



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE -
ANNABA -

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة
(EX ESTI)

DEPARTEMENT SECOND CYCLE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

INGENIEUR D'ETAT

FILIERE

ELECTROTECHNIQUE

SPECIALITE

PRODUCTION ELECTRIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

Intitulé :

Etude et Conception d'une centrale photovoltaïque raccordée au réseau dans le cadre de PNEREE Algérien

Présenté par :

YOUNES Marwa

BOUDEBBOUZ Rayane

Sous la direction de :

REKIK Badri

KHEROUF Mohamed

Grade

MCB

Ingénieur principal
(Encadrant de stage)

Établissement d'affiliation

ENSTI ANNABA

OS CRC-ANNABA

Président

TEGANI Ilyes

Grade

MCA

Établissement d'affiliation

ENSTI ANNABA

Examineurs

BENNEDJAI Soumaya

MESSIKH Tarek

Grade

MCB

MCB

Établissement d'affiliation

ENSTI ANNABA

ENSTI ANNABA

Année /2023

Remerciements

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout-puissant, de nous avoir donné la force, la capacité et la guidance pour accomplir ce travail de recherche.

Nous exprimons mes profondes gratitude à nos chers parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et les sacrifices endurés.

Ainsi, nous tenons à remercier notre encadrant Monsieur « REKIK Badri », Maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies et d'ingénieurs, pour ses précieux conseils, ses compétences scientifiques et sa qualité humaine et qu'il était toujours disponible avec ses encouragements.

Nous adressons également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à Monsieur «KHEROUF Mohamed»(Ingénieur principal au Centre Régionale de Conduite Annaba OS ANNABA), pour sa disponibilité, son aide précieuse et ses conseils durant notre stage pour mener à bien ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Abstract

The energy demand has experienced excessive growth in developing countries. Furthermore, fluctuating fuel prices are a major concern for many countries that heavily rely on conventional energy production to meet electricity demand. Therefore, it is essential to turn to alternative resources such as renewable energy to reduce dependence on fossil fuels while ensuring a reduction in carbon dioxide emissions. Algeria, being the largest country in Africa, has witnessed rapid growth in energy demand over the past decade due to significant increases in the residential, commercial, and industrial sectors. The use of renewable energy, particularly photovoltaic energy, has become a necessity to increase electricity production from sustainable, non-fossil, and non-polluting sources. This study presents the fundamental principles of grid-connected photovoltaic systems. It highlights the renewable energy and energy efficiency development plan, as well as the new program "2000 MWp Renewable Energy Production" in Algeria. However, it emphasizes a significant delay in achieving the set objectives due to recent economic and health crises. The objective of this study is to conduct a comprehensive analysis of a real case of a photovoltaic power plant decided under the Renewable Energy and Energy Efficiency Program (PNEREE) through analytical sizing and detailed design, along with simulation using the PVSyst environment, which confirms the efficiency and profitability of this project.

Keywords

Grid-connected PV power plant, Study and design of a PV power plant, PVSyst software.

ملخص

تجاوز الطلب على الطاقة ونموه في البلدان النامية بشكل زائد. بالإضافة إلى ذلك، تعد تقلبات أسعار الوقود مشكلة أساسية تواجهها العديد من الدول التي تعتمد بشكل كبير على إنتاج الطاقة التقليدية لتلبية الطلب على الكهرباء. لذلك، فإن الحاجة لاستخدام مصادر بديلة مثل الطاقات المتجددة أمر ضروري للحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري وضمان تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

تعتبر الجزائر أكبر دولة في أفريقيا من حيث المساحة، وقد شهدت في العشريتين الأخيرتين نموًا سريعًا في الطلب على الطاقة وذلك بسبب الزيادة المعتبرة على استهلاك الطاقة في قطاعات السكن والتجارة والصناعة. وأصبح استخدام الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية الكهروضوئية شيء ضروري لزيادة إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر مستدامة وغير ملوثة لحماية البيئة وفقًا للمواثيق الدولية المعمول بها حاليًا.

يقدم هذا العمل المبادئ الأساسية لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة الكهربائية ويسلط الضوء على خطة تطوير الطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة، بالإضافة إلى البرنامج الجديد " إنتاج 2000 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الجزائر ". وسوف نشير في هذا العمل إلى النقص الكبير في تحقيق الأهداف المحددة من طرف الدول وذلك نتيجة الأزمة الاقتصادية والصحية التي مر بها العالم في الأونة الأخيرة ولذلك تم اختيار دراسة شاملة لحالة حقيقية لتقييم فاعلية التصميم لمحطة توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية، استنادًا إلى التصميم الحقيقي، وإجراء محاكاة باستخدام برنامج PVSyst.

الكلمات الرئيسية

محطة طاقة شمسية متصلة بالشبكة، دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية، برنامج PVSyst

Résumé

La demande en énergie a connu une croissance excessive dans les pays en développement. De plus, la fluctuation des prix des combustibles constitue une préoccupation majeure pour de nombreux pays qui dépendent fortement de la production d'énergie conventionnelle pour répondre à la demande en électricité. Par conséquent, il est essentiel de recourir à des ressources alternatives, telles que les énergies renouvelables, afin de réduire la dépendance aux combustibles fossiles tout en assurant une réduction des émissions de dioxyde de carbone. L'Algérie, étant le plus grand pays d'Afrique, a connu une croissance rapide de la demande en énergie au cours de la dernière décennie en raison de l'augmentation significative des secteurs résidentiel, commercial et industriel. L'utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie photovoltaïque, est devenue une nécessité pour augmenter la production d'énergie électrique à partir de sources durables, non fossiles et non polluantes. Ce travail présente les principes fondamentaux des systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Il met en évidence le plan de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ainsi que le nouveau programme "Production EnR électrique de 2000 MWc" en Algérie. Cependant, il souligne un retard important dans la réalisation des objectifs fixés, en raison des dernières crises économiques et sanitaires. L'objectif de ce travail est de faire une étude complète d'un cas réel d'une centrale photovoltaïque décidée dans le cadre du PNEREE par un dimensionnement analytique et conception détaillée, avec une simulation sous l'environnement PVSyst ce qui permet de confirmer l'efficacité et la rentabilité de ce projet.

Mots Clés

Centrale PV connecté au réseau, étude et conception d'une centrale PV, logiciel PVSyst.

