

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED– NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :
Électrotechnique

Option : Énergies renouvelables en Électrotechnique

Intitulé :

ÉTUDE ET CONCEPTION DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE NAAMA

Présenté par :

- **ALLAOUI Bachir**
- **BOUZEROUATA Boudkhil**
- **LAKHDARI Abdelhafid**

Soutenu le : 30/06/2021 devant le Jury :

<i>M. Habchi Yassine</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Président</i>
<i>M. Brahimi Mohamed</i>	<i>MCB</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Encadreur</i>
<i>M. Taibi Ibrahim</i>	<i>MCA</i>	<i>Centre Universitaire Naâma</i>	<i>Examineur</i>

Dédicace



Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu de nos avoir donné la force et le Courage.

A la suite Nous tenons à remercier vivement notre encadreur **MR BRAHIMI MOHAMMED**, qui a fournis des efforts énormes, par leurs informations, leurs conseils et leurs encouragements.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, Et tous les professeurs de département de **L'ELECTROTECHNIQUE** a tous ce qui furent à un moment ou à toute instante partie prenante de ce travail.

Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près et de loin ont contribué à la réalisation de cette mémoire.

NOUS DEDIONS CE MODESTE TRAVAIL A :

Nos chers parents. En témoignage d'affection et de reconnaissance pour leurs sacrifices, leurs encouragements et leurs soutiens.

Nos chers frères et sœurs.

Toutes nos familles.

Tous nos amis.

La promotion Electrotechnique 2021.

Tous ceux qui ont contribué à notre réussite.

A tous nos collègues de la promotion de Master 2 énergie renouvelable.

ALLAOUI BACHIR

BOUZEROUATABOUDKHIL

LAKHDARIABDELHAFID

Sommaire

Liste des Figures.....	4
Liste des Tableaux.....	5
Introduction Général	7
I.1 Introduction	8
I.1.1 Énergies renouvelables.....	8
I.2 Le potentiel solaire	8
I.3 Potentiel Eolien	9
I.4 Potentiel de l'Énergie Géothermique.....	10
I.5 Potentiel Hydraulique	11
I.5.1 Projets et actions de la phase 2011-2014 du Programme national des énergies renouvelables (2011-2014)	11
I.5.2 Centrales PV	11
I.6 Etudes	12
I.7 Nouvelle stratégie nationale pour le développement ER	13
I.8 Programme de développement des énergies renouvelables.....	13
I.8.1 Consistance du programme de développement des énergies renouvelables	14
I.8.2 Mesures incitatives :	15
I.9 Les Avantages et les Inconvénients de l'énergie renouvelable	17
I.10 Applications Techniques de l'énergie solaire.....	18
I.11 Le soleil.....	18
I.10.1 Le gisement solaire	19
I.10.2 Spectre Solaire	19
I.10.3 Effet photovoltaïque	22
I.10.3.1 Le principe de l'effet photovoltaïque.....	22
I.11 Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire.....	24
I.12 Technologies des modules photovoltaïques	25
I.12.1 Les modules photovoltaïques au silicium	25
I.12.2 Les modules PV double face	28
I.13 Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque	29
I.13.1 Le courant de court-circuit (I_{cc})	29
I.13.2 Tension du circuit-ouvert (V_{co})	29
I.13.3 Le Facteur de forme	31
I.13.4 Le rendement	32

II.1 Introduction.....	33
II.2 Principe de fonctionnement d'un régulateur solaire	34
II.2.1 Description.....	34
II.3 ETUDE DU HACHEUR.....	34
II.3.1 Le convertisseur DC/DC comme adaptateur d'impédance	34
II.3.2 Fonctionnement à Pmax	36
II.3.4 CARACTERISATION D'UN CHARGEUR DE BATTERIE INDUSTRIEL.....	37
II.3.5 Etude préparatoire.....	37
II.4 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	39
II.5 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	39
II.6 Effets climatiques sur la cellule PV	41
II.6.1 Influence de la température sur la cellule PV	41
II.6.1.1 Caractéristique (I-V)	42
II.6.1.2 Caractéristique (P-V).....	43
II.6.2 Influence de l'éclairement sur la cellule.....	43
II.6.2.1 Caractéristique (I-V)	44
II.6.2.2 Caractéristique (P-V).....	45
II.7 Simulation du générateur photovoltaïque	46
II.7.1 Caractéristique (I-V)	46
II.7.2 Caractéristique (P-V).....	47
II.7.3 Influence de l'association des cellules PV sur le GPV	48
II.7.4 Influence de l'association série des cellules PV	48
II.7.5 Influence de l'association parallèle des cellules PV	49
II.7.6 Influence de l'association série / parallèle des cellules PV	52
II.7.7 Effets climatiques sur le générateur PV	54
II.7.8 Influence de la température sur le générateur PV	54
II.7.9 Influence de l'éclairement sur le générateur PV	56
II.8 Simulation d'une cellule photovoltaïque par Matlab-Simulink	57
II.8.1 Caractéristique(I-V)	59
II.8.2 Caractéristique(P-V).....	60
II.9 Influence de l'éclairement sur la cellule.....	60
II.10 Simulation d'un générateur PV sous Matlab-Simulink	61
II.10.1 Caractéristique(I-V)	62
II.10.2 Caractéristique(P-V).....	63

II.10.3 Influence de la température sur le générateur	64
II.6.4 Influence de l'éclairement sur le générateur	66
II.11 Simulation de la collection photovoltaïque:.....	67
II.11.1 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du modèle:	68
Conclusion.....	69
III.1 Introduction	70
III.2 PRÉSENTATION DU PROJET	71
III.2.1 Localisation et historique du site d'implantation	71
III.2.2 Choix du site.....	73
III.2.3 DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET	73
III.2.4 Caractéristiques techniques de la zone.....	74
III.3 Les systèmes photovoltaïques	75
III.3.1 Type de systèmes photovoltaïques	76
III.3.2 Les systèmes PV avec stockage électrique.....	76
III.3.3 Les systèmes à couplage direct sans batterie(notre cas)	76
III.3.4 Les systèmes connectés au réseau local	76
III.4 Les panneaux photovoltaïques	77
III.5 CONCEPTION DE LA CENTRALE PV DE NAAMA	77
III.5.1 Les modules.....	77
III.5.2 Les structures porteuses	78
III.5.3 L'ancrage au sol.....	80
III.5.4 Angle d'inclinaison α	80
III.6 Le poste de transformation installer au centrale PV Naama	81
III.6.1 Le raccordement au réseau	84
III.7 Les onduleurs.....	85
III.8 Boîtes combinatoires	85
III.9 Dimensionnement	86
III.10 Données d'ensoleillement.....	87
III.11 Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombrage sur la quantité d'énergie captée.....	87
III.12 Calcul.....	88
III.12.1 Données de consommation.....	88
III.12.2 Données de production.....	89
III.13 Les Fiche technique du panneau PV installer au centrale PV Naama	89

III.13.1	Fiche technique panneau solaire	90
III.13.1.1	Caractéristiques du produit	90
III.13.1.2	Qualité supérieure	91
III.13.1.3	Meilleure assurance de garantie	91
III.13.1.4	Caractéristiques électriques	91
III.13.1.5	Caractéristiques mécaniques	92
III.13.1.6	Courbes I-V (CS6P-250P).....	92
III.13.1.7	Caractéristiques de température	93
III.13.2	Dimensionnement des panneaux photovoltaïques :	93
III .14	Les Protections.....	95
III.14.1	Protection contre la foudre	95
III.14.2	Protection des cellules	95
III.14.3	Protection des postes de transformation et de livraison	96
III.14.4	Défense incendie	96
III.15	Phase d'exploitation	97
III.15.1	Surveillance de la centrale	97
III.16	Maintenance et entretien des installations	98
III.16.1	Maintenance préventive.....	98
III.16.2	Maintenance correcte.....	98
III.16.3	Équipe d'intervention	99
III.16.4	Entretien des panneaux.....	99
III.17	Sécurité sur le site.....	100
III.17	Schéma unifilaire générale de la centrale PV Naama	Erreur ! Signet non défini.
III.18	Conclusion.....	100
	Conclusion Générale	101
	Annexe Bibliographié	103

Liste des Figures

Figure.I. 1 Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)	9
Figure.I. 2 Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).	10
Figure.I. 3 Impact de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique algérien, Sonelgaz en collaboration avec RES4MED/CESI.[8].	12
Figure.I. 4 Développement des énergies renouvelables sur la période 2015 – 2030.....	16
Figure.I. 5 l'irradiante solaire en fonction de la longueur d'onde [2]	20
Figure.I. 6 Les différents rayonnements solaires [3]	21
Figure.I. 7 les rayonnements solaires au niveau d'une surface incliné de 37 ° [3]	22
Figure.I. 8 Structure d'une cellule photovoltaïque. Source : CNRS	23
Figure.I. 9:principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque. Source : Sharp	23
Figure.I. 10: Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque. Les dimensions respectives de différentes zones ne sont pas respectées.	24
Figure.I. 11 Processus de fabrication. Source : EPSIC - D. Schneider Electric	25
Figure.I. 12 La Chaine Du Photovoltaïque Technologie Du Silicium Cristallin. Source : Tenesol	26
Figure.I. 13: les types des cellules photovoltaïques.....	27
Figure.I. 14 Face avant et arrière de panneau photovoltaïque.	29
Figure.I. 15 Différents régimes selon la puissance d'éclairement.	31
Figure.II. 1 Structure élémentaire et Points de fonctionnement pour différentes Valeur sde la tension de batterie.....	34
Figure.II. 2 Structure avec un convertisseur intercalé entre la source et la charge.....	35
Figure.II. 3 Hacheur série.	35
Figure.II. 4 Régulateur de charge solaire (source morningstarcorp).	37
Figure.II. 5 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)	38
Figure.II. 6 Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque.	39
Figure.II. 7 Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.	40
Figure.II. 8 COURBE COURANT_TENSION	92
Figure.II. 9 Caractéristique I(V) pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).	42
Figure.II. 10 Caractéristique P(V) pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).	43
Figure.II. 11 Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}C$).....	44
Figure.II. 12 Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}C$).....	45
Figure.II. 13 Caractéristique I(V) d'une générateur PV ($T=25^{\circ}C$, $G=1000W/m^2$).	46
Figure.II. 14 Caractéristique P(V) d'une générateur PV ($T=25^{\circ}C$, $G=1000W/m^2$).	47
Figure.II. 15 Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en série.	48
Figure.II. 16 Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en série.	49
Figure.II. 17 Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.....	50
Figure.II. 18 Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.....	51
Figure.II. 19 Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en.....	52
Figure.II. 20 Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en	53
Figure.II. 21 Caractéristique I(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000W/m^2$). .	54
Figure.II. 22 Caractéristique P(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000W/m^2$). .	55
Figure.II. 23 Caractéristique I(V) pour différentes niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}C$).....	56

Figure.II. 24 Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).....	57
Figure.II. 25 Bloc Simulink représentant la cellule photovoltaïque.	58
Figure.II. 26 Schéma bloc de la cellule PV en MATLAB-SIMULINK.	58
Figure.II. 27 Caractéristique I(V) d'une cellule (T=25°C, G=1000W/m ²).....	59
Figure.II. 28 Caractéristique P(V) d'une cellule (T=25°C, G=1000W/m ²).....	60
Figure.II. 29 Schéma bloc de la générateur PV en MATLAB-SIMULINK.	61
Figure.II. 30 Caractéristique I(V) d'une générateur PV (T=25°C, G=1000W/m ²).	62
Figure.II. 31 Caractéristique P(V) d'une générateur PV (T=25°C, G=1000W/m ²).	63
Figure.II. 32 Caractéristique I(V) d'un générateur pour différentes températures (G=1000W/m ²). .	64
Figure.II. 33 Caractéristique P(V) d'un générateur pour différentes températures (G=1000W/m ²).	65
Figure.II. 34 Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).....	66
Figure.II. 35 Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).....	66
Figure.II. 36 <i>Synoptique du modèle amélioré de la cellule photovoltaïque sous le logiciel MATLAB/Simulink</i>	68
Figure.II. 37 <i>Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque</i>	69
Figure.III. 1 information sur Naâma(source wikipedia)	71
Figure.III. 2 positionnement de la centrale PV de Naama	72
Figure.III. 3 L'entrée principal de la central Photovoltaïque Naama	72
Figure.III. 4 vue globale de la centrale (image google earth)	73
Figure.III. 5 Caractéristiques techniques de la zone	75
Figure.III. 6 Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général	76
Figure.III. 7 Vues de face et en coupe des tables Grand et Petit formats sur longrines et pieux	79
Figure.III. 8 Installations en fonctionnement.....	79
Figure.III. 9 <i>Types de fondation - pieux battus (gauche) et semelle béton (droite)</i>	80
Figure.III. 10 angle d'inclinaison des capteurs solaires par rapport à la surface de la Terre.....	81
Figure.III. 11 Un tracé de raccordement global de la centrale vers PS Naama	81
Figure.III. 12 poste de transformation	82
Figure.III. 13 Fiche technique de poste de transformation	83
Figure.III. 14 Une configuration typique d'une entrée 12 Combiner Box utilisé pour le projet	86
Figure.III. 15 Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombrage sur l'énergie rayonnée ...	88
Figure.III. 16 panneau CS6P235/240/245/250/255P	90
Figure.III. 17 COURBE COURANT_TENSION.....	92

Liste des Tableaux

TABLEAU I. 1: développement des centrales PV au niveau Nationale.	12
TABLEAU I. 2: Consistance du programme de développement des énergies renouvelables.	14
TABLEAU I. 3: les capacités cumulées du programme énergie renouvelable, par type et phase, sur la période 2015 – 2030.....	16
TABLEAU I. 4: Les avantages et les inconvénients de l'énergie renouvelable.....	17
Tableau III. 1 caractéristique générale de la centrale PV	78
Tableau III. 2: Données de consommation	88

Introduction Général

Le Soleil constitue naturellement une source d'énergie renouvelable offrant un grand potentiel et pouvant être utilisée tout en respectant l'environnement. A chaque instant, la surface de l'hémisphère terrestre exposée au Soleil reçoit une énergie supérieure à 50000 tera watts par conséquent, la quantité d'énergie solaire atteignant la surface de la terre est considérable, équivalant à près de 10 000 fois l'énergie utilisée dans le monde entier. Parmi les différents systèmes utilisant des sources d'énergie renouvelables, le photovoltaïque s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques : ses frais de fonctionnement sont très réduits (le combustible est gratuit), ses exigences d'entretien sont limitées, il est fiable, silencieux et relativement facile à installer.

De plus, dans certaines applications autonomes, le photovoltaïque est très pratique comparé à d'autres sources d'énergie, en particulier dans les endroits difficiles d'accès et peu rentables pour l'installation de lignes électriques traditionnelles. Ce document technique a pour but d'analyser les problèmes et les concepts de base rencontrés lors de la mise en place d'une installation photovoltaïque. Partant d'une description générale des modalités d'exploitation de l'énergie solaire par des installations photovoltaïques, il expose brièvement les méthodes de raccordement au resaute de protection contre les surintensités, les surtensions et le contact, afin de bien choisir les dispositifs de commande et de protection des différents composants désinstallations.

Ce mémoire est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre Aperçu sur L'Energies Nouvelles.
- Le deuxième chapitre parle sur laConception et Modélisation d'une central PV
- Le troisième chapitre Application
- Une conclusion résumé le travail réalisé.

I.1 Introduction

I.1.1 Énergies renouvelables

Sonelgaz a inscrit dans son plan stratégique, adopté en 2009 par le conseil d'administration, un axe de diversification du mix énergétique en adoptant les ENR (solaire et éolien). En 2018, la capacité installée des ENR est de 354 mégawatts, dont 344,1 MW d'énergie photovoltaïque, produite par 24 centrales et une infime partie 10,2 MW d'énergie éolienne. Afin de répondre aux besoins de plus en plus croissants de la consommation nationale, Sonelgaz investit de plus en plus dans les énergies renouvelables avec de nombreux projets et plans à travers le pays[1].

En 2020, SharikatKahraba El Djazaïr (SKE), chargée principalement de la production électrique d'origine renouvelable, détenue par Sonelgaz à hauteur de 51% du capital contre 49% pour Sonatrach, est le résultat de la fusion/absorption des sociétés filiales SKD, SKTM, SKB et SKS mentionnées plus haut.

I.2 Le potentiel solaire

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).[2].

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud.

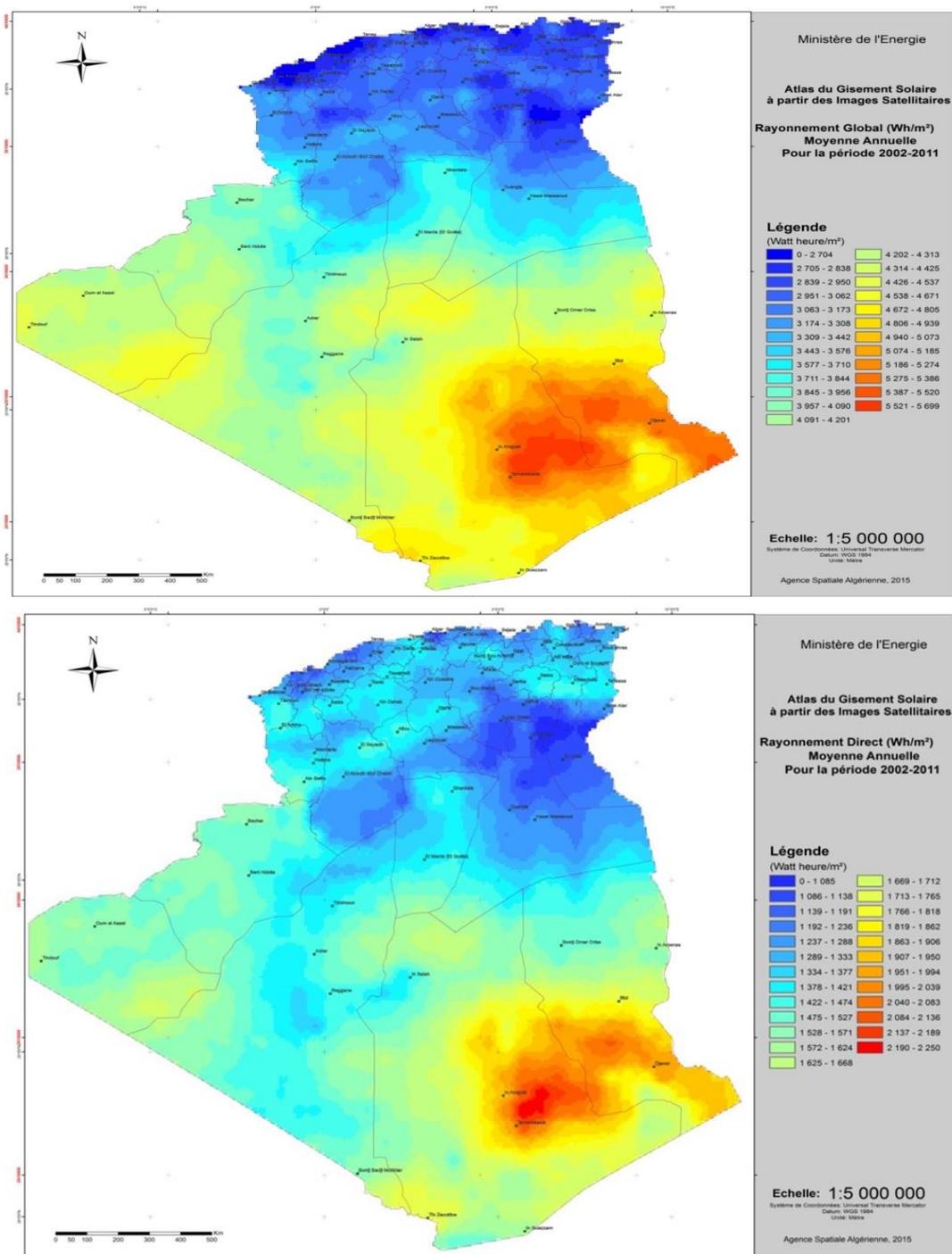


Figure.I. 1 Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

I.3 Potentiel Eolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen qui est caractérisé, par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien.

Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El bayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s)[3].

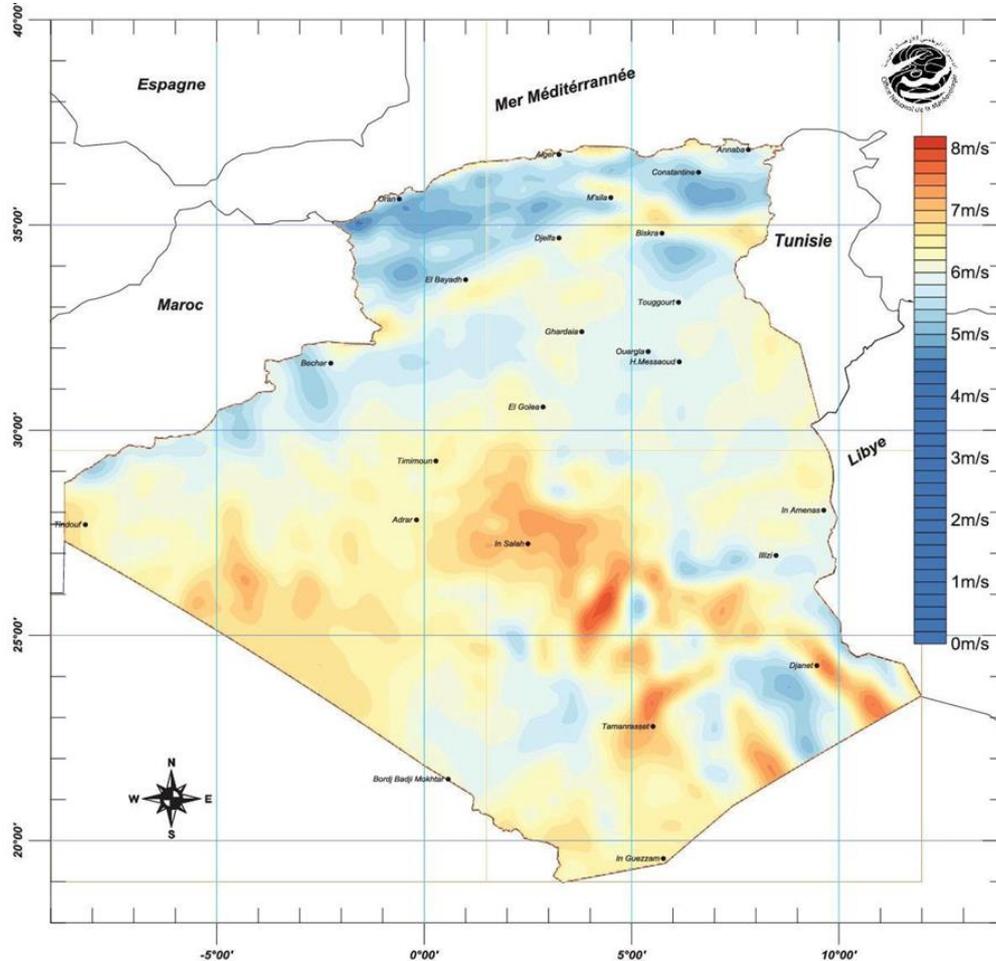


Figure.I. 2 Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).

I.4 Potentiel de l'Energie Géothermique

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m[4].

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone d'AïneBoucif et Sidi Aïssa

Zone de Guelma et Djebel El Onk

I.5 Potentiel Hydraulique

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation [5].

I.5.1 Projets et actions de la phase 2011-2014 du Programme national des énergies renouvelables (2011-2014)

La phase d'expérimentation du programme (2011-2014) a connu la réalisation de plusieurs projets et actions:

I.5.2 Centrales PV

Wilaya	Localité	Capacité Installée (MW)	Mise en Service
ILLIZI	Djanet	03	19/02/2015
ADRAR	Adrar	20	28/10/2015
ADRAR	Kabertene	03	13/10/2015
TAMANRASSET	Tamanrasset	13	03/11/2015
TINDOUF	Tindouf	09	14/12/2015
ADRAR	Zaouiet.Kounta	06	11/01/2016
ADRAR	Reggane	05	28/01/2016
ADRAR	Timimoun	09	07/02/2016
TAMANRASSET	In-Salah	05	11/02/2016
ADRAR	Aoulef	05	07/03/2016
LAGHOUCHE	El Khnag (I)	20	08/04/2016
LAGHOUCHE	El-Khnag (II)	40	26/04/2017
DJELFA	Ain-El-Ibel (I)	20	08/04/2016
DJELFA	Ain-El-Ibel (II)	33	06/04/2017
SOUK AHRAS	Oued El Keberit	15	24/04/2016

NAAMA	SedrateLeghzal	20	03/05/2016
SAIDA	Ain-Skhouna	30	05/05/2016
SIDI-BEL-ABBES	Telagh	12	29/09/2016
EL BAYADH	Biodh Sidi Chikh	23	26/10/2016
M'SILA	Ain-El-Melh	20	26/01/2017
OUARGLA	El-Hdjira	30	16/02/2017
BATNA	Oued El-Ma	02	16/01/2018

TABLEAU I. 1: développement des centrales PV au niveau Nationale.

I.6 Etudes

- Actualisation de l'atlas éolien national, en collaboration avec l'Office National de Météorologie (ONM) ;
-
- Identification des sites éligibles à l'implantation de fermes éoliennes dans la zone de Touggourt, Hassi Messaoud et Ghardaïa, en collaboration avec le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) ;
- Elaboration de l'Atlas Solaire de l'Algérie, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL).
- Identification d'un ensemble de sites à haut potentiel solaire pouvant accueillir des centrales électriques solaires, en collaboration avec l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) ;



Figure.I. 3 Impact de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau électrique algérien, Sonelgaz en collaboration avec RES4MED/CESI.[6].

I.7 Nouvelle stratégie nationale pour le développement ER

Afin d'accélérer la mise en œuvre du programme et vu la baisse des coûts des équipements sur le marché international et le recours de beaucoup de pays à la procédure d'appel d'offres, une nouvelle stratégie, basée sur la procédure d'appels d'offres, a été mise en place, par le Ministère de l'Energie en 2016, pour le développement des énergies renouvelables, dont la mise en œuvre est régie par le décret exécutif n° 17-98 du 26 février 2017, définissant la procédure d'appel d'offres pour la production de l'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable.

Cette nouvelle stratégie vise à la valorisation des ressources nationales et la consolidation du développement durable en Algérie, ainsi que le développement d'une industrie dans le domaine du renouvelable en tant que facteur de diversification de l'économie nationale.

L'encouragement des énergies renouvelables, par voie d'appels d'offres, permettra de mettre en compétition les investisseurs dans le but de réduire le plus possible le prix du kWh produit à partir de sources d'énergie renouvelable et d'éviter les risques de profits excessifs.

Les dispositions du décret susmentionné prévoient deux modes d'initiatives relatifs aux appels d'offres, ils peuvent être aux investisseurs ou aux enchères.

- **S'agissant de l'appel d'offres à investisseurs**, celui-ci sera lancé, par le Ministère de l'Energie, pour un projet énergétique qui concernera la réalisation et l'exploitation d'installations d'énergies renouvelables (centrales électriques EnR) de grandes capacités et la commercialisation de l'électricité produite à partir de ces installations.

Ce mode concerne les installations de production de l'électricité d'origine renouvelable dont l'énergie annuelle dépasse 20 GWh par site.

Pour ce faire, les sites sont préalablement choisis et seront mis à la disposition des investisseurs retenus.

- **S'agissant de l'appel d'offres aux enchères**, celui-ci sera lancé, par la Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG), et concernera la réalisation et l'exploitation d'installations d'énergie renouvelable de petites capacités, dont le volume annuel de quantités d'énergie renouvelable sera fixé dans le cahier des charges.

Ce mode concerne les installations de production de l'électricité d'origine renouvelable dont l'énergie annuelle varie entre 10 et 20 GWh par site.

Dans ce cas, les assiettes de terrain sont à la charge de l'investisseur [7].

I.8 Programme de développement des énergies renouvelables

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique.

37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.

Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets expérimentaux en biomasse, en géothermie et en cogénération.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes:

- **PREMIERE PHASE 2015 - 2020** : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.
- **DEUXIEME PHASE 2021 - 2030** : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme EnR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects [8].

I.8.1 Consistance du programme de développement des énergies renouvelables

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière comme suit:

Unité : MW	1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	TOTAL
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22 000

TABLEAU I. 2: Consistance du programme de développement des énergies renouvelables.

I.8.2 Mesures incitatives :

Sur le plan réglementaire, le ministère de l'énergie a procédé à l'adoption d'une série de mesures de soutien visant le développement des énergies renouvelables raccordées aux réseaux, à travers la mise en place d'un cadre juridique favorable et d'un Fonds National pour la Maîtrise de l'Énergie, pour les Energies Renouvelables et la cogénération, CAS n°302-131 (FNMEERC) qui est alimenté annuellement de 1% de la redevance pétrolière et du produit de certaines taxes (telle que 55% de la taxe sur les activités de torchage).

Le cadre juridique, mis en place en 2013, pendant la 1^{ère} phase du lancement du programme national de développement des énergies renouvelables, était basé, notamment, sur le mécanisme des tarifs d'achat garantis (Feed-in Tarif), qui est de moins en moins pratiqué dans les pays développés [9].

Ce système garanti aux producteurs d'énergie renouvelable de bénéficier de tarifs leur octroyant une rentabilité raisonnable de leur investissement sur une durée d'éligibilité de 20 ans.

Les surcoûts engendrés par ces tarifs seront supportés par le FNMEERC au titre des coûts de diversification.

Dans ce cadre, le décret exécutif n°15-319, modifie et complète, fixant les modalités de fonctionnement du CAS 302-131 a été publié en décembre 2015.

Aussi, d'autres mesures incitatives sont prévues. Il s'agit de :

- Acquisition et mise à disposition des terrains éligibles à l'implantation de centrales EnR ;
- Accompagnement dans tout le processus d'acquisition des autorisations nécessaires ;
- Identification du potentiel de toutes les régions concernées par les EnR ;
- La construction de projets pilote dans chaque filière.
- Création d'organismes et de laboratoires d'homologation et de contrôle de la qualité et de la performance de composants, des équipements et procédés relatifs à la production d'électricité d'origine renouvelable et/ou aux systèmes de cogénération ;
- Accompagnement, par un plan de recrutement et de formation de techniciens, par les instituts de formation professionnelle et l'association des universités et organismes de recherche nationaux dans la recherche et la formation des ingénieurs [9].

