

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université A.MIRA de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



Mémoire de fin de cycle

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en
Electrotechnique*

Option: Energies Renouvelables

*Etude et caractérisation d'un panneau
photovoltaïque type Condor*

A photograph of a solar panel installed in a green field under a blue sky with clouds.

Réalisé par:

- LOUZAZNA Brahim
- MADI Salim

Encadré par:

- Mme REKIOUA. D

Année : 2014/2015

Remerciements

On remercie ALLAH le Tout Puissant pour toute la volonté et le courage qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce travail.

On adresse chaleureusement toute notre gratitude à notre promotrice *Pr REKIOUA. D*, et aussi à *Mr MOHAMMEDI Ahmed* pour son aide précieux.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les membres de nos famille, notamment nos chers parents qui nous ont aidés et pour leur soutien précieux plus qu'on ne peut le dire durant les longues années de notre formation, ce qui leur fait valoir ma grande reconnaissance.

Gratitude à nos professeurs scolaires et universitaires qui nous ont apportés leurs précieux conseils et qui nous ont orientés, assistés et aidés pour y arriver.

On remercie l'établissement Condor Electronics, ainsi que tous les travailleurs qui nous ont aidés à passer ce stage dans les meilleures conditions, et on remercie tous les ingénieurs du service d'étude, aussi ceux de la ligne de production

Enfin, on remercie toutes les personnes, qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail, on les remercie tous.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mes très chères frères , Mourad , Nadjim et yacine

et a toute mes chères sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis et collègues

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

et la prospérité de l'humanité.

Salim

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mes très chères frères et sœurs Salah, Abderrahim,

Zahra, Naima et Athmane

A toute ma famille

A tous mes amis et collègues

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

et la prospérité de l'humanité.

Brahim

Sommaire

Introduction générale..... 1

Présentation de la SPA Condor Electronics

Historique 3
Situation géographique 3
Organisation de la société 4
Organigramme de l'unité de fabrication des panneaux photovoltaïques 4
Unité de Fabrication des Panneaux Photovoltaïques 5
Missions et objectifs de l'unité énergies renouvelables 5

Chapitre I

Etat de l'art sur le photovoltaïque

I-1 Introduction 6
I.2 Définition et Historique du photovoltaïque 6
I.3 Notions sur la Nature du rayonnement solaire..... 7
I.4 Différents types de rayonnement solaire 9
I.5 Les énergies renouvelables en Algérie 11
I.6 Générateur photovoltaïque..... 15
I.7 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque..... 15
I.8. La fabrication des cellules photovoltaïques..... 16
I.8.1 La silice (matière première d'une cellule photovoltaïque) 16
I.8.2 Extraction et purification du silicium 17
I.8.3 Obtention des lingots de silicium 18
I.9 Obtention des wafers photovoltaïques 18
I.8.4 Dopage du silicium 19
I.8.4.1 Dopage de type N..... 19
I.8.4.2 Dopage de type P 20
I.8.3. Les méthodes de dopage et optimisation 20
I.9 Structure d'une cellule PV 23
I.10 Les différentes technologies des cellules solaires..... 24
I.10.1 Silicium monocristallin..... 24

I.10.2 Silicium poly cristallin	24
I.10.3 Silicium amorphe (a-si).....	25
I.10.4 Cellule Tandem	25
I.10.5 Cellule multi-jonction	25
I.11 Caractéristiques.....	26
I.11.1 Caractéristique courant-tension	26
I.11.2 Caractéristique puissance-tension	26
I.12 Comparatif des différentes technologies	27
I.13 Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque	28
I.13.1 Avantages.....	28
I.13.2 Inconvénients	29
I.14 Avenir du photovoltaïque	29
I.15 Conclusion	29

Chapitre II

Procédés de fabrication des panneaux PV Condor

II.1 Introduction	30
II.2 Matières première	30
II.2.1 Les Cellules	30
II.2.2 EVA	32
II.2.3 Verre	33
II.2.4 Back_sheet	33
II.2.5 Boite de jonction	34
II.2.6 Cadre d'aluminium	35
II.2.7 Silicone	36
II.3 Fabrication d'un panneau photovoltaïque	36
II.3.1 Triage des cellules	37
II.3.1.1 Triage par caractéristiques.....	37
II.3.1.2 Trie visuel	38
II.3.1.3 Triage des cellules selon le schéma technique	39
II.3.2 Découpage de l'EVA et le back_sheet	39
II.3.3 Découpage des rubans de soudure	40
II.3.4 Soudure de la cellule	41
II.3.5 Ficelage des cellules	42

II.3.6 Lay-up	43
II.3.7 Contrôle Visual manuel	45
II.3.8 Test EL (Electroluminescence) Avant laminage... ..	45
II.3.9 Laminage	46
II.3.10 Test EL (Electroluminescence) Après Laminage	48
II.3.11 Cadrage et Montage de la boîte de jonction	48
II.3.12 Nettoyage.....	48
II.3.13 Détermination de la puissance maximale	49
II.4 Panneaux PV Condor	50
II.5 Conclusion	50

Chapitre III

Étude des caractéristiques d'un panneau PV Condor

III.1 Introduction	51
III.2 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	51
III.3 Caractéristique de la cellule photovoltaïque	53
III.4 Les zones de Caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque.....	54
III.5 Association des cellules photovoltaïques identiques	55
III.6 Les paramètres qui influent sur la caractéristique $I = f(V)$	57
III.6.1 Influence de l'éclairement.....	57
III.6.2 Influence de la température	57
III.6.3 Influence de la résistance série.....	58
III.6.4 Influence de la résistance shunt.....	59
III.7 Test de simulation des cellules aux niveaux condor	59
III.8 Tests avec FLASH Simulator.....	62
III.9 Conclusion.....	67

Chapitre IV

Etude des différent défauts d'un panneau PV

IV.1 Introduction.....	68
IV.2 Système photovoltaïque et ses défauts.....	68
IV.3 Défauts rencontré	69
IV.4 Trie de fissures cellulaires.....	71

IV.5 Description des images de test EL (électroluminescence).....	73
IV.6 Eventuelles endommagements	75
IV.6.1 Défauts de Cellule	75
IV.6.2 Défauts de soudure.....	75
IV.6.3 Défaut de verre	76
IV.6.4 Défaut de laminage	77
IV.6.5 Défaut d'encadrement	78
IV.6.6 Défaut de la boite de jonction	78
IV.7 Testes de qualités et de performance	79
IV.7.1 Définition	79
IV.7.2 Tests matières premières	79
IV.7.3 Tests produits finis	80
IV.8 Organigramme de la chaine de production des panneaux PV Condor	82
IV.9 Conclusion	84
Conclusion général	85
Bibliographie	87

Liste des figures

Figure 1 : Plan Maps du siège Condor	3
Figure 2 : Organigramme de la société	4
Figure 3 : Organisation de la société	4
Figure I-1 : Mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil.....	7
Figure I-2 : Représentation des spectres solaires AMO et AMI	8
Figure I-3 : - Composants du rayonnement solaire.....	9
Figure I-4 : L'atlas mondial de l'irradiation solaire	11
Figure I-5 : Les énergies renouvelables dans la production nationale	14
Figure I-6 : Evolution de la capacité installée des ER : 2013-2020 en MW	14
Figure I-7 : structure du parc de la production nationale en MW	15
Figure I-8 : Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque.....	16
Figure I-9 : Fonctionnement d'une cellule PV	16
Figure I-10 : Extraction du silicium à partir de la silice.....	17
Figure I.11 : Lingot de silicium.....	18
Figure I.12 : Obtention des wafers photovoltaïques	19
Figure I.13 : Dopage de type N	19
Figure I.14 : Dopage de type P.....	20
Figure I.15 : Décapage	20
Figure I.16 : Texturation	21
Figure I.17 : Dopage	21
Figure I.18 : Bords de plaque	21
Figure I.19 : Anti-reflet	22
Figure I.20 : Champ face arrière	22
Figure I.21 : Métallisation.....	22
Figure I.22 : Structure d'une cellule PV	23
Figure I.23 : photos d'une cellule monocristalline.....	24
Figure I.24 : photo de cellule poly cristallin	24
Figure I.25 : photo d'une cellule amorphe.....	25
Figure I.26 : Courbe $I=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	26
Figure I.27 : courbe $P=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	26
Figure II.1 . Cellules de type mono et poly cristallin	30

Figure II.2 : EVA	33
Figure II.3 : Verre	33
Figure II.4 : Back_sheet	34
Figure II.5 : Boite de jonction	34
Figure II.6 : Cadre d'aluminium	35
Figure II.7 . Silicone	36
Figure II.8 : Assemblage d'un panneau solaire	37
Figure II.9 : Triage par un trieur de cellules	38
Figure II.10 : Triage visuel des cellules.....	38
Figure II.11 : Triage selon le schéma technique	39
Figure II.12 : Découpage de l'Eva et le back_sheet	39
Figure II.13 : Découpage des rubans de soudure.....	40
Figure II.14 : soudage de la cellule.....	41
Figure II.15 : soudage série des cellules	42
Figure II.16 : panneau de transition	42
Figure II.17 : Placement des strings et ajustage des espaces	43
Figure II.18 : Fixation des cellules et soudage des bondes	44
Figure II.19 : Soudage des fils sortants et couvrir EVA 2	44
Figure II.20 : placement du back-sheet test de continuité	44
Figure II.21 : contrôle visuel	45
Figure II.22 : EL avant et contrôle visuel pas logiciel	46
Figure II.23 : laminage	46
Figure II.24 : Inspection visuel après lamination	47
Figure II.25 : préparation du silicone et placement du cadre.....	48
Figure II.26 : jointe de l'aluminium et placement de la boit a jonction	48
Figure II.27 : Nettoyage du module	49
Figure II.28 : simulateur de puissance	49
Figure II.29 : les modules PV Condor	50
Figure III.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	52
Figure III.2 : schéma équivalent simplifié.....	53
Figure III.3 : la courbe caractéristique $I = f(V)$, $P=(V)$ d'une cellule.....	53
Figure III.4 : Les différentes zones de Caractéristique $I(V)$ d'un générateur PV	55
Figure III.5 : caractéristique I-V des différentes associations des cellules	56
Figure III.6 : caractéristique P-V des différentes associations des cellules.....	56

Figure III.7 : Influence de l'éclairement sur le module.....	57
Figure III.8 : Influence de la température sur le module.....	58
Figure III.9 : L'influence de la résistance série R_s sur la caractéristique I (V.....	58
Figure III.10 : L'influence de la résistance shunt R_{sh} sur la caractéristique I (V.....	59
Figure III.11 : caractéristiques des cellules Classe Bests.....	59
Figure III.12 : caractéristiques des cellules Classe A.....	60
Figure III.13 : caractéristiques des cellules Classe B.....	60
Figure III.14 : caractéristiques des cellules Classe C.....	61
Figure III.15 : caractéristiques des cellules Classe Worse.....	61
Figures III.16: Module PV Condor type 36M.....	62
Figures III.17 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 36M.....	62
Figures III.18: Module PV Condor type 72M.....	63
Figures III.19 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 72M.....	63
Figures III.20: Module PV Condor type 36P.....	63
Figures III.21 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 36P.....	64
Figures III.22: Module PV Condor type 60P.....	64
Figures III.23 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 60P.....	65
Figures III.24: Module PV Condor type 72P.....	65
Figures III.25 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 72P.....	66
Figure IV.1 : cellules défailtantes classées worse.....	69
Figure IV.2 : Test EL d'un module sain.....	70
Figure IV.3 : Test EL des modules défailtants.....	70
Figure IV.4 : Test diélectrique.....	80
Figure IV.5 : Test de courant de fuite en milieu humide.....	80
Figure IV.6 : Test de continuité à la masse.....	81
Figure IV.7 : Test de tension d'impulsion.....	82
Figure IV.8: Test outdoor.....	82

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Rayonnement réfléchi.....	10
Tableau I.2 : Potentiel solaire	11
Tableau I.3 : Comparatif des différentes technologies cellule	27
Tableau III.1 : Caractéristiques électriques relevées du Flash test simulator	66
Tableau IV.1 : Trie des fissures cellulaires.....	72
Tableau IV.2 : Description des images du test EL	74
Tableau IV.3 : Eventuels endommagements sur les cellules	75
Tableau IV.4 : Eventuels endommagements provoqués par les mauvaises soudures	76
Tableau IV.5 : Eventuels endommagements sur le verre	77
Tableau IV.6 : Eventuels endommagements sur le laminage	77
Tableau IV.7 : Eventuels endommagements d'encadrement	78
Tableau IV.8 : Eventuels endommagements de boîte de jonction.....	99
Tableau IV.9 : Test matières premières	99

Introduction générale

Introduction Générale

Pour avoir une idée sur les différents problèmes rencontrés par les ingénieurs dans leur vie professionnelle l'idée est venue de faire des stages pratiques qui sont un premier contact de l'ingénieur avec la vie pratique ; le stage.

Le stage fait au sein de la société SPA CONDOR ELECTRONICS été avec une grande importance et avec une grande utilité cette unité est spécialisée par la fabrication des panneaux solaires qui est une grande révolution pour la production d'énergie, Ce dernier qui est un défi de grand importance pour les années à venir. Les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ainsi que les pays en voie de développement ne cessent de se multiplier. Cette production a triplé depuis les années 60 à nos jours. La totalité de production mondiale d'énergie provient de sources fossiles.

La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. En plus la consommation excessive de stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique, sont des solutions prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire.

On entend par énergie renouvelable, des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les Energies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée.

Le rayonnement solaire est reparti sur toute la surface de la terre, sa densité n'est pas grande et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole. Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Un tel système se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

Dans ce mémoire nous allons faire la caractérisation et l'étude des panneaux photovoltaïques ainsi que la procédure de fabrication de ces derniers au sein de l'SPA CONDOR ELECTRONICS (unité de fabrication des panneaux photovoltaïques) situé à la zone industrielle de bordj Bou Arreridj, aussi on va voir les différentes matières premières.

Nous avons concentré nos efforts sur la conception et la fabrication des Modules photovoltaïques Condor, et le développement des techniques et du matériel de fabrication nécessaires d'un tel module, dans un environnement de production à haut volume.

Dans le premier chapitre, nous rappelons le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et l'état de l'art sur l'énergie solaire, aussi on a fait un survol sur les différentes étapes de production des cellules photovoltaïques.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, on a présenté les matières premières de ce qui constitue un module photovoltaïque et les différentes techniques de fabrication, en montrant ainsi les divers points à vérifier lors de la production.

Et le troisième chapitre s'applique aux caractéristiques électriques d'une cellule et panneau photovoltaïque Condor, et étudier l'influence des divers paramètres sur les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance –tension (P-V).

Et en final, on a montré dans le quatrième chapitre, les différents éventuels défauts de matière première et ceux du produit fini. Et pour résumer le global de ce travail, on a fait un organigramme qui décrit de toutes les opérations de la chaîne de fabrication.

Présentation de la SPA Condor Electronics

❖ Historique

SPA CONDOR ELECTRONICS, est une société spécialisée dans la fabrication de (équipement électronique et électroménager, informatique, agro-alimentaire, emballage, matériaux de construction et commerce international.), ce qui l'a permis de brasser un gros volume d'affaires et de projets. Ses produits embarquent toute une technologie de pointe avec un niveau de qualité exceptionnelle L'énorme succès de ses produits sur le marché Algérien et bien au-delà de nos frontières, dénote de la très haute qualité de fabrication et l'efficacité de ses produits, qui peuvent à présent faire la fierté de l'Algérie, et ce, à l'aube de son adhésion à l'OMC (Organisation Mondiale Commerce). La société a été inaugurée en Avril 2002.

❖ Situation géographique

Le siège social de la direction générale condor est dans la zone d'activité de bordj Bou Arreridj (route de Msila), cette société compte huit unités de fabrication situées toutes a la zone d'activité parmi, ces unités on trouve l'unité de fabrication des panneaux photovoltaïques.

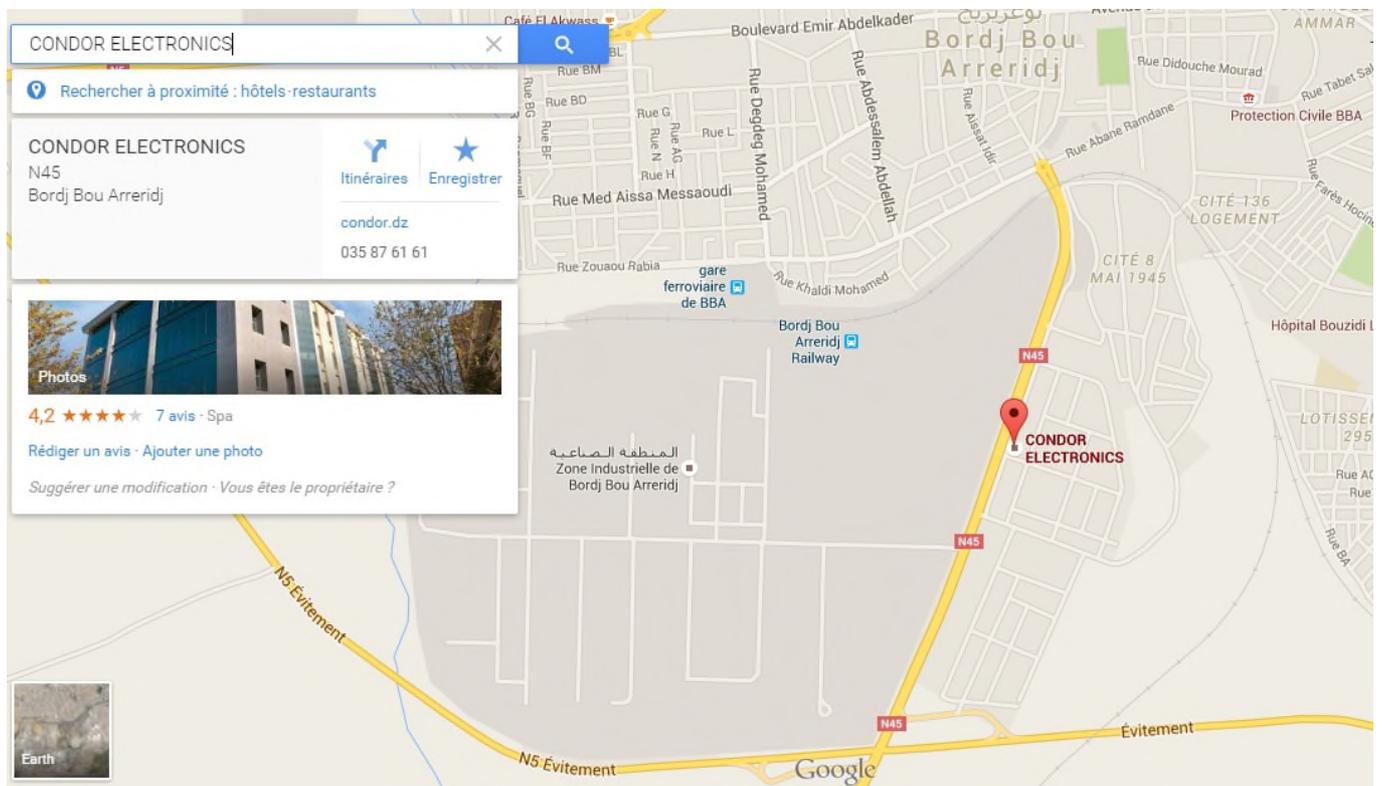


Figure 1 : Plan Maps du siège Condor

❖ **Organisation de la société**

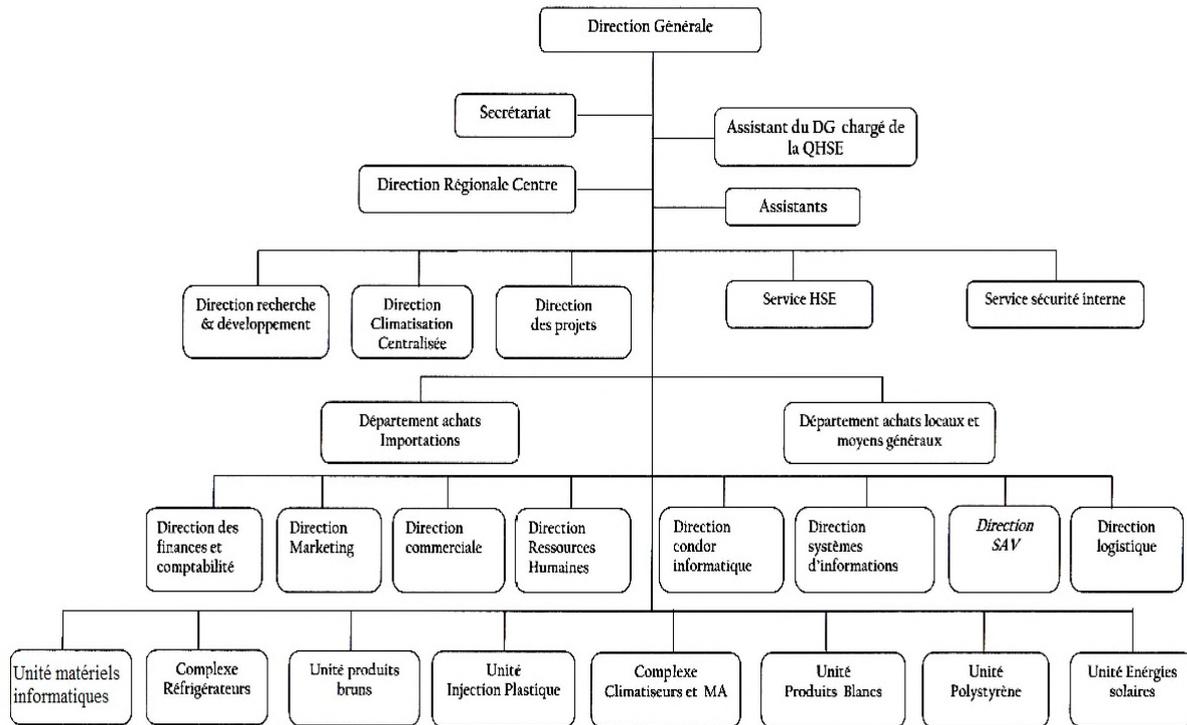


Figure 2 : Organigramme de la société

❖ **Organigramme de l'unité de fabrication des panneaux photovoltaïques**

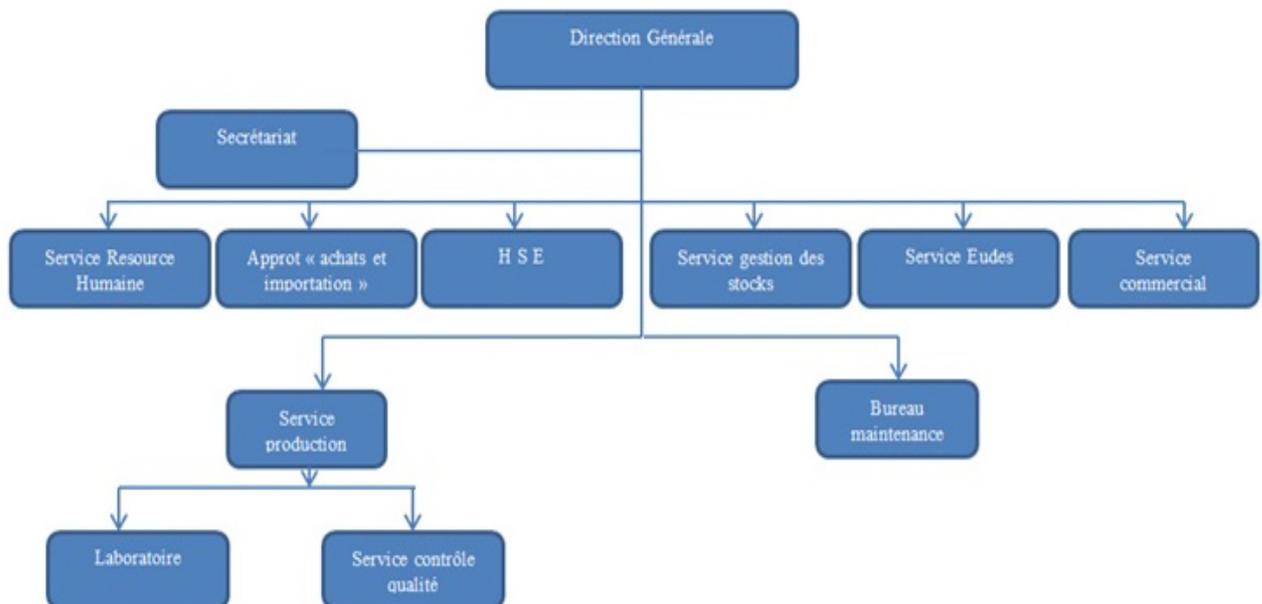


Figure 3 : Organisation de la société

❖ **Unité de Fabrication des Panneaux Photovoltaïques**

L'Unité des panneaux solaires a été créée en 2012, pour rôle de la fabrication et installation des panneaux photovoltaïques avec la technologie du Silicium mono et poly, dont la puissance peut varier entre 70W à 320 W.

