

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département des Energies Renouvelables



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme du Master

Option: Conversion Photovoltaïque
Thème

**Contribution à la réalisation d'une centrale photovoltaïque de
300MW à «El-Foulia», Wilaya d'El-Oued**

Par: SAIHI Hocine.

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur	AIT SAHED.O	M.C.B	USDB1	Président
Monsieur	DOUMAZ.T	M.C.B	USDB1	Examineur
Monsieur	BENAHMED.A	M.C.B	USDB1	Encadreur
Monsieur	BOUZAKI.M.M	M.C.B	USDB1	Co- Encadreur

Juillet 2023

ملخص

الطاقة الشمسية المتجددة والنظيفة تتوافق تمامًا مع السياسات البيئية الحالية في البلدان الصناعية. ومع ذلك، تواجه العديد من السكان، خاصة في المناطق الريفية المعزولة في البلدان النامية التي تتمتع بشمس قوية، تحديات كبيرة في تلبية احتياجاتهم الطاقوية. تركز هذه الأطروحة على تصميم محطة طاقة شمسية بسعة 300 ميغاواط. بعد وصف موجز لأنظمة الاتصال بالشبكة، تتم مراجعة ثلاثة أساليب نظرية مختلفة لتصميم محطة طاقة شمسية.

الكلمات المفتاحية: نظام الطاقة الشمسية، دراسة الانظمة الشمسية، محطة الطاقة الشمسية، دراسة اقتصادية تقنية.

Résumé

L'énergie photovoltaïque, en tant que source d'énergie propre et renouvelable, est parfaitement alignée avec les politiques environnementales actuelles des pays industrialisés. Cependant, de nombreuses populations, en particulier dans les zones rurales isolées des pays en développement bénéficiant d'un fort ensoleillement, font face à d'importants défis pour répondre à leurs besoins énergétiques. Ce travail de mémoire a consisté à dimensionner une centrale photovoltaïque de 300MWc. Après une description succincte sur les systèmes connectés au réseau la description des trois différentes méthodes théoriques susceptibles au dimensionnement d'une centrale photovoltaïque.

Mots-clés : Système photovoltaïque, Dimensionnement du système photovoltaïque, Centrale photovoltaïque. Shaems SPA, étude techico-économique.

Abstract

Photovoltaic energy, as a clean and renewable energy source, is perfectly aligned with the current environmental policies of industrialized countries. However, many populations, especially in isolated rural areas of developing countries with abundant sunlight, face significant challenges in meeting their energy needs. This thesis work aimed to size a 300MWp photovoltaic power plant. After a brief description of grid-connected systems, three different theoretical methods for sizing a photovoltaic power plant were discussed.

Keywords: Photovoltaic system, Sizing of photovoltaic system, Photovoltaic power plant. Shaems SPA, techno-economical study.

Remerciements

Tout d'abord, Je tiens à remercier Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur Monsieur **BENAHMED Abdelmoumen** pour son appréciable aide, sa grande disponibilité, et ses précieux conseils.

Je remercie vivement mon Co-promoteur Monsieur **BOUZAKI Mohammed Mostafa** pour ses conseils et pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je veux aussi remercier **Mr. DOMAZ Toufik** qui m'a aidé pour le bon déroulement de ce travail et tout personne qui m'a aidé à atteindre ce point-là.

Mes respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté sur mon travail.

SAIHI Hocine.

Dédicaces

Je dédie ce modeste et humble travail
À ma fabuleuse étoile ma très chers mère
À mon père : le meilleur de tous les pères, dont l'amour
inconditionnel et le soutien sans faille resteront à jamais gravés dans
mon cœur.

À mon frère Abderrazak

Et ma sœur Hana

A tous mes amis et collègues sans exception.

Toutes celles et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

SAIHI Hocine

Nomenclature

α	Coefficient de l'effet de la température sur la tension du panneau.
AM	Masse d'air.
B.O.O	Stratégie économique (Build, Own, Operate)
CO₂	Gaz de dioxyde de Carbon.
C_{coef.éclairage}	Coefficient de l'éclairage.
CPCR	Centrale photovoltaïque connecté au réseau.
E	L'éclairage incident.
E_{cts}	Éclairage incident constant pendant.
Ep	Energie produite.
GPV	Générateur Photovoltaïque.
H	La hauteur du soleil.
Ha	Unité de mesure de la surface
H_{equivalente}	Le nombre d'heures d'ensoleillement équivalentes dans une année.
I	Le courant du panneau.
I_{cc}	Courant de court-circuit [A].
I_{groupe}	La tension du groupe [V].
INV	Total prix d'investissement.
L :	La longitude.
m²	L'abréviation couramment utilisée pour représenter les mètres carrés.
Mt	Mégatonne (unité de mesure de la masse équivalente à un million de tonnes, soit 1 000 000 de tonnes)
N	Numéro du jour de l'année à partir du 1er janvier.
N_p	Nombre des panneaux.
P	La puissance du panneau.
P_{ond}	Puissance de l'onduleur.
PVT	Panneau photovoltaïque thermique.
R	Retour d'investissement.
T	La température.
TSV	Temps solaire vrai
US	Expression anglaise qui signifie "dollar américain" en français.
V	La tension du panneau.
W	Unité de mesure de la puissance.
Wh	Unité de mesure de l'énergie qui représente la puissance cumulée dans une période du temps.
α	L'azimut du soleil.
δ	La déclinaison
Φ	La latitude du lieu
ω	L'angle horaire
β	Coefficient de l'effet de la température sur la puissance du panneau
γ	Coefficient de l'effet de la température sur le courant du panneau

SOMMAIRE

RESUME	2
NOMENCLATURE.....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTE DES FIGURES.....	9
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I	3
INTRODUCTION :.....	3
I.1 L'énergie solaire	3
I.2 Potential renouvelable au niveau mondial.....	3
I.3 Potentiel renouvelable en Algérie :.....	4
I.4 Potentiel solaire en Algérie :.....	5
I.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	6
I.5.1 Les avantages:.....	6
I.5.2 Les inconvénients:.....	7
I.6 Les types des systèmes PV :.....	7
I.6.1 Système autonome:.....	7
I.6.2 Système hybride.....	8
I.6.3 Systèmes PV raccordés au réseau :.....	9
I.7 Centrale solaire photovoltaïque :.....	9
I.7.1 Classifications des Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau :.....	10
I.7.2 Les centrales photovoltaïques en Algérie :.....	10
I.8 Les dispositifs d'une centrale solaire :	11
I.8.1 Le système de production (Le champ PV) :.....	11
I.8.2 Le système de conversion:.....	12
I.8.3 Le système de stockage.....	12
I.8.4 Système de câblage et raccordement :.....	13
CONCLUSION :.....	15
CHAPITRE II.....	16
INTRODUCTION :.....	16
II.1 Aspects géométriques :.....	16
II.2 Systèmes de coordonnées :.....	16
II.2.1 Coordonnées terrestres:.....	16
II.3 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :	19
II.4 Déférents défauts des systèmes photovoltaïques :	19
II.4.1 Défaut de mismatch et d'ombrage :.....	20
II.4.2 Défaut de diodes de by-pass :.....	21

II.4.3 Défaut de module.....	22
CONCLUSION :	23
CHAPITRE III.....	36
INTRODUCTION :	36
III.1 Société SHAEMS « SPA » :	36
III.2 Projet SOLAR 1000 MW:	36
III.3 SOLAR 1000MW: El-Foulia 300MW:	36
III.4 Base des données :	37
III.5 Données obtenus de la base métrologique d'aéroport du Guemar, El-Oued:	37
III.6 Variation des facteurs externes sur le panneau et la centrale photovoltaïque:.....	39
III.7 Modélisation d'une mini-centrale photovoltaïque:.....	40
III.7.1 Méthode analytique:.....	40
III.7.2 Mini-centrale de 10MW:.....	41
III.8 Calculs économiques :	42
III.8.1 Énergie produite pendant 20 ans:.....	42
III.8.2 Prix d'investissement:.....	42
III.9 Etude du cas : Améliorer la production en utiliser l'aluminium pour augmenter l'éclairement diffus :	44
III.9.1 Variation des facteurs externes sur le panneau et la centrale photovoltaïque :	44
III.9.2 Calculs financières :	45
III.9.3 Energie produite pendant 20 ans:.....	45
III.9.4 Prix d'investissement:.....	45
III.10 Etude du cas : Améliorer la production en utiliser l'aluminium pour augmenter l'éclairement diffus l'intégration des échangeurs de la chaleur pour diminuer la température :	46
III.11 Calculs financières :	47
III.11.1 Energie produite pendant 20 ans:.....	47
III.11.2 Prix d'investissement:.....	47
III.12 Résultat de l'étude :	47
III.12.1 Régulation de l'irradiation:.....	48
III.12.2 Productivité de la centrale:.....	48
III.12.3 La température:.....	49
III.12.4 Comparaison de la capacité installée et la productivité de la centrale :	50
CONCLUSION :	50
CONCLUSION GENERALE.....	
BIBLIOGRAPHIE	52

Liste des tableaux

TABLEAU I.1 :CAPACITES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE (EN GW) BASEES SUR LES RESSOURCES RENOUVELABLES 2015-2019.	5
TABLEAU I.2 :VALEURS DE LA DUREE ET DE L'ENERGIE MOYENNES ANNUELLES DE L'ENSOLEILLEMENT REÇU DANS DIFFERENTES REGIONS DU TERRITOIRE NATIONAL	6
TABLEAU I.3 : LES CENTRALES PHOTOVOLTAIQUES DE SONELGAZ	11
TABLEAU III.1 : LES DONNEES DU SITE D'EL-FOULIA.....	38
TABLEAU III.2 :VARIATION DU PANNEAU ET DE LA CENTRALE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE ET L'ECLAIREMENT.	39
TABLEAU III.3 : LE MONTANT TOTALE DES SALAIRES DES EFFECTIFS DE LA CENTRALE CELON LEUR GRADE.....	43
TABLEAU III.4 : TYPE D'INVESTISSEMENT ET LEUR MENTANT.....	44
TABLEAU III.5 :VARIATION DU PANNEAU ET DE LA CENTRALE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE ET L'ECLAIREMENT.	45
TABLEAU III.6 : TYPE D'INVESTISSEMENT ET LEUR MENTANT.....	46
TABLEAU III.7 : VARIATION DES FACTEURS EXTERNES SUR LE PANNEAU ET LA CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE AVEC UN ALBEDO DE 0,85	46
TABLEAU III.8 : MONTANT D'INVESTISEMENT	47

Liste des figures

FIGURE I-1 :PROJECTION A L'HORIZON 2050 DES CAPACITES CUMULEES DE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE INSTALLEES PAR REGION DANS LE MONDE (SOURCE IRENA).	4
FIGURE I-2 : SYSTEME AUTONOME.	8
FIGURE I-3 : SYSTEME HYBRIDE	8
FIGURE I-4 : SYSTEME PV RACCORDEE AU RESEAU	9
FIGURE I-5 : SCHEMA ILLUSTRATIVE D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE.	11
FIGURE I-6 : SCHEMA D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE	12
FIGURE I-7 : SYSTEME DE PROTECTION	13
FIGURE II-1 : COORDONNÉES TERRESTRES.	17
FIGURE II-2 : COORDONNEES HORIZONTALES	19
FIGURE II-3 : SIMULATION GPV AVEC DEFAT DE MIS MATCH ET D'OMBRAGE PAR	20
FIGURE II-4 : INFLUENCE DE L'OMBRAGE SUR LES CARACTERISTIQUES (I-V) ET (P-V)	21
FIGURE II-5 : SCHEMA EQUIVALENT DU DEFAT DE DIODES DE BY-PASS.....	21
FIGURE II-6 : SCHEMA EQUIVALENT DU DEFAT DE DIODES DE MODULE	23
FIGURE III-1 :SITE GEOGRAPHIQUE D'ELFOULIA.....	37
FIGURE III-2 : SCHEMA DESCRIPTIVE D'UNE MINI CENTRALE DE 10MW.....	40
FIGURE III-3 : GRAPHE REPRESENTANT LA REGULATION DE L'IRRADIATION PENDANT L'ANNEE48	
FIGURE III-4 : GRAPHE REPRESENTANT LA PRODUCTIVITE DE LA CENTRALE.....	48
FIGURE III-5 : GRAPHE REPRESENTANT LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE	49
FIGURE III-6 :COMPARAISON ENTRE LA CAPACITE INSTALLE ET LA PRODUCTIVITE DE CHAQUE CAS	50

Introduction Générale

Introduction générale

L'économie algérienne dépend fortement du marché des combustibles fossiles, où 93,6% de ses exportations sont principalement du pétrole et du gaz naturel. Au cours de la dernière décennie, le prix du pétrole brut a considérablement chuté et, à ce jour, son prix continue de fluctuer, ce qui a gravement affecté l'économie nationale. Par conséquent, la transition vers l'exploitation des énergies renouvelables et le développement technologique est devenue un objectif indispensable pour le gouvernement algérien.