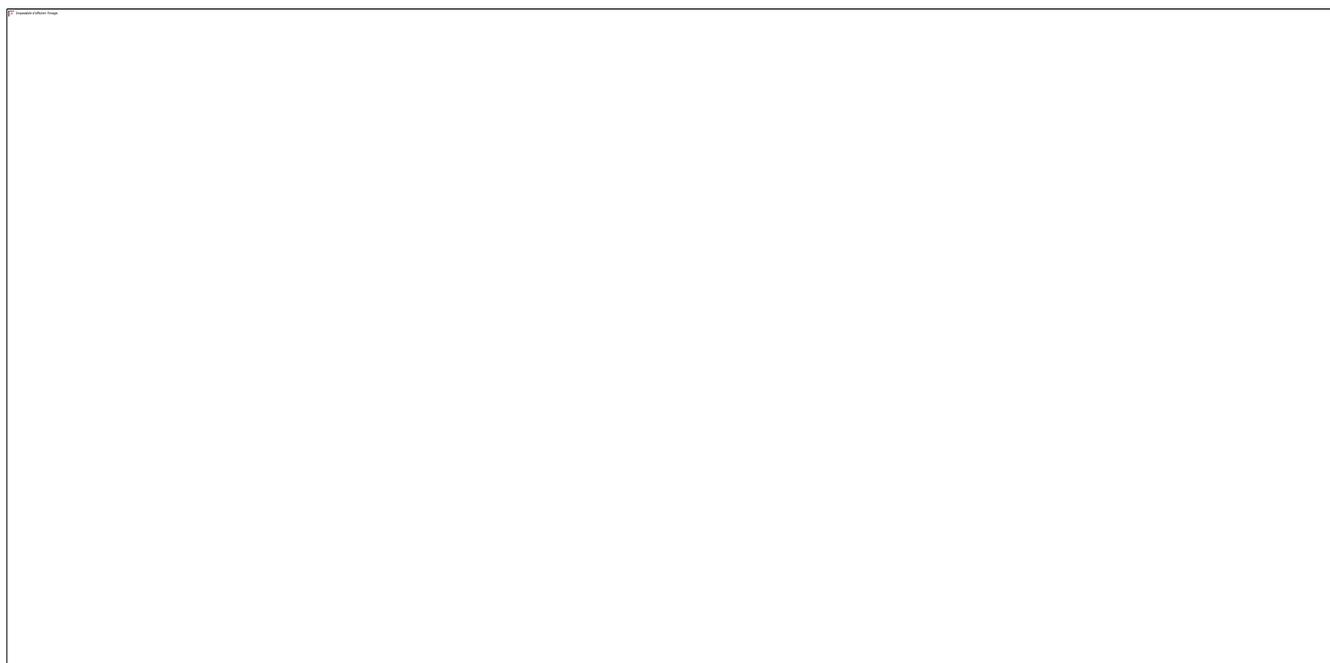


Figure.I. 4 Développement des énergies renouvelables sur la période 2015 – 2030

	1 ^{ère} phase 2015-2020	2 ^{ème} phase 2021- 2030	TOTAL
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4525	17475	22000

TABLEAU I. 3: les capacités cumulées du programme énergie renouvelable, par type et phase, sur la période 2015 – 2030

I.9 Les Avantages et les Inconvénients de l'énergie renouvelable

Le tableau suivant résumé les Avantages et les Inconvénients de l'énergie renouvelable :

Les énergies	Les Avantages	Les inconvénients
L'énergie solaire	<ul style="list-style-type: none"> -une bonne source d'énergie renouvelable. -une énergie non-Polluante. -la lumière ne coute rien. 	<ul style="list-style-type: none"> -A besoin de beaucoup d'espace. -le placement peut modifier l'énergie pris dans les panneaux. -panneau fragile.
L'énergie hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> -une énergie naturelle non-polluante. 	<ul style="list-style-type: none"> -une perturbation de l'équilibre écologique. - grands barrage couteux.
L'énergie éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - il y a toujours du vent dans un même en droit, donc jour et nuit. 	<ul style="list-style-type: none"> - un impact visuel. -Le prix. -la migration des oiseaux.
L'énergie géothermique	<ul style="list-style-type: none"> -pollution non-toxique. -beaucoup d'énergie pour peu de place 	<ul style="list-style-type: none"> -répartitions des sources. -le transport de l'énergie. -installation couteuse.
L'énergibiomasse	<ul style="list-style-type: none"> -La biomasse participe au traitement et à la destruction des déchets organiques. -A l'heure où le prix des Carburants nécessaire d'augmenter, cette énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - La production de biocarburant a un prix conséquent. En plus elle n'est pas encore totalement développée. -Pour produire de la biomasse il faut des terres agricoles, sauf qu'il n'y en-a peu de disponible.
L'énergie biomasse	<ul style="list-style-type: none"> serait une bonne alternative au pétrole. - Les ressources de la biomasse sont disponibles à grande échelle. - La biomasse est une ressource renouvelable lorsqu'utilisée et gérée de façon durable. 	<ul style="list-style-type: none"> Les cultures vitrières devront donc être rachetées ou abandonnées au profit de la production de biocarburants. -La biomasse peut être polluante si elle est mal utilisée. (Ex : Un hectare de sol absorbe Normalement 4tonnes de dioxyde de carbone par an alors qu'un hectare mal-labouré rejette 1 tonne de dioxyde de carbone par an).

TABLEAU I. 4: Les avantages et les inconvénients de l'énergie renouvelable

I.10 Applications Techniques de l'énergie solaire

En s'appuyant sur la technologie solaire, l'énergie solaire peut être profitable de plusieurs façons :

- Les Cellules solaires produisent de l'électricité à courant continu
- (Photovoltaïque)
- Les Panneaux solaires génèrent de la chaleur (thermo solaire)
- Les Centrales héliothermiques génèrent de l'électricité à partir de la chaleur et de la vapeur
- Les plantes et les déchets végétaux peuvent être traités pour produire des liquides exploitables (par ex. éthanol, huile de colza) ou des gaz (comme du biogaz)
- Les centrales éoliennes et hydroélectriques génèrent de l'électricité (voir l'article sur l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique)
- Les cuisinières solaires ou les fours solaires permettent de réchauffer les aliments ou de stériliser les équipements médicaux

I.11 Le soleil

Le Rayonnement lumineux et la chaleur du soleil sont utilisés par les humains depuis l'antiquité, ce qui a abouti à une série de technologies qui n'ont cessé de se développer.

Le Rayonnement solaire, ainsi que les ressources à énergie solaire secondaires telles que l'énergie éolienne et marémotrice, l'énergie hydroélectrique et la biomasse, représentent la plupart de l'énergie renouvelable disponible sur terre.

Seule une minuscule part de l'énergie solaire disponible est utilisée.

La production d'électricité à énergie solaire repose sur des moteurs thermiques et sur l'effet photovoltaïque.

Les utilisations de l'énergie solaire n'ont de limites que celles du génie humain.

Pour ne citer que quelques-unes de ses applications :Le chauffage et la climatisation de locaux à travers une architecture solaire, la création d'eau potable via la distillation et la désinfection la domestication de la lumière du jour, l'eau chaude solaire, la cuisson solaire et la production de chaleur haute température à des fins industrielles.

Pour Collecter l'énergie solaire, le moyen le plus courant est d'utiliser des panneaux solaires.

I.10.1 Le gisement solaire

L'Algérie est probablement le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale, de même que les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation de ce potentiel. Un potentiel énergétique lié à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité et puissance et, sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes.

L'Algérie est en effet l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde avec une durée d'insolation de 2.000 à 3.900 heures par an, et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/M², soit l'équivalent de 10 fois la consommation mondiale.

Eu égard à ces statistiques particulièrement favorable au développement de l'énergie photo voltaïque, le gouvernement algérien avait décidé de lancer dès l'année 2011, un programme à long terme d'énergie renouvelable de 22.000 MW destiné à la production d'électricité qui se faisait jusqu'alors à base d'énormes quantités de gaz. Le programme en question prévoyait la mise en place à l'horizon 2030, d'une capacité de production d'électricité de 12.000 MW exclusivement destinée au marché intérieur. Tout un éventail d'énergies renouvelables parmi lesquels 7.200 MW en thermo solaire, 2.800 MW en photovoltaïque, et 2.000 en éolien devaient en être issus. Une tranche supplémentaire de 10.000 MW était même prévue pour être exportée vers la Tunisie et la Maroc. L'objectif ouvertement affiché était d'économiser au maximum le gaz naturel en grande partie destiné à l'exportation.

En se basant sur les cartes réalisées par le Centre de développement des énergies renouvelable (CDER) dans son Atlas des ressources ENR de l'Algérie, le Commissariat a ajouté que sur l'ensemble du territoire national, "l'énergie solaire globale reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré varie entre 5,1 KWh (~1860 KWh par an et par m²) au Nord et 6,6 KWh (~2410 KWh par an et par m²) dans le Grand Sud".

I.10.2 Spectre Solaire

Le spectre du rayonnement électromagnétique solaire comporte une très grande étendue, depuis les rayonnements radio jusqu'aux rayons X. La figure I.5 présente le rayonnement solaire hors de l'atmosphère AM0 et le rayonnement solaire au niveau de la mer AM1 en fonction de la longueur d'onde. Ces courbes montrent

que 9,2% de l'énergie de ce spectre AM0 se trouve dans l'ultraviolet, 42,4% dans le visible et 48,4% dans l'infrarouge.

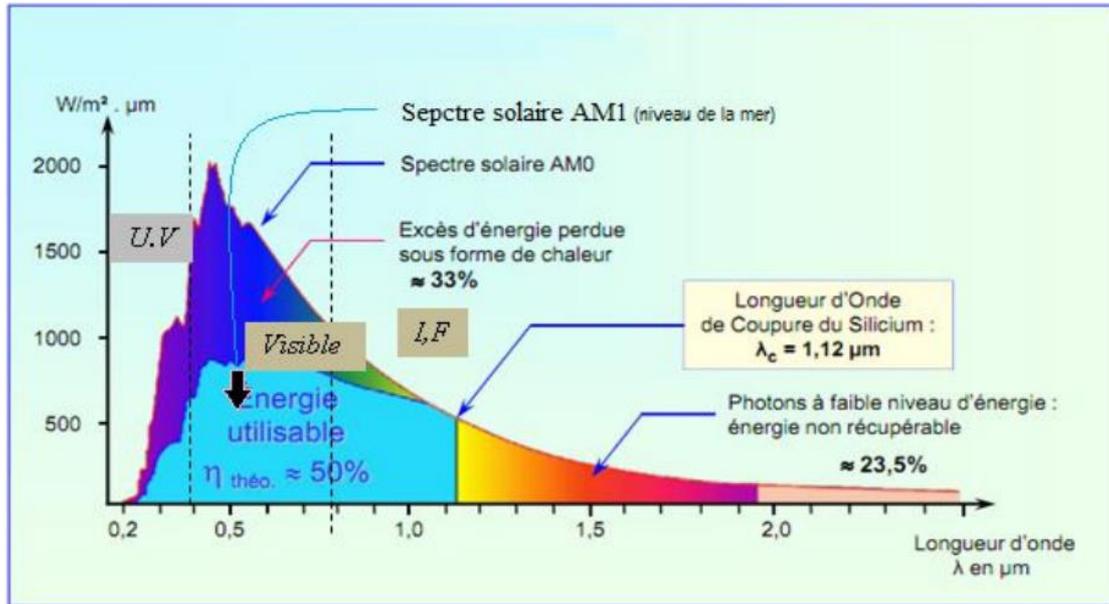


Figure.I. 5)Irradiante solaire en fonction de la longueur d'onde [11]

Cette figure montre aussi qu'à la surface de la terre, le spectre solaire n'est pas le même que dans l'espace, car il est pondéré par l'absorption des molécules présentes dans l'atmosphère (O3, CO3, H2O,.....). Les conditions climatiques ainsi que la présence de particules influencent également la valeur réelle du spectre. Pour tenir compte de ces différences, comparer les performances des cellules solaires et qualifier les différents spectres solaires utilisés, on introduit un coefficient appelé masse d'air (AMx) dont l'expression est:

$$x=1/\sin \theta \dots\dots\dots I.1$$

Où θ est l'angle que fait le soleil avec son zénith. Par définition, AM0 correspond aux conditions hors atmosphère. Quand le soleil fait un angle de 48.19° par rapport au zénith, la lumière incidente est dite AM1.5 (figure I.6). Le nombre de masse d'air caractérise la puissance transportée par le rayonnement solaire et quantifie les performances de façon standard des dispositifs photovoltaïques. [11]

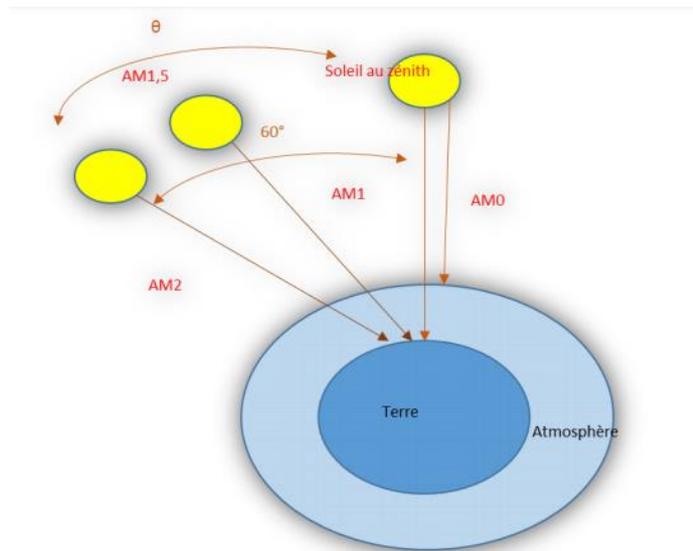


Figure.I. 6 Les différents rayonnements solaires [12]

L'intensité AM0, Hors atmosphère, est estimée dans les applications spatiales à 136mW/cm^2 .

Cependant les conditions standards de caractérisation sont définis par les normes IEC-60904 de l'International Electrotechnique Commission (IEC) selon une distribution spectrale AM1.5 global (somme des rayonnements directs et diffus), d'intensité 100mW/cm^2 et pour une température de cellule de 25°C . La Figure I.7 caractérise d'une part le rayonnement solaire AM1.5 normalisé à 100mW/cm^2 et représente d'une autre part les rayonnements solaires au niveau d'une surface inclinée de 37° . Elle montre qu'au sol, le rayonnement solaire a au moins deux composantes : une composante directe et une composante diffuse (rayonnement incident diffusé ou réfléchi par un obstacle : nuages, sol) formant le rayonnement global. [12]

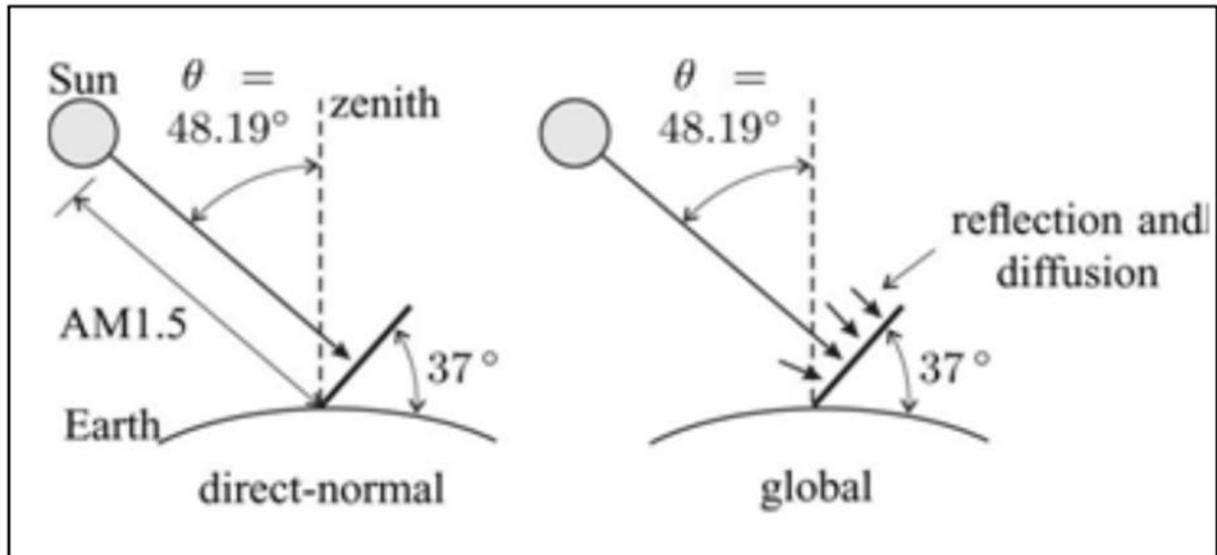


Figure.I. 7les rayonnements solaires au niveau d'une surface incliné de 37   [12]

I.10.3 Effet photovoltaïque

I.10.3.1 Le principe de l'effet photovoltaïque

C'est un phénomène physique qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière.

La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et de vieillissement de la cellule [13].

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. une jonction PN a été formée.

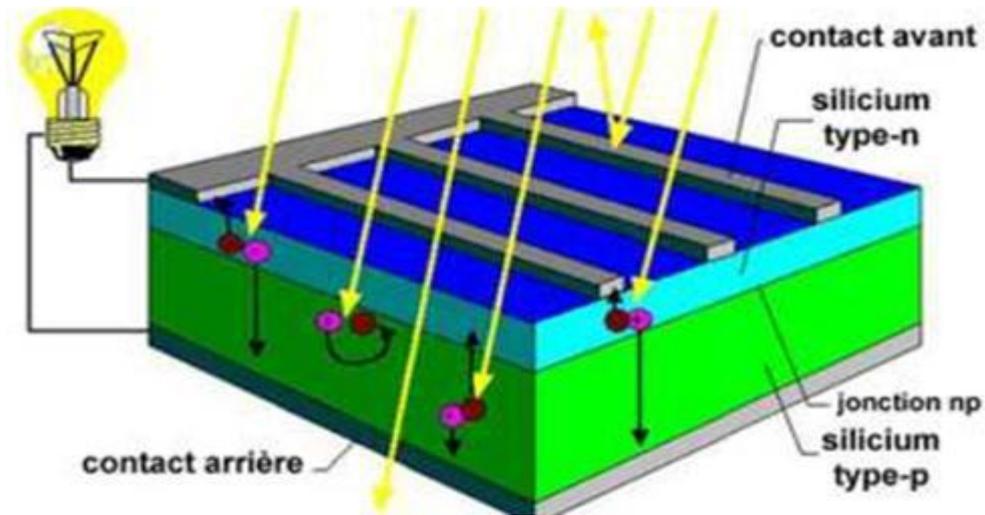


Figure.I. 8 Structure d'une cellule photovoltaïque. Source : CNRS

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible.

Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.

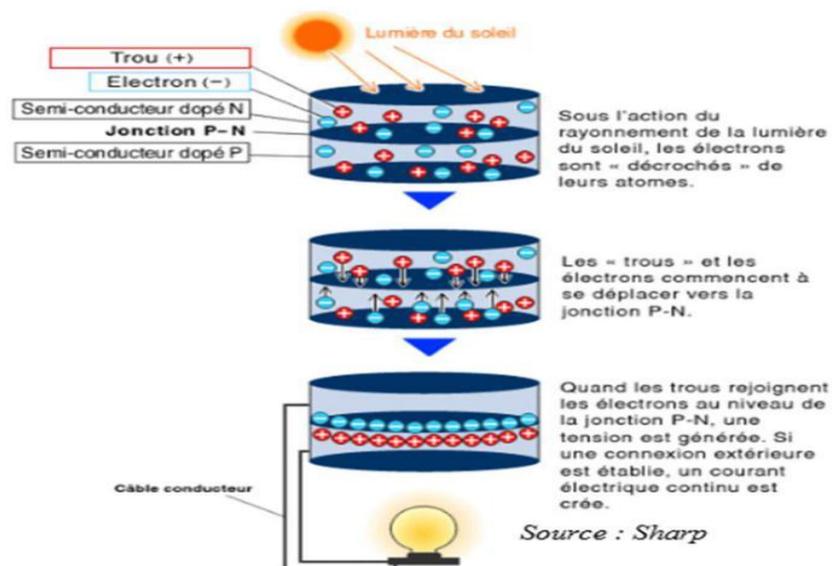


Figure.I. 9: principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque. Source : Sharp

I.11 Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique.

Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif ;
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur;
- Collecte des particules générées dans le dispositif;

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électron/trou créés est nécessaire.

Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-N. d'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky sont également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure (I.10)

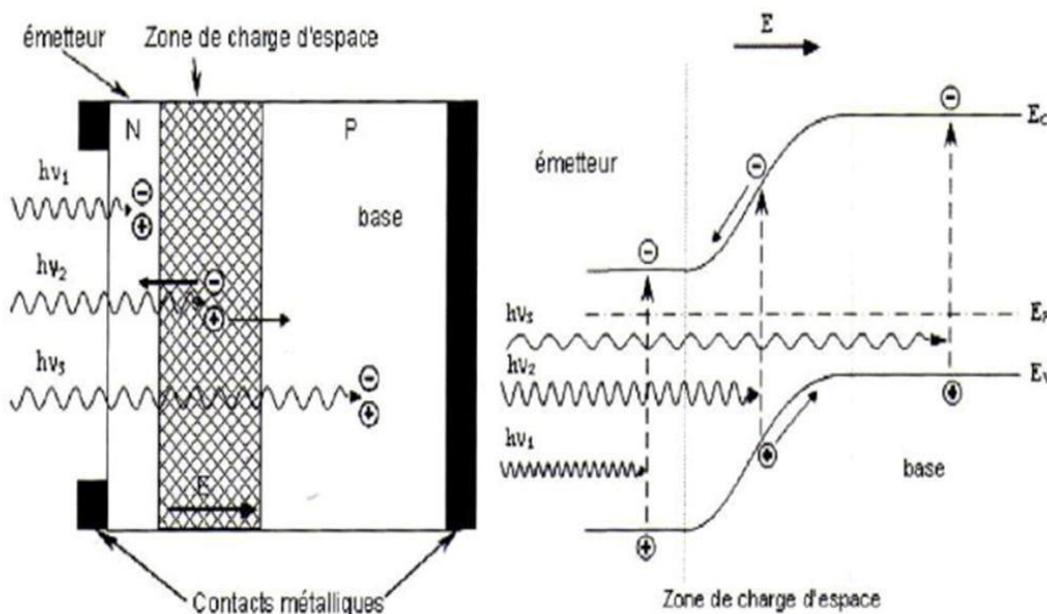


Figure.I. 10: Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque. Les dimensions respectives de différentes zones ne sont pas respectées.

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région : Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace, sont envoyés par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) ou ils seront majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.

Dans la zone de charge d'espace, les paires électron/trou créés par les photons incidents sont dissociés par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. on aura un photo-courant de génération [14].

I.12 Technologies des modules photovoltaïques

I.12.1 Les modules photovoltaïques au silicium

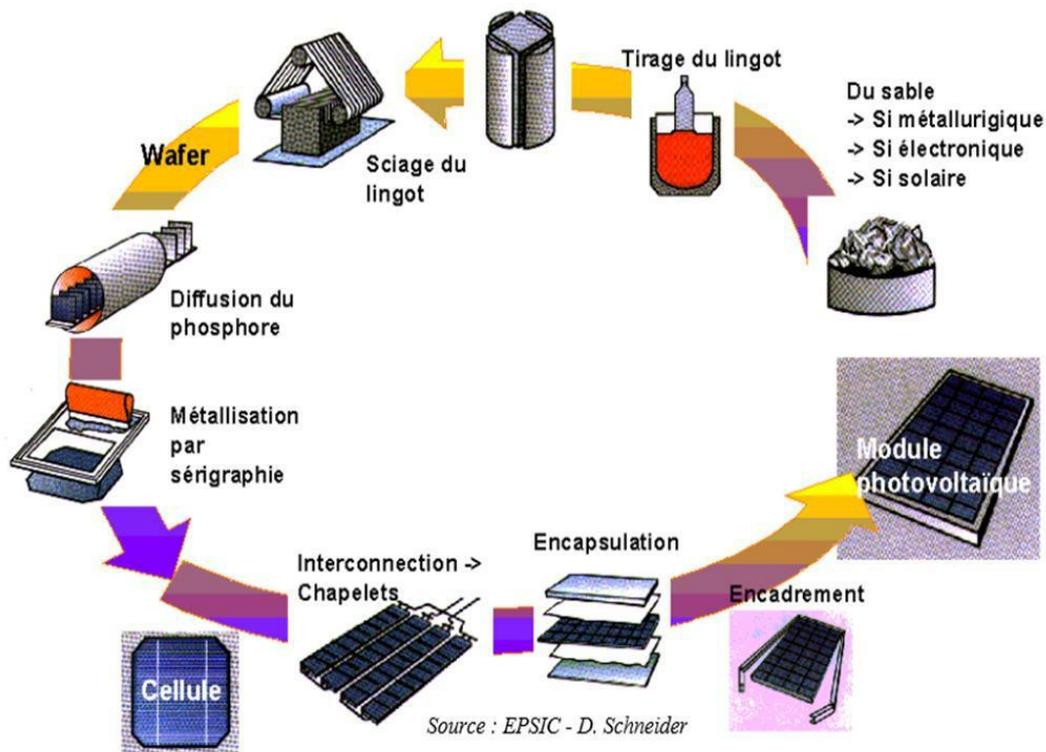


Figure.I. 11Processus de fabrication. Source : EPSIC - D. Schneider Electric

Le Silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel.

Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzueux (dioxyde de silicium).Celui-ci est chauffé dans un four électrique à une température de 1700 °C. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium.

Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement. Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide, puis coulé sous forme de lingot suivant le processus pour la cristallisation du silicium, et découpé sous forme de fines plaquettes (wafers)[15].

Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopants (P, As, Sb, bore) de l'étape de dopage, afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N.

La diffusion d'éléments dopants (bore, phosphore) modifie l'équilibre électronique de ces plaquettes (wafers), ce qui les transforme en cellules sensibles à la lumière.

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner pendant plus de deux ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication [16].

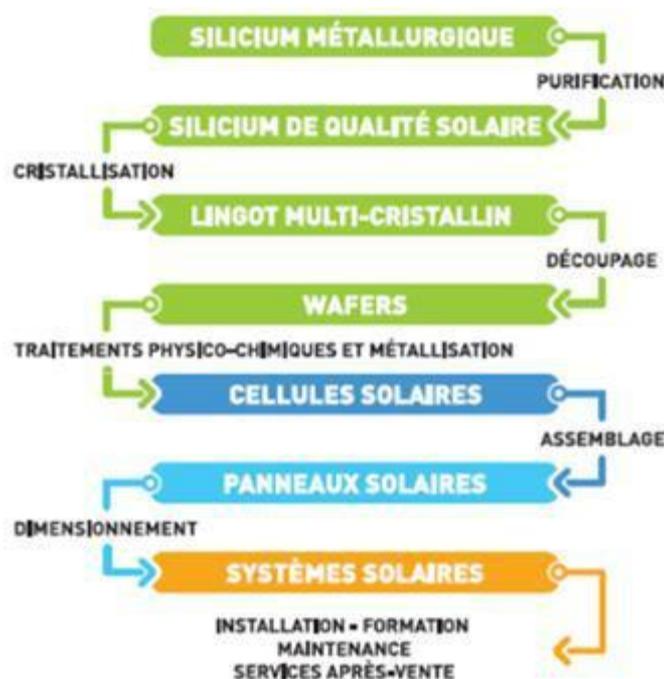


Figure.I. 12 La Chaîne Du Photovoltaïque Technologie Du Silicium Cristallin. Source : Teneosol

Les Cellules monocristallines et poly cristallines sont fragiles.

Elles sont donc placées entre deux plaques de verre (encapsulation) afin de former un module.

Le matériau de base est le silicium qui est très abondant, mais la qualité nécessaire pour réaliser les cellules doit être d'une très grande pureté et son coût intervient de façon importante dans le coût de revient total.

La pénurie actuelle (2006) de silicium de qualité, a créé une tension sur le marché et une augmentation du prix des cellules.



Figure.I. 13: les types des cellules photovoltaïques

Les cellules PV au silicium cristallin (mono ou multi) représentent la majorité de la production mondiale (29 et 51% de la production mondiale)

Les autres modules photovoltaïques composites et organiques

Plusieurs technologies des cellules photovoltaïques autres que la technologie Silicium » existent mais ne sont pas représentatives de la production actuelle mais plutôt du domaine de la recherche. Voici quelques-unes d'entre-elles.

Thin film au silicium amorphe ou CIS (cuivre-indium-sélénium)

Le thin film met en œuvre 1% seulement du silicium utilisé pour la fabrication de modules cristallins équivalents.

Les cellules thin film sont plutôt utilisées pour des applications « courant faible".

Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir car le rendement ne chute pas avec la température.

Cependant, le rendement est de l'ordre de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin et nécessite donc plus de surface pour la même puissance installée. Il y a un risque de toxicité vis-à-vis de l'environnement pour les modules CIS qui présentent un meilleur rendement que l'amorphe pur.

I.12.2 Les modules PV double face

Certains fabricants proposent des panneaux solaires comportant des cellules solaires sur les deux faces, sur la face avant exposée au soleil et sur la face arrière du panneau.

Les cellules sont en général montées sur une vitre, encapsulées dans un cadre aluminium. Ces panneaux sont adaptés aux sites ayant des albédos importants des lacs, mers, les déserts, les surfaces enneigées.

La puissance du module double face est le double de la puissance du même module simple face mais l'énergie moyenne annuelle produite par le module double face n'est que supérieure que de 10 % plus élevée à celle produite par le même module simple face (le coût d'investissement par contre a presque doublé)[13].

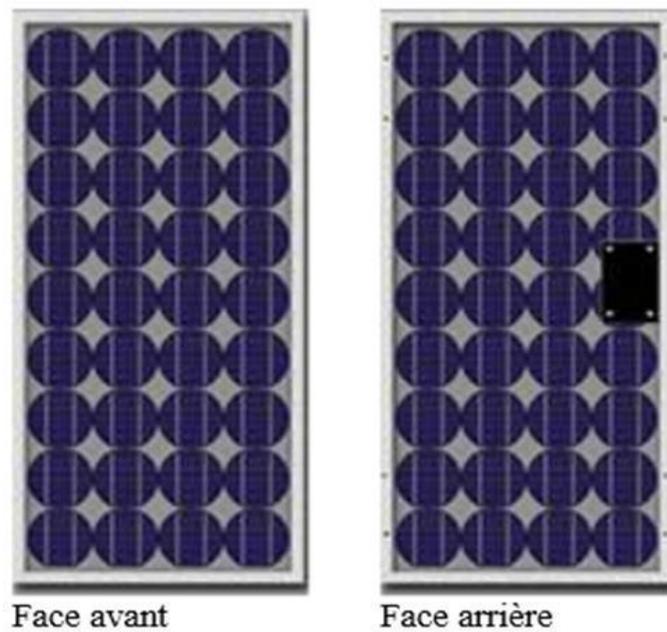


Figure.I. 14Face avant et arrière de panneau photovoltaïque.

I.13 Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque

I.13.1 Le courant de court-circuit (I_{cc})

Il s'agit du courant lorsque le potentiel appliqué à la cellule est nul. C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir.

Celui-ci est en fonction de la température, de la longueur d'onde du rayonnement, de la surface activé de la cellule, de la mobilité des porteurs. Ce courant est linéairement dépend de l'intensité lumineuse reçue[17].

I.13.2 Tension du circuit-ouvert (V_{co})

Comme son nom indique, c'est la tension aux bornes de la cellule lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge ou lorsqu'elle est connectée à une charge de résistance infinie.

Elle dépend essentiellement du type de cellule solaire (jonction PN, jonction Schottky), des matériaux de la couche active et de la nature des contacts de la couche active-électrode. Elle dépend de plus de l'éclairement de la cellule [18].

$$V_{CO} = \frac{KT_c}{q} \log \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \dots\dots\dots I.2$$

Avec:

K.Tc/q: Représentant la potentielle thermodynamique.

K: La constante de Boltzmann (1.381 .10⁻²³ joule/kelvin).

q :La charge d'un électron.

Tc :La température absolue.

Is :Le courant de saturation.

Iph : Le courant photonique

Deux régimes peuvent être observés suivant le degré d'éclairement figure(I.15)

Régime des faibles flux lumineux : dans ce cas, << , ce qui permet d'écrire:

$$\log \frac{I_{ph}}{I_s} + 1 = \frac{I_{ph}}{I_s} \dots\dots\dots I.3$$

D'où :

$$V_{CO} = \frac{K.T_c}{q} \cdot \frac{I_{ph}}{I_s} \dots\dots\dots I.4$$

C'est la zone de comportement linéaire de la cellule.la formule précédente peut s'écrire aussi :

$$V_{CO} = R_0 \cdot I_{ph} \quad \text{En posant} \quad R_0 = \frac{K.T_c}{q.I_s}$$

R₀ :Est la résistance interne de la diode en polarisation externe nulle (circuit ouvert) est sous faible flux lumineux.

.Régime des flux lumineux suffisamment intenses pour que Iph>>Is, soit :

$$\frac{I_{ph}}{I_s} \gg 1$$

D'où:

$$V_{CO} = \frac{K.T_c}{q} \log \frac{I_{ph}}{I_s} \dots\dots\dots I.5$$

C'est le domaine du comportement logarithmique (figure I.15):

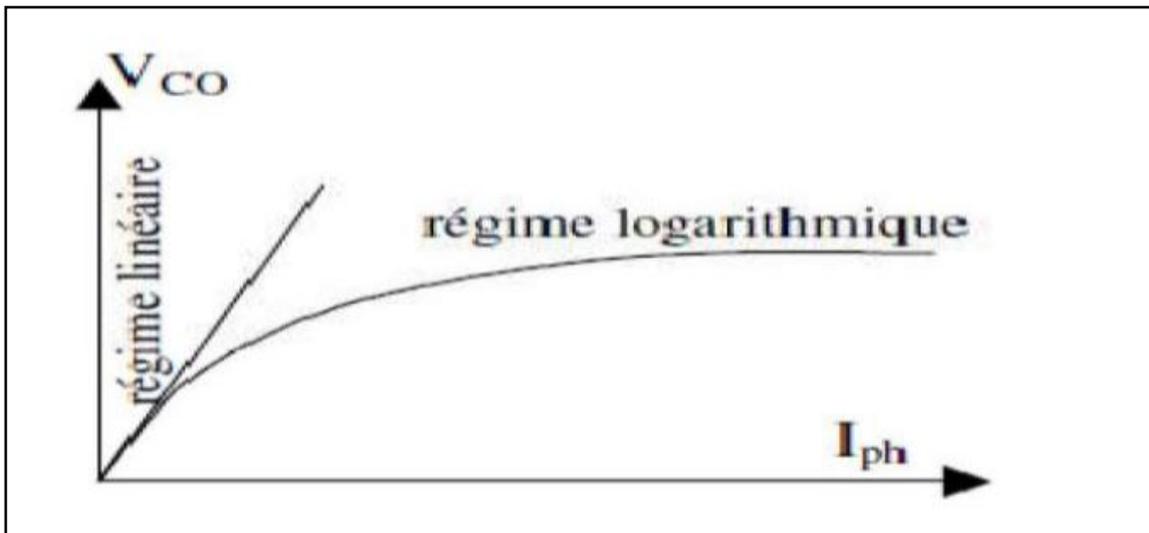


Figure.I. 15 Différents régimes selon la puissance d'éclairement.