Étendue sur une superficie de 5584m², pour 9072 m² de surface couverte, cette manufacture comprendra un RDC et deux étages dédiés à la fabrication, le stockage des matières premières et produit fini sans oublier l'administration.

Cette infrastructure d'une capacité nominale de production de 50 MW/An pour cycle de fonctionnement de 2x8 H et avec un effectif global d 200 personnes environ, qui est entré en activité depuis le mois de mai 2013.

❖ **Missions et objectifs de l'unité énergies renouvelables**

Les enjeux environnementaux des présents contextes, local et international expliquent le choix de Condor de s'ouvrir aux perspectives de développement durable en investissant pas moins de 938 MDA dans un projet « énergie renouvelable ». L'usine de Condor dédiée à l'énergie solaire est destinée à la fabrication de panneaux photovoltaïques avec la technologie du silicium dont la puissance peut varier entre 70W à 28 W (mono et poly). Ce produit sera destiné à un usage en industrie (stations solaires), aux habitations, au pompage agricole, à l'électrification rurale et à l'éclairage public.

Condor prendra en charge le dimensionnement des installations, la fabrication des panneaux solaires, l'installation et le service après vente.

Chapitre I

*Etat de l'art sur le
photovoltaïque*

I-1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis long temps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

Cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [1-3].

Pour comprendre le fonctionnement de cette énergie et en optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi le générateur solaire photovoltaïque et leurs performances.

I.2 Définition et Historique du photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque », souvent abrégé par les lettres PV, a été formé à partir des mots « photo », un mot grec signifiant lumière, et « Volta », le nom du physicien italien Alessandro Volta, qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque, c'est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité. Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité. Cette conversion, appelée effet photovoltaïque [4].

Quelques dates de l'histoire du photovoltaïque :

- 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

- 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie [5].

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux Etats-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé [5].

I.3 Notions sur la Nature du rayonnement solaire

Le soleil est constitué principalement de gaz, dont la fusion continue produit une quantité d'énergie phénoménale. La fusion des atomes d'hydrogène en atomes d'hélium permet en effet d'atteindre des températures de l'ordre de 20 millions de degrés Kelvin. Cette énergie se traduit par l'émission d'un rayonnement composé de longueurs d'ondes [6].

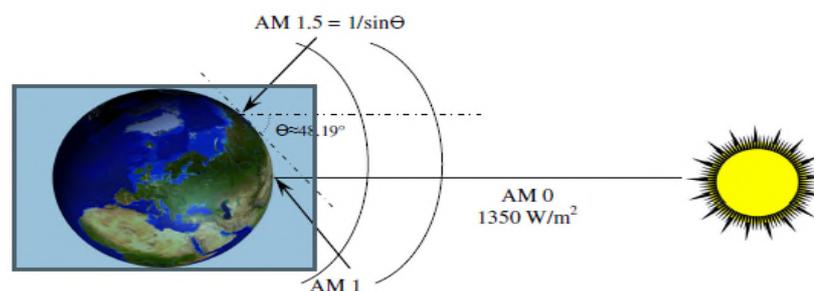


Figure I-1: Spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil [7]

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie E_{ph} , qui répond elle-même à la relation suivante
$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda} \quad (I.1)$$

Dans laquelle λ représente la longueur d'onde, h la constante de Planck et c la vitesse de la lumière. La distribution des radiations lumineuses émises par le soleil est déterminée par la température de la surface de ce dernier, à savoir 5800 K environ.

Les matériaux photovoltaïques réagissent différemment selon la longueur d'onde de la lumière à laquelle ils sont soumis. La connaissance de la distribution en longueur d'onde de l'énergie solaire s'avère donc primordiale. La figure I-2 représente le spectre solaire [8][7][9].

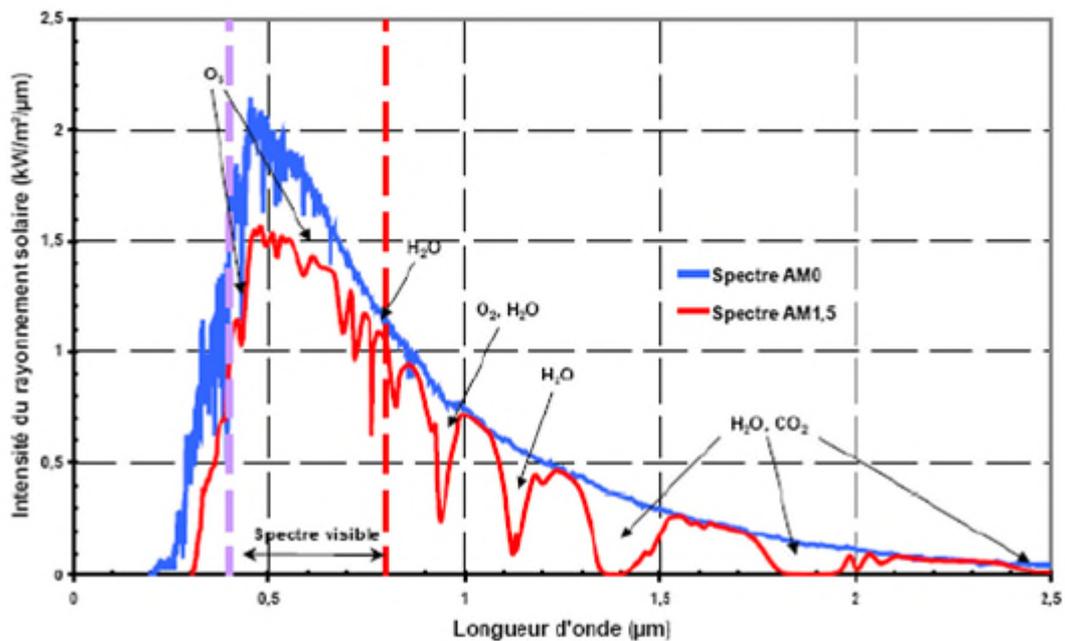


Figure I-2: Représentation des spectres solaires AM0 et AM1 [8]

L'énergie par unité de surface où irradiance, fournie par le soleil, hors atmosphère et sous incidence normale, est constante, voisine de $1,36 \text{ kW/m}^2$. Afin d'établir un système de référence, la notion d'air masse (AM) a été introduite. L'air masse prend en compte l'angle θ formé par le soleil par rapport au zénith.

AM0 correspond à l'irradiance hors atmosphère, AM1 correspond à une position du soleil au zénith du lieu d'observation. Le spectre AM1,5, correspondant à un angle du soleil de $48,19^\circ$ par rapport au zénith, est le plus couramment utilisé (fig. I-1). L'irradiance correspondante est arrondie à 1 kW.m^{-2}

La traversée de l'atmosphère induit une atténuation non négligeable de l'énergie incidente. Cette atténuation est due aux phénomènes d'absorption par les molécules de l'atmosphère (H₂O, H₂, CO₂, O₃ pour l'essentiel) [8].

I.4 Différents types de rayonnement solaire

Par ensoleillement, nous faisons référence à l'intégrale de l'irradiance solaire sur une période donnée [kWh/m²]. Par conséquent, le rayonnement tombant sur une surface horizontale est constitué d'un rayonnement direct, associé à l'irradiance directe sur la surface, d'un rayonnement diffus qui frappe la surface depuis l'ensemble du ciel et non depuis une partie spécifique de celui-ci et d'un rayonnement réfléchi sur une surface donnée par le sol et l'environnement (Figure 1.3). En hiver, le ciel est couvert et le composant diffus est donc supérieur au composant direct.

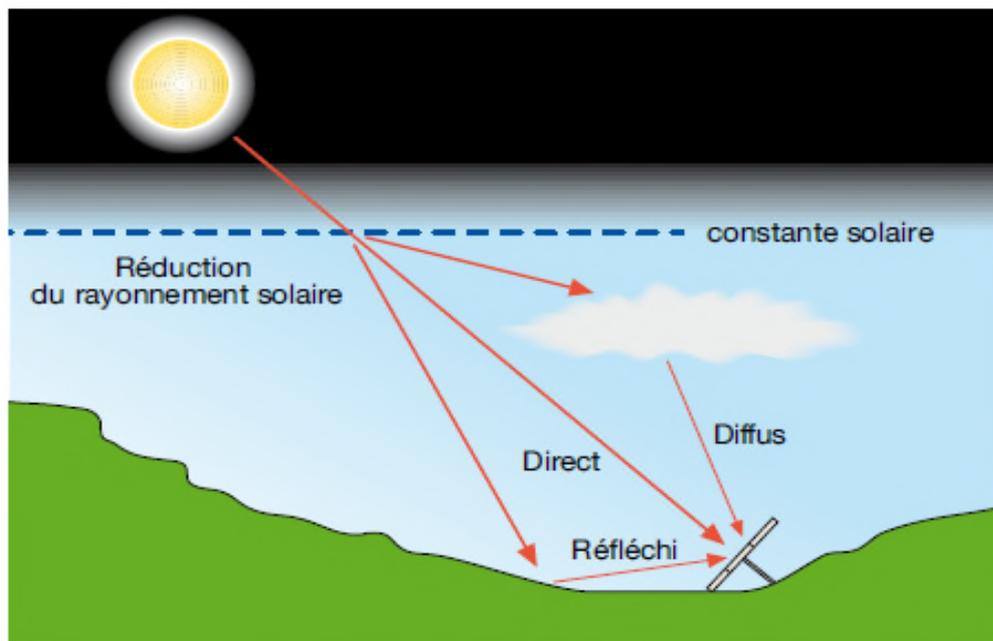


Figure I-3 : - Composants du rayonnement solaire

a) Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre [10].

Si I est le rayonnement direct.

Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement s'écrit : $I_h = I \sin h$ (I.2)

b) Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus (Dh) est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil [11].

c) L'albédo ou réfléchi

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

$$\text{L'albédo Alb} = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie recue}} \quad (\text{I. 3})$$

Il y a quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol:[11]

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0,03 à 0,1
Forêt	0,05 à 0,2
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Pierres et rochers	0,15 à 0,25
Champs et prairies	0,1 à 0,3
Sol nu	0,15 à 0,4
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Neige fraîche	0,8 à 0,95

Tableau I.1 : Rayonnement réfléchi

d) Rayonnement global

Le rayonnement global est le rayonnement émis par le soleil incident sur un plan donné, et c'est la somme du rayonnement direct et diffus, il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran [11].

Dans le cas d'une surface horizontale, le rayonnement global s'écrit:

$$G = I \cdot \sin h + Dh \quad (\text{I.4})$$

h: hauteur angulaire.

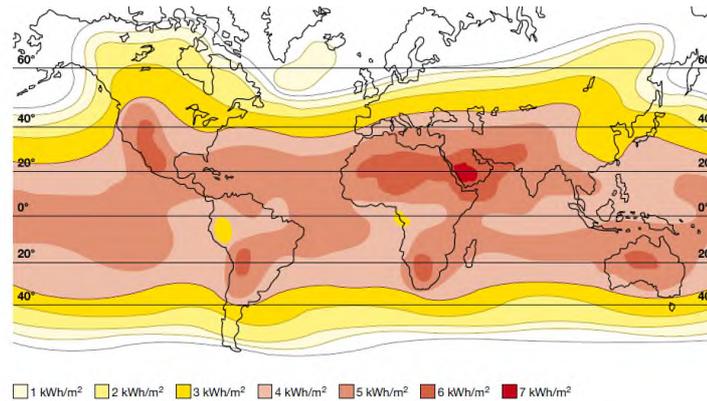


Figure I-4 : L'atlas mondial de l'irradiation solaire

I.5 Les énergies renouvelables en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde et en particulier de la région La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau 1 résume le potentiel solaire en Algérie [12].

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

Tableau I.2 : Potentiel solaire [12]

Dans notre pays, les énergies renouvelables n'ont pas connus le développement que permet leur disponibilité et qu'impose leur importance pour le développement économique et social.

Trois raisons principales plaident en faveur d'un développement des énergies renouvelables en Algérie :

-Elles constituent une solution économiquement viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du grand sud.

-Elles permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable, et de leur impact limité sur l'environnement et contribuent à la préservation de nos ressources fossiles,

-La valorisation de ces ressources énergétiques ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

-La loi sur la maîtrise de l'énergie de juillet 1999 affiche la volonté des pouvoirs publics pour une redynamisation de la politique énergétique et fixe un nouveau cadre juridique pour la gestion et l'orientation de la demande d'énergie à tous les niveaux de la chaîne énergétique⁴².

L'Algérie en particulier et les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit: 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque et 35 TWh/an pour l'éolien. Cette énergie renouvelable présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière et une solution durable à la crise actuelle de l'énergie, avec la hausse du prix du baril de pétrole, ce qui place les énergies renouvelables, ENR, (hydraulique, éolien, photovoltaïque, solaire thermique, géothermie, biomasse, biogaz et pile à combustible), au centre des débats portant sur l'environnement, et plus généralement le développement durable. Dans ce contexte vient le projet allemand DESERTEC «clean from desert» dans cette article, nous décrivons le potentiel algérien en matière d'énergie renouvelable surtout solaire et éolien et leurs intégration dans une vision de développement à travers plusieurs scénarios énergétiques mettant l'Algérie comme un noyau de production d'énergie renouvelable et son environnement surtout européen dont les études de la banque mondiale indique qu'il sera

obligé dans les années à venir d'importer son énergie du grand Sahara d'où vient l'initiative allemande pour exporter l'énergie solaire du grand Sahara à l'Europe.

L'Algérie a adopté en 2011 une stratégie ayant pour objectif de produire d'ici 2030, 40% d'électricité à partir de ressources renouvelables. Cette stratégie vise en outre à développer une véritable industrie du solaire, associée à un programme de formation et de capitalisation qui permettra, à terme, d'asseoir un savoir-faire efficient, notamment en matière d'engineering et de management de projets.

Un plan à long terme sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique a été adopté avec pour objectif, la mise en place de 22.000 MW de capacité installée entre 2011 et 2030, dont 12.000 MW pour couvrir la demande nationale et 10.000 MW pourraient être exportés, si des garanties d'achat à long terme et des financements extérieurs étaient sécurisés. Ce programme inclut la réalisation, d'ici 2020, d'une soixantaine de centrales solaires photovoltaïques et solaires thermiques, de fermes éoliennes et de centrales hybrides.

Sa mise en œuvre, placée sous l'égide du ministère de l'énergie et des mines, est ouverte aux opérateurs publics et privés.

Le solaire devrait atteindre d'ici 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité.

Malgré un potentiel assez faible, le programme n'exclut pas l'éolien qui constitue le second axe de développement prévoit également l'installation de quelques unités de taille expérimentale afin de tester les différentes technologies en matière de biomasse, de géothermie et de dessalement des eaux saumâtres par les différentes filières d'énergie renouvelable.

L'Algérie prévoit également l'installation de quelques unités de taille expérimentale afin de tester les différentes technologies en matière de biomasse, de géothermie et de dessalement des eaux saumâtres par les différentes filières d'énergie renouvelable [12].

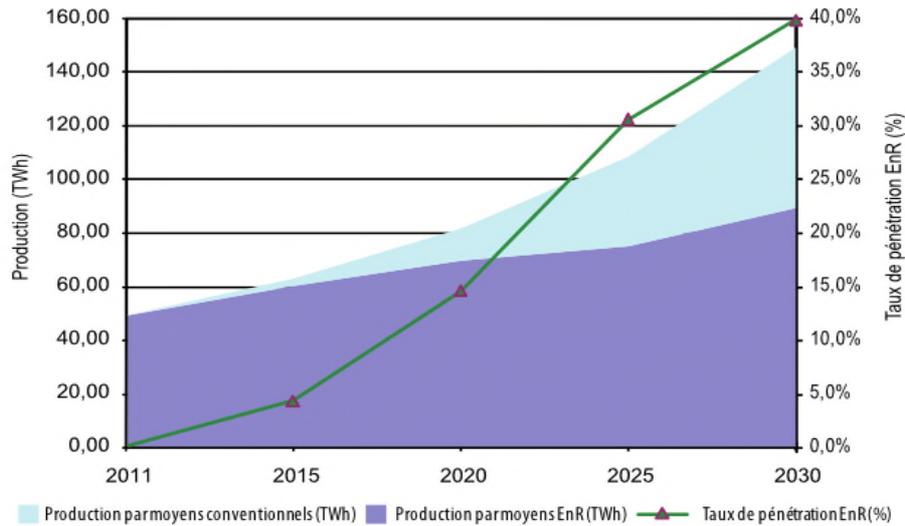


Figure I-5 : Les énergies renouvelables dans la production nationale [12]

La première étape du programme (2011-2013) sera principalement consacrée à la réalisation de projets pilotes pour tester les différentes filières technologiques. Les principales évolutions en matière de capacité installée sont résumées dans la figure suivante:

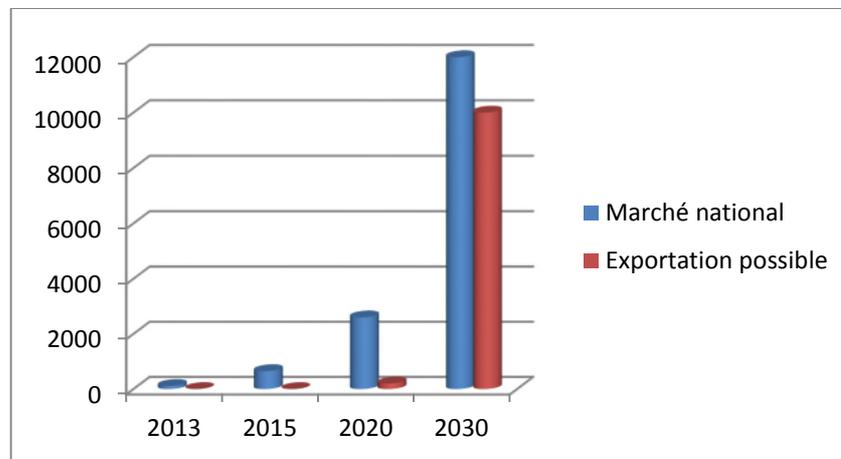


Figure I-6 : Evolution de la capacité installée des ER : 2013-2020 en MW

Source : CDER bulletin des Energies Renouvelables, N°20, 2011, pages 30,31.

- à l'horizon 2015, une puissance totale de près de 650 MW serait installée ;
- D'ici 2020, il est attendu l'installation d'une puissance totale d'environ 2 600 MW pour le marché national et une possibilité d'exportation de l'ordre de 2 000 MW ;
- D'ici 2030, il est prévu l'installation d'une puissance de près de 12 000 MW pour le marché national ainsi qu'une possibilité d'exportation allant jusqu'à 10 000 MW [12].

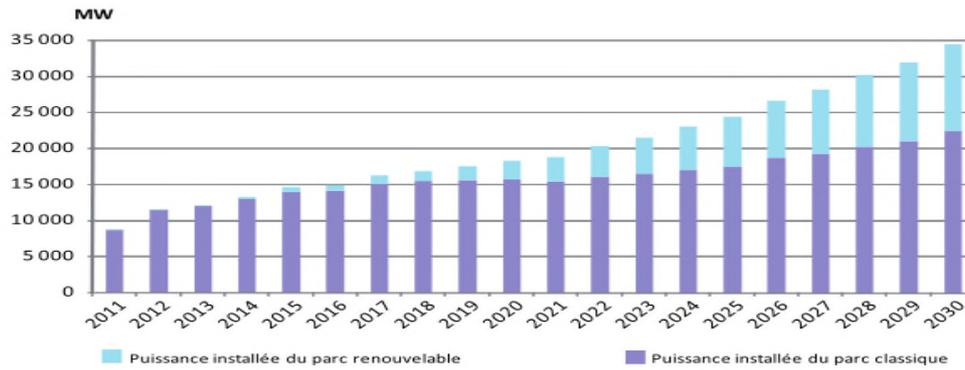


Figure I-7 : structure du parc de la production nationale en MW

I.6 Générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit.

I.7 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photoélectrique, c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charge (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est illuminé avec un rayonnement de longueur d'onde appropriée (l'énergie des photons doit être au moins égale à celle du gap énergétique du matériau), l'énergie des photons absorbés permet des transitions électroniques depuis la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électron-trou qui peuvent contribuer au transport du courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'on le polarise.

Si on illumine maintenant une jonction PN, les paires électron-trou qui sont créées dans la zone de charge d'espace de la jonction sont immédiatement séparées par le champ électrique qui règne dans cette région, et entraîné dans les zones neutres de chaque côté de la jonction.

Si le dispositif est isolé, il apparaît une différence de potentiel aux bornes de la jonction (photo tension) ; s'il est connecté à une charge électrique extérieure, on observe le passage

d'un courant alors qu'on n'applique aucune tension au dispositif. C'est le principe de base d'une cellule photovoltaïque [13].

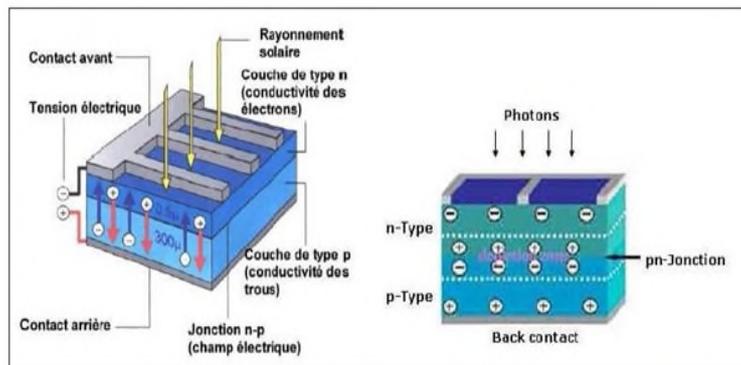


Figure I-8 : Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque

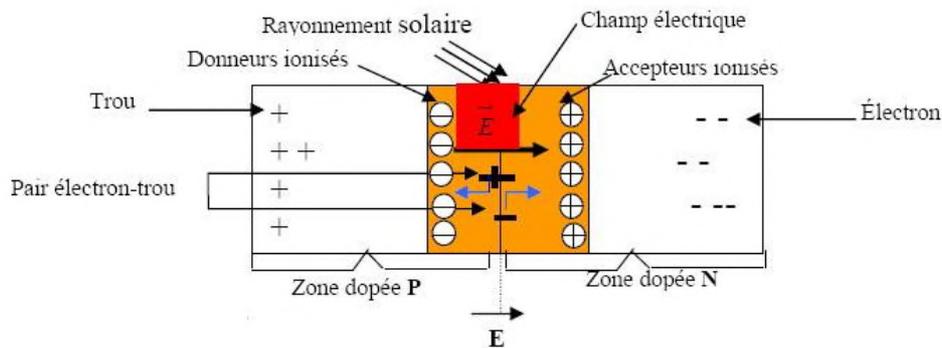


Figure I-9 : Fonctionnement d'une cellule PV

I.8. La fabrication des cellules photovoltaïques

I.8.1 La silice (matière première d'une cellule photovoltaïque)

La silice est un composé chimique nommé aussi dioxyde de silicium, de formule chimique SiO_2 . La silice est l'élément le plus répandu dans la croûte terrestre après l'oxygène. Il représente 25 % de la masse de la croûte terrestre [14].

La silice se présente sous la forme d'un minéral dur. Dans la nature, on la trouve en grande quantité dans :

- Les roches sédimentaires détritiques (sables, grès),
- Les roches métamorphiques, (schistes, gneiss, quartzites), les roches métamorphiques sont formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou de roches magmatiques sous l'action de

la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.

- Les roches magmatiques [14].

I.8.2 Extraction et purification du silicium

➤ Extraction du silicium à partir de la silice

Le silicium est un élément chimique de symbole Si. Il n'existe pas à l'état pur dans la nature. Le silicium est donc extrait de la silice (SiO_2) grâce à la réaction chimique simplifiée suivante : $\text{SiO}_2 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$.

Cette réaction se réalise dans un four à arc car elle nécessite de faire fondre la silice. La température du four peut atteindre 3 000 °C. La puissance du four peut aller jusqu'à 30 MW, afin d'enclencher les réactions chimiques.

En réalité, la réaction de réduction de la silice en silicium résulte d'un grand nombre de réactions chimiques intermédiaires. La puissance du four peut aller jusqu'à 30 MW, afin d'enclencher les réactions chimiques.

Après cette opération, le silicium est obtenu sous forme liquide. Sa pureté est de 98 %. Il faut le purifier encore de plusieurs ordres de grandeur afin d'obtenir un matériau adéquat pour les applications photovoltaïques.

