques propres à un onduleur pour systèmes PV :

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelque peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion DC/AC est le même.

La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. En effet, Les applications photovoltaïques les plus valorisantes actuellement sont les installations PV destinées à alimenter le réseau électrique public.

Il existe différentes topologies de gestion de ces installations. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un GPV raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent et mettent en forme l'énergie solaire électrique. Les progrès effectués ces dernières années dans le développement des onduleurs dédiés aux photovoltaïques ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximale. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques : l'onduleur central, les onduleurs strings (chaînes) et les onduleurs intégrés aux panneaux (module).

II.3.7.3 Technologies des onduleurs :

Pour les onduleurs utilisés dans les applications PV on distingue différentes topologies, selon l'importance de l'installation, le rendement et la puissance [10, 7].

a) Onduleurs modulaires :

Suivant ce concept, chaque module solaire disposé d'un onduleur individuel, pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire correspondant.

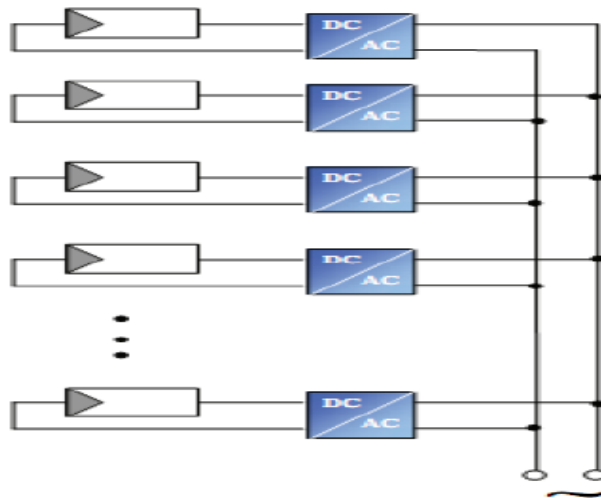


Figure II-4: Architecture à onduleurs centralisés (module inverter)

b) Onduleurs centralisés (central inverter) :

Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif.

Le champ de cellules solaires est en règle générale constitué de plusieurs rangées connectées en parallèle. [24]

Chaque rangée est elle-même constituée de plusieurs modules solaires connectés en série. Pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série.

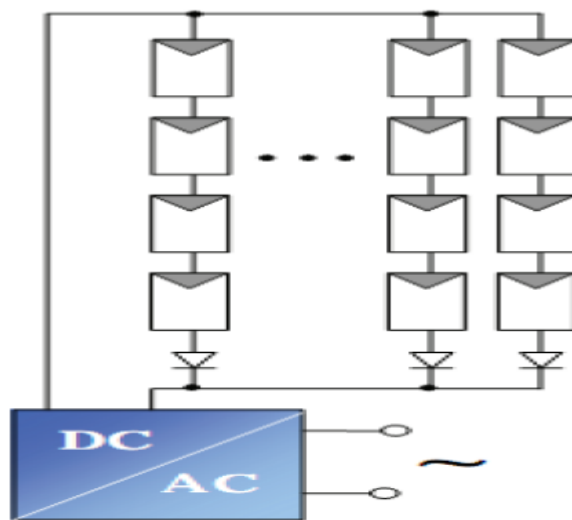


Figure II-5 : Architecture à un onduleur centralisé

c) Onduleurs "String" ou "de Rangée" : [26]

L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé.

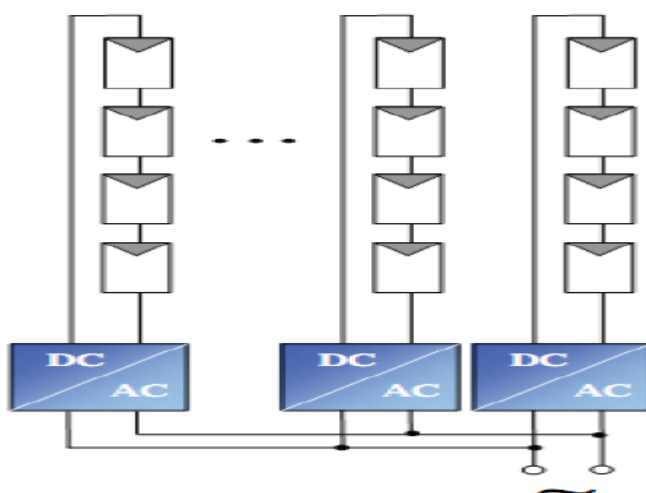


Figure II-6 : Architecture à onduleurs « string »

Les installations jusqu'à 3 Kilowatt de puissance sont fréquemment réalisées avec un onduleur String. Pour une puissance plus élevée, il est possible de connecter plusieurs onduleurs String en parallèle, côté courant alternatif. L'intérêt dans ce concept est d'utiliser un plus grand nombre d'onduleurs du même type. Cela réduit les coûts de production et apporte un intérêt supplémentaire : si un onduleur tombe en panne, seule la production de la rangée concernée est défaillante.

Ils sont toujours conçus en triphasé. La plupart du temps, les systèmes photovoltaïques (PV) sont installés dans les réseaux de distribution basse tension avec une puissance allant jusqu'à 30 KV.A. Le type du réseau choisi au raccordement détermine la possibilité du choix des systèmes de surveillance, et la détection en cas de défaut.

II.3.7.4 Séparation galvanique :

La nécessité d'une séparation galvanique entre le champ de capteurs et le réseau est actuellement discutée chez les professionnels du solaire. Les avantages touchent essentiellement la sécurité : l'une ou l'autre polarité du circuit continu peut être mise à la terre indépendamment du réseau ; en cas de panne de l'onduleur, la tension du réseau ne risque pas

de se retrouver sur le champ de capteurs ;inversement, aucun risque d'introduire des tensions continues dans le réseau ,en fonctionnement normal, des courants continus parasites pourraient occasionner une détérioration des contacts par effet galvanique; la séparation permet de choisir la tension continue de fonctionnement du champ PV, indépendamment de celle du réseau.

Par contre, l'intérêt principal de l'élimination du transformateur est la simplification du circuit (le transformateur est un élément cher et encombrant), et l'amélioration du rendement (quelques %), spécialement intéressant dans la mesure où les pertes sont liées principalement à la puissance nominale du transformateur, alors que l'onduleur fonctionne la plupart du temps à charge partielle.

II.4 Couplage et synchronisation : [28]

Même si certains onduleurs génèrent eux-mêmes leur propre sinusoïde de référence, la plupart ont besoin de la présence du réseau pour fonctionner. L'enclenchement de l'onduleur doit en effet se faire parfaitement en phase, ce qui nécessite la préexistence du réseau. Dans la pratique, l'onduleur est en général équipé d'un interrupteur de marche. L'opération de couplage au réseau ne doit en principe pas être réalisée directement, mais toujours à l'aide de cet interrupteur.

On ne coupera jamais la connexion au réseau en un point proche de l'onduleur ; une coupure trop brusque en charge peut induire des pics transitoires, susceptibles d'endommager les commutateurs électroniques de l'étage de sortie. En cas de coupure accidentelle, ces risques sont atténués avec la distance, par le jeu de l'inductive de la ligne de transport.

II.5 Options de raccordement :

Les systèmes photovoltaïques couplés au réseau injectent l'énergie issue des modules sur le réseau de distribution. [24]

II.5.1 Injection de la totalité de la production :

L'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injections sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque.

Le compteur permet de vérifier qu'il n'y pas de consommation d'énergie par le système PV pour éviter les fraudes par l'ajout d'un élément de stockage. En effet, sans ce compteur il serait possible de mettre un élément de stockage que l'on chargerait au prix

«EgP» et que l'on chargerait sur le réseau au tarif « FiT ». Le compteur C3 doit donc toujours être égal à zéro.

Avec :

« **FiT** » : le tarif d'achat d'énergie PV. (Feed in Tarif)

« **EgP** » : le prix de vente de l'électricité sur le réseau (Electricitygrid Price).

II.5.2 Injection du surplus de production :

L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges.

L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau.

II.6 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau :

- N'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie [1].
- Pas de gaspillage - tout excédent est livré au réseau - particulièrement intéressant pendant les périodes d'absence de son domicile, pendant le week-end, pendant les vacances quand les modules continuent à travailler. On évite les pertes d'énergie associées au stockage en batterie lorsque la batterie est complètement chargée par exemple [5].
- On n'est pas obligé de calculer méticuleusement ses besoins en électricité, et de prévoir des niveaux de demande exceptionnellement très élevés, même si très rares [10].
- On peut commencer petit et agrandir par la suite sans problèmes de dimensionnement compliqués [1].
- On peut satisfaire à une partie ou à la totalité de ses besoins [27].