L'Algérie prévoit de passer à l'ère de l'économie verte, qui est la solution unique pour répondre aux besoins énergétiques futurs et réduire simultanément les risques liés à l'environnement. Le territoire algérien est caractérisé par d'abondantes ressources en énergie renouvelable telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, la biomasse et la géothermie. L'étude présente montre que la capacité installée en ce qui concerne les centrales photovoltaïques et éoliennes a atteint 354,3 MW (en juin 2018), par rapport aux objectifs déclarés par le gouvernement, ce qui indique une progression lente de l'intégration des énergies renouvelables par rapport au potentiel élevé en énergie renouvelable disponible, en particulier l'énergie solaire.

Malgré les efforts considérables déployés par l'État algérien pour relever les défis de la réduction de la dépendance économique vis-à-vis des revenus des hydrocarbures et des émissions de gaz à effet de serre (135,5 Mt de dioxyde de carbone émis en 2018), ce travail fournit des informations utiles sur l'état des énergies renouvelables en Algérie, qui est considérée comme une plate-forme scientifique pour les chercheurs et les entreprises industrielles afin de trouver des solutions adaptées pour promouvoir le secteur des énergies renouvelables.

L'Algérie est considérée comme l'un des plus grands émetteurs de CO₂ parmi les pays africains, elle se classe troisième après l'Afrique du Sud et l'Égypte selon le "Statistical Review of World Energy" de 2019, en raison de la croissance économique (augmentation de l'utilisation de l'énergie et de la consommation d'électricité) (Bouznit et Pablo-Romero, 2016).¹ Le document présente l'évolution des émissions de CO₂ en Algérie pour la période 2007-2018 ("Statistical Review of World Energy", 2019).²

L'Algérie dispose d'un potentiel diversifié et important en matière de ressources énergétiques, qu'elles soient conventionnelles comme le pétrole ou le gaz naturel, ou

¹ Bouznit et Pablo-Romero:CO₂ emission and economic growth in Algeria, 2016

² Bob Dudley:Statistical Review of World Energy, 2019

renouvelables comme le solaire et l'éolien. Cependant, les hydrocarbures occupent toujours une place importante dans l'économie nationale, car l'Algérie est considérée comme l'un des trois principaux producteurs de pétrole en Afrique.³

Ce mémoire est réparti en trois chapitres, dans le premier chapitre nous allons parler des généralités sur l'énergie solaire et la centrale photovoltaïque, le deuxième chapitre sera consacré sur la modélisation d'une centrale PV, le dernier chapitre est l'étude technique économique du projet.

³ Bouraiou et al: Status of Renewable Energy Potential and Utilization in Algeria, (2020)

CHAPITRE I

GENERALITES SUR L'ENERGIE

SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET LES

CENTRALES

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons aborder quelques généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque, en mentionnant le potentiel solaire, les types de systèmes photovoltaïques, les centrales solaires et leurs composants.

I.1 L'énergie solaire

C'est une énergie inépuisable, tellement présente qu'on a tendance à l'oublier.

Pourtant, cette énergie incidente représente plus de 10 000 fois la consommation mondiale en énergie ⁴. Il s'agit donc d'une énergie abondante et renouvelable. Malheureusement on ne peut pas l'exploiter directement car il faut la transformer en d'autres formes d'énergies plus utiles⁵ :

- En bénéficiant directement du rayonnement solaire (énergie passive)
- En utilisant la chaleur du rayonnement solaire (énergie thermique)
- En transformant le rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques (énergie photovoltaïque).

I.2 Potential renouvelable au niveau mondial

La croissance dominante du solaire photovoltaïque par rapport à l'ensemble des autres ressources renouvelables (**Figure I.1**), apparaît en fait également à travers la plupart des scénarios prévisionnels, notamment à l'horizon 2050, dont celui d'IRENA. La capacité cumulée prévue de 8519 GW en 2050 est 30 % supérieure à celle de l'éolien à la même échéance, avec une contribution toujours prépondérante de l'Asie (4837 GW), suivie de l'Amérique du nord (1728 GW), l'Europe (891 GW), l'Afrique (673 GW) et enfin l'Amérique latine (281 GW) (Figure 1.1), le tout étant soutenu par des investissements annuels moyens d'environ 192 Milliards de dollars US/an ⁶.

⁴ Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers : « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », deuxième édition, Berlin 2010

⁵ Liman Amine et Soukane Samir « Etude et modélisation d'un système photovoltaïque autonome », mémoire d'Ingéniorat, UMMTO, 2012.

⁶Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, IRENA

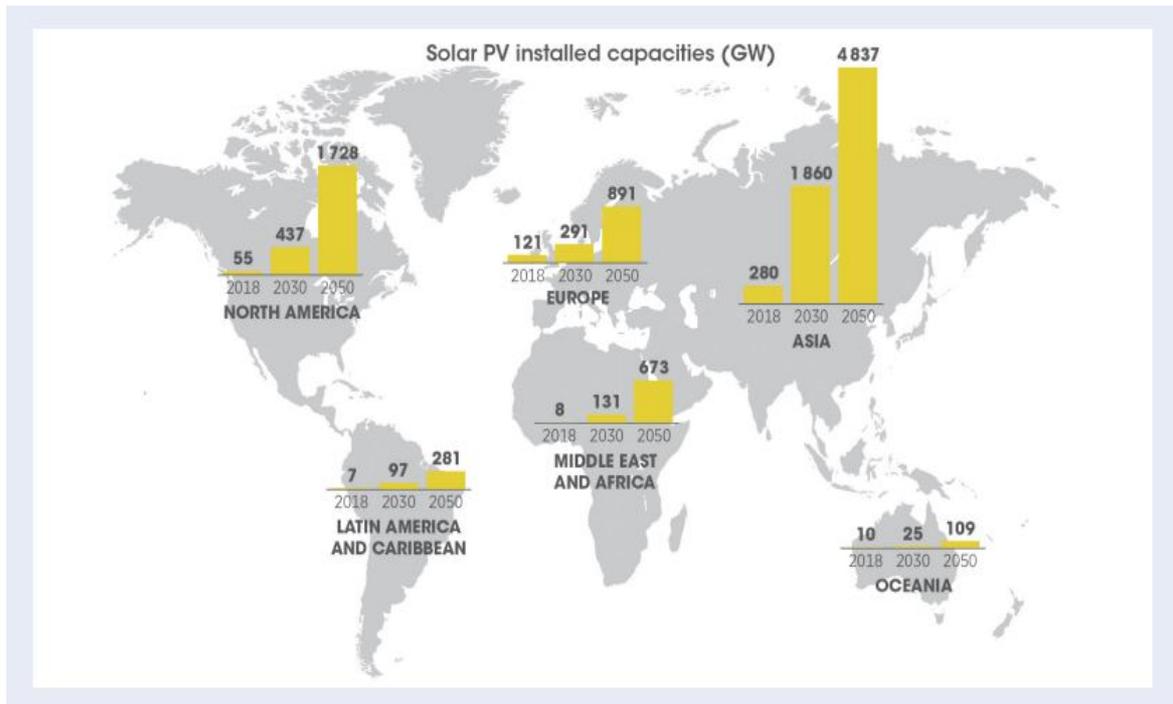


Figure 0-1 :Projection à l’horizon 2050 des capacités cumulées de solaire photovoltaïque installées par région dans le monde (source IRENA).

I.3 Potentiel renouvelable en Algérie :

La position géographique de l'Algérie présente plusieurs avantages pour l'utilisation des systèmes d'énergie renouvelable en raison de conditions climatiques favorables, notamment dans les régions sahariennes. Cette section examine le potentiel d'énergie renouvelable en Algérie en mettant en évidence les ressources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et la biomasse.

Tableau I.1 : Capacités de production d'électricité (en GW) basées sur les ressources renouvelables 2015-2019.⁷

Source d'énergie renouvelable primaire	2015	2016	2017	2018	2019
Hydro-électricité	1099	1129	1156	1177	1189
Énergie éolienne (terrestre et offshore)	416	467	514	625	643
Énergie Solaire (CSP et PV)	222	296	389	489	586
Biomasse	97	105	111	117	124
Énergie géothermique	12	12	13	14	15
Total	1846	2009	2183	2361	2537

I.4 Potentiel solaire en Algérie :

Grace à cette situation géographique, l'Algérie dispose de plus important gisement Solaire de tout le bassin méditerranéen, le total d'énergie reçue est estimé à 169.440 TWh/an, soit 5.000 fois la consommation d'électricité annuelle en Algérie.

La durée de l'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie Générée sur les systèmes photovoltaïques reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au Sud du pays. ⁸

⁷Renewable Energy Technologies, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>

⁸ B. Chikh-Bled et al, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien », Revue des Energies Renouvelables ICPWE, pp. 61-65, 2003.

Le tableau suivant montre la durée et l'énergie moyennes annuelles de l'ensoleillement reçues dans différentes régions du territoire national.

Tableau I.2 : Valeurs de la durée et de l'énergie moyennes annuelles de l'ensoleillement reçu dans différentes régions du territoire national

Region	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m2/an)	1700	1900	2650

En raison de la grande superficie et de la diversité climatique, l'Algérie dispose d'un fort potentiel d'énergie solaire, en particulier dans la région saharienne (régions du sud) ⁹, qui convient aux applications de l'énergie solaire comme le photovoltaïque (Réseau -connecté, électrification de villages, pompage d'eau ou Solaire à Concentration (CSP)).

I.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

I.5.1 Les avantages:

- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et renouvelable, qui ne dégage pas des gaz à effet de serre, et ne génère pas des déchets toxiques.
- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, elles demandent peu d'entretien et ne comporte pas de pièces mobiles, ce qui la rend particulièrement

⁹Maafi, 2000 ; Maammeur et al., 2017:Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: Case study of North-West of Algeria.

appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple, des installations éoliennes.
- Les générateurs de production photovoltaïque ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé, ce qui rend leurs coûts de fonctionnement très faibles.
- Ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système (systèmes hybrides).

I.5.2 Les inconvénients:

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé et lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque augmente.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 29%).¹⁰
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La durée de vie des panneaux photovoltaïque est limitée (de 20 à 30 ans). De plus, leur rendement diminue de 1% par an.¹¹

I.6 Les types des systèmes PV :

I.6.1 Système autonome:

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans une zone isolée du réseau électrique. Comme on peut le remarquer sur la Figure suivante qui représente l'exemple d'un système PV autonome : Il est composé d'un système de stockage, associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de

¹⁰ Melle BEN CHEIKH EL HOCINE Hanane, « Simulation numérique de modèle collecteur hybride photovoltaïque/photothermique », Mémoire de magistère, Université de Constantine, 2009.

¹¹ B. Flèche et D. Delagnes, Energie solaire photovoltaïque, juin 07, disponible sur : http://www.heliosolaire.com/files/energie_solaire_photovoltaïque.pdf

l'énergie ont été développés afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement.

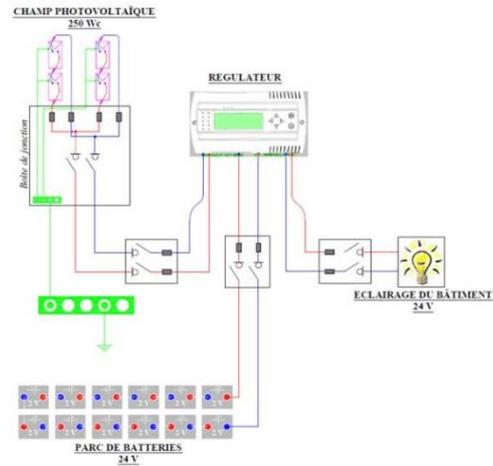


Figure 0-2: Système autonome.