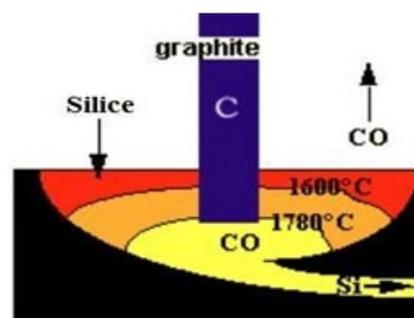


Figure I-10 : Extraction du silicium à partir de la silice

➤ Purification du silicium

Il s'agit, en partant du silicium métallurgique, de faire une purification chimique. De nombreux procédés ont été développés par les différents producteurs mondiaux de silicium.

Au final, le procédé de purification aboutit à l'obtention de lingots de silicium purifiés à 99.99 %.

I.8.3 Obtention des lingots de silicium

Une fois l'étape de purification terminée, vient l'étape de cristallisation du silicium liquide. Le produit issu de cette étape est un lingot de silicium à l'état solide. Il existe deux grandes méthodes de cristallisation. La première permet d'obtenir du silicium polycristallin (composé de plusieurs cristaux). La deuxième permet d'obtenir du silicium monocristallin (composé d'un seul cristal) [14].



Figure I.11 : Lingot de silicium

I.9 Obtention des wafers photovoltaïques

Les lingots cylindriques (silicium monocristallin) ou parallélépipédiques (silicium polycristallin) de silicium obtenus à l'issue de l'étape de solidification sont ensuite sciés en fines plaques de 200 micromètres d'épaisseur qui sont appelées « wafers » (en anglais, « wafer » signifie « galette »). La coupe des lingots est effectuée par une scie à fil.

Compte-tenu de la faible épaisseur des tranches à découpées (300 μm), le principal problème du sciage est la perte de découpe. Afin de minimiser ces pertes, la solution technique retenue est la scie à fil. En effet, la perte de découpe (kerf) typique des scies à fil est de 200 μm à 240 μm , ce qui représente 55% de perte en moins par rapport aux scies à diamètre intérieur (perte de découpe de 310 μm à 350 μm).

Avec une scie à fil, il faut donc 570 μm de silicium pour produire une tranche de 350 μm . L'étape du sciage représente un élément déterminant dans le coût de la production des cellules photovoltaïques.

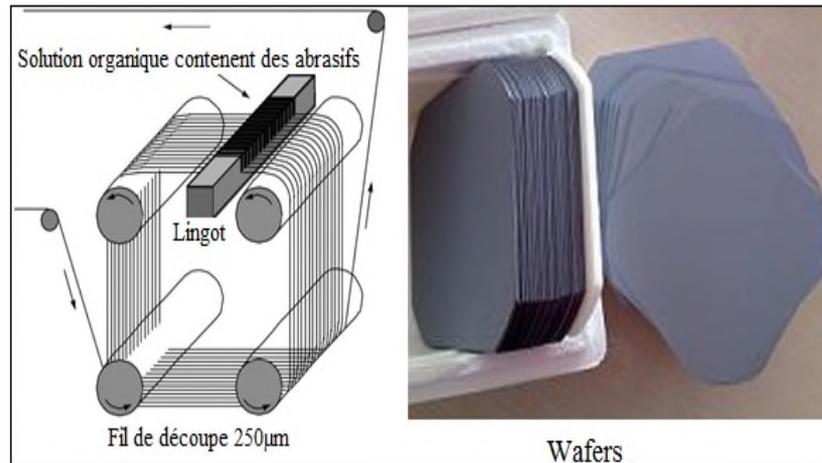


Figure I.12 : Obtention des wafers photovoltaïques

I.8.4 Dopage du silicium

Les wafers de silicium obtenus à l'issue de l'étape de sciage sont alors introduits dans un réacteur de croissance dans lequel va se dérouler l'étape de dopage.

Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé « semi-conducteur extrinsèque ».

Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif).

I.8.4.1 Dopage de type N

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium. Le phosphore disposant de 5 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un électron : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale négative [14].

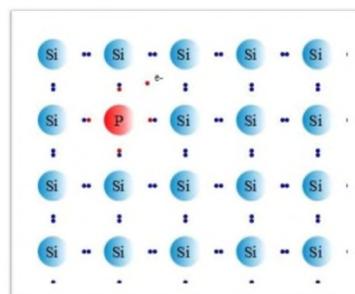


Figure I.13 : Dopage de type N

I.8.4.2 Dopage de type P

Le dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium. Le bore disposant de 3 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un trou : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive [14].

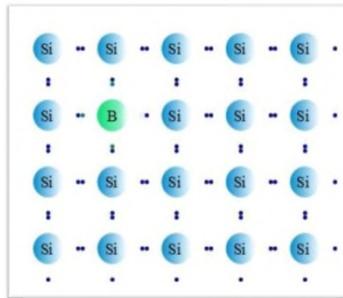


Figure I.14 : Dopage de type P

I.8.3. Les méthodes de dopage et optimisation

❖ Décapage

Les plaques dopées P à partir de bore lors de la cristallisation sont décapées dans un bain chimique afin d'éliminer les défauts superficiels créés par le sciage.

Bain acide à base d'acide fluorhydrique HF, d'acide acétique CH₃COOH et d'acide nitrique HNO₃

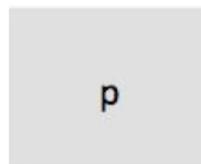
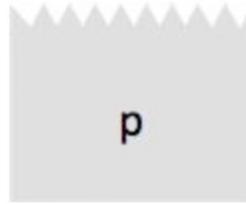


Figure I.15 : Décapage

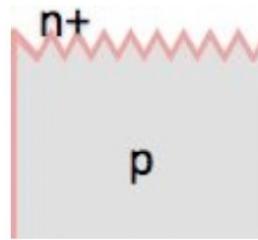
❖ Texturation

La texturation de la surface en petites pyramides ou entonnoirs permet d'améliorer la collecte des photons dans toutes les directions en réduisant la réflexion. On parle aussi de confinement optique. Gravure sélective par un bain alcalin de soude NaOH ou de potasse KOH avec des additifs organiques du type alcool isopropylique IPA

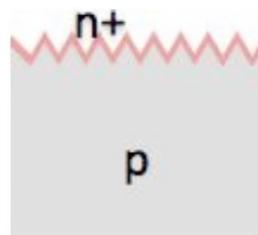
**Figure I.16** : Texturation**❖ Dopage**

La zone dopée N est formée par diffusion de phosphore: couche N+ en surface et N à la jonction.

Diffusion thermique de phosphore P à partir de trichlorure de phosphore POCl_3 dans un four à passage, $800^\circ\text{C} < T < 900^\circ\text{C}$, suivi d'un recuit. Retrait de la couche résiduelle de silicate de phosphore dans un bain d'acide fluorhydrique HF

**Figure I.17** : Dopage**❖ Bords de plaque**

La couche n+ est retirée des bords de plaque (sur la tranche) pour séparer l'émetteur de la face arrière. Gravure plasma avec un mélange gazeux tétrafluorométhane CF_4 et oxygène O_2 soumis à un champ de radiofréquences

**Figure I.18** : Bords de plaque

❖ **Anti-reflet**

Une couche anti-reflet à base d'oxydes ou de nitrure de silicium ou d'oxydes métalliques est déposée en face avant. Elle sert aussi à passiver la surface en limitant les recombinaisons entre charges afin de conserver la conductivité du matériau.

Dépôt chimique en phase gazeuse via un plasma (PECVD) d'une couche de Si_3N_4 à partir de silane SiH_4 et d'ammoniac NH_3

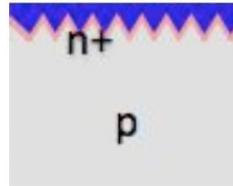


Figure I.19 : Anti-reflet

❖ **Champ face arrière**

La face arrière est dopée p+ par diffusion d'aluminium. Cette couche joue aussi un rôle de conducteur ohmique avec l'électrode arrière.

Diffusion thermique d'aluminium Al à 850°C à partir d'une pâte d'aluminium déposée sur toute la face arrière

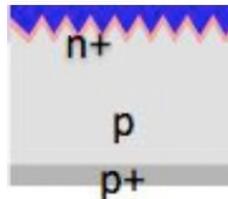


Figure I.20 : Champ face arrière

❖ **Métallisation**

Les contacts électriques sont des métaux déposés en face avant (électrode -) et en face arrière (électrode +)

Sérigraphie d'argent en face avant et d'aluminium en face arrière par frittage de pâtes métalliques

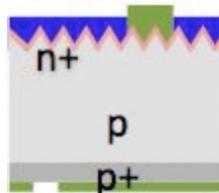


Figure I.21 : Métallisation

❖ Test et tri

Les cellules sont mesurées électriquement puis triées selon leur caractéristique afin d'optimiser leur association ultérieure, et cette dernière étape de trie se fait à l'unité de fabrication des panneaux photovoltaïque Condor.

I.9 Structure d'une cellule PV

Pratiquement, il existe plusieurs technologies de fabrication des cellules PV en vue d'optimiser les caractéristiques suivantes :

La puissance électrique produite par une cellule (très faible actuellement et de valeur de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt).

Le rendement de conversion des cellules (atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16% pour le silicium polycristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe).

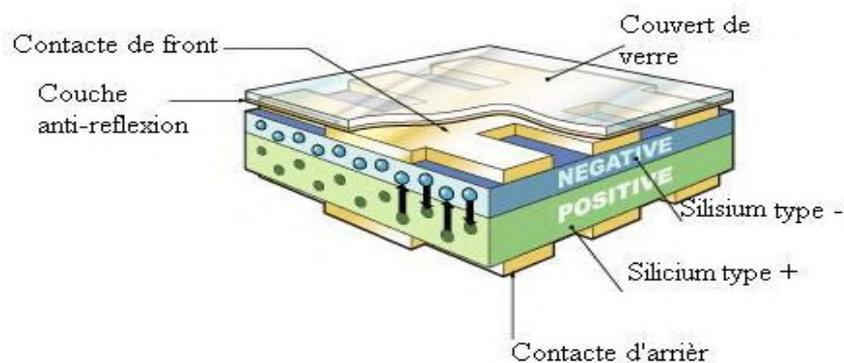


Figure I.22 : Structure d'une cellule PV

En fin, la structure de base d'une cellule PV est une jonction PN (Figure I-22) constituée de la manière suivante où l'épaisseur totale de la cellule est de l'ordre du millimètre [15] :

- Un cristal semi-conducteur (Silicium) dopé P.
- Zone mince (Silicium) dopée N (quelques millièmes de mm).
- Entre les deux zones se développe une jonction.
- La zone N est couverte par une grille métallique (Contacte de front) qui sert de cathode,
- Une plaque métallique (contacte arrière) recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode.

Une couche de protection transparente (verre fumé) qui laisse passer la lumière dans un sens unique (anti-réflexion).

Un rayon lumineux qui frappe le dispositif peut pénétrer dans le cristal à travers la grille et provoquer l'apparition d'une tension entre la cathode et l'anode. Le dessus et le dessous de la cellule doivent alors être recouverts de contacts métalliques pour collecter l'électricité générée.

I.10 Les différentes technologies des cellules solaires

I.10.1 Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes [16].



Figure I.23 : photos d'une cellule monocristalline

I.10.2 Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14 % [16].



Figure I.24 : photo de cellule poly cristallin

I.10.3 Silicium amorphe (a-si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière [16].

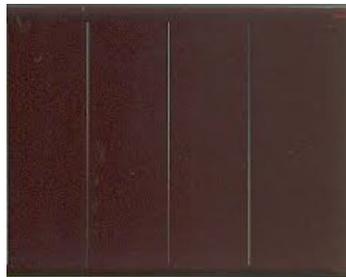


Figure I.25 : photo d'une cellule amorphe

I.10.4 Cellule Tandem

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbantes dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines [17].

I.10.5 Cellule multi-jonction

Des cellules ayant une grande efficacité ont été développées pour des applications spatiales. Les cellules multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces. Chaque type de semi-conducteur est caractérisé par une longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il est incapable de convertir le photon en énergie électrique. D'un autre côté, en deçà de cette longueur d'onde, le surplus d'énergie véhiculé par le photon est perdu. D'où l'intérêt de choisir des matériaux avec des longueurs aussi proches les unes des autres que possible, de manière à ce qu'une majorité du spectre solaire soit absorbé, ce qui génère un maximum d'électricité à partir du flux solaire [18].

I.11 Caractéristiques

I.11.1 Caractéristique courant-tension

La figure ci-dessous représente la courbe $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

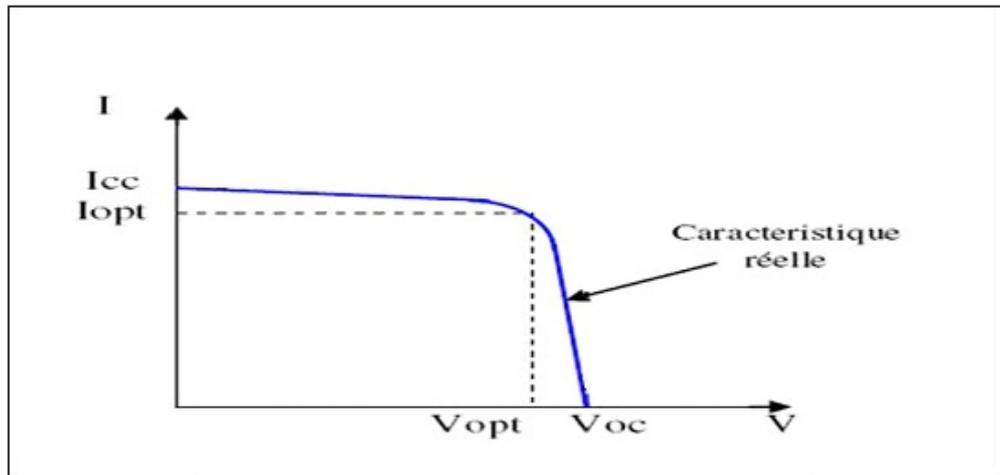


Figure I.26: Courbe $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.

I.11.2 Caractéristique puissance-tension

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = V.I$. Pour chaque point, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(V)$. Figure (I.28).

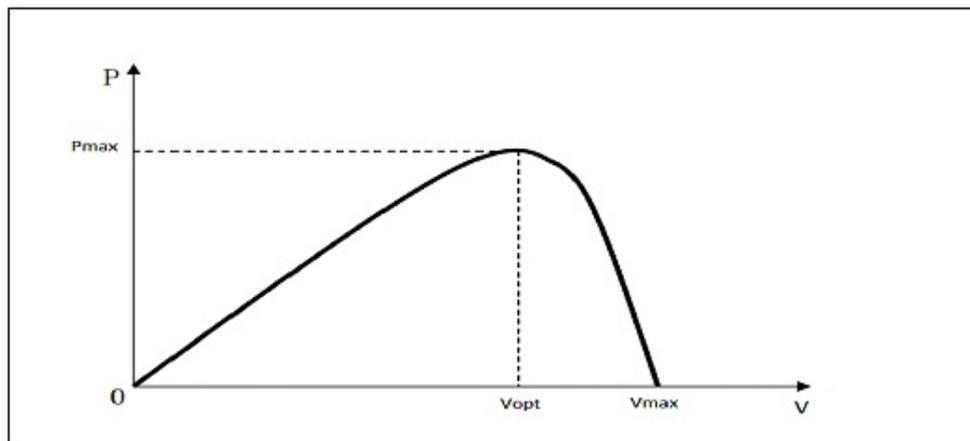


Figure I .27: courbe $P=f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.

I.12 Comparatif des différentes technologies

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque:

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Très bon rendement : 14 à 20 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : élevé. • Puissance : 100 Wc/m². 7 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal • Couleur bleue uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement : 11 à 15 %. • Durée de vie : importante (30 ans) • Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins • Puissance : 100 Wc/m². 8 m²/kWc. • Rendement faible sous un faible éclairement. • perte de rendement avec l'élévation de la température. • Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. • Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement faible : 5 à 9 %. • Durée de vie : assez importante (20 ans) • Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies • Puissance : 50 Wc/m². 16 m²/kWc. • Fonctionnement correct avec un éclairement faible. • Peu sensible aux températures élevées. • Utilisables en panneaux souples. • Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium.
Part de marché	43 %	47 %	10 %

Tableau I.3 : Comparatif des différentes technologies cellule

I.13 Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

I.13.1 Avantages

Les avantages de l'électricité solaire photovoltaïque sont multiples :

- ✓ La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique.
- ✓ Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains pour sa petite relative taille, et son opération silencieuse.
- ✓ La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- ✓ L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- ✓ Modulaires, ses composants se prêtent à une utilisation innovante et esthétique en matière d'intégration architecturale (implantés sur ou en éléments de toiture ou de façade, sous forme de brise-soleil, en verrière...)
- ✓ L'électricité solaire photovoltaïque a pour qualité sa fiabilité, la durée de vie des capteurs supérieure à 25 ans, son autonomie, son faible impact sur l'environnement.
- ✓ Technologie encore émergente, son coût lui permet d'être souvent compétitive par rapport aux solutions classiques dans les sites éloignés du réseau électrique ne demandant pas de très grosse quantité d'électricité fournie, ou dans des sites urbains lorsqu'elle évite des coûts de raccordement au réseau électrique public .
- ✓ Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible, car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- ✓ Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.

I.13.2 Inconvénients

- ✓ Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable.
- ✓ Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques et des capteurs est élevé.
- ✓ S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- ✓ Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- ✓ Le rendement électrique diminue avec le temps (20 % de moins au bout de 20 ans).
- ✓ Pollution à la fabrication

I.14 Avenir du photovoltaïque

Source d'énergie 100% propre et faible pour des usages très variés, elle figurera à l'avenir parmi les principales sources mondiales. Son handicap majeur reste un coût encore élevé comparée aux sources conventionnelles et aux filières renouvelables. Ce coût diminue de 10% par an, et pour accélérer cette baisse, les autorités nationales et internationales doivent engagés une politique de soutien à long terme de la filière photovoltaïque. C'est précisément l'objectif des programmes lancés depuis quelques années dans plusieurs pays industrialisés. Dans notre pays, l'application du PV reste encore modeste. La première utilisation été dans le domaine des télécommunications. Après, certain puits dans les hauts plateaux ont Chapitre I Etat de l'art du générateur photovoltaïque été équipés par des systèmes de pompes PV. A nos jours, quelques dizaines de village saharien des régions de Tamanrasset et Adrar jouissent des avantages de cette source d'énergie.

I.15 Conclusion

Dans ce chapitre, Nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs processus de fabrication, ainsi que leurs caractéristiques principales ainsi que les paramètres limitants.

Finalement, nous avons décrit les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque et sont avenir .

Chapitre II

Procédés de fabrication des
panneaux PV Condor

II.1 Introduction

Les panneaux solaires sont considérés comme une des sources d'énergie les plus propres et les plus sûres au monde contrairement aux ressources fossiles qui sont en cours de disparition. Les panneaux solaires ont pour rôle la conversion de la lumière en électricité solaire. Dans ce chapitre on va s'intéresser au processus de fabrication des panneaux photovoltaïques et aussi à la modélisation des panneaux photovoltaïques.

II.2 Matières premières

II.2.1 Les Cellules

La société CONDOR Électronics, importe les cellules toutes étant prêtes à l'assemblage après un contrôle minutieux de plusieurs points. Et la fabrication des cellules by-pass par plusieurs étapes décrites dans le chapitre I.

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner environ 2 à 3 ans suivant sa technologie pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication, Condor utilise la technologie de cellule mono et poly cristallin.



Figure II.1. Cellules de type mono et poly cristallin

❖ Plusieurs points sont à contrôler

- Fiche technique de la cellule,
- Emballage des cellules à l'arrivée : protection, séparation,
- Contrôle visuel et contrôle des dimensions,
- Flashage et contrôle électrique des cellules,
- La soudabilité et la flexion.

❖ Principe de fonctionnement

Une cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 5 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module.

❖ Types de cellules**a) Cellules poly cristallin**

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

➤ Avantage

- Bon rendement
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)
- Meilleur marché que le monocristallin

➤ Inconvénients

- Rendement faible sous un faible éclaircissement.
- Rendement module commercial : 11 à 15%
- Rendement record en laboratoire : environ 20%

b) Cellules monocristallin

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

➤ Avantage

- Très bon rendement (environ 150 Wc/m²)
- Durée de vie importante (+/- 30 ans)

➤ **Inconvénients**

- Coût élevé
- Rendement faible sous un faible éclairciment
- Rendement record en laboratoire : environ 25%

II.2.2 EVA

L'EVA est une résine transparente permettant l'enrobage des cellules photovoltaïques. Chimiquement, l'EVA est formée par des chaînes de copolymère *d'éthylène-acétate de vinyle*. Le film EVA est créé à partir de résine, matériau essentiel pour la fabrication des modules photovoltaïques. par chauffage et laminations et durcissement, il emprisonne les cellules photovoltaïques reliées entre elles en remplissant les interstices, La fonction principale de ce film est de garder une haute transmission de la lumière des modules photovoltaïques et une adhérence élevée pendant une période prolongée, veiller à ce que le module peut être utilisé de manière stable et efficace pour une durée de plus de 25 ans ce matériau offre également une isolation électrique une isolation/protection physique et une conduction thermique pour les circuit solaires afin d'améliorer l'efficacité du module et de maximiser la durée de vie des cellules solaire.



Figure II.2 : EVA

❖ **Plusieurs points sont à contrôler**

- Fiche technique,
- Conditionnement et emballage à l'arrivée,
- Contrôle d'apparence et des dimensions,
- test d'adhérence avec le verre et le Back- Sheet (Peeling test),
- Test de degré de réticulation (Cross linking test).

II.2.3 Verre

Le verre solaire a une faible teneur en fer trempé motifs, qui est traitée et renforcée pour résister aux changements climatiques brusques



Figure II.3 : Verre

❖ Propriétés

- Contenu de fer : $< 0,015\%$ (Fe_2O_3)
- Transmission de la lumière visible (de 3,2 mm) " $>91\%$ "

❖ Plusieurs points sont à contrôler

- Fiche technique du verre,
- Conditionnement et emballage du verre à l'arrivée,
- Contrôle d'apparence et dimensions,
- test de choc.

II.2.4 Back_sheet

BEC- 301 se constitue de plusieurs couches une couche de polyester qui offre les propriétés mécaniques et d'isolation électrique et deux couches de résine fluorée qui offrent le caractère de résistance aux intempéries. BEC- 301 agit comme une barrière protectrice durable pour en forme de panneau cellules qui subissent chaleur et la lamination. Y compris, une couche de résine fluorée face à EVA

Le film a une réflectivité élevée à la lumière visible, ce qui est utile pour augmenter la l'efficacité de conversion photoélectrique des modules solaires.



Figure II.4 : Back_sheet

❖ **Plusieurs points sont à contrôler**

- Fiche technique,
- Conditionnement et emballage à l'arrivée,
- Contrôle d'apparence et des dimensions,
- test d'adhérence avec l'EVA et le Silicone (Peeling test).

II.2.5 Boite de jonction

Elle est considérée comme une armoire électrique qui abrite toutes les parties porteuses de courant afin de: Protéger le module PV contre l'effet d'ombrage à l'aide des diodes by-pass et réduire les risques d'incendie et de choc électrique.

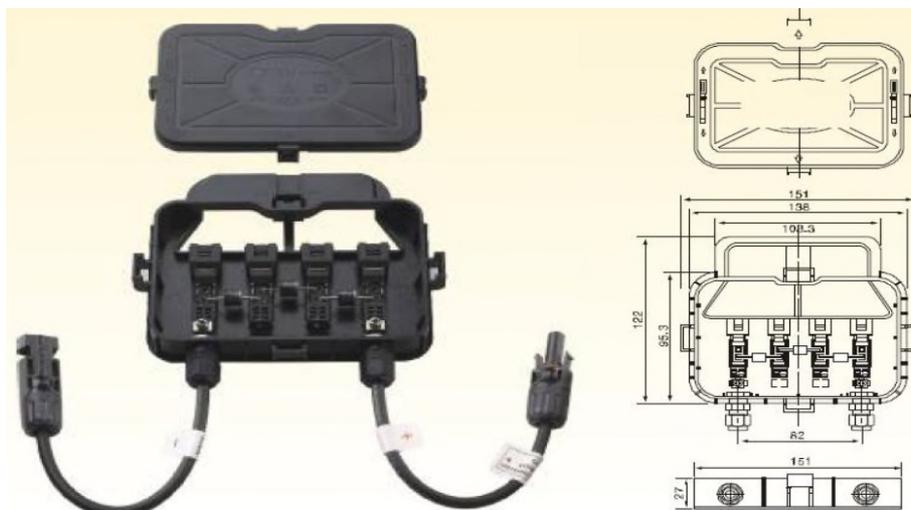


Figure II.5 : Boite de jonction

❖ Plusieurs points sont à contrôler

- Fiche technique,
- Conditionnement et emballage à l'arrivée,
- Contrôle d'apparence et de dimensions,
- Contrôle des résistances des câbles,
- test d'arrachement des diodes et des câbles,
- test d'accessibilité,
- Contrôle de nombre des diodes et ses fiabilités.