Il est important de remarquer que cette tension augmente avec le log d' I_{ph} , donc avec le log de l'illumination. En revanche, elle décroît avec la température, malgré le terme $K.TC/q$.

En effet, le courant de saturation, I_s dépend de la surface de la diode (donc de la cellule) et des caractéristiques de la jonction : il varie exponentiellement avec la température et cette dépendance en température compense largement le terme $K.Tc/q$

Donc la tension de circuit ouvert V_{CO} baisse avec la température, ce qui est important dans le dimensionnement des systèmes.

I.13.3 Le Facteur de forme

Un paramètre important souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque : c'est le facteur de remplissage ou « fill factor (FF) ». Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle $I_{cc} \cdot V_{co}$. Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable ne le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéale [18].

Il est défini par la relation suivante :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} I_{cc}} \dots\dots\dots I.6$$

La puissance des modules photovoltaïque s'exprime en Watts-Crète. Cette dernière représente la puissance qui peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale), sous un éclairement de 1000W/m² et à une température de 25°C.

I.13.4 Le rendement

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

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{co}}{P_{in}} \dots\dots\dots I.7$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

Le rendement de conversion est un paramètre essentiel.

En effet, la seule connaissance de sa valeur permet d'évaluer les performances de la cellule.

Conclusion

L'énergie solaire occupe une place très importante parmi les différentes sources d'énergies renouvelables. Un effort accru existe depuis ces dernières décennies pour développer l'utilisation directe de cette forme d'énergie afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable (hydrogène par exemple).

Une connaissance précise de la distribution de l'irradiation solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le dimensionnement des systèmes photo thermiques ou photovoltaïques.

Le manque de moyens de mesure et la non disponibilité des stations météorologiques à grande échelle, représentent des difficultés qui ont permis aux chercheurs d'établir des méthodes d'estimation du rayonnement solaire en se basant sur les données météorologiques.

II.1 Introduction

La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire [1]. Dans ce dernier cas la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent sûrement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque 'Générateur PV et charge), la variation de 50 % de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur PV de l'ordre de 50 %; en plus le générateur PV ne fonctionne plus dans les conditions optimums [2- 4]. Ces systèmes photovoltaïques générateurs d'électricité peuvent être exploités dans différents lieux : électrification des sites isolés, installation dans les bâtiments ou raccordement direct au réseau d'électricité,...

Les systèmes PV requièrent peu d'entretien, sont silencieux et ne produisent aucune émission de polluants (Miller et al. 2001). Dans les systèmes PV, les générateurs produisent la puissance qu'exige l'application à réaliser (Iskander et al. 2002).

Actuellement, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualités (Salameh et al. 1991; Enslin et al. 1992; Shraif, 2002; Kassmi et al. 2007; Mrabti et al. 2008). Ces systèmes PV, générateurs d'électricité, peuvent être exploités dans différents lieux: électrification des sites isolés, installation dans les bâtiments, **raccordement direct au réseau**,...

Le problème majeur d'utilisation des panneaux PV, c'est leur caractère non linéaire (Kassmi et al. 2007). Le module PV possède un point de fonctionnement optimum, appelé le point de puissance maximale (PPM) dépendant de l'intensité d'éclairement (Kassmi et al., 2007; Knof et al., 1999; Hussein et al., 1995; Charles et al., 1993; Aziz et al., 2004). L'adaptation des panneaux PV à la charge s'avère donc nécessaire pour extraire du module PV le maximum de puissance. Ceci est effectué par le biais des convertisseurs d'énergies DC-DC contrôlés par une commande appelé commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) (Salameh et al., 1991; Enslin et al., 1992; Shraif, 2002; Kassmi et al., 2007; Knof et al., 1999; Hussein et al., 1995).

Dans Salameh et al., 1991; Enslin et al., 1992; Knof et al., 1999, des commandes MPPT analogique et numérique ont été proposées. Ces commandes sont caractérisées par leurs coûts élevés et des difficultés de réalisation. Puisque, la tension optimale des générateurs PV dépend très peu de l'éclairement, une commande MPPT simple de type 'Boucle d'asservissement de la tension' pourrait, au cours d'une journée, maintenir la tension à la sortie du générateur PV à sa valeur optimale et donc à la puissance optimale.

II.2 Principe de fonctionnement d'un régulateur solaire

Qu'est-ce qu'un régulateur de charge/décharge solaire ?

II.2.1 Description

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge:

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage direct appelé régulateur PWM (Pulse With Modulation).
- Couplage par adaptateur d'impédance appelé régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).

II.3 ETUDE DU HACHEUR

II.3.1 Le convertisseur DC/DC comme adaptateur d'impédance

Une connexion directe panneau / batterie est possible (figure II.1), une simple diode en série empêchant le panneau de fonctionner en récepteur d'énergie électrique, mais avec un inconvénient notable : le panneau ne travaille à sa puissance maximale (notée P_{opt}) que si $E = V_{opt}$ ($V_D=0$).

Si $E < V_{opt}$ ou si $E > V_{opt}$, le panneau ne travaille plus au maximum de la puissance.

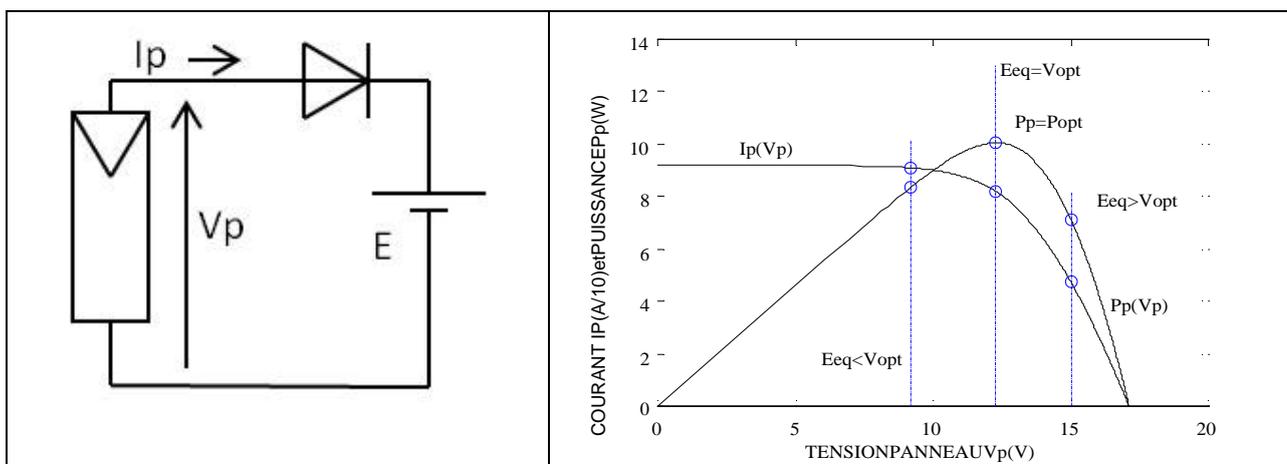


Figure.II. 1 Structure élémentaire et Points de fonctionnement pour différentes Valeur sde la tension de batterie.

Un convertisseur statique abaisseur (hacheur série de rapport cyclique) est intercalé entre la charge et le générateur (figure II.2).

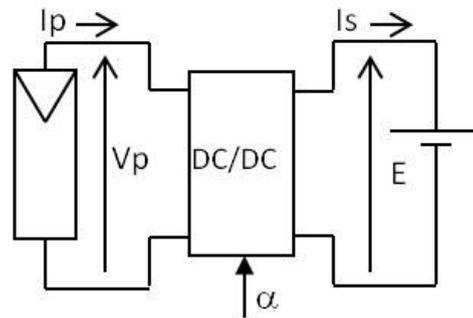


Figure.II. 2Structure avec un convertisseur intercalé entre la source et la charge.

La batterie apparaît donc "vue du générateur photovoltaïque" comme un générateur équivalent de tension $E_{eq} = E/\Delta$. En réglant Δ à la valeur Δ_{opt} donnée par $\Delta_{opt} = E / V_{opt}$, il est donc possible de placer le dispositif au point de puissance maximum P_{opt} et donc d'accélérer la recharge de la batterie en forçant le panneau à travailler en permanence à son optimum de puissance.

Pour la suite, on utilise un hacheur série dont la structure simplifiée est donnée sur la figure II.3.

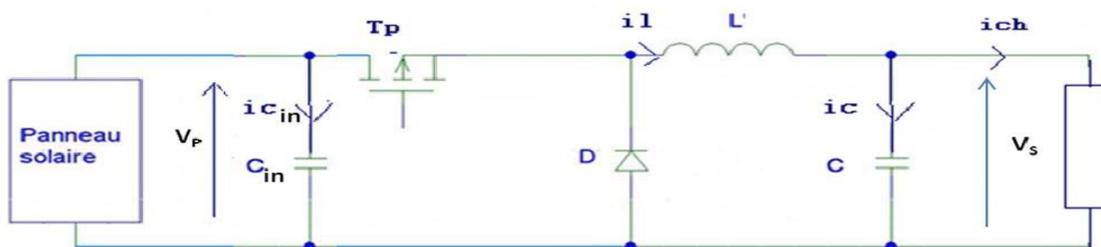


Figure.II. 3Hacheur série.

Le transistor est commandé par un signal rectangulaire (0-10V) de fréquence fixe (20Khz) et de rapport cyclique Δ réglable fourni par un GBF.

Régler à l'oscilloscope les caractéristiques du signal fourni par le GBF avant de le connecter à la commande du hacheur.

Détermination de I_{max} et V_{smax}

On donne : $L = 0,38 \text{ mH}$ $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$

Pour $V_p = 12V$ déterminer la valeur de l'ondulation maximum Δi_{lmax} du courant il. Pour $V_p = 12V$ déterminer la valeur de l'ondulation maximum ΔV_{smax} de la tension V_s . Les calculs permettant la détermination de Δi_{lmax} et ΔV_{smax} sont fournis en annexe.

Vérification expérimentale :

Réaliser le montage de la figure(II.14) avec une valeur de $R = 2 \Delta$ et un rapport cyclique

$\Delta = 0,5$.

Mesurer : V_p , Δi_{lmax} , ΔV_{smax} .

Comparer les mesures effectuées aux calculs théoriques précédents.

II.3.2 Fonctionnement à P_{max}

Pour une valeur de $R = 2 \Delta$, déterminer théoriquement à partir de la caractéristique du panneau relevée précédemment la valeur de Δ permettant un fonctionnement du panneau à son point de puissance maximum.

En déduire la résistance équivalente R_{eq} de charge vue du panneau.

Pour une valeur de $R = 2 \Delta$, déterminer expérimentalement la valeur de Δ permettant un fonctionnement du panneau à son point de puissance maximum.

Mesurer la résistance équivalente R_{eq} de charge vue du panneau.

Mesurer le rendement de la structure hacheur pour ce point de fonctionnement ainsi que le rendement global (panneau + hacheur).

Modifier R : $R = 4 \Delta$, déterminer expérimentalement la valeur de Δ permettant de retrouver le point de puissance maximum.

En déduire la structure de commande du hacheur permettant de faire fonctionner le panneau à P_{max} quelle que soit l'évolution de la charge.

II.3.4 CARACTERISATION D'UN CHARGEUR DE BATTERIE INDUSTRIEL

On souhaite montrer dans cette partie les fonctionnalités courantes d'un régulateur de charge solaire.

La figure ci-dessous présente la structure classique d'un tel régulateur. Il est interconnecté entre le générateur photovoltaïque, la batterie et la charge.

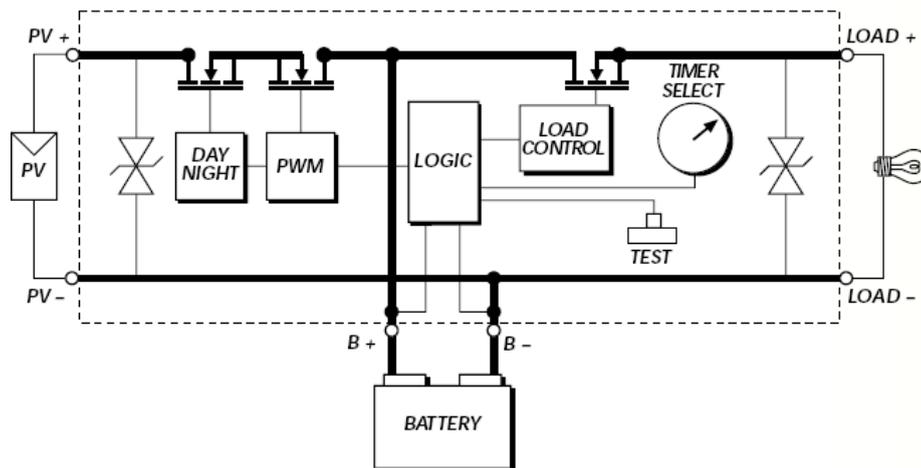


Figure.II. 4 Régulateur de charge solaire (source morningstarcorp).

II.3.5 Etude préparatoire

Quels sont les modes de charges : MPPT, tension constante, tension constante, courant constant ?

Que signifie pour la batterie les charges types floating, bulk ou equalization ?

Quelles sont les protections indispensables pour la batterie ?

Compte tenu de la batterie disponible 12V, 120Ah ; du convertisseur disponible (Model_PT12-24 Solar converter 12/24, doc en annexe) et des panneaux disponibles, vous fixerez les connexions à réaliser pour charger la batterie correctement. Vous déduirez à partir de vos mesures le mode de charge du régulateur.

Branchement (un seul panneau et batterie de 12V)

Mesures bon fonctionnement ?, Quel type de commande ? rendement ?, consommation à vide ?

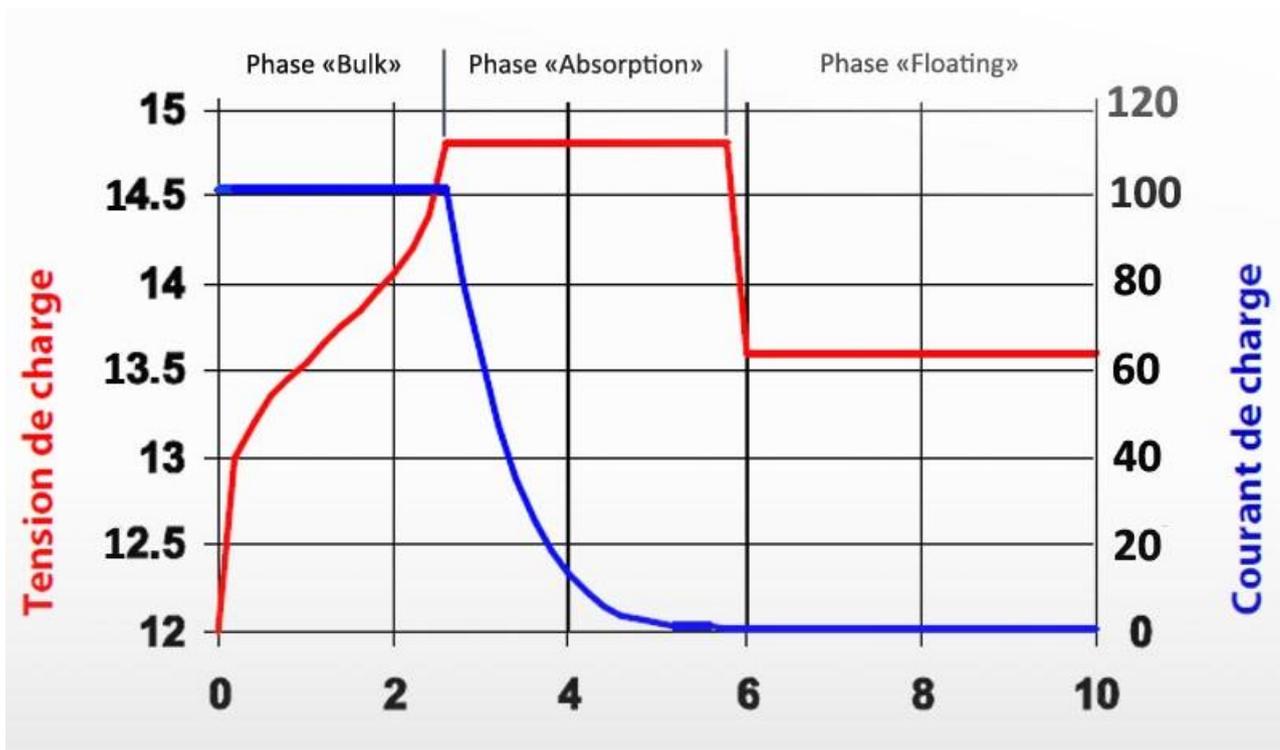


Figure.II. 5 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- Conversion DC/DC.
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).

A savoir le convertisseur DC/DC est utilisé comme abaisseur de tension. Ce qui signifie que la tension MPP du générateur photovoltaïque doit toujours être supérieure à la tension batterie.

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale P_{mpp} et transfère cette puissance à la sortie.

Par conception, le régulateur MPPT permet un gain de production de 5 à 30% par rapport à un régulateur PWM. Ce gain augmentera en hiver et pendant les périodes de faible ensoleillement.

Le régulateur de charge MPPT permet une plus grande souplesse au niveau du choix des panneaux. En effet, tous les types de module photovoltaïque peuvent être utilisés du moment que l'on reste dans les tolérances de tension (V) et de courant (A) du régulateur.

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque.

Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium).

II.4 Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

Il existe de nombreux paramètres qui permettent de caractériser une cellule solaire.

Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et sont déduits de la caractéristique I(V).

La figure (II.6) représente une caractéristique courant-tension I(V) dans le noir et sous illumination typique d'une cellule photovoltaïque à jonction PN.

Le tracé de cette courbe permet d'accéder à bon nombre de paramètres physiques caractéristiques du composant.

Les premiers paramètres qui apparaissent sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque sont le courant de court circuit (I_{cc}), la tension à circuit ouvert (V_{co}) et le facteur de forme FF du composant.

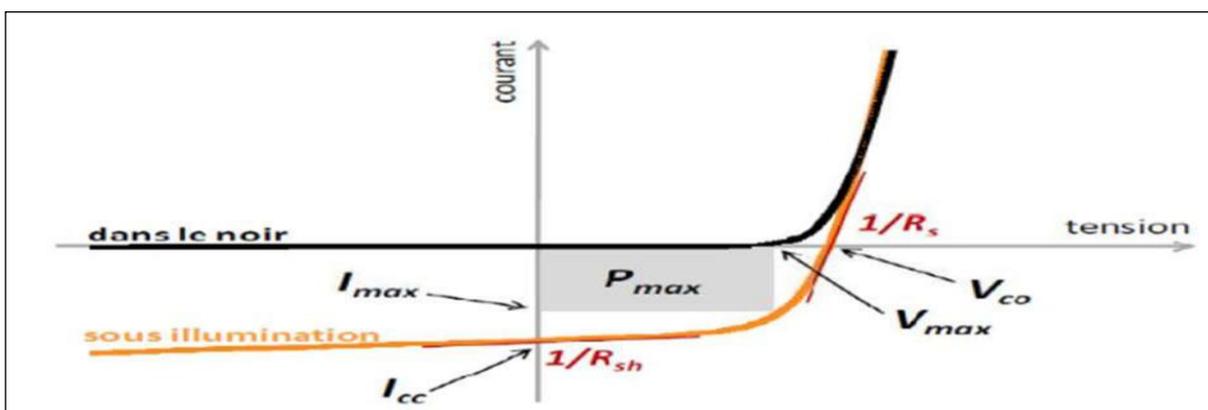


Figure.II. 6 Caractéristique courant-tension et paramètres physiques d'une cellule photovoltaïque.

II.5 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

La photopile présentée comporte en réalité une résistance série (R_s) et une résistance Shunt (R_{sh}). Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique $I=f(V)$:

La résistance série : elle représente 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 [19].

La résistance shunt : elle est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée

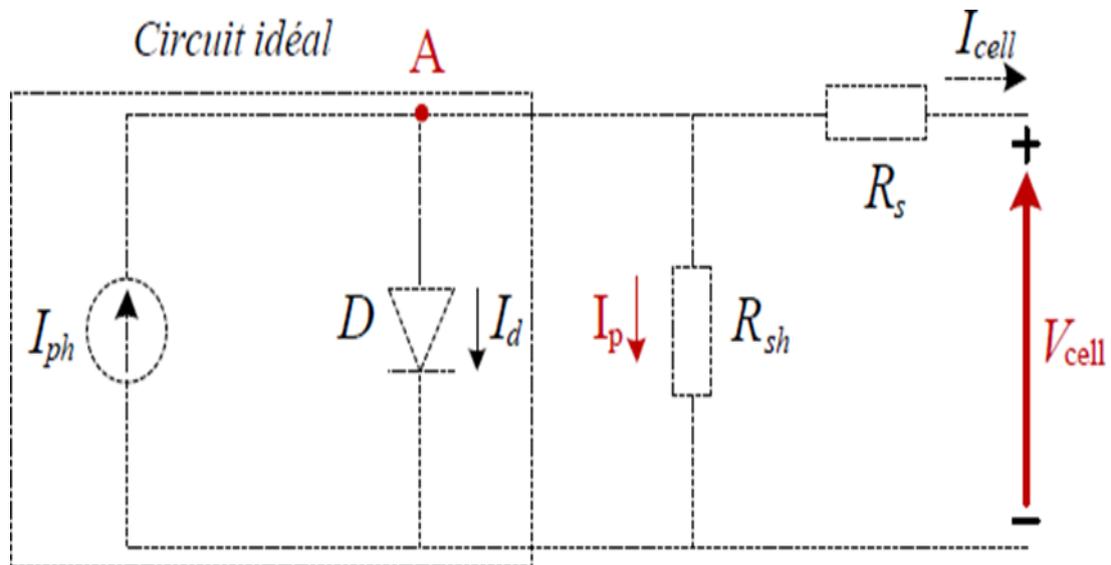


Figure.II. 7Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.

Ce modèle fait intervenir un générateur de courant pour modéliser le flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule et deux résistances (série et shunt) pour les pertes [19].

Ce modèle est dit à cinq paramètres, ces paramètres sont :

Le photo-courant (I_{ph}), le courant de saturation (I_0), le facteur d'idéalité de la jonction (A), la résistance série (R_s) et la résistance shunt (R_{sh}).

Si on néglige l'effet de la résistance shunt R_{sh} , en le considérant infini, on retrouve le modèle à quatre paramètres qui est très utilisé. Et si en plus, on néglige la résistance série, on retrouvera alors le modèle à 3 paramètres. Le choix du modèle se fait en fonction des besoins de l'étude. Le modèle à cinq paramètres offre un bon compromis entre simplicité et précision.

Ces équations permettent de décrire la caractéristique I-V de la cellule et du module en donnant les expressions des différents courants [20] :

L'étude physique d'une photopile nous permet d'obtenir l'équation de courant de la charge :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \dots \dots \dots II.1$$

Avec :

I_{cell} : Courant délivré par la photopile.

I_{ph} : Photo courant.

I_d : Courant de la diode.

I_{Rsh} : Courant shunt.

On a la résistance (R_{sh}) plus élevée donc on peut négliger le courant I_{Rsh} donc l'équation s'écrit :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d \dots \dots \dots II.2$$

Dans ce cas en utilisant les panneaux de modèle Canadian Solar, et sa caractéristique se représenter dans le tableau suivant :

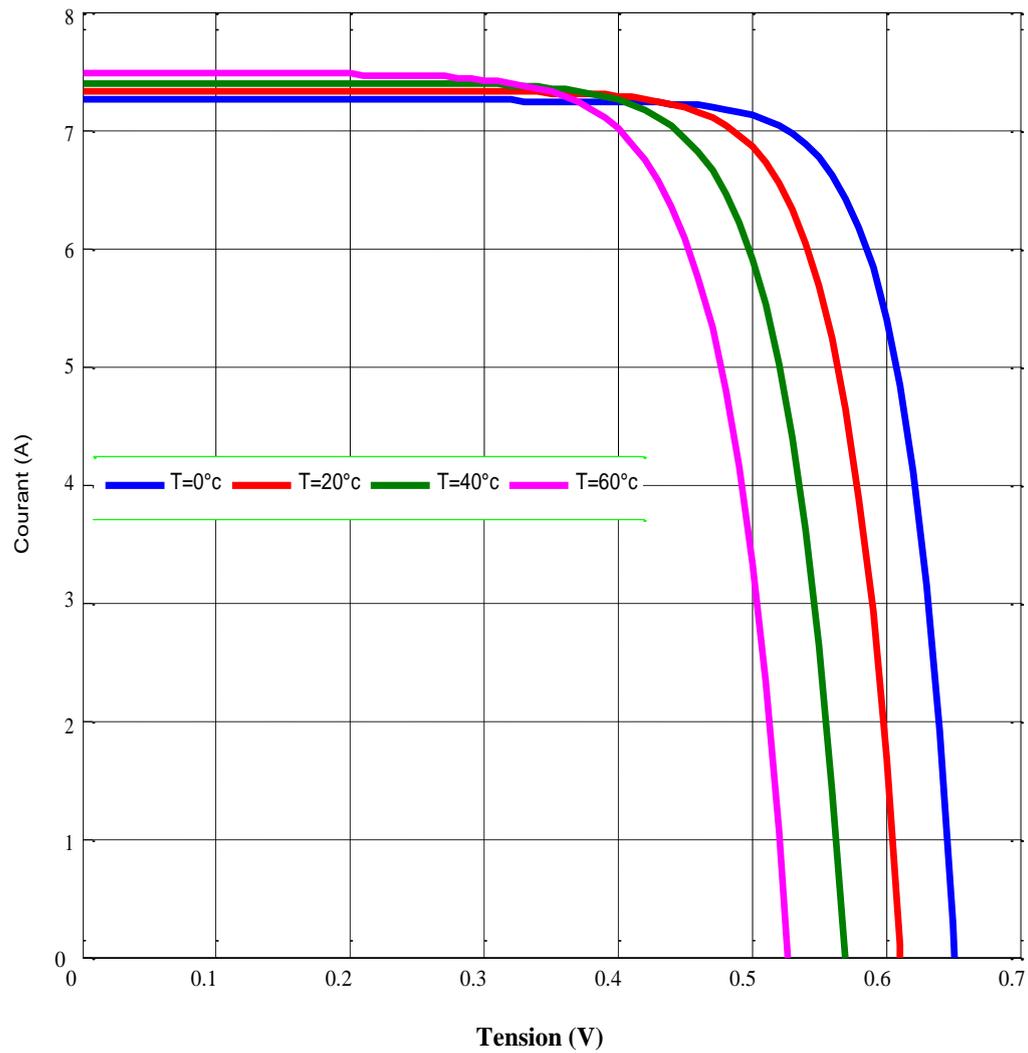
II.6 Effets climatiques sur la cellule PV

II.6.1 Influence de la température sur la cellule PV

Les figures (II.8) et (II.9) représentent la caractéristique courant – tension $I(V)$ et puissance – tension $P(V)$ dans la même condition de l'éclairement ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et pour différents température ($T=0, 20, 40, 60$) :

La tension de circuit ouvert est diminué avec l'augmentation de la température, par contre le courant de court-circuit augmente légèrement avec l'augmentation de la température et la puissance maximale diminue. On constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert.

II.6.1.1 Caractéristique (I-V)

Figure.II. 8Caractéristique I(V) pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).

II.6.1.2 Caractéristique (P-V)

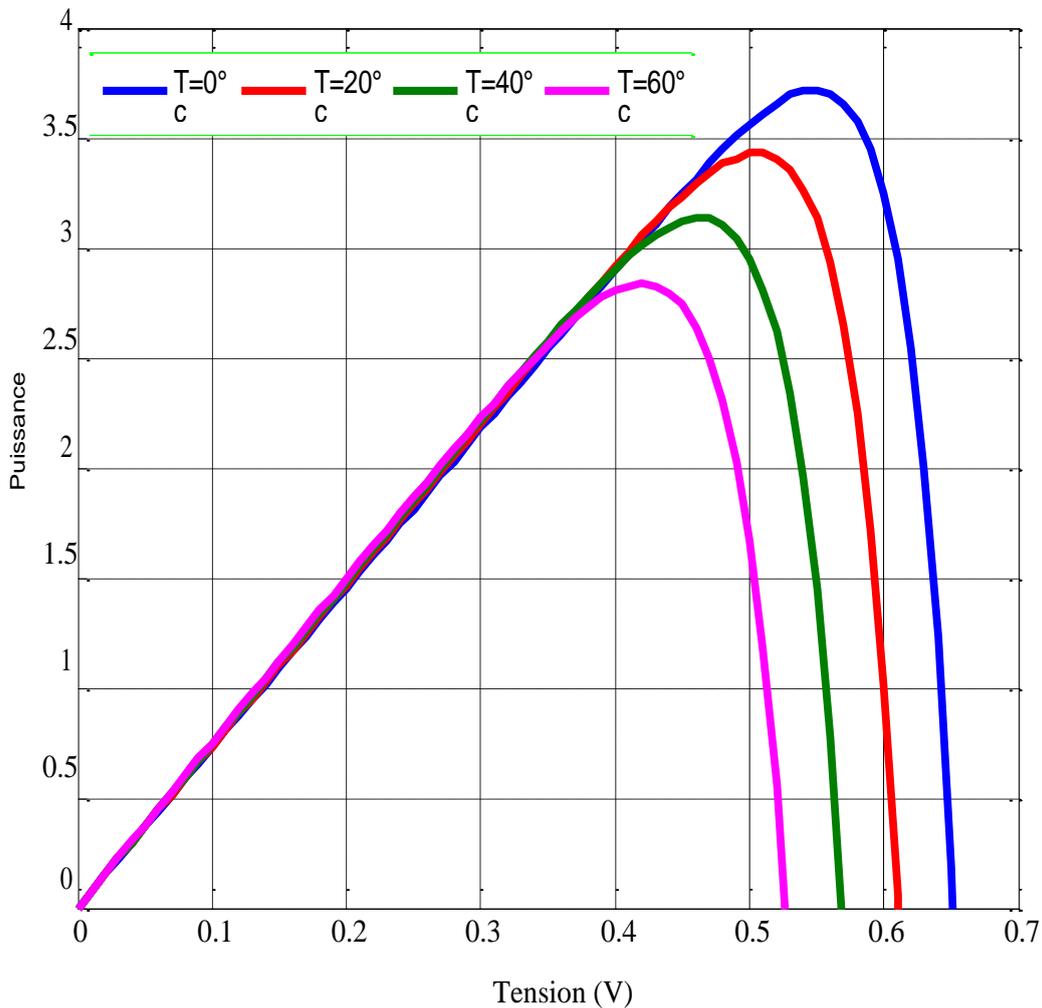


Figure.II. 9Caractéristique P(V) pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).

On peut donc tirer la conclusion suivante : les cellules PV ont de meilleure performance dans un environnement froid avec ciel dégagé.

II.6.2 Influence de l'éclairement sur la cellule

Les figures (II-10) et (II-11) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une cellule en fonction de la variation de l'éclairement ($E=200.400.600.800.1000 W/m^2$) à température constants ($T=25^\circ c$) :

Le courant de court-circuit est directement proportionnel au rayonnement incident. Par contre, la tension de circuit ouvert augmente rapidement pour de faibles niveaux d'éclairement, puis lentement pour des niveaux plus élevés.

La figure (II-10) illustre la variation de la puissance délivrée par la cellule en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V).

II.6.2.1 Caractéristique (I-V)

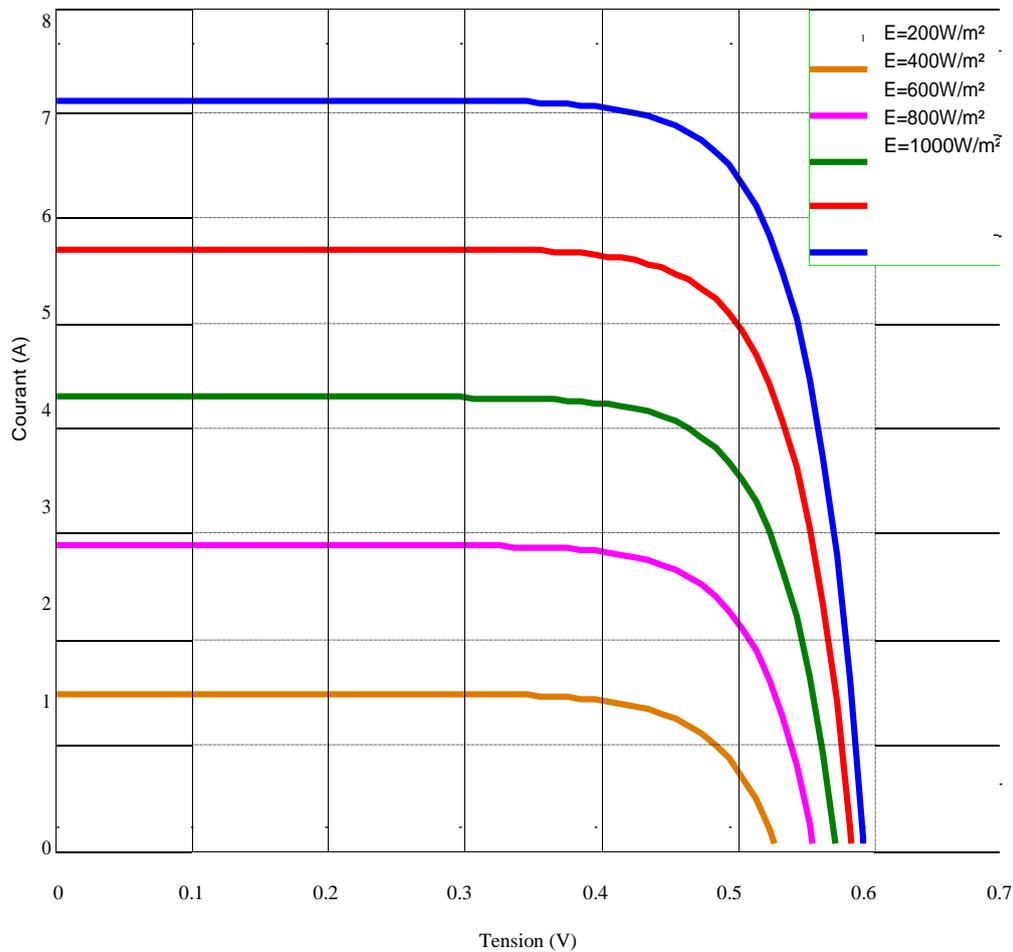


Figure.II. 10Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).