I.6.2 Système hybride

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.¹²

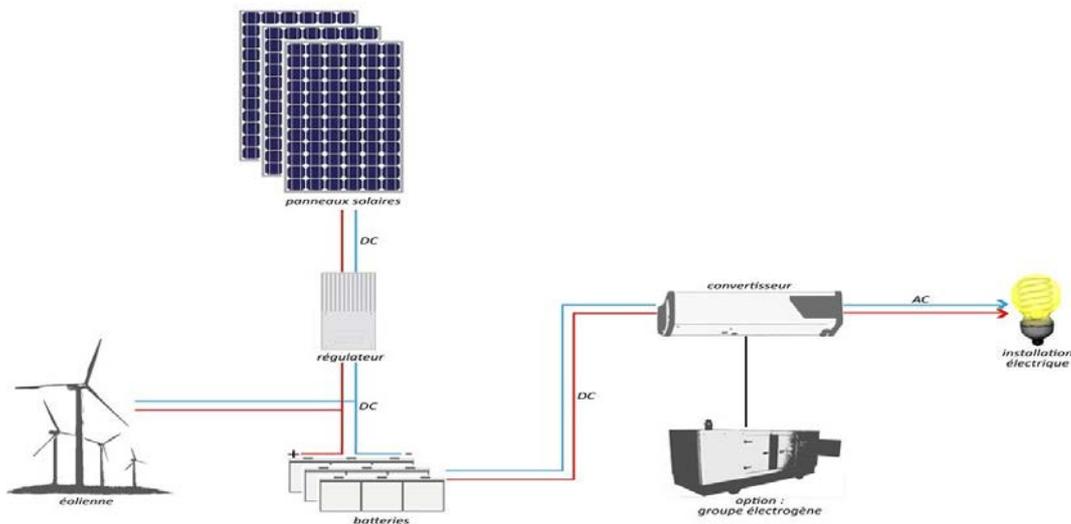


Figure 0-3: Système hybride

¹²M. Benhaddadi, G. Olivier, "Dilemmes Energétiques", Presses de l'Université du Québec PUQ, 2008.

I.6.3 Systèmes PV raccordés au réseau :

Une installation PV peut être connectée en parallèle avec le réseau d'électricité. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former des « strings », eux même reliés à un onduleur. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en un courant alternatif. Chaque onduleur est choisi en fonction de la puissance des panneaux et peut accueillir un ou plusieurs strings.

Si la consommation locale est supérieure à la production de l'installation PV, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs.

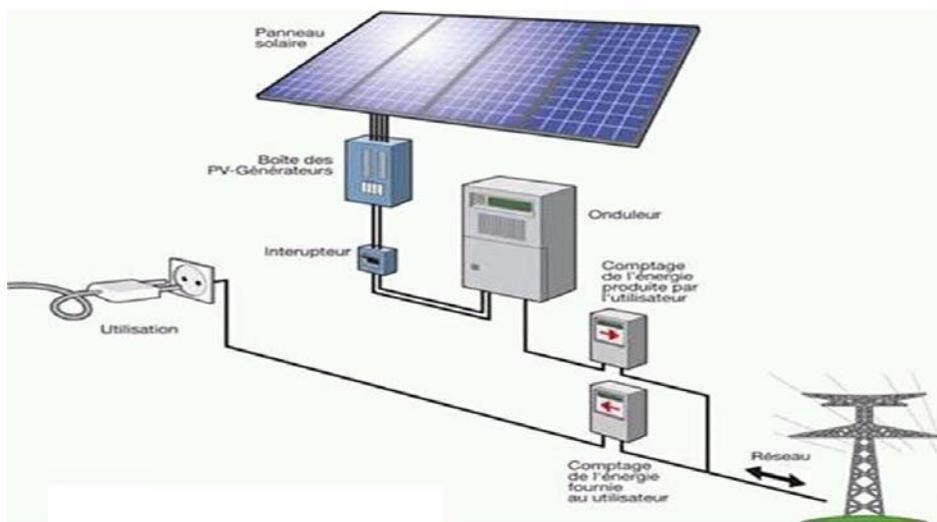


Figure 0-4 : Système PV raccordée au réseau

I.7 Centrale solaire photovoltaïque :

Une centrale photovoltaïque est composée de plusieurs champs de modules solaires photovoltaïques comportant un grand nombre de cellules photovoltaïques raccordés entre eux et destiné à produire de l'électricité soit à titre autonome (panneaux solaires sur les toits des habitations par exemple), soit dans le cadre d'un raccordement à un réseau public de distribution d'électricité.

I.7.1 Classifications des Centrales Photovoltaïques Connectées au Réseau :

Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante :

➤ **Centrales de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW)**

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings, ... Elles se connectent au réseau basse tension.

➤ **Centrales de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW)**

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

➤ **Centrales de grande taille ($P_w \geq 500$ KW)**

Ce sont des systèmes centralisés et ils sont de la propriété de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non.¹³

I.7.2 Les centrales photovoltaïques en Algérie :

- Nombre de centrales installées : 22 Centrales (21 PV et 01 Éolien). (Jusqu'à l'année 2021)
- Puissance Installée : 354,3 MW (344,1 MWc PV et 10,2 MWc Éolien). (Jusqu'à l'année 2021)
- • Énergie Produite depuis la MES: 1018 GWh (936 GWh PV et 82 GWh Éolien).(jusqu'à l'année 2021)

¹³F. Bouchtouche cherfa «Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.

Tableau I.7-1 : Les centrales photovoltaïques de Sonelgaz

I.8 Les dispositifs d'une centrale solaire :

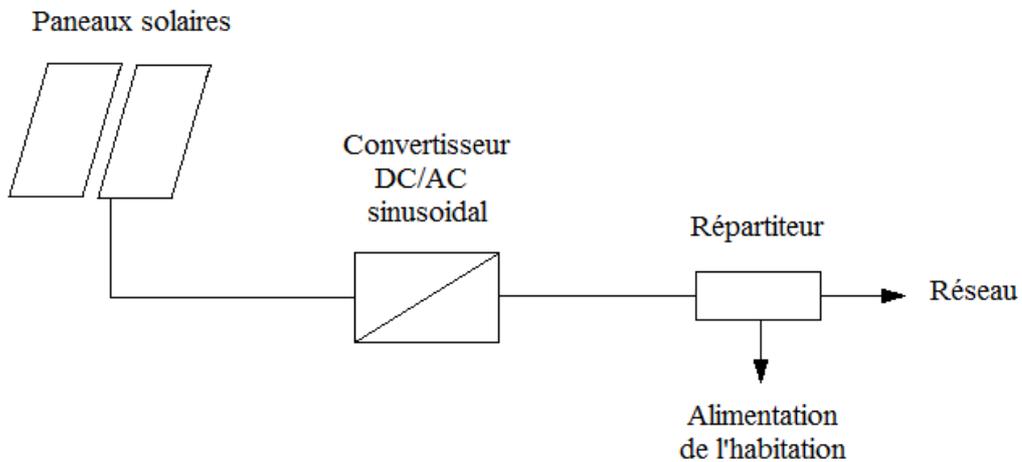


Figure 0-5 : Schéma illustrative d'une centrale photovoltaïque.

I.8.1 Le système de production (Le champ PV) :

Le champ photovoltaïque représente l'unité de production Dc d'un système. Pour obtenir

Centrale	P. Installé (MWe)
1-Réseau PIAT	
Eolienne Kabertène	10,2
Adrar	20
Kabertène	03
In Salah	05
Timimoune	09
Reggane	05
Zaouiat Kounta	06
Aoulef	02
2-Réseau RIS	
Tamanrasset	13
Djanet	03
Tindouf	09

des puissances de quelques kW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de

panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle parfois une centrale.

De la conversion



Figure 0-6 : Schéma d'un champ photovoltaïque

I.8.2 Le système de conversion:

Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif. Le champ de cellules solaires est en règle générale constitué de plusieurs rangées connectées en parallèle. Chaque rangée est elle-même constituée de plusieurs modules solaires connectés en série. Pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série.

L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé.¹⁴

I.8.3 Le système de stockage

Les accumulateurs électrochimiques (Batteries) sont des générateurs "réversibles" c'est-à-dire pouvant stocker de l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation. Contrairement aux photopiles, où il n'y a qu'un transport d'électron ne donnant lieu à aucune « usure », dans les accumulateurs électrochimiques, il y a transfert de matière de l'électrolyte vers les électrodes et par conséquent une « usure » incontournable qui limite leur durée de vie.

¹⁴M .ABBASEN Lyes. Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque. Mémoire de magistère. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2011.

I.8.4 Système de câblage et raccordement :

● Les câbles:

D'une manière générale, les câbles recommandés côté CC sont en cuivre souple (multi-brin). Le cuivre présente le meilleur rapport prix/conductivité et la caractéristique multi-brin permet d'assurer des connexions de qualité optimale, donc de minimiser les pertes d'énergie par chute de tension.

● Les boîtes de raccordements

Boîtes de jonction, situées le plus près possible du champ solaire, permet un parallélisme avec les chaînes photoélectriques et ont la capacité de casser et de couper (intersection) en plus de la protection contre les surtensions (inhibiteur de surintensité).

Facultativement, la boîte de jonction peut contenir des fusibles sur chaque chaîne de module PV.

1) Système de protection:

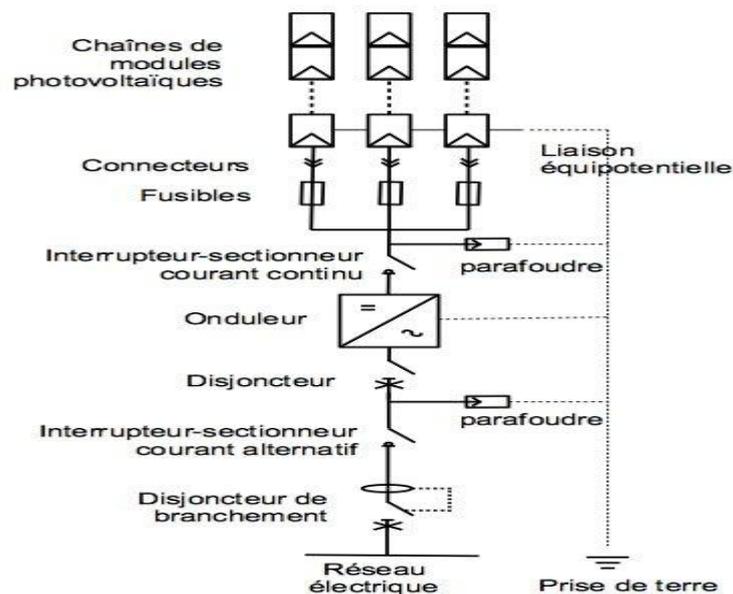


Figure 0-7 : système de protection

- **Les parafoudres:**

Dans une installation photovoltaïque, les parafoudres ont pour rôle de protéger les modules photovoltaïques et les onduleurs contre les risques de surtensions induites dans le circuit de la partie continue.

- **Les sectionneurs:**

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties.

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

- **Les fusibles:**

En situation de fonctionnement normal, le fusible doit assurer le rôle de conduction.

Lors de l'apparition d'un défaut électrique (courant anormalement élevé par rapport au courant nominal de conduction), le fusible assure alors le rôle de coupure : le fusible, se présente sous la forme d'un ruban ou d'un fil métallique, fond puis se vaporise en raison de l'apport d'énergie par le défaut électrique qu'il doit interrompre.

- **Les disjoncteurs:**

Dans une installation électrique, des courants anormalement élevés peuvent apparaître.

Afin de s'en prémunir, il est préférable de mettre en place un dispositif permettant de couper l'installation dans le cas échéant. C'est le rôle des disjoncteurs. L'apparition d'un courant anormalement élevé peut-être de deux types : surcharge et court-circuit.

Deux technologies de disjoncteurs existent :

- **Les disjoncteurs thermiques** : Ils protègent contre les surcharges prolongées qui provoquent un échauffement. Il n'est pas efficace contre les surintensités brèves.
- **Les disjoncteurs magnétiques** : Ils protègent contre les surintensités brèves avec une grande précision, qui peut être contrôlée.