II.2.6 Cadre d'aluminium

Ce produit peut être utilisé pour encapsuler tous les modules PV cristallin et beaucoup de Module mince, il est non collant à la température ambiante de sorte que c'est facile à couper, aussi il n'est pas oxydable à l'Aire libre. Et il sert à :

- Protéger les bords de verre,
- Améliorer la résistance mécanique globale du module,
- Améliorer le degré d'étanchéité avec l'injection de gel de silicone.



Figure II.6: Cadre d'aluminium

❖ Plusieurs points sont à contrôler

- Fiche technique,
- Conditionnement et emballage à l'arrivée,
- Contrôle d'apparence et de dimensions,
- test de la dureté,
- Contrôle de l'épaisseur de film.

II.2.7 Silicone

Blanc, super résistance aux ultra-violets (UV), la pluie et la contamination, qui a pour rôle de sceller les bâtis latéraux de la cellule solaire, d'étanchéité / adhésif, les boîtes de jonction de cellule solaire et de scellement des lampes à énergie solaire



Figure II.7. Silicone

❖ Propriétés

- Résistivité de volume (Q. cm) (IEC60093, GB / T169 4.5×10^{15}
- Répartition tension (kV / mm) (CEI 60243-1, GB / T1695) 26

❖ Les points à contrôler

- Fiche technique,
- Conditionnement et emballage à l'arrivée,
- test d'adhérence avec le Back - Sheet et le verre (peeling test),
- Test d'élongation (elongation at break).

II.3 Fabrication d'un panneau photovoltaïque

Pour obtenir un panneau solaire, nous assemblons 48,60 ou 72 cellules solaires et les disposons soigneusement entre deux couches transparentes d'encapsulant. Nous plaçons ensuite un film sur la face arrière et chauffons cet empilement (imaginez une sorte de sandwich solaire passé à la grille) pour créer une enveloppe protectrice étanche autour des cellules solaires. Après cela, pour protéger la structure et garantir sa stabilité, nous plaçons du

verre sur la face avant et un cadre en aluminium sur pourtour, en collant le tout avec un adhésif résistant à l'eau. Enfin, nous ajoutons une boîte de jonction à l'arrière du panneau solaire : il s'agit de la borne de sortie de notre électricité solaire.

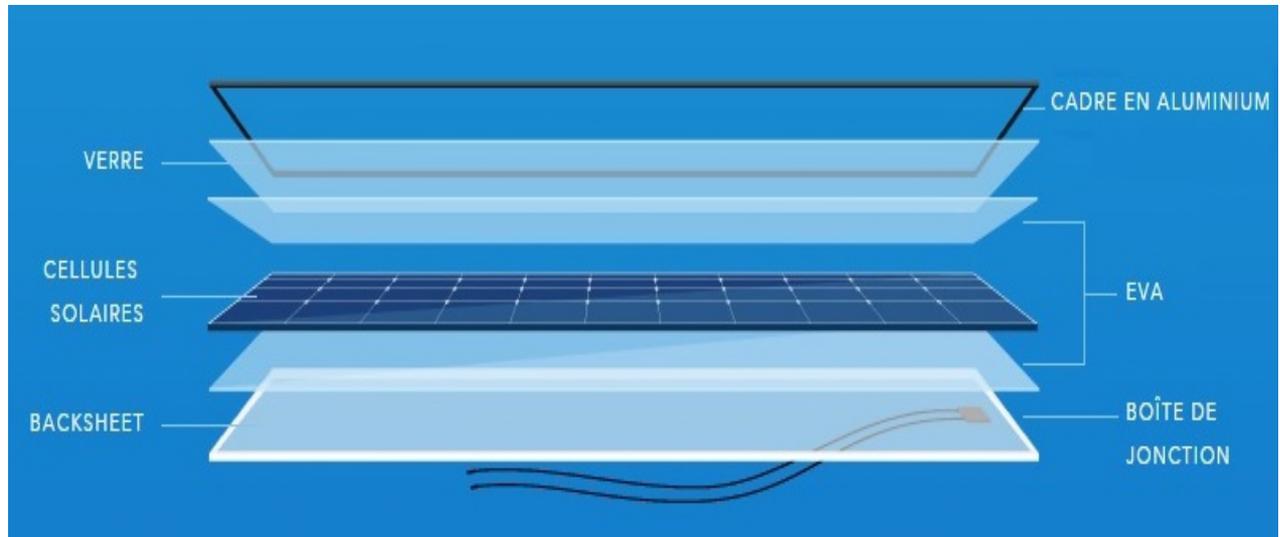


Figure II.8 : Assemblage d'un panneau solaire

II.3.1 Triage des cellules

II.3.1.1 Triage par caractéristiques

On distingue 4 classes de cellules ;

- a- The best
- b- Class A
- c- Class B
- d- Class C
- e- The worse

➤ Les étapes du classement des cellules

- Choisir les cellules solaires selon les caractéristiques semblables pour faire le module solaire, et pour réduire également la perte de puissance de sortie qui sont provoquée probablement par le raccordement des cellules solaires
- Faire un calibrage de la machine pour chaque type de cellules
- Tester les cellules en injectant une intensité donnée de lumière et aussi tôt en reçoit sur le pc la classe de la cellule

➤ **Points de vérification**

- Afin d'assurer la bonne exécution de l'équipement et l'exactitude des essais, il faut maintenir l'environnement propre et non poussiéreux
- Calibrage régulier avec les cellules standard
- Sauvegarder les essais (COV, ISC, P.M., VM, Im, FF, n, Rs, Rsh)
- Protéger les yeux de la lumineuse pendant l'essai, pour éviter les Degas sur les yeux

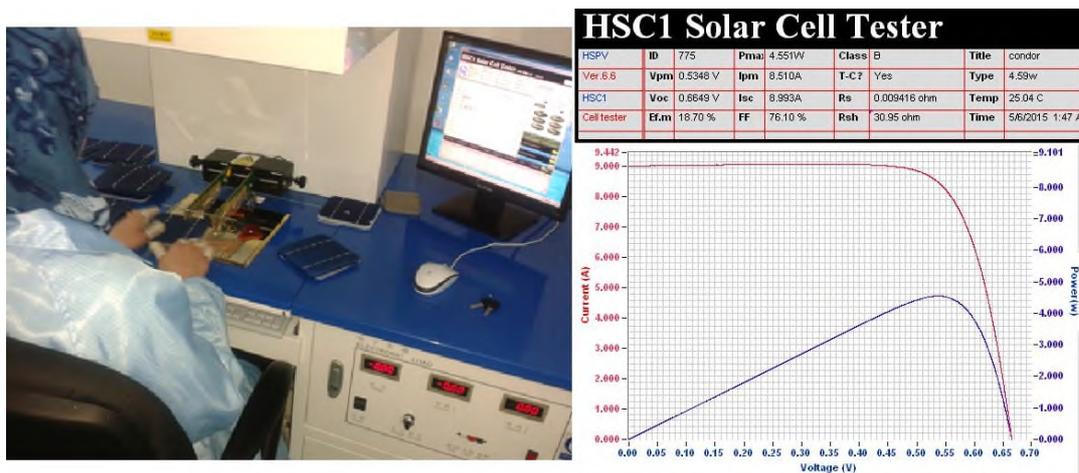


Figure II.9 : Triage par un trieur de cellules

II.3.1.2 Trie visuel

Classifier et grouper les cellules solaires même puissance par leur couleur, telle que bleu-clair, bleu-foncé et brun, etc. Et aussi contrôler les l'état sain (sans cassures) des cellules.

➤ **Points de vérification**

- Avant le déballage on fait un contrôle visuel si les cellules sont cassées ou non
- Aucun contact direct avec les cellules les mains nues



Figure II.10: Triage visuel des cellules

II.3.1.3 Triage des cellules selon le schéma technique

Compter les cellules solaires selon le schéma technique (suivant le nombre des pièces du module à construire), Mettre les cellules dans la boîte de transfert.

Les cellules sont séparées par un séparateur. Compléter la fiche suivieuse de nom de fabricant de cellules, catégorie de cellules et modèle etc. Puis transférées au prochain processus.



Figure II.11: Triage selon le schéma technique

II.3.2 Découpage de l'EVA et le back_sheet

Les opérateurs prennent la bande d'EVA, de back_sheet selon les dimensions de la nomenclature et les plans d'assemblage. En utilisant la machine de découpage pour les couper.

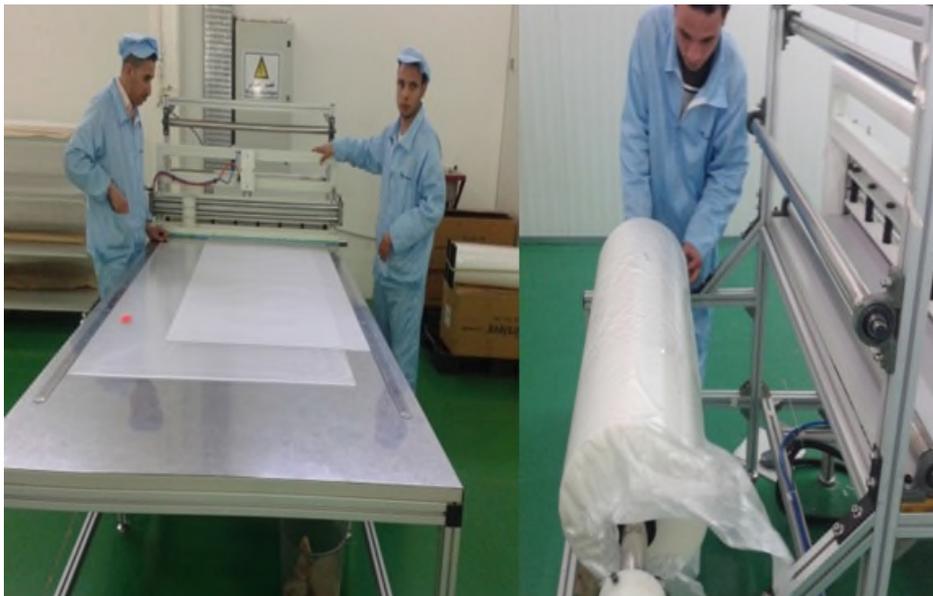


Figure II.12 : Découpage de l'Eva et le back_sheet

➤ **Point de vérification**

- Protéger l'EVA et Back_sheet de la poussière, des cheveux et de tout autre désordre pendant le processus de découpage.
- EVA ne peut pas être exposée en air pendant plus de 8 heures.
- Pour le matériel inutilisé d'EVA, elles devraient être scellées et mises en environnement avec une température de 5~30°C et humidité < 60%, et les épuisent aussitôt que possible

II.3.3 Découpage des rubans de soudure

Les rubans de soudure sont composés de cuivre et d'étain, et les instructions de l'opération sont ;

- Utiliser la machine de découpage pour couper bandes de soudage (interconnexion et ruban).
- Classifier et emballer le ruban de bande de soudure de coupe selon leurs tailles
- Plonger les rubans dans une solution acide (Bain de flux)



Figure II.13 : Découpage des rubans de soudure

➤ **Point à vérifier**

- Ne pas découper beaucoup de rubans à la fois
- Assurez que les extrémités de la bande de soudage / ruban sont lisses, droites
- Changer la lame de découpage régulièrement

II.3.4 Soudure de la cellule

- Ajuster la température du fer à souder et de la plaque de chauffage électriques, selon l'épaisseur des cellules et des rubans
- Choisir la tête appropriée de fer, et mettre en marche le fer à souder et la plaque de chauffage électriques
- Prendre les cellules solaires soigneusement de la boîte de transfert et Garder le côté négatif vers le haut, et le placer dans la plaque chauffante
- Presser la bande de soudure et la cellule solaire doucement avec les doigts, pour empêcher le déplacement du ruban
- On fait un soudage vers le bas de la crête avec une vitesse uniforme régulière (le temps de soudure est moyen 3~5 secondes pour chaque barre omnibus)

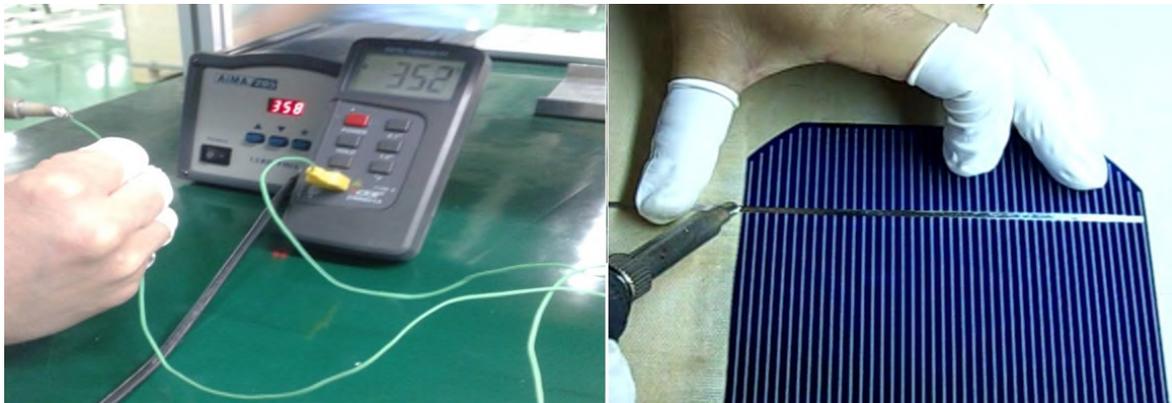


Figure II.14: soudage de la cellule

➤ **Points de vérification**

- Avant la soudure, un contrôle de la température réelle du fer à souder
- Nettoyer la tête du fer après que la température devienne stable, et vérifier l'état de la tête de fer
- Vérifier si la cellule est défectueuse avant la soudure

➤ **Equipement**

- Fer à souder électrique
- plaque chauffante
- table de soudure

II.3.5 Ficelage des cellules

➤ Instruction de l'opération

- Ajuster la température du fer à souder et de la plaque de chauffage électriques
- Prendre les cellules solaires soigneusement de la boîte de transfert.
- Relier les cellules soudées simples en série, pour transmettre le courant.
- Faire le soudage en série (Figure II.15)
- Souder le fil sortant positif, et puis aligner sur le calibre plaçant la bande.
- Transférer le string de cellules au panneau de transition (Figure II.16).

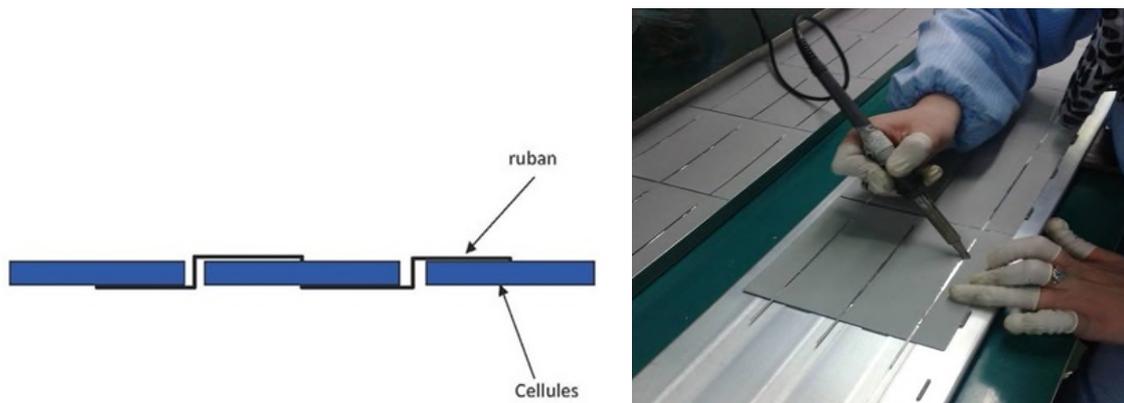


Figure II.15 : soudage série des cellules

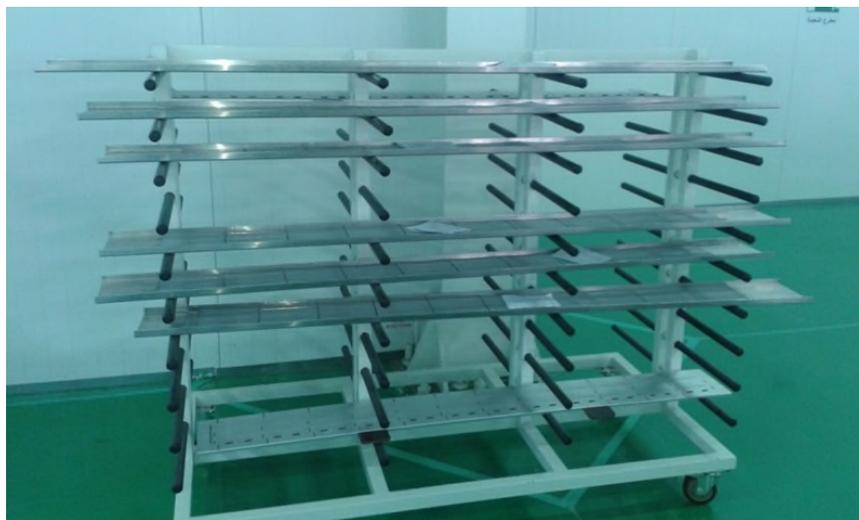


Figure II.16 : panneau de transition

➤ Points de vérification

- Vérifier si la soudure tien bien, rupture ou d'autres genres de défauts
- Compléter la fiche suiveuse pour les produits qualifiés et aller à la prochaine étape

➤ **Equipement/Outils**

- Fer à souder électrique
- plaque de chauffage
- table de soudure
- pinces diagonales

II.3.6 Lay-up

Les instructions de l'opération sont ;

- Mettre le verre trempé sur la table de fonctionnement en s'assurant que le côté rugueux vers le haut
- Couvrir le verre avec une couche d'EVA
- Placer le string
- Ajuster l'espace
- Fixer les cellules
- Soudage de bande
- Placer le back_sheet
- Soudage de fil sortant
- Couvrir avec une 2eme couche de l'EVA
- Mettre une dernière couche de back_sheet
- Tester la continuité des cellules



Figure II.17 : Placement des strings et ajustage des espaces

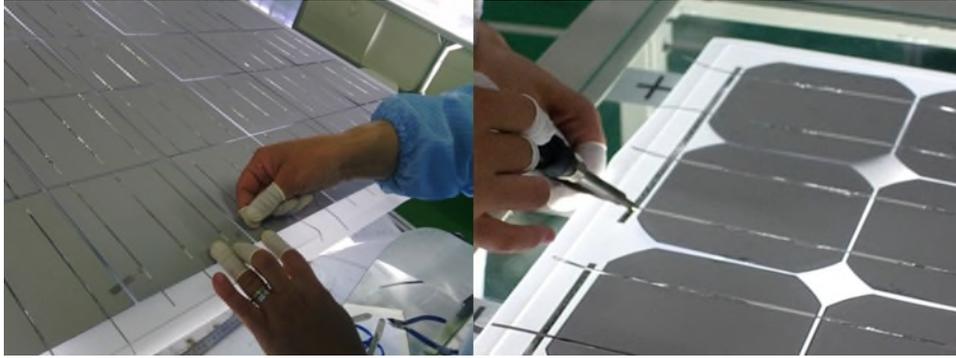


Figure II.18 : Fixation des cellules et soudage des bondes

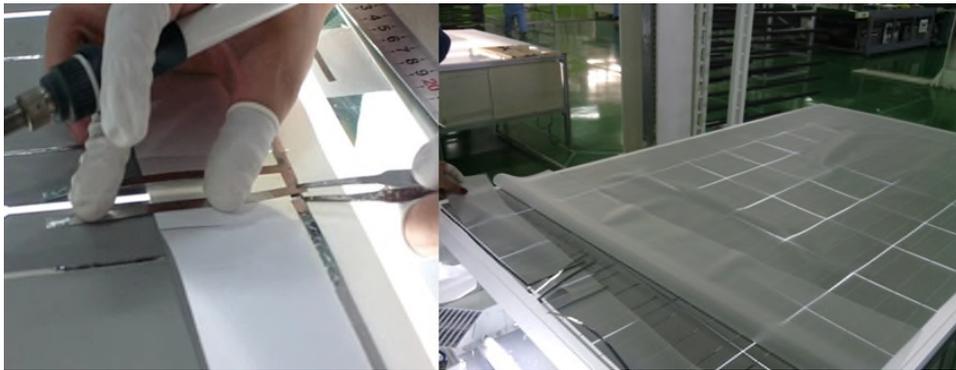


Figure II.19 : Soudage des fils sortants et couvrir EVA 2



Figure II.20 : placement du back-sheet test de continuité

➤ **Points de vérification**

- Vérifier s'il y a tache, éraflure et bulles
- Vérifier s'il y a des corps étrangers (tache noire, cheveux, fibre) sur les cellules
- Le fil sortant doit être plat et droit pour empêcher la rupture des cellules dans le processus de laminage

➤ **Equipement/Outils**

- Fer à souder électrique
- Table de fonctionnement
- ciseaux, scalpel
- pinces diagonales

II.3.7 Contrôle Visual manuel

- Vérifier la polarité du module (le pôle positif au côté gauche et le pôle négatif au côté droit)
- Vérifier que la longueur du fil sortant est assez longue pour être reliée dans la boîte de jonction
- Vérifier EVA si elle a des trous
- Vérifier le verre s'il a des bulles et des éraflures



Figure II.21: contrôle visuel

- **Equipement/Outillage :** Table à miroir

II.3.8 Teste EL (Electroluminescence) Avant laminage

- Vérifier si il Ya des cellules cassées, coin non rempli, des cheveux, tache noire, fibre, bande de soudure ou des résidus de ruban, etc.
- Vérifier EVA si elle a des trous, des ruptures etc.
- Contrôle visuel automatique par logiciel



Figure II.22: EL avant et contrôle visuel pas logiciel

➤ **Equipement/Outils**

- La machine « EL ».
- Pc avec logiciel

II.3.9 Laminage

Le laminage se fait à une température de 140°C et différentes pressions ;

- Avant l'opération, s'assurer que toutes les canalisations de l'animateur sont bien reliées.
- Mettre en marche le compresseur d'air
- Relier la source d'air comprimé.
- Rétablir le courant de l'animateur et faire couler l'eau de circulation.
- Calibrer les paramètres appropriés d'exécution en tant que demandé.
- Prendre le module qualifié en mettant le côté en verre en bas, maintenir les fils sortants dans la même direction.
- Placer les modules de façon constante dans le milieu de l'animateur.



Figure II.23: laminage

➤ **Point à vérifier**

- Mesurer la température du l'animateur avec le thermomètre de point.
- Vérifier si le module se conforme, et l'équilibrer après refroidissement

Après lamination on élimine le sur plus d'EVA et Back-Sheet avant de passer au test électroluminescence.

➤ **Equipement/Outils**

- L'animateur
- Feuille Téflon

➤ **Inspection après Laminage**

Chaque module est examiné avec soin pour assurer qu'il ne présente aucun défaut majeur (corps étranger, bulle d'air, abrasion, défaut de soudage, distance,...)



Figure II.24 : Inspection visuel après lamination

➤ **Point à vérifier**

- Vérifier si le Back_sheet si entièrement couvert et plat
- Vérifier si il Ya des cassures, rupture, coin non remplis, des cheveux et fibre
- Vérifier l'espacement (l'espacement des cellules/cellules, bords /verre, , la cellule /ruban, rubans/ruban etc.)
- Vérifier s'il y a des bulles d'air à l'intérieur du module
- Vérifier s'il y a des cellules cassées

II.3.10 Test EL (Electroluminescence) Après Laminage

Les mêmes étapes que pour l'EL avant le laminage, afin d'assurer que l'opération de lamination n'a pas influencée sur la qualité des constitutifs de laminé.

II.3.11 Cadrage et Montage de la boîte de jonction

On encadre les modules avec un cadre en aluminium de la silicone en maintenant une forte pression, afin de les doter d'une haute résistance à l'humidité et aux chocs. Puis on appose la boîte de jonction à l'arrière du panneau où les sorties des strings sont connectées par des diodes by-pass (ce qui garantit la production électrique même si une cellule est affectée).