II.6.2.2 Caractéristique (P-V)

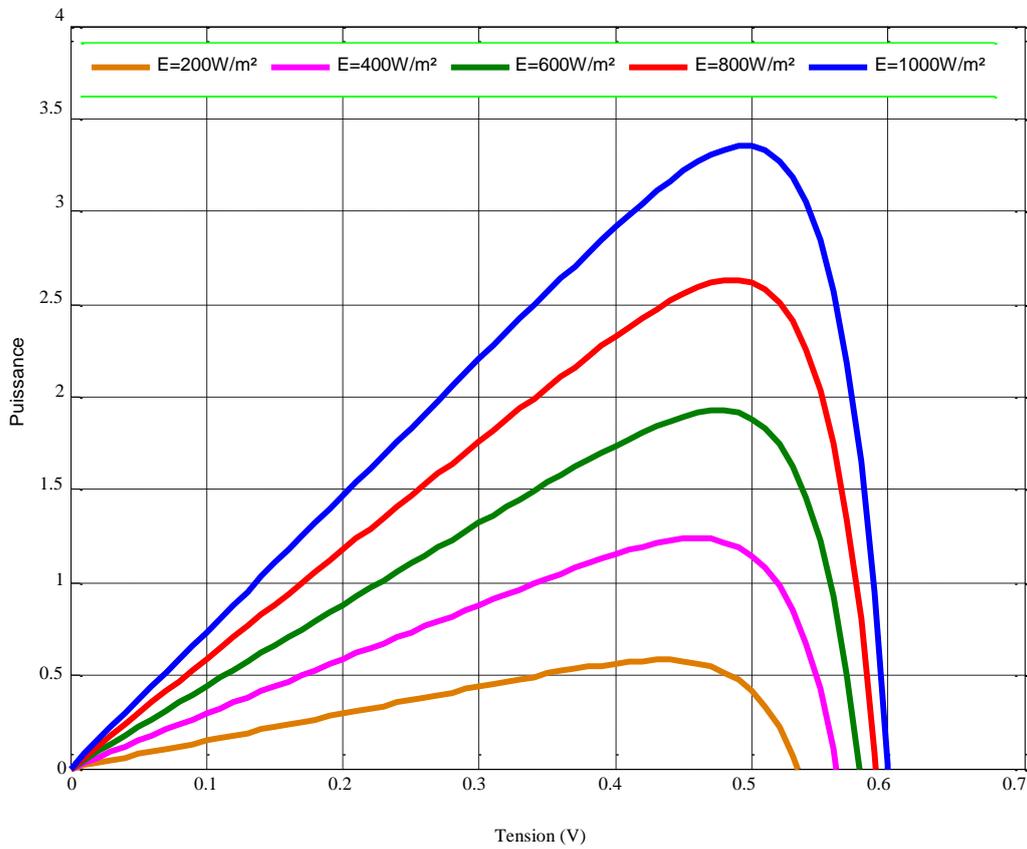


Figure.II. 11Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).

II.7 Simulation du générateur photovoltaïque

Nous avons pris un générateur composé de 46 cellules connectées en série et est considéré dans les conditions standards. $T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$.

II.7.1 Caractéristique (I-V)

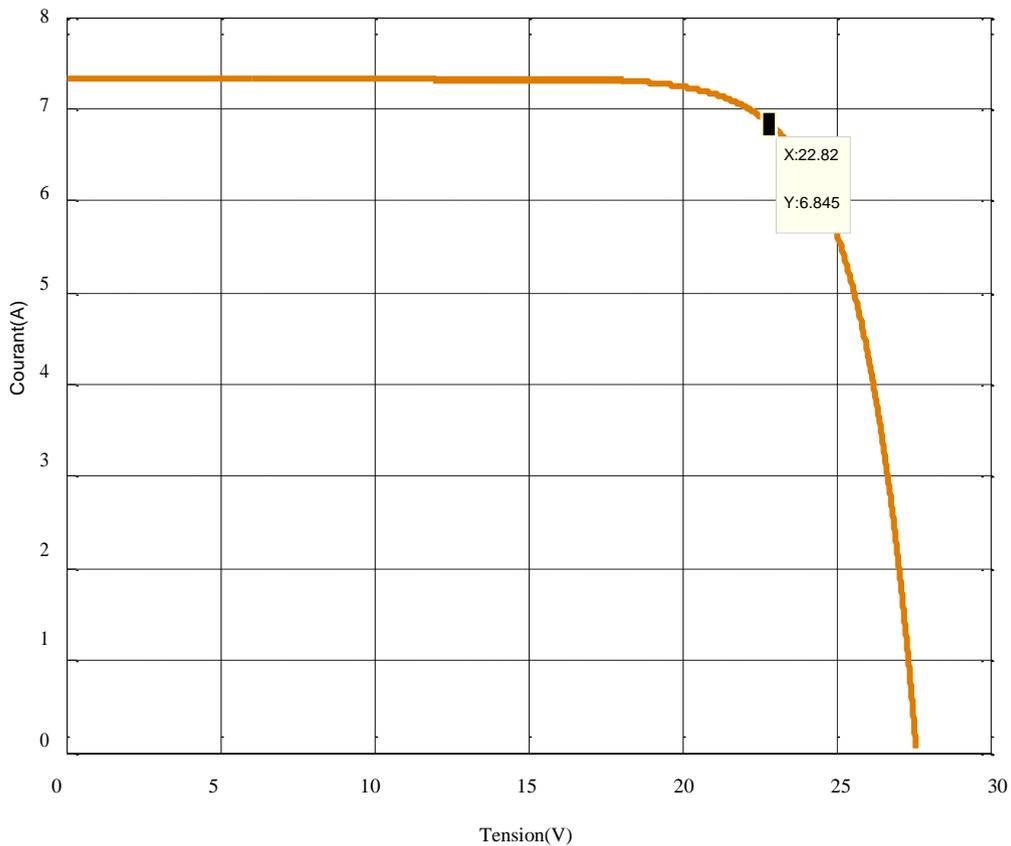


Figure.II. 12 Caractéristique I(V) d'un générateur PV ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

II.7.2 Caractéristique (P-V)

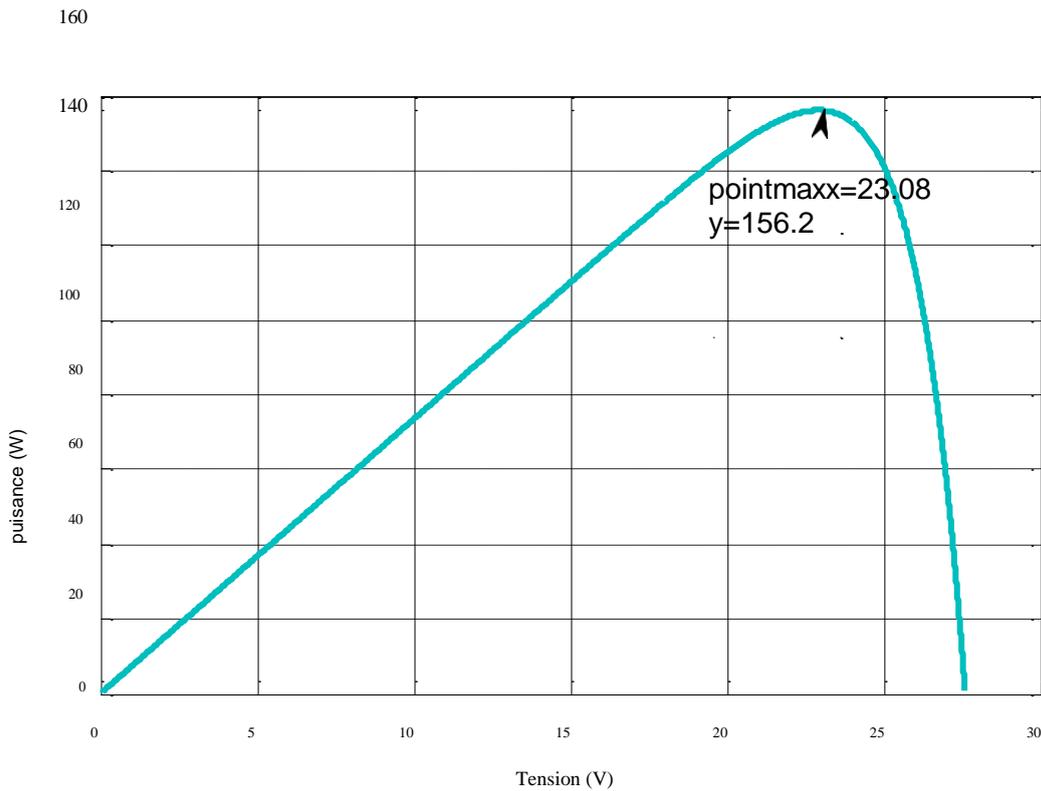


Figure.II. 13 Caractéristique P(V) d'une générateur PV (T=25°C, G=1000W/m²).

Le courant de court-circuit est $I_{cc}=7.34A$, la tension de circuit ouvert est $V_{oc} =27.6V$ (figure II-13). Ce résultat peut être expliqué par le fait que le générateur est composé de 46 cellules connectées en série ce qui donne :

$$V_{ocNcs}=46*0.6=27.6V \dots\dots\dots II.3$$

La puissance débitée par le générateur photovoltaïque dépende du point de fonctionnement du générateur comme il a monté par la figure (II.13). Le point max représente la puissance maximale débitée par le générateur.

A ce point $P_{max}=156.2W$,

ce qui est vérifiée par :

$$P_{max}=22.82 * 6.845 =156.20W \dots\dots\dots II.4$$

II.7.3 Influence de l'association des cellules PV sur le GPV

La cellule tout de seule ne produit qu'une très faible puissance avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance les cellules sont assemblées pour former un générateur. Dans cette partie on va étudier l'influence de l'association série et /ou parallèle des cellules.

II.7.4 Influence de l'association série des cellules PV

Les figures (II.14) et (II.15) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en série :

La tension de circuit ouvert augmente quand le nombre de cellule en série augmente, la valeur de courant de court-circuit n'influe pas par l'augmentation du nombre de cellule en série alors que la puissance augmente.

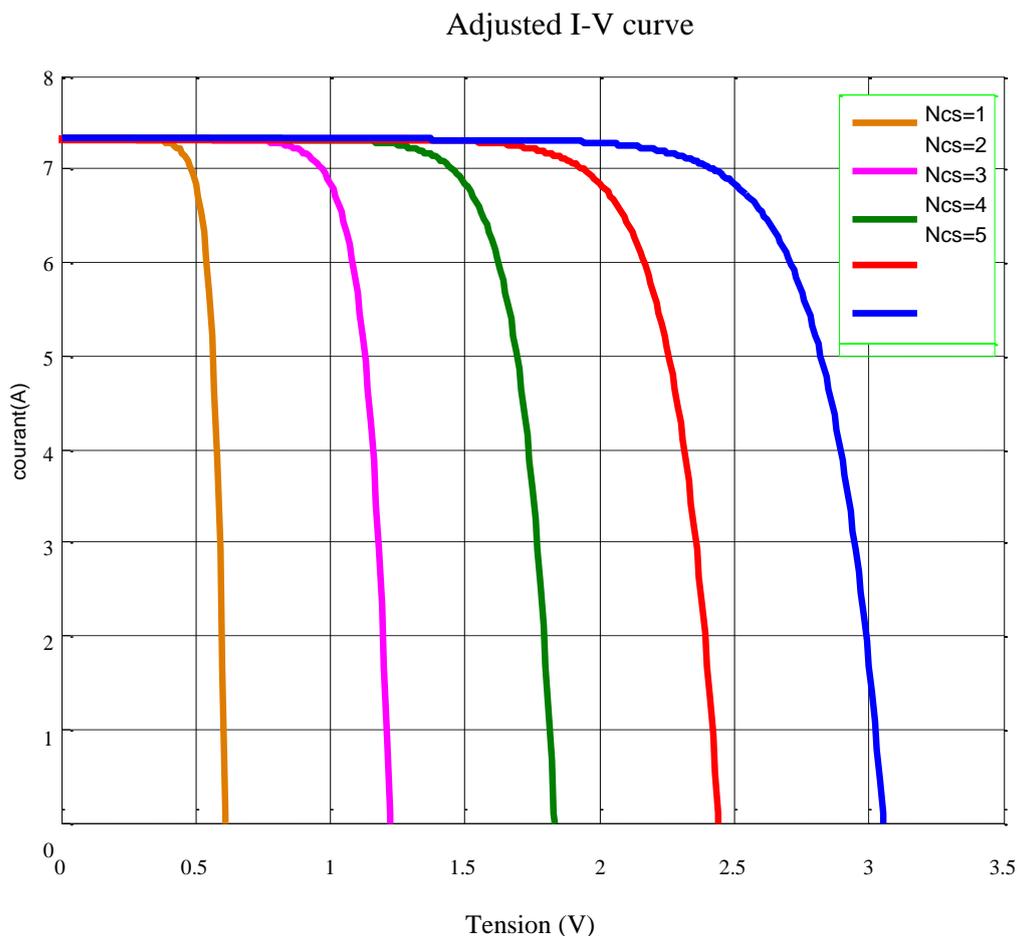


Figure.II. 14 Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en série.

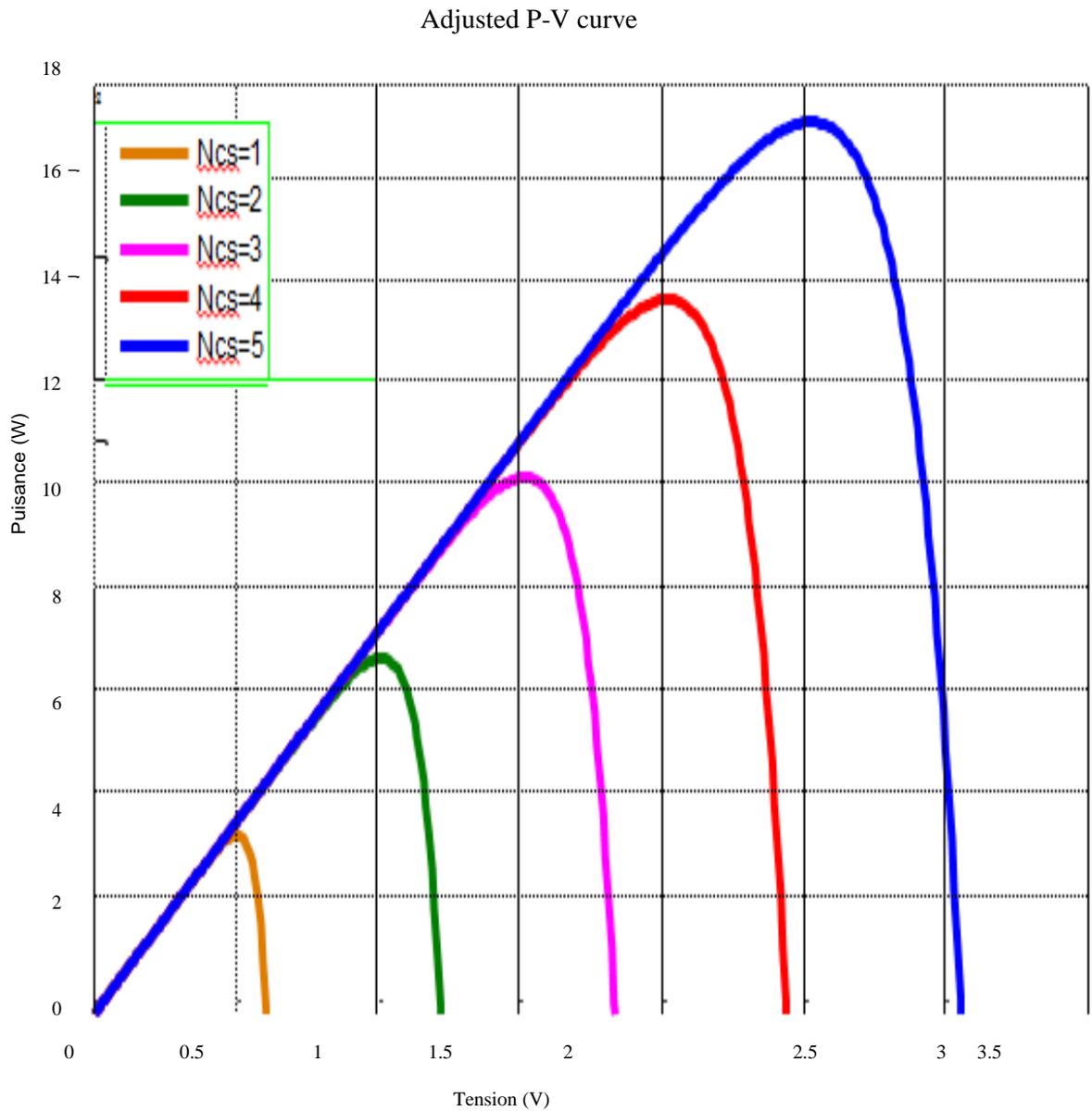


Figure.II. 15Caractéristique P(V) pour différents nombre de cellule en série.

II.7.5Influence de l'association parallèle des cellules PV

Les figures (II.16) et (II.17) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en parallèle :

Le courant de court-circuit augmente quand le nombre de cellule en parallèle augmente, la valeur de La tension de circuit ouvert n'influe pas par l'augmentation du nombre de cellule en parallèle alors que la puissance augmente.

*

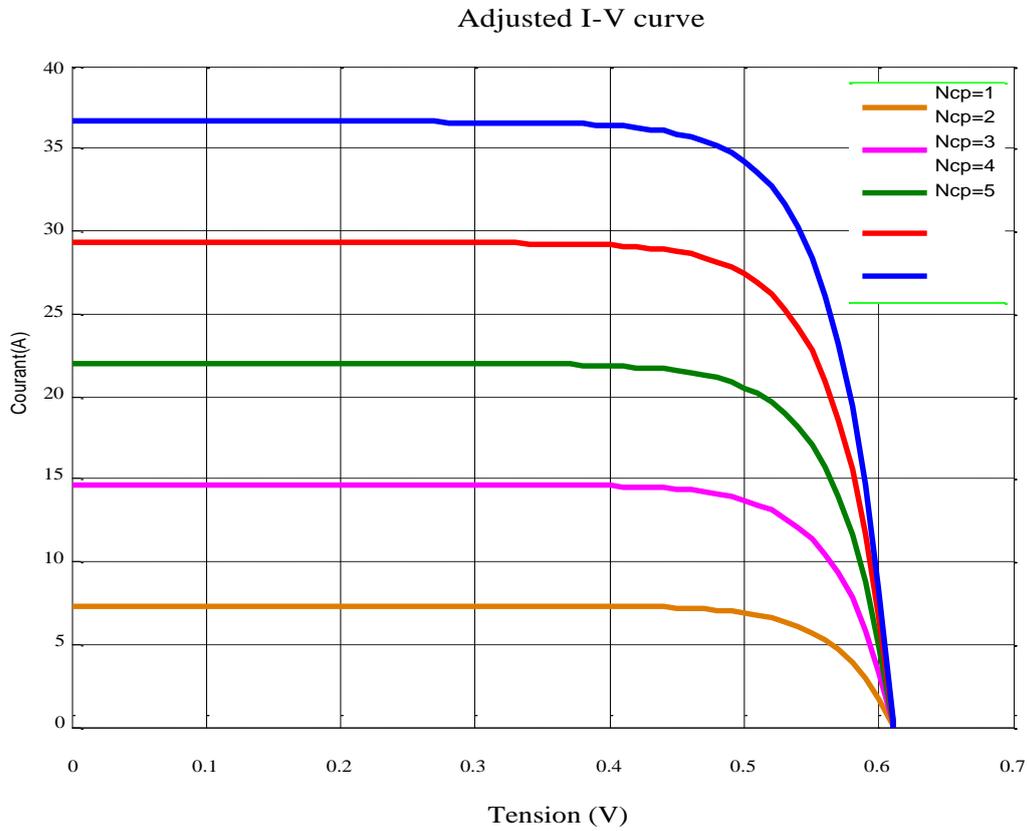


Figure.II. 16Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.

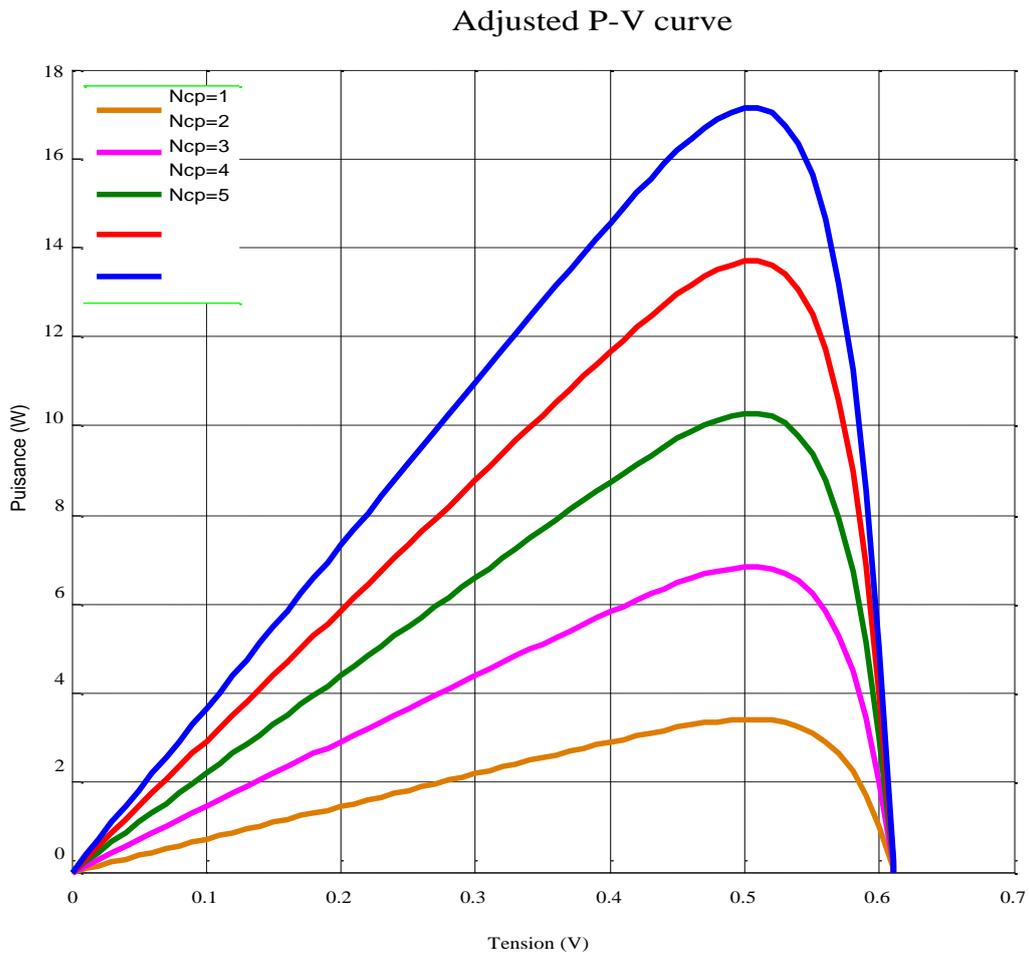


Figure.II. 17 Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.

II.7.6 Influence de l'association série / parallèle des cellules PV

Les figures (II.18) et (II.19) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une association de cellule en série/parallèle :

Le courant de court-circuit et La tension de circuit ouvert augmente relativement quand le nombre de cellule en série/parallèle augmente, alors la puissance augmente aussi.

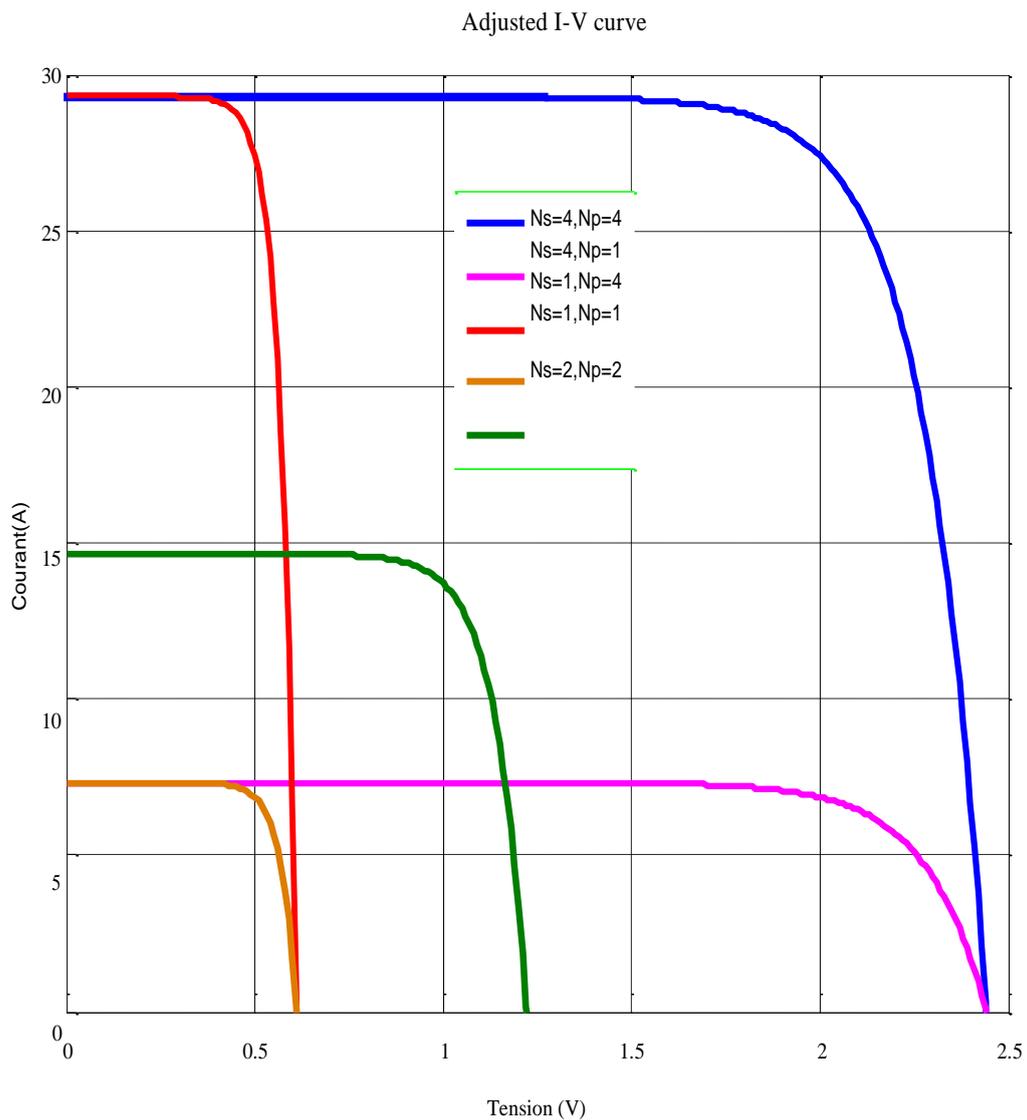


Figure.II. 18Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en Série / parallèle.

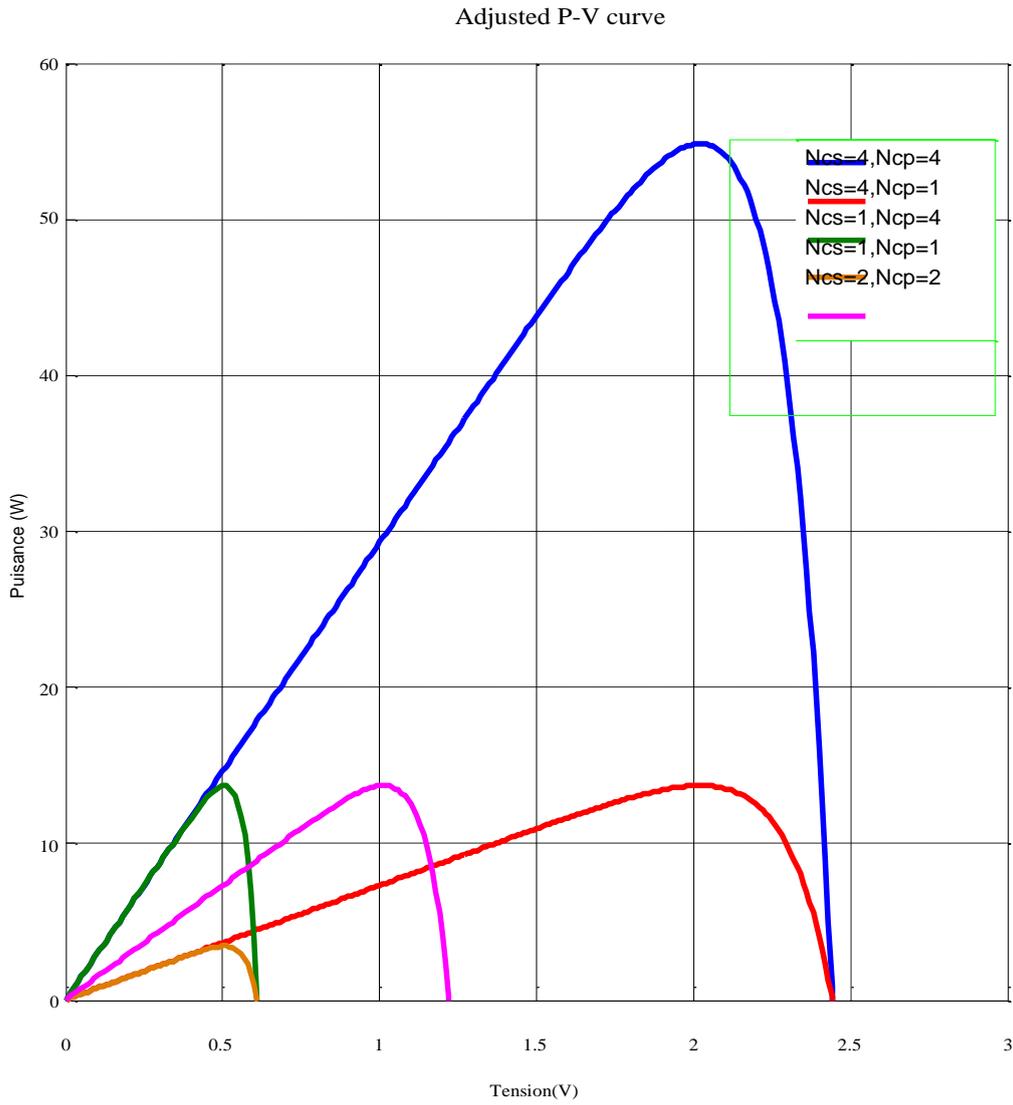


Figure.II. 19Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en Série / parallèle.