II.7 Conclusion :

Ce chapitre a mis en évidence les principales composantes d'un générateur photovoltaïque couplé au réseau à prendre en compte pour son étude et sa modélisation et on a fait une brève explication sur le principe de raccordement avec les options de ventée surplus et en totalité et on a citez quelque avantage et des inconvénients de système.

Dans le chapitre prochain, on présentera une étude sur la microcentrale et les différents composants d'un système.

Chapitre III Caractérisation de la microcentrale

III.1 Introduction :

Parmi les meilleures technologies photovoltaïques on trouve la microcentrale qui est bien maîtrisée de toutes les énergies renouvelables. [28]

L'équipement est caractérisé par sa grande robustesse, sa fiabilité et sa longue durée. L'énergie fournie par les microcentrales c'est une énergie locale qui peut fonctionner soit connecté au réseau ou autonome.

III.2 Spécification de la région d'étude : [29]

III.2.1 Les différentes zones énergétiques de l'Algérie :

On peut dire qu'il y peu de pays qui reçoivent autant de flux d'énergie solaire que l'Algérie car elle est située entre les latitudes 20 et 37 degré nord partant du principe que l'altitude et le climat sont liés à l'ensoleillement, c'est par la connaissance des altitudes et du climat des localités de territoire algérien, L'Algérie possédant un gisement solaire important, de par son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m².

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les 6Kw/m² et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 KWH/m², la carte suivante représente les zones énergétiques en Algérie

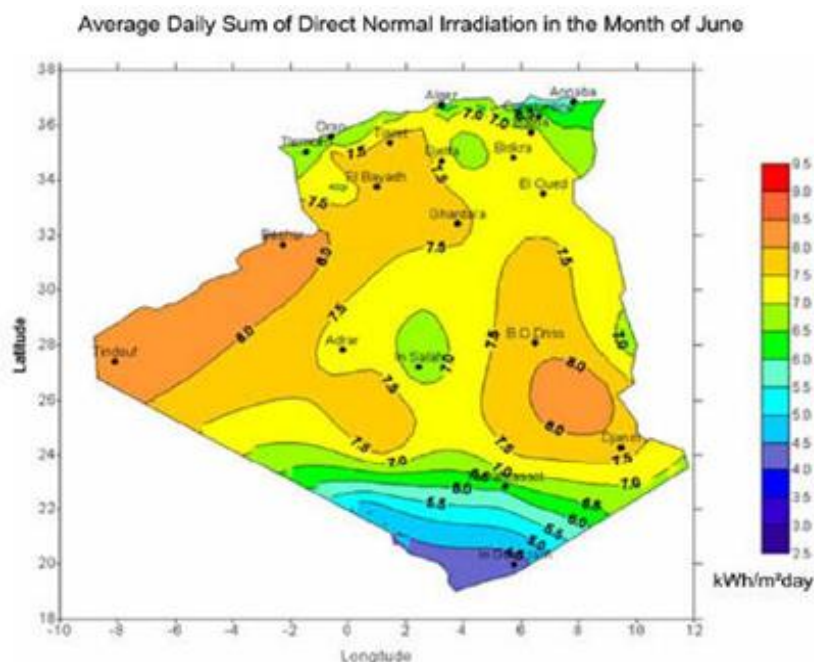


Figure III-1 : les différentes zones énergétiques de l'Algérie

III.2.2 Spécification de la région de Biskra :

III.2.2.1 Présentation du site :

La Wilaya de Biskra est Située au nord du Sahara elle occupe une superficie de 21.671 Km². Elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été. La ville de Biskra se caractérise par une température maximale en été qui atteint dans le mois de juillet 42°C et une température minimale en hiver qui atteint 7°C pendant le mois de janvier. La moyenne annuelle de la température est de 21.5°C.

III.2.2.2 Les données géographiques :

Tableau III-1 : Les coordonnées géographiques de Biskra

Altitude (z) :	Latitude (φ) :	Longitude(λ) :
128m	34.48 N	5.44 N

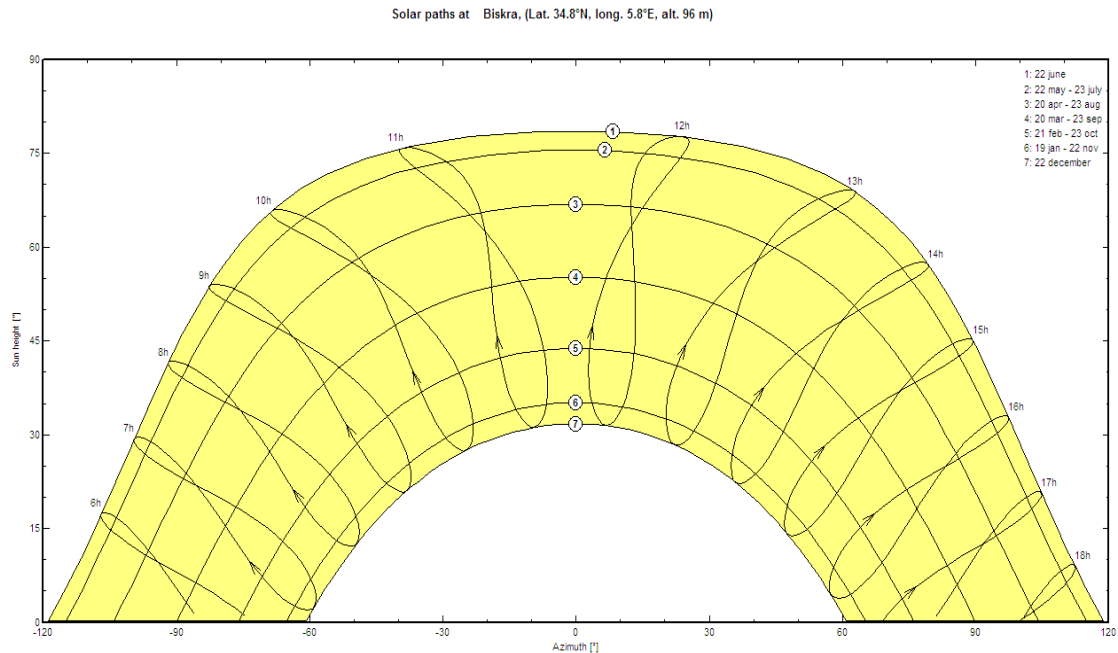


Figure III-2 : Trajectoire du soleil à Biskra (lat. 34,8°N Long. 5,8 °E)

III.3 Identification de la microcentrale :

III.3.1 But du travail :

L'objectif du présent travail est d'étude les performances d'un système PV connecté aux réseaux du laboratoire LARHYSS – équipe pompage PV de l'université de Biskra. [28]

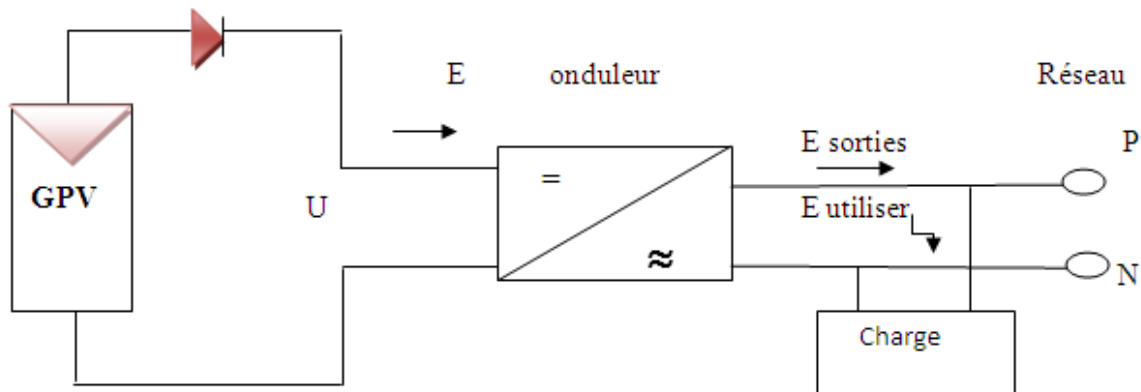


Figure III-3 : schéma synoptique d'une microcentrale

III.3.2 Présentation du système :