TABLE DES MATIÈRES

Table des figures

Table des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale..... 2

CHAPITRE I :Ressources et potentiels électrique Algérien

I.1. Introduction..... 5

I.2.Energies Conventionnelles..... 5

I.2.1.Les centrales thermiques..... 5

I.2.1.1.Production d'électricité par turbine à vapeur..... 5

I.2.1.2.Production d'électricité par turbine à gaz 5

I.2.1.3. Production d'électricité dans les centrales à cycles combinés..... 6

I.2.2.Les centrales nucléaires 6

I.3.Energie Renouvelables..... 6

I.3.1.La biomasse 7

I.3.2.L'hydraulique..... 7

I.3.3.La géothermie 7

I.3.4.L'énergie éolienne 7

I.3.5.L'énergie solaire 7

I.3.5.1.L'énergie thermique..... 7

I.3.5.2.L'énergie photovoltaïque 8

I.4. Energie et Conversion Photovoltaïque 8

I.4.1.Rayonnement Solaire 8

I.4.1.1.Rayonnement direct 8

I.4.1.2.Rayonnement diffus 8

I.4.1.3.Rayonnement réfléchi (Albédo)..... 8

I.5.Le profil de l'énergie solaire..... 9

I.5.1. Au niveau mondial 9

I.5.2. Au niveau national 11

I.6.Le Panneau Photovoltaïque 12

I.6.1.La cellule solaire 12

I.6.1.1.Principe de fonctionnement des cellules PV..... 12

I.6.1.2.Modèle mathématique d'une cellule solaire 13

I.6.2.Interconnexions des cellules	15
I.6.2.1.Connexions en série et en parallèle des cellules	15
I.6.2.2.Association série/parallèle	15
I.6.3.Technologies des Panneaux Photovoltaïques	16
I.6.3.1. Cellules solaires de première génération	16
I.6.3.2.Cellules solaires de deuxième génération	17
I.6.4.Caractéristiques d'un Générateur Photovoltaïque	17
I.6.4.1.Tension du circuit ouvert V_{oc}	17
I.6.4.2.Courant de court-circuit I_{cc}	17
I.6.4.3.Puissance maximale MPP	17
I.6.4.4.Puissance-crête et rendement	17
I.6.4.5.Le facteur de remplissage (FF)	18
I.6.5.Influence des paramètres externes	18
I.6.5.1.La Température.....	18
I.6.5.2.L'Eclairement	19
I.6.6.Effet de l'ombrage	19
I.6.7.Protection d'un Générateur Photovoltaïque.....	20
I.6.7.1.Diode By-Pass.....	20
I.6.7.2.Diode anti-retour	20
I.6.8.Structure Générale	21
I.7. Les Systèmes Photovoltaïques.....	22
I.7.1. Les Types des systèmes Photovoltaïques	22
I.7.1.1. Système autonome	22
I.7.1.2. Système hybride.....	22
I.7.1.3. Système connecté au réseau.....	23
I.7.2. Performance des Systèmes Photovoltaïque	24
I.7.2.1. Rendement	24
I.7.2.2. le ratio de performance	24
I.7.2.3. Facteur de capacité.....	24
I.7.3. Les avantages et les inconvénients des systèmes PV.....	25
I.7.4.Raccordement des Centrales PV avec le Réseau Electrique.....	25
I.8.Conclusion	25

CHAPITRE II :Programme National De Transition Et Sécurité Énergétique

II.1.Introduction	27
II.2. Historique de l'énergie renouvelable en Algérie	27
II.3. Programme National des Energies Renouvelables et de L'Efficacité Energétique (PNEREE)	28
II.3.1. Contenu du Programme	28
II.4.L'horizon de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	32
II.4.1.Le nouveau programme national «Production de2000 MWc d'électricité solaire» ...	32
II.5.Les principaux intervenants dans le secteur des énergies renouvelables en Algérie.....	34
II.6.Présentation du lieu de stage	35
II.6.1. Opérateur du Système Electrique	35
II.6.2.Missions de l'Opérateur du Système Électrique (OS).....	35
II.7. Conclusion	36

CHAPITRE III :Etude et conception d'une centrale PV raccordée au réseau(BECHAR-ABADLA 80 MWc)

III.1.Introduction	38
III.2.Objectifs de l'étude	38
III.3.Choix du site.....	38
III.3.1.Donnees météorologique du site	39
III.4.Dimensionnement d'une centrale PV	39
III.4.1.Dimensionnement de l'onduleur	40
III.4.1.1.Compatibilité de puissance.....	40
III.4.1.2. Compatibilité en tension et en courant	40
III.4.1.3.Coefficient de performance	40
III.5.Choix des équipements.....	41
III.5.1.Choix du module photovoltaïque	41
III.5.2.Structures porteuses.....	42
III.5.3.Câblage solaire	43
III.5.4.Choix de l'onduleur.....	44
III.5.5.Transformateur élévateur triphasé 0.400/30 KV	45
III.5.6.Station météorologique	46
III.5.7.Système de contrôle commande (SCADA).....	48
III.6.Dimensionnement analytique de la nouvelle centrale ABADLA 80 MWc	48
III.7.Dimensionnement par le logiciel PVSyst.....	54

III.7.1.Présentation du logiciel PVSyst	54
III.7.2.Simulation de la centrale PV	54
III.7.3. Hypothèses de simulation.....	55
III.7.4.Création et conception du projet avec PVSyst	55
III.7.4.1.Choix du type de la centrale	55
III.7.4.2.Introduction des données du projet	56
III.7.5.Lancement de la simulation.....	58
III.7.5.1.Analyse des résultats	59
III.7.5.2.Présentation du rapport du projet	60
III.8.Comparaison des résultats (méthode analytique et simulation PVSyst)	66
III.9.Conception de la centrale	67
III.10.Poste d'évacuation.....	68
III.11.Ligne d'injection 60KV centrale PV ABADLA vers le poste ABADLA 60/30KV	68
III.12.Conclusion.....	69
Conclusion Générale	71

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1: Les trois composantes (B,D,R) du rayonnement solaire.....	9
Figure I. 2: Potentiel d'énergie photovoltaïque dans le monde.	10
Figure I.3: Puissance installée dans le monde (2010-2020).	10
Figure I.4: Potentiel d'énergie photovoltaïque en Algérie.....	11
Figure I.5: Puissance installée en Algérie (2010-2020).....	11
Figure I.6: Schéma de principe d'une jonction p-n.	12
Figure I.7: Schéma équivalent d'une cellule idéale.	13
Figure I.8: Schéma équivalent d'une cellule réelle.....	13
Figure I.9: Interconnexion des cellules en série.....	15
Figure I.10: Interconnexion des cellules en parallèle.	15
Figure I.11: Association hybride des cellules identiques.....	16
Figure I.12: Les caractéristiques (I-V) et (P-V) de la cellule PV.	18
Figure I.13: Influence de la température sur les caractéristique I-V et P-V.	18
Figure I.14: Influence de l'éclairement sur les caractéristique I-V et P-V.	19
Figure I.15: Effet de l'ombrage sur les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule.....	20
Figure I.16: Diode By-Pass.....	20
Figure I.17: Protection des panneaux avec une diode anti-retour.....	21
Figure I.18: Structure sandwich typique d'un module solaire PV.	21
Figure I.19: Système photovoltaïque autonome.	22
Figure I.20: Système PV hybride avec un générateur diesel comme source d'électricité alternative.	23
Figure I.21: Système PV connecté au réseau.....	23

CHAPITRE II

Figure II.1: L'emplacement des centrales PV de capacité 343 MWc.	30
Figure II.2: Croissance des énergies renouvelables dans la période 2015-2030.	31
Figure II.3 : Courbe de charge active de la journée Mardi 1 ^{er} Novembre 2022.	35
Figure II.4 : Courbe de charge active de la journée Mardi 1 ^{er} Août 2022.	35
Figure II.5: Plan de répartition des structures du CRC Annaba.	36