II.7.7 Effets climatiques sur le générateur PV

Les figures (II.20), (II.21), (II.22) et (II.23) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'un générateur PV pour différents température et différents éclairement, on obtient aucune différence par rapport à la simulation d'une cellule:

II.7.8 Influence de la température sur le générateur PV

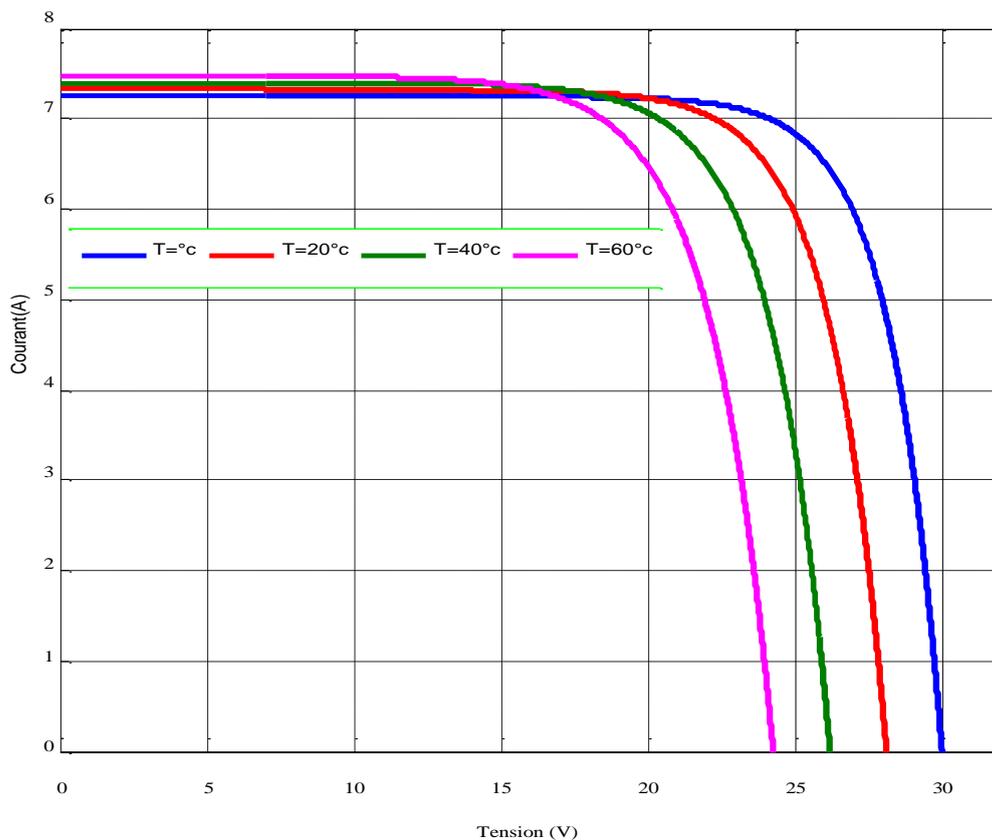


Figure.II. 20 Caractéristique I(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

La figure (II.20) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influence négativement sur la tension de générateur.

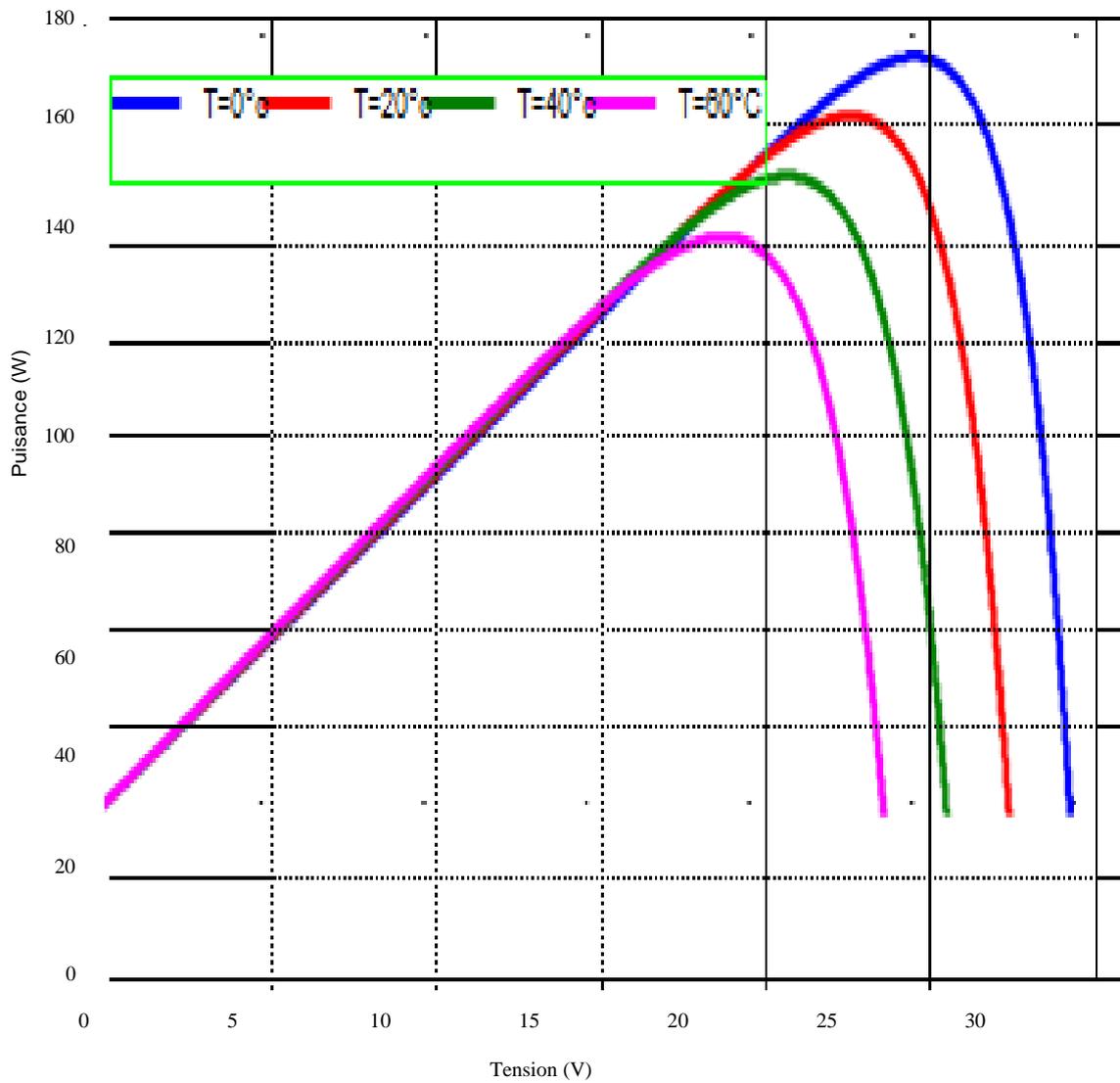


Figure.II. 21 Caractéristique P(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).

II.7.9 Influence de l'éclairement sur le générateur PV

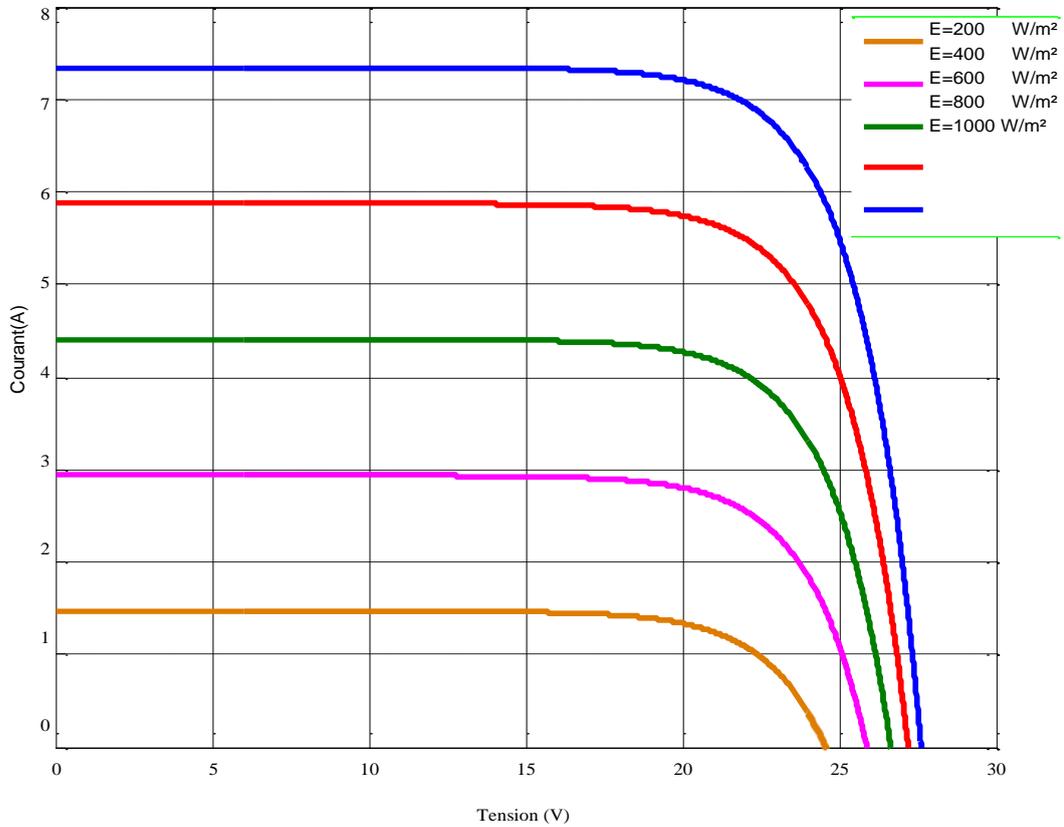


Figure.II. 22Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).

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

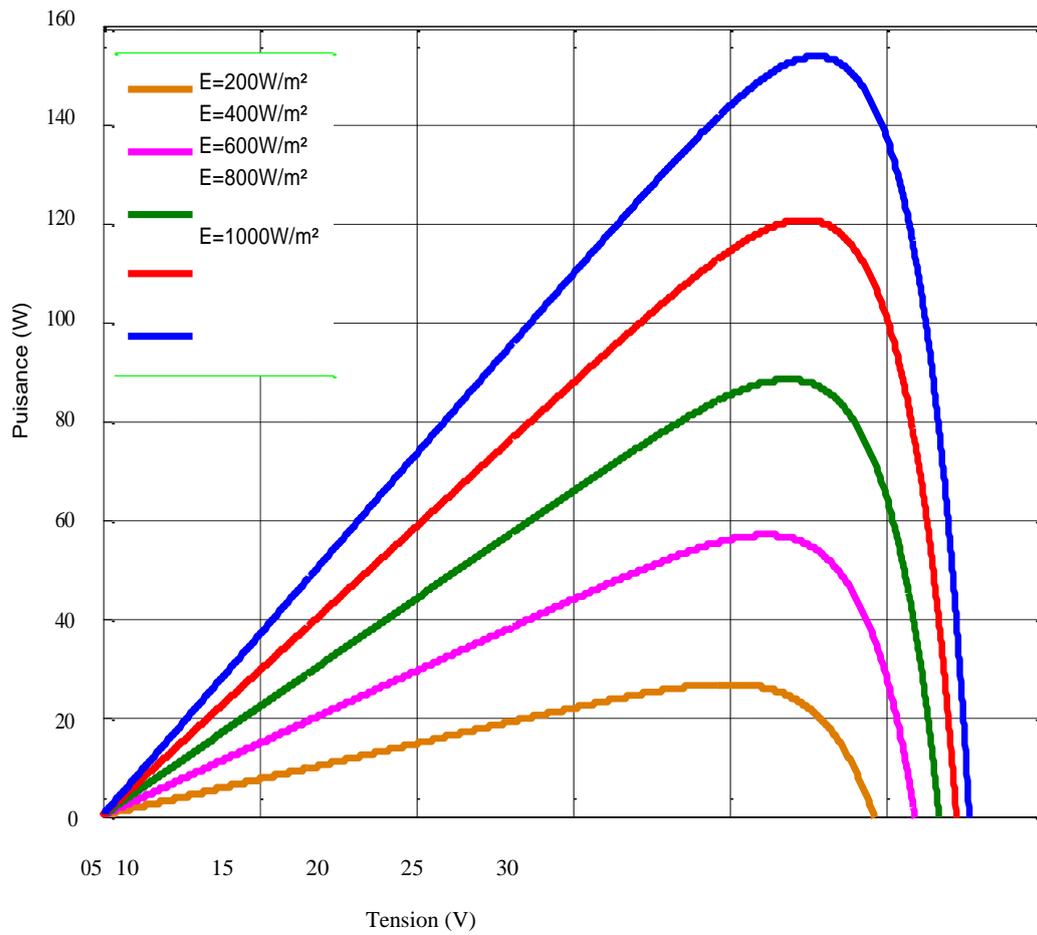


Figure.II. 23 Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}\text{C}$).

II.8 Simulation d'une cellule photovoltaïque par Matlab-Simulink

SIMULINK est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la Simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal . La figure (II.24) représente le schéma bloc d'une cellule photovoltaïque:

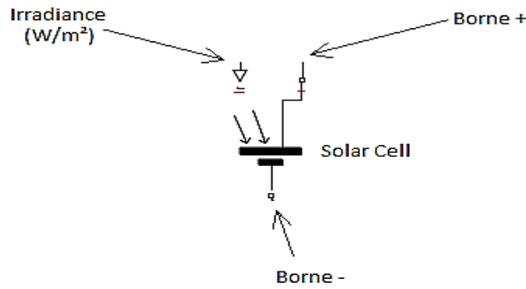


Figure.II. 24 Bloc Simulink représentant la cellule photovoltaïque.

La figure suivante (II.25) représente le schéma bloc de la cellule PV en MATLAB- SIMULINK :

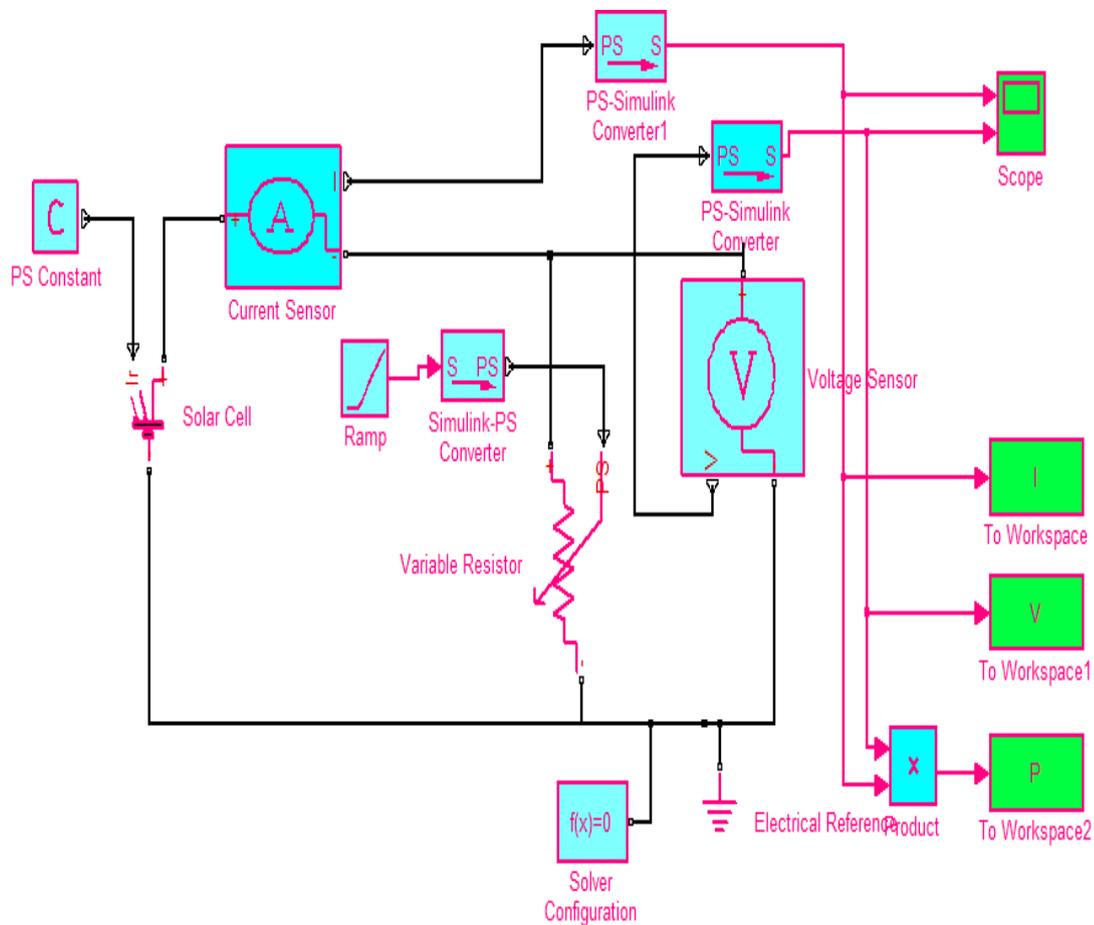


Figure.II. 25 Schéma bloc de la cellule PV en MATLAB-SIMULINK.

Les figures suivants (II.26, II.27) représentent les résultats de la simulation d'une cellule PV en MATLAB –SIMULINK en tenant compte l'influence de la température et l'éclairement.

II.8.1 Caractéristique (I-V)

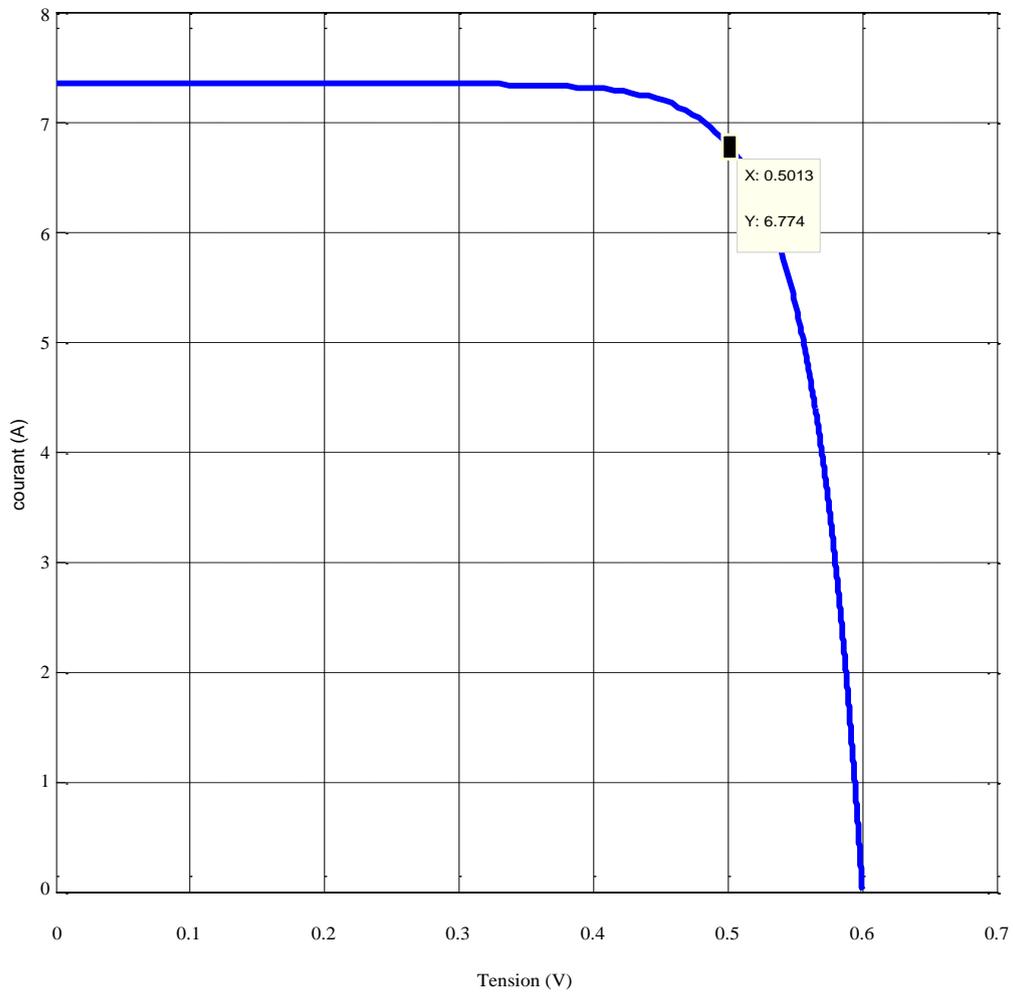


Figure.II. 26Caractéristique I(V) d'une cellule (T=25°C, G=1000W/m²).

II.8.2 Caractéristique(P-V)

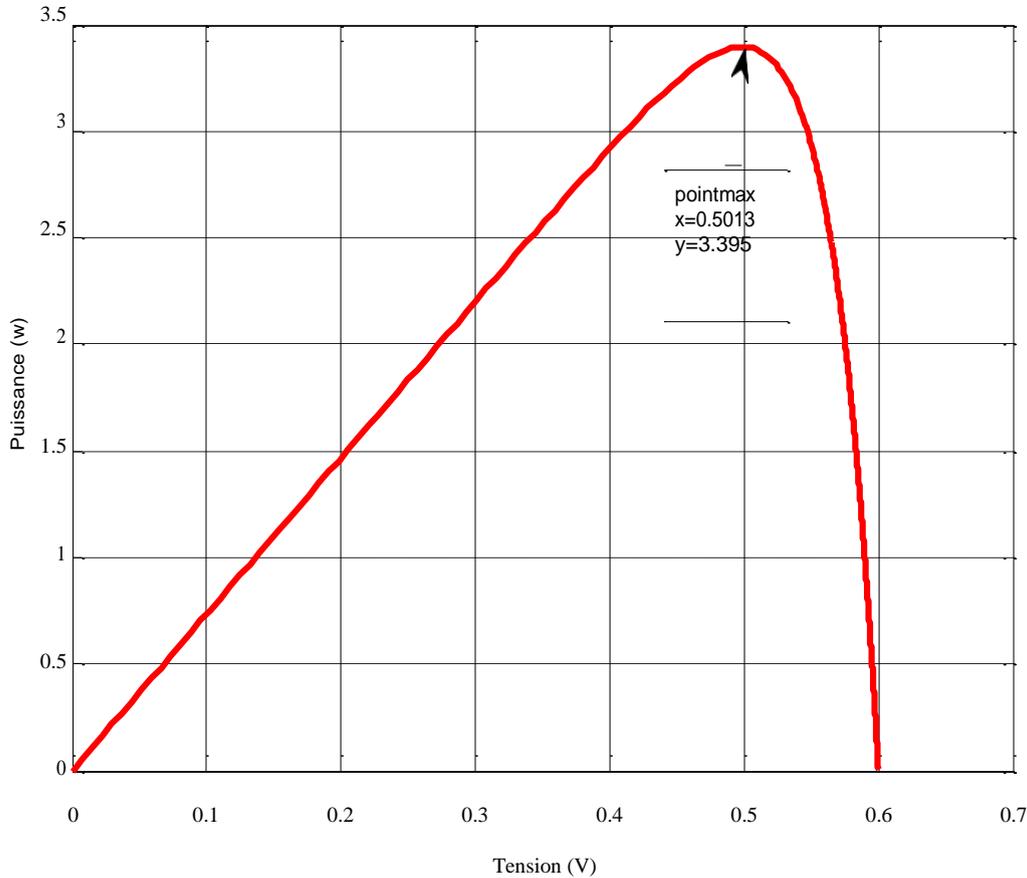


Figure.II. 27Caractéristique P(V) d'une cellule ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

II.9 Influence de l'éclairement sur la cellule

Les figures (II.28) et (II.29) représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une cellule en fonction de la variation de l'éclairement ($E=200.400.600.800.1000\text{ W}/\text{m}^2$) à température constants ($T=25^{\circ}\text{c}$) :

Le courant de court-circuit est directement proportionnel au rayonnement incident. Par contre, la tension de circuit ouvert augmente rapidement pour de faibles niveaux d'éclairement, puis lentement pour des niveaux plus élevés .

La figure (II.28) illustre la variation de la puissance délivrée par la cellule en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$.

II.10 Simulation d'un générateur PV sous Matlab-Simulink

Cette figure représente le schéma bloc de la générateur PV en MATLAB-SIMULINK :

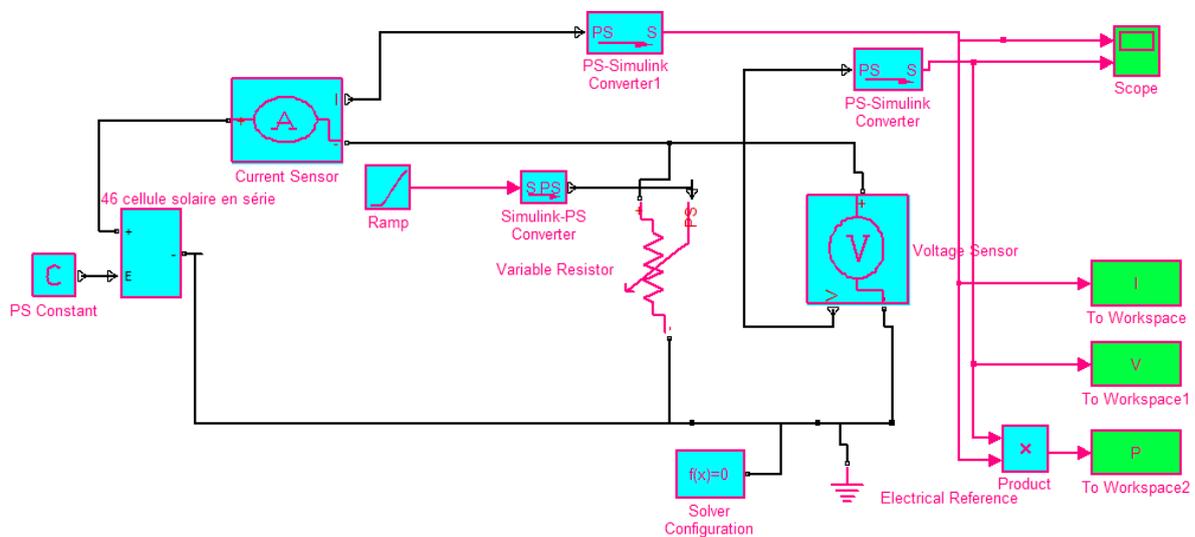
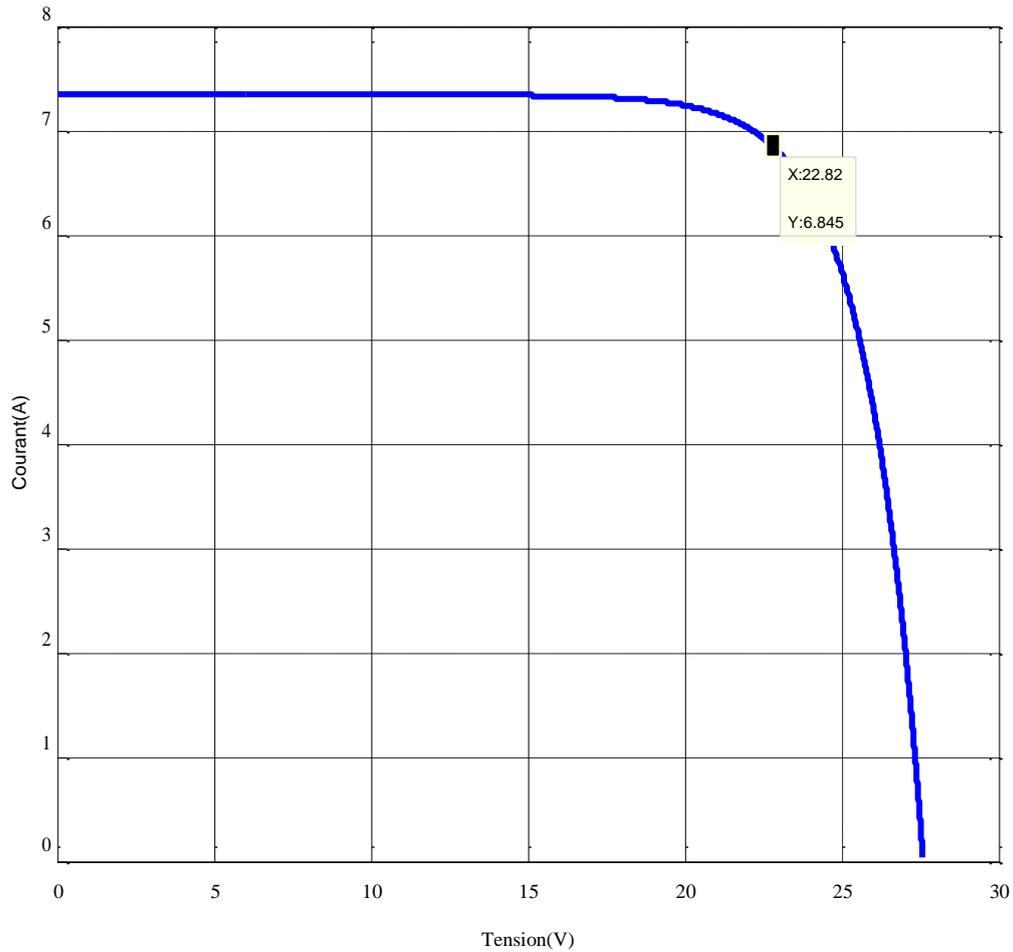


Figure.II. 28Schéma bloc de la générateur PV en MATLAB-SIMULINK.

Ces figures suivantes (II.29.30, II.31, II.32, II.33et II.34) représentent les résultats d'une simulation de la générateur PV en MATLAB-SIMILINK en tenant compte l'influence de la température et l'éclairement.

II.10.1 Caractéristique(I-V)

Figure.II. 29Caractéristique I(V) d'une générateur PV ($T=25^{\circ}\text{C}$, $G=1000\text{W}/\text{m}^2$).

II.10.2 Caractéristique(P-V)

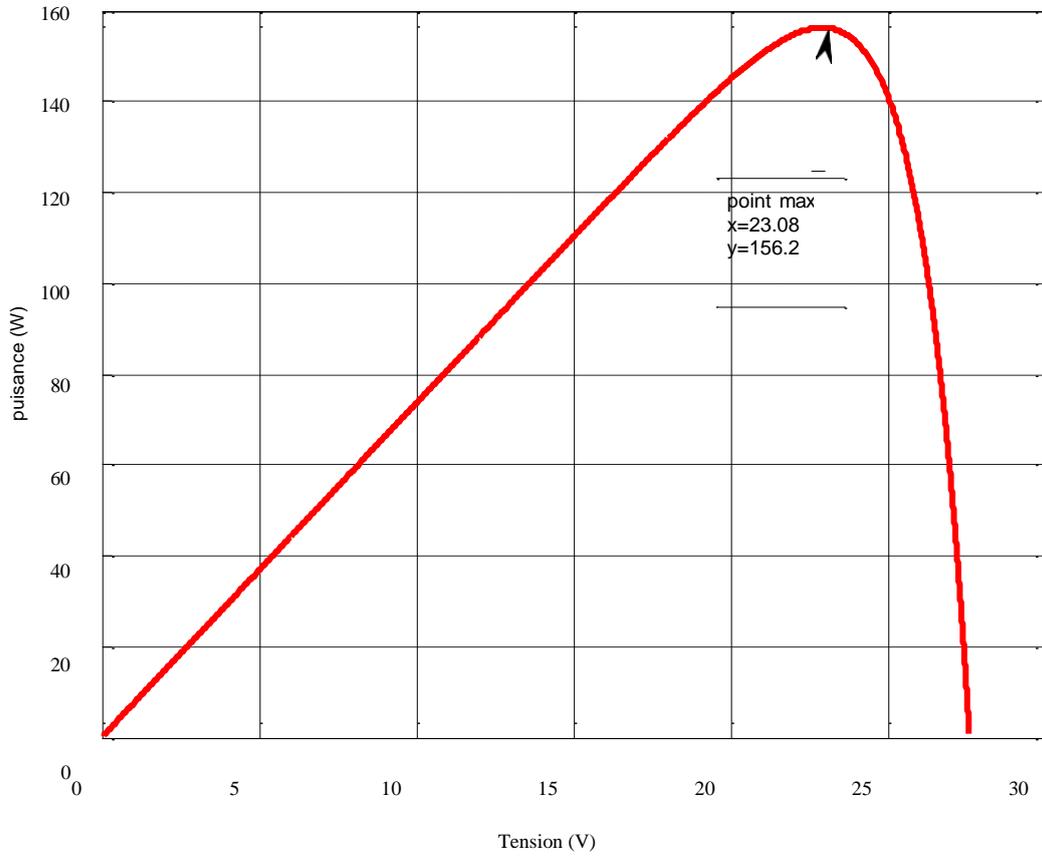
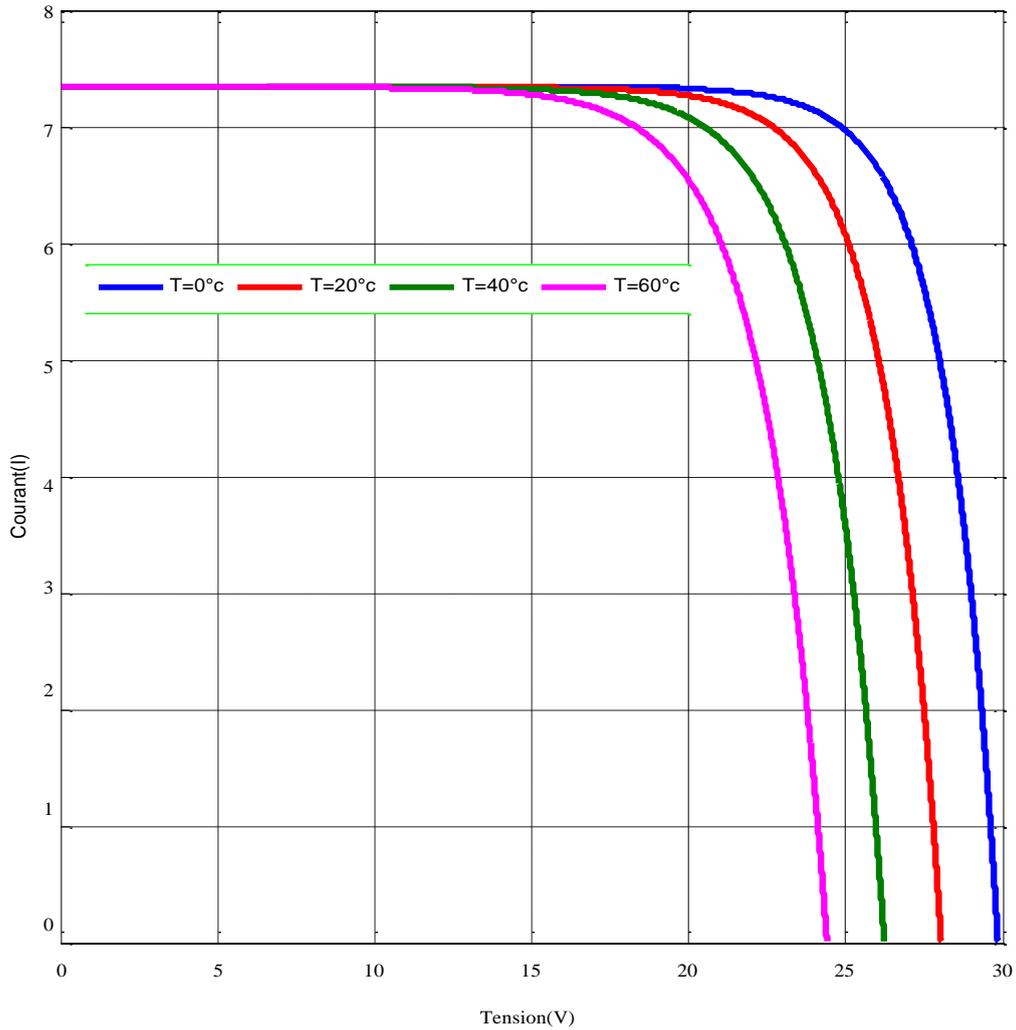


Figure.II. 30Caractéristique P(V) d'une générateur PV (T=25°C, G=1000W/m²).