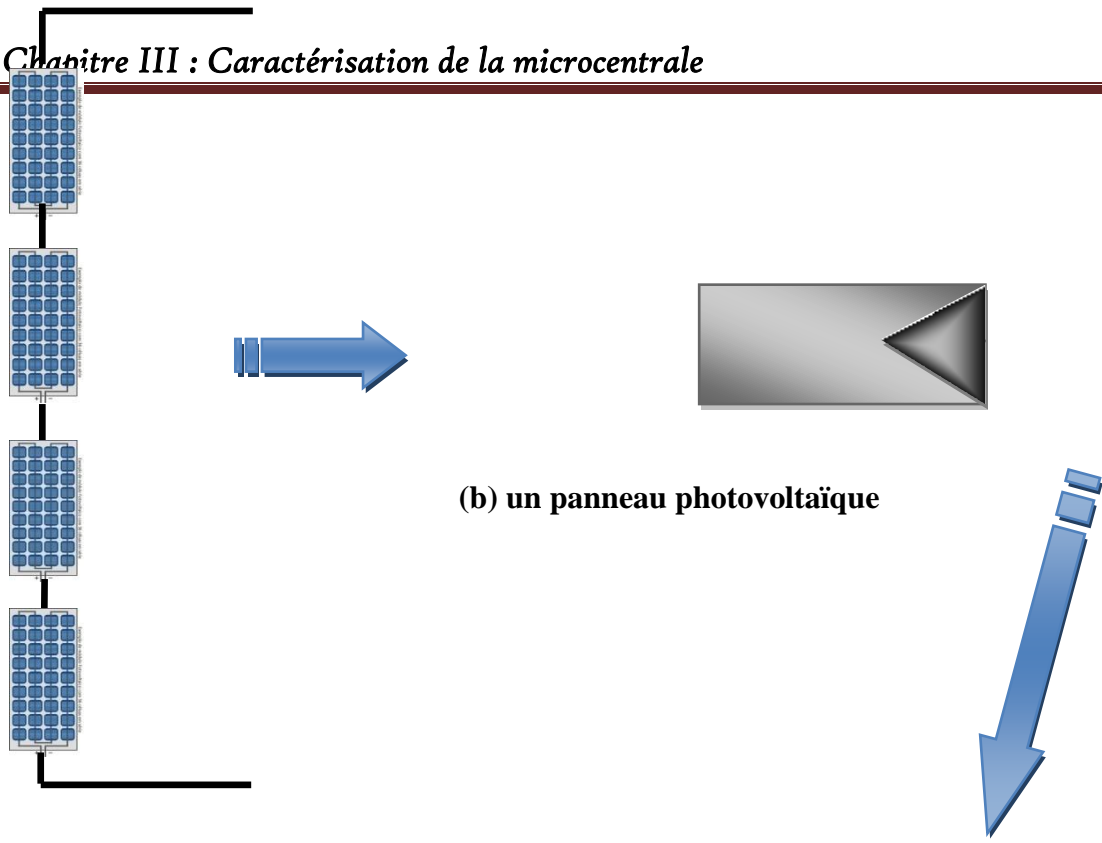
Le système étudié est composé de :

- ✓ Un champ PV formé de 40 modules solaire ALPV85-25 M-36
- ✓ Un onduleur INGECON Sun 5
- ✓ Deux Armoire un en amont, l'autre en aval avec éléments de sécurité et de comptage
- ✓ Câblages
- ✓ Une centrale d'acquisition de données pilotée par un PC.

III.3.3 Etude des performances des éléments du système :

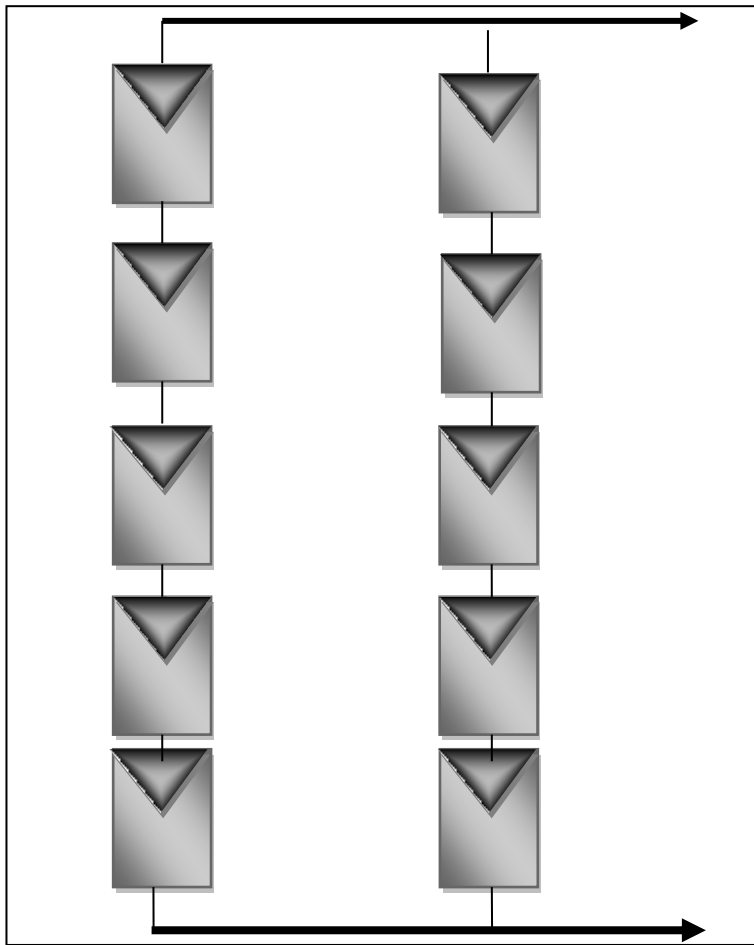
III.3.3.1 Le générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque est constitué de 40 modules de type **AL PV85-25M-36** à base de silicium monocristallines. Le montage et le branchement des modules en générateur (tension et courant) sont conditionnés par les paramètres électriques du convertisseur DC/AC. Ainsi, ils sont montés en 10 panneaux solaires de 4 modules chacun. Ces panneaux sont montés à leur tour en deux branches parallèles dont chacune comporte 5 panneaux en série, (Figure III-4). [28]



(b) un panneau photovoltaïque

(a) Ensemble de 4 modules montés en série



(c) champ photovoltaïque

Figure III-4 : structure d'un champ photovoltaïque

III.3.3.2 Identification du module photovoltaïque :

Le choix de module PV a tombé sur le module **ALPV85-125M-36** de la société Algérienne **ALPV** fabrique des modules de technologie et puissances variées.

Ses modules solaires à base de cellules polycristallines ou monocristallines vont du **80 W** au **280 W** suivant la demande.



Figure III-5 : le module AL PV85-25M-36

Les modules fabriqués à partir de composants de grande qualité sont parfaitement fiables et garantissent la rentabilité du capital investi. Durant le cycle de fabrication, les modules solaires subissent un contrôle de qualité rigoureux garantissant l'acquisition d'un produit. Les modules PV peuvent être utilisés aussi bien en systèmes connectés au réseau qu'en systèmes autonomes.

-Ne nécessitant aucune maintenance.

-Résistance aux conditions météorologiques variées.

-La durée de vie jusqu'à 25 ans.

La tolérance positive des modules (0/+5w), garantie la réception d'une puissance correspondant au montant investi, voire supérieur.

III.3.3.3 Application du modèle :

On considère **ALPV85-25M-36**. Par référence à la fiche Constructeur, les paramètres d'un module sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III-2 : Caractéristique des modules ALPV85-25M-36. Sous les conditions de test standards (STC) 1000w/m² ; 25° ; AM 1,5.

Fabricant	ALPV
Modèle	ALPV85-25M-36
Type de cellules	Monocristallin, 152x125 mm
Nombre de cellules	36 cellules
Puissance maximale (Pmax)	85 W
Tension en circuit ouvert (Voc)	22.21 V
Courant de court-circuit (Isc)	5.45 A
Tension à Pmax (Vmp)	17.49 V
Courant à Pmax (Imp)	5.06 V
Tension maximale du système	700 V
Dimensions	1225x545x35
Poids	8.5 Kg
Rendement(%)	13.65

III.3.4 convertisseur DC/AC""Ingecon® Sun Lite 5"" :

L'élément essentiel dans les installations solaires couplées au réseau est l'onduleur, appelé aussi convertisseur DC/AC à injection dans le réseau. La fonction principale de l'onduleur est de convertir le courant produit par le générateur solaire en un courant alternatif sinusoïdal, qui est injectée dans le réseau électrique basse tension.

Le convertisseur utilisé dans le cadre de ce travail est le Ingecon® Sun Lite 5 [28]. Le circuit électronique du convertisseur est alimenté par le réseau électrique, ce qui permet le démarrage automatique après un temps de l'ordre de 30 s. Cette technique intègre une fonction de sécurité.

En effet, dans le cas d'une coupure du réseau pour intervention en maintenance, le convertisseur est hors d'utilisation, ce qui bloque toute injection non contrôlée dans le réseau.

Le circuit électronique de l'onduleur Ingecon® Sun Lite 5 est composé de deux ensembles

Le MPP-Tracker est un circuit de commande et de recherche du point de puissance maximale, afin d'extraire du générateur photovoltaïque, le maximum d'énergie possible. Le second

ensemble est la véritable partie de l'onduleur qui doit convertir la puissance de courant continu en courant alternatif.

Les principales caractéristiques du choix des onduleurs couplés au réseau sont les suivantes :

- la puissance nominale
- la plage de la tension d'entrée
- le principe de conversion
- le rendement.

