

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا مستغانم

Faculté Des Sciences et de la Technologie Mostaganem

Mémoire De Fin D'Étude De Master Académique

N° d'ordre : M...../GE/2021

Filière : Energies renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables en électrotechnique

Par:

BOUHALLALENE Hocine

FUNDAUNGA Bin Meso Dulys

Intitulé du sujet :

**Evaluation des performances de la centrale PV
de El Abiodh Sidi Cheikh, El Bayadh**

Soutenu le 14 / 07 / 2021 devant le jury composé de :

Président : Mr. REBHI Mustapha

Examineur : Mr. MISSOUM Ibrahim

Rapporteur : Mr. BEKKOUCHE Benaissa

Co-encadreur : DAHMOUN Mouhcn El Hadi

Année Universitaire : 2020- 2021

Résumé :

La centrale photovoltaïque d'El Abiodh Sidi Cheikh (El Bayadh) qui a une capacité de 23,92 Mwc est une réalisation qui fait partie du programme national de production d'électricité à partir des énergies renouvelables. Notre étude porte sur l'analyse des performances de la centrale PV selon les normes standardisé (Commission Electrotechnique international) CEI61724 durant une période de surveillance de 3ans depuis sa mise en service en Mars 2017. Le résultat révèle que l'indice de performance normalisé (PR) est de 82,02 % qui représente une valeur très intéressante et qui corrobore son bon état de fonctionnement. Afin d'aboutir de tous ces résultats, nous avons utilisé Pvsyst et SolarGis comme outils de simulation et nous avons fait une étude comparative avec les données réelles de la sortie de la centrale PV.

Les mots clés :

Analyse des performances, photovoltaïque, système PV, Algérie, Pvsyst, SolarGis, Centrale PV, énergies renouvelables.

ملخص :

يعتبر مصنع الطاقة الكهروضوئية بلأبيض سيدي الشيخ (البيض) باستطاعة 23,92 ميجاوات كان ضمن انجازات البرنامج الوطني لإنتاج الكهرباء من الطاقات المتجددة. تتعلق دراستنا بتحليل أداء المحطة الكهروضوئية وفقاً للمعايير الموحدة (اللجنة الكهروتقنية الدولية) IEC61724 خلال فترة مراقبة مدتها 3 سنوات منذ بدء التشغيل في مارس 2017. وتكشف النتائج أن مؤشر الأداء القياسي (PR) هو 82,02 % والتي تمثل قيمة مثيرة للاهتمام للغاية والتي تؤكد حالة العمل الجيدة. من أجل تحقيق كل هذه النتائج ، استخدمنا Pvsyst و SolarGis كأدوات محاكاة وقمنا بدراسة مقارنة مع البيانات الفعلية من مخرجات المحطة الكهروضوئية.

الكلمات المفتاحية :

البرمجيات تحليل الأداء الكهروضوئية ، النظام الكهروضوئي ، الجزائر Pvsyst ، SolarGis ، PV ، الطاقات المتجددة.

Abstract:

The PV plant of El Abiodh Sidi Cheikh (El Bayadh) which has a capacity of 23,92 Mwp is an achievement that is part of the national program of the production of electricity produced from renewable energies. Our study concerns the analysis of the performance of the PV plant according to the standards of (International Electrotechnical Commission) IEC61724 during a monitoring period of 3 years since its commissioning in March 2017. The result reveals that the standardized performance ratio (PR) is 82,02% which represents a very interesting value and which corroborates the good working condition of the PV plant. In order to achieve all these results, we used Pvsyst and SolarGis as simulation tools and we did a comparative study with the actual data from the output of the PV plant.

Keywords:

Performance analysis, photovoltaic, PV system, Algeria, Pvsyst, SolarGis, PV plant, renewable energies

Dédicaces



La reconnaissance est une vertu qui transcende la nature humaine.

A la communauté des étudiants et stagiaires de la R.D.C en Algérie (Mostaganem), pour son soutien et sa bonne humeur ;

A mon frère de lutte Musomoni Mutamba pour son amour et ses conseils ;

Au frère Bernard Regis pour sa bienveillance et son assistance sans limite ;

A Barry Zeinabu pour son amour et sa patience d'envergure céleste ;

A tous les enfants d'Afrique et du monde qui m'ont soutenu lors de mon passage en Algérie.

Dulys

A ma bien-aimée mère et mon frère à mes amis et mes collègues de l'université et aussi mes camarades des clubs scientifiques et des associations.

Hocine

Remerciement

Nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail.

De manière particulière, nous remercions :

- Mr BEKKOUCHE Benaïssa, directeur du mémoire, pour nous avoir accordé sa confiance pour la réalisation de ce travail et pour avoir été ce visage paternel rassurant ;
- Mr DAHMOUN Mouhcen, notre Co-encadreur qui nous a apporté sa précieuse aide dans la rédaction et la compréhension du travail ;
- Mr REBHI Mustapha d'avoir accepté de présider la présentation de notre travail ;
- Mr MISSOUM Ibrahim d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Je souhaite remercier personnellement le Créateur qui m'a donné des merveilleux parents et une lumineuse famille. Je remercie mon bien aimé père, Lumande Pascal pour son amour inconditionnel et son accompagnement physique, financier, moral et spirituel. Je remercie ma très chère mère, Muyakwa Sabine qui a toujours été là pour moi et a toujours pris mes peines pour elle. Je remercie toute ma famille, tous mes frères et tous mes amis. Enfin je remercie mon partenaire, mon collègue, mon frère Bouhalallene Hocine d'être cette personne merveilleuse et positive, il m'a permis d'avoir une approche autre de l'Algérie.

Fundaunga Dulys

Je souhaite remercier mon Dieu pour la santé, la richesse, la famille et les amis, je voudrais montrer mon appréciation à ma mère bien-aimée qui était avec moi tout au long du chemin et m'a toujours soutenue dans tous les choix de vie émotionnels, spirituels et physiques. Je voudrais remercier aussi mon frère, de m'avoir toujours apporté de nouvelles choses à apprendre, mes amis qui étaient à mes côtés peu importe les situations à commencer par mon collègue, artiste et partenaire, Dulys Meso qui m'a appris beaucoup de choses alors que c'est un étudiant étranger et nous avons vécu beaucoup de choses ensemble. Aussi, je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Karim et sa femme Fatima pour m'avoir aidé à faire face aux problèmes de la vie et aux problèmes de stress, à Faycal, Yousra, Chaimae qui ont toujours été là pour m'aider par tous les moyens, Inès et Dounia pour m'avoir aidé avec mes cours de langue française.

Bouhalallene Hocine

Sommaire

SOMMAIRE	6
LISTE DES FIGURES ET TABLES	10
NOMENCLATURE	12
INTRODUCTION GÉNÉRALE	13
CHAPITRE 1	16
SITUATION ÉNERGÉTIQUE ET LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES	16
INTRODUCTION :	17
I.1. SITUATION ÉNERGÉTIQUE EN ALGÉRIE :	17
I.2. POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE EN ALGÉRIE :	18
I.2,1. POTENTIEL SOLAIRE :	18
I.2,2. POTENTIEL EOLIEN :	19
I.2,3. POTENTIEL HYDRAULIQUE :	20
I.2,4. POTENTIEL GEOTHERMIQUE :	21
I.2,5. POTENTIEL EN BIOMASSE :	21
I.3. TRANSITION ÉNERGÉTIQUE VERS LES ÉNERGIES RENOUVELABLES :	22
I.4. STRATÉGIE NATIONALE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES :	22
I.5. LES INSTALLATIONS RÉALISÉES :	23
I.6. LES SYSTÈMES PV À GRANDE ÉCHELLE	25
I.6,1. GENERALITES :	25
I.6,2. DEFINITION DU SYSTEME SOLAIRE PV (EFFET PHOTOVOLTAÏQUE) :	25
I.6,3. MODULES PHOTOVOLTAÏQUES :	26
I.6,3,1. Les technologies PV les plus utilisées :	26
I.6,4. LES SYSTEME PV :	26
I.6,4,1. Système PV à inclinaison fixe :	27
I.6,4,2. Tracking système :	27
I.6,5. DEFINITION DES ONDULEURS :	29
I.6,5,1. Types d'onduleur	29
I.6,5,2. Concepts de raccordement des onduleurs :	31
I.6,6. LES DIFFERENTS TYPES D'INSTALLATION DES CENTRALES PV :	32
I.6,6,1. Système PV isolé :	32
I.6,6,2. Système PV Raccordé au réseau Sans stockage :	33

I.6,6,3. Système PV Raccordé au réseau avec stockage :	34
I.6,6,4. Transformateur de raccordement :	35

CONCLUSION : 35

CHAPITRE 2 : 37

DESCRIPTION DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE (23,92MWC) 37

INTRODUCTION : 38

II.1. DESCRIPTION DE LA CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	38
II.2. DESCRIPTION DU SOUS CHAMP DE 2 MWC.....	39
II.2,1. CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE :	39
II.2,2. PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES :	39
II.2,3. CONFIGURATION DU SKID :	40
II.2,3,1. Quatre boîtiers centraux (2 positifs/ 2 négatifs) :	40
II.2,3,2. Onduleurs :	40
II.2,3,3. Sensor box :	41
II.2,3,4. Ring Main Unit (RMU) :	41
II.2,3,5. Transformateurs :	42
II.3. POSTE DE LIVRAISON :	42
II.4. POSTE DE COMMANDE	42
II.5. SYSTÈME D’ALIMENTATION SANS INTERRUPTION :	43
II.6. DÉTECTEUR D’INCENDIE :	43
II.7. APERÇU SUR LE DIMENSIONNEMENT :	44
II.7,1. CONSTATIONS :	44
II.8. CRITÈRE DU CHOIX DU SITE :	44
II.8,1. CRITERES ENVIRONNEMENTAUX :	45
II.8,1,1. Position.....	45
II.8,1,2. Classification de Koppen :	45
II.8,1,3. Rayonnement du site :	45
II.8,1,4. La température.....	46
II.8,1,5. Vitesse du vent	47
II.8,1,6. Précipitations.....	48

CONCLUSION : 49

CHAPITRE 3..... 50

ANALYSE DES PERFORMANCES DE LA CENTRALE PV D’EL ABIODH SIDI CHEIKH 50

INTRODUCTION :	51
III.1. LA MÉTHODE D'ANALYSE UTILISÉE :	51
III.2. LES PARAMÈTRES DE PERFORMANCES UTILISÉS :	52
III.2,1. LES RENDEMENTS ENERGETIQUES :	53
III.2,1,1. Rendement de référence :	53
III.2,1,2. Rendement du champ :	53
III.2,1,3. Rendement final :	53
III.2,2. LES PERTES DE LA CENTRALE PV :	54
III.2,2,1. Le taux des pertes du système PV :	54
III.2,2,2. Le taux des pertes du champ PV :	54
III.2,2,3. Le rapport de performance :	54
III.2,2,4. Le facteur de capacité :	54
III.3. APERÇU SUR LES LOGICIELS UTILISÉS :	54
III.3,1. PVSYS :	55
III.3,2. SOLARGIS :	56
III.3,2,1. Prospection :	56
III.3,2,2. Evaluer :	56
III.3,2,3. Surveillance :	57
III.3,2,4. Prévision :	57
III.4. RÉSULTATS ET DISCUSSION :	57
III.4,1. SIMULATION AVEC PVSYS :	57
III.4,2. SIMULATION AVEC SOLARGIS :	59
III.4,3. COMPARAISON DES PERTES D'ENERGIE ENTRE SOLARGIS ET PVSYS :	60
III.4,4. COMPARAISON DES PERFORMANCES AVEC LES DONNEES REELLES DE LA CENTRALE PV :	61
III.4,4,1. Données météorologiques :	61
III.4,4,2. Énergie injectée au réseau :	62
III.4,4,3. Le rapport de performance PR :	63
III.4,4,4. Le facteur de capacité CF :	64
III.4,5. ANALYSE DETAILLEE DES PERFORMANCES DE LA CENTRALE PV :	65
III.4,5,1. Les rendements énergétiques de système :	65
III.4,5,2. Effet de la température de module sur le champ PV :	66
III.4,6. ÉTUDES DE DEGRADATION DE SYSTEME :	67
III.4,6,1. Dégradation en terme énergie injecté au réseau :	67
III.4,6,2. Dégradation du rapport de performance du système :	67
III.4,7. COMPARAISON DES PERFORMANCES REELLES DE LA CENTRALE AVEC D'AUTRES CENTRALE PV A GRANDES ECHELLES INSTALLEES AU MONDE :	68
CONCLUSION :	70
CONCLUSION GÉNÉRALE :	71
RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE :	74

Liste des figures et tables

Figure (1,1) : Mix de production d'énergie en Algérie en 2019[3].....	18
Figure (1,2) : La moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale en Algérie[6]	19
Figure (1,3) : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010)[9].....	20
Figure (1,4) : Évolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).	23
Figure (1,5) : Projet de 354,3 MWc en centrales photovoltaïques en Algérie [9].....	24
Figure (1,6) : Classes de technologie PV[23]	26
Figure (1,7) : Inclinaison de panneau par rapport au rayon de soleil[24].....	27
Figure (1,8) : Les différents types des suiveurs solaires[25]	28
Figure (1,9) : Différents types de tracking solaire[27]	29
Figure (1,10) : Schéma de principe de l'onduleur monophasé[28]	30
Figure (1,11) : Schéma d'un onduleur triphasé[29]	30
Figure (1,12) : Configurations du système PV[23].....	31
Figure (1,13) : Représentation schématique d'un onduleur avec transformateur et sans transformateur[23]	32
Figure (1,14) : Schéma d'un système photovoltaïque en site isolé[30].....	33
Figure (1,15) : Schéma d'une installation photovoltaïque raccordé au réseau sans stockage[27]	34
Figure (1,16) : Schéma d'un système PV raccordé au réseau avec stockage[31].....	35
Figure (2,17) : Schéma descriptif de la centrale PV d'El bayadh.	39
Figure (2,18) : La moyenne annuelle d'éclairement[37].....	46
Figure (2,19) : Température moyenne annuelle[37]	47
Figure (2,20) : La moyenne annuelle de la vitesse du vent[37].....	48
Figure (3,21) : Organigramme des étapes d'analyse de performance de la centrale PV	52
Figure (3,22): Bilan des rendements et des pertes du système PV	53
Figure (3,23) : Interface de données d'entrées de Pvsyst	56
Figure (3,24) : Comparaison mensuelle entre le rayonnement solaire mesuré et simulé dans le plan	62
Figure (3,25) : Comparaison mensuelle entre la température de l'air mesurée et simulée	62
Figure (3,26) : Comparaison mensuelle entre la production d'énergie AC mesurée et simulée.....	63
Figure (3,27) : Comparaison mensuelle entre PR mesuré et simulé.....	64
Figure (3,28) : Comparaison mensuelle entre CF mesurée et simulée	65
Figure (3,29) : Relations hebdomadaires entre le rendement de référence (axe X) par rapport à la matrice et le rendement final (axe Y)	66
Figure (3,30) : Impact de la température du module sur le rapport de performance	66
Figure (3,31) : Production d'énergie à partir de l'installation photovoltaïque pendant la période de surveillance	67
Figure (3,32) : Modèle de régression linéaire pour le ratio de performance sur les 3 ans.....	68
Table (1,1) : Potentiel solaire en Algérie[5]	19
Tableau (1,2) : Hydroélectricité installée en Algérie[11]	21
Tableau (1,3) : Les centrales Photovoltaïques et éoliennes réalisées en Algérie (2013- 2017)[20].....	24

Tableau (2,4) : Caractéristiques de module photovoltaïque CS69 - 255P [32]	40
Tableau (2,5) : Caractéristiques techniques de l'onduleur[32]	41
Table (2,6) : La moyenne annuelle de la précipitation à El Abiodh Sidi Cheikh[32]	48
Tableau (3,7) : Résultats des paramètres de performance (PVSYST).....	58
Table (3,8) : Production d'énergie et pertes du système (PVsyst).	59
Tableau (3,9) : Résultats des paramètres de performance (SolarGIS).....	60
Tableau (3,10) : Production d'énergie et pertes du système (PVsyst).....	60
Tableau (3,11) : Comparaison de diverses installations photovoltaïques à grande échelle.....	69

Nomenclature

AC/ CA	: Courant alternatif (Alternative Current)
CEI	: Commission Électrotechnique International
CF	: Facteur de capacité
DC / CC	: Direct current /Courant continu
EArray	: Energie du champ PV
EBM	: Erreur moyenne de biais
EGrid	: L'énergie injectée dans le réseau
Ep _{AC}	: L'énergie annuelle produite du système PV
Ghmonthly	: L'irradiation horizontale globale mensuelle
Gimonthly	: L'irradiation globale en plan
GlobEff	: Irradiation globale efficace
Globinc	: L'irradiation horizontale globale sur plan collecteur
IEA	: L'Agence International de l'Energie (International energy agency)
LS	: Pertes du système (Système Losses)
M Tep	: Méga tonnes équivalent pétrole
MLI	: La modulation de largeur d'impulsions (Pulse Width Modulation)
MPPT	: Suiveur du point de puissance maximale (Maximum Power Point Tracker)
MT	: Moyenne tension
PR	: Rapport de performance (performance ratio)
PRDR	: Taux annuel de dégradation du rapport de performance (performance ratio degradation rate)
PV	: photovoltaïque
RMU	: Ring main unit (Unité centrale de sonnerie)
SCADA	: Système de contrôle et d'acquisition de données (Supervisory Control And Data Acquisition)
SKTM	: Shariket el Kahraba wel Taket Moutajdida
STC	: Condition de test standard (Standard test condition)
Tamb	: Température ambiante
Tep	: Tonnes équivalent pétrole
HIT	: Technologie à Hétérojonction Panasonic (cellule photovoltaïque)

Introduction générale

Introduction générale

La production de l'énergie électrique est devenue un défi de grande importance pour l'avenir des peuples et l'énergie représente un facteur essentiel pour le développement économique de tous les pays du monde. Son importance s'accroît de manière exponentielle avec les progrès techniques, l'industrialisation et surtout le besoin du confort moderne car le taux de la demande surpasse celui de la production, alors l'augmentation cette dernière serait synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse.

Parlons un peu de l'Algérie et rappelons que son marché d'électricité occupe une place prédominante dans son économie car plus de 60% de son budget et la quasi-totalité de sa consommation d'énergie y compris dans le secteur de l'électricité sont issus des hydrocarbures. Cependant, afin de pouvoir envisager des solutions environnementales et de lutter contre le réchauffement climatique causé en grande partie par l'utilisation des énergies fossiles, l'État algérien a décidé d'investir massivement dans les énergies renouvelables. Pour cet objectif, un programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique a été mis en œuvre depuis 2012, dont une grande partie a été achevée puis actualisée en 2020. Le pays est classé parmi les pays disposant de ressources solaires très importantes dans le monde et dans le bassin méditerranéen, c'est pourquoi le gouvernement a davantage investi dans l'énergie solaire et notamment le photovoltaïque. Par conséquent, pour assurer le développement de la production d'électricité photovoltaïque à grande échelle, les centrales solaires photovoltaïques au sol sont le meilleur moyen. D'ici 2035, le gouvernement algérien prévoit d'installer plusieurs centrales photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 16 000 MW. Dans le cadre de la concrétisation de ce programme national, une centrale PV d'une puissance de 23,92MWc a été réalisée dans la localité d'El Abiodh Sidi Cheikh, Wilaya d'El Bayadh depuis 2015 et mise en service en mars 2017.

La plupart de ces centrales photovoltaïques ont été réalisées dans des zones arides et désertiques où les obstacles extérieurs (vent, poussière, humidité et chaleur) sont variés et sévères. Il n'existe pas de modèle fiable et précis pour prédire leur production instantanée. Ainsi, dans ces types de conditions, les systèmes photovoltaïques subissent une accélération du vieillissement par rapport à ceux des régions tempérées.

Cependant, l'objectif de notre travail représente une contribution d'analyse et d'évaluation des performances de la centrale PV de 23,92MWc raccordé au réseau électrique d'El Abiodh Sidi Cheikh dans le but de prédire sa production et prévenir la dégradation du système PV. Les résultats de cette étude pourront aider le programme national des énergies renouvelables à élargir son champ d'action. Alors pour ce faire, nous avons reparti le travail en trois axes :

Le premier axe est consacré à la situation énergétique en Algérie, nous allons présenter l'actualité du marché de l'énergie et le potentiel énergétique en Algérie ainsi que les démarches du gouvernement national vers les énergies renouvelables.

Le deuxième axe sera dédié à une étude globale de la centrale PV, tout en spécifiant sa localisation géographique et ses caractéristiques climatiques qui sont des paramètres cruciaux pour la réussite de notre étude sur l'évaluation des performances car ils nous permettront de connaître la nature des contraintes extérieures auxquelles nous serons confrontés. Enfin, nous parlerons de façon brève de sa description globale.

Dans le troisième axe, nous présenterons une évaluation des performances de fonctionnement de la centrale PV et une interprétation des conséquences.

Finalement, nous allons clôturer notre travail par une conclusion générale qui résume notre méthodologie de travail.

Chapitre 1

Situation énergétique et les systèmes photovoltaïques

Introduction :

La consommation d'électricité ne cesse d'augmenter en raison de la rapide croissance de la population et de l'économie nationale, Cependant, les combustibles fossiles restent la principale source de génération d'électricité en Algérie. En effet, l'Algérie est placée parmi les pays qui consomment les plus d'énergie au monde, avec la contribution des combustibles fossiles dans la production d'électricité à plus de 98,75 % en 2016. Par ailleurs, la consommation d'énergie et son évolution dans le temps sont les principaux facteurs expliquant le CO2 global.

Afin de bien comprendre les enjeux énergétiques, il est important tout d'abord de comprendre la progression de la demande énergétique au fil des décennies et l'actualité du secteur énergétique en Algérie, la diversité des ressources énergétiques selon la géographie du territoire et les objectifs de réduction des gaz à effet de serre.