CHAPITRE III

Figure III.1: Situation géographique à l'échelle nationale.	38
Figure III.2: Situation géographique à l'échelle régionale.	38
Figure III.3: Structures porteuses.	43
Figure III.4: Câblage solaire des panneaux PV.	43
Figure III.5: Onduleur SUNGROW SG-1250 utilisé dans la centrale.	44
Figure III.6: Transformateur 400V/30KV.	46
Figure III.7: Quelques équipements de mesure.	47

Figure III.8: La matrice d'un sous-champ.....	50
Figure III. 9: La distance minimale de l'ombrage.....	50
Figure III. 10: Boite de jonction Niv 1.....	51
Figure III. 11: Boite de jonction Niv2.....	52
Figure III. 12: Station Mégawatt PVS800.....	53
Figure III. 13: Logo du logiciel PVSyst.....	54
Figure III. 14: La page principale du PVSyst.....	55
Figure III. 15: Tableau de bord du système.....	56
Figure III. 16: Orientation des panneaux PV dans la centrale.....	57
Figure III. 17: Définition des paramètres du système.....	58
Figure III. 18: Lancement de la simulation.....	59
Figure III. 19: Fenêtre de résultats de la simulation.....	60
Figure III. 20: Résumé du projet.....	61
Figure III. 21: Paramètres généraux du système.....	62
Figure III. 22: Productions normalisées (Par KWc installé).....	63
Figure III. 23: Diagramme de l'indice de performance de la centrale.....	64
Figure III. 24: Diagramme des pertes détaillé.....	65
Figure III. 25: Diagramme d'entrée/sortie journalier.....	66
Figure III. 26: Conception de la centrale ABADLA 80MWc.....	67

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.1: Quelques centrales de production d'électricité en Algérie.	6
Tableau I.2: Les avantages et les inconvénients des systèmes PV.	25

CHAPITRE II

Tableau II.1: Les centrales PV dans le nord de l'Algérie.	29
Tableau II.2: Les centrales PV dans le sud de l'Algérie.	29
Tableau II.3: Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 (en MW).	31
Tableau II.4: Liste des sites des centrales PV du lot 2000 MWc renseignée par la disponibilité des travées.	33

CHAPITRE III

Tableau III.1: Irradiations moyennes mensuelles.	39
Tableau III.2: Vitesse du vent.	39
Tableau III.3: Température du site.	39
Tableau III.4: Les caractéristiques mécaniques du panneau PV.	42
Tableau III.5: Les caractéristiques électriques du panneau PV.	42
Tableau III.6: Les caractéristiques techniques du câble solaire.	44
Tableau III.7: Caractéristiques de l'onduleur SUNGROW.	45
Tableau III.8: Caractéristiques du transformateur.	46
Tableau III.9: Caractéristiques de la boîte de jonction Niv1.	52
Tableau III.10: Caractéristiques de la boîte de jonction Niv2.	52
Tableau III.11: Caractéristiques de la station Mégawatt PVS800.	53
Tableau III.12: Comparaison des résultats de la méthode analytique et la simulation.	66
Tableau III.13: Caractéristiques des deux lignes 60 KV en double ternes Abadla-Bechar ...	68

LISTE D'ABRÉVIATIONS

Symboles	Désignations
PV	Photovoltaïque.
MEM	Ministère de l'Énergie et des Mines.
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program.
IRENA	International Renewable Energy Agency.
STC	Standard Test Condition.
VOC	Tension de circuit ouvert.
ISC	Courant de court-circuit.
MPP	Maximum power point.
FF	Facteur de remplissage.
RP	Ratio de performance.
CF	Facteur de capacité.
CC	Courant continu.
CA	Courant alternatif.
EnR	Energies renouvelables.
CdTe	Tellure de cadmium.
TEP	Tonne équivalent pétrole.
GPLc	Gaz de Pétrole Liquéfié carburant.
GNc	Gaz Naturel carburant.
CREG	Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz.
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
CDER	Centre de Développement des Énergies Renouvelables.
CREDEG	Le Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz.
SPA	Société par action.
SKTM	Shariket Kahraba waTaketa Moutadjadida.
NEAL	New Energy Algeria.

OS	Opérateur Système.
BT	Basse tension.
HTA	Haute tension classe A.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition.
RPE	Energie produite brute.
NPE	Energie produite nette.
TSA	Transformateur de service auxiliaire.
Lc	Pertes de collection.
Yr	Rendement de référence.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

L'énergie est un facteur très important pour le développement socio-économique, le développement durable et l'amélioration de la qualité de vie des êtres humains. La croissance de la population mondiale et des activités économiques entraîne une augmentation de la demande énergétique dans les décennies à venir. Le réchauffement climatique et la pollution environnementale sont exclusivement le résultat de l'utilisation de ressources énergétiques conventionnelles, c'est-à-dire les combustibles fossiles tels que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, qui sont les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre.

Il est tout à fait possible, sur le plan technique et économique, de faire des efforts considérables pour réduire les activités humaines ayant un impact négatif sur le climat et l'environnement. Une solution consiste à augmenter la production d'énergie électrique à partir de ressources non fossiles, durables et vertes.

Face à ces défis, la communauté scientifique a signalé que les ressources d'énergie renouvelable, qui sont respectueuses de l'environnement et disponibles presque partout dans le monde, sont la solution la plus fiable pour répondre aux préoccupations mondiales en matière de consommation d'énergie et de changement climatique. Ainsi, depuis la dernière décennie, plusieurs pays dans le monde investissent des budgets considérables dans le développement de produits, la recherche et l'exploitation des énergies renouvelables.

Par conséquent, l'une des priorités fondamentales pour un pays comme l'Algérie est d'utiliser plusieurs sources d'énergies renouvelables (EnR) et des technologies de conversion énergétique propre. L'Algérie dispose de vastes réserves de sources d'énergie, principalement des hydrocarbures, ainsi qu'un potentiel considérable pour l'utilisation des sources d'EnR, en particulier l'énergie solaire. L'Algérie a le potentiel de devenir l'un des principaux contributeurs à l'énergie solaire et de servir de modèle à d'autres pays dans le monde. Les énergies renouvelables font désormais partie intégrante de la politique énergétique de l'Algérie, et dans le but de renforcer les efforts nationaux en matière d'EnR au-delà de 2011.

Notre pays a mis en place un programme national pour la période 2011-2030 visant à promouvoir des actions concrètes dans les domaines de l'efficacité énergétique et des EnR, conformément à l'approche adoptée par le gouvernement. De plus, cela confirme l'ambition de l'Algérie de devenir une plaque tournante internationale pour la production et l'exportation industrielle et énergétique dans le secteur solaire. Dans cette optique, et compte tenu des problématiques de responsabilité environnementale, la sensibilisation du public a augmenté progressivement au cours des sept dernières années et les ressources énergétiques alternatives sont devenues un nouveau domaine d'intérêt.