Figure II.25 : préparation du silicone et placement du cadre

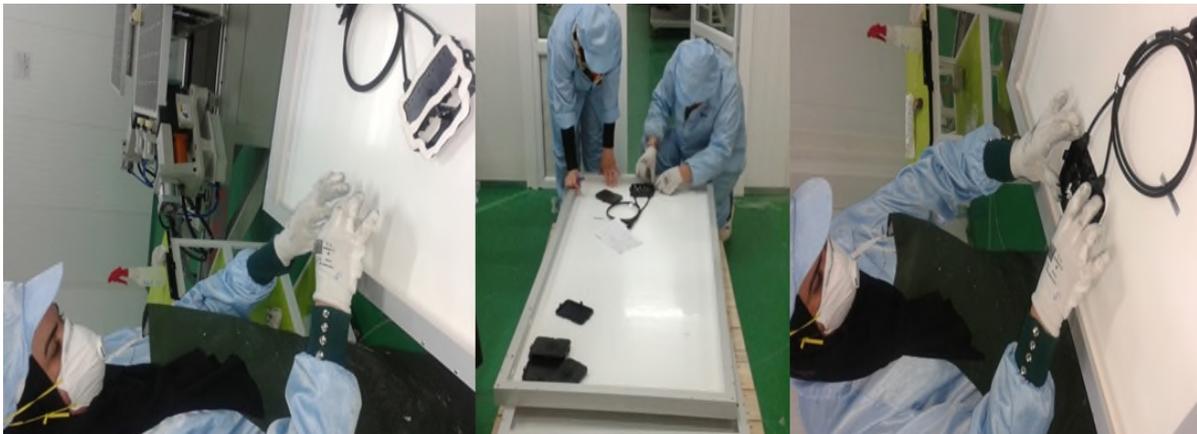


Figure II.26 : jointe de l'aluminium et placement de la boîte à jonction

II.3.12 Nettoyage

Après la vérification générale du panneau, le nettoyage du module sur les deux faces se fait avec de l'alcool et du papier en lin.



Figure II.27 : Nettoyage du module

II.3.13 Détermination de la puissance maximale

Après l'encadrement, le module passe au test de puissance (« flashage ») électrique qui détermine sa puissance maximale effective. Avec ce test, on obtient aussi une étiquette adhésive que l'on colle sur le panneau et qui donne toutes les caractéristiques du panneau (U_{oc} , I_{cc} , P_{max} ,...).

➤ Les étapes de l'opération

- Calibrer les paramètres de simulateur.
- Faire le Test de puissance crête pour chaque panneau en utilisant le simulateur de puissance avec flash lumineux sous les conditions STC.
- Vérifier que les caractéristiques des courbes I-V et P-V sont conformes avec la plaque signalétique.
- Placer la plaque signalétique.
- Classer les panneaux selon leurs puissances



Figure II.28 : simulateur de puissance

➤ **Equipement/Outils**

- Le simulateur « Flash test simulator ».

II.4 Panneaux PV Condor

Les modules photovoltaïques du Condor electronics répondent aux standards et normes internationaux.

L'usine est dotée :

- D'un laboratoire de contrôle et à la réception des matières première et composants achetés
- Des équipements d'inspection et de contrôle au niveau de la chaine de production.



Figure II.29: les modules PV Condor

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la procédure de fabrication d'un module photovoltaïque au sein de la SPA CONDOR ELECTRONICS (Unité de fabrication des panneaux photovoltaïques), tout en montrant la matière première utilisée lors de la fabrication ainsi que les différents tests sur le module finale. Et finalement on a simulé le panneau avec un flash test simulator pour obtenir les caractéristiques électriques du module.

Chapitre III

Etude des caractéristiques
d'un panneau PV Condor

III.1 Introduction

La cellule PV est un dispositif semi-conducteur construit à partir d'une jonction PN. Lorsqu'elle est illuminée, le déséquilibre de la charge électrique dans les deux couches (P et N) provoque un mouvement de la charge à travers la jonction produisant ainsi de l'électricité.

La cellule PV est normalement conçue pour fonctionner comme un générateur en fournissant l'énergie électrique convertie de l'énergie solaire à une charge. Par contre, il se peut que cette même cellule, lorsqu'elle est interconnectée avec d'autres cellules, fonctionne comme un récepteur en absorbant de l'énergie débitée par les autres cellules.

Dans cette figure, on peut remarquer deux points de fonctionnement importants : le courant de court-circuit (I_{sc}) et la tension de circuit ouvert (V_{co}). Comme son nom indique, le courant de court-circuit correspond au courant quand la cellule est court-circuitée. Ce courant de court-circuit est proportionnel à la surface de la cellule qui capture la lumière, et pour une surface quelconque, ce courant de court-circuit dépend de l'intensité de lumière absorbée par la cellule. La tension de circuit ouvert est la tension aux bornes de la cellule quand il n'y a pas de courant. Sa valeur est de l'ordre de 0.6 V pour la cellule de type cristallin. Ces deux points (I_{sc} et V_{co}) délimitent le fonctionnement de la cellule en trois zones différentes.

Dans ce chapitre on va voir ces différentes caractéristiques, spécifiquement celles du panneau Condor, qu'on a relevées avec les différentes méthodes de simulations industrielles.

III.2 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le modèle mathématique associé à une cellule se trouve à partir de celui d'une jonction PN. On y ajoute le courant I_{ph} , proportionnel à l'éclairement, ainsi qu'un terme modélisant les phénomènes internes. Le courant I issu de la cellule s'écrit alors :

$$I = I_{ph} - I_{0d} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (U + R_s \cdot I)}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{U + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (\text{III. 1})$$

$$I_d = I_{0d} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (U + R_s \cdot I)}{k \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{III.2})$$

Avec:

- I_{ph} : photocourant, ou courant généré par l'éclairement (A)
- I_{0d} : courant de saturation de la diode (A)
- R_s : résistance série (Ω)
- R_{sh} : résistance shunt (Ω)

- k : constante de Boltzmann ($k = 1,38.10^{-23}$)
- q : charge de l'électron ($q = 1,602.10^{-19}$ C)
- T : température de la cellule ($^{\circ}$ K)

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

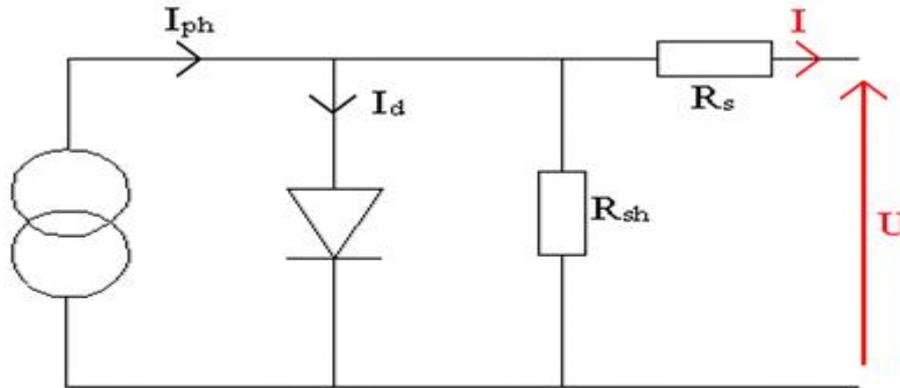


Figure III.1 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité. Le générateur de courant modélise le courant I_{ph} généré par un éclairage.

Enfin, les deux résistances modélisent les pertes internes :

- Résistance série R_s : modélise les pertes ohmiques du matériau.
- Résistance shunt R_{sh} : modélise les courants parasites qui traversent la cellule.

Idéalement, on peut négliger R_s et I_d devant U , puis travailler avec un modèle simplifié :

$$I = I_{ph} - I_{0d} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{U}{R_{sh}} \tag{III.3}$$

Comme la résistance shunt est beaucoup plus élevée que la résistance série, on peut encore négliger le courant dévié dans R_{sh} . On obtient :

$$I = I_{ph} - I_{0d} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{k \cdot T}} - 1 \right) \tag{III.4}$$

Le schéma équivalent de la figure (III.2) correspondant est celui de la cellule idéale :

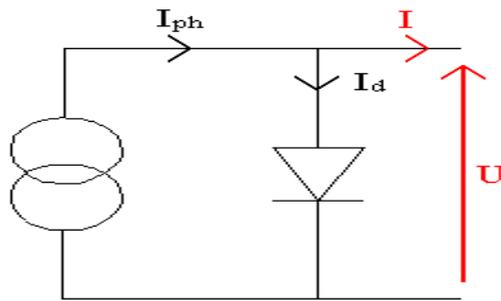


Figure III.2: schéma équivalent simplifié

III.3 Caractéristique de la cellule photovoltaïque

La cellule étant chargée par une résistance, lorsque l'on éclaire la jonction PN, on observe l'apparition d'un courant inverse I sous une tension en sens direct V . La jonction fonctionne en photopile, c'est l'effet photovoltaïque.

La caractéristique d'une jonction PN non éclairée est celle d'une diode. En présence d'un éclairage, cette caractéristique est décalée vers le bas d'un courant I_{sc} (courant de court-circuit). De même, elle coupe l'axe des abscisses en V_{oc} (tension maximale de circuit ouvert).

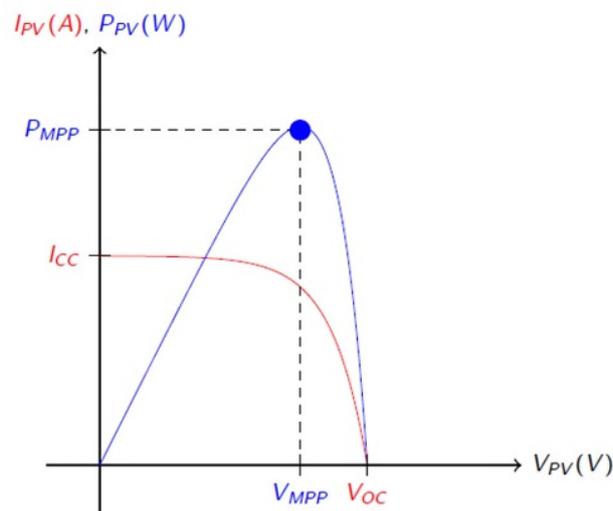


Figure III.3 : la courbe caractéristique $I = f(V)$, $P = f(V)$ d'une cellule

➤ Tension de circuit ouvert V_{oc} (pour $I = 0$) :

Elle est fonction des caractéristiques de la jonction électronique et des matériaux. Pour une cellule donnée, elle ne varie presque pas avec l'intensité lumineuse, au moins pour des éclairagements supérieurs à 100 W / m^2 (ce qui correspond au rayonnement solaire sur terre d'une

journée très couverte). On l'obtient en branchant directement un voltmètre aux bornes de la cellule.

➤ **Courant de court-circuit I_{sc} (pour $V = 0$) :**

Il est directement proportionnel à l'énergie rayonnante reçue, c'est-à-dire à l'éclairement E_s , à la température ambiante, à la vitesse de circulation de l'air ambiant. Il est également directement fonction de la surface de la cellule. On obtient sa valeur en branchant un ampèremètre aux bornes de la cellule.

➤ **La puissance caractéristique d'une cellule PV :**

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairement, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc..), la puissance électrique P (W) disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni I par une tension continue donnée V :

$$P = V \cdot I \quad (\text{III.5})$$

➤ **Point de puissance max :**

Est le point (V_{mp} , I_{mp}) où la puissance dissipée dans la charge est maximale :

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (\text{III.6})$$

III.4 Les zones de Caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement ; seule la courbe $I=f(v)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque.

La figure (III.4) représente trois zones essentielles :

a) La zone (1) : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.

b) La zone (2) : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

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

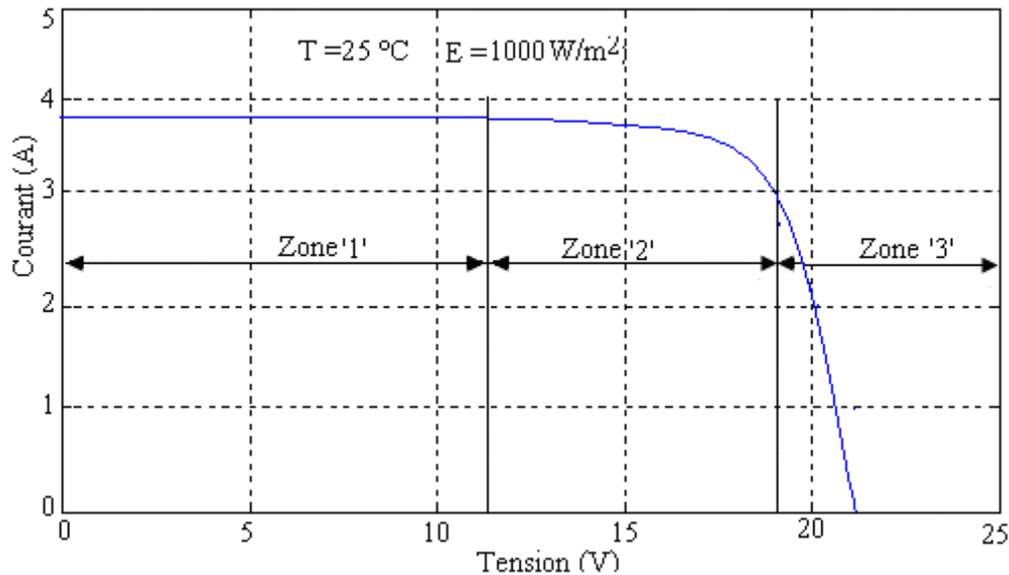


Figure III.4 : Les différentes zones de Caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque

III.5 Association des cellules photovoltaïques identiques

➤ En série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

➤ En parallèle

En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche.

➤ Association mixte (Série parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit I_{cc}^s et de la tension de circuit ouvert V_{oc}^s sont données par les relations

$$I_{cc}^s = n_p \cdot I_{cc} \quad (\text{III.7})$$

$$V_{oc}^s = n_s \cdot V_{oc} \quad (\text{III.8})$$

Avec :

n_p : nombre des cellule en parallèle,

n_s : nombre des cellule en série.

La figure I-11 montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série n_s et en parallèle n_p , cellules identiques.

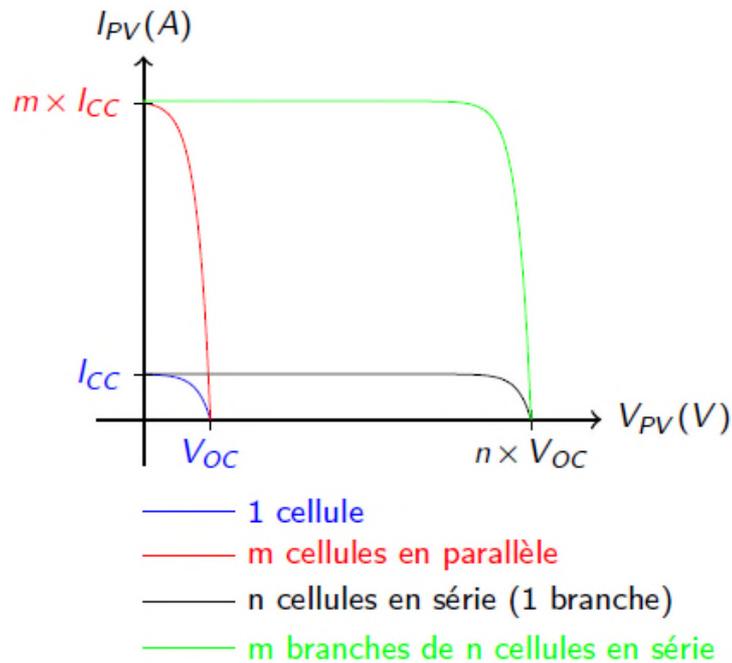


Figure III.5 : caractéristique I-V des différentes associations des cellules

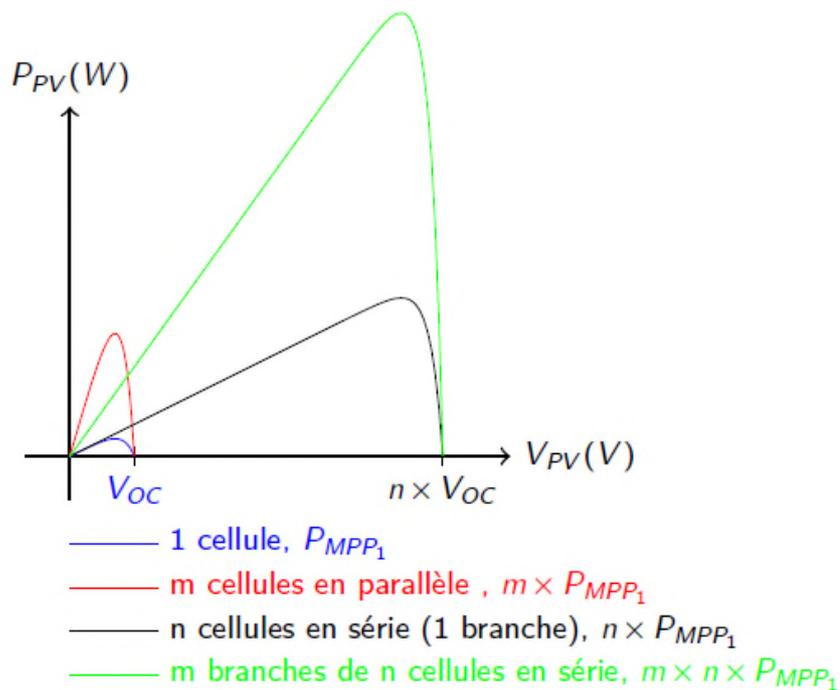


Figure III.6 : caractéristique P-V des différentes associations des cellules

La plupart des panneaux photovoltaïques commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectées en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules photovoltaïque connectés en série. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du générateur photovoltaïque en cas de défaut partiel.

III.6 Les paramètres qui influent sur la caractéristique $I = f(V)$

III.6.1 Influence de l'éclairement

La puissance délivrée par un générateur PV dépend de l'irradiation qu'il reçoit.

La figure (III.7) représente la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes.

On remarque que la tension V_{max} correspondant à la puissance maximale ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant I_{max} qui augmente fortement avec l'éclairement.

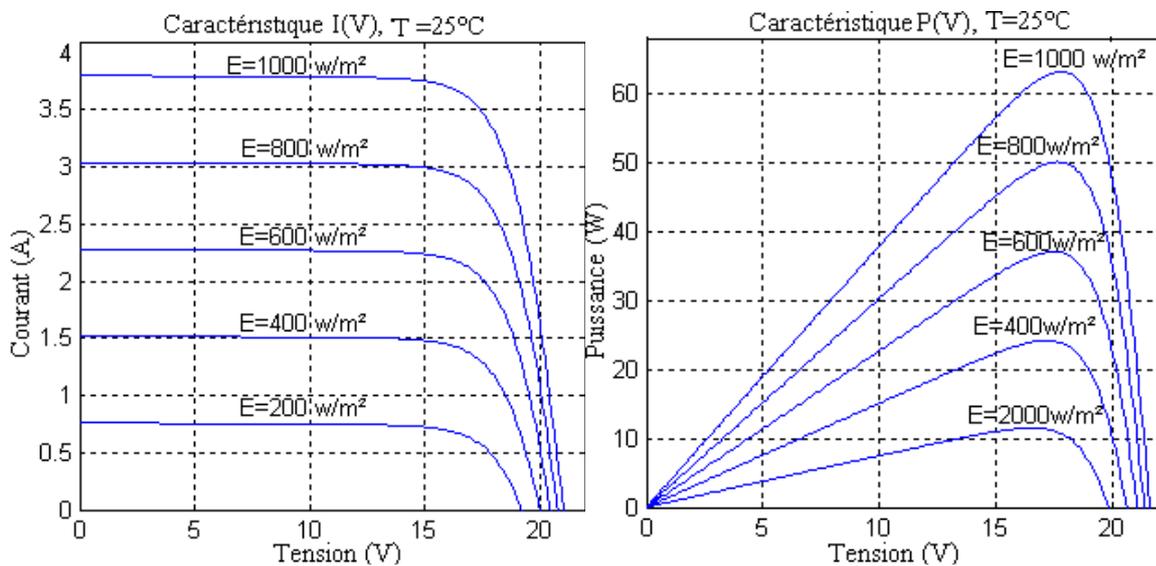


Figure III.7 : Influence de l'éclairement sur le module

III.6.2 Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi conducteur sont très sensibles à la température.

La figure (III-8) représente la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de la température, à un éclairement et constante.

On remarque que L'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale.

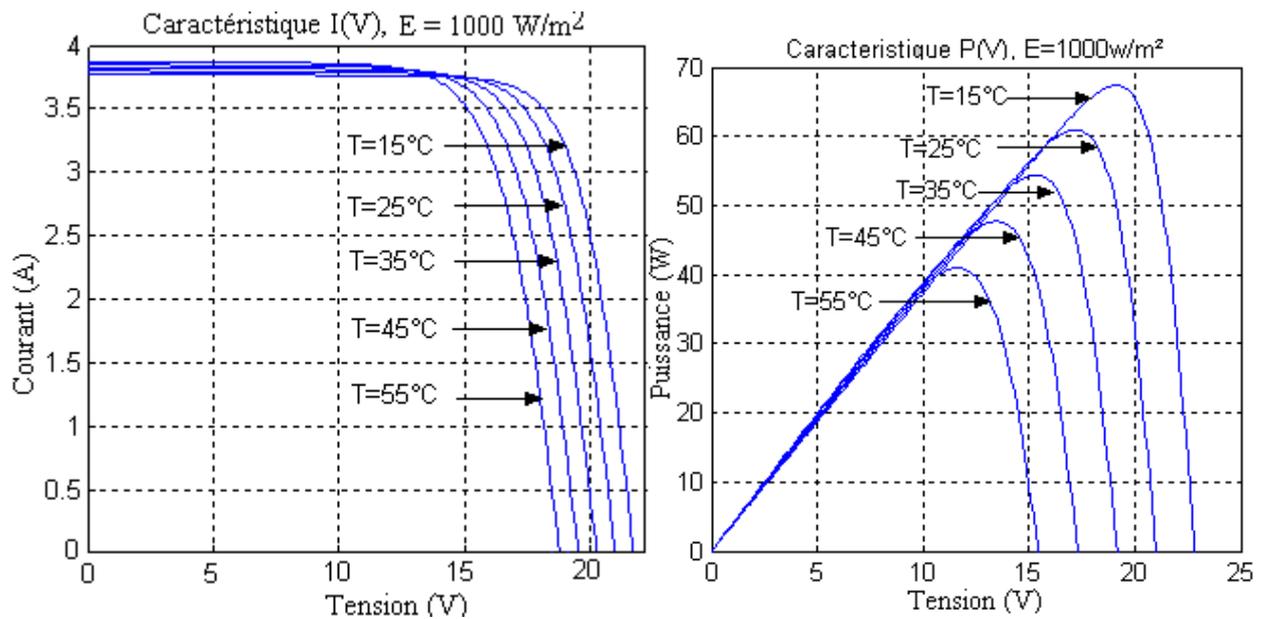


Figure III.8 : Influence de la température sur le module

III.6.3 Influence de la résistance série

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 série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone de la photodiode se comporte comme un générateur de tension, et lorsqu'elle est élevée, elle diminue la valeur de courant de court circuit. Figure (III-9)

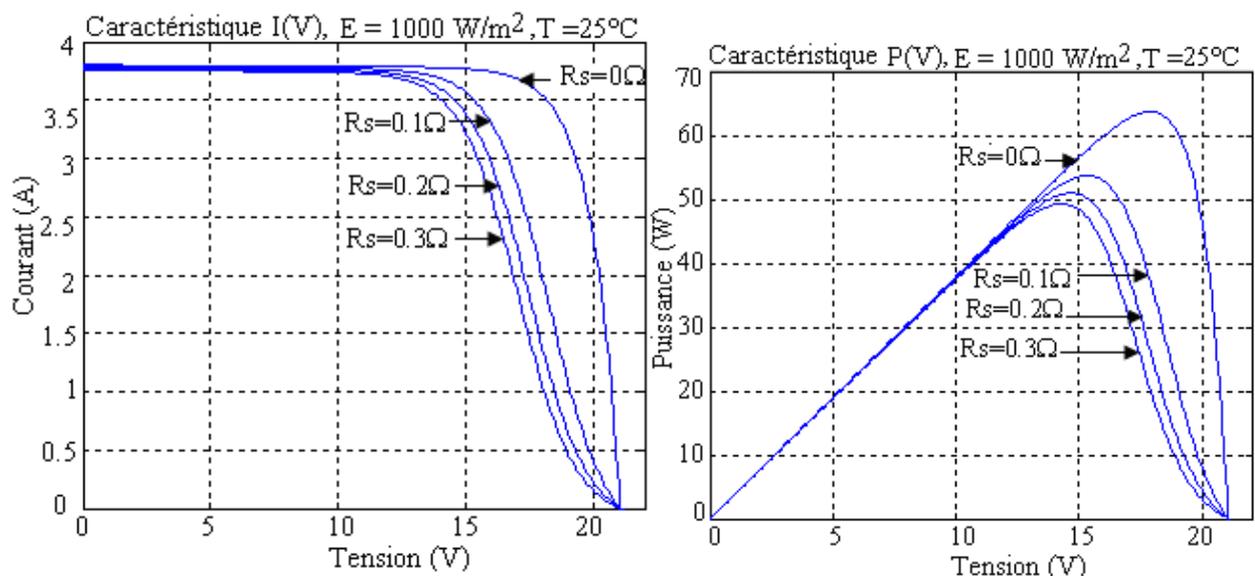


Figure III.9 : L'influence de la résistance série Rs sur la caractéristique I (V)

III.6.4 Influence de la résistance shunt

La résistance shunt est une résistance qui prend en compte les fuites inévitables du courant qui intervient entre les bornes opposées positives d'une photopile.