Nous présentons dans ce chapitre deux parties, la première sera dédiée à la discussion sur la situation de l'énergie en Algérie et le potentiel divers, et les stratégies présentés de la part du gouvernement algérien afin d'exploiter et investir dans certains domaines, pour comprendre cela, nous avons illustré brièvement les systèmes PV à grande échelle et ses technologies, ses caractéristiques et les types d'équipements utilisés dans la conception de ces systèmes et présenter quelques exemples de raccordement.

I.1. Situation énergétique en Algérie :

Les hydrocarbures en Algérie est la principale composante des ressources énergétiques primaires, elle occupe une place prédominante dans la stabilité économique du pays. L'Algérie est le dix-huitième producteur de pétrole, le dixième producteur de gaz naturel et le sixième exportateur de gaz naturel au monde [1], d'où sa production totale d'énergie était 157,4 M Tep dont 3,1 M Tep a été importée en 2019 [2].

L'énergie disponible en Algérie a atteint 160,4 M Tep dont 0,2 M Tep en électricité qui produite à partir de différentes sources d'énergie comme illustré dans la figure (1,1).

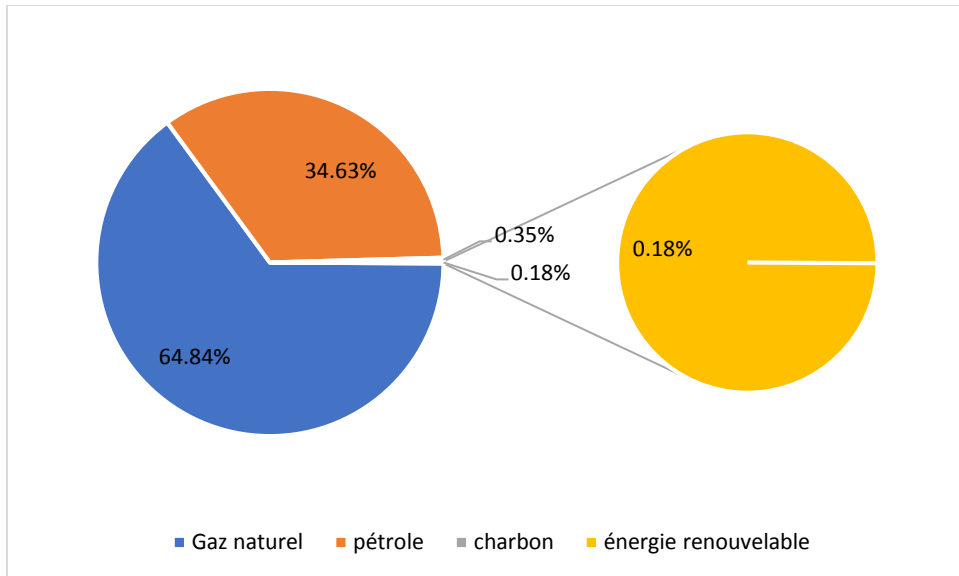


Figure (1,1) : Aperçu de production d'énergie en Algérie en 2019 [3]

I.2. Potentiel énergétique en Algérie :

L'Algérie est le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale [4], 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.

I.2.1. Potentiel solaire :

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. [4], la figure (1,2) représente la moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale en Algérie

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) comme montré tableau (1,1). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

Table (1,1) : Potentiel solaire en Algérie [5]

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

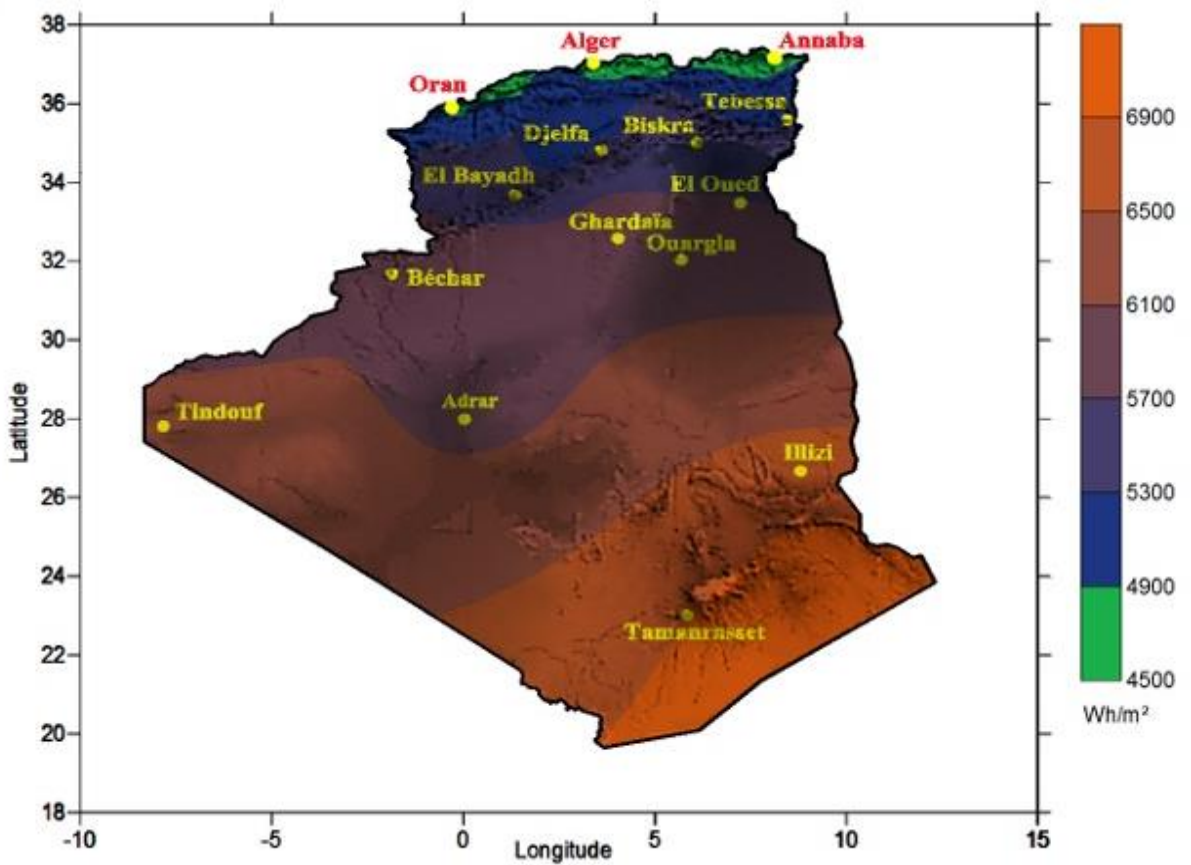


Figure (1,2) : La moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale en Algérie [6]

I.2.2. Potentiel éolien :

A cause de la grande variété topographique de l'Algérie et à son climat très diversifié, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Les régions les plus ventées se situent au sud-ouest dans la région d'Adrar, Timimoune et Tindouf, le Nord est caractérisé

par une vitesse moyenne peu élevée avec l'existence de microclimats sur les sites côtiers et sur les hauts plateaux, 78% de la superficie de l'Algérie est caractérisé par des vitesses supérieures à 3 m/s avec environ 40 % de ces vitesses dépassant 5 m/s [7], la région de Sud se caractérise par des vitesses plus élevées (plus de 6 m/s) que la nord comme montré dans la figure (1,3) [8], Bien que ce potentiel soit intéressant et constitue le deuxième axe du développement dans le programme algérien des énergies renouvelables néanmoins le gisement est faible.

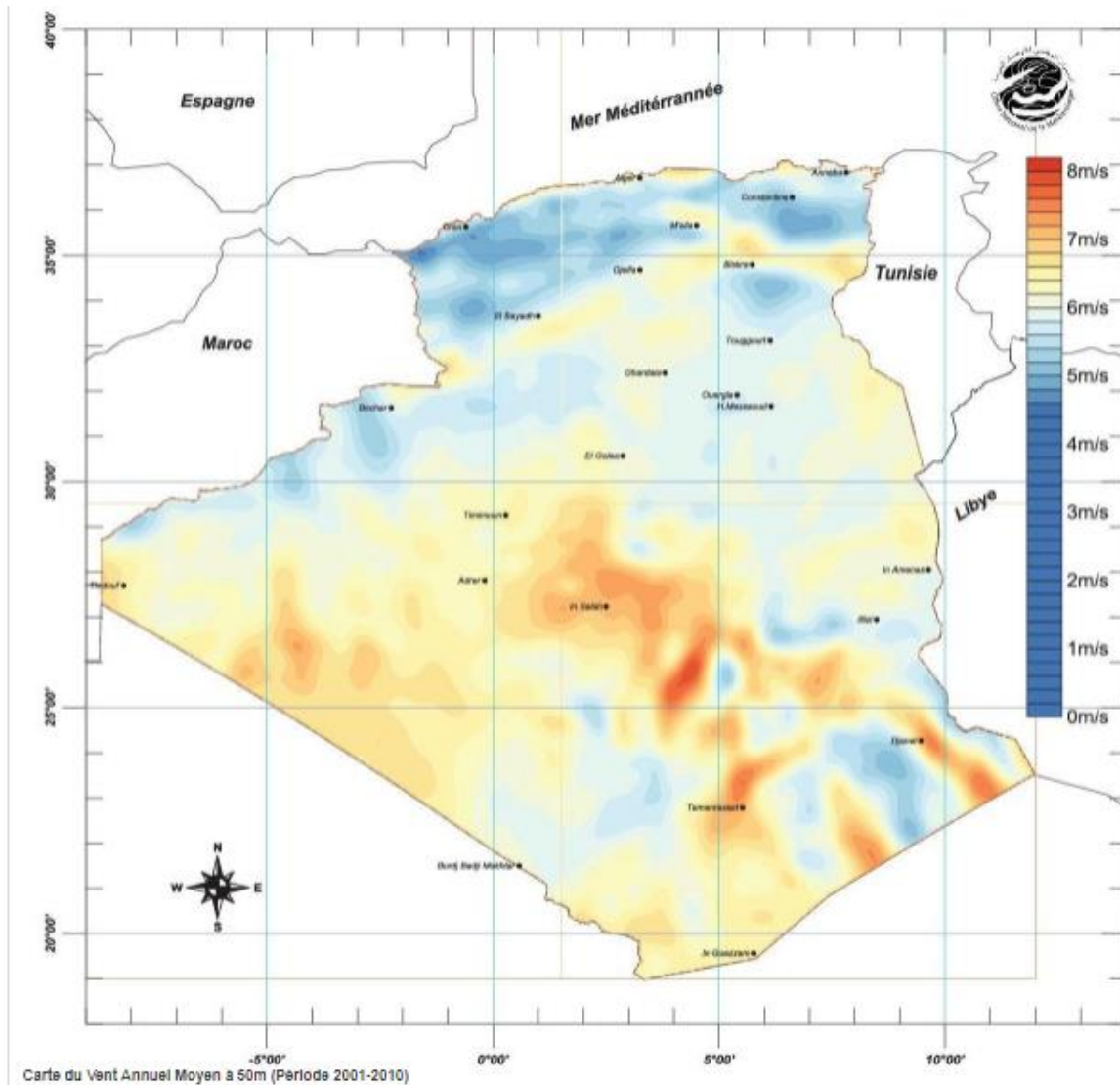


Figure (1,3) : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010) [9]

I.2.3. Potentiel hydraulique :

La quantité globale de précipitations sur le territoire algérien est importante et est estimée à 65 milliards de m³, mais il a un faible bénéfice pour le pays par rapport à la production d'énergie hydroélectrique en

raison du manque d'exploitation de tous les sites existants [10] . La puissance installée totale estimée est de 270 MW, comme détaillé dans le tableau (1,2).

Tableau (1,2) : Hydroélectricité installée en Algérie [11]

Centrale hydroélectrique	Capacité installée
Darguina	71,5
IghilEmda	24
Mansouria	100
Erraguene	16
SoukElDjemaa	8,085
TiziMeden	4,458
Ighzernchebel	2,712
Ghrib	7,000
Gouriet	6,425
Bouhanifia	5,700
OuedFodda	15,600
Beni Behde	3,500
Tessala	4,228
Total	269,208

I.2.4. Potentiel géothermique :

La compilation de données géologiques, géochimiques et géophysiques a permis l'identification de plus de deux cents (200) sources chaudes inventoriées en la partie nord du pays. Environ un tiers (33%) d'entre eux ont des températures au-dessus de 45°C [12]. Les températures les plus élevées enregistrées sont de 98 °C dans la province de Guelma à Hammam El Maskhoutin et 118 °C dans la province de Biskra. Le réservoir de grès de l'Albien situé dans le sud de l'Algérie a une eau Moyenne température qui atteint 57 °C [13].

I.2.5. Potentiel en biomasse :

La biomasse est potentiellement très prometteuse avec un taux de 3,7 MTEP, provenant de forêts et 1,33 MTEP par an à travers les déchets agricoles et urbains [14]. Un potentiel de plus de 1700 GWh peut être atteint à partir de la valorisation des déchets [15].

I.3. Transition énergétique vers les Énergies renouvelables :

Nous avons discuté dans la section précédente sur la situation d'énergie en Algérie et qu'elle est dominé par les hydrocarbures et vu que le développement de la population est en croissance important, par conséquence la consommation nationale totale en énergie ne cesse de se développer, elle a connu une hausse de 3% chaque année [2]. Elle a atteint 66,9 M Tep en 2019 voyant aussi que les niveaux des besoins de gaz naturel du marché national seraient de l'ordre de 55,4 milliards de m³ en 2030 [16]. De même la production d'électricité devrait être à 150Twh en 2030 et par conséquent, l'intégration énorme des énergies renouvelables dans la recette énergétique au sens de préserver les énergies fossiles et de diversifier les filière de la production de l'électricité, de protéger l'environnement et de contribuer au développement durable. Toutes ces considérations justifient l'importance d'entamer vaguement les énergies renouvelables dans la stratégie d'offre énergétique à long terme.

La transition énergétique occupe une place importante dans le plan d'action du gouvernement, le programme de transition énergétique vise, outre la diversification des sources énergétiques à travers le développement des énergies renouvelables, la promotion de l'efficacité énergétique en tant qu'action complémentaire de grande importance. Le pays ambitionne ainsi de s'affranchir de manière progressive de la dépendance vis-à-vis des ressources conventionnelles et amorcer une dynamique d'émergence d'une énergie verte et durable, disponible localement et en abondance comme le solaire. La démarche, s'articule en fait sur les considérations suivantes :

- La préservation des ressources fossiles et leur valorisation.
- Le changement du modèle énergétique de production et de consommation.
- Le développement durable et la protection de l'environnement.
- La maîtrise des coûts de réalisation des installations des énergies renouvelables.

I.4. Stratégie nationale des énergies renouvelables :

A but de d'exploité le potentiel disponible en Algérie mentionné dans la partie précédente, le gouvernement algérien a lancé le programme national des énergies renouvelables et efficacité énergétique, ce dernier a était réactualisé plusieurs fois récemment en 2020 [2].

Le nouveau programme adopté en 2020 permettrait au pays de produire 15000 MW d'ici 2035, dont 4000 MW d'ici 2024 [17]. Dans le cadre de ce programme, plusieurs stations reliées au réseau (23 centrales photovoltaïques, (01 parc éolien) basé sur l'énergie durable ont été installés de capacité d'une puissance de

354,3 MW. [18]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 [19], la figure (1,4) est une estimation de l'évolution de la production d'ici 2030.

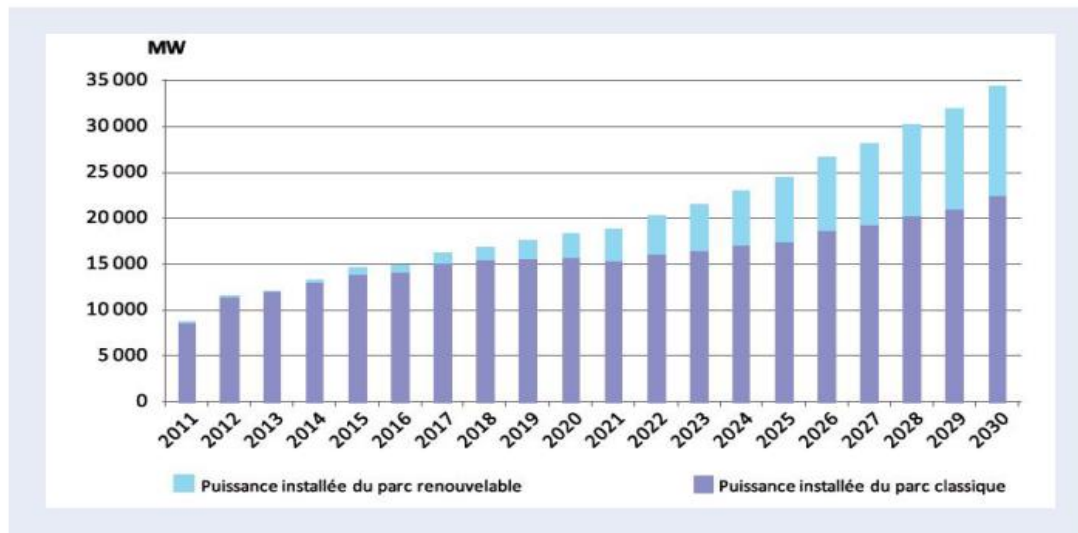


Figure (1,4) : Évolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).

I.5. Les installations réalisées :

Projet de 354,3MWc en centrales photovoltaïques :

Le projet des 343,3MWc, qui constitue un extrait de la première phase de déploiement du programme national des énergies renouvelables, constitue un cas d'école, non seulement pour la société SKTM, mais également à l'ensemble des intervenants dans le processus, gestionnaire du réseau de transport, les sociétés de distribution, l'opérateur du système électrique, les autorités locale...etc., pour ne citer que ceux-là. Et qui commencent à appréhender les problématiques liées aux énergies renouvelables. La figure (1,5) présente l'emplacement et la puissance des 24 centrales.

Table (1,3) présente les centrales PV et éoliennes réalisées en Algérie depuis l'année 2013 et son cumule de production jusqu'à l'année 2017 et ses gains en Gaz et en Dollar.

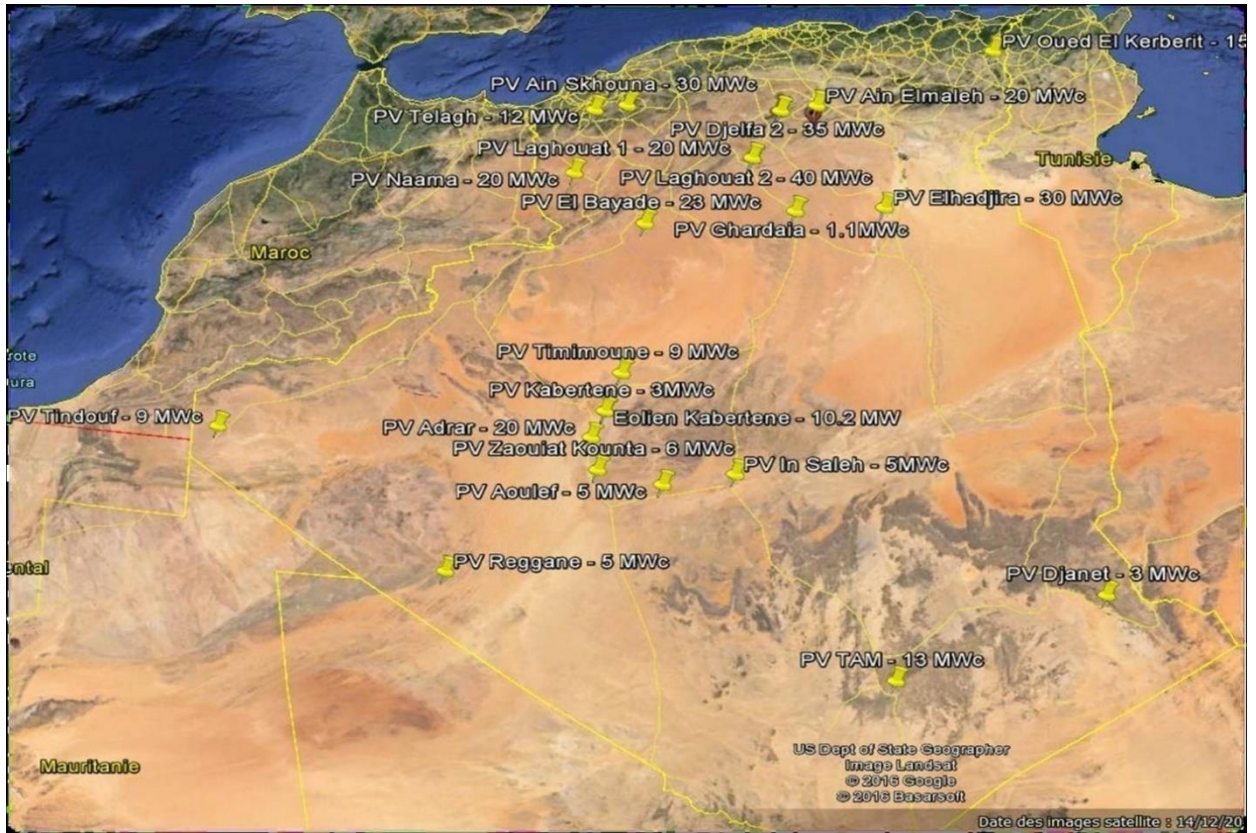


Figure (1,5) : Projet de 354,3 MWe en centrales photovoltaïques en Algérie [9]

Tableau (1,3) : Les centrales Photovoltaïques et éoliennes réalisées en Algérie (2013- 2017) [20]

CentralesPV	Cumule production(Kwh) De2013à 2017	Gain en gaz(m ³)	Gain en \$
Adrar	78050475	29322830 3	2905616 4
Kabertane	12378600	4650523 13	9444 87
Tindouf	12744750	-	5627562 9
ZaouiatKounta	20878800	7843969 06	777263 5
Reggane	16748940	6292419 45	623519 54
Timimoune	32477250	12201397 7	1209043 6
Aoulef	17059140	6408958 67	635067 48
Sedretleghzel	58509915	21981625 5	2178172 1
AinSkhouna	39290373	14761024 1	1462678 5
Sidibelabes	17307492	6502250 92	644311 86
Labiadhsidicheikh	39456210	14823327 5	1468852 2

Ouednechou	5594085	2101645 19	208253 26
Djanet	13434240	-	4553869 0
Tamanrasset	47531190	-	16217875,
Insalah	16498183	6198212 4	614184 51
Ouedelkebrit	41131200	15452605 5	1531207 7
Ainel bel	72571988	27264614 0	2701666 6
Lekhneg	107990700	40571091 7	40202013,
Ainelmelh	35062000	13172464 0	1305267 2
Elhdhira	38073000	14303668 5	1417358 9
Totalphotovoltaïque	722788500 5	243852628,	50562807,
Kabertanéolienne	57942000	21768265 1	2157030 1
Total EnR	780730500	265620893,	52719838

I.6. Les systèmes PV à grande échelle

I.6.1. Généralités :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin des données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

Nous avons illustré dans cette section, les notions générales des systèmes solaires PV à grande échelle et les différentes technologies et types d'installations a but d'introduire les fonctionnalités et la conception d'une central PV.