En tant qu'objectif tangible, le plan stratégique du Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM) vise à atteindre une part de 40% d'EnR (principalement solaire) dans la production d'électricité d'ici 2030. Les différents projets futurs sont autant de facteurs qui conféreront sans aucun doute à l'Algérie un rôle important dans la mise en œuvre de la technologie des énergies renouvelables en Afrique du Nord, la capacité à fournir une alimentation électrique durable et rentable à partir de sources d'EnR pour les besoins de la population, et la possibilité d'exporter même 10 000 MW vers les marchés voisins et européens.

INTRODUCTION GENERALE

Le gouvernement algérien a lancé un nouveau programme national visant à mettre en place 15 centrales photovoltaïques d'une capacité de 2000 MWc répartis en 15 lots. Ce programme vise à accélérer le déploiement de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie et à diversifier davantage le mix énergétique du pays. Ce programme national représente une étape importante vers la réalisation des objectifs du pays en matière de transition énergétique et de développement durable. Il permettra de créer de nouvelles opportunités d'investissement dans le secteur des énergies renouvelables, de stimuler l'emploi local et de renforcer la sécurité et l'indépendance énergétique de l'Algérie.

Dans ce travail, nous proposons une étude complète d'un cas réel d'une centrale photovoltaïque à savoir ABADLA dans la wilaya de BECHAR 80 MWc. Cette centrale est intégrée dans le nouveau programme national qui est considérée comme l'une des solutions répondant aux critères et aux exigences de la situation actuelle.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre présente la production de l'énergie électrique de manière générale. Ainsi que nous abordons en détail les aspects fondamentaux de l'énergie solaire photovoltaïque, en mettant l'accent sur ses principales caractéristiques et les différents types de systèmes photovoltaïques.

Le deuxième chapitre se compose de deux parties principales. La première partie présente le programme national des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique dans ses deux versions (2011 et 2015). Nous examinons en détail les objectifs, les mesures et les initiatives incluses dans ces programmes. La deuxième partie du chapitre se concentre sur la nouvelle mise à jour du programme national (Production électrique de 2000 MWc) récemment lancée par le groupe Sonelgaz.

En fin, le troisième chapitre se concentre sur une étude détaillée d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau (ABADLA 80MWc). Nous utilisons le logiciel PVsyst pour dimensionner la centrale de manière réaliste afin d'établir une conception technique et pratique. Notre objectif est de confirmer nos résultats en utilisant à la fois des calculs analytiques et des simulations pour évaluer les performances de la centrale ainsi que son rendement énergétique qui répond aux exigences technico-économique.

CHAPITRE I
RESSOURCES ET
POTENTIELS ELECTRIQUE
ALGÉRIEN

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu général sur la production de l'énergie électrique, ensuite nous allons se concentrer sur la présentation des concepts d'énergie photovoltaïques avec leur utilisation pour la production électrique, les différentes étapes de conversion de cette énergie ainsi que leurs caractéristiques principales.

I.2.Energies Conventionnelles

Les énergies conventionnelles sont des formes d'énergie qui sont utilisées pour répondre aux besoins de consommation quotidiennes des êtres humains. Parmi celles-ci, les plus répandus et les plus utilisées au niveau mondial sont l'énergie nucléaire et l'énergie tirée des combustibles fossiles (le charbon, le pétrole et le gaz naturel). Aujourd'hui, environ 80% de l'énergie électrique est produite grâce à la combustion des carburants fossiles ou de l'uranium (fission nucléaire) [1].

I.2.1.Les centrales thermiques

Les centrales thermiques sont des centrales qui produisent de l'énergie électrique à travers de la chaleur dégagée de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. Cette transformation s'effectue soit directement par la détente des gaz de combustion, ou bien indirectement, à partir d'un cycle eau- vapeur [2].

I.2.1.1.Production d'électricité par turbine à vapeur

La chaleur produite dans la chaudière par la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel, vaporise de l'eau, cette vapeur d'eau est transportée sous haute pression et à des températures très élevées fait tourner la turbine à de grandes vitesses qui accouplée à l'alternateur à travers un arbre entraine ce dernier pour produire une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur perd progressivement sa température et se refroidie pour se retransformer en eau (condensation), puis renvoyée dans la chaudière à travers des collecteurs, arrivée à la chaudière, le cycle se recommence et reprend à nouveau son processus de la même façon que les précédents [2].

I.2.1.2.Production d'électricité par turbine à gaz

Ce type de turbines fonctionne de façon similaire aux turbines à vapeur sauf que les gaz de combustion sont utilisés pour faire tourner la turbine au lieu de la vapeur. Outre l'alternateur, la turbine commande également un compresseur tournant pour comprimer l'air, qui est ensuite mélangé aux combustibles gazeux ou liquides dans une chambre de combustion. Plus la compression est importante, plus la température et le rendement atteint dans une turbine sont élevés. Les gaz d'échappement de ce type de turbines sont émis à l'atmosphère [3].

I.2.1.3. Production d'électricité dans les centrales à cycles combinés

Les centrales à cycle combiné associent une turbine à gaz et une turbine à vapeur pour produire de l'électricité. Ces turbines peuvent être reliées à une seule génératrice ou peuvent être reliées à deux génératrices différentes. Le combustible, mélangé avec de l'air sous pression est brûlé dans la chambre de combustion, provoquant ainsi une brusque augmentation de la pression et de la température des gaz brûlés. Ces gaz brûlés font tourner une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui va générer à son tour de l'électricité.

I.2.2. Les centrales nucléaires

Les centrales nucléaires utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission du plutonium ou de l'uranium est la source de chaleur utilisée. Les centrales nucléaires produisent environ 15% de l'électricité mondiale ainsi que des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident, ce type de centrales est similaire aux centrales thermiques, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur qui contient le combustible nucléaire [2].

Tableau I.1: Quelques centrales de production d'électricité en Algérie.

Nom de la centrale	Puissance nette nominale (MW)	Site	Type de centrale
M'Sila	730	M'Sila	Turbine à gaz
Oumache II	2*228	Biskra	
Hama centrale	2*209	Alger	
Jijel centrale	3*196	Jijel	Turbine à vapeur
Skikda centrale	262	Skikda	
Marsat	5*168	Oran	
Koudiet Eddraouch	3*412	El Taref	Cycle combiné
SKS Skikda	2*412	Skikda	
Ain arnet	3*338	Setif	

I.3. Energie Renouvelables

L'énergie renouvelable est produite à partir de sources inépuisables et durables telles que le soleil et le vent qui se renouvellent naturellement et ne s'épuisent pas. L'énergie renouvelable peut être utilisée pour la production d'électricité, le chauffage et le refroidissement des espaces et de l'eau, ainsi que pour le transport.

I.3.1.La biomasse

La biomasse est une ressource énergétique renouvelable et polyvalente dérivée de matériaux à base de plantes et d'algues, elle peut être convertie en carburants liquides qui sont équivalents aux carburants d'origines fossiles tels que l'essence et le kérosène utilisés pour le fonctionnement des réacteurs et les moteurs diesels. Les technologies bioénergétiques permettent de réutiliser le carbone de la biomasse et des flux de déchets pour produire des carburant [4].