II.10.3 Influence de la température sur le générateur

Figure.II. 31 Caractéristique I(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

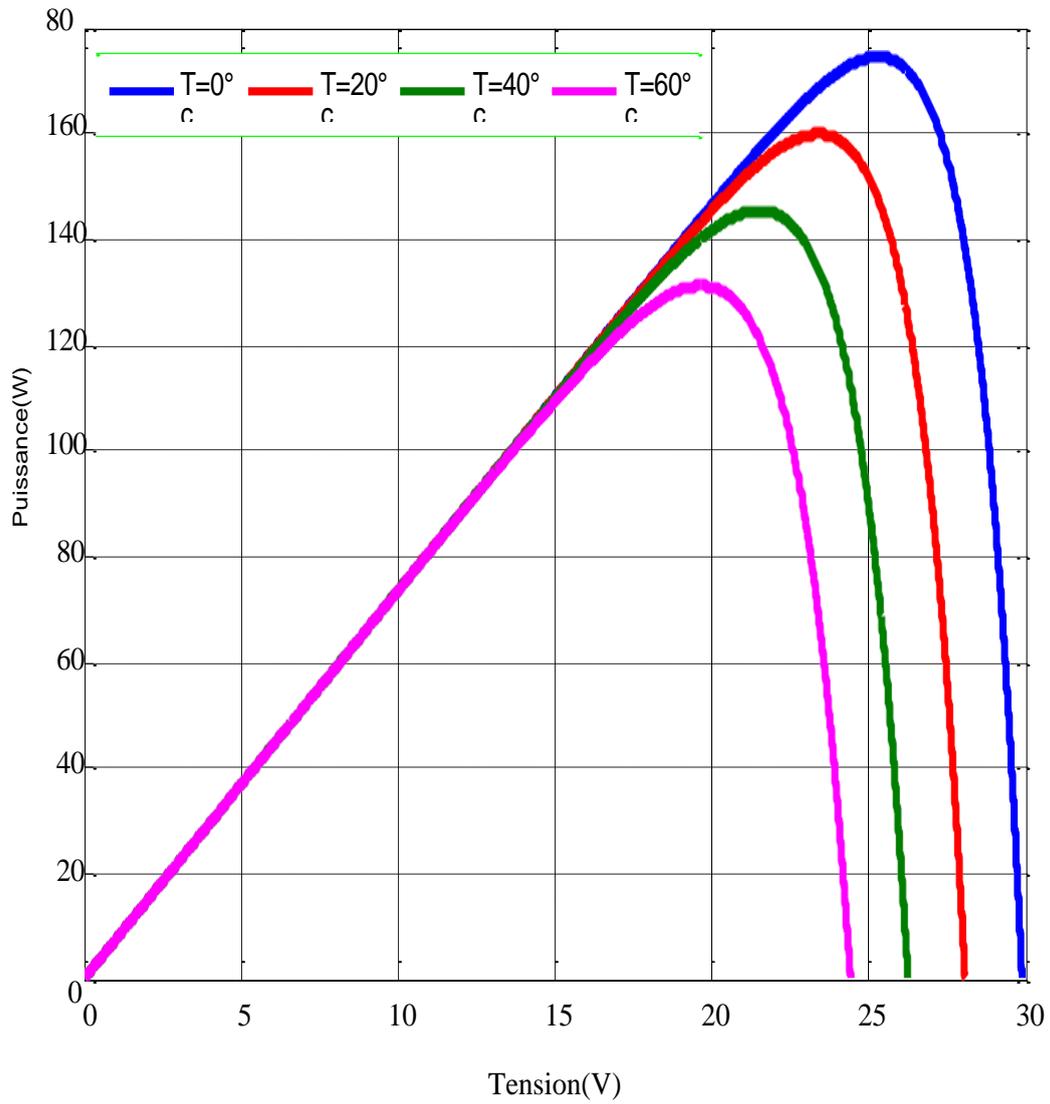


Figure.II. 32 Caractéristique P(V) d'un générateur pour différentes températures ($G=1000W/m^2$).

II.6.4 Influence de l'éclairement sur le générateur

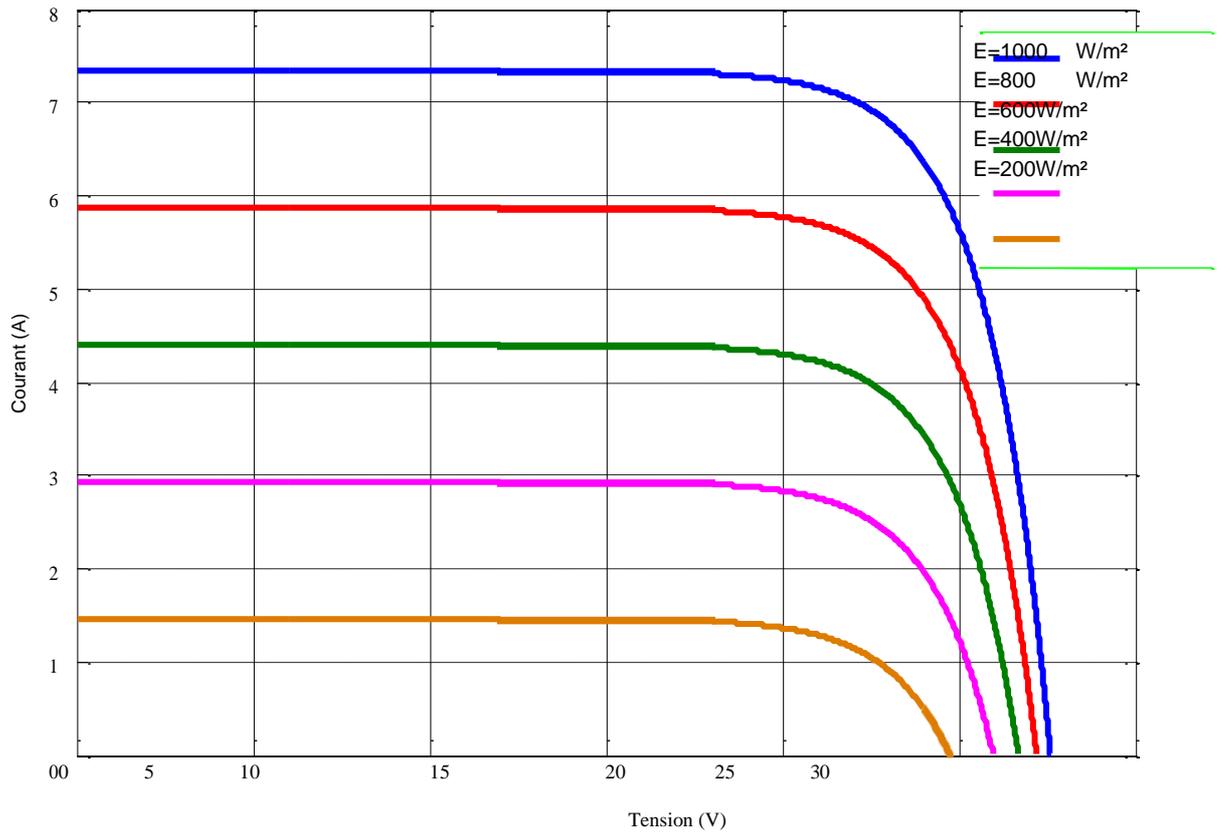


Figure.II. 33Caractéristique I(V) pour différentes niveaux d'éclairement (T=25°C).

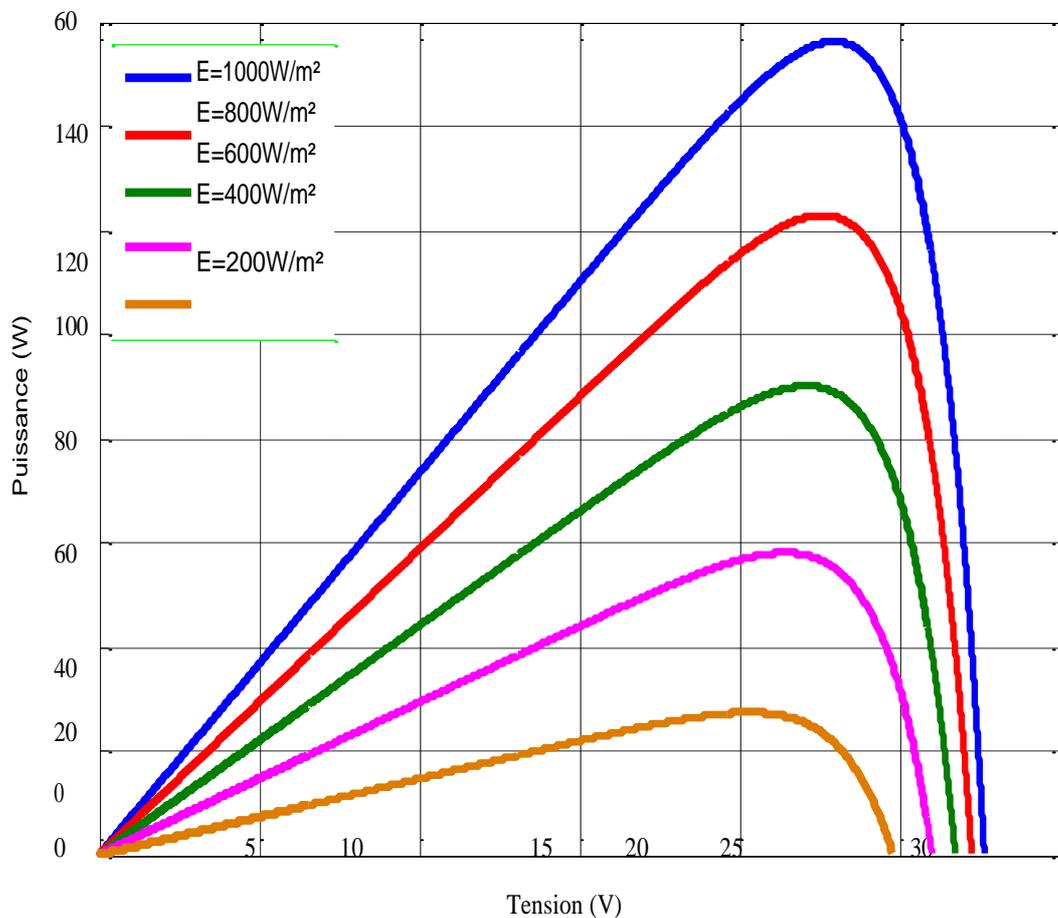


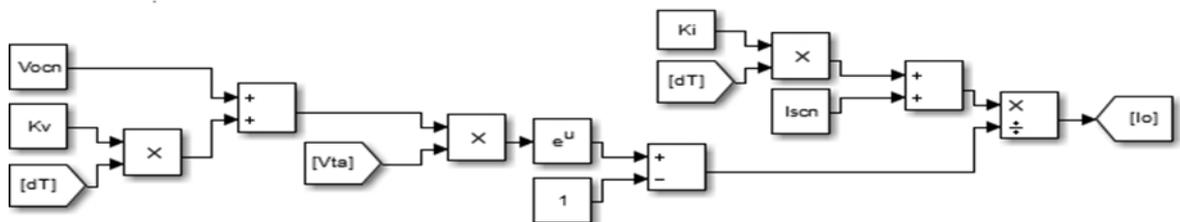
Figure.II. 34Caractéristique P(V) pour différentes niveaux d'éclairement (T=25°C).

II.11 Simulation de la collection photovoltaïque:

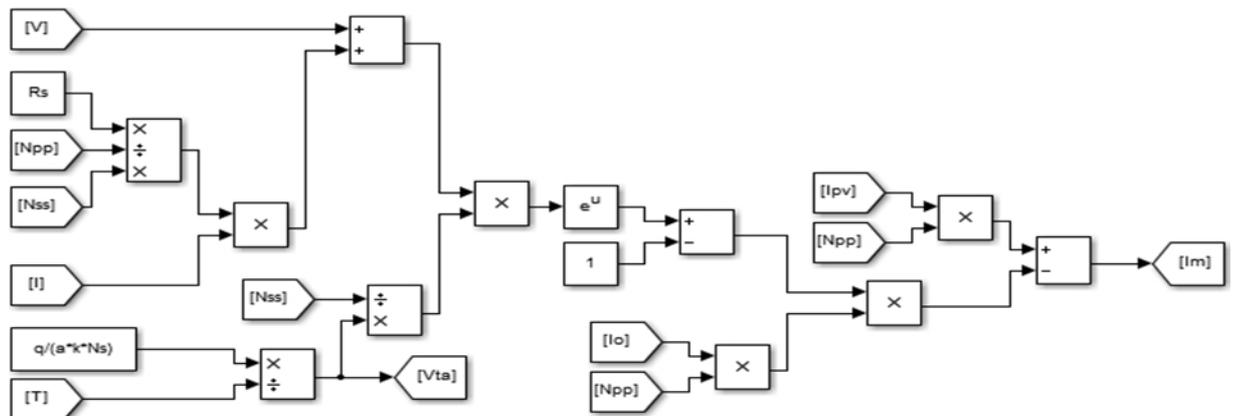
Le synoptique présenté sur la figure suivante (II.35), a été développé sous Matlab/Simulink, pour un ensemble de $N_{SS} \times N_{pp}$ modules photovoltaïques. N_{SS} et N_{pp} sont respectivement le nombre de modules photovoltaïques en série et en parallèle. Chaque module est constitué ici de N_S cellules photovoltaïques assemblées en série.

De manière générale, un module peut comprendre des ensembles de cellules associés en série ou en parallèle pour augmenter respectivement la tension et l'intensité produites. Signalons également qu'un panneau solaire peut être constitué par un ensemble de modules comportant un nombre défini de cellules

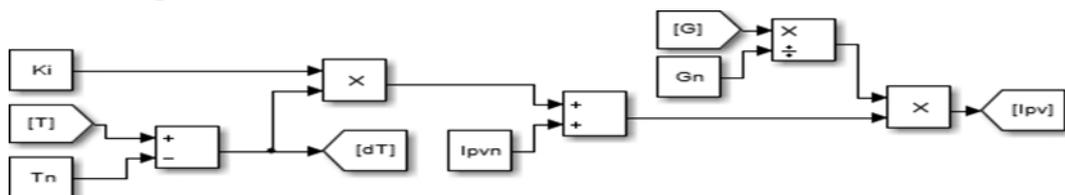
- **Le courant I_0 :**



- **le courant $I_m=I_{pv}$:**



- **Le courant I_{ph} :**



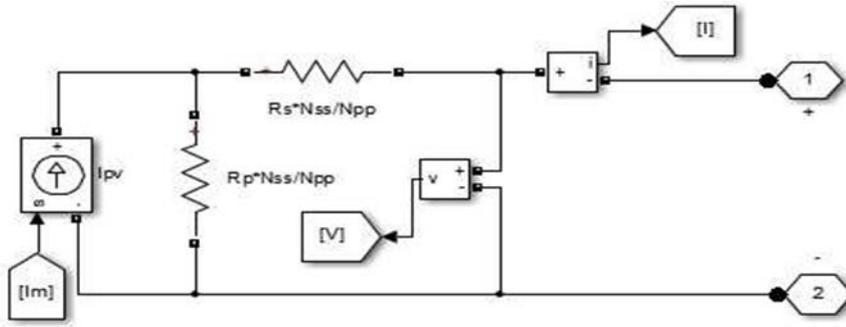


Figure.II. 35Synoptique du modèle amélioré de la cellule photovoltaïque sous le logiciel MATLAB/Simulink

II.11.1 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension du modèle:

La Figure II.36 représente la caractéristique courant-tension $I(V)$ et puissance-tension $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque en utilisant le modèle sous conditions standards.

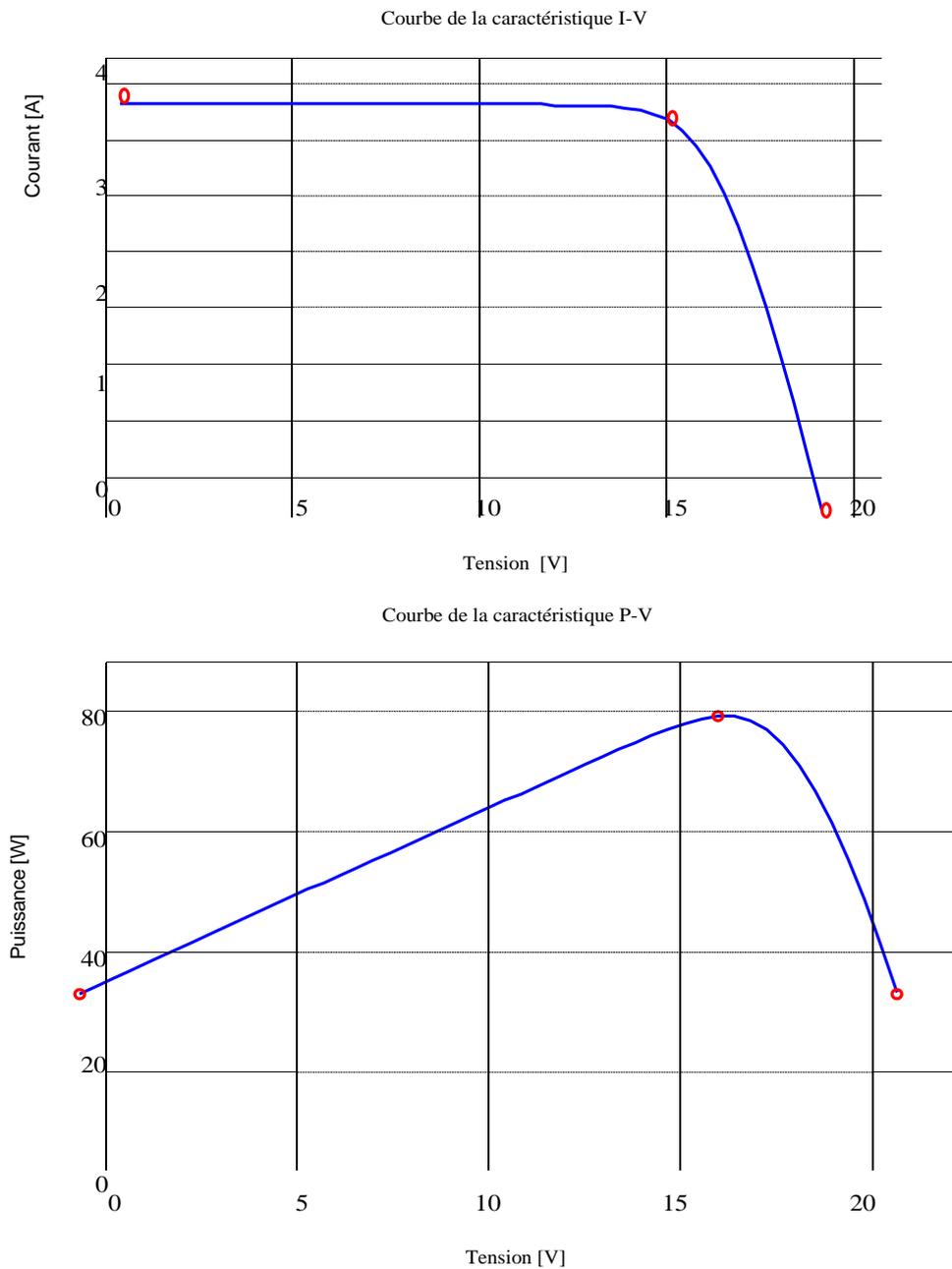


Figure.II. 36 *Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque*

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation mathématique de la cellule et le générateur photovoltaïque, Ensuite Nous avons utilisé le logiciel MATLAB pour étudier dans un premier temps le comportement d'une cellule photovoltaïque puis un générateur photovoltaïque (composé de 46 cellules connectées en série) dans les conditions standard ($G=1000$ W/m^2 , $T=25^{\circ}C$). Nous avons étudié aussi l'influence de la température et de l'éclairement sur l'énergie produite par la cellule PV, ainsi l'influence de l'association de cellule (série, parallèle et série / parallèle) sur l'énergie produite.

Enfin, nous avons utilisé l'outil MATLAB-SIMULINK pour simuler le comportement de la cellule et du générateur PV en définissant le point de puissance maximale PPM.

La variation de la puissance maximale dans un GPV doit être étudié afin de chercher le maximum de l'énergie produite ; en utilisant toujours l'environnement de simulation MATLAB-SIMULINK, et cela sera le but du prochain chapitre.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier la modélisation de la cellule et le générateur photovoltaïque (composé de 46 cellules connectées en série) dans les conditions standard ($E=1000\text{W/m}^2$, $T=25^\circ\text{c}$), nous allons traiter l'effet de la température et l'éclairement sur l'énergie de la cellule PV , et l'effet de regroupement de cellule (série , parallèle , série – parallèle) sur l'énergie produite , et on utilise l'outil MATLAB -SIMULINK pour faire la simulation de comportement de la cellule et du générateur PV.

Les modules photovoltaïques sont utilisés pour générer un courant continu (DC) à partir de l'irradiation incidente du soleil sur la surface du module PV.

Étant donné que le réseau de distribution électrique et des charges électriques fonctionnent sur le courant (AC) en alternance, les onduleurs sont utilisés pour convertir le courant continu provenant du module photovoltaïque en courant alternatif en fonction du réseau de distribution électrique.

Tension alternative toujours maintenue constante par l'onduleur selon les limites du réseau de distribution ; Cependant, le courant d'alimentation varie en fonction de la quantité du rayonnement incident provenant du soleil sur les modules photovoltaïques.

La sortie CA de l'onduleur est basse tension (BT), qui est intervenu jusqu'à 33 KV moyenne tension (MV) aux transformateurs de Step-up.

Les transformateurs sont ensuite connectés à l'appareillage sous une configuration en anneau et, qui se connecte au réseau de distribution d'électricité.

III.2 PRÉSENTATION DU PROJET

III.2.1 Localisation et historique du site d'implantation

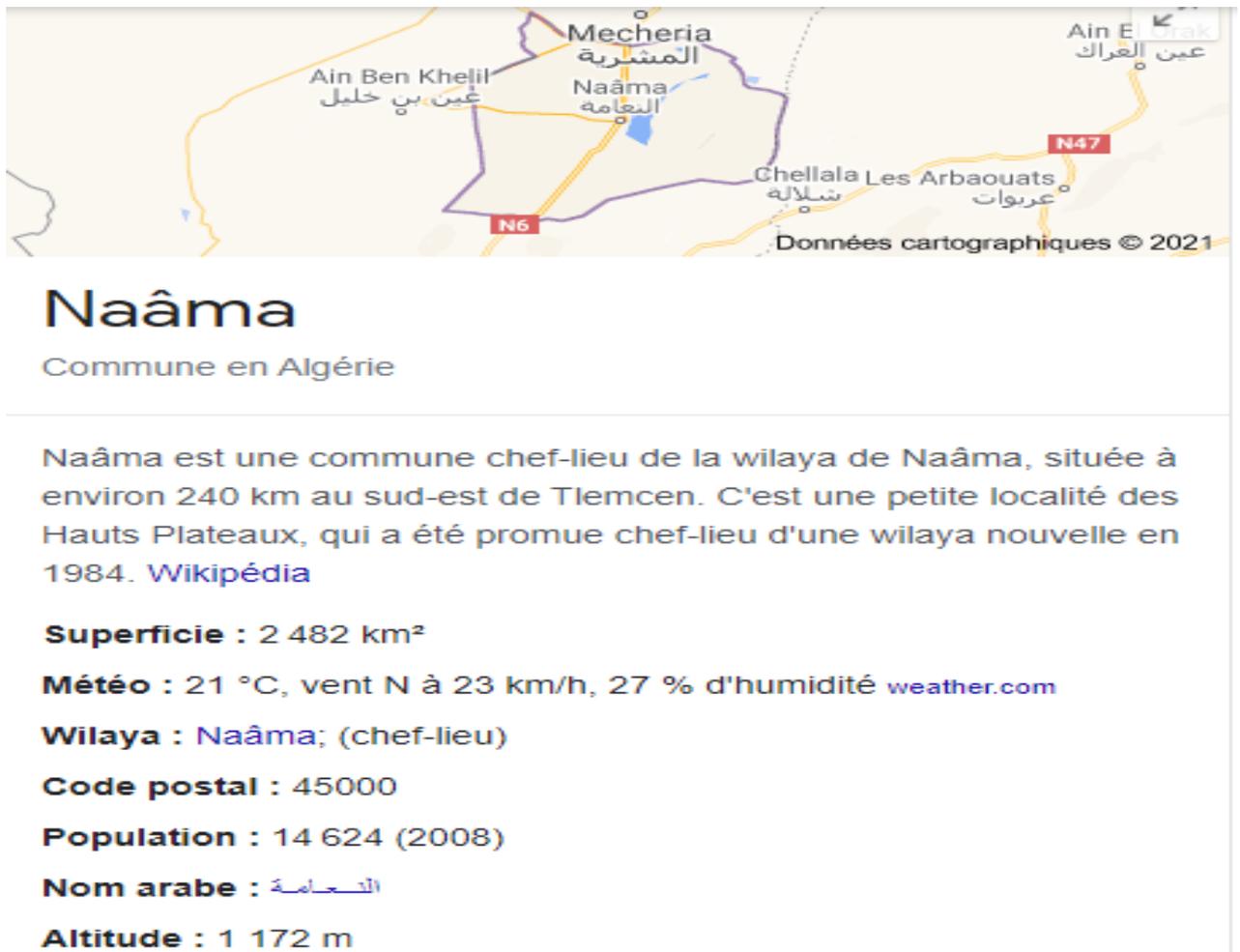


Figure.III. 1 information sur Naâma (source Wikipédia)

Le site d'implantation envisagé pour accueillir la centrale photovoltaïque au sol se trouve au lieu-dit SEDRETRE LAGHZAL, à l'OUEST de la Wilaya de Naama (entre la commune de Naama et la commune d'Ain Benkhejl dans CW01), d'une superficie totale de 31ha.

S'agissant d'un terrain vague accessible, le site d'implantation est relativement éloigné des zones urbanisées, avec la ville de Naama à 5 km. Et de 1km du poste source 220/60Kv (PS Naama), L'habitation la plus proche se situe à environ 4Km au Sud-ouest (rural de Naama)

Les cartes en page suivante présentent la situation du projet sur carte géographique de vue aérienne.

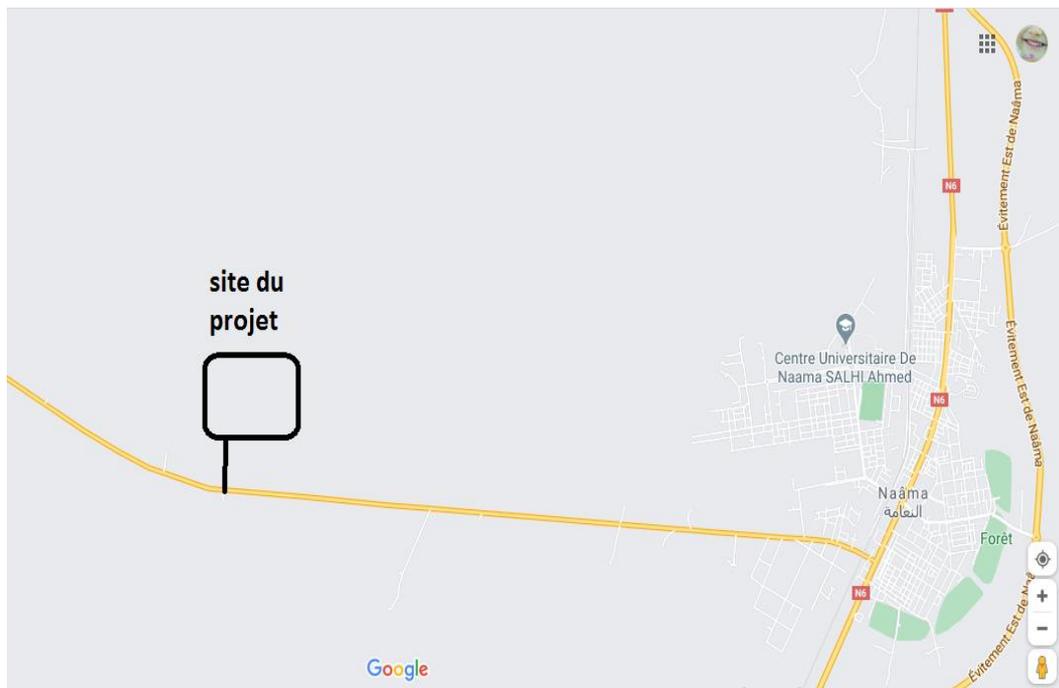


Figure.III. 2 positionnement de la centrale PV de Naama

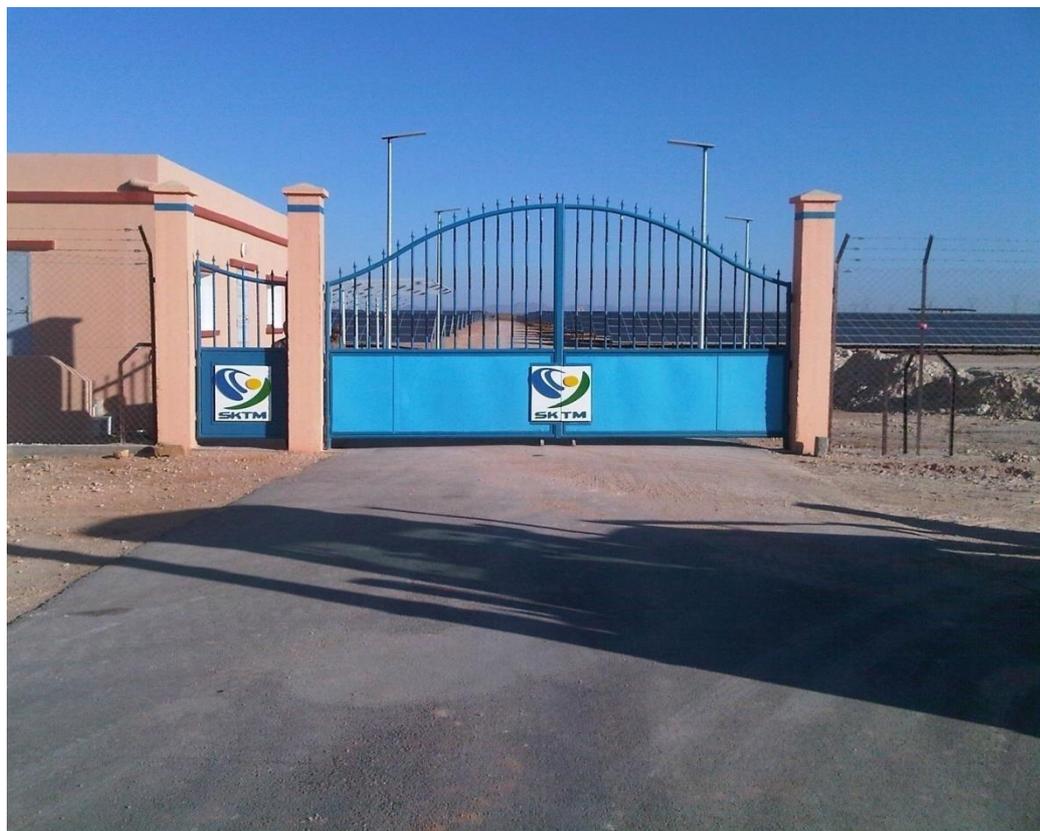


Figure.III. 3 L'entré principal de la central Photovoltaïque Naama

III.2.2 Choix du site

Le choix de ce site pour l'implantation du projet photovoltaïque au sol répond ainsi aux différents enjeux suivants :

- Valorisation de la parcelle en termes d'occupation du sol et d'image, compte-tenu de l'usage passé du site et de son état actuel, sans conflit d'usage ;
- Exigences en termes de production d'énergies renouvelables à l'échelle Nationale ;
- Dimension territoriale passant par un impact social positif à travers la pérennisation d'emplois ;
- Diversification des activités de L'SKTM via le développement d'un nouveau projet et à son exploitation future ;
- Développement d'un réseau de partenaires publics œuvrant pour la transition énergétique.
- Rapprocher le poste source pour l'inter connexion (injection au réseau de distribution)

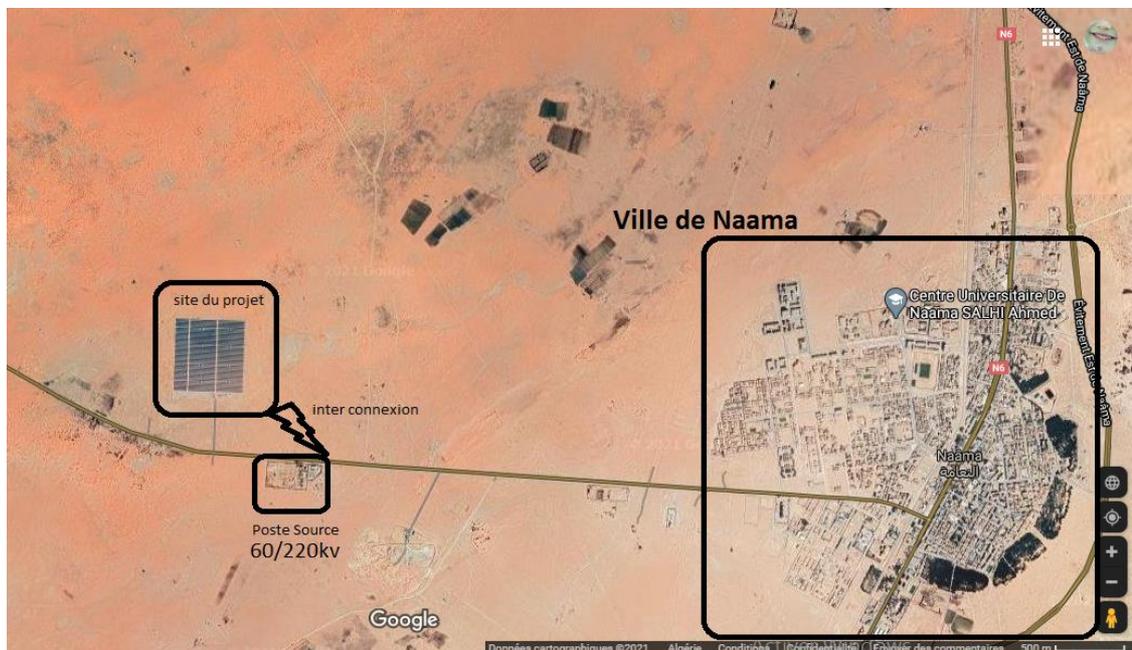


Figure.III. 4vue globale de la centrale (image Google earth)

III.2.3 DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET

La centrale solaire photovoltaïque au sol, réalisé par SKTM est constituée :

- De plusieurs rangées de panneaux photovoltaïques, orientés face au Sud et montés sur des supports fixes en acier / aluminium ;
- D'un poste de transformation 60/30 KV pour le raccordement au réseau nationale, implanté près du portail (à l'entrée), à l'intérieur du site ;
- 10 postes transformateurs élévateurs (350v/30Kv) près des panneaux, et à chaque transformateur il y a deux onduleurs de puissance 880Kva chaque 'un;
- De réseaux de câbles ;
- De pistes d'accès et chemins périphériques ;
- D'une réserve incendie.