III.3.4.1 Description de l'appareil "Ingecon® Sun Lite 5" : [29]

La compatibilité entre les onduleurs Ingecon® Sun Lite avec transformateur AC d'isolement galvanique et les différentes technologies de modules photovoltaïques existant sur le marché permettent d'obtenir une plus grande souplesse au moment de dimensionner une installation photovoltaïque.

Leur carcasse en acier inoxydable permet leur installation à l'intérieur comme à l'extérieur et de supporter des températures extrêmes. Ils sont équipés d'un système avancé de suivi du maximum de puissance (MPPT) pour extraire le maximum d'énergie du champ photovoltaïque. Pour faciliter l'installation, ils disposent de connecteurs rapides pour la partie DC, AC et communications.

Les onduleurs Ingecon® Sun Lite ont été élaborés avec des composants dont la durée de vie utile se prolonge au-delà de 20 ans. Ils sont couverts par une garantie standard de 5 ans, extensible jusqu'à 20 ans.

III.3.4.2 Protections :

Les onduleurs INGECON® SUN LITE incorporent les protections électriques suivantes :

- Isolement galvanique entre la partie DC et AC.
- Contre les polarisations inverses.
- Contre les surtensions à l'entrée et à la sortie.
- Contre les court-circuits et les surcharges en sortie.
- Contre les défauts d'isolement.
- Anti-îlotage avec découplage automatique.
- Sectionneur DC optionnel.



Chapitre III : Caractérisation de la microcentrale

Le tableau ci-dessous donne les principales caractéristiques de l'onduleur **INGECON SUN 5**

Tableau III-3 : Caractéristiques techniques d'onduleur

Modèle	Ingecon® Sun 5
Valeurs d'Entrée (DC)	
Plage puiss. champ PV recommandée	5,8 - 6,5 kWp
Plage de tension	125 - 450 V
Tension maximale DC	450 V
Courant maximum DC	33 A
MPPT	1
Valeurs de Sortie (AC)	
Puissance nominale AC	5 kW
Courant maximum AC	25,5 A
Courant maximum AC	230 V
Fréquence nominale AC	50 Hz
Distorsion harmonique	< 3% (THD)
Rendement	
Rendement maximum	95%

III.4 Principe de fonctionnement de la microcentrale :

Les modules PV sont raccordés en entrée de l'onduleur via un filtre qui élimine les interférences électromagnétiques et la tension d'entrée est amplifiée par un hacheur survolteur (convertisseur Boost) avec un pont d'IGBT convertit ensuite le courant continu (DC) fourni par le convertisseur DC/DC en courant alternatif (AC) dont le fondamental est à la fréquence de 50 Hz. Un filtre de sortie pour éliminer les harmoniques à hautes fréquences et obtenir une onde sinusoïdale et un filtre de sortie pour éliminer les harmoniques à hautes fréquences et obtenir une onde sinusoïdale. Un transformateur d'isolation qui permet la connexion au réseau. Le photovoltaïque raccordé au réseau fournit du courant électrique continu, de tension variable, via des panneaux solaires photovoltaïques. Ce courant est transformé par un onduleur en courant alternatif de fréquence, tension et phase adaptées aux caractéristiques du réseau, Dans ces onduleurs la commutation est naturelle. Elle est naturelle en ce sens que ce sont les

tensions alternatives du réseau et la connexion au réseau électrique est faite par un transformateur à tension triphasé.[28]

Le rendement de l'onduleur est la principale caractéristique qui renseigne sur les performances de cet équipement. Auparavant, on se contentait de demander le rendement à puissance nominale mais aujourd'hui, on exige aussi le rendement Européen.

Le rendement correspond au rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, il est exprimé en pourcentage. La puissance d'entrée délivrée par le champ photovoltaïque dépend du nombre de modules, de la puissance individuelle de chacun d'eux, de l'ensoleillement instantané et peut se trouver limitée par une trop forte température.

$$\eta (\%) = P_{\text{sortie}} / P_{\text{entrée}}$$

III.5 Performance énergétique du système PV avec injection dans le réseau :

La performance d'un système photovoltaïque avec injection dans le réseau est caractérisée par sa production annuelle d'énergie, rapportée au kWc, du générateur installé. Elle est exprimée en kWh/kWc.

Elle est fonction aussi bien du rayonnement solaire incident sur le site que de la qualité des composants du système comme le générateur photovoltaïque, caractérisé par sa puissance en Wc et le convertisseur DC/AC, par son rendement. Cette performance doit être relevée durant toute l'année.

III.6 Conclusion :

Ce chapitre a été dévoué pour caractériser la région de Biskra, avec une brève présentation sur le climat de cette ville, ensuite on fait une identification détaillée de microcentrale avec une description complète d'équipement, et les caractéristiques nécessaires de chaque dispositif (modules, onduleur ...).

Chapitre IV

Etude expérimentales

IV.1 Introduction :

L'emplacement géographique, la direction et l'inclinaison selon lesquels les panneaux sont posés jouent un rôle essentiel. La pollution atmosphérique également un impact considérable sur l'irradiation solaire qui pénètre les cellules.

Dans ce chapitre plusieurs teste sont menées afin d'étudier et comprendre le comportement de cette station PV. Comme indiqué précédemment, les teste et toutes actions nécessaires seront présenté dans l'ordre chronologique réel.

IV.2 l'effet de la pollution sur les performances d'un module :

On va étudier dans cette partie l'effet de la pollution sur le module PV, et la relation entre la pollution et la diminution de la production d'énergie électrique du centrale PV.



Figure IV-1 : les modules PV utilisés

Pour ce teste il faut prendre les mesures pour le système dans le cas où les modules sont nettoyés et dans le cas où ils sont pollués par la poussière est les gouttes d'eau et l'excrément des oiseaux. Nous disposons pour ce travail de quatre modules photovoltaïques identiques. Pour le dépôt de poussière nous utilisons 2 modules non nettoyé durant toute la durée de l'expérience les modules sont de marque ALPV85-125M-36 comportant chacun 36 cellules au silicium monocristallin. Pour les modules propres nous utilisons aussi 2 modules

de la même marque. On relèvera l'éclairement et une série de points de la courbe I/V partant de V_{co} ($I=0$) jusqu'à I_{cc} ($V=0$).

IV.2.1 Banc d'essai expérimental :

Les deux grandeurs (courant _ tension), dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique aux bornes du panneau Photovoltaïque [28]. Cette méthode est simple à réaliser, mais en même temps difficile de prendre les mesures des différentes grandeurs instantanément pour le même ensoleillement car la mesure peut durer quelque minute. Pendant ce temps l'éclairement peut changer et cela influe énormément sur la qualité de mesure. Pour cet essai on a utilisé l'oscilloscope **GDS-2204** qui est utilisé pour prendre les caractéristiques I-Automatiquement en suivant les procédures suivantes :

- Canal 1 – entrée tension
- Canal 2 – entrée courant
- Affichage – XY
- Stockage – figure et données numérique

Ainsi, avec une simple variation du rhéostat de charge entre les valeurs extrêmes, l'oscilloscope enregistre la courbe $I(V)$ et stock les valeurs correspondantes sous forme d'un fichier CSV et une image BMP -On prend l'image de courant à travers une résistance shunt (1Ω).

Nos expériences se sont déroulées pendant le mois de mars caractérisé par le passage des nuages rendant l'irradiation incidente parfois faible.

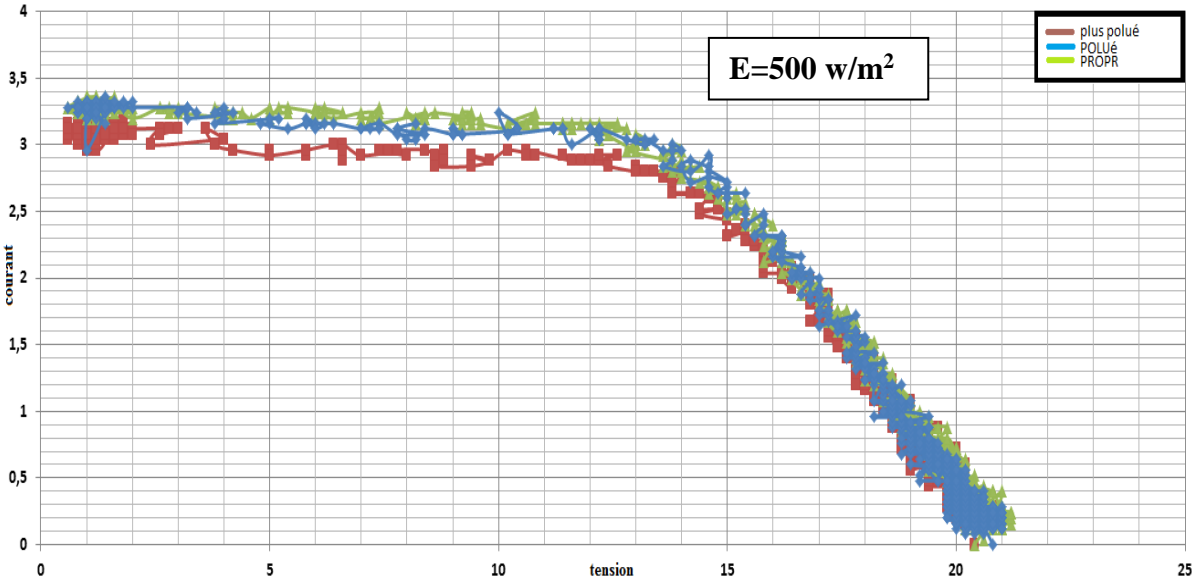
Quel que soit le temps de l'expérience (ciel dégagé ou nuageux), les courbes montrent clairement l'impact des dépôts de poussière sur les modules PV.