I.3.2.L'hydraulique

L'hydroélectricité est l'une des plus anciennes et des plus importantes sources d'énergie renouvelable. Elle utilise le flux naturel de l'eau en mouvement pour produire de l'électricité. Les technologies hydroélectriques produisent de l'énergie en utilisant la différence d'altitude, créée par un barrage ou un ouvrage de dérivation, entre l'eau qui s'écoule d'un côté et celle qui s'écoule de l'autre, bien en dessous. Cette source d'électricité abordable coûte moins cher que la plupart des autres sources [4].

I.3.3.La géothermie

L'énergie géothermique est l'énergie thermique provenant des profondeurs de la terre, ces ressources sont des réservoirs d'eau chaude qui existaient à des températures à des profondeurs variables sous la surface de la Terre. Des puits, dont la profondeur varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres, peuvent être forés dans les réservoirs souterrains afin d'extraire de la vapeur et de l'eau très chaude qui peuvent être remontées à la surface pour être utilisées dans toute une série d'applications, notamment la production d'électricité.[4]

I.3.4.L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est en fait un sous-produit du soleil. Le réchauffement inégal de l'atmosphère par le soleil, les surfaces irrégulières de la terre (montagnes et vallées) et la révolution de la planète autour du soleil se combinent pour créer du vent. Comme le vent est abondant, il s'agit d'une ressource durable tant que les rayons du soleil chauffent la planète. Les éoliennes collectent et convertissent l'énergie cinétique produite par le vent en électricité pour contribuer à l'alimentation du réseau [4].

I.3.5.L'énergie solaire

I.3.5.1.L'énergie thermique

Les systèmes solaires thermiques à concentration (CSP) utilisent des miroirs pour réfléchir et concentrer la lumière du soleil sur des récepteurs qui collectent l'énergie solaire et qui la convertissent en chaleur. L'énergie de la lumière solaire concentrée chauffe un fluide à haute température circulant dans le récepteur, cette chaleur - également appelée énergie thermique- peut être utilisée pour faire tourner une turbine ou alimenter un moteur afin de produire de l'électricité, elle peut également être utilisée dans de diverses applications

industrielles, telles que le dessalement de l'eau, la récupération assistée du pétrole, la transformation des aliments, la production chimique et le traitement des minerais [4].

I.3.5.2.L'énergie photovoltaïque

Les matériaux et les dispositifs photovoltaïques convertissent la lumière du soleil en énergie électrique. Un dispositif photovoltaïque unique est appelé cellule. Une cellule PV est généralement de petite taille développant une puissance de 1 ou 2 watts, ces cellules sont composées de matériaux semi-conducteurs. Afin de protéger les cellules de l'agression des aléas extérieurs pendant de nombreuses années, elles sont prises en sandwich entre des matériaux de protection en verre et/ou en plastique.[4]

I.4. Energie et Conversion Photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de la lumière en électricité. Il utilise des matériaux qui absorbent les photons de la lumière et libèrent des électrons. Il peut être utilisé pour fabriquer des générateurs électriques. L'élément de base de ces générateurs s'appelle une cellule PV [5].

I.4.1.Rayonnement Solaire

L'irradiance est une quantité instantanée décrivant le flux de rayonnement solaire incident sur une surface (KW/m^2). Les mesures de l'irradiation solaire sont effectuées à l'aide d'un pyranomètre pour le rayonnement global ou d'un pyréliomètre pour le rayonnement direct. L'intégrale de l'irradiance solaire sur une période de temps est l'irradiation solaire[5].

I.4.1.1.Rayonnement direct

Le rayonnement direct est déterminé par la position du soleil, la masse d'air, l'état de l'atmosphère (température, humidité, nuages, aérosols) et l'angle d'incidence du rayonnement solaire vers le plan récepteur (par exemple :un module solaire) [6].

I.4.1.2.Rayonnement diffus

Il s'agit du rayonnement qui a été dispersé par les composants de l'atmosphère, notamment les nuages, les vapeurs, les produits chimiques ou toute autre particule en suspension dans l'atmosphère. Même dans des conditions de ciel clair, il existe toujours une partie diffuse du rayonnement solaire [6].

I.4.1.3.Rayonnement réfléchi (Albédo)

Une partie du rayonnement atteignant le sol peut être réfléchi vers le récepteur. Ce rayonnement (Albédo) dépend des propriétés de la surface du sol et de l'angle d'incidence [6].

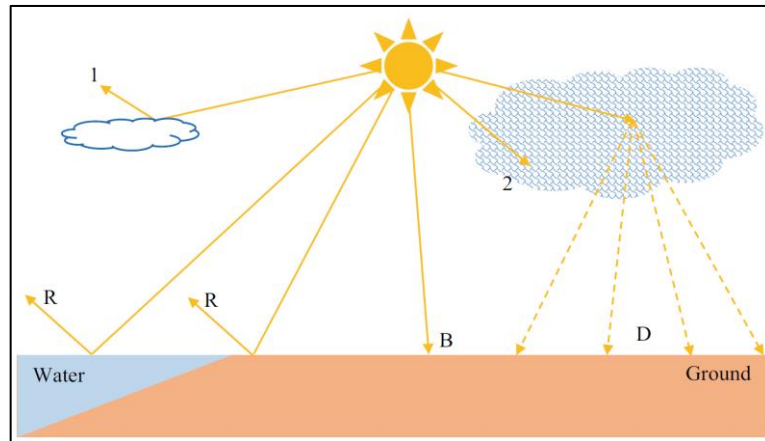


Figure I.1: Les trois composantes (B,D,R) du rayonnement solaire [6].

Avec : -B la composante directe (Beam).

-D la composante diffuse.

- R la composante réfléchi.

-(1) réfléchi par les nuages.

-(2) absorbée par les nuages.

I.5. Le profil de l'énergie solaire

I.5.1. Au niveau mondial

La carte et les données pour le monde ont été publiées en parallèle avec Global Solar Atlas, qui est publié par le Groupe de la BANQUE MONDIALE, financé par ESMAP et préparé par SOLARGIS. Les pays du sud de la méditerranée notamment l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde comme le montre les figures ci-dessous[7].