I.6.2. Définition du système solaire PV (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 [22].

I.6.3. Modules photovoltaïques :

I.6.3.1. Les technologies PV les plus utilisées :

Les technologies cristallines à base de silicium (multi cristallin et monocristallin) sont de loin les plus utilisées aujourd'hui mais les technologies "couches minces", en particulier CIS et CdTe se développent de plus en plus sur le marché comme expliqué dans la figure (1,6). D'autres filières basées sur l'utilisation de colorants ou de matériaux organiques, encore à leur balbutiement, promettent un bel avenir à l'énergie photovoltaïque, La caractéristique commune à toutes les technologies photovoltaïques est la mise en présence dans le matériau de la cellule d'un donneur et d'un accepteur d'électrons pour permettre ce déplacement de charges. Une fois transféré dans un circuit électrique extérieur, celui-ci prend la forme d'un courant électrique continu.

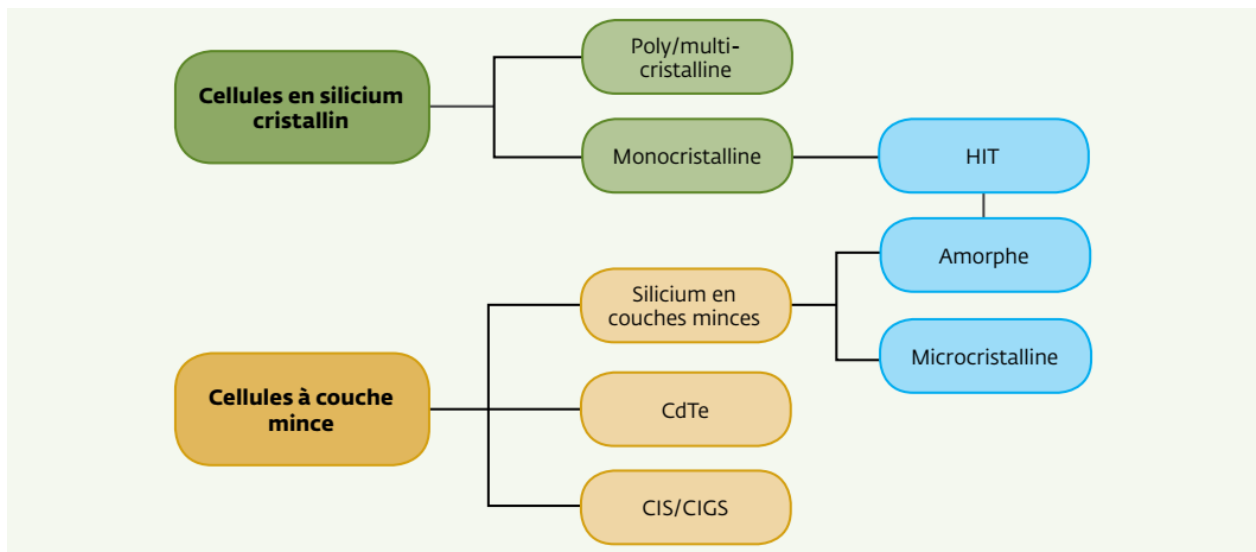


Figure (1,6) : Classes de technologie PV [23]

I.6.4. Les Systèmes PV :

Les modules PV doivent être fixés au sol sur une structure pour s'assurer qu'ils restent orientés dans la bonne direction et pour leur fournir le support structurel et la protection nécessaires. Les structures de fixation peuvent être fixes ou pisteuses. Les champs à inclinaison fixe sont généralement inclinés par rapport au plan horizontal afin de maximiser l'ensoleillement annuel qu'ils reçoivent. L'angle d'inclinaison optimal dépend de la latitude du lieu dans lequel le site se trouve. La direction du système est son orientation ou azimut. L'azimut idéal d'un système dans l'hémisphère nord est le sud géographique, et le nord géographique dans l'hémisphère sud.

I.6,4,1. Système PV à inclinaison fixe :

Dans les systèmes d'inclinaison fixes, les rangées de module sont positionnées à un angle d'inclinaison fixe et orientés selon un angle choisi [23], Les structures de fixation seront généralement faites d'acier ou d'aluminium, bien qu'il existe aussi des exemples de systèmes basés sur des poutres en bois.

Comme montré dans la figure (1,7), nous voyons que la production est maximale si les rayons du soleil atteignent la surface du panneau perpendiculairement à midi (heure solaire).

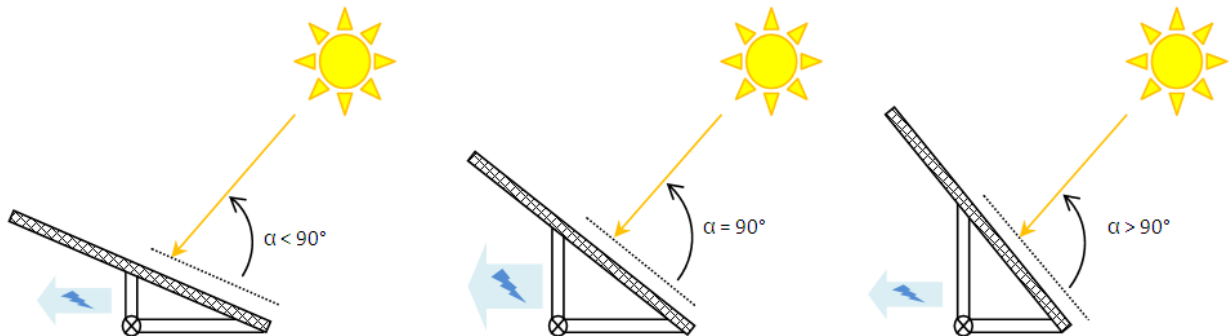


Figure (1,7) : Inclinaison de panneau par rapport au rayon de soleil [24]

I.6,4,2. Tracking système :

Dans les lieux présentant une forte proportion d'ensoleillement direct, les systèmes de poursuite à axe simple ou double peuvent être utilisés afin d'augmenter l'ensoleillement annuel total moyen [23]. Les systèmes de poursuite suivent le soleil dans son déplacement dans le ciel. Ceux-ci sont généralement les seules parties mobiles utilisées dans une centrale électrique PV. Les systèmes de poursuite à axe simple ne changent que l'orientation ou l'angle d'inclinaison, alors que les systèmes de poursuite à axe double changent à la fois l'orientation et l'angle d'inclinaison. Les systèmes de poursuite à axe double peuvent s'orienter face au soleil plus précisément que les systèmes à axe simple.

Nous présentons ci-après les différents types de tracking dans la figure (1,8) :

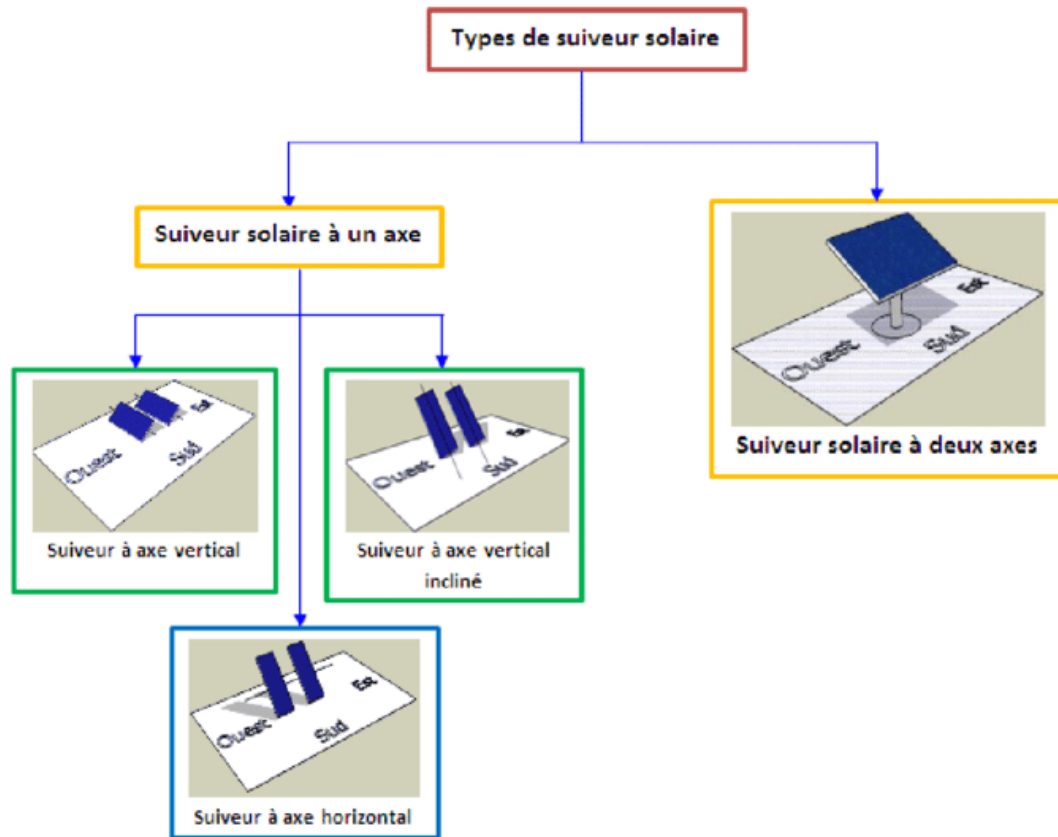


Figure (1,8) : Les différents types des suiveurs solaires [25]

I.6,4,2,1. Suivi horizontal

L'orientation du panneau est fixe. Seule varie l'inclinaison par rapport à l'horizontale, de sorte qu'elle soit égale à $90-h$, où h est la hauteur du soleil.

I.6,4,2,2. Suivi vertical

L'inclinaison du panneau est fixe. L'orientation du panneau suit l'azimut du soleil, il sera tourné vers l'Est au lever du soleil, vers le Sud à midi, et vers l'Ouest à son coucher. Il correspond au schéma B de la figure (1,9).

I.6,4,2,3. Suivi deux axes

Dans ce type de suivi, l'orientation et l'inclinaison du panneau varient. Les rayons du soleil sont toujours à la verticale des modules. Il correspond au schéma A de la figure (1,9).

I.6,4,2,4. Autres types de suivi

Il existe d'autres types de suivi se rapprochant un peu plus du suivi azimutal : le module est ou à l'horizontale (D) ou incliné de façon optimale selon un axe Nord-Sud (C). [27]

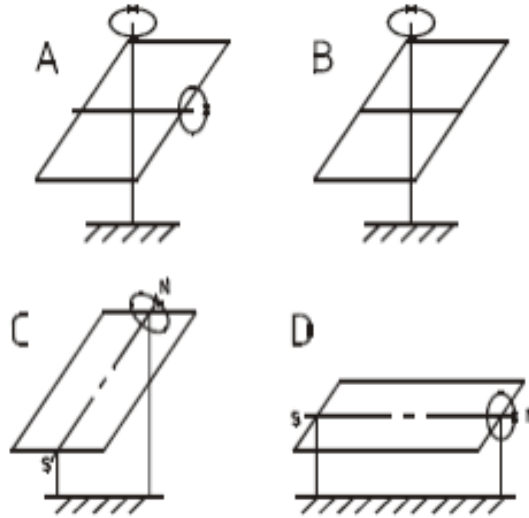


Figure (1,9) : Différents types de tracking solaire [27]

I.6,5. Définition des onduleurs :

Les onduleurs sont des dispositifs électroniques à semi-conducteurs. Ils convertissent le courant continu généré par les modules PV en courant alternatif, les onduleurs peuvent également réaliser une variété de fonctions afin de maximiser la production de la centrale. Celles-ci vont de l'optimisation de la tension dans les chaînes et au suivi de la performance de la chaîne à l'enregistrement des données et à la fourniture d'une protection et d'une isolation en cas d'anomalies dans le réseau ou les modules PV.

La commande de l'onduleur est basée sur la prédiction de la tension de sortie d'un pas en avant que nous appelons « Dead beat control » par cette commande [23], la tension de sortie de l'onduleur est forcée de suivre une référence sinusoïdale échantillonnée pour la production à la sortie du filtre une onde proche d'une sinusoïde avec un taux de distorsion d'harmonique très réduit.

I.6,5,1. Types d'onduleur

I.6,5,1,1. Onduleur monophasé :

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours, il est composé de 4 interpréteurs [26], l'onduleur doit ensuite être

piloté via une commande MLI adaptée afin de réaliser la tension désirée. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie :

- L'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur push- pull.
- L'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi pont

Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de la tension de sortie, il faut quatre interrupteurs c'est : l'onduleur monophasé en pont comme montré dans la figure (1,10).

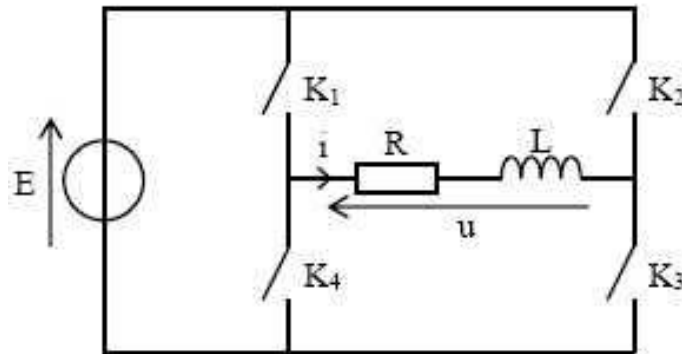


Figure (1,10) : Schéma de principe de l'onduleur monophasé [28]

I.6,5,1,2. Onduleur triphasé :

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre.

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé, on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs comme montré dans la figure (1,11), Chaque demi pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode.

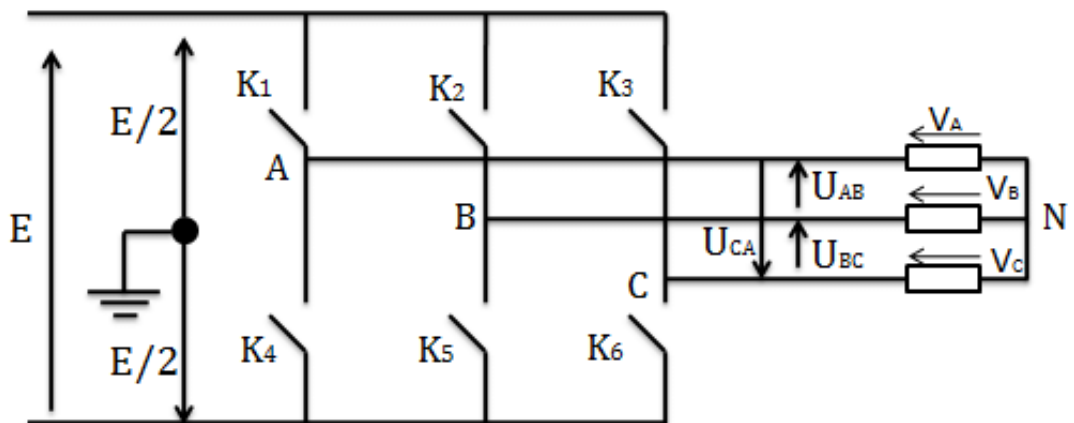


Figure (1,11) : Schéma d'un onduleur triphasé [29]

I.6,5,2. Concepts de raccordement des onduleurs :

Il existe deux grandes catégories d'onduleurs : les onduleurs centraux et les onduleurs de branche. Un grand nombre des modules sont connectés en série pour former une chaîne haute tension (HT). Les chaînes sont alors connectées en parallèle à l'onduleur.

Les onduleurs centraux offrent une grande fiabilité et simplicité d'installation. Ils présentent cependant des inconvénients : augmentation des pertes par déséquilibre et l'absence de conversion optimale d'énergie (MPPT) [23].

Les onduleurs centraux sont généralement triphasés et peuvent inclure des transformateurs de fréquence de réseau. Ces transformateurs augmentent le poids et le volume des onduleurs, bien qu'ils fournissent une isolation galvanique du réseau.

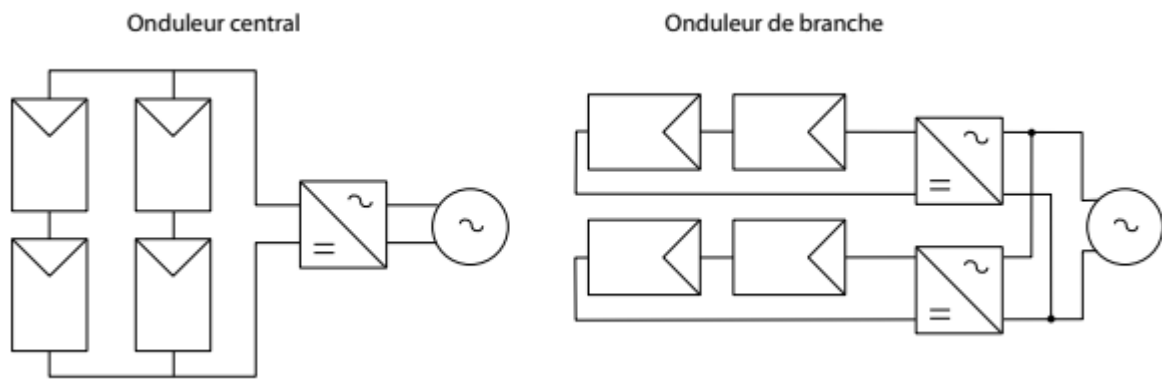


Figure (1,12) : Configurations du système PV [23]

Le concept des onduleurs de branche utilise plusieurs onduleurs pour plusieurs chaînes de modules, ils fournissent une MPPT au niveau de la chaîne, toutes les chaînes étant indépendantes les unes des autres.

Les chaînes d'onduleurs sont généralement monophasées dans le cas d'onduleurs de branche sans transformateur (voir Figure 1,13), la tension du générateur PV doit être significativement plus élevée que la tension côté AC ou des convertisseurs à élévation CC-CC doivent être utilisés. L'absence de transformateur conduit à une plus grande efficacité, un poids réduit, une taille réduite (50 à 75 pour cent plus léger que les modèles avec transformateur [23]) et un coût moins élevé en raison du moindre nombre de composants. D'un autre côté, du matériel de protection supplémentaire doit être utilisé, comme des disjoncteurs de courant de fuite sensible au courant continu, et les parties en mouvement doivent être protégées, les onduleurs sans transformateur entraînent également une augmentation des interférences électromagnétiques.

L'onduleur sans transformateur est au-dessus de celui qui possède un transformateur :

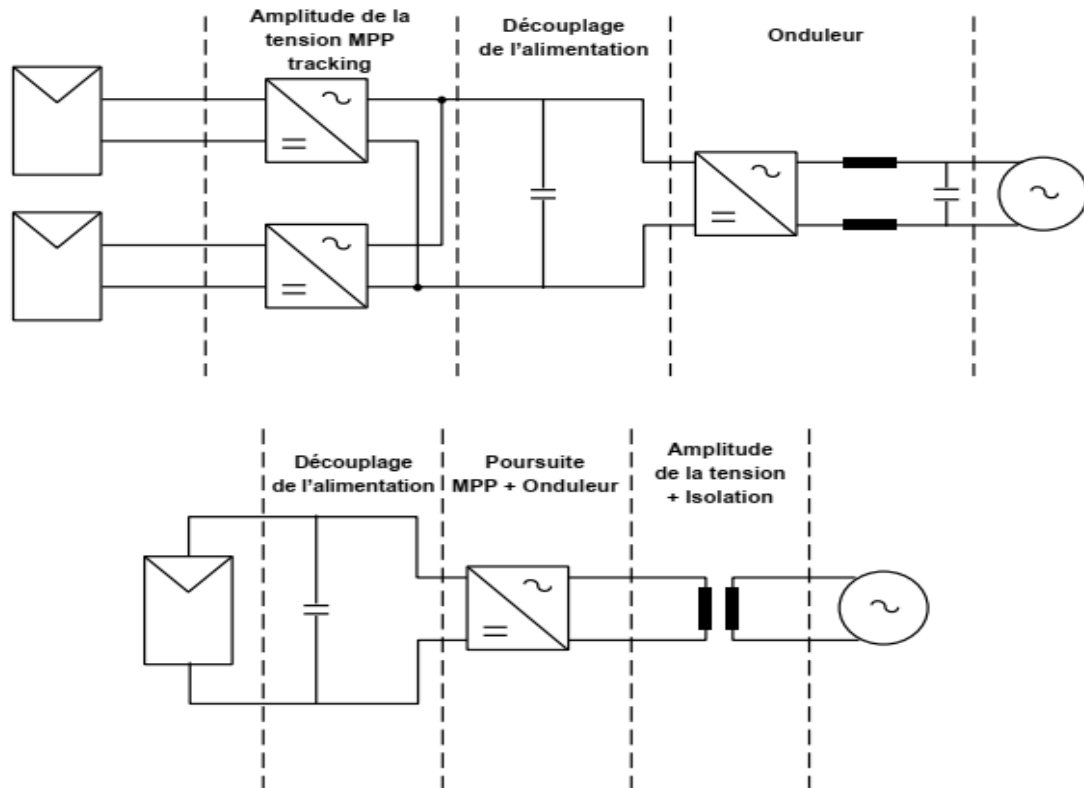


Figure (1,13) : Représentation schématique d'un onduleur avec transformateur et sans transformateur [23]

I.6.6. Les différents types d'installation des centrales PV :

L'énergie PV est utilisée dans deux domaines d'applications : le PV en site isolé et le PV connecté au réseau. Ces deux applications ont des fonctions et mettent en œuvre des chaînes de conversion très différentes. Dans la suite, nous allons présenter les trois systèmes suivants :

I.6.6.1. Système PV isolé :

Dans ce genre de système en site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation est installé et un système de stockage permet de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil [19], comme montré dans la figure (1,14).