La figure ci-dessous montre les appareils utilisés dans cette manipulation.



Figure IV- 2 : Montage pour relever la caractéristique I/V on utilisant l’oscilloscope GDS-2204

IV.2.2 Relevé les caractéristiques d’essai a déférente éclairement



(a)

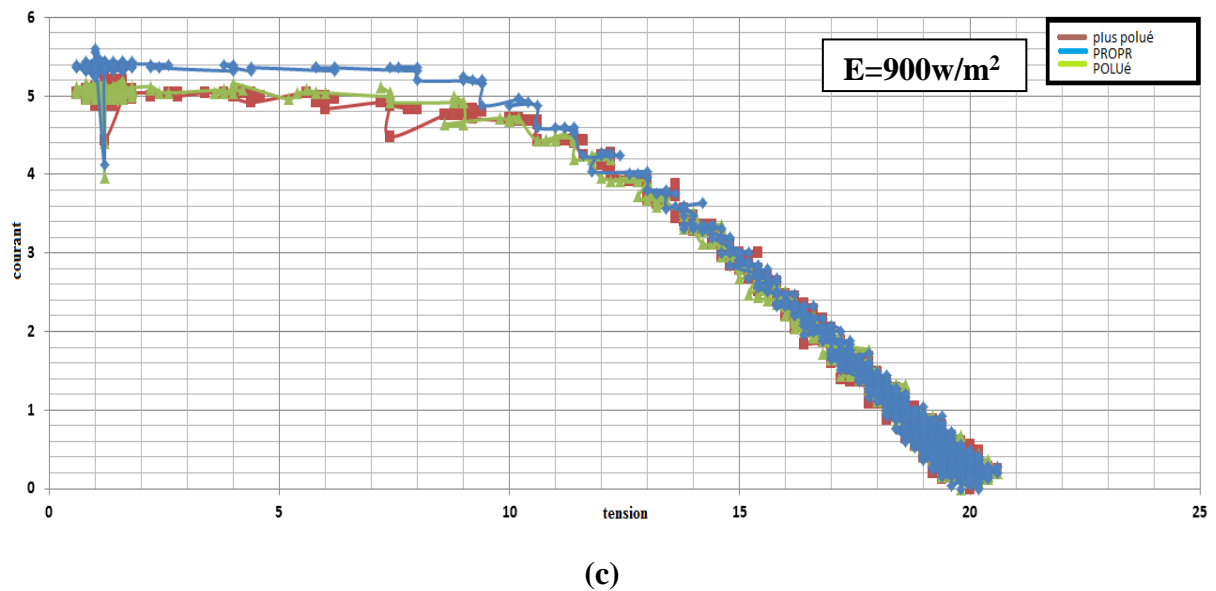
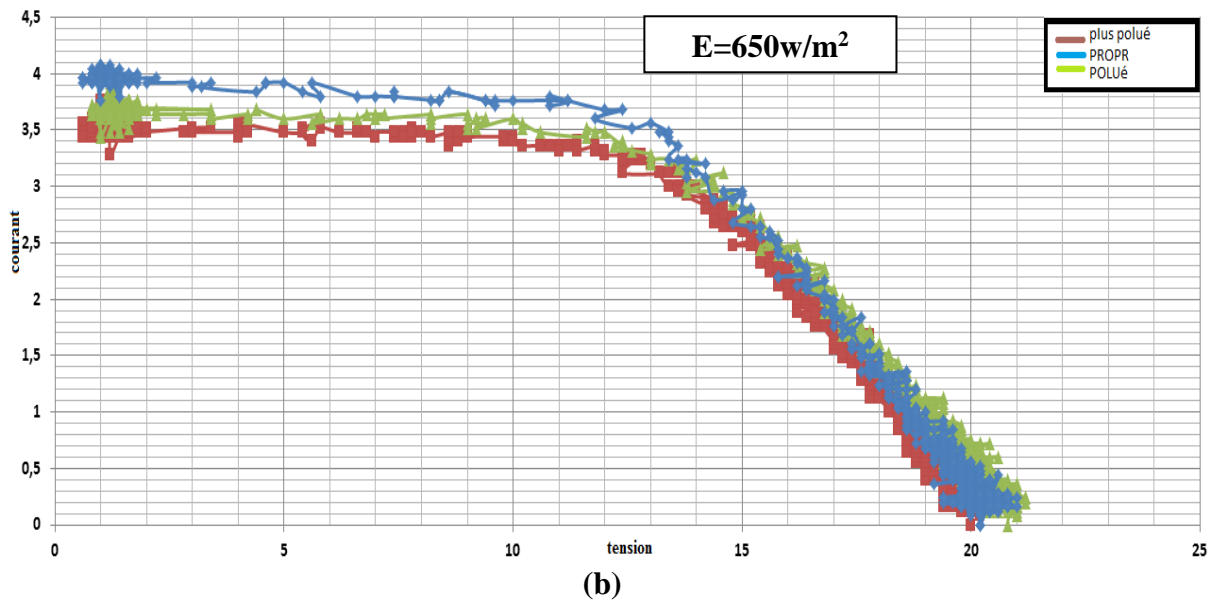
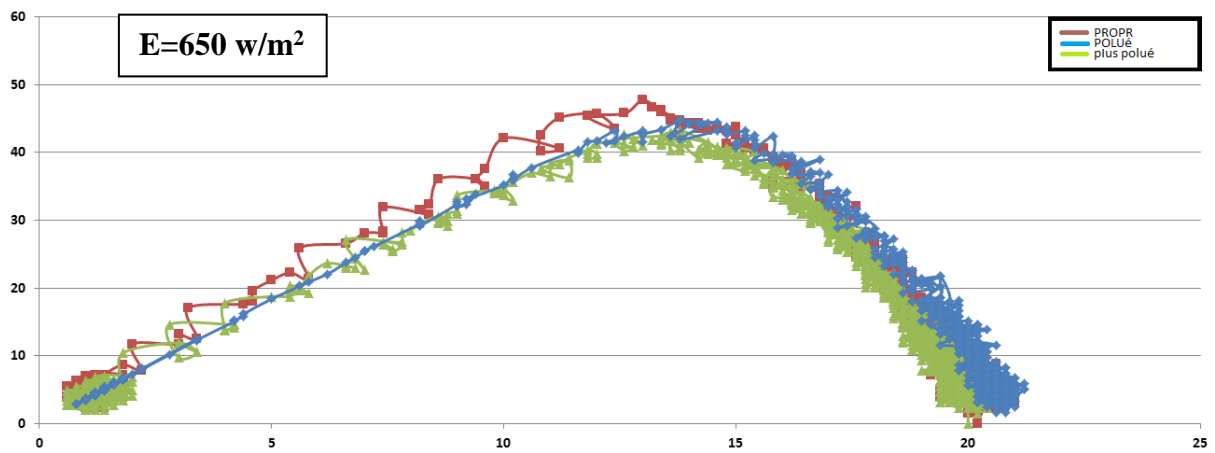


Figure IV-3 : caractéristique I/V pour différents éclairciment



IV.2.3 Interprétation des résultats :