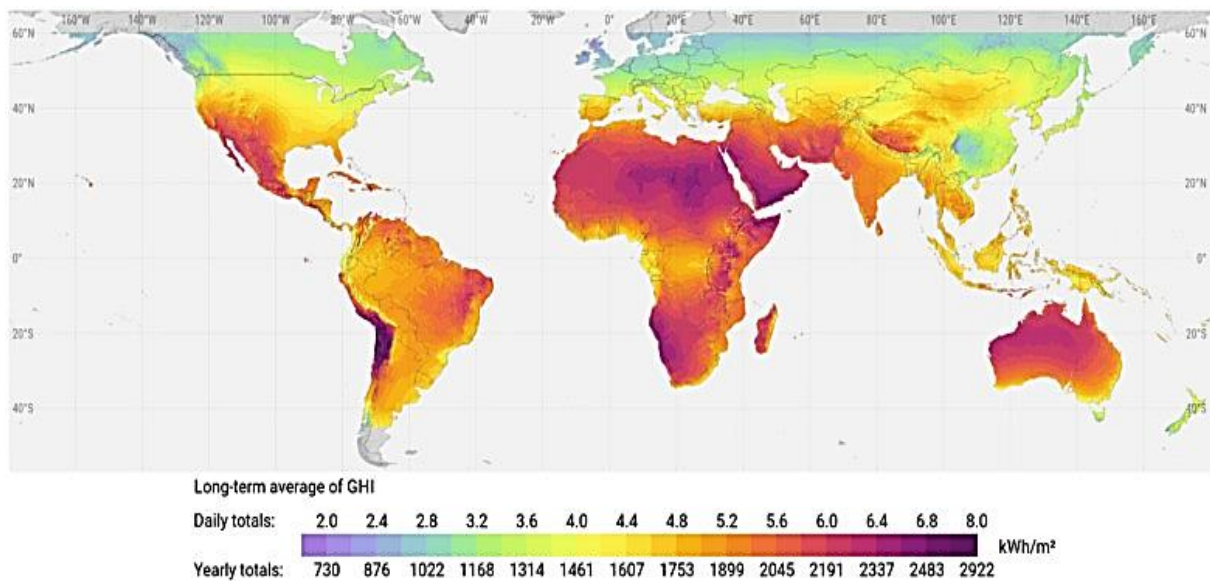


Figure I. 2:Potentiel d'énergie photovoltaïque dans le monde [8].

La capacité PV installée connaît actuellement une croissance rapide. Selon le rapport annuel «Statistiques de capacité renouvelable 2021 » d'IRENA, En 2020, la puissance PV cumulée a atteint 707,5 GW par rapport à seulement 40,2 GW seulement en 2010. La figure ci-dessous donne l'évolution de la capacité et les ajouts annuels mondiaux d'énergie solaire photovoltaïque de 2010 à 2020, cela confirme l'augmentation exponentielle de l'énergie produite de nature Solaire photovoltaïque [8].

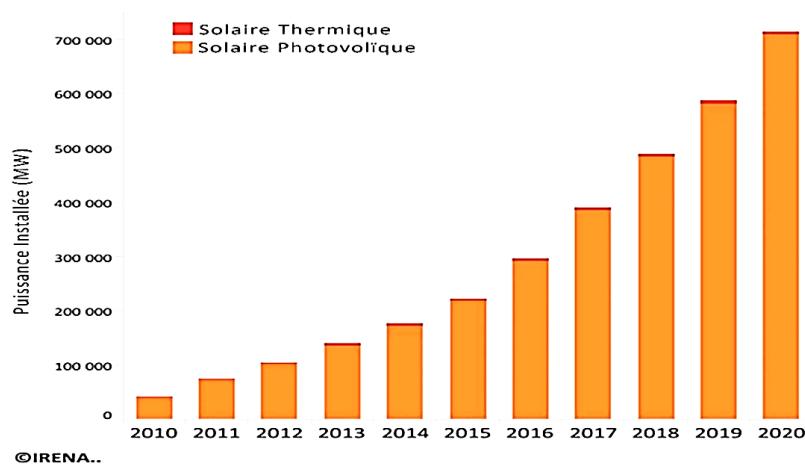


Figure I.3:Puissance installée dans le monde (2010-2020) [8].

Selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), la puissance solaire maximale installée dans le monde a atteint 843,1 GW en fin 2021, soit une puissance supplémentaire connectée de 133,6 GW par rapport à 2020, plus de la moitié de cette puissance supplémentaire est installée en Asie (53,7 %), tandis que l'Europe et l'Amérique du Nord présentent respectivement 17,2 % et 16,5 % [9].

I.5.2. Au niveau national

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut même atteindre 3900 heures notamment dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, sur l'ensemble du territoire, l'énergie solaire globale reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré varie entre 5.1 KWh au Nord et 6,6 KWh dans le Grand Sud, soit près de 1860 kWh/m²/an au Nord et 2409 kWh/m²/an au sud du pays [10].

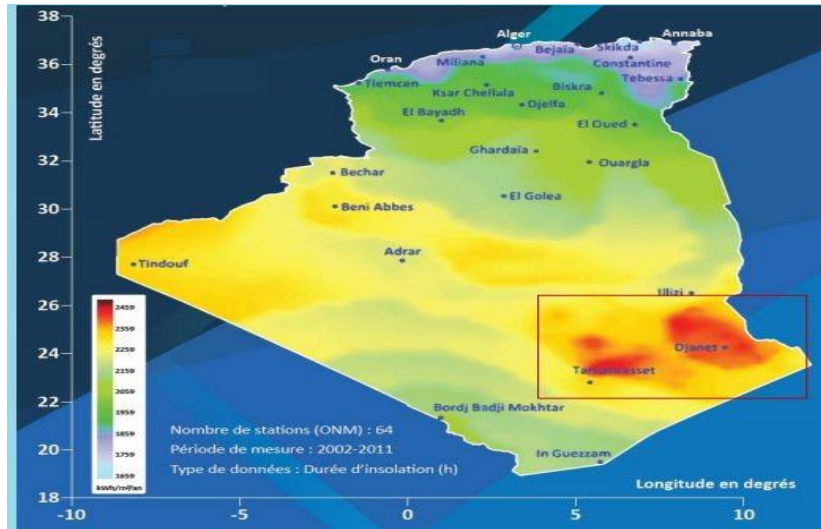


Figure I.4:Potentiel d'énergie photovoltaïque en Algérie [10].

Selon IRENA, En 2020, la puissance PV cumulée a atteint 423 MW par rapport à seulement 49,1 MW en 2015. La **figure I.5** montre l'évolution de la puissance installée en photovoltaïque pour la période de 2010 à 2020 en Algérie, cela confirme l'augmentation de l'énergie produite de nature Solaire photovoltaïque qui a atteint, en 2018 les 373,6 GWh par rapport à 13,7GWh en 2010 [8].

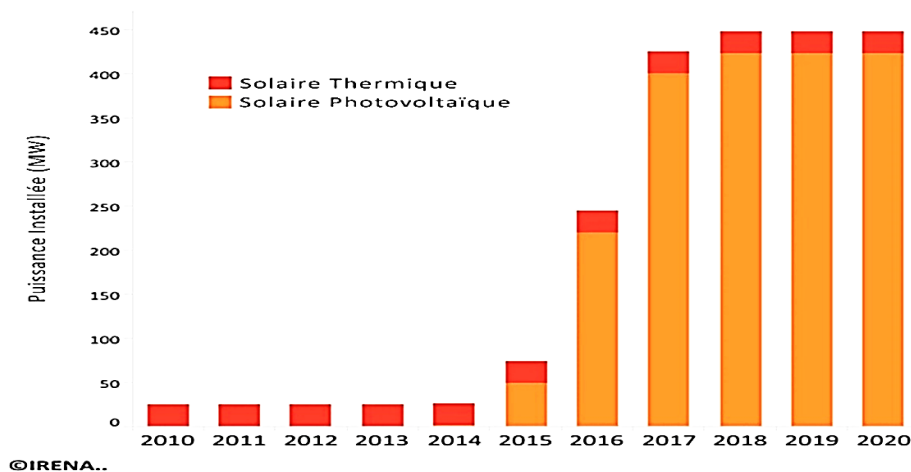


Figure I.5: Puissance installée en Algérie (2010-2020) [8].