Le système de stockage est utilisé pour stocker l'énergie électrique sous plusieurs forme (chimique, pompage d'eau.). Ils restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le système de régulation de charge a pour fonction principale de protéger les batteries contre les surcharges et les décharges profondes. C'est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie.

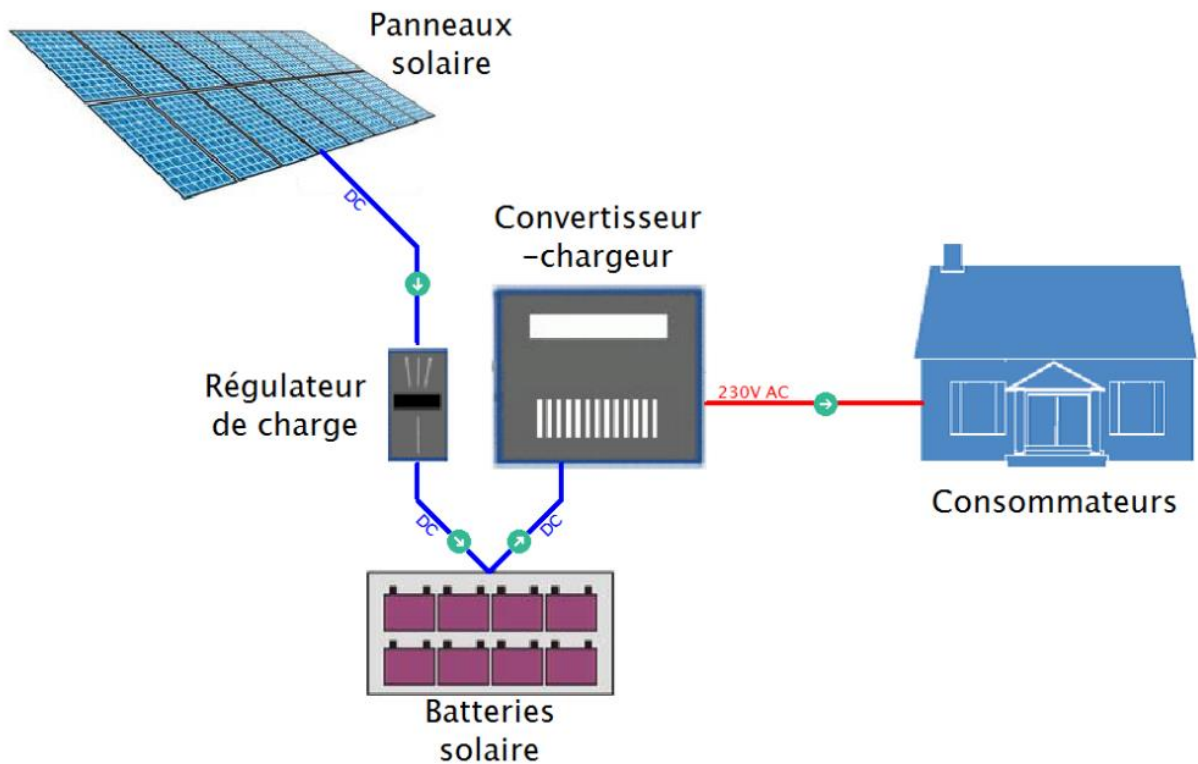


Figure (1,14) : Schéma d'un système photovoltaïque en site isolé [30]

I.6,6,2. Système PV Raccordé au réseau Sans stockage :

Contrairement aux systèmes en site isolé ce système s'installe sur un site raccordé au réseau, généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement. L'énorme avantage de cette solution est l'absence de système de stockage. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national.

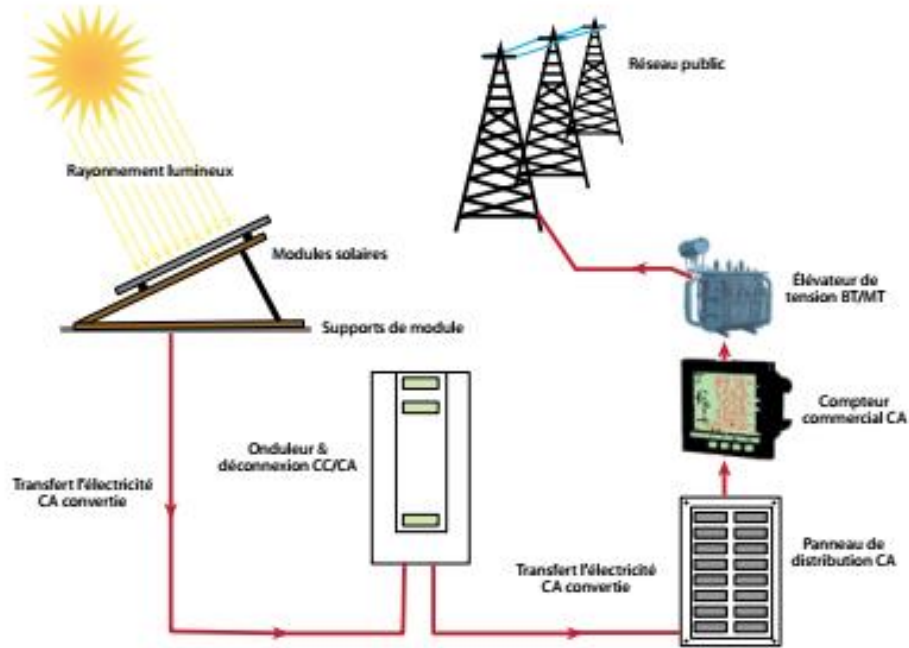


Figure (1,15) : Schéma d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau sans stockage [27]

I.6,6,3. Système PV Raccordé au réseau avec stockage :

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par système de stockage est intégré à la centrale de production (Figure 1,16). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.

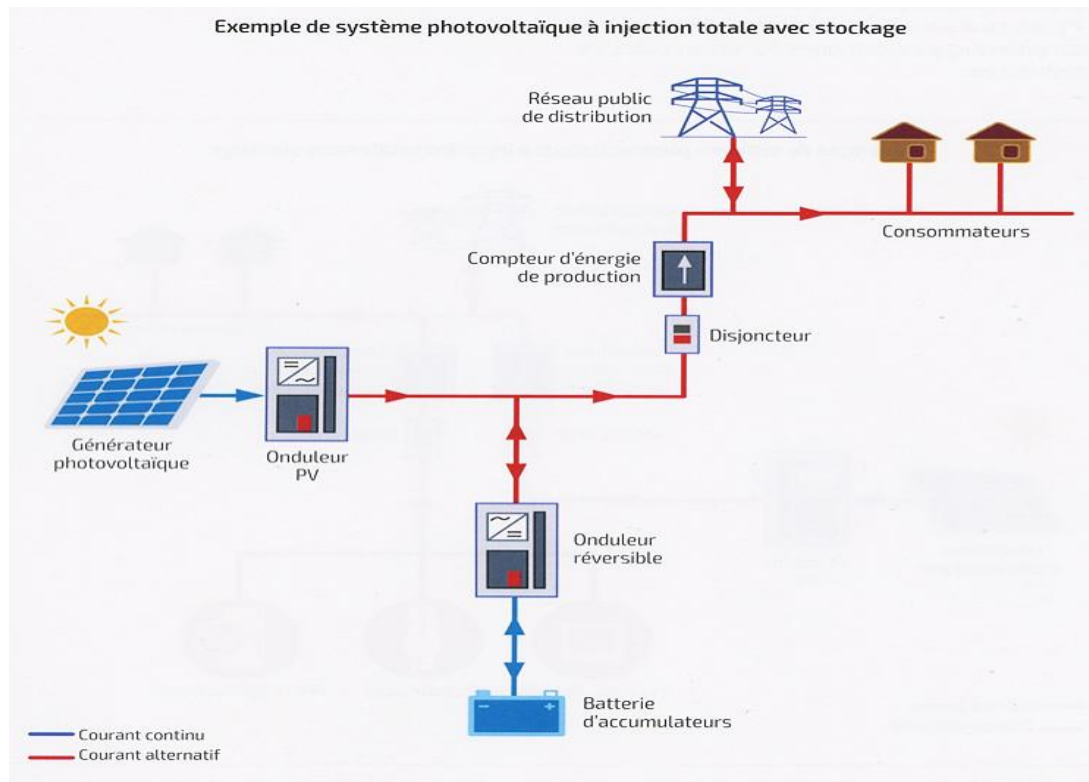


Figure (1,16) : Schéma d'un système PV raccordé au réseau avec stockage [31]

I.6,6,4. Transformateur de raccordement :

Les transformateurs de distribution au réseau sont les types de transformateurs que l'on rencontre sur les centrales solaires PV, ils sont utilisés pour élever la tension de sortie de l'onduleur pour le système de collecte de la centrale PV.

Conclusion :

Ce chapitre présent dans sa premier section la situation énergétique en Algérie en termes de production et consommation ainsi que le divers potentiel en énergies renouvelable, les actions affirmées par le gouvernement Algérien par rapport à son engagement dans le développement des énergies renouvelables à travers le lancement d'un programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Donc, les énergies renouvelables deviennent au cœur de préoccupation de l'Algérie.

La deuxième section est un aperçu sur les notions technique sur les systèmes PV à grand échelle en introduisant les différents technologies et type de composant utilisé (modules PV, onduleur) et ses concepts de raccordement ensuite citer quelques exemples des systèmes PV isolé et non isolé.

Les deux sections sont des parties importantes dans la contribution de l'étude des centrale PV à grande échelle comme celle présentée dans ce travail.

Chapitre 2 :

Description de la centrale photovoltaïque (23,92MWc)

Introduction :

Afin de concrétiser le projet d'intégration des énergies renouvelables, le gouvernement algérien a décidé de faire installer des centrales photovoltaïques sur plusieurs sites dans le pays, le programme national est ainsi entamé. Dans le cadre de ce programme, une centrale PV de 23,92 MWc a été installée à El Abiodh Sidi Cheikh dans la wilaya d'El Bayadh depuis 2015 et sa connexion au réseau est intervenue en mars 2017.

En effet au cours de ce chapitre nous allons faire une description globale de cette centrale PV. L'objectif visé lors de cette description est de pouvoir d'abord comprendre le fonctionnement de cette dernière, ensuite vérifier son dimensionnement et enfin spécifier les critères qui ont motivé les ingénieurs à choisir le site d'el Abiodh sidi cheikh.

II.1. Description de la centrale solaire photovoltaïque

La centrale photovoltaïque couvre une superficie de 39 ha et le dimensionnement de l'installation photovoltaïque consiste à agir pour l'implantation de plusieurs blocs égaux successifs, soit 93792 modules pour atteindre la puissance maximale demandée, soit 23 92 MWc.

La centrale PV comprend 12 blocs désignés comme étant sous-champs, chacun étant presque égal à 2 MWc. Chaque sous-champ contient tous les équipements nécessaires pour transformer l'énergie CC en CA, qui est étendue à un niveau de tension moyenne de 33 kV. L'énergie produite par les douze sous-champs est transmise au transformateur principal (33 kV / 60 kV, 50 Hz) pour l'interconnexion au réseau. Chaque sous-système se compose de deux blocs égaux. Chaque bloc individuel se compose de 24 modules PV connectés en série. Il existe trois types de configuration :

- 9 Sous-système composé de deux blocs égaux de 166 chaînes.
- 2 Sous-système composé de deux blocs égaux de 158 chaînes.
- 1 sous-système composé de deux blocs égaux de 144 chaînes.

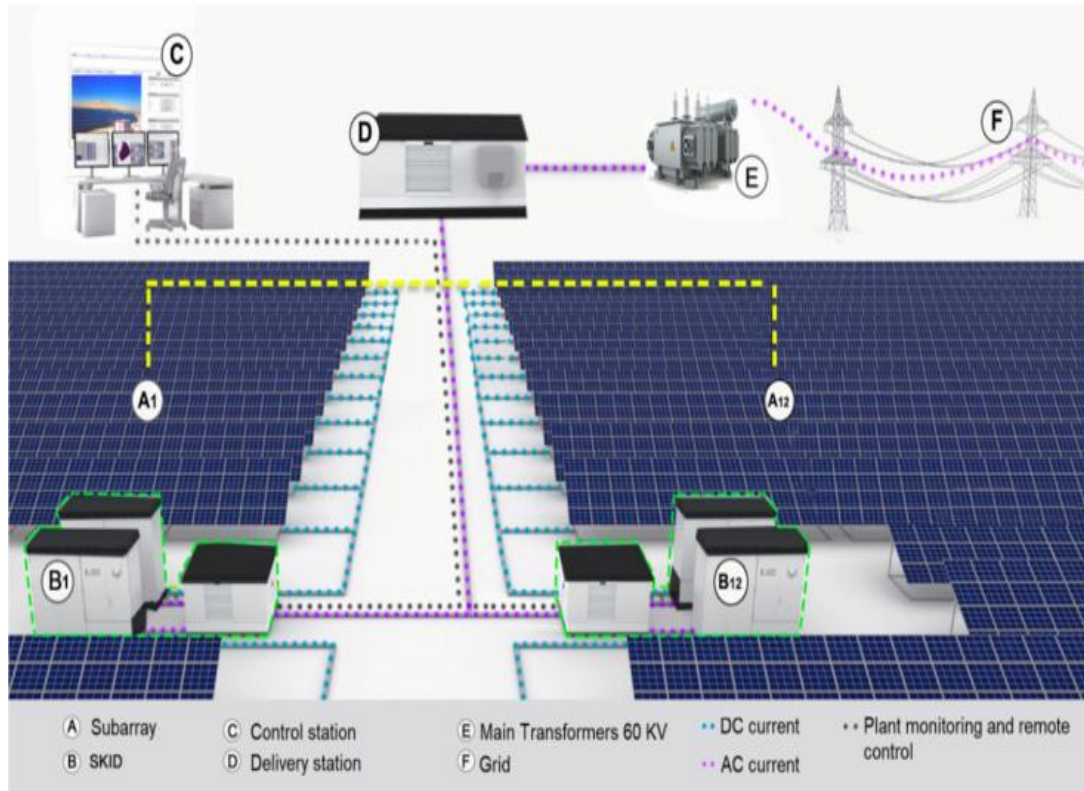


Figure (2,17) : Schéma descriptif de la centrale PV d'El bayadh.

II.2. Description du sous champ de 2 MWc.

II.2.1. Champ photovoltaïque :

Le sous-système occupe environ 2 5 ha, composé de panneaux poly cristallins CS6P 255-P. Les modules PV sont inclinés à 15 ° sud et monté sur des structures porteuses espacées de 6 m, cette distance est déterminée de manière à ce qu'il n'y ait aucun effet d'ombrage entre les lignes.

II.2.2. Panneaux photovoltaïques :

Les panneaux photovoltaïques utilisés dans la réalisation de la centrale sont des panneaux poly cristallins CS6P 255-P d'une Puissance crête de 255 Wc. Ainsi dans le but d'augmenter la tension, la centrale contient 24 modules connectés en série et cette interconnexion forme une chaîne.

Les caractéristiques essentielles sont montrées sur le Tableau ci-dessous :

Tableau (2,4) : Caractéristiques de module photovoltaïque CS69 - 255P [32]

Modèle	Canadian Solar CS6P - 255P
Puissance nominale maximale (Pmax)	255 W
Tension en fonctionnement optimal (Vmp)	30,2
Courant en fonctionnement optimal (Imp)	8 43A
Tension en circuit ouvert (Voc)	37 4V
Intensité de court-circuit (Isc)	9A
Température de fonctionnement	-40°C+85°C
Tension maximale du système	1000V(IEC)/600V(UL)
Calibre maximal des fusibles en série	15 A
Tolérance de puissance	+/- 5W

II.2.3. Configuration du SKID :

Le SKID est une plate-forme fournie qui comprend tous les matériaux et équipements nécessaires permettant de transformer l'énergie CC générée par chaque sous-champ en basse tension (1000V) en courant alternatif en moyenne tension (33 kV). Chaque SKID fournit 2 MWc et est composé de :

II.2.3.1. Quatre boîtiers centraux (2 positifs/ 2 négatifs) :

Les principaux câbles DC du générateur photovoltaïque sont regroupés en fonction de leurs polarités dans deux boîtes centrales négatives regroupant le câbles DC négatifs et les deux autres positives regroupant les câbles DC positifs.

II.2.3.2. Onduleurs :

Les onduleurs assurent la conversion de la puissance continue vers une puissance alternative. Chaque SKID comporte deux onduleurs solaires Sunny- centrale-800-CP-XT du fabricant SMA d'une puissance DC max = 898kW.

Le choix d'un onduleur de bonne qualité est vivement souhaité pour de raison de fiabilité et de bon fonctionnement.

Le tableau ci-dessous résume l'essentielle des caractéristiques de l'onduleur Sunny-centrale 800CPXT :

Tableau (2,5) : Caractéristiques techniques de l'onduleur [32]

Tension d'entrée min	500 V
Tension d'entrée max :	1000 V
Tension d'entrée assignée	641 V 681 V
Courant d'entrée max	1400 A.
Nombre d'entrées DC	9/32 (Sortie (AC).
Puissance nominale AC (à 50C°)	880 kVA
Tension nominal AC / Plage de tension nominale	AC: 360 V /324-414 V.
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz, 60 Hz/ 47 ... 63 Hz.
Fréquence / tension de réseau:	50 Hz / 360 v.
Courant de sortie max	1411 A
Facteur de déphasage réglable:	1/0 9inductif
Phases d'injection / Phases de raccordement	3 / 3.
Rendement max	98 6 %
Poids en kg	1900 kg / 4200 lb.
Plage de température de fonctionnement	-25 ... 62 "C
Tension d'alimentation auxiliaire externe	230 00 V (3 / N / PE)

II.2,3,3. Boîtier de Capteur :

Le rôle du boîtier de capteur « Sensor box » est de centraliser toutes les données parvenues du SKID et ensuite, les envoyer à l'unité principale de contrôle de donnée et d'acquisition (SCADA) qui assure plusieurs fonctions importantes telles que : la mesure en temps réel du courant CC et CA et valeurs de tension, mesure des paramètres météorologique du système, Saisie des signaux à la seconde et stockage intermédiaire.

II.2,3,4. Unité Principale de Sonnerie (RMU) :

Tous les SKIDS sont bouclés via les cellules moyenne tension appelées Ring Main Unit (RMU), le rôle du RMU est d'assurer la connexion, la déconnexion et permet la communication avec toutes les cellules des autres sous-champs. Les terminaux de boucle RMU sont connectés aux cellules du poste de livraison.

Ce que nous devons retenir ici, c'est que le RMU est un ensemble d'appareillage sous boîtier métallique assemblé en usine et utilisé pour assurer la connexion de la charge d'un réseau de distribution en boucle.

II.2,3,5. Transformateurs :

Dans chaque SKID nous trouvons un transformateur élévateur ou de puissance de marque SGB et d'un transformateur auxiliaire abaisseur de marque SBA, celui-ci est vraiment utile pour l'alimentation des appareillages basse tension.

Le transformateur de puissance a pour caractéristiques techniques : une puissance de 1800kVA, une tension de 30kV/400V, une fréquence de 50Hz, une plage de fonctionnement qui est $\pm 2 \times 2,5\%$, sa classe d'isolement est de type A, une durée de court-circuit de 2 secondes et un degré de protection est de type IP54.

Le transformateur auxiliaire a pour caractéristiques techniques : une tension nominale d'entrée de 3x30kV, une fréquence nominale de 50-60Hz, une tension de sortie de 3x400V, une puissance nominale de sortie de 8000VA, son indice de protection est de type IP54 et sa température ambiante maximale de 50°.

II.3. Poste de livraison :

Les RMU sont connectées pour former deux boucles fermées, liées aux stations de transport recevant l'énergie de l'installation PV et l'acheminant au réseau après avoir été converti par le transformateur principal de l'installation photovoltaïque (30 kV / 60 kV). Il se compose de 9 cellules MT à savoir : cellule d'évacuation type disjoncteur CB, cellule réserve type disjoncteur CB, cellule de mesure type M4, cellule boucle1 type disjoncteur CB, cellule boucle2 type disjoncteur CB, cellule réserve type disjoncteur CB, cellule boucle1 type disjoncteur CB, cellule boucle2 type disjoncteur CB, cellule protection transformateur TSA type combiné interrupteur fusibles sectionneur.

Le poste de livraison fait partie des dispositifs les plus importants de la centrale car il assure la liaison entre la centrale photovoltaïque et le réseau.