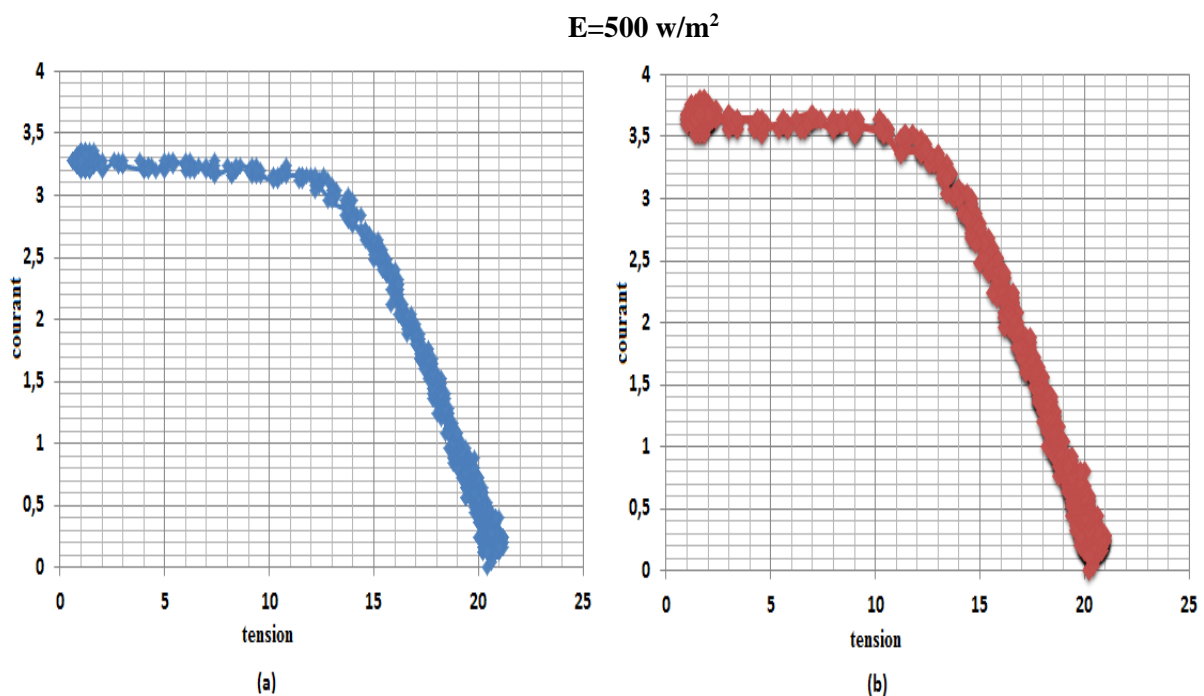
On observe que les valeurs de courant ont pris des valeurs maximales à l'état propre et diminuent que le degré de la pollution est augmenté dans cette étude on a envisagé deux degrés de pollution d'énorme successivement pollué et très pollué.

D'une manière générale, on constate que la puissance du module nettoyé est supérieure à celle du module non nettoyé. Cela s'explique par le fait que le module nettoyé reçoit la totalité de l'ensoleillement sur sa surface et que le module non nettoyé en perd une partie à cause de la déposition des grains de sable au la barre sur la surface. Egalement nous remarquons que les puissances moyennes des trois modules ne sont pas régulières.

IV.3 L'effet de la vieillesse sur la performance d'un module

IV.3.1 Relevé des caractéristiques IV/PV :

Dans cet essai, on essaye d'observer l'effet de la vieillesse sur les performances d'un module solaire pour ce faire, on a utilisé des modules solaires du champ PV soumis pendant plusieurs années aux conditions climatiques réelles et un module de même type stocké comme référence.



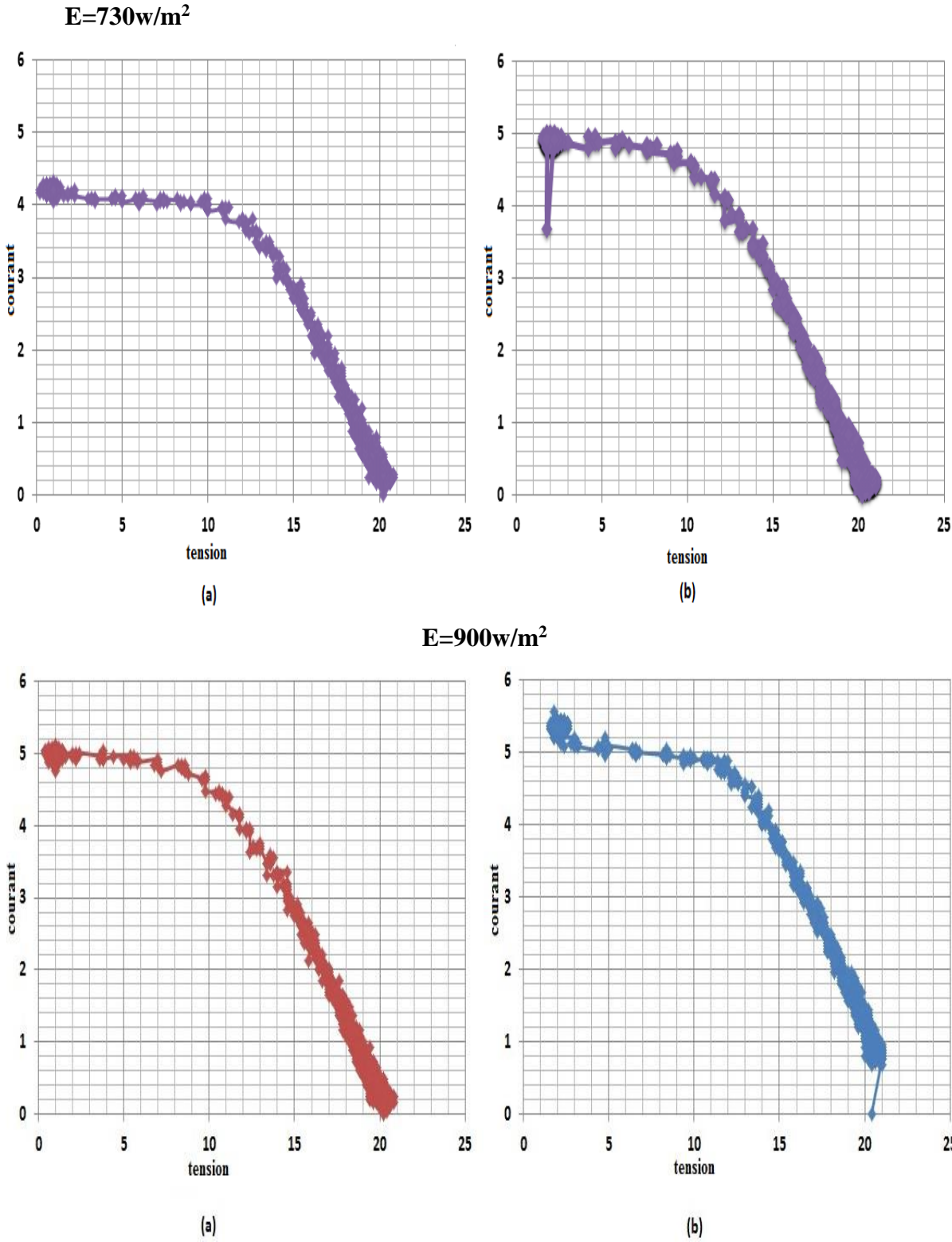
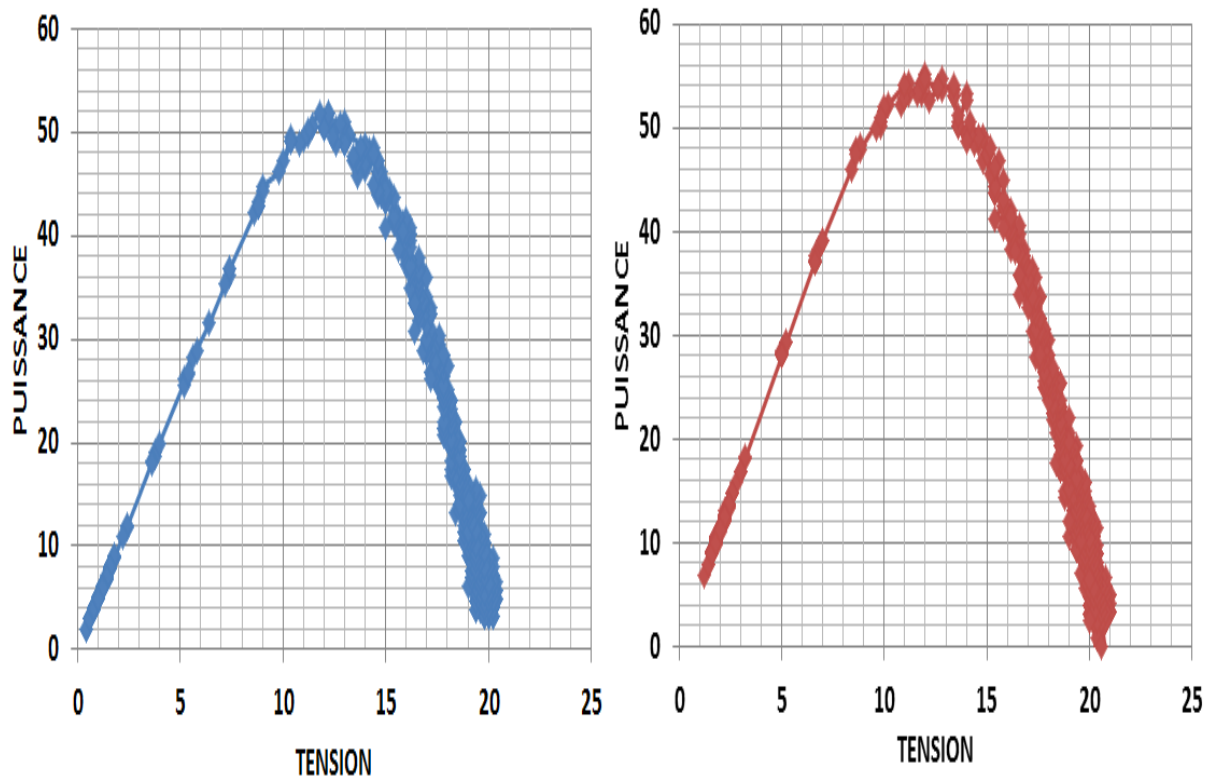