Conclusion :

En conclusion de ce premier chapitre sur l'énergie solaire photovoltaïque et la centrale photovoltaïque, nous avons vu que cette technologie est en constante évolution et qu'elle offre de nombreux avantages en termes de production d'énergie propre et renouvelable. Nous avons également vu que des projets citoyens coopératifs ont émergé pour favoriser l'installation de centrales photovoltaïques à l'échelle locale. Enfin, nous avons pu constater que des études ont été menées pour optimiser la production d'énergie solaire photovoltaïque dans des zones désertiques maritimes.

CHAPITRE II
MODELISATION D'UNE CENTRALE
PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction :

Ce chapitre aborde l'aspect géométrique du site d'étude, qui est essentiel pour obtenir les données météorologiques nécessaires et effectuer des calculs analytiques. De plus, il examine les défauts susceptibles de se produire dans la centrale photovoltaïque et propose des mesures préventives pour les éviter.

II.1 Aspects géométriques :

Nous allons nous intéresser ici au calcul du flux de chaleur radiatif reçu par un plan incliné placé à la surface de la Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.¹⁵

II.2 Systèmes de coordonnées :

II.2.1 Coordonnées terrestres :

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir sa latitude φ (positive dans l'hémisphère nord, négative dans l'hémisphère sud) et sa longitude L (positive à l'ouest, négative à l'est).¹⁶

◆ La latitude φ

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. Elle est comptée de 0° à $+90^\circ$ positivement dans l'hémisphère nord et négativement dans l'hémisphère sud.

◆ La longitude L

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé. On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest. La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre -180° et $+180^\circ$, à tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.¹⁷

¹⁵Y. Jannot, « thermique solaire ». Livre solaire, *Octobre 2003*

¹⁶Jacques Bernard « énergie solaire calculs et optimisation » édition ellipses, 2004

¹⁷Rorni Abdelhalim « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la Puissance maximale d'un panneau solaire », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2009.

- **Inclinaison:**

C'est l'angle que forme le plan de capteur et l'horizontal du lieu.

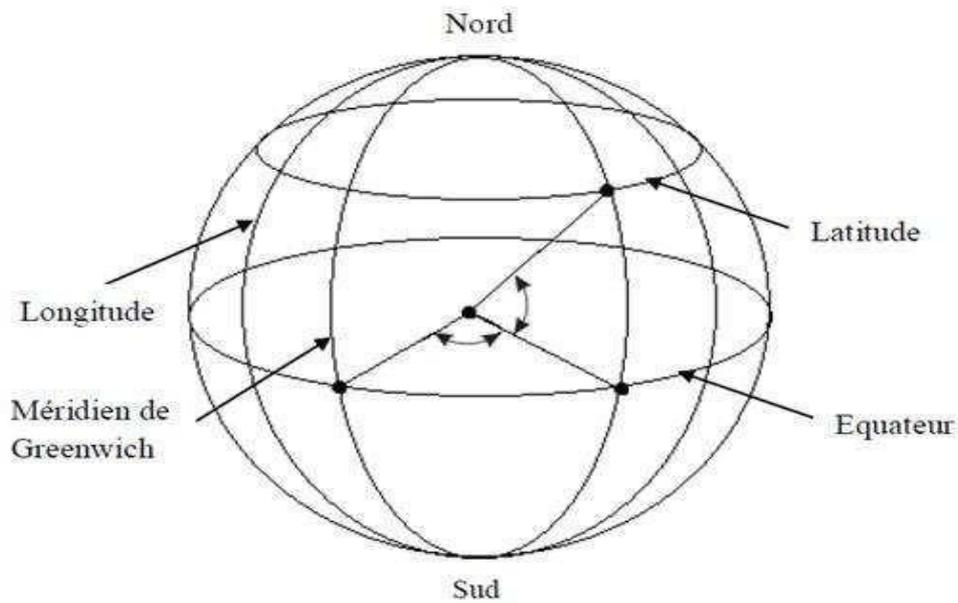


Figure 0-1: Coordonnées terrestres.

- **Coordonnées équatoriales:**

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

- ◆ **La déclinaison δ :**

C'est l'angle que forme la direction du soleil avec le plan équatorial.

La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année : elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ces deux valeurs extrêmes au solstice d'hiver ($-23^{\circ},27'$) et au solstice d'été ($+23^{\circ},27'$). Elle est donnée par la relation suivante :¹⁸

$$\delta = 23,45 \times \sin [0,980 \times (n - 81)](0-I)$$

n : Numéro du jour de l'année à partir du 1er janvier.

- ◆ **L'angle horaire ω :**

L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu quand le solaire est au zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du Soleil sur ce même plan au midi solaire. Sa valeur est nulle à midi solaire, négative le

¹⁸Zouache Foudil « étude de la concentration solaire sur les performances des Systèmes photovoltaïques », Mémoire de magister, département d'électronique. Université Mentouri de Constantine, 2009.

matin et positive en après-midi et elle augmente de 15° par heure. Il varie entre -180° et +180°. ¹⁹

$$\omega = 15 \times (\text{TSV}-12) \quad (0-2)$$

Avec :

ω : en degré

TSV : temps solaire vrai

● **Coordonnées horizontales:**

Dans ce système de coordonnées le soleil est repéré par sa hauteur h , son azimut α et l'horizon astronomiques comme plan de référence. ²⁰

◆ **La hauteur du soleil H :**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. La hauteur du soleil varie à chaque instant de la journée et de l'année selon la relation suivante :

$$\sin H = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega \quad (0-3)$$

◆ **L'azimut du soleil α :**

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du Sud.

Les azimuts varient de 0° à 360° de l'ouest vers l'est. Ils sont donnés par la formule suivante : ¹⁸

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \times \sin \omega}{\cos H} \quad (0-4)$$

¹⁹Belaiche Hacene, Nanouche Yacine « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2014.

²⁰Chirifi Oussama, Madache Hamza « Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière », Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.

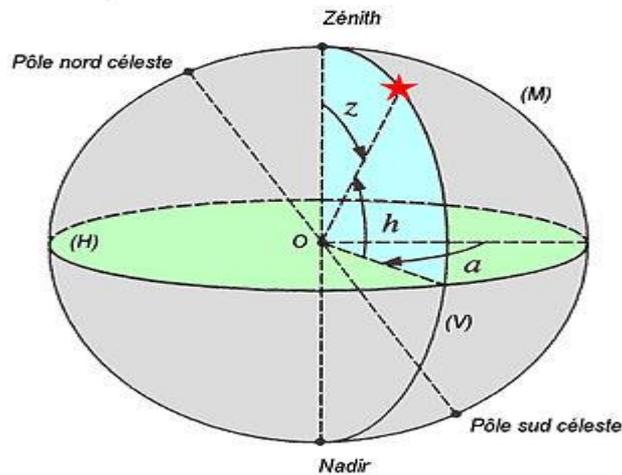


Figure 0-2 : Coordonnées horizontales

II.3 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :

Les problèmes concernant l'interconnexion du système photovoltaïque au réseau sont ²¹²² :

- Le débrogage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance (le problème d'islanding).
- La protection contre la foudre.
- La qualité de puissance fournie au réseau.
- Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.
- Le dosage fiable des flux de puissance.
- Risques techniques et financiers.

II.4 Différents défauts des systèmes photovoltaïques :

Comme tous les systèmes d'alimentation électrique, il existe de nombreux défauts qui doivent être corrigés.

En ce qui concerne les systèmes d'énergie photovoltaïque, il existe cinq types de défauts :

²¹Synergrid, «Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution». Fédération des Gestionnaires de Réseaux électrique et Gaz en Belgique.

²²Annexe de l'arrêté du 30 décembre 1999 relatif aux conditions techniques de raccordement au réseau public de transport des installations de production d'énergie électrique de puissance installée inférieure ou égale à 120 MW, d'EDF en France

- Défauts de Mismatch et d'ombrage
- Défauts de la diode de by-pass
- Défauts de module
- Défauts de connectique
- Défauts de la diode anti-retour

II.4.1 Défaut de mismatch et d'ombrage :

Bien que l'intérêt soit croissant dans la recherche pour améliorer les performances de systèmes photovoltaïques (PV), il y a peu de travaux effectués jusqu'à présent sur la détection des pannes de systèmes photovoltaïques. L'ombrage est parmi les causes des pannes au niveau des modules PV. En effet, l'ombrage de la surface de la cellule se fait par des infrastructures ou à cause du relief naturel (un fil électrique, cheminées, des arbres ou à d'autres parties de construction) ²³.

Le module peut devenir polarisé en inverse, fonctionnant comme charge au lieu de générateur. Cela produit la réduction de la puissance de sortie et des points chauds (hot spot). Ce hot spot provoque l'apparition d'un circuit ouvert et risque de détruire ce module. Le défaut de mismatch est le défaut causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I-V non identique. Tout changement dans l'un des paramètres de l'équation du courant (I_{pv}) conduira à la dissemblance de leur caractéristique. Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules. ²⁴

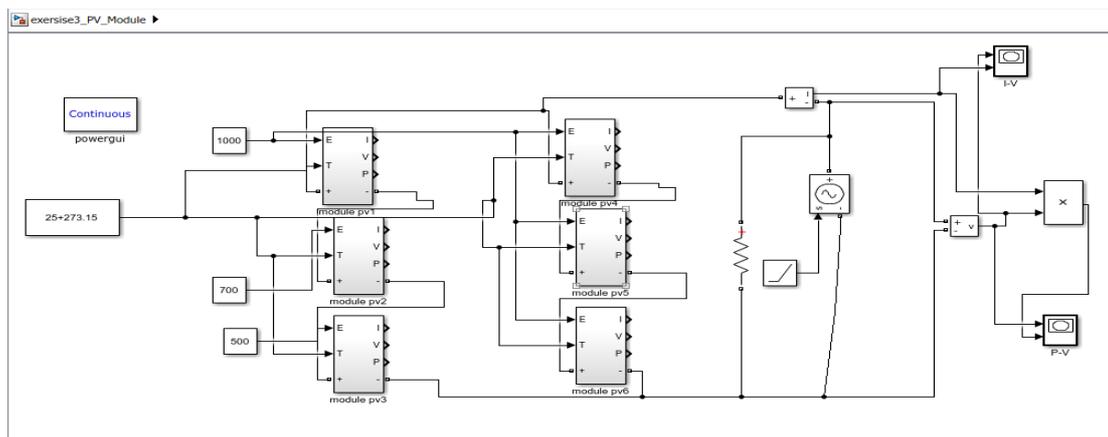


Figure 0-3 : Simulation GPV avec Défaut de mis match et d'ombrage par

Mathlab-Simulink

²³R.P.Mukund, « wind and Solar power Systems », Ph.D, Université merchant marine, 1999.

²⁴Bertrand RAISON << Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV >> THÈSE Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. 7 août 2006

Comme on peut le constater sur les figures (I-V) et (P-V) ci-dessous, plusieurs points optimums sont obtenus suivant le taux de l'ombrage sur le module considéré.