II.4. Poste de commande

La centrale photovoltaïque sera équipée d'un système de contrôle commande, réalisé par Padcon. Dans le cas de basse tension sur le réseau, la centrale se détachera automatiquement, à travers l'ouverture du disjoncteur général MT. Au retour de la tension, la centrale se reconnectera automatiquement au réseau. Le poste de commande est contigu au poste de livraison il est constitué de deux parties séparées par une cloison : Une salle de commande dotée d'un bureau avec un ordinateur centralisant toutes les informations sur la centrale photovoltaïque. De ce poste est établie la nécessité d'une maintenance préventive et/ou curative. Toutes les données de production de la centrale sont répertoriées grâce à un

logiciel de commande et une salle de stockage et maintenance permettant d'emmagasiner les outils de petite et moyenne taille nécessaire à la maintenance de l'installation photovoltaïque.

II.5. Système d'alimentation sans interruption :

Un système d'alimentation sans interruption (ASI) est mis en place et relié aux batteries pour permettre d'alimenter le poste de livraison en cas de coupure. Les batteries assurant l'alimentation du poste de livraison pendant 16h, et pendant 30 minutes les auxiliaires communs. Elles sont de marque Victron, avec une durée de vie de 20 ans à 20 C°.

Des redresseurs sont installés pour le poste de livraison dans une armoire individuelle ventilée. Le redresseur proposé est de type Sanny Island 5048 de SMA qui permet de réguler la charge des batteries et de fournir du courant alternatif à la sortie. La centrale est dotée d'un groupe générateur de secours, d'une puissance de 130 KVA. Pour assurer l'alimentation des auxiliaires. Le groupe électrogène est alimenté grâce à un réservoir de stockage de gasoil pour une autonomie de 8 heures et possède les caractéristiques suivants : Puissance en régime permanent 130KVA, Température -10/55°C et 100% d'humidité, Facteur de puissance de 0,8, Actionnement par moteur Diesel à gasoil, Batterie et démarreur préparés pour 6 démarrages successifs au moins, Tension nominale : 230/400 V (couplage en étoile), Fréquence nominale : 50Hz, Étendue du réglage de tension : $\pm 5\%$ de la tension nominale, Écart maximal de tension en cas de variation de la charge de 100%, le facteur de puissance restant entre 0,4 et 0,9 : 2% de la consigne.

II.6. Détecteur d'incendie :

Le site est doté d'un système de détection d'incendie (SDI) qui aura comme rôle la détection et la protection des personnes et des biens du bâtiment contre les risques d'incendie. Le SDI sera installé au niveau de la salle de contrôle. Les détecteurs et déclencheurs manuels assureront la détection incendie dans les différents espaces du site et transmettront l'information à la centrale de détection située dans la salle de contrôle. La centrale va répondre au signal reçu des détecteurs et activera les sirènes et modules déportés.

Il y'aura plusieurs types de détecteurs : des détecteurs de fumée optiques pour la surveillance de la plupart des surfaces du site ainsi que des détecteurs thermiques.

Les détecteurs optiques de fumée fonctionnent selon le principe de la diffusion de la lumière sur les particules et sont composés d'une source de lumière (LED I.R.) modulée en impulsion et d'une cellule réceptrice placée à 125° qui reçoit les réflexions de lumière produites par les aérosols. A une hauteur de 3m, la surface de détection est égale à 45m². Les détecteurs de fumée déclenchent généralement un incendie

plus rapidement que les détecteurs de chaleur. Ce détecteur thermique est capable de détecter une élévation de température due à la chaleur dégagée par le foyer par comparaison entre la température ambiante et la température dans le boîtier. Il est réservé à de petits locaux, pour la détection de feux ouverts ou de feux avec élévation de température rapide.

II.7. Aperçu sur le dimensionnement :

La réalisation du dimensionnement d'un champ photovoltaïque est une tâche extrêmement difficile car il requiert des fortes compétences, beaucoup d'expériences et demande de prendre en considération les facteurs techniques, météorologiques, normatifs, économiques, contractuels et stratégiques du projet.

II.7.1. Constatations :

Après avoir fait la description générale de la centrale PV, nous avons constaté que son dimensionnement a été élaboré en prenant en compte tous les facteurs évoqués ci-dessus et en suivant une méthodologie précise du dimensionnement d'un système PV. En outre, nous avons aussi remarqué que tous les équipements de la centrale PV fonctionnent correctement donc nous pouvons dire qu'aucun sous dimensionnement n'est à signaler.

Il est à noter que le champ photovoltaïque fonctionne sans stockage et qu'il représente un système supplémentaire de production électrique relié au réseau afin d'améliorer la qualité de service de la centrale de distribution d'énergie et couvrir les insuffisances en énergie électrique de la région d'El Abiodh Sidi Cheikh.

II.8. Critères du choix du site :

Le site d'El Abiodh Sidi Cheikh a été choisi en fonction des critères sociaux, économiques et environnementaux suivants : d'abord il y a la préservation de la biodiversité par l'absence des sites protégés à proximité, ensuite la facilité de raccordement au réseau électrique avec la présence d'un poste source situé à proximité du site, il bénéficie d'un ensoleillement de 1886 kWh/kW/an et sa moyenne annuelle d'irradiation globale est de 6807Wh/m², il y a aussi une protection contre les risques naturels grâce à l'absence des perturbations, enfin une disponibilité foncière : le terrain affecté pour la centrale n'était une propriété privée.

De tous les critères précités ci-haut, les critères environnementaux (météo, climat, etc.) sont les plus importants dans le choix d'un site car ceux-ci ont un lien direct avec la production d'énergie de la centrale et l'évaluation de ses indices de performance.

II.8.1. Critères environnementaux :

II.8.1.1. Position

El Abiodh Sidi Cheikh est une commune de la wilaya d'El Bayadh en Algérie, située dans le piémont saharien. C'est la deuxième commune la plus peuplée de la wilaya.

Ses coordonnées géographiques [33]. :

Altitude : 905,76 m

Longitude : 0,53936 32°53'55 '' Nord, 0°32'22'' Est.

Latitude : 32,8986

II.8.1.2. Classification de Koppen :

Le climat à El Bayadh, est désertique sec et chaud. La classification de Köppen est de type Bwh. La température moyenne est de 14,2 °C et la moyenne des précipitations annuelles ne dépasse pas 300 mm, il neige souvent en hiver, à cause de l'altitude. [34]

Dans le domaine des énergies renouvelables, il est impératif de toujours prendre en compte les paramètres climatiques du site choisi et surtout de bien les analyser avant d'amorcer toute forme de développement de projet.

II.8.1.3. Rayonnement du site :

Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien total atteignant la surface du sol sur une zone étendue, en tenant pleinement compte des variations saisonnières sur la longueur du jour, de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon, de l'absorption par les nuages et d'autres composantes atmosphériques. Le rayonnement en ondes courtes inclut la lumière visible et le rayonnement ultraviolet. Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année. La période la plus lumineuse de l'année dure 4 mois, d'avril à août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 7 1 kWh. Le jour le plus lumineux de l'année est le 14 juin, avec une moyenne de 8 1 kWh. [35]

La période la plus sombre de l'année dure 3 1 mois, de novembre à février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 4 2 kWh. [36]

L'étude de l'ensoleillement du site est prioritaire car c'est l'un des paramètres les plus importants dans la réalisation d'un projet d'une centrale photovoltaïque. L'étude doit être minutieuse et méthodique

pour garantir la réussite de son dimensionnement. Dans le diagramme ci-dessous, nous vous présentons la moyenne de l'éclairage en heures pour tous les mois sur l'an 2020.

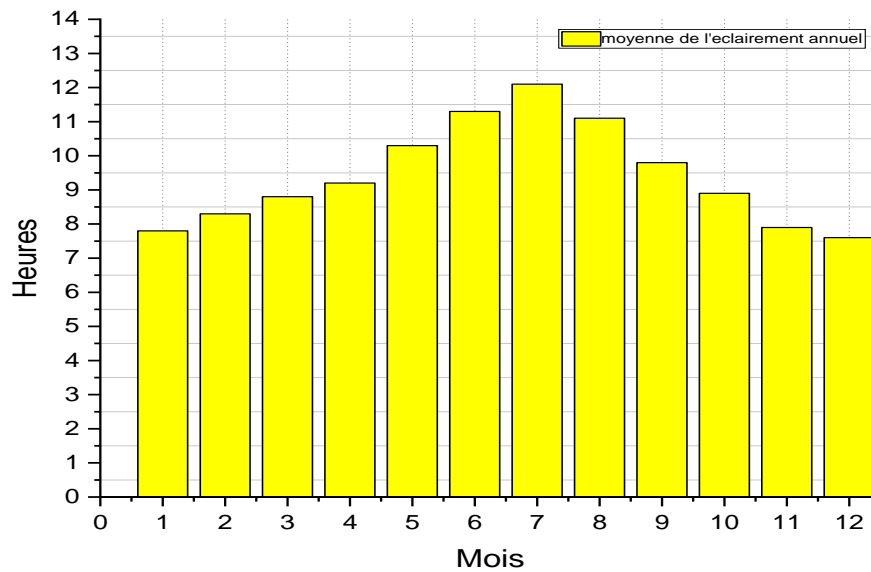


Figure (2,18) : La moyenne annuelle d'éclairage [37]

II.8,1,4. La température

La saison extrêmement chaude dure 3 0 mois, avec une température maximale quotidienne moyenne supérieure à 33 ° C. La saison fraîche dure 3 8 mois, du 15 novembre au 9 mars, avec une température maximale moyenne quotidienne inférieure à 18 ° C. [36]

La température est l'une des causes des pertes dans une centrale PV, plus elle est élevée plus il y a des pertes. L'ingénieur doit impérativement tenir compte de ce paramètre dans son dimensionnement pour l'évaluation des performances de la centrale PV.

Dans le diagramme ci-dessous, nous trouvons les valeurs de température maximale et minimale pour chaque mois au cours de l'année 2020 :

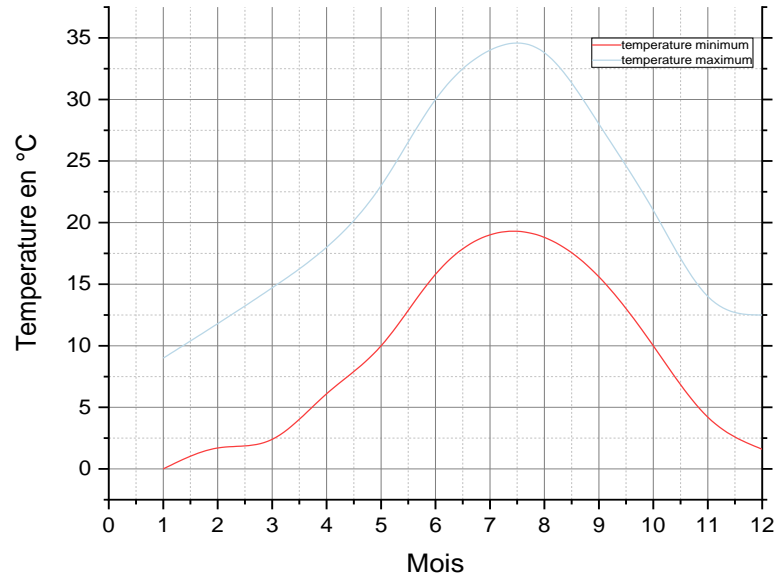


Figure (2,19) : Température moyenne annuelle [37]

II.8,1.5. Vitesse du vent

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires. La vitesse horaire moyenne du vent à El Abiodh Sidi Cheikh connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 5 mois, de janvier à juin, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 15 4 kilomètres par heure alors que la période la plus calme de l'année dure 6 mois, de juin à janvier. [36]

Les vitesses du vent élevées jouent un rôle capital dans le refroidissement des modules photovoltaïques et dans la résistance des matériaux pour le génie civil, donc elles ont une relation directe avec la température et contribuent à la minimisation des pertes au niveau de la centrale PV.

Dans le diagramme ci-dessous, nous trouvons les valeurs mensuelles sur une année de la variation de la vitesse du vent (2020) :

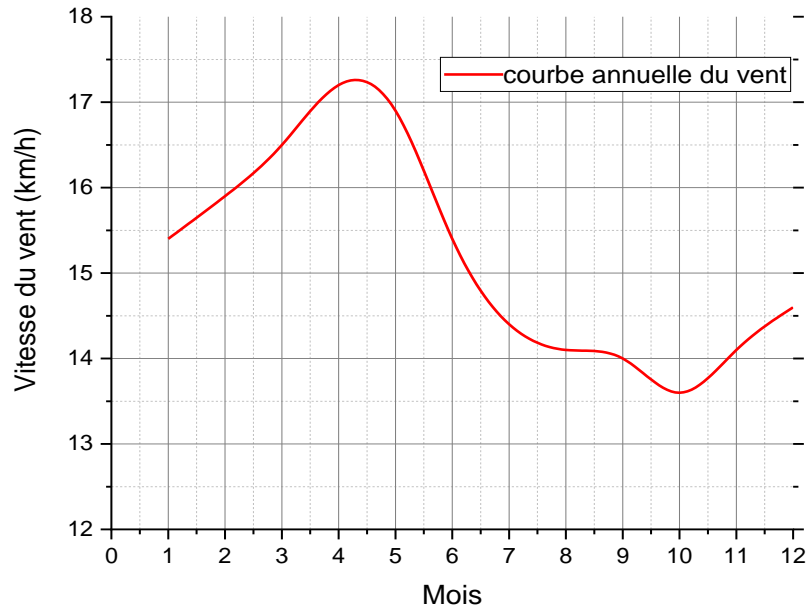


Figure (2,20) : La moyenne annuelle de la vitesse du vent [37]

II.8,1,6. Précipitations

Un jour de précipitation est un jour au cours duquel une accumulation d'eau est observée ou au moins 1 mm est mesuré dans l'eau. Le risque de jours de pluie à El Abiodh Sidi Cheikh varie tout au long de l'année. La saison avec le plus de précipitations dure 8 1 mois et les précipitations quotidiennes peuvent dépasser 6% alors que la saison la plus sèche dure 3 9 mois. Pour les jours de pluie, nous distinguons la pluie uniquement, la neige uniquement ou un mélange des deux. Selon cette classification, la forme de précipitation la plus courante tout au long de l'année est la pluie seule. [36]

Les précipitations abondantes contribuent souvent au nettoyage des modules photovoltaïques de la centrale PV mais dans le cas d'El Bayadh, elle est faible.

Le tableau ci-dessous résume la moyenne annuelle détaillée pour la localité d'El Abiodh Sidi Cheikh :

Table (2,6) : La moyenne annuelle de la précipitation à El Abiodh Sidi Cheikh [32]

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Précipitations (mm)	15	5	16	14	11	4	2	4	17	20	13	17

Conclusion :

Le travail effectué dans ce chapitre nous permet de connaître la géolocalisation de la centrale de El Abiodh sidi cheikh avec tous les éléments climatiques de la localité de El Bayadh. Un inventaire des équipements constituant la centrale avec les parties les plus importantes de son dimensionnement et nous avons compris son fonctionnement qui est subdivisé en plusieurs sous-champs afin de permettre la production de la puissance crête requise. Toutes ses données nous permettront de réaliser avec facilité l'analyse des indices de performances de la centrale PV d'El Abiodh sidi cheikh dans la prochaine étape de ce travail

Chapitre 3

Analyse des performances de la centrale PV d'El Abiodh sidi cheikh

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons aborder l'analyse des performances de la centrale PV d'El Abiodh Sidi Cheikh. Nous allons d'abord faire une description de la méthodologie adoptée tout en définissant les paramètres performances afin de réaliser une bonne analyse selon les normes internationales, en suite nous interpréterons les résultats des simulations. Cette étude est faite dans le but de comprendre la production de la centrale PV et tous les facteurs qui impactent sur cette dernière depuis son lancement afin d'envisager une amélioration et prévenir les dégradations du système.

III.1. La méthode d'analyse utilisée :

L'évaluation des performances d'un système PV permet de faire des prévisions sur la production énergétique tout en observant les dégradations que ce dernier peut connaître pendant un temps donné. Pour pouvoir réaliser une bonne étude d'évaluation des performances nous avons décidé de choisir PvSyst et Solar GIS comme outils de simulation parce qu'ils sont faciles à manipuler et aussi nous sommes assez familiarisés avec ces derniers. Dans ce qui suit, nous allons expliquer de manière détaillée les étapes de la simulation de notre évaluation :

D'abord, nous devons avoir les données d'entrée et quelques spécifications du système PV (altitude, longitude, données météorologiques, spécification des panneaux et des onduleurs, angle d'inclinaison et les systèmes design) que nous devons insérer dans nos simulateurs (PvSyst, Solar GIS), ils font partie de l'étape de la préfaisabilité et la faisabilité, ensuite nous allons faire des prévisions des paramètres des performances lors de la phase de développement de projet. Après avoir fait cette manipulation, nous allons ensuite faire une description générale de la centrale PV pour connaître les critères environnementaux réels du site choisi et prendre connaissance de certains matériaux importants pour comprendre le fonctionnement de la centrale PV telle que nous l'avons fait au cours du deuxième chapitre de notre travail. Après avoir validé cette étape avec succès, nous devons ensuite faire une extraction des paramètres de sortie réels pendant la période de surveillance.

Dans l'étape suivante de notre manipulation, nous allons faire une analyse des performances de la centrale PV entière selon la norme IEC 61724. [38] À l'issue de cette étape fatidique, nous allons procéder à une étude comparative entre les performances réelles de sortie de la centrale PV et les données des prévisions des paramètres de performance lors de la phase de développement de projet. Après avoir effectué avec succès toutes ces manipulations, nous allons enfin faire une observation sur les dégradations du système PV au cours de la période de surveillance. Nous allons conclure notre étude par une étude comparative des performances de la centrale PV avec les installations PV à grande échelle dans le monde.

La figure (3,21) reprend toutes les étapes d'analyse de performance de la centrale PV sous forme d'organigramme pour une meilleure compréhension :

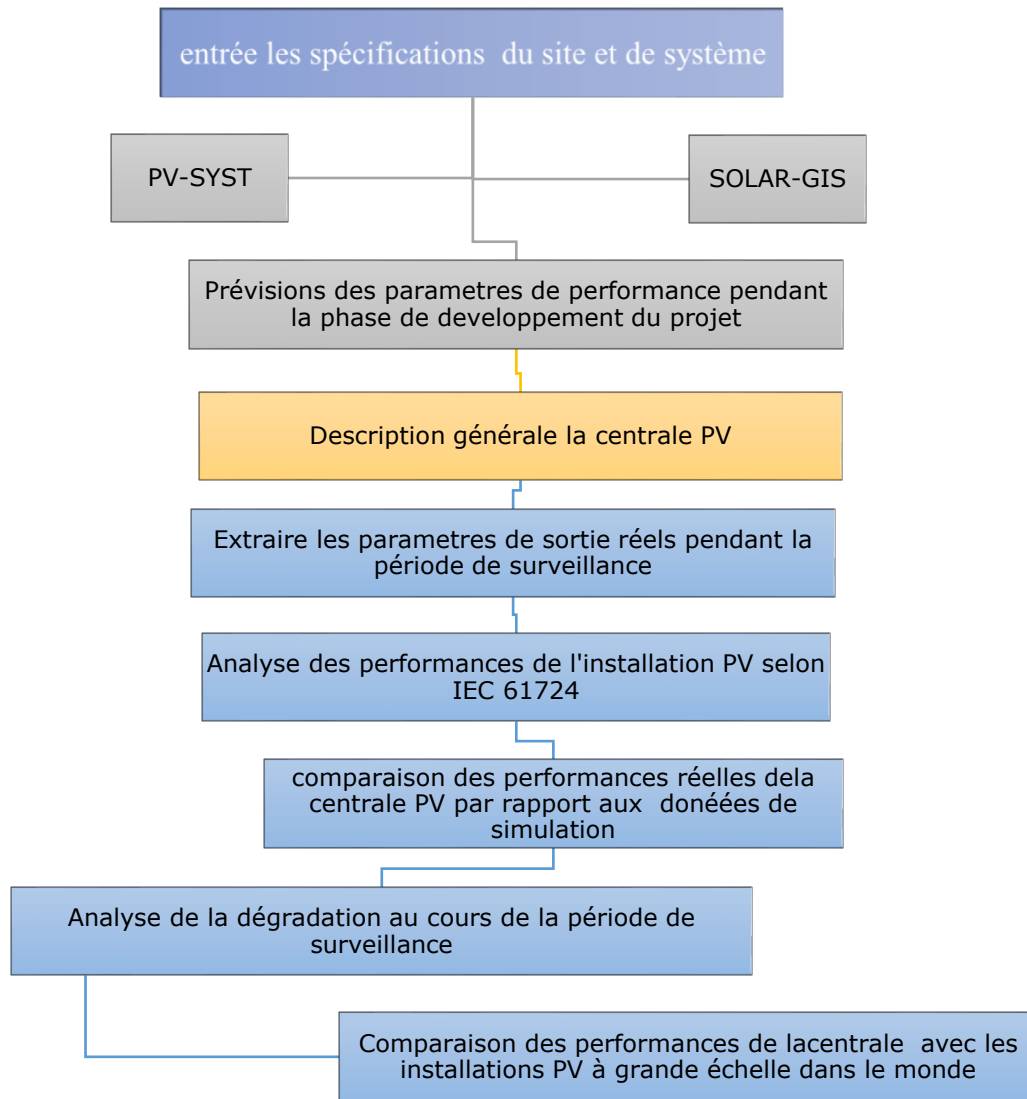


Figure (3,21) : Organigramme des étapes d'analyse de performance de la centrale PV

III.2. Les paramètres de performances utilisés :

Pour pouvoir effectuer une analyse complète des performances d'un système solaire PV, plusieurs paramètres de performance ont été spécifiés par l'Agence International de l'Energie (IEA) et sont décrit dans les normes standardisés (Commission Électrotechnique International) CEI 61724. Ces paramètres de performance sont :