Figure IV-5 : les caractéristiques I/V à différent éclairment

$E=900\text{w/m}^2$



a) Module utilisé

b) module non utilisé

Figure IV-6 : les caractéristiques I/V à différent éclairément

IV.3.2 Interprétation des résultats :

D'après Ces courbes, l'effet de la vieillesse est bien évident sur les modules solaires. Cela est bien exprime sur la partie gauche de chaque figure I/V aussi la courbe de la puissance montre la diminution de la puissance produit, on peut estimer cette diminution approximativement de 7%. Cette valeur ne pas lions de celle mentionnée de la littérature que précise une diminution de 1% chaque année

En réalité, une baisse de rendement se produit au fil du temps sur presque toutes les installations photovoltaïques. Des circonstances météorologiques, des pannes mécaniques et des problèmes électriques fournissent une dégradation d'efficacité.

IV.4 Relever des performances de la station photovoltaïque :

Pour étudier les performances énergétiques de la station, On a relevé les valeurs de courant et tension à l'entrée et la sortie de l'onduleur (V_{DC} , I_{DC}/V_{AC} , I_{AC}), l'énergie injectée (Wh_j), L'éclairement E , les mesures sont fait à 15 min d'écart.

Tableau III-4 : les résultats des mesures effectuées le : 08/05/2017

temps	IAC (A)	VAC (V)	P-AC (W)	IDC (A)	VDC (V)	P-DC (W)	Psal (w)	E (W/m ²)	E inj	rendement (%)
11 :15	8,95	224	2005	7,05	296	2087	1984	730	1967	96,07
11 :30	9,57	224	2143,68	7,61	304	2313,44	2113	750	1968	92,66
11 :45	9,55	224	2228,8	7,90	301	2377,9	2377,9	800	1969	93,72
12 :00	10	224	2240	8,12	299	2427,88	2236	823	1969	92,26
12 :15	10,01	226	2262,26	8,13	293	2382,09	2250	825	1970	94,96
12 :30	10,06	225	2263,5	8,44	292	2464,48	2274	850	1971	93,84
12 :45	10,2	225	2295	8,3	297	2465,1	2282	850	1971	93,09
01 :00	10,15	225	2283,75	8,3	293	2431,9	2273	845	1972	93,90
01 :15	10,09	224	2260,16	8,3	294	2366,7	2241	840	1973	95,49
01 :30	9,86	226	2228,36	8,05	294	2399,07	2222	825	1973	92,88
01 :45	9,80	225	2205	8,16	295	2395,4	2224	810	1974	92,05
02 :00	9,58	225	2155,5	8,12	299	2320,24	2130	790	1974	92,89
02 :15	9,26	223	2064,98	7,76	295	2206,6	2051	760	1975	93,58
02 :30	9,19	223	2049,37	7,48	303	2187,66	2038	750	1975	93,67
02 :45	8,41	223	1875,43	7,22	301	1947,47	1867	710	1976	96,30
03 :00	7,78	223	1742,72	6,47	302	1839,18	1730	610	1977	94,75
03 :15	7,23	224	1619,52	6,09	304	1723,68	1609	560	1977	93,95
03 :30	6,51	227	1477,77	5,67	311	1573,66	1467	430	1978	93,90
03 :45	5,94	230	1366,2	5,06	309	1424,49	1347	400	1978	95,90
04 :00	5,26	230	1209,8	4,61	318	1275,18	1195	395	1978	94,87
04 :15	4,70	231	1085,7	4,01	314	1161,8	1073	390	1979	93,44
04 :30	3,8	232	881,6	3,70	316	925,88	871	350	1979	95,24
04 :45	2,83	230	650,9	2,93	316	679,4	631	275	1979	95,80
05 :00	2,61	230	600,3	2,15	314	615,44	575	250	1979	97,53
05 :15	2,18	230	501,4	1,96	310	514,6	490	225	1979	97,43
05 :30	2	230	460	1,66	308	462	435	200	1979	99,56
05 :45	1,66	230	383,46	1,50	231	353,05	327	175	1979	93,06
06 :00	1,44	231	329,76	1,66	229	266,05	252	150	1979	93,67

Psal : puissance délivrée comme indiqué par l'onduleur.

P-DC et **P-AC** : les puissances coté DC et AC respectives calculer à partir des valeurs **I** et **V** affiché par l'onduleur.

E-inj : Énergie injecté

IV.4.1 Résultats de différentes grandeurs de la station photovoltaïque

La figure illustre l'allure de l'éclairement pour une journée du 10 /05/2017 qui prend la forme d'une cloche

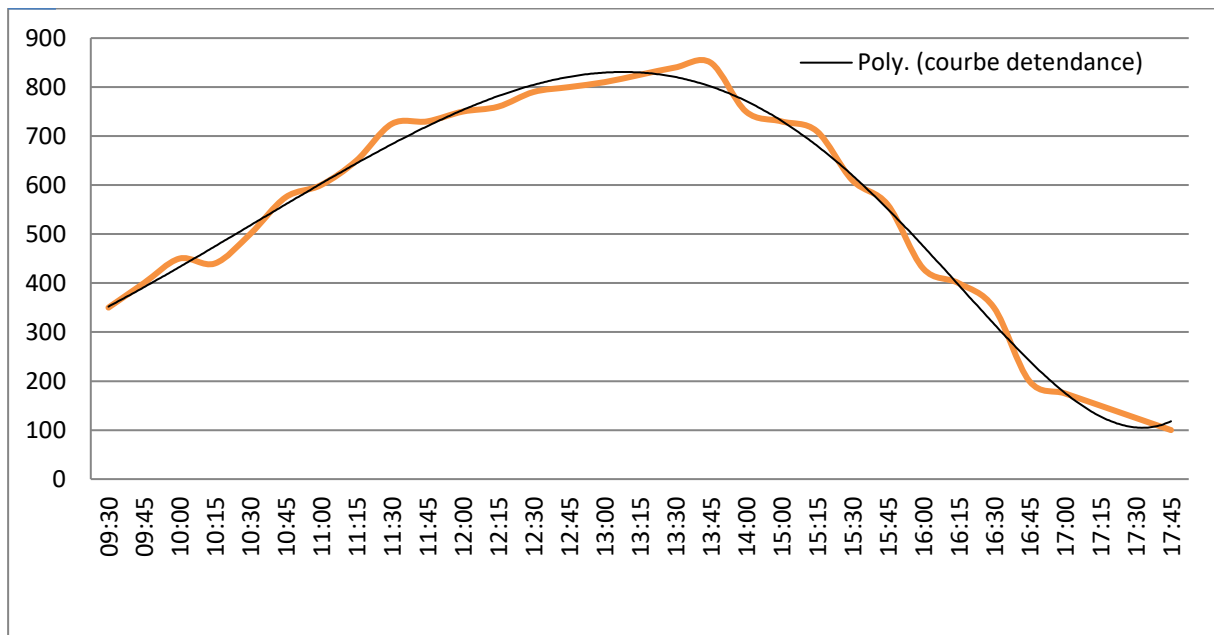


Figure IV-7 : Allure de l'éclairement pour une journée

La puissance à l'entrée (coté continue) et à la sortie (coté alternatif) sont présentés sur la figure, on voit bien que l'allure de la puissance reflète celle de l'éclairement de plus, la puissance à l'entrée est supérieure à celle de la sortie vu les pertes dans l'onduleur.