La puissance totale de l'installation est de **20MWc**. La production annuelle d'électricité est estimée entre **37** et **38GWh**. Le raccordement de la centrale sera effectué via le poste de transformation 60/30Kv interconnecté au PS Naama 220/60Kv.

Le site photovoltaïque sera entièrement clôturé et l'accès se fera par le portail principal existant.

III.2.4 Caractéristiques techniques de la zone

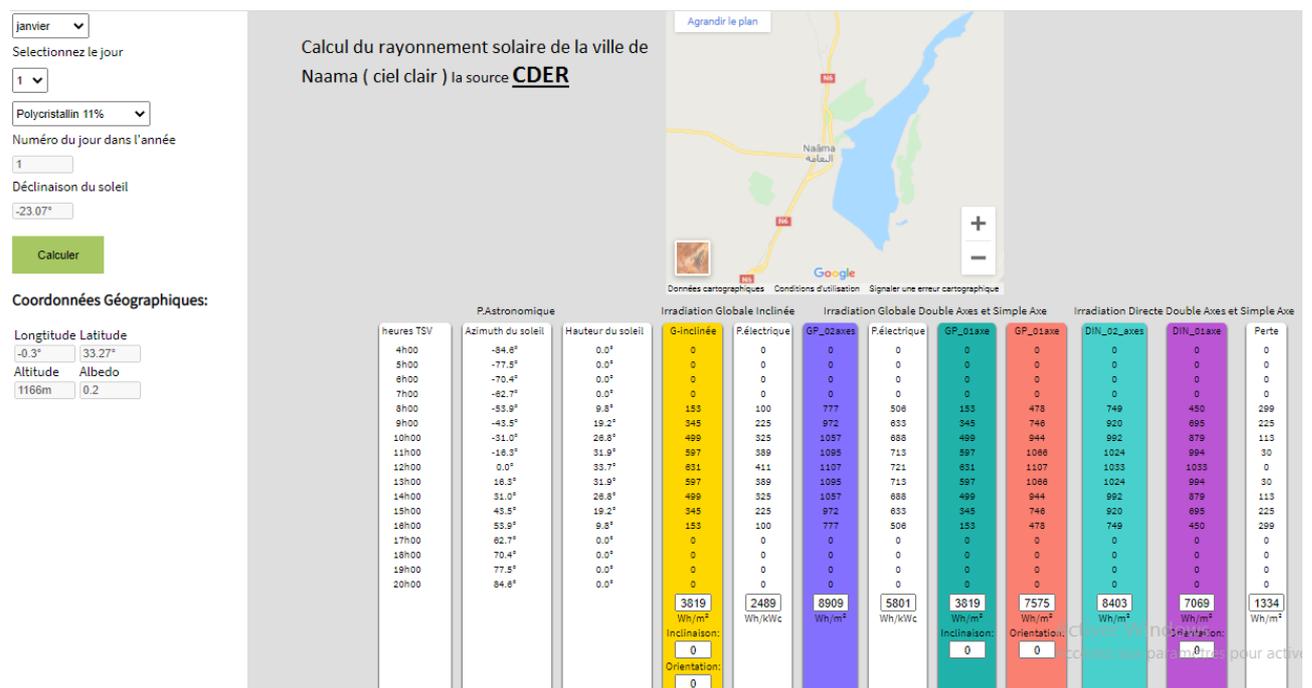


Figure.III. 5Caractéristiques techniques de la zone

III.3 Les systèmes photovoltaïques

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique.

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants :

- Un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- Une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- Un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- Un convertisseur DC/AC(onduleur).
- Une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

La Figure (III.6) représente symboliquement les divers éléments du système le plus général.

Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales.

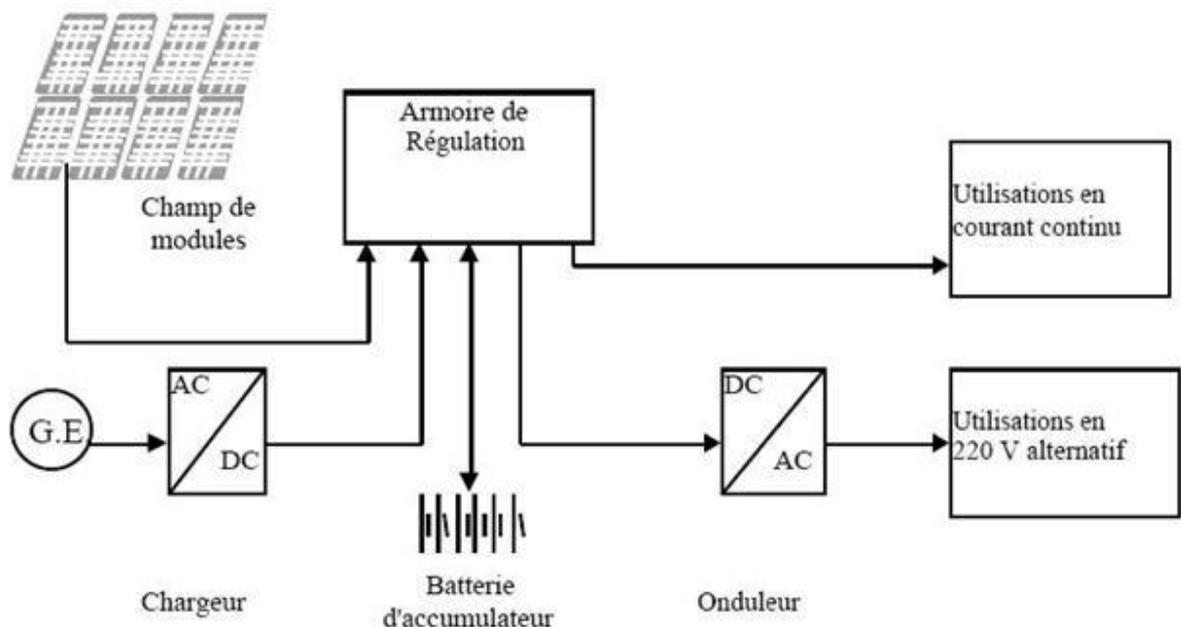


Figure.III. 6 Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

III.3.1 Type de systèmes photovoltaïques

Les systèmes PV les plus couramment utilisés sont de trois types :

III.3.2 Les systèmes PV avec stockage électrique

(Batterie d'accumulateurs électrochimiques). Ceux-ci alimentent des appareils d'utilisation :

- Soit directement en courant continu
- Soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur continu
- Alternatif (onduleur)

III.3.3 Les systèmes à couplage direct sans batterie (notre cas)

(Fonctionnement dit aussi "au fil du soleil").

Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu - continu (adaptateur d'impédance).

Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique.

Exemples : Pompage stockage par réservoir d'eau, Réfrigération : stockage de froid (stockage de glace ou eutectique), Electrolyse de l'eau : stockage d'hydrogéné.

Le choix de tel ou tel système se fera en fonction de différents critères simplicité, application, environnement, etc.

III.3.4 Les systèmes connectés au réseau local

Par l'intermédiaire d'un onduleur piloté à la fréquence du réseau, le réseau servant de stockage.

L'étude de systèmes photovoltaïques se ramène à l'étude de l'adaptation de la charge.

On recherchera optimiser le système pour avoir le meilleur rendement d'adaptation du système (rapport de l'énergie électrique fournie à l'utilisation à l'énergie électrique qu'aurait pu fournir le générateur fonctionnant toujours à son point de puissance maximum).

III.4 Les panneaux photovoltaïques

Les équipements photovoltaïques sont constitués de modules installés sur des supports fixes, ancrés au sol. Le choix de la technologie, des supports fixes et de l'implantation résulte d'un compromis entre les contraintes techniques du site, l'économie, la distance entre les panneaux (minimisation des ombrages), le productible spécifique et l'irradiation annuelle.

Pour obtenir des puissances importantes, les modules solaires doivent être associés en série – parallèle pour constituer un panneau solaire.

Ceux-ci sont reliés électriquement et assemblés sur un châssis.

On a l'habitude de donner la taille d'un panneau solaire par sa puissance crête. Mais ce paramètre n'est pas suffisant pour définir le système, aussi est-il nécessaire de définir le mode de groupement des modules.

Selon la puissance de l'utilisation, la tension de la batterie peut être différente (6, 12, 24 ou 48 V par exemple). Un module de 36 cellules au silicium monocristallin étant adapté pour la charge d'une batterie de 12 V, la tension d'utilisation détermine le nombre de modules à mettre en série (2 pour 24V, 4 pour 48 V).

Le dimensionnement du système solaire détermine le nombre de branches à mettre en parallèle pour un fonctionnement satisfaisant de l'ensemble en fonction de la consommation de l'utilisation et de l'ensoleillement du lieu.

III.5 CONCEPTION DE LA CENTRALE PV DE NAAMA

III.5.1 Les modules

Les modules photovoltaïques choisis sont composés de cellules de silicium **poly cristallin**, encapsulées dans une résine transparente et protégées des intempéries par une couche de verre trempé. L'ensemble est maintenu par un cadre en aluminium gris. Leur puissance unitaire est de **250 Wc**.

Les modules utilisés satisferont pleinement aux spécifications des normes internationales :

IEC 61215, IEC 61730, IEC61701 ED2, UL1703, IEC 62716, KEMCO, CEC Listed, CE, JET, MCSISO 9001:2008 : normes relatives aux systèmes de management de la qualité
ISO/TS 16949:2009 : système de management de la qualité dans l'industrie automobile
ISO 14001:2004 : normes relatives aux systèmes de management environnemental
QC 080000 HSPM : certification relative aux règlements sur les

substances dangereuses OHSAS 18001:2007: la certification internationale relative à la santé et la sécurité au travail

III.5.2 Les structures porteuses

Les modules photovoltaïques sont assemblés les uns aux autres par un système de visserie inoxydable sur des structures porteuses fixes, formant des tables (ou stands). L'ensemble est constitué d'acier galvanisé, à l'exception des glissières qui sont en aluminium.

Les tables seront inclinées de **15°** par rapport à l'horizontale. Elles seront implantées en rangées et orientées en extrême Sud.

Le site comportera **1660 tables** « Grand format » de 48 modules photovoltaïques en série (79680 panneaux)

Fiche technique globale de la centrale

	Tables
Nombre de tables	1660
Nombre des panneaux	79680
Chaque table	02 chaînes
chaîne	3320
Chaque chaîne	24 Panneaux série
Hauteur minimale	0,4 m du sol
Hauteur maximale	2 m du sol
Nombre de module	48
Rangées	42

Tableau III. 1 caractéristique générale de la centrale PV

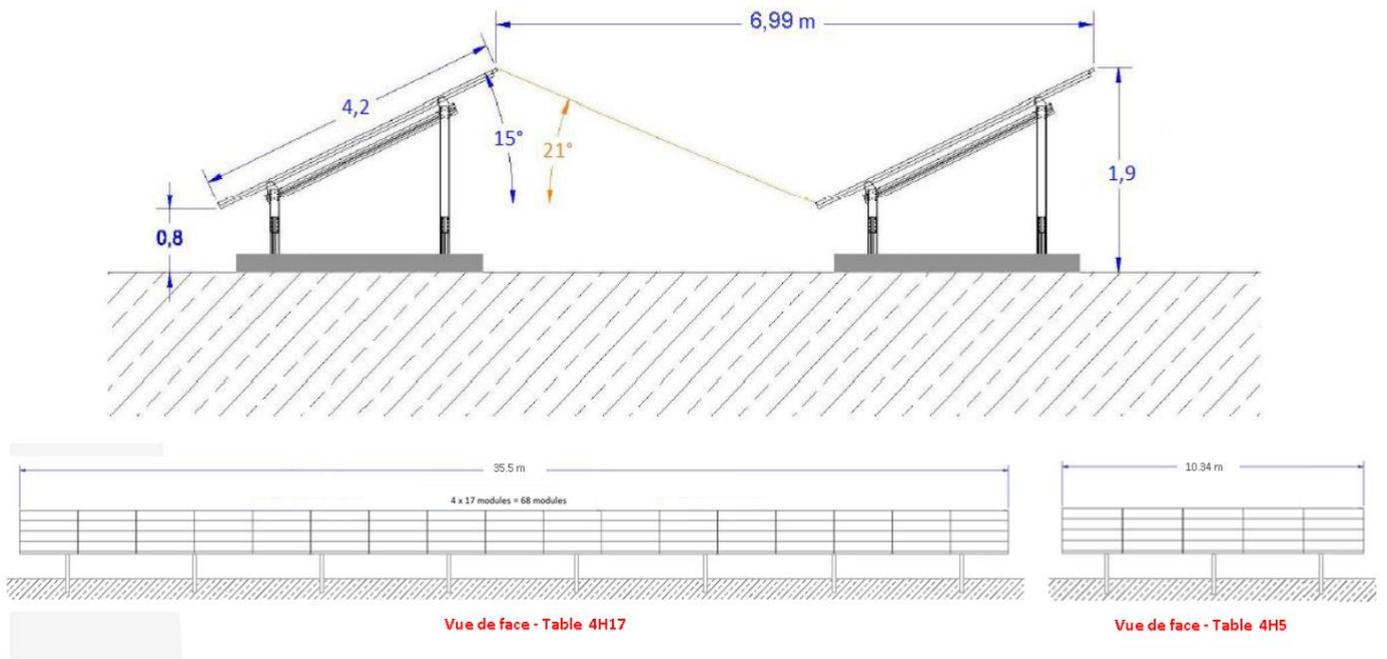


Figure.III. 7 Vues de face et en coupe des tables Grand et Petit formats sur longrines et pieux

Une hauteur minimale au-dessus du sol supérieur à 50 cm permet l'apport de lumière diffuse à la végétation sous les panneaux, ainsi qu'une meilleure répartition de l'écoulement des eaux pluviales. De même, les modules d'une même table sont ajourés entre eux (2 cm) pour une bonne répartition des eaux pluviales (10 cm entre 2 tables).

L'implantation des structures est étudiée pour optimiser l'espace disponible, en limitant l'ombre portée d'une rangée sur l'autre. La distance déterminée est d'environ 2,9 m de bord à bord.

Figure.III. 8 Installations en fonctionnement



III.5.3 L'ancrage au sol

Selon la qualité géotechnique des terrains (les hauts plateaux), le type d'ancrage au sol choisi est :

- Les fondations hors sol, type semelles en béton (ou longrines) ou gabions.

Les semelles béton c'est un système d'ancrage adapté au site. Ils permettent de stabiliser les tables de modules photovoltaïques, sans s'ancrer en profondeur dans le dôme de déchets.



Figure.III. 9 Types de fondation - pieux battus (gauche) et semelle béton (droite)

(Source : Guide MEDDTL 2011 – NCA)

III.5.4 Angle d'inclinaison α

Une récupération maximale de l'énergie suppose un angle d'inclinaison des capteurs solaires par rapport à la surface de la Terre en conséquence (figure III.10).

Si le capteur est sur un toit à versants, l'angle d'inclinaison est celui du toit. L'absorbeur du capteur pourra capter le maximum d'énergie si le plan du capteur est perpendiculaire au rayonnement solaire.

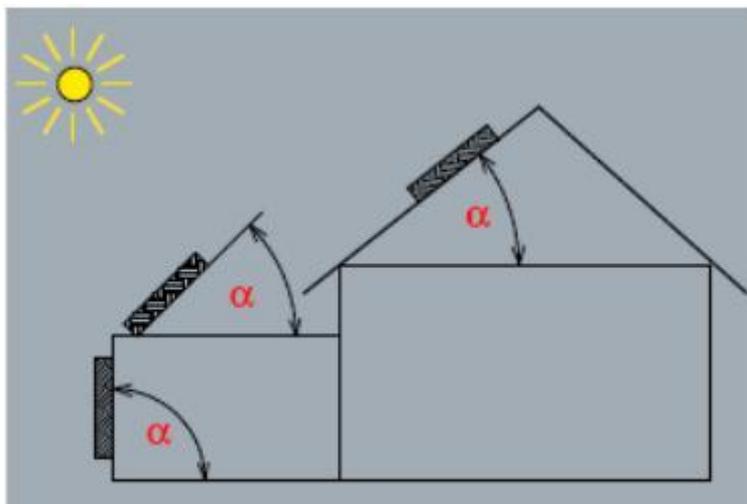


Figure.III. 10 angle d'inclinaison des capteurs solaires par rapport à la surface de la Terre

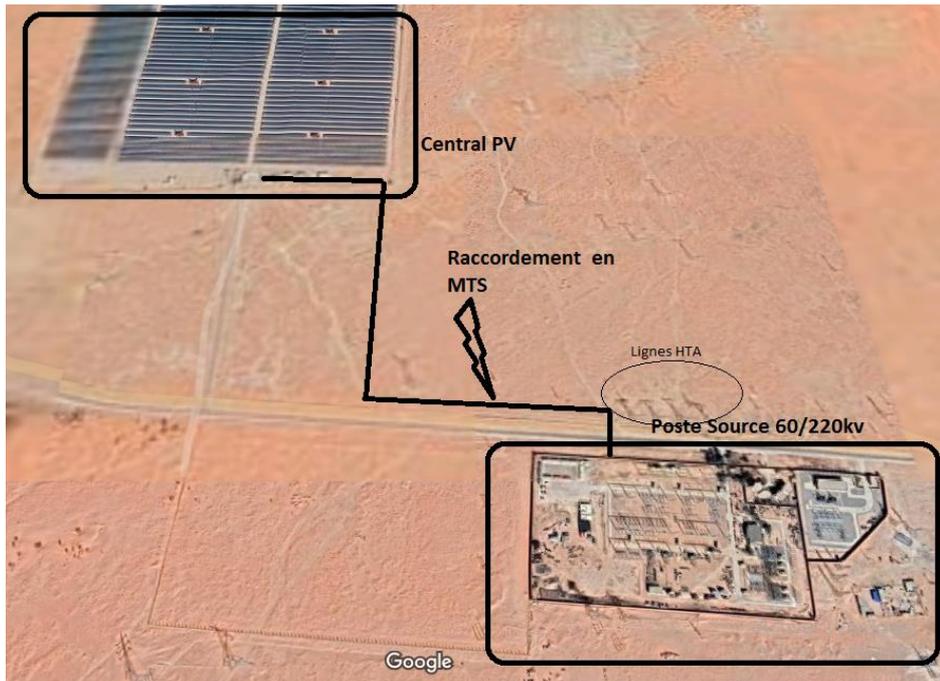


Figure.III. 11 Un tracé de raccordement global de la centrale vers PS Naama

(Source : SKTM)

III.6 Le poste de transformation installer au centrale PV Naama

Le poste de transformation sera implanté sur le site photovoltaïque au Nord, à proximité du portail d'accès existant au Nord. Il s'agit d'une travée (sous station). Ses dimensions sont de 5 m de longueur, 3 m de largeur et 3 m de hauteur, soit une emprise au sol de 50 m².

D'une puissance de 20 MVA.

Donc La partie électrique est constitué de :

- plusieurs onduleurs, permettant de convertir le courant continu produit en courant alternatif pour être injecté dans le réseau,
- un transformateur, permettant de transformer la basse tension en moyenne tension (passage de 350 V à 30 000 V),
- un système de surveillance par des exploitants qualifiés de la SKTM, pour suivre le fonctionnement et la performance de l'installation et optimiser la production par la détection d'anomalies,
- un compteur électrique, pour suivre la production photovoltaïque,
- un système de refroidissement ou climatisation,

- un système de protection basse et moyenne tension.

Les matériaux utilisés sont conformes aux normes internationales relatives à la protection contre l'incendie.



Figure.III. 12poste de transformation

Fiche technique poste de transformation

Comptez sur notre qualité

Produits

- Transformateurs de puissance de 5 à 100 MVA jusqu'à Um 170 kV
- ONAN / ONAF / OFWF
- 16 2/3 Hz / 50 Hz / 60 Hz
- Selfs à huile
- Bobine de point neutre
- Transformateurs de mise à la terre
- Transformateurs monophasés
- Réactance de circuit oscillant
- Coupages et blocages pour installations à télécommande centralisée à fréquence vocale
- Selfs de compensation
- Transformateurs de réglage longitudinal et transversaux
- Convertisseurs statiques et transformateurs de fours

Réparation

- Transfos tous types > 5 MVA
- Fabrication de pièces de rechange complètes

Entretien

Service englobant tout le transformateur

Gestion de la qualité

L'ensemble des processus opérationnels est surveillé par un système éprouvé de gestion de la qualité

Le groupe SGB est certifié selon les normes

- ISO 9001
- Homologation soudure des chemins de fer allemands
- KTA 1401

Marchés

Le groupe SGB fabrique et commercialise des transformateurs pour le marché mondial.

Pertes à vide / bruits

Nous satisfaisons aux exigences selon :

- DIN/VDE
- IEC 76
- British Standard
- ANSI/IEEE
- CAN/CSA
- NEMA
- et autres
- UL
- ENEL
- ÖVE
- SVV
- UNE
- NF

Une technique ultra-moderne de confection du noyau (Step lap) et l'utilisation d'une tôle de haute qualité, à pertes extrêmement faibles et à faible magnétisation, garantissent au client un minimum de pertes de marche à vide et d'émissions de bruit.

Pertes en court-circuit

Grâce à l'optimisation de la section des conducteurs on peut, pour ce qui est des pertes supplémentaires, obtenir de meilleures pertes en charge. Les transformateurs SGB tiennent compte aussi, en ce qui concerne la résistance aux courts-circuits, des exigences aussi bien techniques qu'économiques.

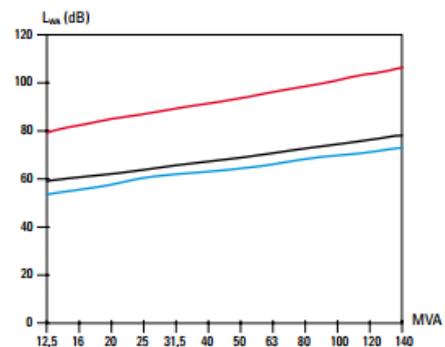
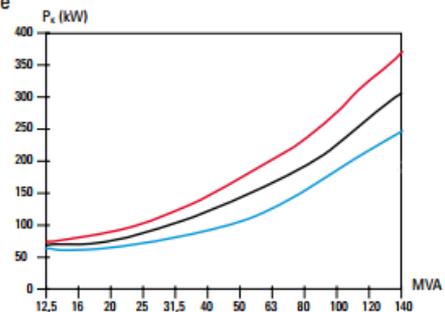
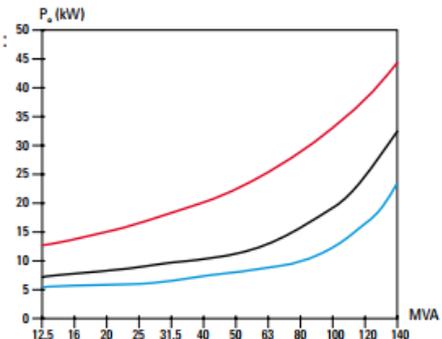


Figure.III. 13Fiche technique de poste de transformation

III.6.1 Le raccordement au réseau

La puissance totale du site étant à **20 MWc**, le raccordement devra se faire en Très Haute Tension (HTB), via l'installation d'un poste de livraison. Le poste de livraison constitue l'interface physique et juridique entre l'installation (domaine privé) et le réseau public d'électricité. On y trouve la protection de découplage permettant de les séparer.

Il est équipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc photovoltaïque au réseau 30 kV en toute sécurité. C'est au niveau de ce poste qu'est réalisé le comptage de la production d'électricité.

Les transformateurs sont alimentés par HTB et accélèrent la sortie basse tension des onduleurs de moyenne tension à 30KV.

Chaque onduleur de la classe **880 KVA** est relié à deux inverseurs SMA 760CPXT et 500 KVA du transformateur est relié à la SMA 500CPXT.

Les transformateurs ont un changeur de prise pour régler le rapport du primaire à la tension secondaire.

Un total de huit (8) les mesures sont possibles avec une capacité de modification de 2.5% à partir de chaque -5% à + 15%. Le réglage de la SMA 760CPXT doit être à 5 et le 500 KVA doit être au 3.

Le transformateur est également équipé d'un thermomètre qui mesure la température de l'huile.

Dans le cas où la température se lève sur le niveau acceptable l'onduleur réduit la puissance de sortie.

Dans le cas où la température reste au-dessus du taux accepté, l'onduleur sera arrêté.

III.7 Les onduleurs

La transformation du courant photovoltaïque, de nature essentiellement continue, en courant alternatif usuel 230 V / 50 Hz est effectuée par des appareils électroniques appelés convertisseurs statiques, ou onduleurs.

Les onduleurs pour la connexion au réseau ont une puissance nominale d'environ 880 kVa, ils fonctionnent en général en 380 V monophasé, alors qu'au-dessus, ils doivent être triphasés (basse ou moyenne tension).

Etant connecté directement sur le champ PV, leur tension et leur courant d'entrée sont donc très variables avec les conditions d'ensoleillement et de température ambiante. L'une des fonctions importantes de l'onduleur réseau est donc la recherche du point de puissance maximum (souvent notée MPPT pour « Maximum Power Point Tracking »), c'est-à-dire adaptation permanente de l'impédance d'entrée afin d'optimiser, à chaque instant, le produit $P = U \cdot I$ sur la caractéristique du champ PV.

L'onduleur doit ensuite construire une (ou trois) tension(s) sinusoïdale(s) correspondant aux normes requises par le réseau.

III.8 Boîtes combinatoires

Sont utilisés pour combiner des groupes de chaînes de modules PV en une sortie commune et offrir une protection aux strings DC entrants en cas de panne.

La boîte de combiner est fournie par Weidmuller et équipée tactiles sécurité porte fusibles avec des fusibles sur les deux pôles, positif et négatif, une protection contre les surtensions pour protéger le système contre les surtensions, la chaîne de mesure de courant et un sectionneur DC pour l'isolement en charge de l'Combiner En cadre de l'onduleur pour l'entretien, les essais, les réparations et le remplacement. La boîte combiner une enceinte IP55 résistant aux intempéries et est testé pour le fonctionnement 1000 VDC.

Les fils positifs et négatifs des faisceaux de PV sont dirigés vers le fond de la boîte combinée et terminées au niveau du connecteur de fiche respectif. Les porte-fusibles sur chaque pôle sont reliés à une barre de bus commun, qui combine la sortie de courant en parallèle et fournit simples pistes de sorties positives et négatives qui transportent le courant à un onduleur.

Il Ya six, sept ou huit boîtes combiner connectées à un onduleur en fonction de la taille et la disposition.

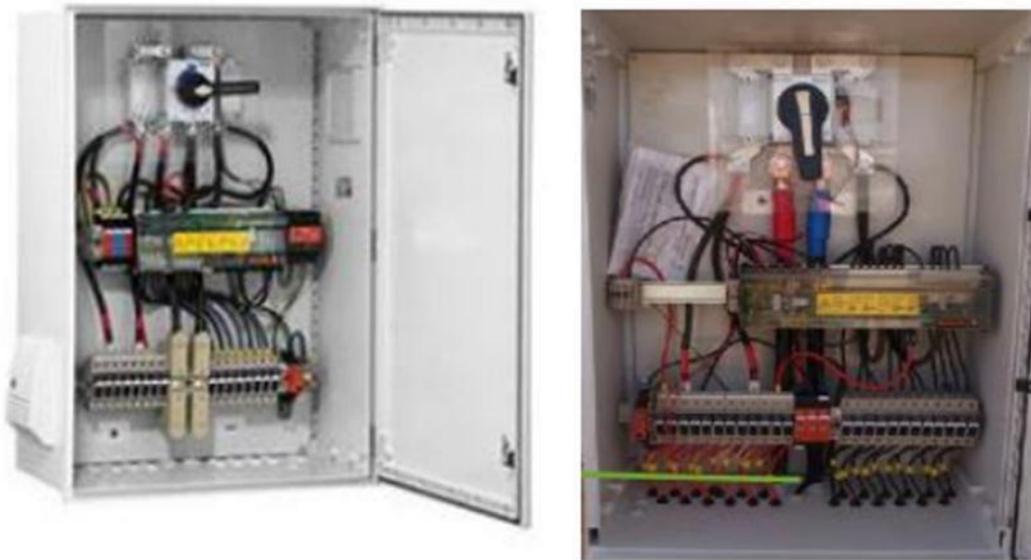


Figure.III. 14 Une configuration typique d'une entrée 12 Combiner Box utilisé pour le projet

Les porte-fusibles à l'intérieur des boites combiner sont alimentés par Weidmuller et sont conçus pour fonctionner de 30A moins de 1000VDC et sont spécifiquement conçus pour la protection des modules (PV).