III.2,1. Les rendements énergétiques :

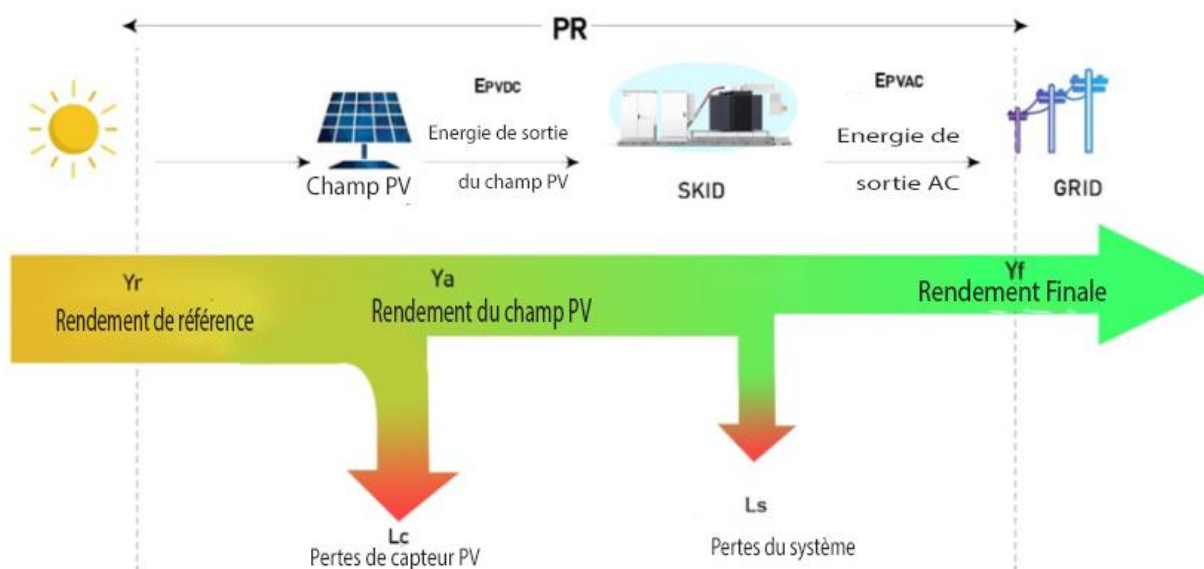


Figure (3,22) : Bilan des rendements et des pertes du système PV

III.2,1,1. Rendement de référence :

Le rendement de référence (Y_r) est le rapport entre la quantité totale de rayonnement solaire H_t (kWh/m^2) arrivant à la surface des panneaux solaires PV et la quantité de rayonnement de référence G_0 (1000W/m^2) (STC : irradiation : 1000W/m^2 , 25°C température ambiante et spectre de référence AM 1,5-G). Son expression mathématique est illustrée dans l'équation (1) :

$$\frac{H_t}{G_0} = Y_r \quad (1)$$

III.2,1,2. Rendement du champ :

Le rendement du champ PV (Y_a) est défini comme le rapport entre l'énergie totale générée E_{DC} (kWh) à la sortie du champ PV pour une période définie (jour, mois ou année) et la puissance nominale P_0 (kW_c) comme montré dans l'équation (2) :

$$\frac{E_{DC}}{P_0} = Y_a \quad (2)$$

III.2,1,3. Rendement final :

Le rendement final (Y_f) correspond à l'énergie totale produit par le système PV (kWh) par rapport à la puissance nominale installée P_0 (kW_c). Son expression mathématique est :

$$\frac{E_{AC}}{P_0} = Y_f \quad (3)$$

III.2,2. Les pertes de la centrale PV

III.2,2,1. Le taux des pertes du système PV :

Le taux des pertes du système (LS) est dû aux pertes par conversion des onduleurs (courant continu-courant alternatif) et il est défini par la différence entre le rendement du champ PV (Y_a) et le rendement final (Y_f). Voici son équation :

$$L_S = Y_a - Y_f \quad (4)$$

III.2,2,2. Le taux des pertes du champ PV :

Le taux des pertes du champ (LC) est défini par la différence entre le rendement de référence et le rendement du champ PV. Il représente les pertes dues aux : températures des panneaux, câblages, ombrage partiel, pertes spectrales, la salissure, erreurs dans la recherche du point de puissance maximale, de conversions (DC-AC), etc. L'équation du taux de pertes du champ PV est représentée comme suit :

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (5)$$

III.2,2,3. Le rapport de performance :

Le rapport de performance (PR) indique l'effet global des pertes sur la production énergétique du système PV. Les valeurs de PR indiquent à quel point un système PV approche les performances idéales dans des conditions réelles d'exploitation. PR est défini par le rapport entre le rendement final et le rendement de référence. Il est représenté mathématiquement dans l'équation (6).

$$\frac{Y_f}{Y_r} = PR \quad (6)$$

III.2,2,4. Le facteur de capacité :

Le facteur de capacité (CF) est le rapport entre la production d'énergie annuelle du système PV (E_{pAC}) et la quantité d'énergie que le système PV pourrait être générée si l'installation photovoltaïque est exploitée à pleine puissance nominale pendant 24h par jour sur une année. La CF est calculée comme suit :

$$\frac{E_{pAC}}{(365 \text{ jours} * 24 \text{ heures} * \text{capacité installée})} = CF \quad (7)$$

III.3. Aperçu sur les logiciels utilisés :

Une étape incontournable dans l'évaluation de la préfaisabilité d'un projet PV consiste à calculer la production d'énergie attendue de l'installation photovoltaïque au stade de la conception.

Une estimation précise de la production d'énergie nécessite l'utilisation de plusieurs informations telles que les données météorologiques (irradiance, température, vitesse du vent, et humidité relative) du site en

plus du dimensionnement de l'installation photovoltaïque et les spécifications techniques des composants. Plusieurs chercheurs ont prouvé l'importance des outils dans l'évaluation des performances de la centrale PV. Plusieurs outils de simulation existent pour une réalisation complète d'analyse de performance des centrales PV, en l'occurrence PvSyst, SAM, PVGIS et Solar Gis ont été utilisé pour la prévision et la modélisation des systèmes PV à grande échelle [39].

Nous avons choisi deux logiciels de simulation pour l'étude des analyses des performances de la centrale PV d'El Abiodh Sidi Cheikh qui sont : PVsyst et SolarGIS. Ce choix n'a pas été fait par hasard mais plutôt parce que ces derniers offrent une facilité d'utilisation et une large acceptation.

III.3.1. PvSyst :

PvSyst est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche adaptée avec guide dans le développement d'un projet. PvSyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. [40]

Ce logiciel fournit une analyse technique détaillée dans plusieurs applications comme le solaire par pompage, les PV connectés au réseau et même les systèmes autonomes. D'ailleurs plusieurs chercheurs l'ont utilisé comme outil principal de modélisation pour les analyses de performance des installations photovoltaïques et les conclusions de leurs études montrent que les résultats énergétiques de PvSyst sont fiables et les valeurs sont proches des données réelles mesurées avec un petit écart, tel que Dr Vikrant Sharma de « GNA University » le montre dans ses études d'analyse de performance pour une centrale PV en Inde. [41] L'ingénieur Maria Malvoni de l'université de Salento a comparé les performances réelles de la centrale photovoltaïque de 960 kWc située en Italie avec les résultats attendus en utilisant PvSyst, SAM. [42] les ingénieurs Mavuto H. Banda et Karidewa Nyeinga du Malawi ont comparé les performances paramètres dérivés des données surveillées de l'installation photovoltaïque de 830 kWc localisée au Malawi avec le modèle simulé en utilisant PvSyst. [43]

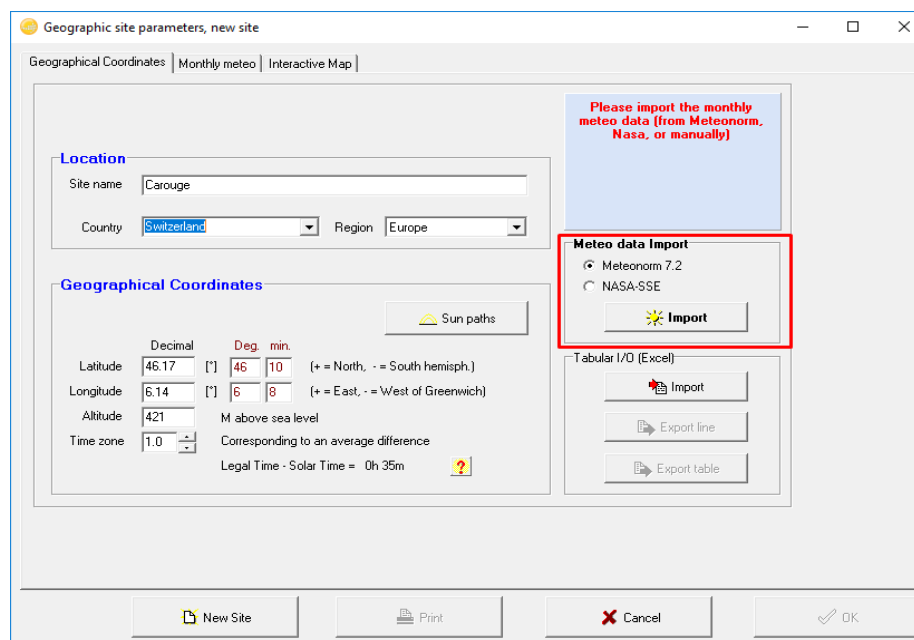


Figure (3,23) : Interface de données d'entrées de Pvsyst

III.3,2.SolarGIS :

SolarGis est un fournisseur de données climatiques et de solutions logicielles dédiées pour l'énergie solaire, revendique plus de 16 ans d'expérience dans l'analyse de la ressource solaire dans une approche globale. Ce logiciel a été choisi spécialement pour sa précision et sa fiabilité pour les données météorologiques car il est doté d'un système d'information géographique (SIG) conçu pour fournir aux utilisateurs une base de données fiable sur les ressources solaires et modélisation PV de faisabilité sur une seule plateforme [44] [45]. Il fournit un accès rapide aux données historiques, récentes et prévisionnelles par rapport à l'emplacement d'un site. À l'intérieur de la plateforme nous retrouvons quatre applications :

III.3,2,1. Prospection :

Elle assure le criblage et l'analyse comparative des sites de projets à l'aide de Solar-GIS. I-Map et PV-Planner sont ces outils de prospection.

III.3,2,2. Evaluer :

Pour une modélisation énergétique fiable et une conception optimisée d'une installation photovoltaïque utilisant clim-Data. Solar-GIS propose des données historiques, ainsi qu'une série de temps pour une période de temps sélectionnée pour tout emplacement sélectionné qui peut être utilisé pour comprendre la production d'énergie annuelle, saisonnière ou quotidienne prévue et pour le calcul des estimations d'énergie pour P90, P50 et autres scénarios probabilistes.

III.3,2,3. Surveillance :

Surveillance régulière des performances de l'installation photovoltaïque à l'aide des outils de surveillance tel que Solar-GIS, PV Spot. PV Spot peut être utilisé comme un outil de comparaison utile pour une installation photovoltaïque à grande échelle bien surveillée en plein fonctionnement.

III.3,2,4. Prévission :

Il prévoit la production d'énergie photovoltaïque jusqu'à 10 jours à l'avance, basé sur les modèles numériques de prévision météorologique les plus précis. Il implique deux étapes : La première étape consiste à faire une prévision de météorologie variables telles que le rayonnement solaire, la température de l'air, la vitesse du vent, l'humidité relative. Dans la deuxième étape, les variables prédites sont en fonction de la puissance de sortie en tenant compte des spécifications techniques de l'installation photovoltaïque.

III.4. Résultats et discussion :

Cette partie se concentre sur l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques connectés au réseau afin de déterminer le développement et l'utilisation futurs possibles des centrales solaires photovoltaïques dans le sud algérien. Dans cette section, les résultats des deux simulations utilisées (PVsyst et solarGIS) sont décrits en détail, et les données réelles du système photovoltaïque sont entièrement comparées aux résultats de simulation. L'énergie générée AC et le taux de dégradation du rapport de performance (PR) des systèmes photovoltaïques les résultats obtenus sont comparés avec d'autres systèmes PV dans le monde.

Nous présentons dans cette partie les résultats de l'étude de préfaisabilité et la simulation de système PV avant construction, nous avons utilisé les logiciels PVsyst et Solar Gis, pour ensuite comparer leurs résultats.

III.4,1. Simulation avec PVsyst :

Toutes les spécifications critiques liées à l'aspect technique de l'installation telles que la spécification du module et des onduleurs, l'angle d'inclinaison et la conception du système ont été fournis comme données d'entrées au logiciel. En se basant sur les données fournies, PVsyst fait la simulation du système PV dans l'emplacement installé. Après exécution, les résultats de sortie sont obtenus sous forme des variables telles que l'irradiation horizontale globale sur plan collecteur (Globinc), température ambiante (Tamb), et irradiance globale efficace (GlobEff)tenant compte du divers facteurs de perte, énergie du champ PV (EArray), les pertes dans les parties électriques, et l'énergie injectée dans le réseau (EGrid).

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

(Tableau 3,7) représente les résultats des paramètres de performance du système PV pour le site étudié, l'irradiation globale horizontale annuelle est de 2041,7 kWh/m² et l'énergie incidente annuelle sur la surface PV est de 2249,3 kWh/m². La température ambiante moyenne annuelle est de 17,72 °C. L'énergie annuelle produite à partir du réseau PV est de 46 689 MWh, et leur efficacité est de 13,76%.

Tableau (3,7) : Résultats des paramètres de performance (PVSYST)

	GlobHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %
Mar-17	178	12,56	201,1	191,2	4281	1847	14,11
Apr-17	206	15,93	218,8	207,6	4553	1838	13,79
May-17	231	21,60	235,5	221,6	4743	2403	13,47
Jun-17	232,8	26,60	228,4	216,7	4534	2491	13,16
July-17	231,9	30,31	232,0	20,0	4530	2626	12,94
Aug-17	211	29,01	217,2	205,8	4274	2552	13,04
Sept-17	172	23,75	190,2	108,1	3869	2548	13,48
Oct-17	141	18,08	166,0	157,6	3493	2462	13,95
Nov-17	108	11,29	137,1	130,2	3004	2165	14,52
Dec-17	96	7,63	128,0	121,2	2850	2026	14,75
Jan-18	106	6,53	141,4	134,1	3145	1806	14,79
Feb-18	128	8,85	155,3	147,7	3404	1673	14,53
Année	2041,7	17,72	2249,3	2133,7	46,689	26437	13,76

Les pertes globales sont indiquées dans le tableau (3,8). L'irradiation horizontale globale et l'irradiation efficace sur la surface inclinée sont 2042 kWh / m² et 2134 kWh / m² respectivement, les pertes importantes proviennent du côté du champ PV en raison de plusieurs facteurs, y compris l'irradiance, la salissure et la température ambiante. Le rendement de l'énergie simulée obtenue du champ PV s'élevait jusqu'à 46 826,991 MWh. Les pertes du système (LS) liées au côté AC sont principalement dues aux pertes de l'onduleur, pertes de transformateur, et une partie minime des pertes des câbles. L'énergie annuelle injectée dans le réseau est d'environ 45 101,216 MWh. Les pertes d'énergie se produisent dans des conditions de fonctionnement spécifiques dans différents composants d'une centrale PV connectée au réseau.

Table (3,8) : Production d'énergie et pertes du système (PVsyst).

Conversion d'énergie	Production d'énergie [kWh/kWc]	Perte d'énergie [kWh/kWc]	Perte d'énergie [%]
1-Irradiation globale en plan (entrée)	2249	-	-
2- Perte d'irradiation		-19	-0,9%
3- Facteur d'IAM sur global		-28	-1,3%
4- Facteur de perte de sol		-65	-3,0%
Puissance nominal du champ PV (cond.STC)	2133,69	-	-
5- Perte de PV due à la température		-147	-6,9%
6- Perte de mismatch, modules et chaînes		-20	-1,0%
7- Perte de câblage		-14	-0,7%
Puissance nominal à la sortie du champ PV		-	-
8- Perte de l'onduleur pendant le fonctionnement		-35	1,8%
		-6	-0,3%
9- Perte de l'onduleur par rapport à la puissance nominale		-10	-0,6%
		-20	-1,1%
10- - Perte de AC	1885,81	-363,19	16,2%
11- Perte de transformateur externe			
Energy injecté au réseau			

III.4.2. Simulation avec SolarGis :

Le tableau (3,9) présente les résultats des paramètres de performance de l'installation PV à l'aide du logiciel SolarGIS. Comme le PVsyst, plusieurs paramètres sont obtenus comme l'irradiation horizontale globale (Gh), l'irradiation global en plan (Gi), la température ambiante (T_{Amb}) et la production d'énergie du champ PV (E_{grid}). La température ambiante moyenne annuelle est de 18 °C. la somme annuelle de l'irradiation horizontale globale et de l'irradiation globale en plan est de 2086 et 2245 kWh/m², respectivement. Elle varie au moins de 97 kWh/m² et 131 kWh/m² en décembre à près de 232 kWh/m² et 233 kWh/m² en mai, respectivement. Par conséquent, l'énergie annuelle totale la production a été de 42 009,87 MWh. La somme annuelle des pertes d'énergie est de près de 489 kWh/kWc, ce qui représente 21,8 % (Tableau 3,9).

Tableau (3,9) : Résultats des paramètres de performance (SolarGIS).

Month	Ghmonthly [kWh/m2]	Ghdaily [kWh/m2]	Gimonthly [kWh/m2]	Gidaily [kWh/m2]	Tamb [kWh/m2]	E_grid [Gwh]
Mar-17	180	5,71	200	6,46	13	3,86
Apr-17	207	6,84	217	7,22	16,3	4,09
May-17	234	7,47	233	7,53	21,4	4,29
Jun-17	237	7,73	229	7,64	26,9	4,08
July-17	239	7,48	231	7,46	30,2	4,05
Aug-17	219	6,73	216	6,96	29,2	3,81
Sept-17	178	5,72	187	6,25	24,4	3,42
Oct-17	145	4,59	168	6,4	18,4	3,17
Nov-17	111	3,58	137	4,56	11,6	2,70
Dec-17	98	3,14	131	4,22	7,8	2,64
Jan-18	109	3,44	140	4,516	6,7	2,83
Feb-18	128	4,50	155	5,522	9,1	3,04
Année	2086	5,58	2245	6,15	18	42,01

Tableau (3,10) : Production d'énergie et pertes du système (PVsyst).

Conversion d'énergie	Production d'énergie [kWh/kWc]	Perte d'énergie [kWh/kWc]	Perte d'énergie [%]	PR [% partiel]	PR [cumul %]
1-Irradiation globale en plan (entrée)	2245	-	-	100,0	100,0
2- Irradiation globale réduite par ombrage	2245	-1	-0,0	100,0	100,0
3- Irradiation globale réduite par réflectivité	2183	-62	-2,8	97,2	97,2
4- Conversion en DC dans les modules PV	1955	-228	-10,4	89,6	87,1
5- Autres pertes de DC	1848	-108	-5,5	94,5	82,3
6-Convertisseurs (conversion DC/AC)	1801	-46	-2,5	97,5	80,2
7-Pertes de transformateur et de câblage AC	1774	-27	-1,5	98,5	79,0
8-Disponibilité réduite	1757	-18	-1,0	99,0	78,2
Performances totales du système	1757	-489	-21,8	-	78,2

III.4.3. Comparaison des pertes d'énergie entre SolarGIS et PVsyst :

L'irradiation annuelle globale en plan utilisée comme entrée pour les logiciels PVsyst et le SolarGIS est respectivement de 2249 kWh/kWc et de 2245 kWh/kWc. Après pertes optiques, nous voyons que l'irradiation globale en plan a diminué de 5,1%et 2,8 % pour PVsyst et SolarGIS, respectivement. L'énergie DC est réduite de 15,3 % pour SolarGIS et de 8,24 % pour PVsyst par rapport à la valeur nominale. L'énergie injectée au réseau est inférieure au rendement énergétique de la sortie du Champ PV de 4,93 % pour SolarGIS et 3,69 % pour PVsyst. Le pourcentage total des pertes d'énergie s'élève à 21,8 % en

utilisant SolarGIS et 16,2 % pour PVsyst. Par conséquent, en utilisant PVsyst, les pertes DC et AC sont inférieures à SolarGIS.

III.4.4. Comparaison des performances avec les données réelles de la centrale PV :

Nous comparons et analysons les résultats obtenus du système SCADA, qui sont suivis en temps réel, avec les résultats obtenus grâce aux logiciels de simulation SolarGIS et PVsyst. Les Paramètres utilisés pour comparer les données mesurées avec le modèle simulé sont des données météorologiques (rayonnement solaire et température de l'air), la production d'énergie en courant alternatif, le PR et le CF.

Remarque : les graphes présentés ci-dessous ont été réalisés avec le logiciel Excel en se basant sur les données obtenues par les simulations de deux logiciels et les données mesurées par le système SCADA.

III.4.4.1. Données météorologiques :

Les prévisions de production d'énergie dépendent principalement des données météorologiques utilisées pour la simulation. Une estimation précise de la production de l'énergie nécessite l'utilisation de données météorologiques cohérentes. Les données utilisées comme entrées pour les logiciels PVsyst et SolarGIS proviennent de Métronome 7,1 et le satellite SolarGIS, respectivement. Les figures. (3,24) et (3,25) montrent la comparaison entre les données météorologiques utilisées par PVsyst et SolarGIS et les données mesurées recueillies à la station de mesure installée sur site. Le rayonnement solaire moyen annuel en plan obtenu de SCADA, SolarGIS, et PVsyst étaient de 2202,81, 2245, et 2249,3kWh/m², et leur température moyenne annuelle était 21,48, 19 et 17,72 °C, respectivement. La variation de la moyenne mensuelle du rayonnement solaire mesurée en plan et de la température de l'air au cours de l'année convient dans certaines mesures avec les données satellitaires. De ce fait, SolarGIS est plus précis dans la prévision des données météorologiques dans cette région.