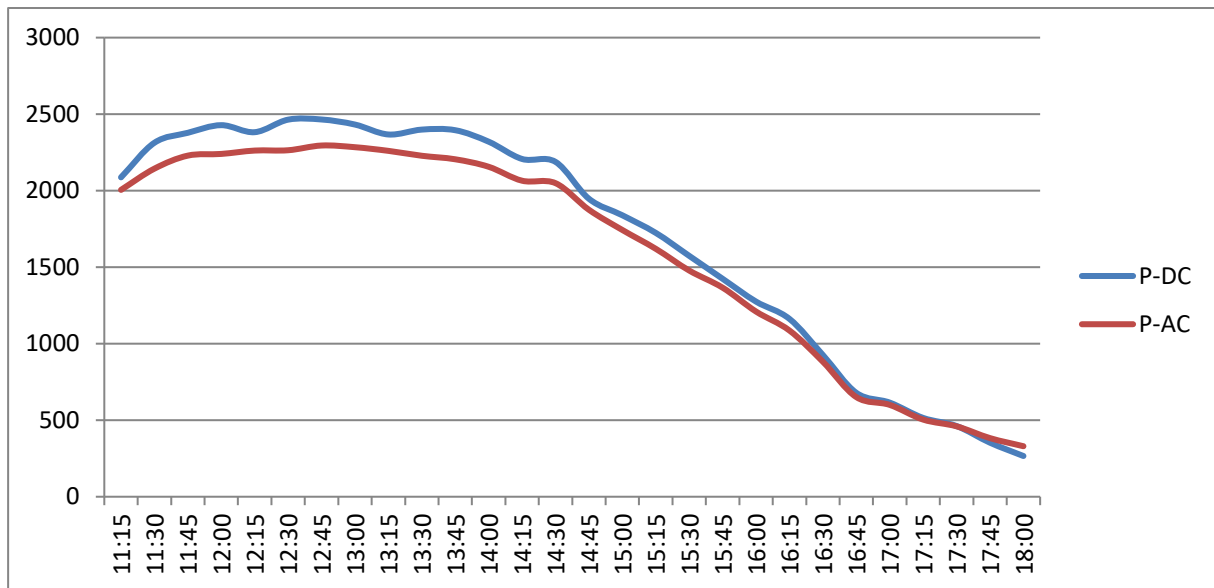


Figure IV-8 : Allures de la puissance (à l'entrée et à la sortie)

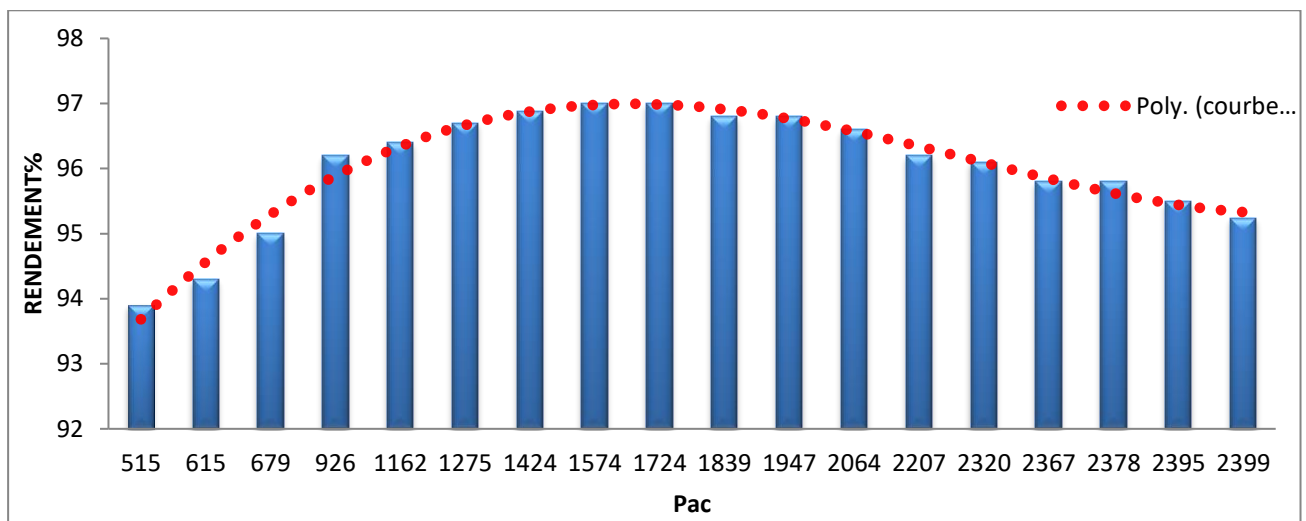


Figure IV-9 : Caractéristique de rendement de l'onduleur

La Figure IV-8 montre l'évolution du rendement de l'onduleur en fonction de la puissance. On remarque que le rendement diminue à fur et à mesure que la puissance injectée augmente. Les variations sont relativement limitées, entre 93 % et 97 %. Le rendement est relativement faible pour une puissance fournie proche de la puissance nominale. Cette chute du rendement, indiquée également dans le manuel technique, est due à des pertes internes. Cela correspond parfaitement avec les consignes du constructeur (Figure IV -9).

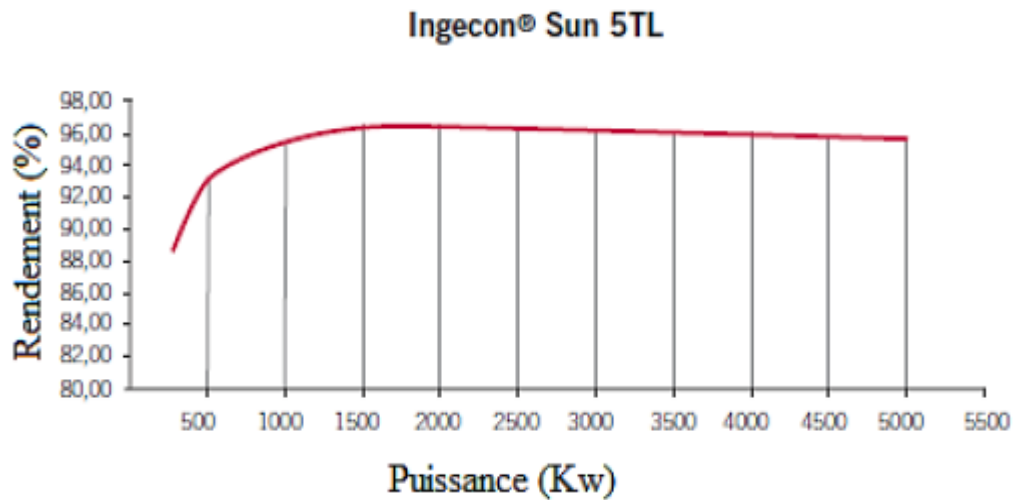


Figure IV-10 : Le rendement de l'onduleur INGECON-SUN 5

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre on a Relevé les différentes grandeurs du champ PV et celles de la station photovoltaïque. Les résultats obtenus montrent que la baisse de l'efficacité des panneaux solaires peut être due à différentes causes .tel que la pollution et la vieillesse.

De plus ces variations affectent le fonctionnement global de la station PV. Cette dernière est aussi affecté par la température de fonctionnement de la cellule solaire, avec l'augmentation de cette dernière, la puissance délivrée est réduite.

Conclusion générale :

Dans le cadre de notre travail qui a porté sur l'analyse d'un système photovoltaïque connecté au réseau de la microcentrale du site de Biskra, on s'est principalement intéressé à étudier les performances énergétiques de cette station vue la tendance croissante de l'utilisation de ce type d'énergie supposé la solution la plus prometteuse pour notre pays.

Ont proposé d'étudier les paramètres d'exploitation des modules PV et leur influence sur le rendement du système de production en mettant l'accent sur l'effet des conditions climatique tel que la pollution, l'ensoleillement, la température et la vieillesse.

La réduction de l'efficacité des modules photovoltaïques est due pas seulement aux pertes engendrées par les onduleurs, câblages, mais aussi à la variation d'éclairement pendant les journées nuageuses et l'effet des salissures (débris, poussières, ... etc.).

Dans le premier chapitre, nous avons donné un aperçu des possibilités des énergies renouvelables, en nous focalisant davantage sur les filières photovoltaïques et les technologies associées. Au cours de ce chapitre, nous avons étudié la source de production photovoltaïque, cela nous a permis de bien comprendre le principe de fonctionnement du système photovoltaïque, ainsi les différentes applications de ce système. Le chapitre suivant a mis en évidence les principales composantes d'un générateur photovoltaïque couplé au réseau à prendre en compte et on a fait une brève explication sur le principe de raccordement avec les options de vente en surplus et en totalité et on a citez quelque avantage et des inconvénients de système.

Le chapitre suivant a été dévoué pour caractérisée la région de Biskra, avec une brève présentation sur le climat de cette ville, ensuite on fait une identification détaillée de la microcentrale avec une description complète d'équipement, et les caractéristiques nécessaire de chaque dispositif (modules, onduleur ...).

Dans le dernier chapitre on a Relevé les différentes grandeurs du champ PV et celles de la station photovoltaïque. Les résultats obtenus montrent que la baisse de l'efficacité des panneaux solaires peut être due à différentes causes .tel que la pollution et la vieillesse.

De plus ces variations affectent le fonctionnement global de la station PV. Cette dernière est aussi affecté par la température de fonctionnement de la cellule solaire, avec l'augmentation de cette dernière, la puissance délivrée est réduite.