I.6. Le Panneau Photovoltaïque

I.6.1. La cellule solaire

I.6.1.1. Principe de fonctionnement des cellules PV

Pour comprendre l'effet photovoltaïque, il faut donner quelques notions théoriques de base sur les semi-conducteurs et leur utilisation comme des dispositifs de conversion d'énergie.

Les matériaux semi-conducteurs sont utilisés pour fabriquer des cellules photovoltaïques. Un semi-conducteur est une substance qui possède à la fois des caractéristiques d'isolant et de conducteur. À très basse température, les semi-conducteurs se comportent comme des isolants, et leur conductivité augmente à mesure que la température s'élève, à des températures normales, la conductivité électrique d'un semi-conducteur se situe entre celle d'un isolant et celle d'un conducteur. Certains semi-conducteurs produisent également une tension ou présentent un changement de conductivité électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière [10].

Les cellules solaires se composent de deux différents types de semi-conducteurs (un type-p et un type-n) qui sont joints ensemble pour créer une **jonction p-n**. En joignant ces deux types de semi-conducteurs, un champ électrique se forme dans la zone de jonction car les électrons se déplacent vers le côté-p positif et les trous d'électrons se déplacent vers le côté-n négatif. Ce champ fait bouger les particules chargées négativement dans une direction et les particules chargées positivement dans l'autre direction [11].

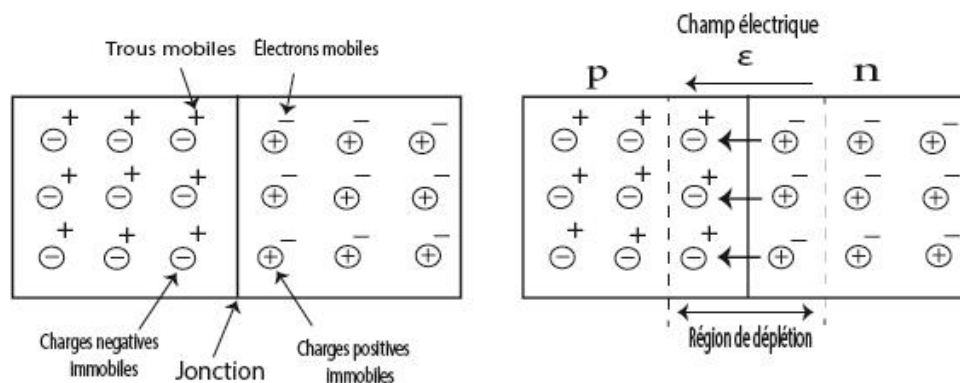


Figure I.6:Schéma de principe d'une jonction p-n.

La lumière est composée de photons, qui sont simplement de petits paquets de rayonnement électromagnétique ou d'énergie. Lorsque la lumière d'une longueur d'onde appropriée est incidente sur ces cellules, l'énergie du photon est transférée à un électron du matériau semi-conducteur, ce qui fait passer à un état d'énergie plus élevé appelé « bande de conduction » ; Dans leur état excité dans la bande de conduction, ces électrons sont libres à se déplacer dans le matériau, et c'est ce mouvement de l'électron qui crée un courant électrique dans la cellule [11].

I.6.1.2. Modèle mathématique d'une cellule solaire

➤ Cellule idéale

Le modèle idéal d'une cellule photovoltaïque est une source de courant en parallèle avec une diode comme il est montré dans la figure I.7. I_{ph} est désigné par une source du courant, c'est le photo-courant généré. La branche génère un courant I_D .

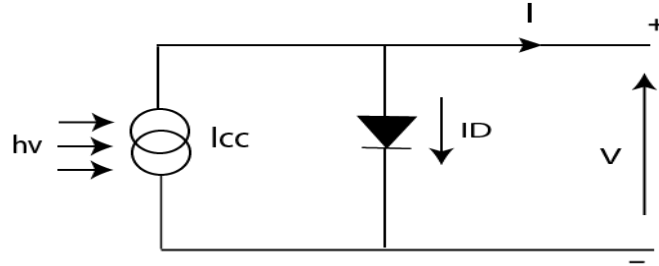


Figure I.7:Schéma équivalent d'une cellule idéale.

➤ Cellule réelle

Un schéma équivalent plus complet de la cellule solaire photovoltaïque est illustré sur la figure I.12. Pour tenir compte des effets dissipatifs, deux résistances ont été introduites qui sont la résistance série et la résistance shunt.

R_s : Résistance série, représente les pertes de résistance ohmiques (telles que la résistance du semi-conducteur, les contacts métalliques, et les contacts entre eux).[12]

R_p : Résistance parallèle, dite « Shunt », qui décrit les courants de fuite à travers les bords de la cellule solaire ainsi que la jonction P-N (Courants dus à des défauts de matériaux).[12]

R_s et R_p modifient le courant de court-circuit de la cellule en photo-courant I_{ph} . Le schéma électrique équivalent devient :

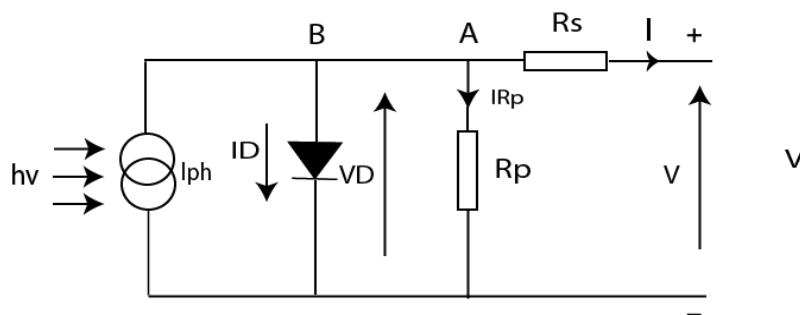


Figure I.8:Schéma équivalent d'une cellule réelle.

Appliquons la loi de Kirchhoff aux nœuds A, B :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rp} \quad (1)$$

Chapitre I : Ressources et Potentiels Electrique Algérien

I_{ph} :Le photo-courant est généré suite à l'absorption de l'irradiance solaire par la cellule solaire, d'où la valeur du photo-courant qui est directement liée à la variation de l'irradiance solaire et température selon l'équation suivante :

$$I_{ph} = [I_{pvn} + K_i(T - T_n)] \frac{G}{G_n} \quad (2)$$

K_i :Le coefficient du courant de court-circuit /température

T, T_n : Sont respectivement la température de la jonction et la température nominale ($T_n = 298.15$) en K

G_n : L'irradiation nominale dans les conditions standards (25°C and 1000 W/m²)

G : L'irradiation solaire en W/m²

I_{Rp} : Le courant traversant R_p est donné par :

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (3)$$

v :la tension aux bornes de la diode

I_D : Le courant de la diode, il est de même ordre de grandeur que I_{Rp} pour les faibles tensions et il devient très grand au voisinage de V_{oc} , il s'écrit sous la forme :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{q.V}{A.K.T}} - 1 \right) \quad (4)$$

I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode, et il est donné par :

$$I_0 = I_{RS} \cdot \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 e^{\frac{q.E_{go}}{A.K.(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T})}} \quad (5)$$

I_{RS} : Courant de saturation, et il est donné par :

$$I_{RS} = \frac{I_{Scr}}{e^{\frac{q.V_{oc}}{A.K.T.N_s} - 1}} \quad (6)$$

Remplaçons les équations (3) et (4) dans l'équation (1), l'équation caractéristique deviendra :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q.V}{A.K.T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (7)$$

Avec :

A : Le facteur d'idéalité de la cellule qui dépend des mécanismes de recombinaison dans la zone de charge d'espace

q : La charge de l'électron (1.602×10^{-19} C)

T : La température de la cellule (K)

K : La constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K).[13]

I.6.2. Interconnexions des cellules

Dans un module PV, un certain nombre de cellules solaires individuelles sont montées en série et /ou en parallèle pour augmenter leur puissance de sortie.