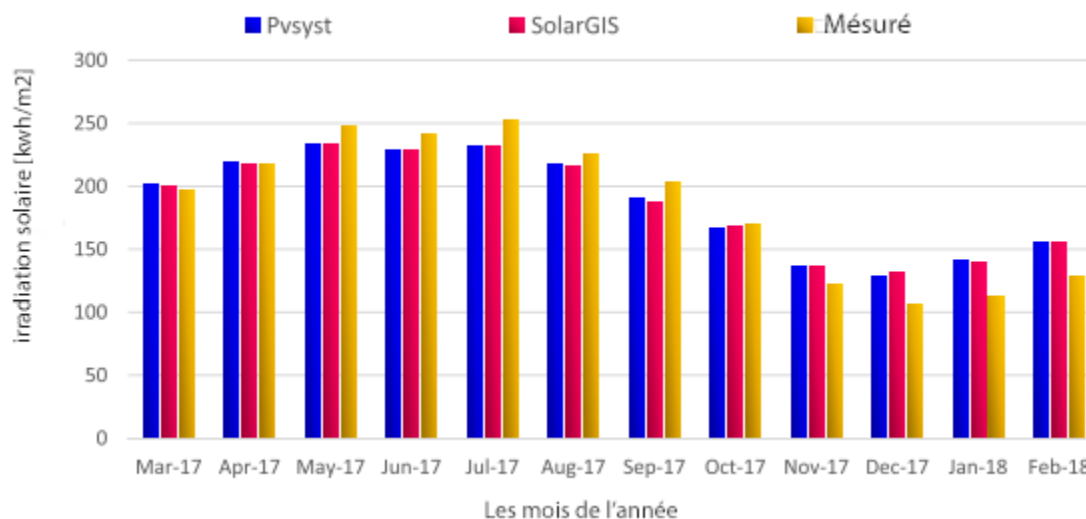


Figure (3,24) : Comparaison mensuelle entre le rayonnement solaire mesuré et simulé dans le plan

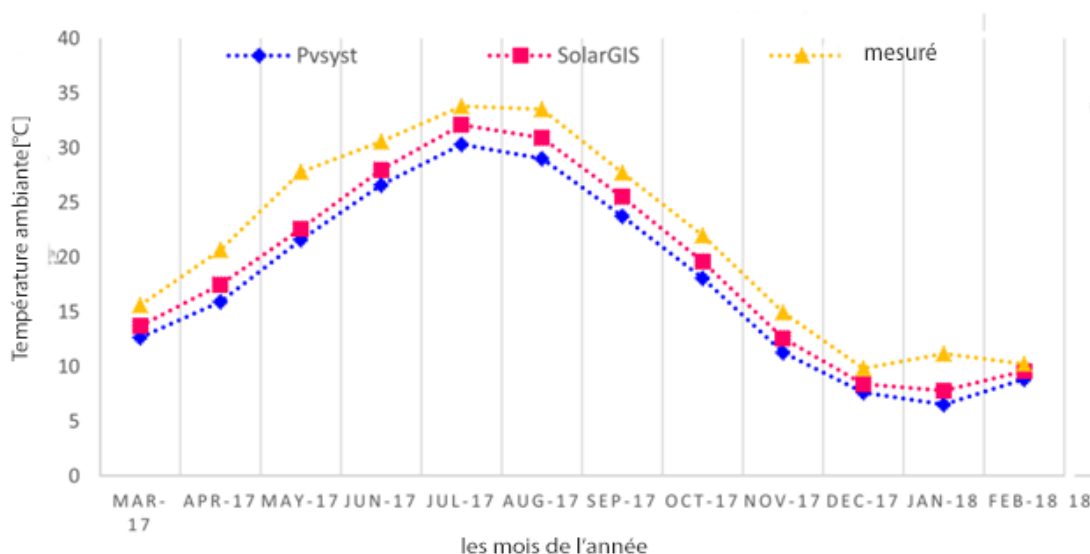


Figure (3,25) : Comparaison mensuelle entre la température de l'air mesurée et simulée

III.4,4,2. Énergie injectée au réseau :

La comparaison entre la production d'énergie mensuelle réelle et la production dans les résultats simulés sont présentées dans la figure (3,26). La production d'énergie prévue à partir de SolarGIS et PVSYST ont varié légèrement tout au long de l'année. La production annuelle totale d'énergie générée obtenue du SCADA, SolarGIS et PVsyst étaient de 43 261,4, 42 009,87 et 45 101 MWh respectivement, variant d'un minimum de 2815,1, 2630,1 et 2752MWh au cours du mois de décembre à un maximum de 4221,33, 4279,89et 4580 MWh au mois de mai, respectivement. Alors que l'énergie prédite par les deux logiciels de simulation SolarGIS et PVSyst durant l'année est proche des valeurs réelles mesurées

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

avec une moyenne d'intervalle d'erreur -2,9% et +4,1% respectivement. Il est à noter que la déconnexion de puissance qui a duré une semaine, c'était à la suite d'un problème technique survenu en avril, L'année 2017 a fortement affecté l'erreur moyenne de biais (EBM) de ce mois en augmentant l'EBM à 22,3 % et 13,7 % respectivement pour Pvsyst et SolarGIS. La valeur négative indique que les modèles logiciels ont sous-estimé l'énergie injectée dans le réseau pour la plupart des mois de l'année étudiée, les résultats de SolarGIS coïncident fortement avec la valeur mesurée. Par conséquent, SolarGIS serait très utile et plus précis dans la prédiction de puissance dans cette région.

La pénurie qui s'est produit au niveau de la centrale en avril 2017 c'était à cause d'un problème technique, et la divergence entre la valeur mesurée de l'énergie injecté au réseau et les valeurs de la simulation c'était à cause de l'intermittence de climat au niveau de la région durant les mois d'automne.

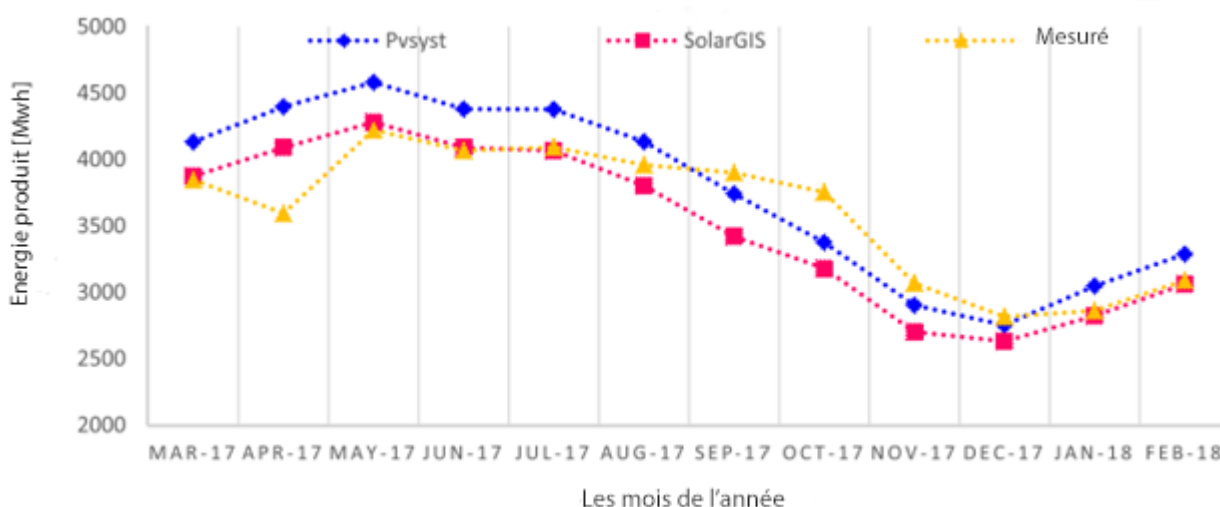


Figure (3,26) : Comparaison mensuelle entre la production d'énergie AC mesurée et simulée

III.4.4.3. Le rapport de performance PR :

Le rapport de performance est un paramètre standard essentiel et mondial pour évaluation des performances du système PV. Il fournit des informations utiles sur le total des pertes enregistrées dans la chaîne de conversion de l'énergie photovoltaïque. Il est également la mesure de rendement acceptée pour évaluer et analyser divers des différentes centrales PV situées dans le monde entier. La figure (3,27) montre une comparaison des résultats de simulation de l'étude avec la variabilité mensuelle du rapport de performance réel. En hiver, la valeur de PR est supérieure par rapport à l'été. Le rapport de performance le plus élevé obtenu à partir des outils de système SCADA était de 89,34% en mois de décembre en raison de la valeur inférieure des pertes global de système. Le rapport de performance le plus bas été de 74,49 % en juillet en raison des pertes élevées dues à la température du capteur PV. Le PR annuel globale calculé du

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

Le système PV est d'environ 82,02%, ce qui est raisonnablement acceptable, compte tenu des conditions climatiques. Alors que le rapport de performance annuel prévu de SolarGIS et PVSyst est de 78,91% et 83,8%, respectivement, il varie de la plus basse de 73,2 % et 77,1 % en juillet, au plus haut de 84,4 % et 90 % en janvier, respectivement. Par conséquent, PVsyst surpasse SolarGIS dans la prédiction du PR car PVsyst permet plus de paramètres de configuration que SolarGIS comme la conception détaillée du système et les spécifications du module PV et de l'onduleur.

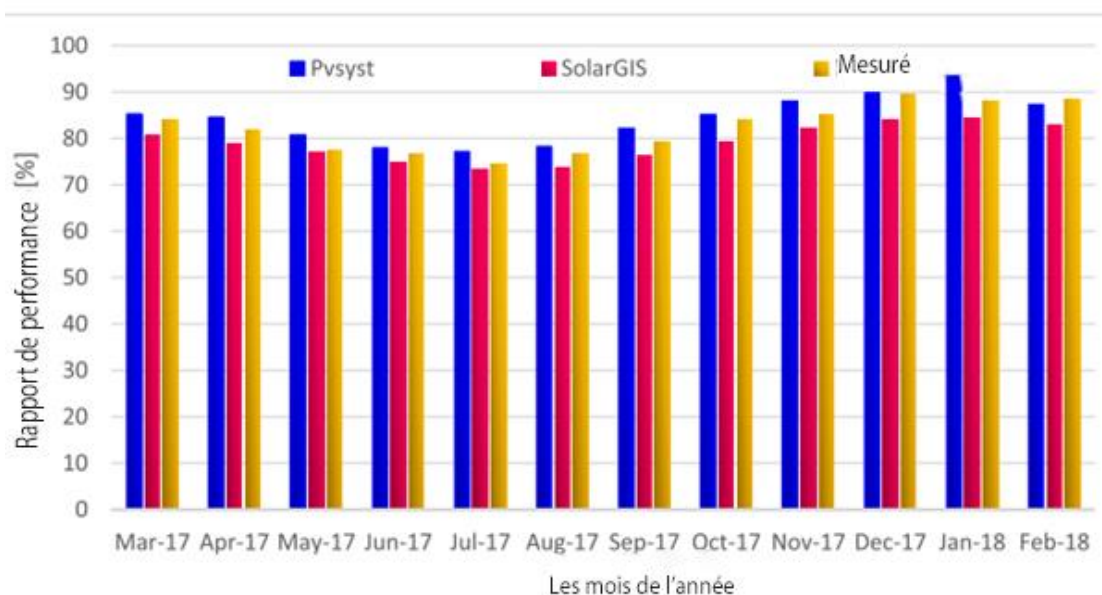


Figure (3,27) : Comparaison mensuelle entre PR mesuré et simulé

III.4.4.4. Le facteur de capacité CF :

La comparaison de la variabilité mensuelle du facteur de capacité réelle avec les résultats simulés est présentée à la figure (3,28). Le CF est raisonnablement maintenu à une valeur satisfaisante de 20,64 % sur une base annuelle moyenne. Il varie d'un minimum de 15,82% en décembre à un maximum de 23,72% en mai. La moyenne annuelle prévue des CF obtenus à partir des outils de SolarGIS et PVsyst était de 20,04 % et de 21,52 %, respectivement, variant d'un minimum de 14,78% et de 15,46 % au cours du mois de Décembre à un maximum de 24,05% et 25,74 dans le mois de mai, respectivement. Pour la plupart des mois de l'année étudiée, les valeurs trouvées avec les outils de SolarGIS sont beaucoup plus proches des valeurs mesurées du CF.

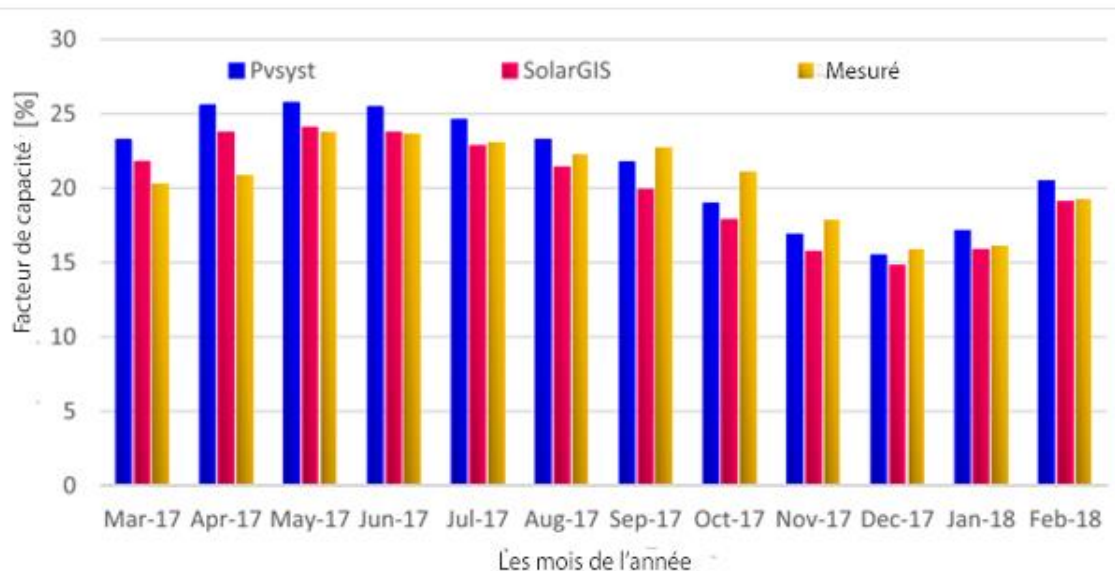


Figure (3,28) : Comparaison mensuelle entre CF mesurée et simulée

III.4.5. Analyse détaillée des performances de la centrale PV :

Cette partie analyse en détail les performances réelles du système photovoltaïque au cours de la première année de production, extrait l'efficacité du système de données SCADA et quantifie l'effet de la température du module sur les performances du système photovoltaïque.

III.4.5.1. Les rendements énergétiques de système :

Le rendement du champ PV et le rendement final par rapport au rendement de référence sont les principaux paramètres de performance du système PV. Il représente l'efficacité globale de la conversion énergétique. Les facteurs de rendement ne sont pas constants et varient selon chaque mois. Le rendement de référence quotidien moyen présente des similarités avec l'irradiance solaire normale sur le plan. Il varie d'un minimum de 4,26 kWh/kWc/jour en décembre pour atteindre un maximum de 8,02 kWh/kWc/jour en juin. La moyenne journalière du rendement du champ PV et le rendement final se situent entre au moins 3,92 et 3,82 kWh/kWc/jour en janvier à au plus 6,84 et 5,72 kWh/kWc/jour en juin, respectivement, et leur moyenne quotidienne annuelle était de 5,46, et 4,95 kWh/kWc/jour. La figure (3,29) montre la corrélation entre les rendements moyens du champ PV et les rendements finaux par rapport au rendement de référence. La moyenne mensuelle du rendement du champ PV et le rendement final augmentent linéairement avec un rendement de référence croissant, ce qui reflète des coefficients de corrélation élevés de 0,9851 et 0,9202. Les deux lignes divergent à mesure que le rendement de référence augmente, car les niveaux de température peuvent atteindre des valeurs plus élevées à un rendement de référence plus élevé, ce qui entraînerait une réduction plus importante des rendements du système par rapport à des niveaux de température plus bas.

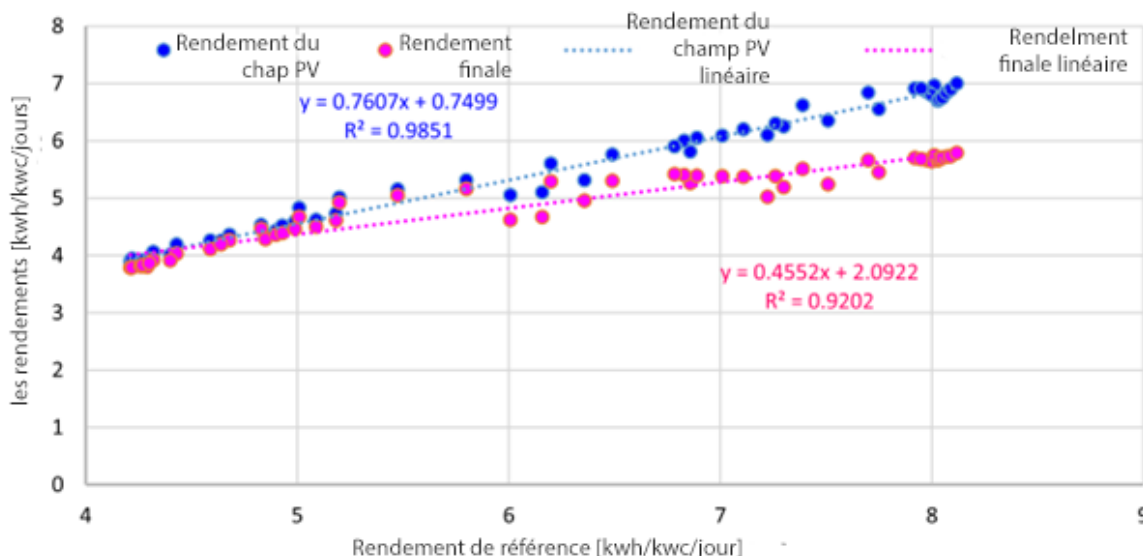


Figure (3,29) : Relations hebdomadaires entre le rendement de référence (axe X) par rapport à la matrice et le rendement final (axe Y)

III.4,5,2. Effet de la température de module sur le champ PV :

L'impact de la température du module sur le rapport de performance est illustré dans la figure. (3,30). La température moyenne mensuelle du module affiche une relation linéaire avec la température ambiante, elle varie de 15,55 °C en décembre mois à 37,56 °C en juillet mois. Le graphe indique une certaine corrélation entre la température moyenne du module durant la journée et le rapport de performance avec un coefficient de corrélation de 0,91.

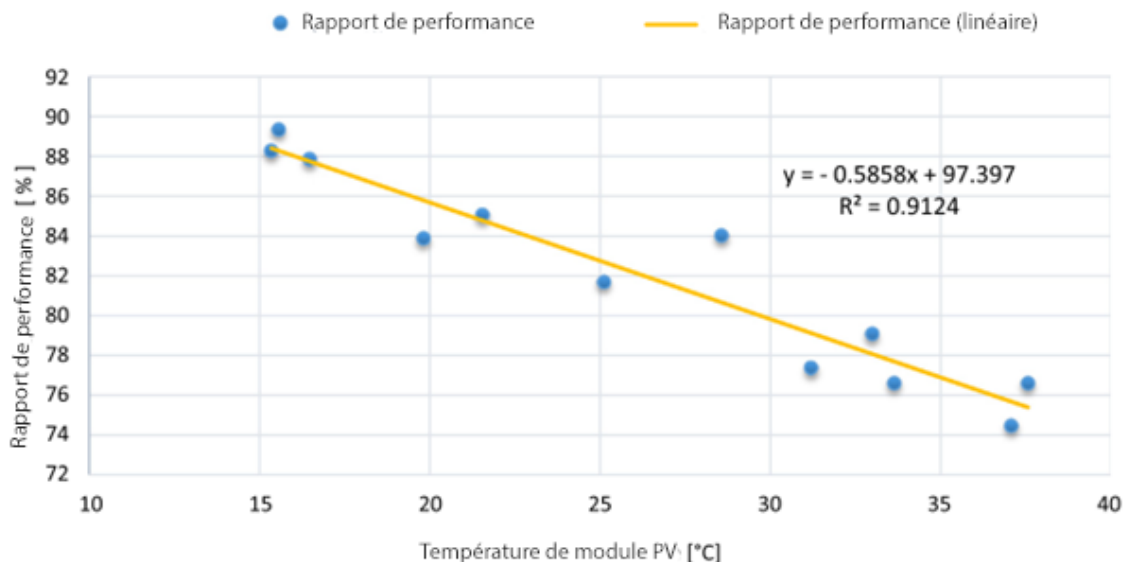


Figure (3,30) : Impact de la température du module sur le rapport de performance

III.4.6. Études de dégradation du système :

La centrale PV considérée a subi une certaine baisse de ses performances après trois ans d'exploitation, en raison de différents aspects tels que l'énergie AC produite et le rapport de performance. Cette section vise à évaluer la dégradation de cette centrale photovoltaïque en fonction de son énergie produite et le PR pendant cette période d'exploitation.

III.4.6.1. Dégradation en terme énergie injecté au réseau :

La somme mensuelle détaillée de la production d'énergie pour la période de surveillance (36 mois) est indiquée à la figure (3,31). La somme mensuelle de l'énergie produite a varié d'un minimum de 2,74 GWh en décembre 2019 à un maximum de 4,26 GWh en juin 2018. La variation de la production d'énergie est principalement influencée par la variation du rayonnement solaire. La production annuelle totale d'énergie a été de 43,26 GWh, 42,96 GWh et 42,89 GWh pour 2017, 2018 et 2019, respectivement, pour l'obtention de l'énergie totale générée 129,11 GWh.