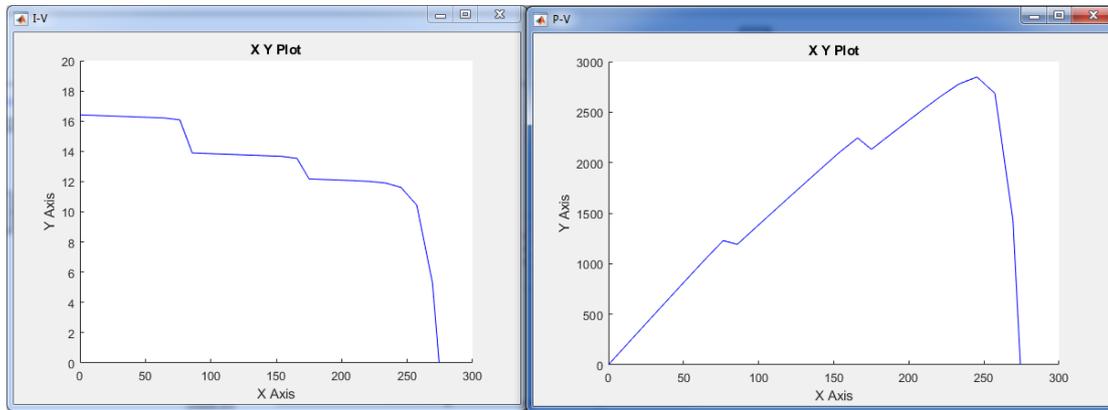


Figure 0-4 : Influence de l'ombrage sur les caractéristiques (I-V) et (P-V)

II.4.2 Défaut de diodes de by-pass :

Dans son bon état, la diode By-pass est passante quand la somme des tensions des cellules qu'elle protège est négative et elle est bloquée dans le cas contraire. Dans son état défaillant, ce rôle de protection n'est plus assuré. Les défauts électriques associés à cette diode sont : diode court-circuitée, diode déconnectée et diode inversée. En plus de ces défauts électriques, cette diode pourrait être éventuellement claquée en cours de fonctionnement et se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque. La Figure suivante montre un schéma d'un groupe de cellules dans lequel la diode de By-pass est remplacée par un élément qui peut, à chaque fois, prendre un des états défaillants de la diode : court-circuit, circuit ouvert, impédance quelconque et diode inversée.²⁴

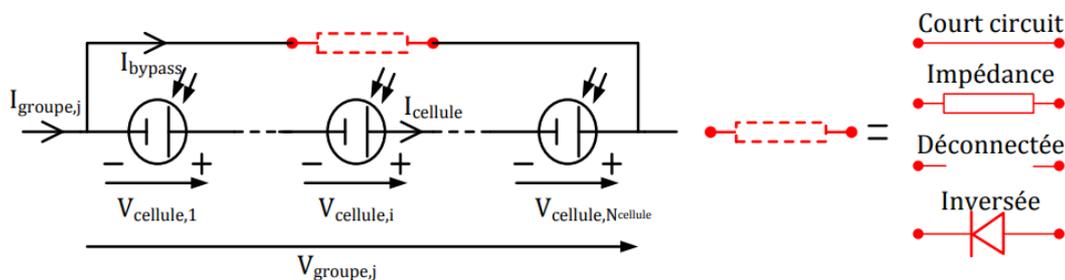


Figure 0-5 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de by-pass

- **Cas « court-circuit »**

La tension du groupe de cellules s'annule. Le courant du groupe de cellules est égal à la somme du courant circulant dans les cellules et de celui circulant dans le chemin court-circuit. Le courant circulant dans les cellules est égal au courant maximum produit par les cellules et le chemin court-circuitant porte le courant en excès.

$$V_{\text{groupe } j} = 0 \quad (\text{II.5})$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{bypass}} + I_{\text{cellule}} \quad (\text{II.6})$$

- **Cas « impédance Z quelconque »**

La tension du groupe est égale à la somme de la tension de toutes les cellules dans le groupe. Le courant du groupe est égal à la somme du courant circulant dans le string de cellules et de celui circulant dans l'impédance.

$$V_{\text{groupe } j} = \sum_{i=1}^N \text{cellule } V_i \quad (\text{II.7})$$

- **Cas « circuit ouvert »**

La tension du groupe est égale à la somme de la tension des cellules du groupe. Le courant du groupe est égal au courant circulant dans le string de cellules. N_{Cellule}

$$V_{\text{groupe } j} = \sum_{i=1}^N \text{cellule } V_i \quad (\text{II.8})$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{cellule}} \quad (\text{II.9})$$

- **Cas « inversion de la polarité »**

Contrairement à son fonctionnement normal, la diode conduit quand la somme de la tension des cellules qu'elle protège est positive et se bloque dans le cas contraire. Cellule, i

$$V_{\text{groupe } j} = \sum_{i=1}^N \text{cellule } V_i < 0 \quad \text{Si } V_{\text{groupe } j} = \sum_{i=1}^N \text{cellule } V_i \quad (\text{II.10})$$

$$V_{\text{groupe } j} = \sum_{i=1}^N \text{cellule } V_i > 0 \quad \text{Si } V_{\text{groupe } j} = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{bypass}} + I_{\text{cellule}} \quad (\text{II.12})$$

II.4.3 Défaut de module

Le défaut de module se réfère à tous les défauts électriques associés à la connexion d'un module dans un string PV. Ces défauts électriques sont : module court-circuit, module connecté en parallèle avec une impédance et inversion de la polarité du module. La Figure suivante montre le schéma d'un module avec l'élément qui représente à chaque fois un des états défailants de la connexion du module. ²⁴

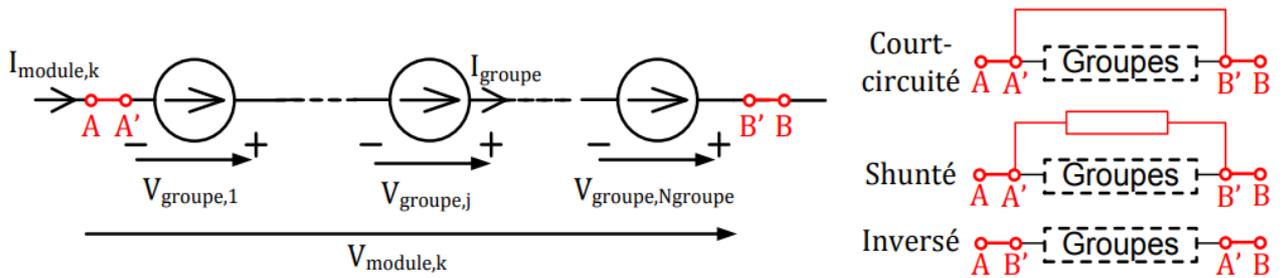


Figure 0-6 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de module

Conclusion :

On conclure pour ce chapitre que pour réaliser cette centrale, on peut utiliser les equations précédents pour le dimensionner. Et encore, pour assurer que cette centrale va fonctionne correctement, tous les effectifs doit savoir les pannes à s'attendre pour le confronter.

CHAPITRE III

**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE
DE
LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE**

Introduction :

Dans ce chapitre, on va étudier la variation de la production de la centrale photovoltaïque de capacité de 300MWc avec la variation des facteurs externes (éclairage et température), et faire une étude techno-économique de la centrale avec technologie monocristalline, bi-facial et photovoltaïque-thermique (PVT).

III.1 Société SHAEMS « SPA » :

La société algérienne des énergies renouvelables SHAEMS : Constituée par les deux acteurs majeurs de l'énergie, à savoir SONATRACH et SONELGAZ et a pour mission de :

- Développement du programme national des énergies renouvelables.
- Recherche des partenaires pour la réalisation des projets des énergies renouvelables.
- Promotion de l'intégration nationale dans le domaine des énergies renouvelables.

III.2 Projet SOLAR 1000 MW :

Solar1000 MW représente la première phase de l'ambitieux projet national de transition énergétique en Algérie visant à installer 15.000 MW d'énergie renouvelable d'ici 2035, cette appel d'offre à investisseurs nationaux et internationaux en B.O.O (Build, Own, Operate), est partagé en 5 lots sur 5 wilayas du sud et des haut plateaux (Laghouat, Ouargla, Touggourt, El Oued, Bechar), il permettra aux producteurs d'énergies indépendants la production de plus de 2.600 GWh par an d'énergie propre et durable qui économiseront 600 millions de m³ de gaz par an et réduiront notre impacte carbone d'un millions de tonnes de CO₂ par an.

III.3 SOLAR 1000MW: El-Foulia 300MW:

Site géographique : «El-Foulia, Guemar W.El-Oued»

Coordonnées géographiques :

- Latitude :33.726.
- Longitude :6.752.



Figure 0-7: Site géographique d'ElFoulia

III.4 Base des données :

La base de cet projet est centrée aux facteurs externes mesurés (éclairage, température, vent, humidité...), la société SHAEMS SPA a choisis les 05 sites à base des données accumulées de la base des données météorologique à partir de 48 sites distribué au terrain algérien .

III.5 Données obtenus de la base métrologique d'aéroport du Guemar, El-Oued :

Le tableau suivant représente l'irradiation mensuelle incidente sur le plan incliné selon le site (33°) et la température mensuelle moyenne.

- Moyen des heures d'ensoleillement : $H_{equivalente}=3500\text{heures/an}$
- Moyen d'éclairement incident au plan horizontal : 675.81W/m^2
- Température moyenne : $T= 30.42\text{C}^\circ$.

Tableau III.1 : Les données du site d'El-Foulia

Mois	Irradiation mensuelle Sur plan horizontal [KWh/m ²]	Température moyenne mensuelle [C°]	Température réelle mensuelle [C°]
Janvier	189,86	8	18
Fevrier	180,60	10,1	18
Mars	203,13	17,2	22
Avril	212,89	21,2	30
Mai	219,69	27	33
Juin	211,68	30,7	44
Juillet	226,40	34,3	45
Aout	223,71	32,3	43
Septembre	196,21	28,2	37
Octobre	193,03	23,3	31
Novembre	164,27	16,1	24
Decembre	143,88	8,5	20
TOTAL	2365,35	/	/
MOYEN	197,1125	21,41	30,42

- Nous pouvons conclure que l'irradiation, au niveau mensuel que ces valeurs (colonne 1 et 3) sont plus proches de la réalité que des autres valeurs .
- Et elle diminue en hiver à cause de l'espacement de la terre avec le soleil donc automatiquement la température se diminue.
- Pour ce ça on a levé les données de la base météo de l'aéroport d'El-Oued qui sont logique.
- On peut additionner que les valeurs de la température sont des valeurs moyennes , ça veut-impliquer que la température au «Peak » est plus grande que ça (de 10° à 15° approximativement).
- La colonne 2 implique que données obtenus de les bases des données estimées par les satellites sont inférieurs que les données à la réalité.

III.6 Variation des facteurs externes sur le panneau et la centrale photovoltaïque :

Le tableau suivant exprime la variation de la production électrique du panneau et de la centrale en fonction de l'éclairement et de la température :

NB : on va faire une étude sur un centrale type de capacité de 10,83MWc.

Tableau III.2 : Variation du panneau et de la centrale en fonction de la température et l'éclairement.

		STC	E=675.8 1	E=1245	T=30.41	T=45	T=62	T=0	T= -5
Panneau	P	450	304.11	560.25	355.66	333.34	307.33	536.06	543.71
	V	42.90	40.49	40.14	42.25	40.50	38.46	45.90	46.50
		51.50	48.62	48.18	50.72	48.62	46.17	55.11	55.83
	I	10.49	7.09	13.06	10.52	10.59	10.63	10.36	10.34
		11.32	7.65	14.09	11.35	11.43	11.52	11.18	11.16
Centrale 10MW	P	10.84	7.32	13.49	8.56	8.03	7.40	12.91	13.09
	V	858	809.8	802.8	845.0	810.0	596.2	918.0	930.0
		1030	972.4	963.6	1014.4	972.4	923.4	1102.2	1116.6
	I	12629.96	8536.36	15724.24	12666.08	12750.36	12798.52	12473.44	67219.32
		13629.28	9210.6	16964.36	13665.4	13761.72	13870.08	13460.72	13436.64

Avec :

- P : Puissance produite par le générateur PV en (W).
- V : La tention de sortie du générateur PV en (V).
- I : Le couron du sortie du générateur PV en (A).

N.B : La centrale de capacité de 10MWc est une centrale type pour simplifier les calculs .

III.7 Modélisation d'une mini-centrale photovoltaïque :

La centrale de la production d'électricité à base des panneaux solaires photovoltaïques de la capacité du 300MW est dévisée en 30 mini-centrales de la capacité de 10MW :

Figure 0-8:Schéma descriptive d'une mini centrale de 10MW

III.7.1 Méthode analytique :

La puissance nominale : dans le choix de la puissance nominale sous les condition suivants:
Ects =675,81W/m², T= 45C°, AM1,5.

Pour faire connaître la puissance annuelle nécessaire de notre installation, on doit utiliser les equations suivants :

$$V = V(\text{STC}) * (1 + \alpha (T - 25)) \quad (\text{III.1})$$

$$P = \frac{G}{1000} * P_{\text{mpp}}(\text{STC}) * (1 + \beta(T - 25)) \quad (\text{III.2})$$

$$I = \frac{G}{1000} * I(\text{STC}) * (1 + \gamma(T - 25)) \quad (\text{III.3})$$

$$T_{\text{cell}} = T_{\text{amb}} + \frac{G}{1000} * (T_{\text{noct}} - 20) \quad (\text{III.4})$$

Avec :

V : La tension du panneau.

P : La puissance du panneau.

I : Le courant du panneau.

T : La température.

α : Coefficient de l'effet de la température sur la tension du panneau.