En générale, la résistance shunt est très élevée, son effet se fait sentir surtout dans la partie génération du courant.

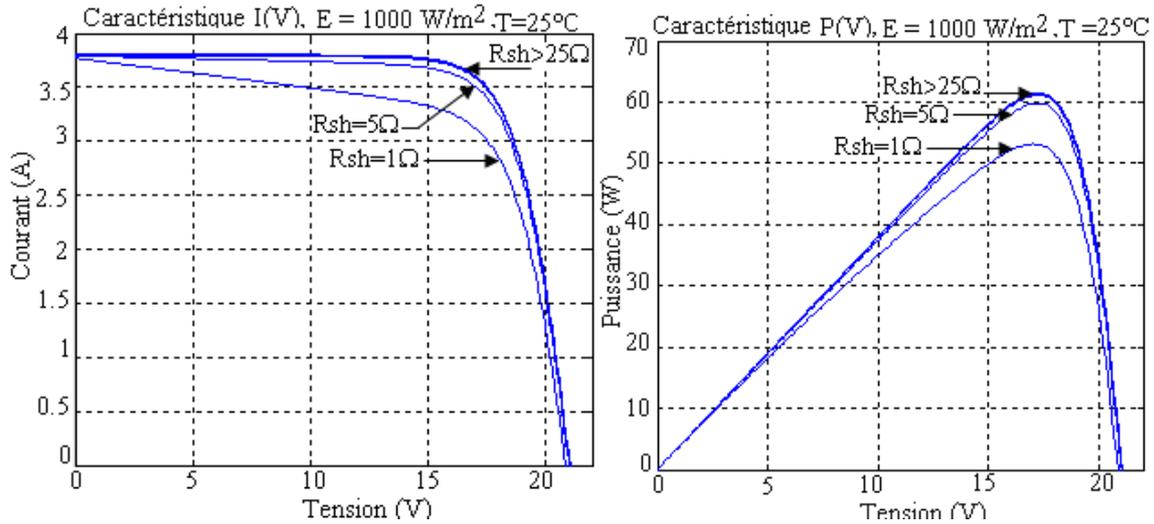


Figure III.10 : L'influence de la résistance shunt Rsh sur la caractéristique I (V)

III.7 Test de simulation des cellules aux niveaux condor

La simulation des cellules aux niveaux Condor, avec des appareils industriels, nous donne des résultats automatiques de différentes classes : Best, A, B, C, Worse

➤ Cellule Classe Bests

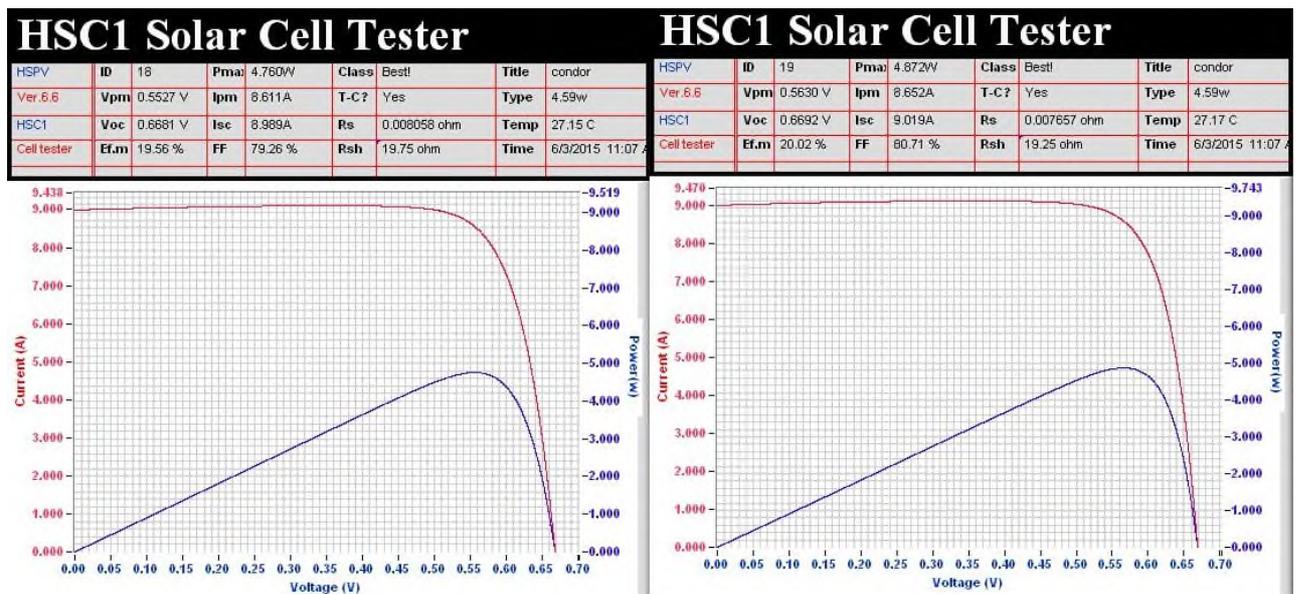


Figure III.11 : caractéristiques des cellules Classe Bests

➤ Cellules Classe A

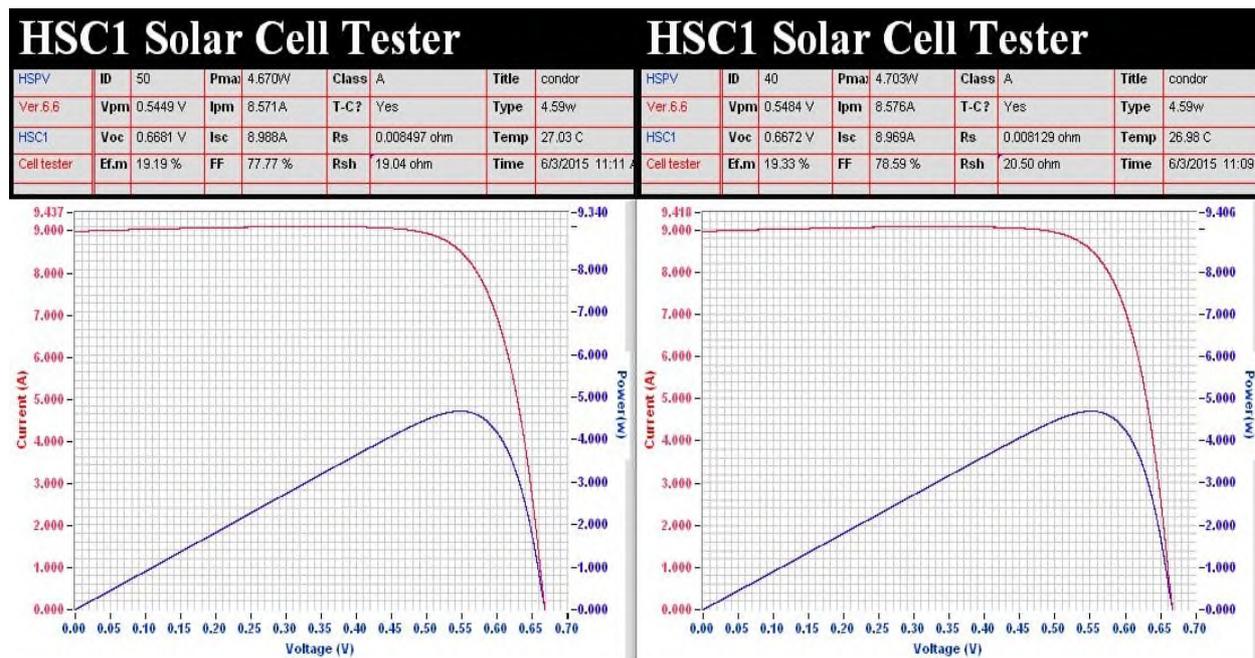


Figure III.12 : caractéristiques des cellules Classe A

➤ Cellules Classe B

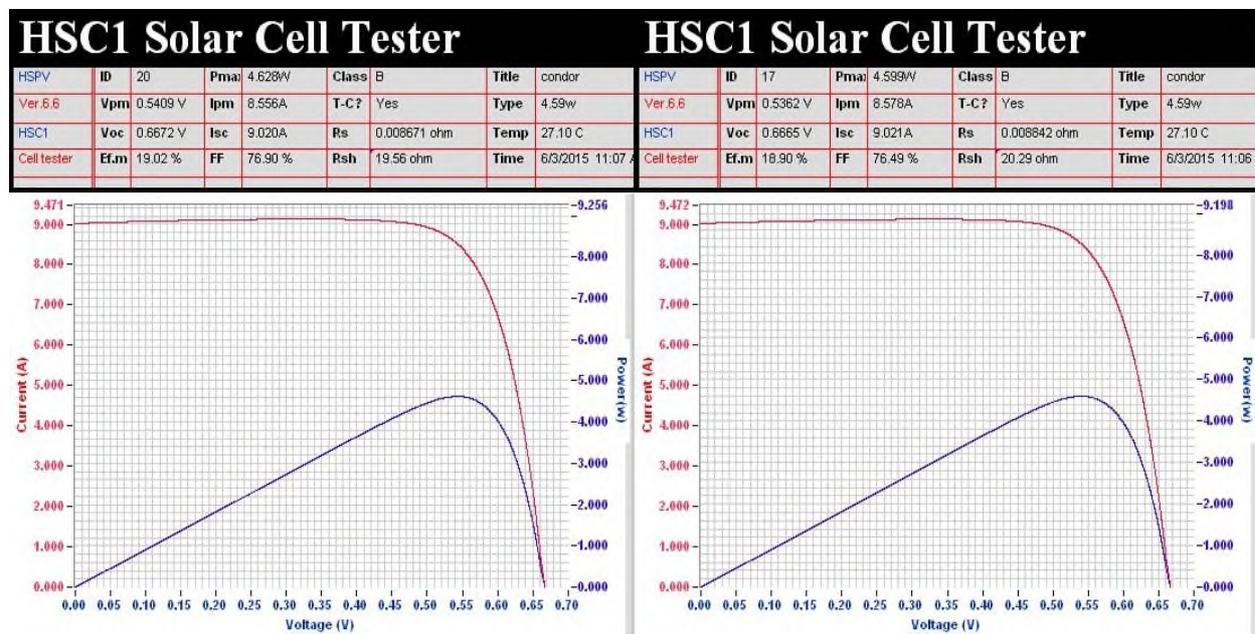


Figure III.13 : caractéristiques des cellules Classe B

➤ Cellules Classe C

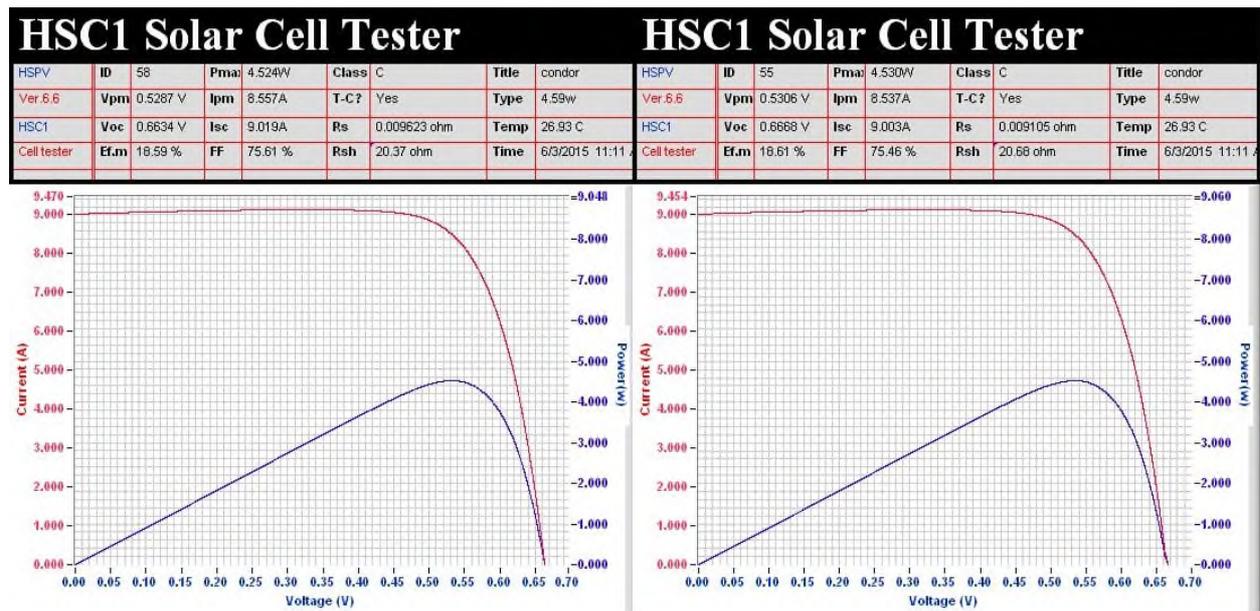


Figure III.14 : caractéristiques des cellules Classe C

➤ Cellules Classe Worse

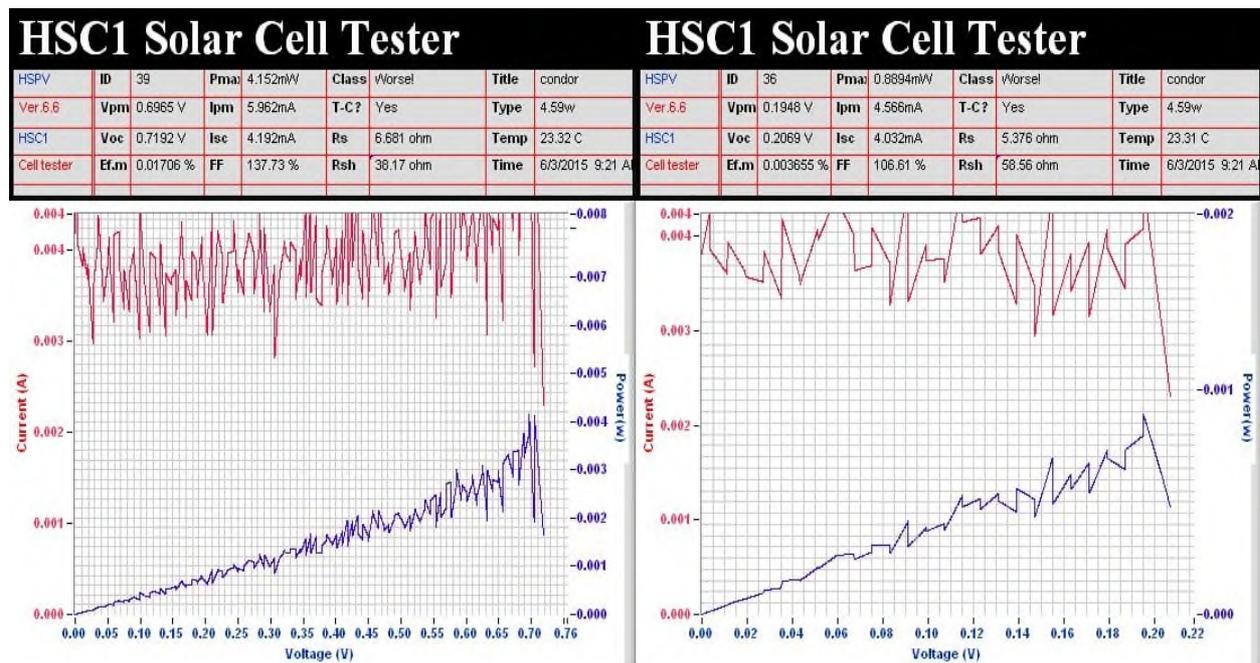
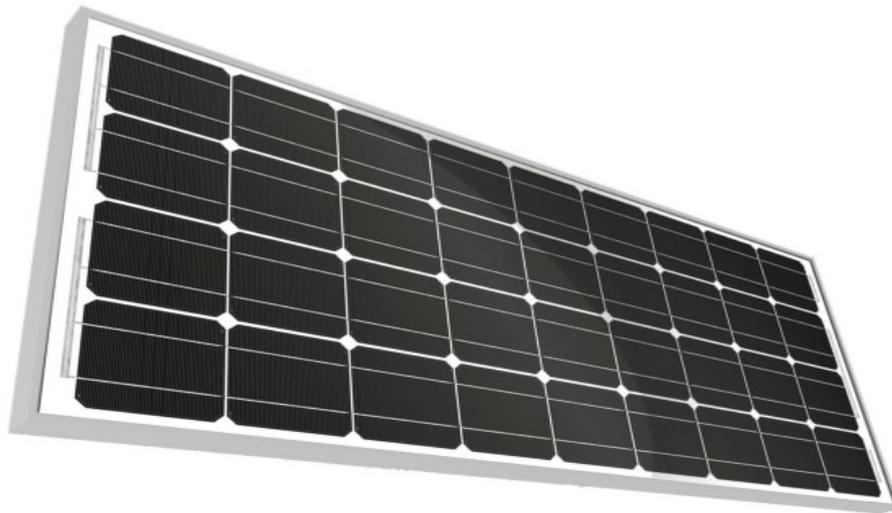


Figure III.15 : caractéristiques des cellules Classe Worse

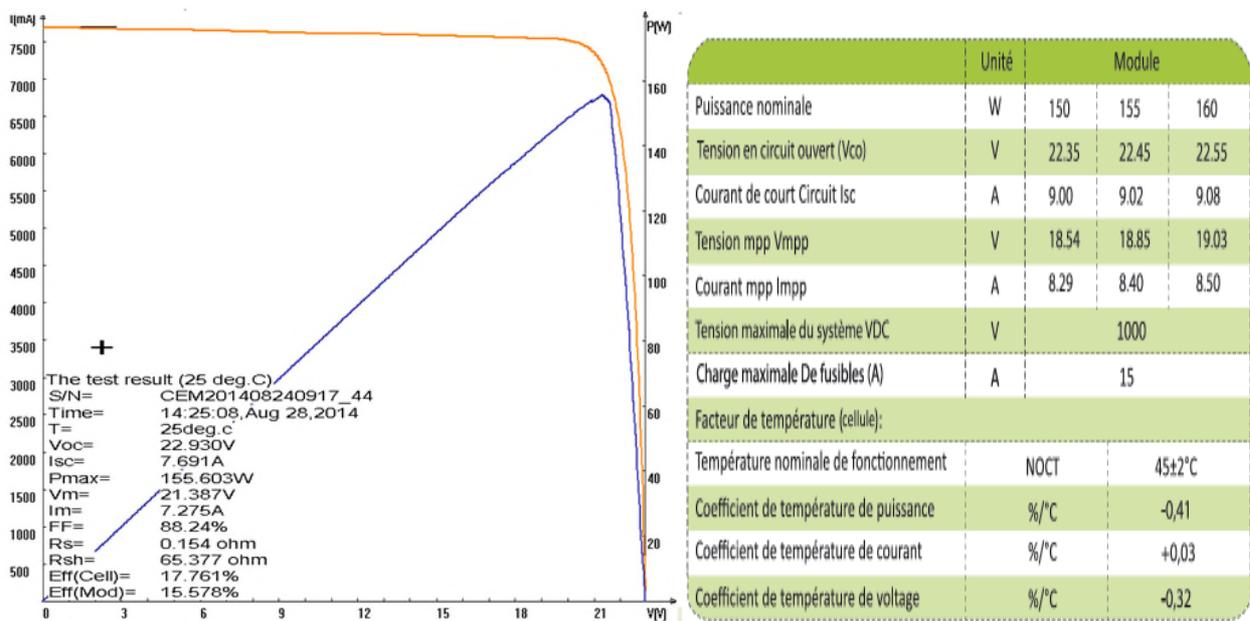
Après ce test simulateur, chaque classe de ces cellules on les met dans des boîtes de transfert, puis elles seront ensuite catégoriser par leurs modèles.