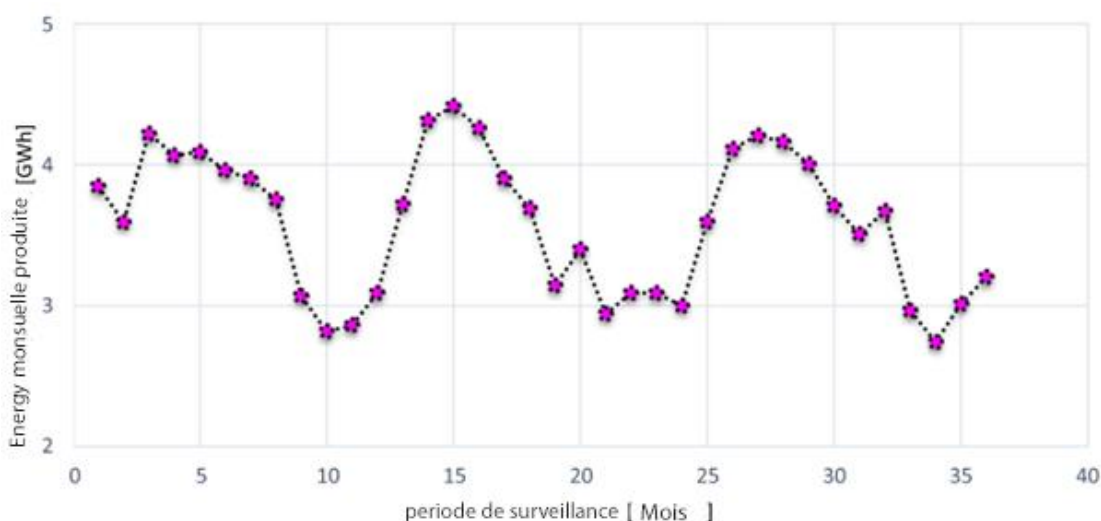


Figure (3,31) : Production d'énergie à partir de l'installation photovoltaïque pendant la période de surveillance

III.4.6.2. Dégradation du rapport de performance du système :

Nous avons estimé le taux annuel de dégradation de PR (PRDR) de la centrale photovoltaïque en appliquant un modèle de régression linéaire à la série chronologique mensuelle du rapport de performance pendant la période de surveillance pour obtenir l'équation $Y = aX + b$, où a c'est la pente et b c'est l'ordonnée à l'origine. Dans cette étude, le PRDR annuel est défini par l'équation $PRDR = (a/b) \times 12 \times 100[\%]$. La moyenne mensuelle du RP sur 36 mois est indiquée à la figure (3,32). Pendant trois années d'exploitation, le PR a toujours été maintenu à un niveau moyen de 80.65% qui est passée de 89.34%

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

en décembre-2017 à 72.51% en juillet 2019. La pente négative montrée démontre que le taux de rendement diminue pendant la période de surveillance avec un taux de dégradation de 0.76 %/an.

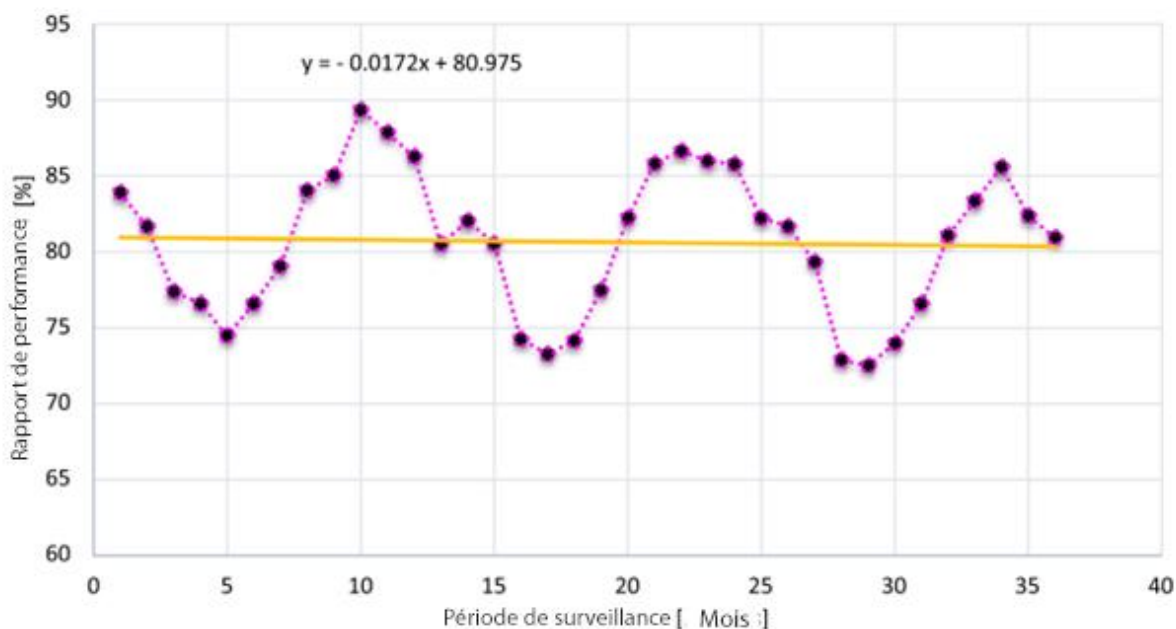


Figure (3,32) : Modèle de régression linéaire pour le ratio de performance sur les 3 ans

III.4.7. Comparaison des performances réelles de la centrale avec d'autres centrale PV a grandes échelles installées au monde :

Afin de réaffirmer les résultats obtenus au cours de cette étude, nous comparons les indicateurs des performances de la centrale solaire avec ceux de systèmes de production d'énergie solaire à grande échelle ailleurs sur la base des termes les plus courants, tels que la classification du climat, la technologie utilisée, rendement final, CF et PR. Le tableau (3,11) décrit les différentes performances, les paramètres pour lesquels les résultats de l'installation photovoltaïque effective étaient satisfaisants par rapport aux autres régions. Il est à noter que toutes les études ont été évaluées sous un cycle de surveillance d'un an. La technologie des modules photovoltaïques poly cristallins est principalement utilisée dans les installations photovoltaïques à grande échelle. Le rendement final annuel moyen (Y_f) déclaré dans l'étude présente est plus élevée que celles de tous les autres systèmes PV, à l'exception du système PV dans la région d'Adrar, Algérie [46]. Cela parce que cette région a un fort potentiel solaire et plus d'heures d'ensoleillement en Algérie. Par rapport aux installations photovoltaïques installées dans le monde, l'installation photovoltaïque existante a montré un rapport de performance plus élevé que celui de la plupart des installations photovoltaïques. Cependant, l'installation PV installée à Ramagundam, en Inde [47] est plus élevée que la centrale photovoltaïque existante qui en tire avantage du système de suivi moderne. Le CF moyen annuel

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

de l'installation photovoltaïque existante est satisfaisant valeur de 20.64 % par rapport au le CF moyen annuel de toutes les installations photovoltaïques utilisé dans cette étude qui est de 17 98%.

Tableau (3,11) : Comparaison de diverses installations photovoltaïques à grande échelle.

Localisation	Classification climatique de Köppen	Technologie des Modules PV	Angle d'inclinaison (°)	Capacité Installé (MWc)	Rendement finale (kWh/kWc/jour)	PR (%)	CF (%)	Référence
El-Bayadh, Algérie	Sec (Bwh)	Pc-Si	15	23,92	4,95	82,02	20,64	Étude actuelle
Adrar, Algérie	Sec (Bwh)	Pc-Si	28	20	4,98	71,71	20,76	[46]
Nouakchott, Mauritanie	Sec (Bwh)	Couche mince	10	15	4,28	68	17,8	[48]
Shagaya, Koweït	Sec (Bwh)	Couche mince/pc-Si	20	11,15	4,94/4,95	80/80,2	20,48/20,49	[49]
Ramgundam, Inde	Tropical (Aw)	Pc-Si	Inclinaison saisonnière variable	10	4,24	85,12	17,68	[47]
Irbid, Jordanie	Tempréré (Csa)	Pc-Si	15	5	4,6	80	18	[50]
Albacete, Espagne	Tempréré (Csa)	Pc-Si	30	4,6	3,39	78,84	14,11	[51]
Navrongo, Ghana	Tropical (Aw)	Pc-Si	12,5	2,5	3,89	70,6	16,2	[52]
Est de la Turquie	Tempréré (Csa)	Pc-Si	25	2,13	3,12	81,15	18,86	[53]

Chapitre 03 : Analyse des performances de la centrale PV d'El Abiodh sidi cheikh.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé le développement du projet de la phase de l'étude de préfaisabilité à l'ensemble des 3 années de phase de mise en service de la centrale photovoltaïque de 23,92 MWc installée à El Abiodh Sidi Cheikh, Algérie. Le rôle de l'évaluation des performances des installations photovoltaïques réelles atteint une part élevée de centrales photovoltaïques dans les futurs systèmes énergétiques. Les conclusions importantes de l'analyse à l'aide des indices de performance sont listées ci-dessous :

- La variation de l'irradiation mesurée et de la température ambiante à partir de la station de mesure au sol supposé être en accord dans une certaine mesure avec les données météorologiques utilisées comme données d'entrées pour les logiciels PVsyst et SolarGIS obtenus auprès de Meteonorm 7,1 et le satellite SolarGIS. Cependant, le satellite SolarGIS est plus précis dans la prévision des données météorologiques dans cette région.

- Les paramètres de rendement obtenus pour les premières années de production correspondent en grande partie à ceux prévus lors de la phase de développement du projet. La production totale annuelle d'énergie mesurée de SCADA était 43 261,4 MWh. Les rendements quotidiens moyens annuels et les rendements finaux étaient respectivement de 5 46 et 4 95 kWh/kWc/jour. Par ailleurs, la moyenne annuelle du PR et du CF est de 82 02 % et 20 64 %.

- L'étude de la dégradation montre que le PR diminue les mois d'été en raison des pertes élevées associées à l'augmentation de la température du module PV. En outre, le taux de dégradation interannuel au cours de la période de surveillance était de 07.6 %/an prouvant la valeur de dégradation obtenue avec d'autres installations photovoltaïques situées dans différentes zones climatiques.

- Les résultats en matière de rendement sont jugés satisfaisants par rapport aux installations photovoltaïques à l'échelle des services publics situés ailleurs dans le monde. Ces résultats encouragent donc les gouvernements algériens à investir davantage dans l'énergie solaire, en particulier dans cette région.

Conclusion Générale :

Conclusion générale :

Ce travail s'inscrit dans la lignée de ceux qui contribuent à la concrétisation et à la réalisation du Programme National des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique mis en œuvre en 2012, récemment mis à jour en 2020 et qui prévoit la production de 16,000 MW d'ici 2035 en Algérie.

L'objectif de notre travail était d'évaluer les performances de la centrale PV d'el Abiodh sidi cheikh qui a une puissance crête de 23,92 MWc afin de prédire sa production et prévenir les dégradations de son système.

Le premier chapitre a été consacré, d'abord à une présentation de l'actualité de la situation énergétique ainsi que les divers potentiels en énergies renouvelables en Algérie, ensuite nous avons cité quelques notions techniques des systèmes photovoltaïques à grande échelle avec ses différents concepts de raccordement. Ce que nous avons retenu ici, c'est que la transition vers les énergies renouvelables est devenue au cœur des préoccupations du gouvernement algérien.

Dans le deuxième chapitre, nous avons d'abord fait une description générale de la centrale PV dans le but de comprendre son fonctionnement, ensuite nous avons fait un aperçu sur son dimensionnement et enfin nous avons cité quelques critères qui ont motivé les ingénieurs à choisir el Abiodh sidi cheikh. Nous pouvons dire que la centrale fonctionne correctement et son dimensionnement a été bien réalisé. Les critères les plus importants dans le choix d'un site pour la réalisation d'un projet de centrale photovoltaïque sont les critères environnementaux notamment l'ensoleillement et dans notre cas, il a une moyenne annuelle de 6807Wh/m^2 , d'ailleurs c'est un paramètre essentiel dans la production d'énergie et pour les études d'évaluation des performances.

Le troisième chapitre a été réservé à l'analyse complète des performances de la centrale PV durant une période de surveillance de trois ans et en suivant les normes standardisées (Commission Électrotechnique Internationale) CEI 61724. D'abord nous avons fait une petite description de la méthodologie utilisée lors de l'étude, ensuite nous avons fait quelques simulations en utilisant les logiciels PVsyst et SolarGIS, enfin nous avons interprété les résultats.

Par conséquent, nous avons constaté que l'outil SolarGIS est un meilleur logiciel dans l'évaluation des performances d'un champ photovoltaïque car il est doté d'une base de données qui s'actualise régulièrement et cela est dû à sa connexion directe avec le satellite qui traite les informations de façon

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

instantanée alors que PVsyst possède une base de données statique, archivée et qui n'est pas à jour ce qui crée une marge dans la lecture des résultats.

Après nous avons comparé les résultats de notre étude sur l'évaluation des performances de la centrale PV d'el Abiodh Sidi Cheikh avec ceux d'autres centrales dans le monde et nous avons constaté que la centrale PV fait partie de la gamme des meilleures centrales en termes de performances. Cela veut dire tout simplement que cette dernière est toujours aussi performante malgré toutes les contraintes et les pénuries auxquelles elle était confrontée durant les premiers mois de sa mise en service.

En fonction de toutes ces conclusions, nous avons pu confirmer l'importance cruciale de continuer à investir, à exploiter l'énergie solaire et nous pensons que c'est maintenant le bon moment ou il faut continuer avec l'installation des centrales photovoltaïques du même type que celle mentionnée dans ce travail partout dans le pays car ceci représente un bénéfice énorme dans le développement du marché de l'électricité et de l'économie en Algérie.

Références et bibliographie

- [1] P. F. A. ED. CHERAGUI Baya Khadîdja, «L'Algérie; Enjeux économiques en plein marasme du secteur des hydrocarbures,» vol. Vol 06/ N° (02) 2018, n° % 115/10/2018.
- [2] M. D. L. E. D. MINES, «Bilan Energétique National Année 2019 (Edition 2020)».
- [3] M. R. B. K. 2. I. A. H. 1. ,. S. M. 3. ,. a. M. A. 4. Younes Zahraoui 1*, «Current Status, Scenario, and Prospective of Renewable Energy in Algeria,» 2021.
- [4] N. Grim, «Énergie solaire: L'Algérie enfin déterminée à exploiter son énorme potentiel,» *Algérie ECO*, 04 avril 2018.
- [5] K. Dahmani, «Contribution au développement de méthodes numériques utilisant les réseaux de neurones artificiels pour la caractérisation du gisement solaire en Algérie,» 2015.
- [6] C. d. D. d. E. Renouvelables, «Une nouvelle carte de l'irradiation solaire en Algérie publiée par le CDER à l'occasion du solstice d'été,» Centre de Développement des Energies Renouvelables.
- [7] F. K. A. B. A. R. A. Chellali, «A contribution in the actualization of wind map of Algeria. *Renew. Sustain. Energy Rev.*,» 2011.
- [8] Y. H. S. S. A. 2. Himri, «Assessing the wind energy potential projects in Algeria».
- [9] M. D. L. E. D. MINES, «Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie».
- [10] A. K. Z. F. S. K. Y. Stambouli, «A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues.,» 2021.
- [11] A. S. A. F. S. Hamiche, «A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues. *Renew. Sustain. Energy*».
- [12] A. Boudghene Stambouli, «Algerian renewable energy assessment: The challenge of sustainability. *Energy Policy* 39».
- [13] A. Stambouli, «Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 1169–1181».
- [14] S. S. A. 2. Saiah, «Prospective analysis for a long-term optimal energy mix planning in Algeria: Towards high electricity generation security in 2062».

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

- [15] A. S. M. A. M. Y. N. 2. Akbi, «An overview of sustainable bioenergy potential in Algeria. Renew».
- [16] C. d. r. d. l. e. d. gaz, «Programme indicatif d'approvisionnement du marché national en gaz naturel».
- [17] P. M. o. Algeria, «"Plan d'action du gouvernement 16-02-2020."».
- [18] A. A. B. A. Z. N. S. S. Necaibiaa, «"Analytical assessment of the outdoor performance and efficiency of grid-tied photovoltaic system under hot dry climate in the south of Algeria,» 2018.
- [19] B. M. HARFAK Bachir, «Etude d'une centrale photovoltaïque alimenté un reseau intelligent».
- [20] W. B., «L'énergie en 2050 nouveaux défis et faux espoirs,» 2005.
- [21] M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2».
- [22] A. karima, «contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance 1 MW».
- [23] I. F. C. W. B. GROUPE, «Les centrales solaires photovoltaïques commerciales GUIDE À L'INTENTION DES PROMOTEURS DE PROJETS,» 2121 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C. 20433.
- [24] T. Laconde, «Calculer la production réelle d'un panneau solaire,» Energie et developpement.
- [25] B. AMINA, «Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires».
- [26] M. S. A. e. M. M. Bachir, «Etude de performances d'une centrale PV».
- [27] A. Ricaud, «Systèmes photovoltaïques,» Polytech' Savoie 5eme année, oct 2011.
- [28] «Variateur de vitesse : onduleur ; bac STI électrotechnique 2012.».
- [29] A. D. A. E. G. M. T. Najib EL OUANJLI, «Contribution à l'optimisation des performances d'une Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) fonctionnant en mode moteur».
- [30] «DEVENIR AUTONOME EN ÉLECTRICITÉ GRÂCE AU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE».
- [31] M. Gérard, «L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE (PV) : UNE FILIÈRE COMPÉTITIVE EN SITE ISOLÉ,» Encyclopédie de l'énergie.
- [32] A. B. Mouhcn Dahmoun, «presentation du projet de la centrale d'El bayadh,» Mostaganem, 2016-2017.
- [33] w. e. libre, «El_Abiodh_Sidi_Cheikh,» wikipedia site, le 5 février 2021.
- [34] w. e. libre, «El_Bayadh,» wikipedia site, le 6 mai 2021.

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

- [35] S. Tutiempo network, «rayonnement solaire à El bayadh,» tutiempo.net, 2021.
- [36] W. Spark, «Météo habituelle à El abiodh Sidi Cheikh,» 1980 au 31 décembre 2016..
- [37] weather2visit, «El Bayadh monthly weather averages,» 2021. [En ligne]. Available: <https://www.weather2visit.com/africa/algeria/el-bayadh.htm>.
- [38] C. E. INTERNATIONALE, «PHOTOVOLTAIC SYSTEM PERFORMANCE MONITORING-GUIDELINES FOR MEASUREMENT DATA EXCHANGE AND ANALYSIS,» 1998-2017.
- [39] K. N. Manoj, R. P. Gupta et A. J. Mobi Mathew, «Performance, energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India,» Elsevier Ltd, INDE, 2019.
- [40] PVSyst, «un logiciel performant pour vos systemes photovoltaïques,» [En ligne]. Available: <https://www.pvsyst.com/fr>.
- [41] V. S. a. S. Chandel, «Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India,» ELSEVIER LTD, INDE, 2013.
- [42] M. Maria, G. M. G. de et P. M. Congedo, «STUDY OF DEGRADATION OF A GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM,» ELSEVIER, ITALY, 2017.
- [43] M. H. Banda, K. Nyeinga et D. Okello, «Performance evaluation of 830 kWp grid-connected photovoltaic power plant at Kamuzu International Airport-Malawi,» ELSEVIER, MALAWI, 2019.
- [44] Sreenath, K. SUDHAKAR et Y. A.F., «Solar PV energy system in Malaysian airport: Glare analysis, general design and performance assessment,» ELSEVIER, Malaysia, 2020.
- [45] A. Joffre, «Solargis... un expert de la performance,» TECSOL, Lyon, FRANCE, 10 avril 2019.
- [46] N. 2. Aoun, «"Performance Analysis of a 20 MW Grid-Connected Photovoltaic Installation in Adrar, South of Algeria.,» In Advanced Statistical Modeling, Forecasting, and Fault Detection in Renewable Energy Systems, by Fouzi Harrou and Ying Sun.
- [47] B. S. a. K. S. 2. Kumar, «"Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India.",» Energy Reports 184–192.
- [48] C. S. E. L. N. M. M. E. B. A. M. A. N. & A. N. P. (. El Banany, «Performance analysis of the first large-scale (15 MWp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritania.,» Energy Conversion and Management, 119, 411–421.
- [49] M. G. C. A. A.-K. M. I. A. L. A. & A.-D. H. (. AL-Rasheedi, «Performance evaluation of a utility-scale dual-technology photovoltaic power plant at the Shagaya Renewable Energy Park in Kuwait. Renewable and Sustainable Energy Reviews».

Chapitre 3 : Analyse des performances de la central PV de l'Abiodh Sid el Cheikh

- [50] A. T. B. A. S. & E.-k. H. (. Alshare, «Energy and economic analysis of a 5 MW photovoltaic system in Northern Jordan.».
- [51] S. C.-C. M. H.-E. A. & G.-L. E. Martín-Martínez, «Performance evaluation of large solar photovoltaic power plants in Spain,» *Energy Conversion and Management*, 183, 515–528..
- [52] D. M. Y. J. O. & A. M. S. (. Lena, «Performance evaluation of a utility-scale grid-tied solar photovoltaic (PV) installation in Ghana,» *Energy for Sustainable Development*, 48, 82–87..
- [53] M. & G. H. (. Cubukcu, «Performance analysis of a grid-connected photovoltaic plant in eastern Turkey.,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*..
- [54] P. Ministre, «Leçons, Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables,» *Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique*, 2020.