β : Coefficient de l'effet de la température sur la puissance du panneau

γ : Coefficient de l'effet de la température sur le courant du panneau

III.7.2 Mini-centrale de 10MW :

Puissance d'onduleur :

$$P_{\text{ond}} = \frac{\text{Puissance installée crête} * \text{Marge sécuritaire}}{\text{Rendement d'onduleur}} = 15\text{MW}$$

Puissance à installer :

$$P_{\text{installé}} = \frac{\text{Pond} * \text{Rendement d'onduleur}}{\text{Marge sécuritaire}} = 7.3098 \text{ MW} = 7.31\text{MW}$$

Nombre des panneaux :

$$N_{\text{panneaux}} = \frac{P_{\text{installé crête}}}{P_{\text{panneau}} * \text{coef.éclairement} * \text{coef.temp}} = \frac{7.31 * 10^6 \text{W}}{450\text{W} * 0.675} = 24036,99 = 24037$$

Nombre des panneaux en série :

$$N_{\text{panneaux série}} = \frac{V_{\text{dc max}}}{V_{\text{co panneau}} * \text{coef.sécurité}} = \frac{1500}{51.7 * 1.3} = 22,318 = 22 \text{ panneaux max/}$$

chaîne

Nombre des panneaux en parallèle :

$$N_{\text{panneaux parallèle}} = \frac{\text{Nbr panneaux}}{\text{Nbr série}} = \frac{24037}{22} = 1092,591 = 1093 \text{ chaînes/ générateur PV}$$

Nombre des panneaux en total :

$$N_{\text{totale des panneaux}} = \text{Nbr parallèle} * \text{Nbr série} = 1093 * 22 = 24046 \text{ panneaux}$$

- On peut changer le nombre des panneaux totale, en série et en parallèle selon le nombre des entrées des sous-champs dans l'onduleur centralisé, on déduire :
 - ✓ Nombre des panneaux totales = 24080 panneaux
 - ✓ Nombre des entrées préférées = 28 sous champs
 - ✓ Nombre des panneaux en série= 20panneaux
 - ✓ Nombre des chaînes en parallèle= 43 chaînes/ sous champ

- ✓ Nombre des chaines en parallèle dans le mini-centrale=1204chaines/minicentrale.
- ✓ Nombre des boites jonction dans le mini-centrale= 392 boites jonction
- ✓ Nombre des boites parallèle dans le mini-centrale= 112 boites parallèle

III.8 Calculs économiques :

Suite à notre étude du notre système d'installation (centrale type de 10MWc) il est important d'évaluer le cout annuel totale de notre système.

III.8.1 Énergie produite pendant 20 ans :

L'amortissement de l'investissement est estimé de 20ans, et l'énergie produite et le resource seront calculés comme suit :

Energie produite : $En (KWh)=(N_p * P_{ins} * C_{coef.éclairage} * H_{equivalent} * 20ans) / 1000 =$

$$276,52 * 24080 * 30 * 3500 * 20 = 13,831,081,240 KWh$$

$$= 13.831 TWh$$

Retour d'investissement $R = \text{Energie produite} * \text{Prix du KWh}$

Avec : Prix du KWh= 14 .816 DA/ KWh produite

$$R = 13,831,081,240 KWh * 14.816 DA = 204,921,299,600 DA$$

III.8.2 Prix d'investissement :

L'analyse économique qui permettra de determiner le cout total du projet et faite pour exprimer le cout d'installation avec amélioration de la production en utilisant des plaques d'aluminium sur la base des hypotheses suivantes :

Prix de l'installation (champ photovoltaïque+ cablage, montage, structure...)

$$1MW = 1,000,000 USD = 133,330,000 DA$$

$$300MW = 300,000,000 USD = 39,999,000,000 DA$$

Prix d'onduleur centralisée (+régulateurs MPPTs) :

Le cout initiale de les onduleurs est inclu au calcul précédent, mais à cause de protection additionnelle , chaque onduleur va avoir 5MWc plus que la production au conditions STC pour acquerir tout la production.

N.B: Ces changements sont fait après une étude délicat au centrales déjà existé en Algérie (Ex : la centrale de « Hgira » est de capacité de 30MWc mais la production dépasse cette valeur régulièrement et l'énergie additionnelle est perdu à cause de mal-dimensionnement).

$$1W = 0.25 USD = 33.3325 DA$$

$$1MW = 250000 USD = 33,332,500 DA$$

$$15MW = 3750000 USD = 499,987,500 DA$$

$$150MW = 37500000 USD = 5,062,500,000 DA$$

Prix de la maintenance : 1% * prix total d'investissement

=60,000,000USD = 8,100,000,000DA

TOTAL= 397,500,000USD= 53,662,500,000DA

Prix des travaux civils pour notre projet :

Ce projet est un projet surface équivalente à 6Km², il est obligé d'avoir quelques choses qui sont importantes comme :

- ◆ Grillage de 3,5 mètres de hauteur avec des fils barbelés.
- ◆ 10 postes police.
- ◆ Centre de commande et surveillance
- ◆ Restaurant + Foyer
- ◆ Administration
- ◆ Chambre des arrivées
- ◆ Chambre des onduleurs + Chambre des transformateurs
- ◆ Chambre de filtration d'eau
- ◆ Bache-à-eau
- ◆ Résidence des effectifs internes

L'ingénieur civile a estimé que le montant totale de ces blocs équipés approximativement égale à **17,613,500,000DA** pour la centrale équipée sans l'installation photovoltaïque.

Salaire des effectifs :

Le tableau suivant exprime le montant totale des salaires des effectifs de la centrale selon leur grade, position et période du travail :

Tableau III.3 : Le montant totale des salaires des effectifs de la centrale selon leur grade

Effectif	Salaire mensuelle	Nombre des effectifs	Periode du travail (16mois)	Total
Injénieur	120,000	20	20	768,000,000
Technicien supérieur	60,000	60	20	1,152,000,000
Agent polyvalent	45,000	30	20	432,000,000
Agent de sécurité	50,000	50	20	800,000,000
TOTAL				3,152,000,000

Total prix d'investissement :

On peut simplifier le coût de la mini-centrale dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Type d'investissement et leur montant

Investissement	Montant (DA)
Installation	39,999,000,000
Onduleur	5,062,500,000
Maintenance	8,100,000,000
Travaux civiles	17,613,500,000
Effectifs	3,152,000,000
Total 01	74,428,000,000

III.9 Etude du cas : Améliorer la production en utiliser l'aluminium pour augmenter l'éclairage diffus :

Dans ce cas, on va étudier la variation de la production électrique en posant des plaques d'aluminium (5083) pour augmenter l'éclairage diffus et maximiser la production .

III.9.1 Variation des facteurs externes sur le panneau et la centrale photovoltaïque :

Le tableau suivant exprime la variation de la production électrique du panneau et de la centrale en fonction de l'éclairage avec un albédo de (85%) et de la température en appliquant un peu de diminution

Tableau III.5 : Variation du panneau et de la centrale en fonction de la température et l'éclairement.

		STC	E=675.81	E=1543,1 8	E=872,7 5	T=30,41	T=45	T=62	T= -5
Panneau	P	450	304,11	694,43	392,74	355,66	333,34	307,33	543,71
	V	42,90	/	/	/	42,25	40,50	38,46	46,50
		51,50	/	/	/	50,72	48,62	46,17	55,83
	I	10,49	7.09	16,19	9,16	10,52	10,59	10,63	10,34
		11,32	7.65	17,47	9,88	11,35	11,43	11,52	11,16
Centrale 10MW	P	10,84	7.32	16,72	9,46	8,56	8,03	7,40	13,09
	V	858	/	/	/	845,0	810,0	596,2	930,0
		1030	/	/	/	1014,4	972,4	923,4	1116,6
	I	12629,96	8536,36	19490,18	11022,80	12666,08	12750,36	12798,52	67219,32
		13629,28	9210,6	21032,30	11894,95	13665,4	13761,72	13870,08	13436,64

III.9.2 Calculs financières :

Suite à notre étude de notre système d'installation avec amélioration de la production par installer l'aluminium et refroidissement par un échangeur PV-T (mini-centrale de 10MW) il est important d'évaluer le coût annuel totale de notre système

III.9.3 Energie produite pendant 20 ans :

L'amortissement de l'investissement est estimé de 20ans avec une amélioration du production électrique par élévation de l'éclairement diffus, et l'énergie produite et le resource seront calculés comme suit :

$$En (KWh) = (N_p * P_{ius} * C_{coef.éclairement} * H_{equivalent} * 20ans) / 1000$$

$$= 362,14 * 24080 * 30 * 3500 * 20 = 18,312,569,100 KWh = 18.313 TWh$$

● Retour d'investissement

$$R = \text{Énergie produite} * \text{Prix du KWh}$$

$$= 18,312,569,100 KWh * 14.816 DA = 271,319,023,800 DA$$

III.9.4 Prix d'investissement :

On va calculer le prix de l'installation et leur maintenance pour le cas d'augmenter l'éclairement par utilisation des plaques aluminium.

$$6,000,000 m^2 * 0.0002 m = 1,200 m^3 * 2,700 Kg = 3,240,000 Kg$$

$3,240,000 * 1.8 \text{USD} = 5,832,000 \text{USD} * 135 \text{DA} = 787,320,000 \text{DA}$

Transport : 04% = 31,492,800DA

Maintenance : Changement chaque 2ans= $787,320,000 * 10 \text{ans} = 7,873,200,000 \text{DA}$

Totale= 8,692,012,800DA

Tableau III.6 : Type d'investissement et leur montant

Investissement	Montant (DA)
Total 01	74,428,000,000
Plaques Aluminium	787,320,000
Maintenance	7,873,200,000
Transport	31,492,800
Totale 02	83,120,012,800

III.10 Etude du cas : Améliorer la production en utiliser l'aluminium pour augmenter l'éclairage diffus l'intégration des échangeurs de la chaleur pour diminuer la température :

Suite à notre étude de notre système d'installation avec amélioration de la production par installer l'aluminium et refroidissement par un échangeur thermique (mini-centrale de 10MW) il est important d'évaluer le coût annuel totale de notre système

Tableau III.7 : Variation des facteurs externes sur le panneau et la centrale photovoltaïque avec un albédo de 0,85

		STC	E=675.81	E=1543,18	E=872,75	T=30,41	T=45	T=62	T= -5
Panneau	P	450	304,11	694,43	392,74	355,66	333,34	307,33	543,71
	V	42,90	/	/	/	42,25	40,50	38,46	46,50
		51,50	/	/	/	50,72	48,62	46,17	55,83
	I	10,49	7.09	16,19	9,16	10,52	10,59	10,63	10,34
		11,32	7.65	17,47	9,88	11,35	11,43	11,52	11,16
Centrale 10MW	P	10,84	7.32	16,72	9,46	8,56	8,03	7,40	13,09
	V	858	/	/	/	845,0	810,0	596,2	930,0
		1030	/	/	/	1014,4	972,4	923,4	1116,6
	I	12629,96	8536,36	19490,18	11022,80	12666,08	12750,36	12798,52	67219,32
		13629,28	9210,6	21032,30	11894,95	13665,4	13761,72	13870,08	13436,64

III.11 Calculs financières :

Suite à l'étude de notre système installé (mini-centrale de 10MW) il est important de calculer son coût total.