III.8 Tests avec FLASH Simulator

❖ Module PV Monocristallin 36 cellules

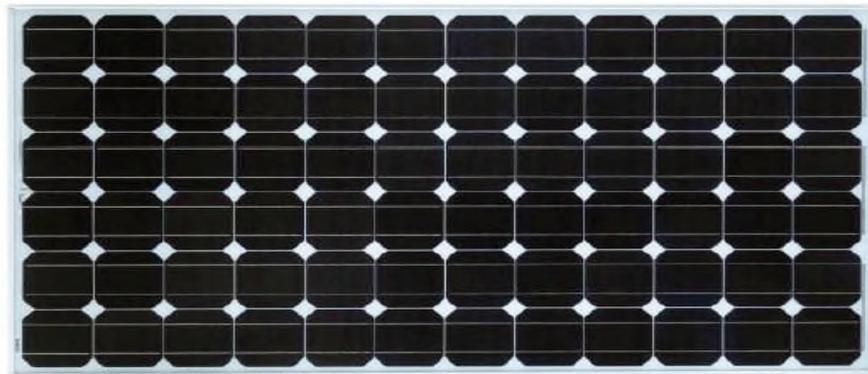


Figures III.16: Module PV Condor type 36M

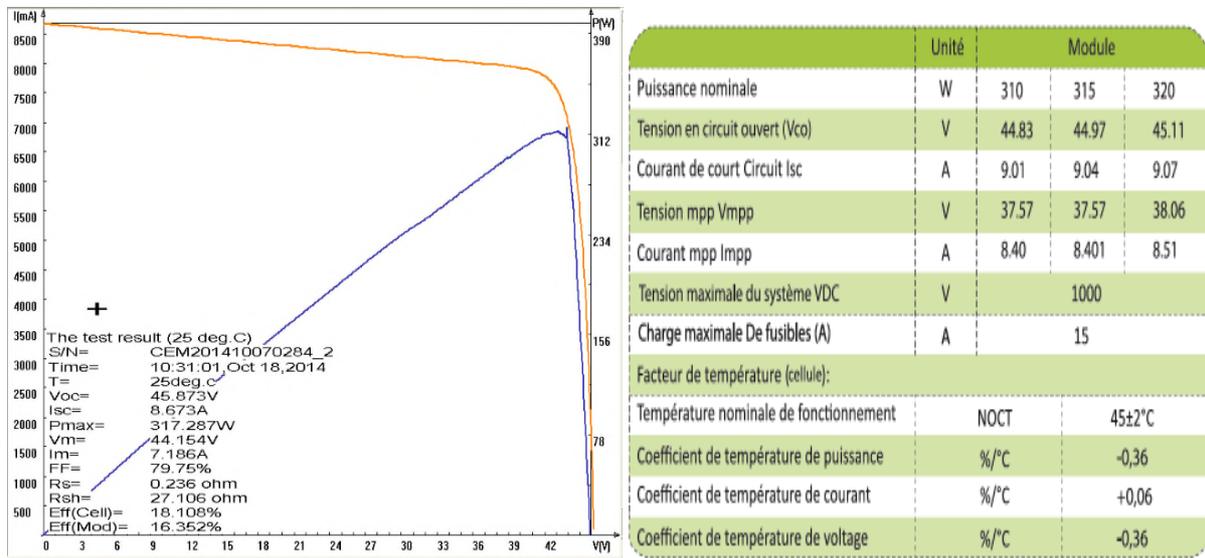


Figures III.17 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 36M

❖ Module PV Monocristallin 72 cellules

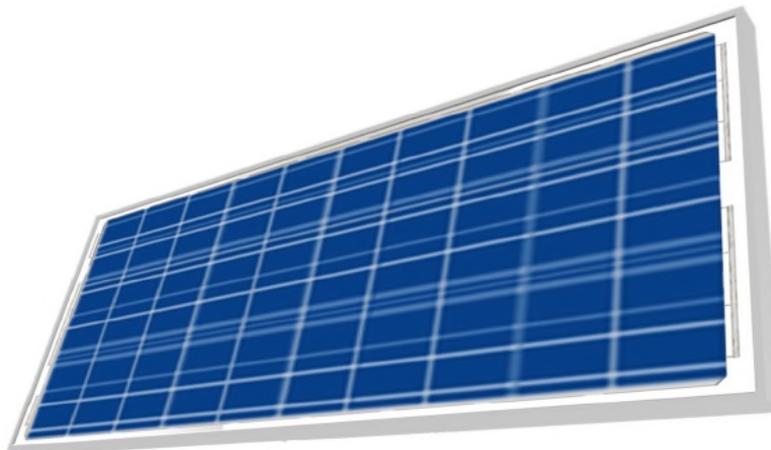


Figures III.18: Module PV Condor type 72M

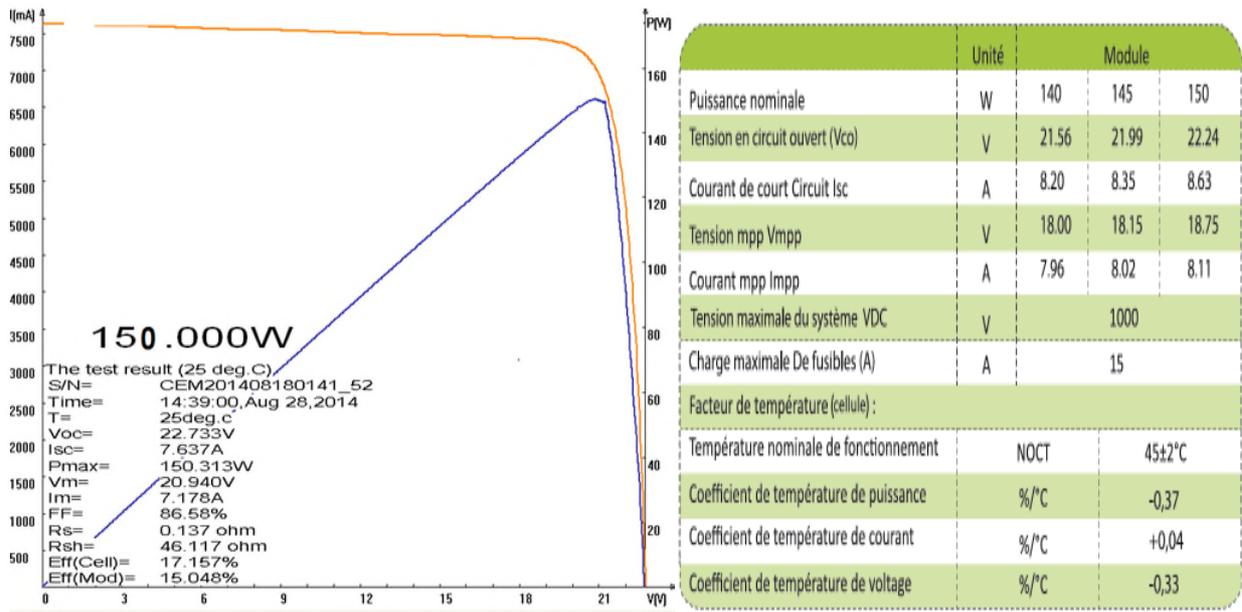


Figures III.19 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 72M

❖ Module PV poly cristallin 36 cellules



Figures III.20: Module PV Condor type 36P

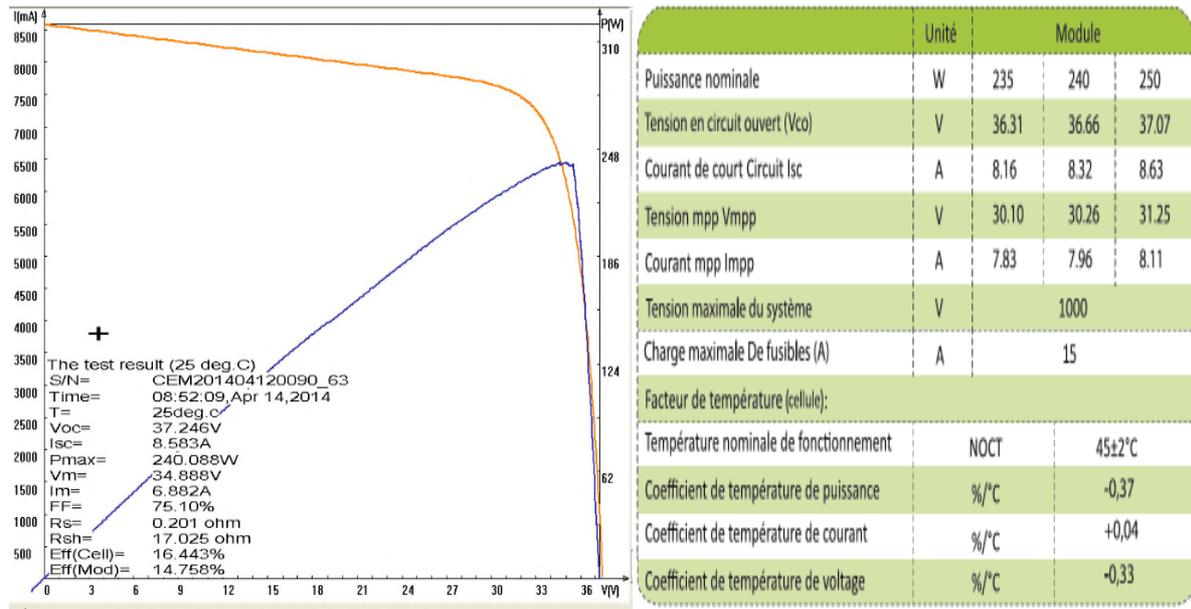


Figures III.21 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 36P

❖ Module PV Poly cristallin 60 cellules

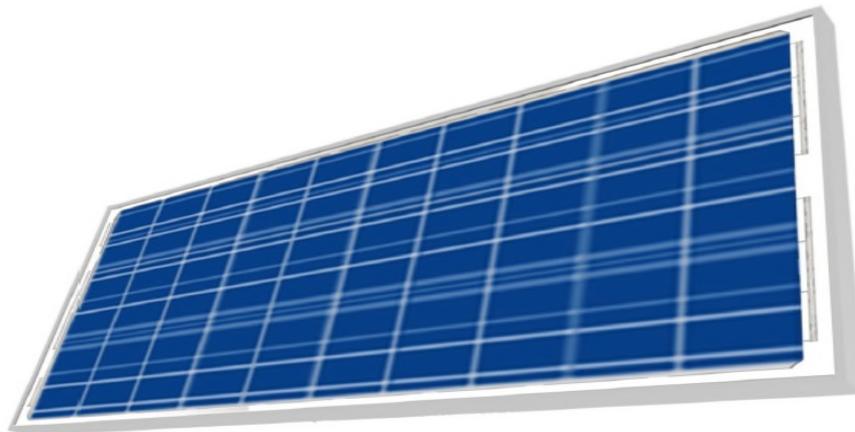


Figures III.22: Module PV Condor type 60P

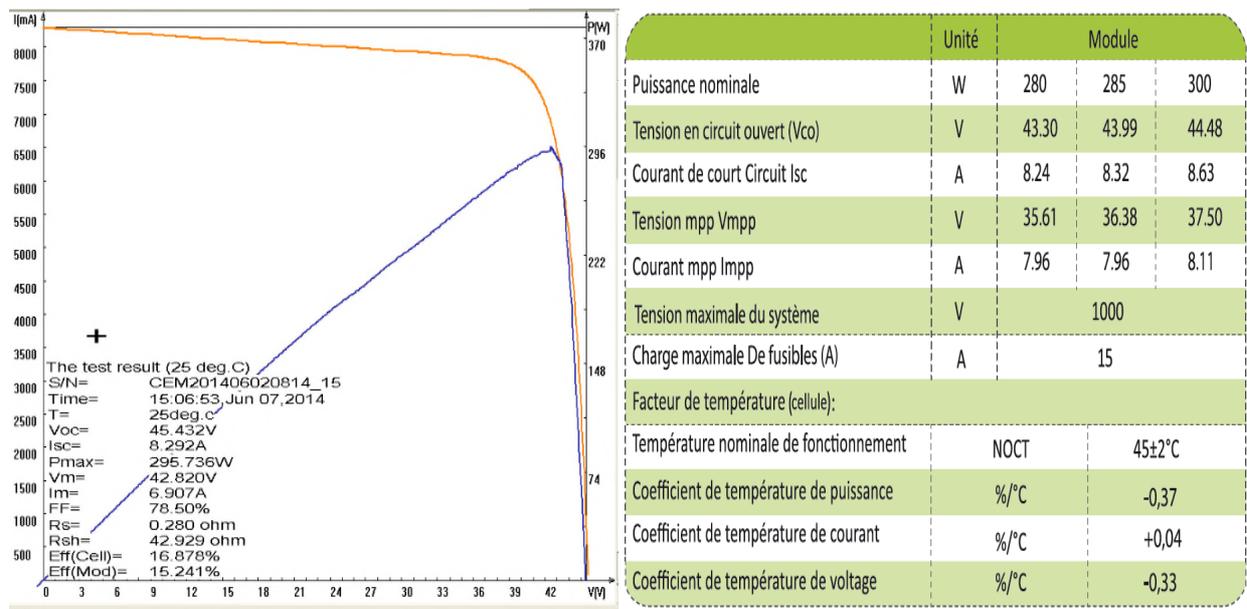


Figures III.23 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 60P

❖ Modules PV Poly cristallin 72 cellules



Figures III.24: Module PV Condor type 72P



Figures III.25 : Caractéristiques d'un module PV Condor type 72P

Dans le tableau suivant on a relevé tous les résultats de caractéristiques électriques données par le simulateur, et de ces caractéristiques Condor tolère une marge d'intervalle pour faire des plaques signalétiques qui conviennent à chaque panneau

Module	Numéro de Série	Isc[A]	Imp[A]	Voc[V]	Vmp[V]	Pmp[w]	FF[%]
CEM155M-36	2015-04-17-2951	7.691	7.275	22.930	21.387	155.603	88.24
CEM315M-72	2015-04-24-0917	8.673	7.186	45.873	44.154	317.287	79.85
CEM150P-36	2015-04-31-0136	7.637	7.178	22.722	20.940	150.313	86.58
CEM250P-60	2015-04-18-0141	6.583	6.882	37.246	34.888	240.088	75.10
CEM300P-72	2015-04-0242	8.292	6.907	45.432	42.820	295.796	78.50

Tableau III.1 : Caractéristiques électriques relevées du Flash test simulator

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la caractérisation du panneau photovoltaïque Condor parait intéressant, et les caractéristique $I(V)$, $P(V)$ a différentes zones de fonctionnement, et le principe d'une cellule photovoltaïque, et Les différentes modèles électriques d'une cellule photovoltaïque.

Les cellules solaires subissent des variations quotidiennes de l'intensité lumineuse, avec la puissance incidente du soleil variant entre 0 et 1 kW / m². A des niveaux faibles de lumière, l'effet de la résistance de shunt devient de plus en plus important. Comme l'intensité lumineuse diminue, le point et de courant de polarisation à travers la cellule solaire diminue également, et la résistance équivalente de la cellule solaire peuvent commencer à approcher la résistance de shunt. Lorsque ces deux résistances sont similaires, la fraction du courant total circulant à travers la résistance de dérivation augmente, augmentant ainsi la perte de puissance fractionnaire en raison de la résistance shunt. Par conséquent, dans des conditions nuageuses, une cellule solaire avec une haute résistance à la dérivation conserve une plus grande fraction de la puissance d'origine d'une cellule solaire avec une faible résistance de shunt.

Chapitre IV

Etude des différents défauts
d'un panneau PV

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous précisons tout d'abord le contexte et l'objectif de notre étude. Nous discutons de toutes les problématiques liées à la productivité d'une installation photovoltaïque et comment ces problématiques nécessitent une étude de détection et de localisation de défauts.

Dans la seconde partie, les différents composants d'un système photovoltaïque sont décrits. Les défauts associés à ces composants sont également identifiés. Parmi les défauts identifiés, seuls les principaux défauts sont retenus, sur la base de leur criticité et de leur occurrence, pour l'étude de la détection et de localisation de défauts.

La dernière partie de ce chapitre présente les différentes méthodes de diagnostic, industrialisées ou non, proposées pour détecter et/ou localiser des défauts dans un système photovoltaïque.

Avec la modification récente du tarif d'achat, les producteurs de l'installation photovoltaïque cherchent à maximiser leur profit en injectant le maximum de l'énergie produite au réseau. La productivité joue donc un rôle essentiel dans la rentabilité d'une installation photovoltaïque.

Nous discutons dans cette première partie toutes les problématiques liées à la productivité d'une installation photovoltaïque et comment ces problématiques nécessitent une étude de détection et de localisation de défauts.

IV.2 Système photovoltaïque et ses défauts

Avant de développer un système de diagnostic, un cahier de charge des défauts à détecter doit être établis. L'objectif de cette partie est d'identifier les principaux défauts dont on souhaite faire le diagnostic. Pour effectuer cette identification, nous présentons tout d'abord les différents composants d'un système PV et les défauts associés à ces composants.

IV.3 Défauts rencontrés

Lors de notre stage à Condor on a rencontré une multitude de cas de défaillances :

➤ Défauts de particules étrangères

De l'œil perçant et expérimenté, les collaborateurs examinent les différents composants du module lors de leur réception. Seuls des matériaux de la qualité la plus haute et sans vices cachés seront introduits dans le cycle de production. Une attention toute particulière est portée aux matériaux qui protégeront le module du vent et des intempéries, tels que le verre avant de sécurité et le film ou le verre arrière de protection.

➤ Défauts de cellule détectés par le Trieur de cellules (cell sorting)

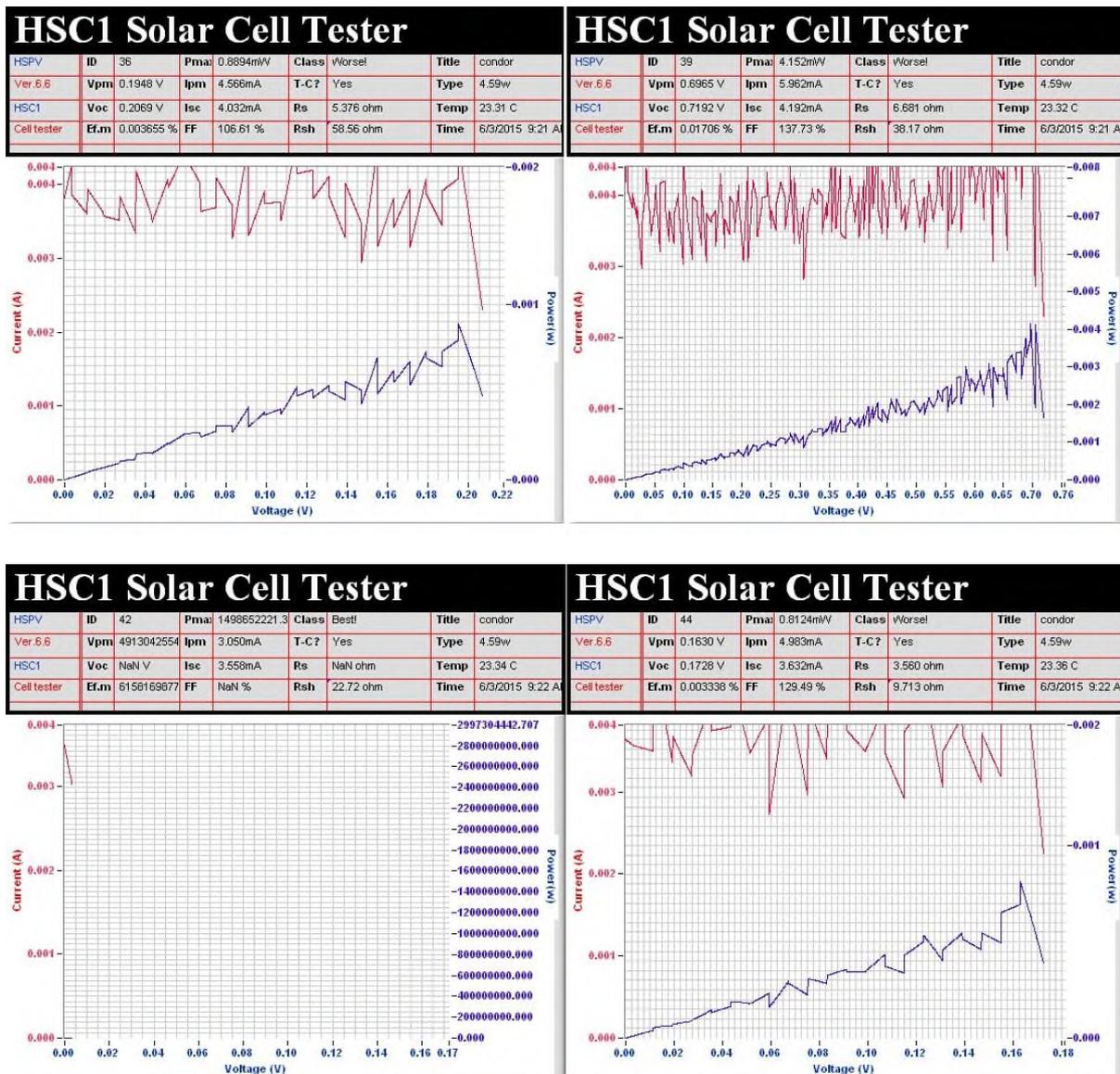


Figure IV.1 : cellules défaillantes classées worse

➤ **Défauts de cellule détectés par le test d'électroluminescence (EL)**

Chaque module photovoltaïque est soumis au moins deux fois à une mesure finale par électroluminescence pendant le processus de production : chaque matrice cellulaire est examinée avant et après lamination, puis après montage final du module. Tout au long du processus de production, nous maintenons des efforts de contrôles qualité stricts. Chaque module est soumis à une mesure finale par électroluminescence. Sur la base de la dernière mesure par électroluminescence, le personnel expérimenté valide par une inspection visuelle finale que le module offre un état technique irréprochable

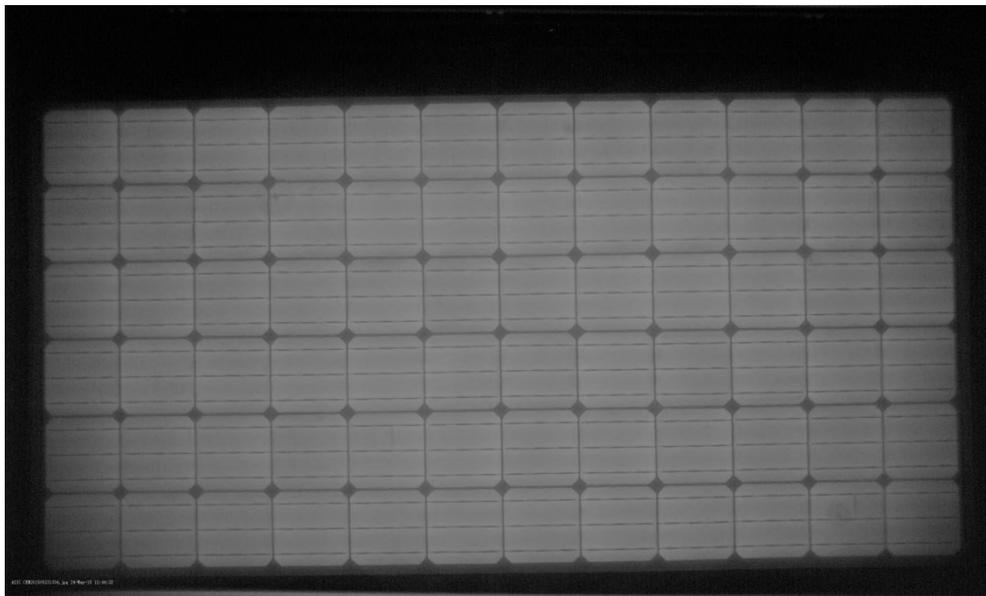


Figure IV.2 : Test EL d'un module sain

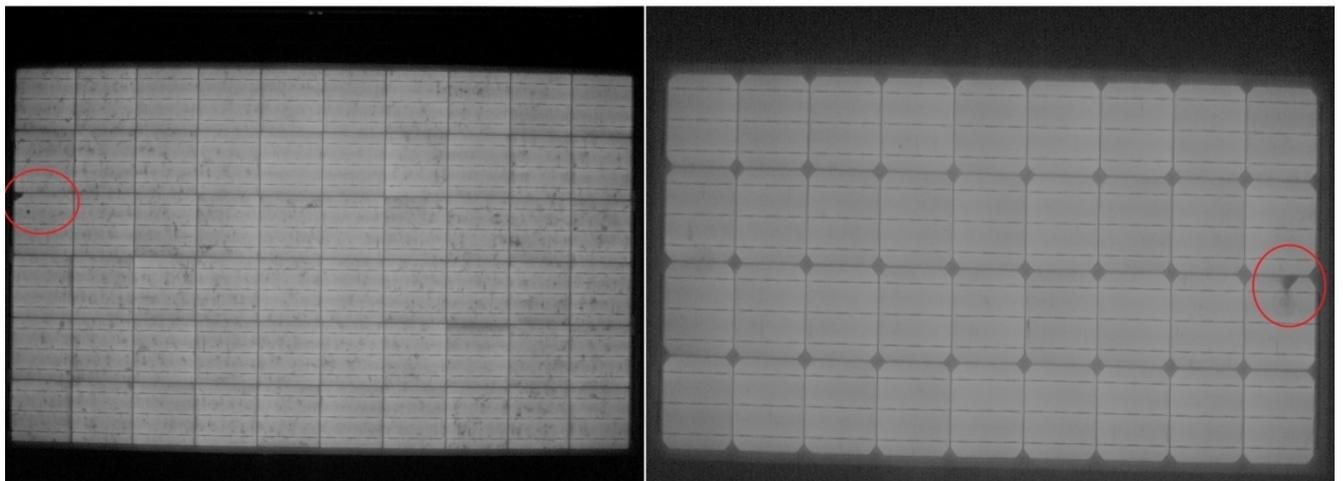


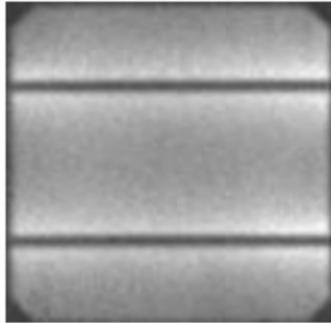
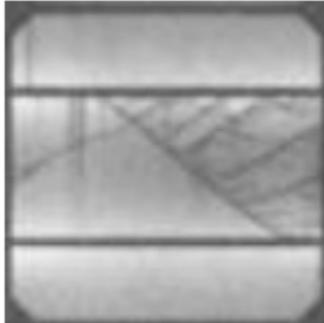
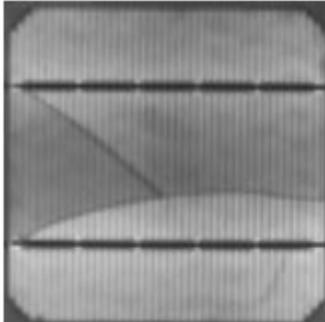
Figure IV.3 : Test EL des modules défectueux

IV.4 Trie de fissures cellulaires

Les orientations de craquage peuvent avoir des différents impacts sur la puissance de sortie des modules PV. En particulier, une seule fissure mène à une séparation électrique d'une partie pertinente de la cellule peut réduire considérablement la puissance de sortie d'un module PV.

Les fissures de contraste, fait des parties de cellule non électrique séparés marginalement et affectent la performance du module photovoltaïque.