Bussmann 30A fusibles solaires sont insérés dans les porte-fusibles comme indiqué ci-dessous. Ces fusibles () peuvent protéger en toute sécurité les modules photovoltaïques et les conducteurs de la marche arrière et sur les conditions actuelles.

Toutes les boites combinées sont équipées d'un interrupteur manuel de déconnexion DC pour faciliter la déconnexion du réseau associé à partir des composants en aval. Le sectionneur est ouvert lorsque la poignée est dans la position horizontale.

III.9 Dimensionnement

Le dimensionnement d'un générateur PV a pour but de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du champ de panneaux solaires et la capacité de batterie associée à partir des besoins électriques de l'utilisateur d'une part, des données d'ensoleillement du site d'autre part et du prix et de la qualité des composants dont on peut disposer sur le marché.

La détermination de la taille des composants doit permettre de garantir une fourniture d'énergie tout au long de l'année ou éventuellement sur une période déterminée.

III.10 Données d'ensoleillement.

Les données d'ensoleillement pour une région déterminée sont généralement disponibles mois par mois dans les atlas solaires et correspondent à l'irradiation globale quotidienne moyenne sur un plan horizontal.

Les unités sont exprimées soit en cal/cm² ou l'angles, soit en kWh/m² sachant que les valeurs de l'ensoleillement sont évidemment fonction de la latitude mais aussi des conditions climatiques locales et des masques naturels ou artificiels.

Pour déterminer l'énergie incidente heure par heure et mois par mois sur le plan des panneaux, on effectue le calcul à partir des données d'ensoleillement sur un plan horizontal⁸ et de l'inclinaison donnée aux panneaux solaires.

Si les panneaux doivent rester fixes, l'inclinaison et l'orientation optimales sont déterminées en fonction de la saisonnalité de la demande, de l'irradiation correspondante et de la capacité correspondante des batteries de stockage.

III.11 Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombrage sur la quantité d'énergie captée

L'orientation sud et une inclinaison à 15° environ par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements pour une installation solaire à nos latitudes. Mais même avec des écarts importants (orientation sud-ouest à sud-est, inclinaison de 25 à 70°), une installation solaire reste rentable (Figure III15).

Une inclinaison plus faible est conseillée si les capteurs ne peuvent pas être orientés vers le sud.

Des capteurs solaires inclinés à 15° et orientés extrême sud présentent encore 95 % de la puissance optimale. Et même en cas d'orientation est ou ouest.

Une inclinaison plus forte du capteur offre l'avantage d'une fourniture d'énergie lissée sur l'année.

Une inclinaison inférieure à 15° est à déconseiller pour éviter tout encrassement excessif des capteurs.

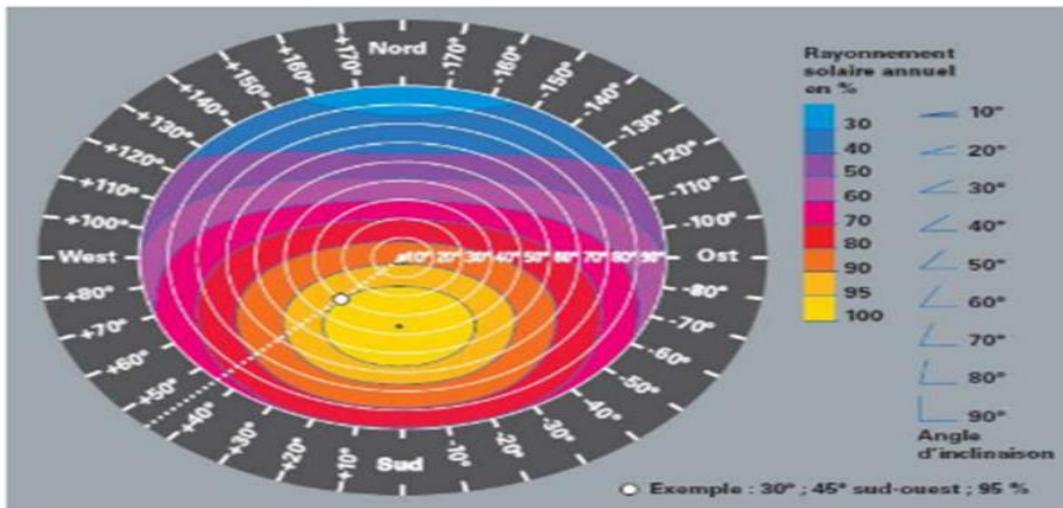


Figure.III. 15Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombrage sur l'énergie rayonnée

III.12Calcul

La consommation journalière est définie à partir des données ci-dessus (Tableau V.3).

On détermine ainsi la consommation moyenne journalière en Ah.

Et l'on ramène cette consommation à une puissance moyenne permanente.

III.12.1Données de consommation

Dans ce travail nous étudier un système connecté au réseau local, avec des caractéristiques qui sont indiqués dans le tableau suivant :

6.7	La Centrale Solaire à une puissance installée de 20 MW
2622maisons	La production de la centrale est équivalente alimenté Ain Sefra ville en plain puissance
06 ans	La durée d'exploitation initiale de la centrale.
79680	Le nombre de panneaux solaires photovoltaïques installés sur la centrale
25 Hectare	Les panneaux couvrent une superficie d'environ m ²

Tableau III. 2: Données de consommation

III.12.2 Données de production

Energie nécessaire (Wh/j) =140Mwh /j (conditions optimales).

Inclinaison optimale (°) =15°

On réseaux électrique de centrale par jour : 18000 KW

A.N :

La production nécessaire de panneau solaire : Puissance installée moyenne
20Mw

$$38GW/an \quad 38GW = 38 \cdot 10^9 \text{ W}$$

$$\frac{38 \cdot 10^9}{365 \cdot 26223} = 104.1WH/J \dots\dots\dots III.1$$

$$1A = \frac{1W \cdot 10^4}{1V \cdot 18} \simeq 150A \dots\dots\dots III.2$$

La production électrique de centrale par jour :

$$E_P = 140Mwh/j \dots\dots\dots III.3$$

III.13 Les Fiche technique du panneau PV installer au centrale PV Naama

En centrale photovoltaïque on trouve 10 champs photovoltaïques :

- chaque champ = 2MW
- La distance entre les champs 06 m.
- Chaque champ contient 1 transformateur.
- Chaque champ contient 79 panneaux divisés en 42 rangés.
- La dimension de champ photovoltaïque 2.5 Hc.
- La distance entre les rangés 112 cm.
- Chaque rangé contient 1 onduleur.

III.13.1 Fiche technique panneau solaire

Modèle CS6P installer au centrale PV Naama

Doté de 60 cellules photovoltaïques, le panneau solaire CS6P est robuste. Ce panneau peut être destiné à des applications solaires raccordées au réseau. Nos techniques de conception et de production méticuleuses assurent à chaque panneau produit un rendement élevé pendant longtemps. Nos contrôles de qualité rigoureux et nos installations d'essai internes vous garantissent que les panneaux de Canadian Solar sont conformes aux normes de qualité les plus exigeantes

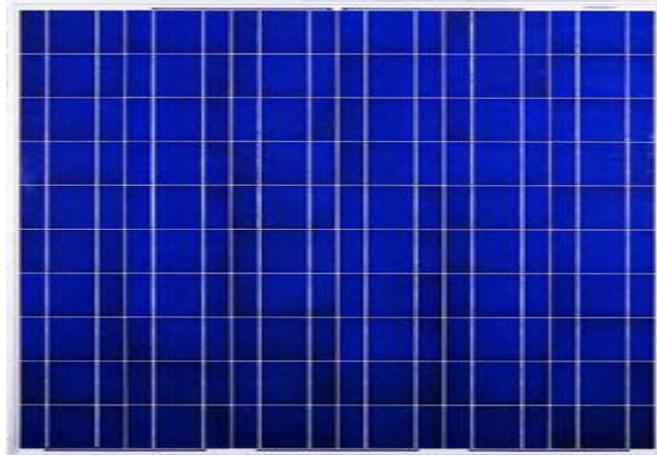


Figure.III. 16panneauCS6P235/240/245/250/255P

III.13.1.1 Caractéristiques du produit

- Efficacité des panneaux élevée jusqu'à 15,85% Tolérance de puissance positive : 0a+5W.
- Cadre robuste résistant à une charge de 5400Pa Superficie autopulente
- Performances remarquables à faible rayonnement
- Rendement énergétique élevé à NOCT
- Couvert par notre nouvelle garantie 10/25 sur la performance électrique linéaire en plus de notre assurance complémentaire de 25 ans
- Garantie produit de 10 ans sur les matériels et la main-d'œuvre
- Garantie de 25 ans sur la performance électrique linéaire

III.13.1.2 Qualité supérieure

235 points de contrôle de la qualité pour la production des panneaux

Analyse EL pour éliminer les défauts des produits Processus de tri par courant pour améliorer les performances du système Haute résistance à la dégradation induite par le potentiel Résistant au brouillard **salin et** à l'ammoniac Performances exceptionnelles dans le classement PVUSA Test Calculation (PTC).

III.13.1.3 Meilleure assurance de garantie

25 ans de couverture mondiale

Couverture à 100 % pendant la période de garantie Fourniture de droits de faillite tiers Pas d'annulation Couverture immédiate Assurance par trois des meilleures compagnies d'assurance au monde.

III.13.1.4 Caractéristiques électriques

Conditions d'essai normalisées(STC)	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Puissance nominale maximale (Pmax)	235W	240W	245W	250W	255W
Tension en fonctionnement optimal (Vmp)	29,8V	29,9V	30,0V	30,1V	30,2V
Courant en fonctionnement optimal (Imp)	7,90A	8,03A	8,17A	8,30A	8,43A
Tension en circuit ouvert (Voc)	36,9V	37,0V	37,1V	37,2V	37,4V
Intensité de court-circuit (Isc)	8,46A	8,59A	8,74A	8,87A	9,00A
Rendement par panneau	14,61%	14,92%	15,23%	15,54%	15,85%
Température de fonctionnement	-40°C~+85°C				
Tension maximale du système	1000V (IEC) /600V (UL)				
Calibre maximal des fusibles en série	15A				
Classification des applications	Class A				
Tolérance de puissance	0 ~ +5W				

Dans les conditions d'essai normalisées (STC) : rayonnement de 1000 W/m², spectre de 1,5 AM et température des cellules de 25°C.

NOCT	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P	CS6P-255P
Puissance nominale maximale (Pmax)	170W	174W	178W	181W	185W
Tension en fonctionnement optimal (Vmp)	27,2V	27,3V	27,4V	27,5V	27,5V

Courant en fonctionnement optimal (Imp)	6,27A	6,38A	6,49A	6,60A	6,71A
Tension en circuit ouvert (Voc)	33,9V	34,0V	34,1V	34,2V	34,4V
Intensité de court-circuit (Isc)	6,86A	6,96A	7,08A	7,19A	7,29A

Avec une température normale de fonctionnement des cellules, un rayonnement de 800 W/m², un spectre de 1,5 AM, une température ambiante de 20°C et une vitesse du vent de 1 m/s.

III.13.1.5 Caractéristiques mécaniques

Type de cellule	Silicium poly cristalline 156 x 156 mm
Disposition des cellules	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40 mm (64,5 x 38,7 x 1,57 in)
Poids	19 kg (41,9 lbs)
Face avant	Verre trempé de 3,2 mm
Matériau du cadre	Alliage d'aluminium anodisé
Boîte de raccordement	IP65 or IP67, 3 diodes
Câble	4 mm ² (CEI)/12 AWG(UL), 1000 mm
Connecteurs	MC4 ou comparable à MC4
Emballage (panneaux par palette)	24 pièces
Nombre de panneaux par conteneur (de 40 pieds)	672 pièces (40 pieds)

III.13.1.6 Courbes I-V (CS6P-250P)

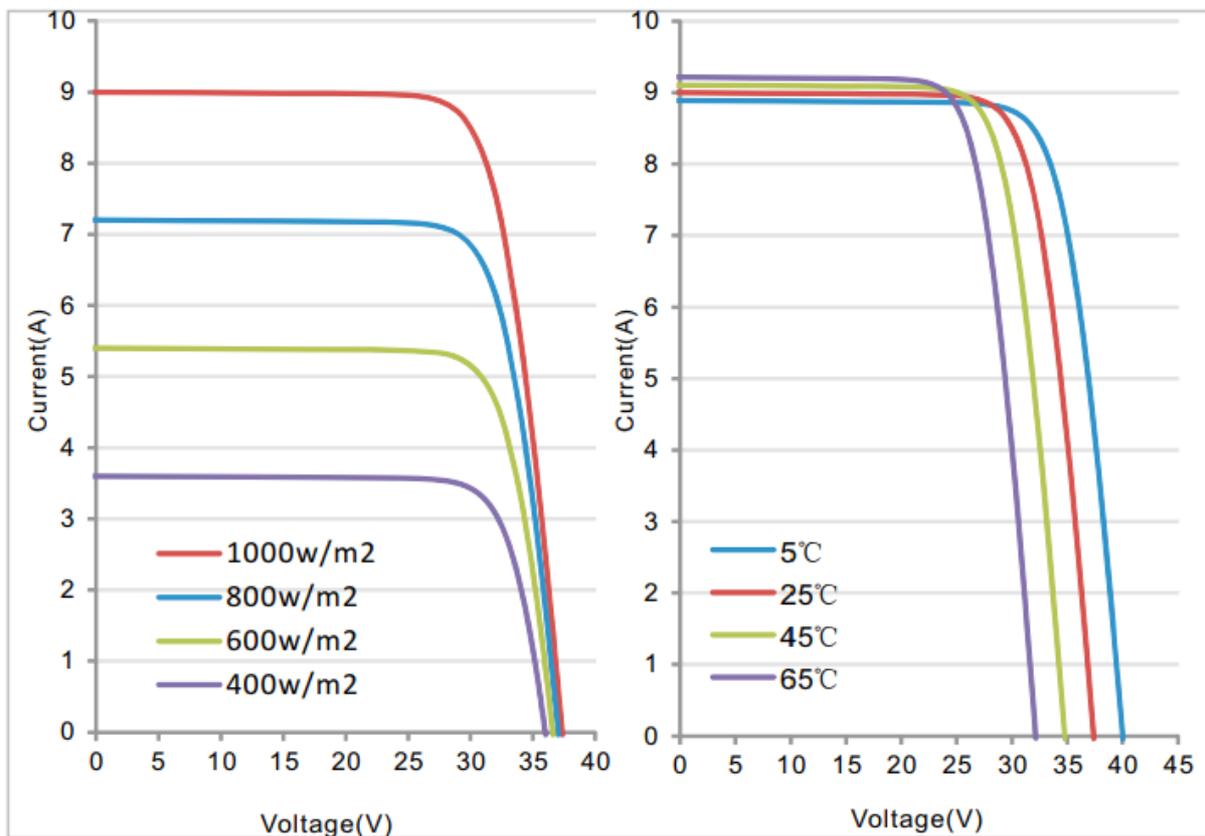


Figure.III. 17COURBE COURANT_TENSION DU MODELE CS6P

III.13.1.7 Caractéristiques de température

Coefficient de température	Pmax	-0,43%/°C
	Voc	-0,34 %/°C
	Isc	0,065 %/°C
Température normale de Fonctionnement des cellules		45±2°C

Performance sous faible éclairement

Meilleure performance sous faible éclairement du secteur rendement de panneau +95,5% d'un rayonnement de 1000 W/m² à 200 W/m²

III.13.2 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques :

Pour dimensionner la surface de panneaux nécessaires on procède en trois étapes :

Etape 1: Calcul de l'énergie qui sera consommée par jour (voir bilan des puissances et énergies)

Etape 2: Calcul de l'énergie à produire Pour que les besoins du client soit assurés il faut que l'énergie consommée (E_c) égale l'énergie produite (EP) à un coefficient près :

$$E_p = \frac{E_c}{K} \longrightarrow E_c = E_p * K \dots \dots \dots \text{III.4}$$

$$E_c = 14000000 * 0.65 \dots \dots \dots \text{III.5}$$

$E_c = 9100000 \text{ W}$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivant :

- L'incertitude météorologique ;
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
- Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillessement et poussières) ;
- Le rendement des cycles de charge et de décharge delà batterie (90%) ;
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%) ;
- Les pertes dans les câbles et connexions

Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise pour les systèmes avec batterie sera souvent de 0,65.

Etape 3 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux) à installer.

La puissance crête des panneaux à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation. On la calcule en appliquant la formule suivante

$$P_c = \frac{E_p}{K * I_r} \longrightarrow I_r = \frac{E_p}{P_c * K} \dots\dots\dots \text{III.6}$$

P_c : Puissance crête en Watt crête (W_c)

E_p : Énergie produite par jour (Wh/j)

I_r : Irradiation quotidienne moyenne annuelle (KWh) / ($m^2 \cdot jour$)

Ce qui revient à écrire :

$$P_c = \frac{E_c}{K * I_r} I_r = \frac{E_c}{P_c * K} \dots\dots\dots \text{III.7}$$

P_c : Puissance crête en Watt crête (W_c)

E_p : Énergie produite par jour (Wh/j)

I_r : Irradiation quotidienne moyenne annuelle (KWh) / ($m^2 \cdot jour$)

- Calcule d'installation de panneau solaire :

Les donnes :

Les dimensions de panneau solaire : 1.6 m²

L'angle d'inclination : 15°

Surface de consommation :

$$\longrightarrow \cos \frac{\pi}{4} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{x}{53}$$

$$x = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) * 53x = 37,47 \dots \dots \dots \text{III.7}$$

III .14 Les Protections

III.14.1 Protection contre la foudre

Une protection contre la foudre adaptée sera mise en œuvre. Des parafoudres et paratonnerre seront installés selon le guide UTE 15-443 et les normes NF-EN 61643-11 et NF C 17-100 et 17-102. Les normes électriques seront appliquées.

La protection électrique passe également par la mise à la terre de toutes les masses métalliques des équipements de la centrale (modules, structures porteuses, boîtes de jonction, postes de transformation et livraison), ainsi que par l'établissement de liaisons équipotentielles.

III.14.2 Protection des cellules

Deux types de protection sont généralement indispensables au bon fonctionnement d'un module photovoltaïque :

- La protection par diodes parallèles (ou by-pass) a pour but de protéger une série de cellules dans le cas d'un déséquilibre lié à la défektivité d'une ou plusieurs des cellules de cette série ou d'un ombrage sur certaines cellules ;
- La diode série placée entre le module et la batterie empêche pendant l'obscurité le retour de courant vers le module. Elle est dans ce cas appelée diode anti-retour.

III.14.3 Protection des postes de transformation et de livraison

Les postes de transformation et de livraison sont composés de différents éléments de sécurité :

- Système de protection de surtension (inter-sectionneurs et disjoncteurs) ;
- Supervision à distance ;
- Protection contre la foudre (parafoudre) ;
- Dispositif de commande (sectionneurs et jeux de barre : conducteur répartissant le courant entre les divers circuits à alimenter) ;
- Cellule de protection HTA ;
- Protection fusible ;
- Arrêt d'urgence.

De plus, le poste de transformation est doté d'un dispositif de suivi et de contrôle. Ainsi, plusieurs paramètres électriques sont mesurés, ce qui permet des reports d'alarmes en cas de défaut de fonctionnement.

Ce local étant relié au réseau téléphonique, les informations seront renvoyées vers les services de maintenance et le personnel d'astreinte. Un système de coupure générale sera mis en place.

L'accès aux installations électriques sera limité au personnel habilité intervenant sur le site.

III.14.4 Défense incendie

Les pistes en périphérie du dôme et du site serviront de zone coupe-feu pour la protection contre l'incendie, ainsi que de voie d'accès pour les services de secours et d'incendie en cas de besoin.

Les besoins en eau en cas d'incendie seront assurés par une réserve incendie de 120 m³ implantée à l'ouest du site, au niveau de la zone actuelle de stockage de gravats. Elle est accessible par le chemin d'accès existant.

Elle est accessible par le chemin d'accès existant. Cette réserve sera aux normes et référencée par les services du SDIS de la Vienne.

De plus, des extincteurs adaptés au risque seront installés dans les locaux techniques (postes de transformation et de livraison).

III.15 Phase d'exploitation

Les opérations relatives à l'exploitation d'une centrale photovoltaïque sont très limitées et consistent en la gestion continue et optimale, grâce à des systèmes de supervision et une équipe de maintenance. Les outils d'exploitation et de suivi de production les plus récents seront utilisés, afin de garantir une productivité optimale à l'ensemble de la centrale.

Ainsi, les interventions sur site consistent à de petites maintenances et à l'entretien de la centrale. Ces prestations seront réalisées par une ou des sociétés locales.

III.15.1 Surveillance de la centrale

Le fonctionnement des installations sera contrôlé à distance, grâce à un système de télésurveillance et d'enregistrement des données de la centrale. Il n'est pas prévu de présence permanente sur site. Seules les opérations ponctuelles de maintenance et d'entretien, principalement sur les installations électriques, nécessiteront la présence occasionnelle de techniciens.

Chaque unité de production photovoltaïque disposera d'un compteur de production et d'un dispositif de contrôle à distance.

Le dispositif de supervision à distance permet de disposer en temps réel de différents paramètres, durant toute l'année : contrôle de la production, détection d'anomalie et panne, historiques...

Des capteurs seront installés au niveau des différents équipements : poste de transformation, poste de livraison, rangées de panneaux. Les valeurs instantanées et cumulées seront visualisables sur place et à distance.

Cette base de données permettra au gérant de réaliser des mesures externes de données par les capteurs, d'avoir accès à une surveillance des onduleurs et du générateur solaire, et de faire face à d'éventuels dysfonctionnements, tels qu'un disjoncteur désarmé, un fusible grillé, une panne d'onduleur, etc., impactant la production : reconnaissance précoce des dysfonctionnements, envoi d'informations sur les anomalies, possibilité d'interroger l'ordinateur, etc. Aussi, les messages d'alerte émis seront analysés, afin d'initier les actions correctives nécessaires.

Par ailleurs, l'injection de l'électricité sur le réseau de distribution (local ou public) est également contrôlée. En cas de surcharge du réseau public, la puissance

injectée est automatiquement limitée. De même, en cas de défaut sur le réseau, la centrale photovoltaïque est déconnectée du réseau, jusqu'au retour à la normale.

III.16 Maintenance et entretien des installations

En phase d'exploitation, la maintenance des installations est minime. Il s'agit principalement de maintenance préventive, comprenant diverses opérations de vérifications et de contrôles visuels, et dans une moindre mesure, de maintenance corrective.

III.16.1 Maintenance préventive

La maintenance préventive contribue à améliorer la fiabilité des équipements (sécurité des tiers et des biens) et la qualité de la production. Elle se traduit par la vérification du bon fonctionnement électrique (vidéosurveillance, moteurs, onduleurs, etc.) et d'interventions sur les équipements, par le remplacement de certaines pièces en voie de dégradation, afin d'en limiter l'usure (structure, panneau, élément électrique...), et par l'inspection et le nettoyage des armoires électriques une fois par an.

Le nettoyage des locaux techniques est en effet important, afin d'assurer une bonne aération des composants électroniques.

L'entretien des installations techniques sera conforme aux normes et lois en vigueur pour leur bon fonctionnement. Les installations électriques seront contrôlées une fois par an par un organisme habilité et qualifié. Un plan de maintenance préventif sera élaboré.

III.16.2 Maintenance correcte

Il s'agit de l'intervention ponctuelle d'une équipe technique sur la centrale après déclenchement d'une alarme d'alerte ou de constat d'un dysfonctionnement (panne onduleurs, perte de communication, réception d'un message d'erreur, etc.). Les opérations de maintenance corrective consistent principalement remplacer les éléments ou composants défectueux ou abîmés, et à remplacer les éléments électriques au fur et à mesure de leur vieillissement.

Pour exemple, en 2016 sur une installation similaire, SERGIES est intervenue une dizaine de fois pour des défauts normaux de fonctionnement.

III.16.3Équipe d'intervention

Les équipes de SERGIES assureront l'exploitation de la centrale photovoltaïque, et pourront se rendre dans les meilleurs délais sur site en cas de besoin. La durée de trajet entre les bureaux de SERGIES et la centrale photovoltaïque est de 30 minutes environ.

La maintenance sera ensuite assurée par une entreprise mandatée par SERGIES dans le cadre d'un contrat de maintenance, dans lequel les conditions définissent les temps d'intervention maximum, les dispositifs d'astreinte, etc. En général, ce contrat est signé avec l'entreprise qui construit la centrale et couvre toute la durée de vie de la centrale, soit 30 ans.

Les délais d'intervention sont dans la plupart des cas inférieurs à 24 heures, hors week-ends.

III.16.4Entretien des panneaux

L'empoussièrement ou l'encrassement des modules photovoltaïques (poussière, pollens...) peuvent engendrer la diminution de leur rendement. Généralement, l'inclinaison de 15° des modules permet un auto-nettoyage des surfaces, par l'eau de pluie ou la neige.

Leur entretien sera donc minimal, d'autant plus que les pluies sont régulières dans la région. Une vérification régulière est néanmoins indispensable.

Au minimum, les panneaux photovoltaïques seront nettoyés environ tous les 5 ans, afin d'améliorer la production d'énergie en diminuant les pertes dites « d'encrassement des modules ». Ce nettoyage doit intégrer les aspects liés à la protection de l'environnement, pour éviter tout risque de pollution des sols, de l'eau et de l'air et à la protection de la santé. Il doit de plus, être efficace pour retirer l'encrassement accumulé, sans entraîner de dépôts supplémentaires.

Le choix s'est donc porté sur de l'eau déminéralisée, qui respecte l'ensemble de ces exigences.

III.17 Sécurité sur le site

L'exploitation et la maintenance du site photovoltaïque par le personnel d'intervention peuvent être à l'origine des risques principaux suivants : chute, accident électrique, brûlures, blessures lors d'opération de manutention ou d'entretien.

La mise en place de plusieurs mesures de prévention et de règles simples permet d'éviter ces risques :

- Interventions réalisées par un personnel qualifié et habilité,
- Formation du personnel (réglementation, risques, consignes de sécurité, procédures...),
- Isolement des matériels électriques et procédure de consignation,
- Respect des normes électriques en vigueur et vérification annuelle des équipements,
- Détention d'une habilitation pour l'accès au poste de transformation.

L'accès au site sera interdit à toute personne non autorisée.

III.18 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la conception et la modélisation d'un système photovoltaïque (la cellule et le générateur photovoltaïque) , Ensuite Nous avons utilisé le logiciel MATLAB pour étudier dans un premier temps le comportement d'une cellule photovoltaïque puis un générateur photovoltaïque (composé de 46 cellules connectées en série) dans les conditions standard ($G=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$). Nous avons étudié aussi l'influence de la température et de l'éclairement sur l'énergie produite par la cellule PV, ainsi l'influence de l'association de cellule (série, parallèle et série / parallèle) sur l'énergie produite.

Enfin, nous avons utilisé l'outil MATLAB-SIMULINK pour simuler le comportement de la cellule et du générateur PV en définissant le point de puissance maximale PPM.

La variation de la puissance maximale dans un GPV doit être étudiée afin de chercher le maximum de l'énergie produite ; en utilisant toujours l'environnement de simulation MATLAB-SIMULINK.

Conclusion Générale

Ce travail est une contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque Model Naama (Sedret Lghazal) de puissance (20MW) interconnectée au réseau national (poste source GRTE 60/220kv) de distribution électrique haute tension.

Un système raccordé au réseau, non seulement permettrait de réduire le coût de l'installation, en supprimant le coût des batteries, car le stockage ne sera plus nécessaire, mais permettrait en plus d'avoir une possibilité de revendre l'énergie excédentaire au réseau et ainsi faire des profits, ce qui amortirait le prix d'investissement initial.

Dans un premier temps, nous avons revu les différentes technologies des cellules solaires commercialisées sur le marché, et présenté leurs caractéristiques.

Dans un deuxième temps, nous avons décrit le fonctionnement des centrales photovoltaïques en s'étalant sur chaque composant du système.

Nous avons abouti au conception et dimensionnement de notre centrale de puissance 20MW, en choisissant la technologie des modules au silicium poly cristalline.

Nous avons constaté que l'installation de la centrale PV interconnectée au réseau estIntéressante du point de vue énergétique (peut alimenter la ville d'Ain Sefra), mais elle reste chère du point de vue économique.

La question du prix élevé de l'électricité photovoltaïque est souvent avancée comme un frein important au développement de cette ressource énergétique. Cependant, ce prix, aujourd'hui à environ 300 DA par Wc (2.2 euros) [43], baisse régulièrement avec les avancées technologiques diverses. L'objectif des professionnels est de passer dans quelques années, sous la barre symbolique de 100DA (1 €) par Wc [44]. Quelle que soit la baisse des coûts atteinte, cela rend cette énergie de plus en plus intéressante pour le grand public.

Le développement du marché photovoltaïque nécessite de connaître parfaitement la production électrique de ces systèmes sur différents sites en particulier pour estimer sa rentabilité économique.

Cette estimation précise ne peut se faire qu'en prenant en compte les effets d'ombrage qui ont des conséquences dramatiques sur la puissance électrique délivrée.

Nous avons étudié les différentes pertes du système PV et constaté que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur, d'où l'importance de faire un bon choix de la technologie permettant la meilleure efficacité possible de ce composant.

Annexe Bibliographié

Historique de la cellule photovoltaïque

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- 1839: Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- 1875: Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- 1958: Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- 1973: La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- 1983: La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires.

En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé.

Bibliographie

- [1] : Denis BONNELLE , RENAUD DE RICHTER, « 21 énergies renouvelables insolites, pour le 21^e siècle » édition ELLIPS , Février 2010
- [2] : A. Bennouna ; D. Zejli ; R. Benchrifa Les Energies Renouvelables Pour un développement durable et globale CER 2007 (CNRST)
- [3] Abdelilah SLAOUI, Directeur de recherche, Laboratoire des Sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICUBE), CNRS et Université de Strasbourg p 6, 7, 8.
- [8] N. Pandiarajan, R. Ramaprabha, Ranganath Muthu, « Application of circuit model for photovoltaic energy conversion system », International Journal of Photo energy, India,
- [5] Angel Cid Pastor « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Thèse de Docteur. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [6] Revue scientifique, toutes l'information sur le photovoltaïque, p7, du 23 Aout 2012
- [7] Journal VIPress « vers une production mondiale de panneaux photovoltaïque de 50 GW en 2014 ».

- [4] BELGHITRI HOUDA Mémoire de Magister « Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque », 2010.
- [8] N. Pandiarajan, R. Ramaprabha, Ranganath Muthu, « Application of circuit model for photovoltaic energy conversion system», International Journal of Photo energy, India,
- [9] Revue scientifique de ACLEN « Electricité solaire photovoltaïque », collection connaissance des énergies, p3 ,2013.
- [10] Revue scientifique « les technologies photovoltaïque », collection Solar Word P1-2, juin 2012domestiques», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, École National Supérieur Polytechnique de Yaoundé, 2010
- [11] M.LOPEZ « contribution à l'optimisation d'un système de conversion éolien pour une unité de production isolé » Thèse de docteur université paris sud 11.2008
- [12] Farah bilal «Étude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien) » DIPLOME DE MASTER, université de badji Mokhtar ANNABA,2010
- [13] S.M. Boudia. « Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie »Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 2013.
- [14] Thomas Ackermann, Wind power in power systems. Chichester, Angleterre : Wiley, 2005
- [15] : N. Achaïbou, A.Malek , N Bacha,« Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV », Revue des Energies Renouvelables, N. spécial(CHEMSS), pp61-66,2000.
- [16] I.Tsuda, K. Kurokawa et K. Nozaki,«Annual simulation results of photovoltaic system with redoxflow battery», Solar Energy Materials and solar cells, volume35,pp.503-508,1994
- [17] A.Oi ,«Design and simulation of photovoltaic water pumping system»,Partial Fulfillment of the Requirements for the degree of master of science in Electrical Engineering, Faculty of California Polytechnic State University San Luis Obispo, september 2005.
- [18] D. Thévenard and M.Ross, «Validation and Verification of Component Models and System Models for the PV », CETC-internal report 2003-035, Canada,2003
- [19] P. Derk «Electrochemical Energy Storage for Renewable Source and Grid Balancing», ouvrage ISBN:978-0-444-62616-5,2014.
- [20] AMARA karima « contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance 1 MW. » mémoire de magister

RESUME

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque: transformer le rayonnement solaire en Électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

Ce travail est une contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (20MW) interconnectée au réseau nationale de distribution électrique haute tension.

ABSTRACT

Principale of solar photovoltaic energy: transforming solar radiation into electricity using a photovoltaic cell.

This work is a contribution to the design study of a photovoltaic power plant (20MW) interconnected to the high voltage electrical distribution national network.

ملخص:

يتضمن هذا البحث مبدأ تحول الطاقة الشمسية (الإشعاع الشمسي) إلى طاقة كهربائية من خلال محطة التحويل (النعامة سدرة الغزال) للطاقة الشمسية والتي تصب مباشرة في الشبكة الوطنية الجزائرية ذات التوتر العالي بسعة 20 ميغاوات.