III.11.1 Energie produite pendant 20 ans :

L'amortissement de l'investissement est estimé de 20ans avec une amélioration du production électrique par élévation de l'éclairement diffus et refroidissement par un échangeur thermique, et l'énergie produite et le resource seront calculés comme suit :

L'énergie produite :

$$E_p(\text{KWh}) = (N_p * P_{\text{ius}} * C_{\text{coef.éclairement}} * H_{\text{equivalent}} * 20\text{ans}) / 1000 =$$

$$(385,09 * 24080 * 30 * 3500 * 20) / 1000 = 19,473,183,500 \text{KW} = 19.473 \text{TWh}$$

$$\text{Retour d'investissement : } R = \text{Énergie produite} * \text{Prix du KWh}$$

$$= 19,473,183,500 \text{KWh} * 14.816 \text{DA} = 288,514,686,700 \text{DA}$$

III.11.2 Prix d'investissement :

$$\text{Installation PV-T : } 1W_c = 0.33 \text{USD} = 24,080 * 30 * 450 W_c = 325,080,000 W_c * 0.33 \text{USD} = 107,276,400 \text{USD} * 135 \text{DA} = 19,985,593,320 \text{DA}$$

Tableau III.8 : Montant d'investissement

Investissement	Montant (DA)
Installation	39,999,000,000
Onduleur	5,062,500,000
Maintenance	8,100,000,000
Travaux civiles	17,613,500,000
Effectifs	3,152,000,000
Total 01	74,428,000,000
Plaques Aluminium	787,320,000
Maintenance	7,873,200,000
Transport	31,492,800
Totale 02	83,120,012,800
PV-T	19,985,593,320
Totale 03	103,105,606,120

III.12 Résultat de l'étude :

Dans ce titre on va présenter les résultats de notre étude pour les 03 cas (Panneau monocristallin, bi-facial et Panneau photovoltaïque thermique) :

III.12.1 Régulation de l'irradiation :

Le graphe suivant représente la modification analytique qu'on a fait :

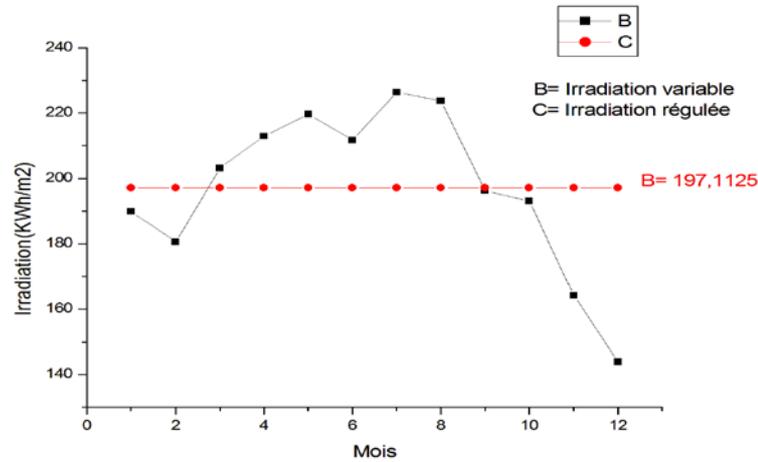


Figure 0-9: Graphe représentant la regulation de l'irradiation pendant l'année

- Le graphe représente la variation d'irradiation mensuelles pendant 12 mois, cordialement avec l'espace entre la terre et le soleil, pour simplifier les calculs de notre étude et parce que la production solaire photovoltaïque approximativement coïncide avec la consommation générale de la population (les consommateurs majeurs d'électricité).
- La variation de l'irradiation mensuelle est fixée par la méthode de l'intégration pour avoir l'irradiation annuelle et division sur le nombre des mois pour avoir une irradiation mensuelle constante ($197,1125 \text{ KWh/m}^2$).

III.12.2 Productivité de la centrale :

Le graphe suivant représente la productivité de la centrale dans les trois cas :

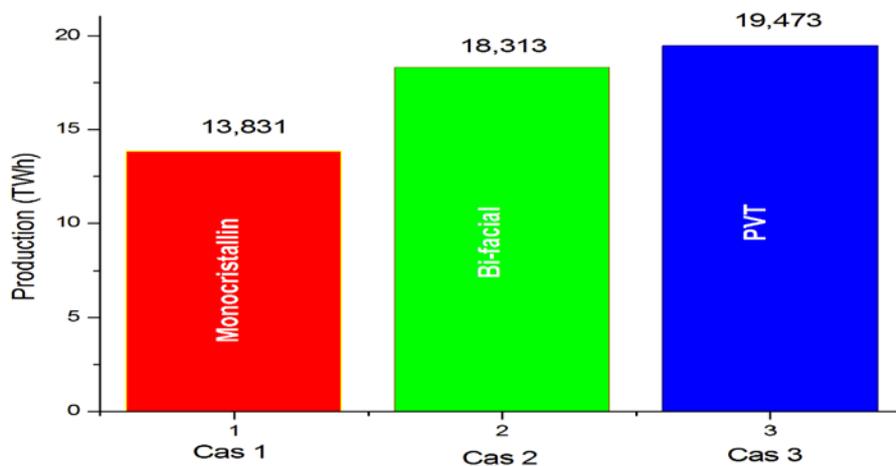


Figure 0-10: Graphe représentant la productivité de la centrale.

- Le graphe représente la productivité des trois cas de notre étude, on observe que le 3^{ème} cas est le plus efficace à cause d'une productivité major par rapport aux autres cas.
- Il faut noter qu'il n'y a pas une grande différence entre le 2^{ème} et 3^{ème} cas, mais l'utilisation du refroidissement va protéger contre l'effet « Hotspot » et au même temps va produire un peu d'électricité s'il est bien dimensionné.

III.12.3 La température :

A cause du manque de les données, on doit traiter ce qu'on avait de la base métrologique de l'aéroport de Guemar, Wilaya d'El-Oued :

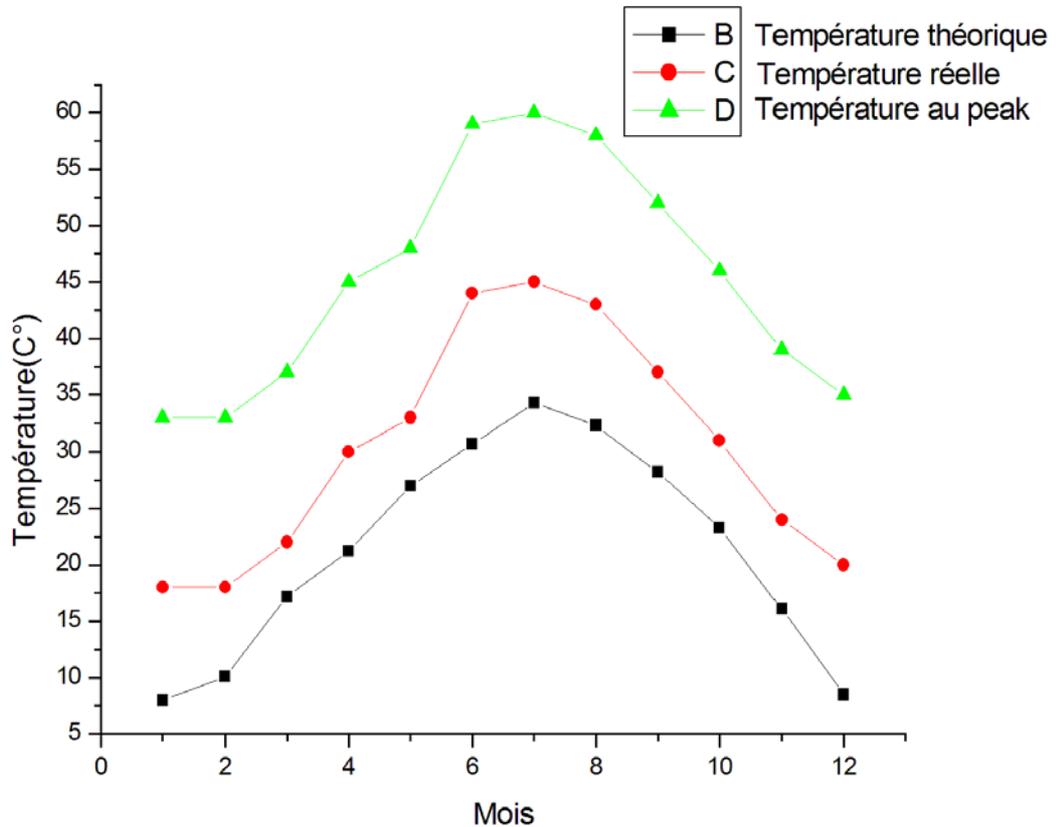


Figure 0-11: Graphe représentant la différence de température

- Il est clair que la température théorique n'est pas une valeur fiable, pour ça on a obtenu les résultats réels de la base météo de l'aéroport de Guemar, Wilaya d'El-Oued.
- Les résultats obtenus sont des résultats mensuels, pour préciser la température au peak on a augmenté la température réelle par 15C° (Le différence de température entre le jour et la nuit est de 20 à 30C°).

III.12.4 Comparaison de la capacité installée et la productivité de la centrale :

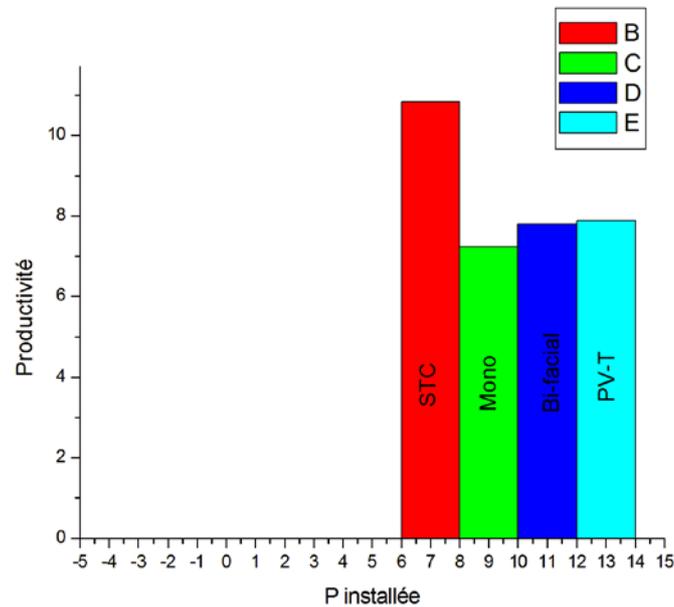


Figure 0-12: Comparaison entre la capacité installé et la productivité de chaque cas

- La figure si-dessus explique la puissance installée dans les conditions STC et dans les 03 cas.
- La différence de productivité est dû à la variation de l'éclairement et la température.

Conclusion :

On conclure que ce dimensionnement, malgré le manque des données, elle est fiable et notamment rentable. Mais cette étude se varie s'il y a un changement technique ou économique sur le marché mondial.

Conclusion Générale

En conclusion, l'étude sur la contribution à la réalisation d'une centrale photovoltaïque de 300 MW est purement théorique et a des perspectives de développement. Bien qu'il y ait eu des avancées dans la technologie photovoltaïque, les cellules en silicium ont toujours la plus grande part de marché et la recherche visant à améliorer leur efficacité est toujours pertinente²⁵. Des études numériques ont été menées pour étudier l'angle d'inclinaison optimal des panneaux solaires, ce qui peut augmenter leur puissance de sortie, leur efficacité et leur facteur de remplissage²⁶. Des méthodes efficaces de gestion thermique des modules photovoltaïques sont également en cours de recherche, notamment l'utilisation de technologies de refroidissement par rayonnement²⁷. De plus, des modèles d'intervalle de prévision de la puissance photovoltaïque à court terme ont été développés pour fournir des informations de prévision précises et opportunes, ce qui est essentiel pour les réseaux électriques pour exploiter l'énergie solaire²⁸. La fiabilité des générateurs photovoltaïques est également étudiée au niveau des composants, avec des études analysant les taux de défaillance et les activités de réparation des composants des convertisseurs CC/CA en pont complet²⁹. Dans l'ensemble, bien que l'étude sur la contribution à la réalisation d'une centrale photovoltaïque de 300 MW soit purement théorique, il y a une recherche et un développement en cours dans le domaine du photovoltaïque qui pourraient conduire à des avancées à l'aveni

²⁵Ioana Pintilie « Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development», 2022.