Afin d'évaluer la criticité des fissures, nous avons estimé le pire cas impact des différentes orientations de crack. La criticité de la fissure sur la PV est indiquée par des chiffres romains I = faible criticité, II = modérée, III = haute criticité dans **Tableau (IV.1)**

Classe de crack	Image
Cellule saine	
dendritique fissure III	
plusieurs sens III	

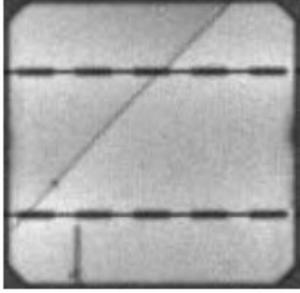
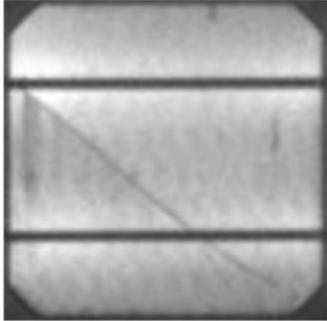
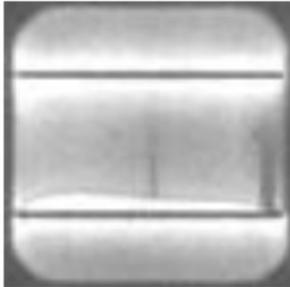
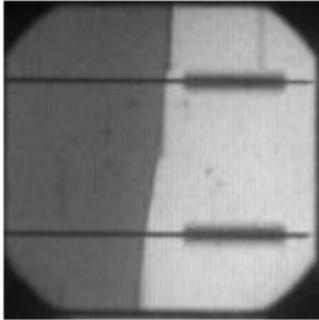
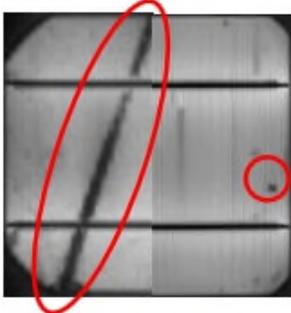
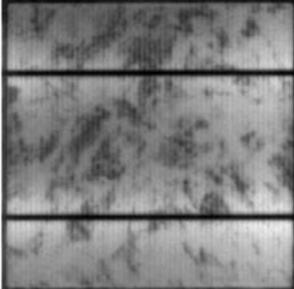
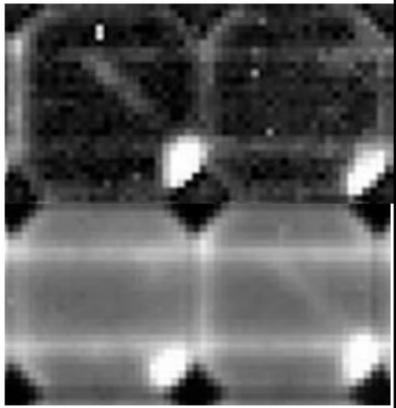
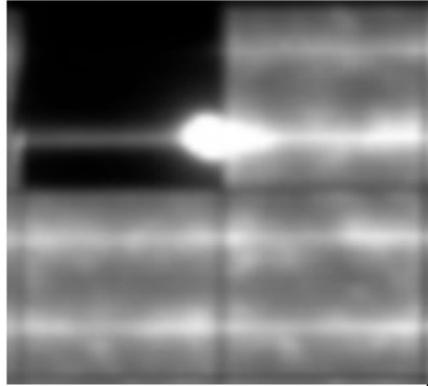
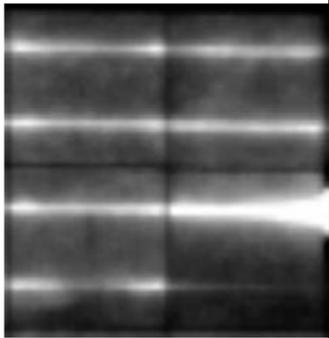
<p>+45° III</p>	
<p>-45° III</p>	
<p>parallèlement au bus barre III</p>	
<p>Perpendiculaire au bus bar I</p>	
<p>fissurer en croix II</p>	

Tableau IV.1 : Trie des fissures cellulaires

IV.5 Description des images de test EL (électroluminescence)

Description	Image
Cellule non saine	
Bord d'isolement shunt Isolement shunt ne se produit que sur les bords des cellules.	
Cellule shunté par interconnexion de cellules ruban: Pas de courant traversant la cellule.	
Ruban intercellulaire d'interconnexion brisé	

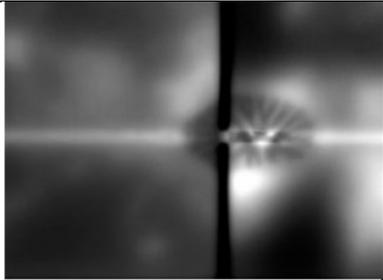
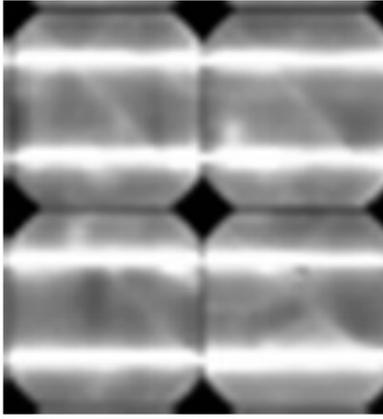
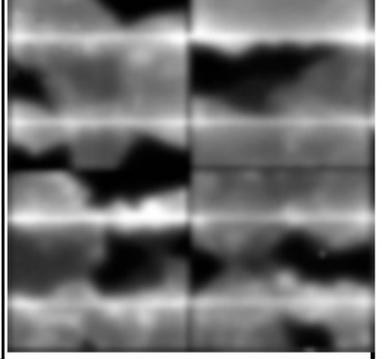
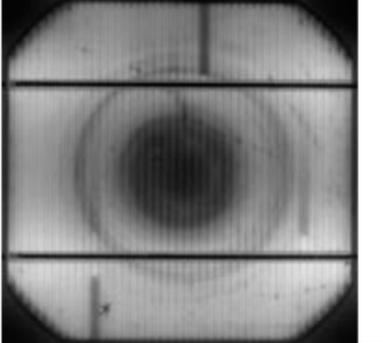
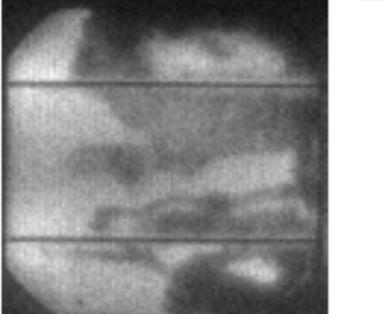
Bulles moyennes dans le matériau encapsulant		
Fissures cellulaires légères		
Fissures cellulaires		
Anneaux de Striation		
Corrosion d'humidité		

Tableau IV.2 : Description des images du test EL

IV.6 Eventuelles endommagements

IV.6.1 Défauts de Cellule

Condor ne travaille qu'avec des cellules de haute qualité ayant d'excellents rendement même en cas de faible luminosité

- Fabricants de cellules ayant une excellente renommée
- Utilisation exclusive des cellules de première classe
- Contrats de vente à long terme.

Les éventuels endommagements de cellule qu'on peut rencontrés sont ;

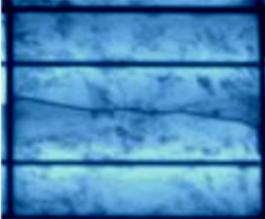
Eventuelles endommagement	Image
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cellules endommagées à cause des intempéries 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disfonctionnement de plusieurs cellules d'un module 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Points chauds 	

Tableau IV.3 : Eventuels endommagements sur les cellules

IV.6.2 Défauts de soudure

Augmentation de l'efficacité du module grâce à une qualité de soudure constante, pour cela Condor impose les critères suivants :

- Un étalonnage régulier des stations de soudure.
- Des vérifications visuelles de tous les joints soudés.
- Une optimisation continue du procédé de soudure.
- Une soudure de haute précision automatisée dans presque tous nos sites de production.

Les éventuels endommagements de soudage qu'on peut rencontrer sont ;

Eventuelles endommagements	Images
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le défaut de soudage de cellule solaire généré au niveau du bord de la grille principale ▪ la ligne de grille fine peut facilement glisser ou se fissurer le cristal ▪ impact sur l'efficacité de la production d'électricité ▪ une puissance inférieure à celle du module 	

Tableau IV.4 : Eventuels endommagements provoqués par les mauvaises soudures

IV.6.3 Défaut de verre

Pour éviter les endommagements éventuels qui peuvent survenir sur le verre, Condor impose une qualité par les critères suivants :

- 4 mm d'épaisseur (résistance jusqu'à 5400 Pa, tests poussés)
- Verre trempé (haute transparence)
- Augmentation du rendement grâce au verre anti-reflet
- Stabilité du rendement à long-terme
- Fabricants de verre solaire de marque renommée.

Les éventuels endommagements de verre qu'on peut rencontrer sont ;

Eventuelles endommagements	Image
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le vent, la grêle ou la neige peuvent fissurer ou briser le verre ▪ Le verre brisé entraîne des dégâts dans le module 	

Tableau IV.5 : Eventuels endommagements sur le verre

IV.6.4 Défaut de laminage

Pour éviter les endommagements éventuels de lamination, Condor impose sa qualité par les critères suivants :

- Tests réguliers de durabilité du laminé
- Contrôles réguliers de la réticulation interne
- Pas de pertes optiques.

Les éventuels endommagements de laminage qu'on peut rencontrer sont ;

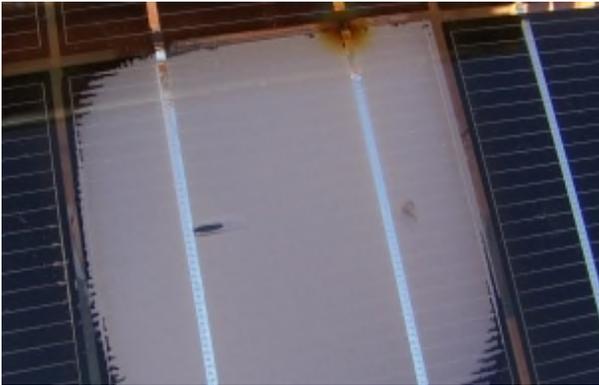
Eventuelles endommagements	Image
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Délamination ▪ Formation de cloques sur le laminé ▪ Tedlar endommagé à cause des bords tranchants ▪ Inesthétique 	

Tableau IV.6 : Eventuels endommagements sur le laminage

IV.6.5 Défaut d'encadrement

Pour éviter les endommagements éventuels qui peuvent survenir sur l'encadrement, Condor impose une qualité par les critères suivants :

- Aluminium anodisé, épaisseur 42 mm
- Profilé creux
- Isolant haute performance
- Perforations de drainage
- Pressé, estampé et ébarbé.

Les éventuels endommagements de cadrage qu'on peut rencontrés sont ;

Eventuelles endommagements	Image
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Glace et neige peuvent affecter la statique ▪ Déformation et délabrement du module ▪ Intérieur du module endommagé 	

Tableau IV.7 : Eventuels endommagements d'encadrement

IV.6.6 Défaut de la boîte de jonction

Pour éviter les endommagements éventuels qui peuvent survenir sur la boîte de jonction, Condor impose sa qualité par les critères suivants :

- Large boîtier métallique (Boîte SOLON)
- Connecteur MC-4 reconnu
- Ventilation pour dissiper la chaleur
- Protection contre le survoltage renforcée (en cas de foudre par exemple)
- Boîte interchangeable facilement si nécessaire
- Design simplifié pour faciliter la réparation en cas de panne.

Les éventuels endommagements de boîte de jonction qu'on peut rencontrer sont ;

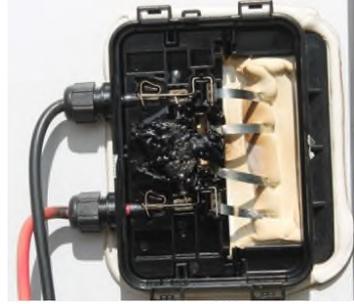
Eventuelle endommagements	Image
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sortie de fumée de la boîte ▪ Brûle à cause des diodes ▪ La boîte se détache du module ▪ Cellules et différentes faces qui chauffent 	

Tableau IV.8 : Eventuels endommagements de boîte de jonction

IV.7 Tests de qualités et de performance

IV.7.1 Définition

Les conditions réelles dans lesquelles les panneaux solaires sont utilisés restent la référence pour les essais et pour les exigences de qualité. Laboratoire d'essai de condor a pour objectif de mettre à l'épreuve les panneaux solaires de la même manière que le soleil, le vent et les intempéries extérieures.

IV.7.2 Tests matières premières

Tests	Les exigences des normes Condor	Le bute
Test de résistance au choc	boule d'acier de 227 g Hauteur de 1200mm	Vérifier la résistance aux chocs du verre
Test d'élongation	Pas d'exigences correspondantes	Recherche de points chauds ou autres défauts
Simulation de transport	Pas d'exigences correspondantes	Simulations des chocs en continue en position verticale et horizontale pour les transports routiers, maritimes et ferroviaires.
Test RMN	Pas d'exigences correspondantes	Mesure du degré de réticulation des feuilles EVA.
Test de transmission de lumière	Pas d'exigences correspondantes	Mesure de la transmission de lumière du verre solaire et des feuilles EVA.

Tableau IV.9 : Test matières premières

IV.7.3 Tests produits finis

❖ Test diélectrique

L'objectif de cet essai est de déterminer si le module est suffisamment isolé, entre les éléments conducteurs et le châssis ou bien le monde extérieur, afin d'assurer que les surfaces conductrices exposées du module peuvent être mis à la terre de manière adéquate dans un système PV



Figure IV.4 : Test diélectrique.

➤ Equipement/Outillage :

Source de tension à courant continu entre 500 à 1000 v

❖ Test de courant de fuite en milieu humide

L'objectif de cet essai est d'évaluer l'isolement du module dans l'humidité. Et de vérifier que l'humidité provenant de la pluie, du brouillard, de la rosée ou de la neige fondue n'entre pas dans les parties actives des circuits du module, où cela pourrait causer de la corrosion, un défaut de masse ou un risque pour la sécurité.



Figure IV.5 : Test de courant de fuite en milieu humide.

➤ **Equipement/Outils**

- Source de tension à courant continu entre 500 à 1000 v.
- Réservoir plein d'eau.
- solution d'agent.

❖ **Test de continuité à la masse**

Afin d'assurer que les surfaces conductrices exposées du module peuvent être mises à la terre de manière adéquate dans un système PV.



Figure IV.6 : Test de continuité à la masse.

➤ **Equipement/Outils**

Source de tension à courant continu entre 500 à 1000 v.

❖ **Test de tension d'impulsion**

Pour vérifier la capacité du module à résister aux surtensions d'origine atmosphérique (coup de foudre). Ce test est effectué dans les conditions de la chambre ; la température et l'humidité relative inférieure à 75 %

- Couvrir l'ensemble du module avec une feuille de cuivre.
- Connectez la feuille à la borne négative du générateur de tension de choc.
- Connecter les bornes de sortie en court-circuit du module à la borne positive de Générateur de tension d'impulsion.
- appliquer la tension d'impulsion de surtension



Figure IV.7 : Test de tension d'impulsion.

➤ **Equipement/Outillage :** Générateur de tension de choc.

❖ **Test outdoor**

L'objet de cet essai est de déterminer les effets d'une dégradation en condition d'exposition naturelle. On vérifie alors les défauts visuels, la puissance maximale de sortie et la résistance d'isolement



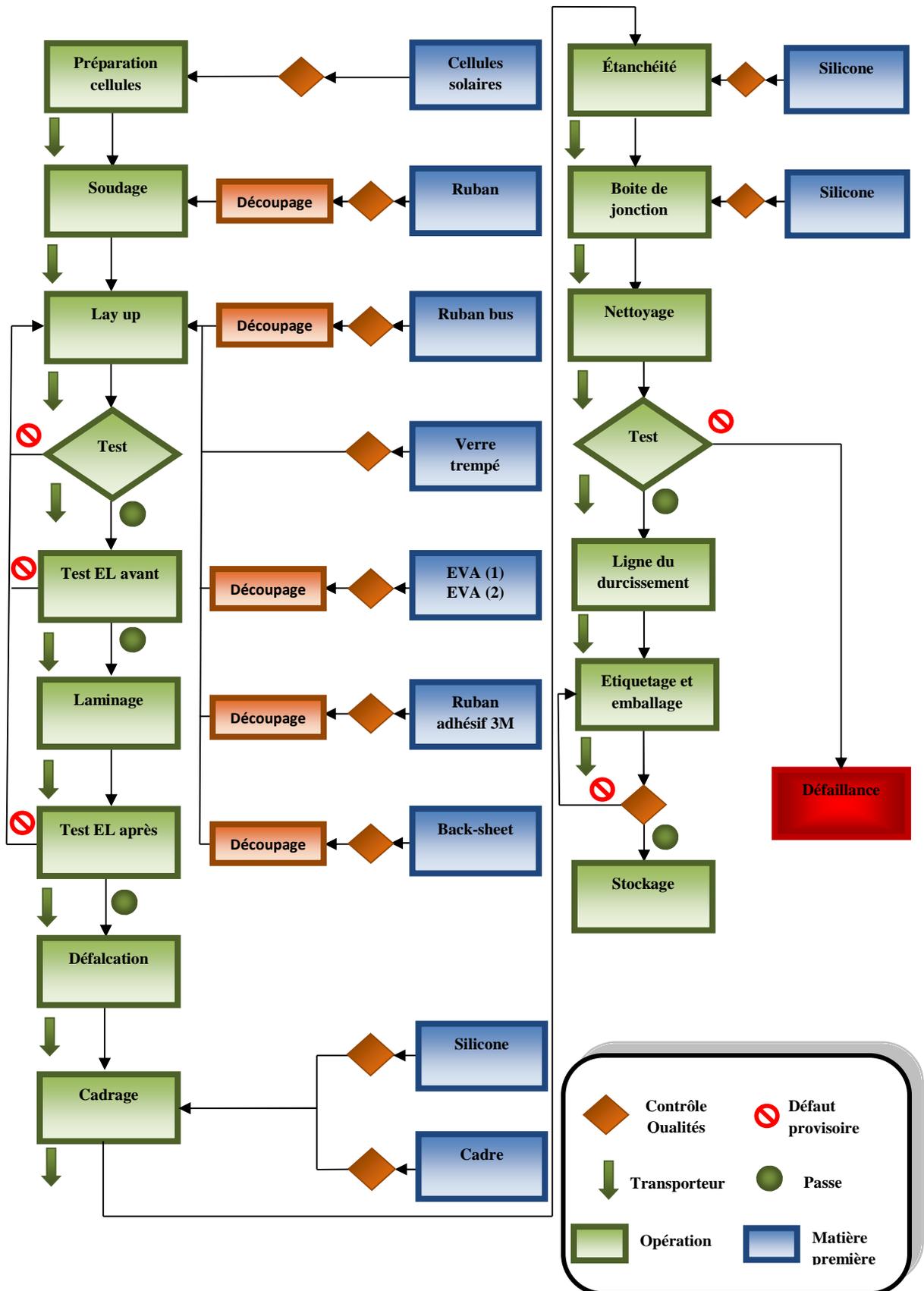
Figure IV.8: Test outdoor

IV.8 Organigramme de la chaine de production des panneaux PV Condor

On a résumé ce mémoire brièvement dans un organigramme qui représente toute la chaine de production des panneaux photovoltaïques Condor, en décrivant les différentes opérations de fabrications, et les différents tests de chaque étape.

Et nous avons le privilège d'avoir l'exclusivité de résumer toutes ces étapes de productions des panneaux photovoltaïques Condor dans un organigramme

Organigramme de la chaîne de production des panneaux PV Condor



IV.9 Conclusion

Ce chapitre introduit les différents défauts qui peuvent survenir sur un panneau photovoltaïque. L'électroluminescent mécanisme de formation d'image, suivant le procédé pour détecter les défauts des cellules solaires c'est la technologie de façon à détecter directement perçus.

A combinaison avec les images EL, la mise au point de cette article est sur quatre types de défauts se produisent fréquemment dans le cadre des cellules solaires, comme noyau noir, fissures, porte cassée et plus soudage, etc., par des moyens d'analyse de la caractéristique, le mécanisme de production, le préjudice et la résolution de ces images, puis la solution à des défauts est appliquée à la pratique productive

A la fin on a présenté les différents tests de qualité de la matière première et les tests de performances de produits finis.

Conclusion générale

Malgré les immenses avantages du territoire algérien pour l'exploitation de l'énergie solaire, peu de sociétés privées algériennes développent cette technologie. L'Algérie, qui reste un des pays les plus ensoleillé du monde présente des potentialités exceptionnelles en matière d'énergie solaire, Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites. De plus à ces atouts naturels bénéfiques de notre pays, l'installation d'un module photovoltaïque ne génère aucun déchet en fonctionnement, et ses coûts d'exploitation sont quasi nuls. Aussi le panneau photovoltaïque est Étanche, ce qui peut servir comme couverture à un toit, sous réserve de bien maîtriser l'écoulement d'eau aux bords avec un montage adapté. Et la durée de vie moyenne d'un module PV est d'environ 20 à 30 ans.

Pour cela Condor Electronics a décidé de se lancer dans la fabrication des panneaux solaire photovoltaïques tout en utilisant les dernières technologies en matière première, et avec des laboratoires de contrôles qualités de haut niveau.

Les modules fabriqués par Condor Electronics sont parallélépipèdes rectangles rigides et minces (quelques centimètres d'épaisseur), dont la longueur et la largeur sont de l'ordre du mètre, pour une surface de l'ordre du mètre carré, et une masse de l'ordre de 20 kilogrammes. Divers éléments sont inclus ; branchements électriques, fixations, éventuel cadre pour assurer une étanchéité.

Notre stage pratique au sein de l'unité de fabrication des panneaux PV Condor, nous a été très formateur, ainsi qu'en tous points bénéfiques, en ce qui concerne la commodité et les conditions propices dont il s'est déroulé. On acquit de nombreuses informations sur les différentes procédures de fabrication et la caractérisation des panneaux photovoltaïques, et aussi on a vus les différents tests de performance qui assurent la qualité du panneau PV Condor.

Dans le cadre du travail de ce mémoire, on s'est principalement intéressé au diagnostic des défauts dans la partie DC du générateur PV par analyse de la caractéristique courant tension.

Pour aborder notre travail, on a présenté dans le Chapitre I, une brève étude bibliographique sur les différentes approches théoriques du photovoltaïque, ainsi on a fait un

survol sur la production des cellules PV tout en déroulant sur ces étapes de minutieuses fabrication.

Selon la méthode d'inférence que nous avons retenue comme approche pour solutionner le problème de diagnostic. La toute première étape consiste à établir une base de connaissance sur le comportement défaillant d'un système PV. La démarche proposée repose sur le principe d'addition de caractéristique I-V des cellules PV.

Le modèle HSC1 solar cell tester, a été choisi pour simuler le comportement de la cellule PV. Ce choix réside sur le fait que ce modèle peut simuler le comportement de la cellule PV en fonctionnement normal qu'en régime inverse.

En comparant la caractéristique I-V d'un modèle PV en fonctionnement sain et celle en fonctionnement défaillant pour les différents défauts considérés, trois symptômes ont été retenus: réduction de la puissance maximale, réduction de la tension de circuit ouvert, réduction du courant de court-circuit. Le choix du seuil pour chaque symptôme a été fait en considérant les différentes incertitudes (Incertitude de modèle et de mesure) afin d'éviter les fausses alarmes et les problèmes de non détection.

Pour diagnostiqué le système PV on a divisé les tests d'analyse en deux étapes: analyses basées au cours de la fabrication, et analyses de qualités et de performances. Dans la première situation, le diagnostic de défauts se fait seulement en considérant le seuil de chaque symptôme. Et dans la deuxième, le diagnostic est fait en introduisant des tests de performances, pour mieux discriminer les défauts.

Ce travail de mémoire a ouvert de nombreuses perspectives à cibler et qui se résument ainsi :

- utilisation du seuil adaptatif.
- cas des défauts multiples.
- robustesse du système de diagnostic vis-à-vis la variation de la condition de fonctionnement.
- Problème de confusion entre les défauts qui font apparaître les mêmes symptômes.
- Utilisation des techniques de l'intelligence artificielle pour le diagnostic des défauts des systèmes PV.

Bibliographie

- [1] S. M. Ait-Cheikh, «*Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques*», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [2] S. Issaadi, «*Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones* », Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.
- [3] M. Adouane, «*Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique*», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [4] K.Touafek, "*Etude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique*", mémoire de magister, école nationale polytechnique, Alger, 2005
- [5] M. mohammedi «*Etudes* » Mémoire
- [6] : T. Desrus, "*Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions silicium et contacts en face arrière*", thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2009
- [7] : S. Petibon, "*Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques*", thèse de doctorat, université Paul Sabatier – Toulouse III, 2009
- [8] : S. Quoizola, "*épitaxie en phase vapeur de silicium Sur silicium mesoporeux pour report sur substrats économiques et application photovoltaïque bas coût*", thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2007
- [7] : C. Alonso, "*Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie*", thèse de doctorat, université Paul Sabatier – Toulouse III, 2003
- [9] : B. Equer, "*Energie solaire photovoltaïque*", Volume 1, Ellipses Editions, ISBN: 2-7298-9345-8, Paris, 1993
- [10] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami & Z. Mokhtari "*estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de biskra*", 8^{ème} séminaire international sur la physique énergétique, centre universitaire de bechar–algerie, novembre 2006.
- [11] "*chapitre 4 évaporation et interception*" cour html du rayonnement solaire sur l'internet (google).

- [12] Mr. MAROUF ADIL « Création d'une entreprise d'installation des panneaux solaires» mémoire fin d'études master Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen. 2013-2014
- [13] : C. Lerouge, Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) aux Etats-Unis, Science physique, 2006.
- [14] La fabrication des cellules photovoltaïques « Hallou Solaire » (Google)
- [15]: Thèse doctorat « Contribution à l'Optimisation des Systèmes de Conversion d'Energie. Application aux Systèmes Photovoltaïques», Bellala Djamel, université de Batna.
- [16] : J. Labbe « l'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour système photovoltaïque isolés », thèse de doctorat de l'Ecole des Mines de Paris, 21 décembre 2006.
- [17] : J. Bernard, énergie solaire, calculs et optimisation, édition 2004.
- [18] : R. Issad. « Etude de contrôle direct du couple de la machine asynchrone alimentée par un générateur photovoltaïque». "Mémoire de Magister, Université de Béjaïa, 2007-2008.