²⁶ Lyu-Guang: Comparative Analysis of Power Output, Fill Factor, and Efficiency at Fixed and Variable Tilt Angles for Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Panels—The Case of Sukkur IBA University, 2022

²⁷ Zhengpeng Li: Investigating the Effect of Radiative Cooling on the Operating Temperature of Photovoltaic Modules., 2021

²⁸ G. Ramkumar: A Short-Term Solar Photovoltaic Power Optimized Prediction Interval Model Based on FOS-ELM Algorithm, 2021

²⁹ E. Spertino: Reliability Analysis and Repair Activity for the Components of 350 kW Inverters in a Large Scale Grid-Connected Photovoltaic System

Bibliographie

- [1]: Bouznit et Pablo-Romero: CO₂ emission and economic growth in Algeria, 2016
- [2]: Bob Dudley: Statistical Review of World Energy, 2019
- [3]: Bouraiou et al: Status of Renewable Energy Potential and Utilization in Algeria, (2020)
- [4] : Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers : « Le photovoltaïque pour tous, conception et réalisation d'installations », deuxième édition, Berlin 2010
- [5] : Liman Amine et Soukane Samir « Etude et modélisation d'un système photovoltaïque autonome », mémoire d'Ingénieur, UMMTO, 2012.
- [6]: Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, IRENA
- [7]: Renewable Energy Technologies, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>
- [8] : B. Chikh-Bled et al, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien », Revue des Energies Renouvelables ICPWE, pp. 61-65, 2003.
- [10]: Maafi, 2000; Maammeur et al., 2017: Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: Case study of North-West of Algeria.
- [11] : Melle BEN CHEIKH EL HOCINE Hanane, « Simulation numérique de modèle collecteur hybride photovoltaïque/photothermique », Mémoire de magistère, Université de Constantine, 2009.
- [12] : B. Flèche et D. Delagnes, Energie solaire photovoltaïque, juin 07, disponible sur : http://www.heliosolaire.com/files/energie_solaire_photovoltaïque.pdf
- [13] : M. Benhaddadi, G. Olivier, "Dilemmes Energétiques", Presses de l'Université du Québec PUQ, 2008.
- [14] : F. Bouchtouche cherfa « Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT ». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.
- [15]:M .ABBASEN Lyes. Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque. Mémoire de magistère. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2011.
- [16] : Y. Jannot, « thermique solaire ». Livre solaire, *Octobre 2003*
- [17] : Jacques Bernard « énergie solaire calculs et optimisation » édition ellipses, 2004
- [18] : Rorni Abdelhalim « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la Puissance maximale d'un panneau solaire », Mémoire de magister, département d'électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [19] : Zouache Foudil «étude de la concentration solaire sur les performances des Systèmes photovoltaïque », Mémoire de magister, département d'électronique. Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [20] : Belaiche Hacene, Nanouche Yacine « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2014.

- [21] : Chirifi Oussama, Madache Hamza « Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière », Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.
- [22] : Synergrid, « Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution ». Fédération des Gestionnaires de Réseaux électrique et Gaz en Belgique.
- [23] : Annexe de l'arrêté du 30 décembre 1999 relatif aux conditions techniques de raccordement au réseau public de transport des installations de production d'énergie électrique de puissance installée inférieure ou égale à 120 MW, d'EDF en France
- [24]: R.P. Mukund, « wind and Solar Power Systems », Ph. D, Université merchant marine, 1999.
- [25] : Bertrand RAISON << Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV>> THÈSE Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. 7 août 2006
- [26] : Ioana Pintilie « Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development », 2022.
- [27] : Lyu-Guang : Comparative Analysis of Power Output, Fill Factor, and Efficiency at Fixed and Variable Tilt Angles for Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Panels—The Case of Sukkur IBA University, 2022
- [28]: Zhengpeng Li: Investigating the Effect of Radiative Cooling on the Operating Temperature of Photovoltaic Modules., 2021
- [29] : G.Ramkumar: A Short-Term Solar Photovoltaic Power Optimized Prediction Interval Model Based on FOS-ELM Algorithm, 2021
- [30] : E. Spertino : Reliability Analysis and Repair Activity for the Components of 350 kW Inverters in a Large Scale Grid-Connected Photovoltaic System

Annexe 01

Aluminum alloys are widely used in various industries due to their desirable properties such as high strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and good formability. The following are definitions and comparisons of several aluminum alloys:

1100: This alloy is commercially pure aluminum, with a minimum aluminum content of 99%. It is soft and ductile, with excellent workability, making it suitable for applications that require intricate forming, such as chemical equipment and reflectors.³⁰

2024: This alloy is a high-strength aluminum-copper alloy, with a copper content of around 4.5%. It has good fatigue resistance and is commonly used in aircraft structures, such as wings and fuselages.³¹

3003: This alloy is a non-heat-treatable aluminum-manganese alloy, with a manganese content of around 1-2%. It has good corrosion resistance and is commonly used in sheet metal work, such as cooking utensils and chemical equipment.³²

5052: This alloy is a non-heat-treatable aluminum-magnesium alloy, with a magnesium content of around 2.5%. It has good corrosion resistance and is commonly used in marine and transportation applications, such as fuel tanks and ship hulls.³³

6061: This alloy is a heat-treatable aluminum-silicon-magnesium alloy, with a magnesium content of around 1%. It has good formability, weldability, and corrosion resistance, and is commonly used in structural applications, such as aircraft parts and bicycle frames.³⁴

³⁰ I.Flitta: Investigation and Comparison of Heat Transfers Analysis Used in Commercial FEM for Metal Forming,2013.

³¹ Omar.M.Shihadeh:Use of SED approach to predict the fatigue behaviour of Aluminium V-Notched Samples,2018.

³²S.Hossain: S32 Measurement of the Residual Stress Field in an Aluminium Alloy 2014A Component of Complex Geometry,2008.

³³ X.Cerutti:Numerical modelling and mechanical analysis of the machining of large aeronautical parts : Machining quality improvement, 2014.

³⁴ J.Drezet: Direct chill and electromagnetic casting of aluminium alloys: Thermomechanical effects and solidification aspects, 2000.

7075: This alloy is a high-strength aluminum-zinc-magnesium-copper alloy, with a zinc content of around 5.5%. It has excellent strength-to-weight ratio and is commonly used in aerospace and defense applications, such as aircraft fuselages and missile parts

5083: This alloy is a non-heat-treatable aluminum-magnesium alloy, with a magnesium content of around 4%. It has good corrosion resistance and is commonly used in marine applications, such as boat hulls and superstructures.³⁵

Overall, the choice of aluminum alloy depends on the specific application requirements, such as strength, corrosion resistance, and formability.

When it comes to the type of material to use for the mounting structure, aluminum is a popular choice due to its lightweight, corrosion resistance, and strength. Aluminum alloys such as 6061 and 7075 are commonly used in ground-mounted solar panel .

Annexe 02

³⁵ A.Zyska: Comparison of the Porosity of Aluminum Alloys Castings Produced by Squeeze Casting

Tiger Mono-facial 450-470 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%

N-Type



KEY FEATURES



TR technology + Half Cell

TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 20.93%)



Low Light Induced Degradation

The N-type cell shows extremely low light induced degradation (LID) performance when comparing with the P-type cell.



9BB instead of 5BB

9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.



Higher lifetime Power Yield

1% first year degradation,
0.4% linear degradation



Best Warranty

15 year product warranty,
30 year linear power warranty



Better low-light performance

Excellent performance in low-light environments
(e.g. early morning, dusk, and cloud, etc.)



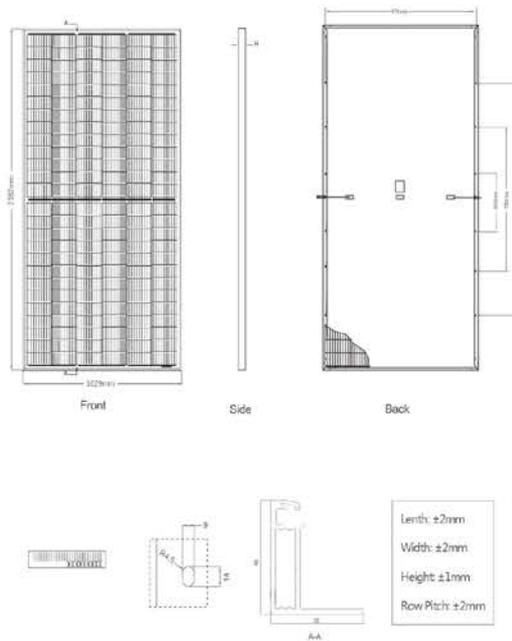
- ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730 certified product

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

15 Year Product Warranty 30 Year Linear Power Warranty
0.4% Annual Degradation Over 30 years



Engineering Drawings

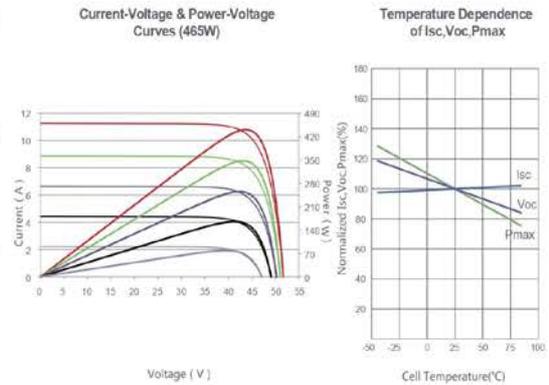


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

27pcs/pallets, 54pcs/stack, 540pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2×78)
Dimensions	2182×1029×40mm (85.91×40.51×1.57 inch)
Weight	26.1 kg (57.54 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM450N-7RL3		JKM455N-7RL3		JKM460N-7RL3		JKM465N-7RL3		JKM470N-7RL3	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	450Wp	336Wp	455Wp	339Wp	460Wp	343Wp	465Wp	347Wp	470Wp	350Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.90V	39.29V	43.01V	39.40V	43.12V	39.51V	43.22V	39.67V	43.32V	39.78V
Maximum Power Current (Imp)	10.49A	8.54A	10.58A	8.61A	10.67A	8.68A	10.76A	8.74A	10.85A	8.81A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.50V	48.61V	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.90V	48.99V	52.10V	49.18V
Short-circuit Current (Isc)	11.32A	9.14A	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.04%		20.26%		20.49%		20.71%		20.93%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.34%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

* STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌪 Wind Speed 1m/s
 • Power measurement tolerance: ± 3%



ALENCON

The GrIP: Alencon's 10 MW Central Inverter for Large Scale Solar



Setting a New Standard for Cost, Efficiency and Reliability for Solar Inverters

Alencon's Grid Inverter Package – the GrIP – is a 10 MW central PV inverter, the largest available on the market today. The GrIP uses Alencon's Patented Harmonic Neutralization technology to shatter the barriers of price, reliability, efficiency and size of traditional PV inverters.

With a rugged, sealed enclosure, liquid-cooled components, heavy duty copper buses, and neither moving parts nor any type of electrolytic component, the GrIP assures dependable operation in all climates. The GrIP offers 99%+ efficiency in a very compact footprint.

Unique Features & Benefits of the GrIP Central Inverter:

Features

- Low cost, high value
- Scalable from 10 MW blocks in 2.5 MW increments
- 99%+ efficiency
- Small footprint, compact enclosure
- Harmonic Neutralization Power Conversion

Benefits

- Reduces capex for large PV projects
- Build larger power blocks
- Produce More Power with less losses
- Faster installation, reduced complexity
- Quick installation
- Allows for more efficient and rugged design with a lower component count

Advantages

- Offers the lowest levelized cost of energy (LCOE)
- Less equipment to install and maintain
- Among the most efficient inverters on the market today
- Less expensive deployment, takes up less land
- Higher reliability with substantially less cost



Technical Specifications

GrIP Model	GrIP 1500 - 10 MW
Nominal Power	10 MW - 4 x 2.5 MW Panels/Package
Maximum DC Input Voltage	1,500 V DC
Allowable DC:AC Ratio	1.6:1
Max Number of MPPTs	40
MPPT Operating range	850 V - 1300 V
Nominal Output Voltage	900 V AC - 3 Phase
Nominal Output Current Per Phase Per Panel	1,521 A Per Panel
Standard Frequency	50/60 Hz
Efficiency	
Peak Efficiency	99.2%
Standby Losses	0.1%
Inverter Controls	
Power factor, fixed state	>0.99
PF Control Range (cos phi)	+/-0.8
Standards & Compliance	
Certifications	UL1741, IEC 62109-1 (pending)
Harmonic Distortion	IEEE 519
Environmental	
Storage Temperature	-40°C to 85°C
Cooling	Liquid Cooling
Environmental Rating	NEMA 4 & IP 66
Humidity	5%-95%
Operating Temp.	0°C to 40°C (post cooling)
Physical Characteristics	
Size (HxWxD)	2.24M x 2.35M x 5.90M
Weight	9,500 KG

The Alencon Advantage - Harmonic Neutralization

Alencon's patented Harmonic Neutralization (HN) technology is a unique power inverter technology that allows PV plant operators to drive the economies we so badly need in the utility scale solar sector to achieve the goals of increased clean power generation to combat climate change. This new approach to inverter design helps breakthrough the AC power-output ceiling found in the traditional, utility scale PV inverters that rely on the pulse-width-modulation (PWM) method of power conversion.



Alencon Systems is a proud member of these leading industry organizations:



888-410-7915

info@alenconsystems.com
www.alenconsystems.com

Annexe 04