I.6.2.1. Connexions en série et en parallèle des cellules

Dans une connexion série, les tensions s'additionnent. Par exemple, si la tension en circuit ouvert d'une cellule est égale à 0,6 V, une chaîne de trois cellules produira une tension en circuit ouvert de 1,8 V, comme l'illustre la **Figure I.9** Tandis que le courant total dans une chaîne de cellules solaires est égal au plus petit courant généré par une seule cellule solaire [14].

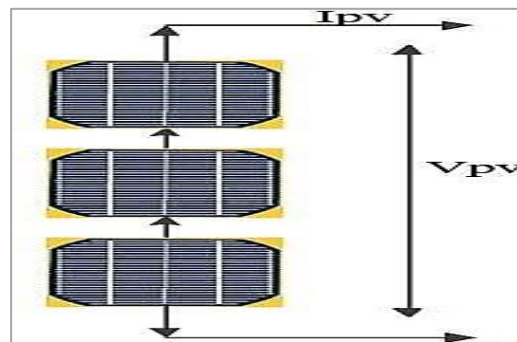


Figure I. 9: Interconnexion des cellules en série [14].

Au contraire, dans une connexion parallèle, la tension est la même pour toutes les cellules solaires, comme l'illustre la **Figure I.10** Tandis que les courants des cellules solaires s'additionnent [12].

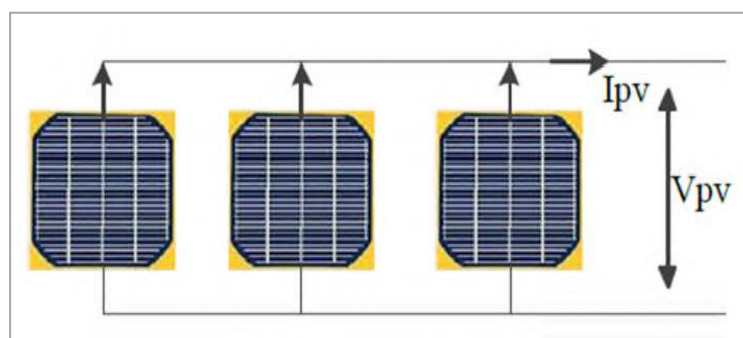


Figure I. 10: Interconnexion des cellules en parallèle [14].

I.6.2.2. Association série/parallèle

Une association hybride de N_s cellules en série et de N_p cellules en parallèle présente une courbe générale comparable à celle d'une cellule élémentaire, à condition qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température

uniformes). La **Figure I.11** montre la caractéristique obtenue en associant, N_s en série et N_p en parallèle, des cellules identiques [12].

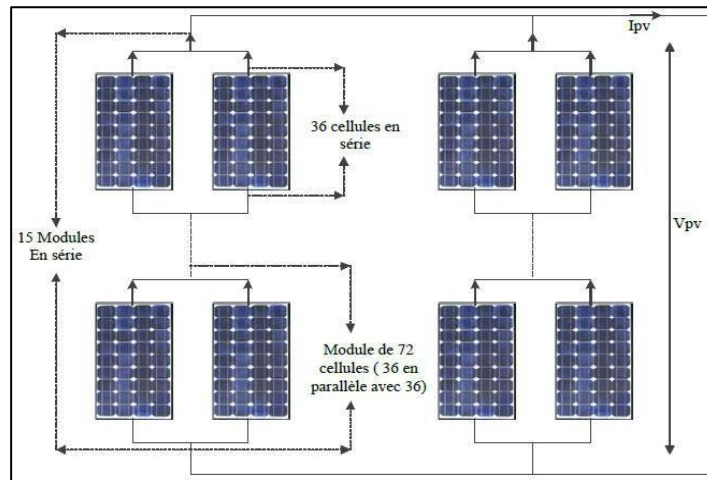


Figure I.11: Association hybride des cellules identiques [12].

I.6.3. Technologies des Panneaux Photovoltaïques

Il existe différents types de cellules photovoltaïques. Cependant, les types les plus courants et les plus disponibles sur le marché sont : monocristallines, poly cristallines et amorphes. Pour comparer entre les différentes technologies de production d'électricité il faut tenir compte de ces deux paramètres : le rendement de conversion de l'énergie photovoltaïque et le coût d'investissement par watt de capacité [15].

I.6.3.1. Cellules solaires de première génération

➤ Cellule à silicium monocristallin

Le silicium monocristallin est le matériau de cellule le plus largement disponible. Son rendement de conversion énergétique est compris entre 14 et 18 %. Le processus de fabrication nécessaire pour produire du silicium monocristallin est compliqué, ce qui entraîne des coûts légèrement supérieurs à ceux des autres technologies [15].

➤ Cellule à silicium polycristallin

Les cellules en silicium poly cristallin sont construites à partir d'un lingot de silicium fondu et recristallisé. Les lingots sont ensuite découpés à la scie en plaquettes très fines et assemblées en cellules complètes, par conséquent, leur production est généralement moins chère que celle des cellules monocristallines en raison de la simplicité du processus de fabrication [15].

I.6.3.2.Cellules solaires de deuxième génération

➤ Cellule à silicium amorphe

Dans cette technologie, les cellules en silicium amorphe sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium de 2 μm d'épaisseur sur un matériau de base tel que le verre ou l'acier inoxydable, par rapport au silicium cristallin cette technologie n'utilise qu'environ 1 % du matériau, son rendement est d'environ la moitié de celui de la technologie actuelle du silicium cristallin, mais elle a tendance à être plus facile et moins chère à produire [15].

I.6.4. Caractéristiques d'un Générateur Photovoltaïque

Les caractéristiques de base d'une cellule solaire PV sont la tension en circuit ouvert (VOC), le courant de court-circuit (ISC), la puissance de sortie maximale (Pm), le facteur de remplissage (FF) et le rendement de conversion de l'énergie solaire (η). Les valeurs de la photo-tension et du photo-courant dans des conditions de circuit ouvert et de court-circuit sont appelées respectivement tension en circuit ouvert (Voc) et courant de court-circuit (Isc). Dans les conditions de fonctionnement en court-circuit et en circuit ouvert d'une cellule PV, la puissance de sortie est nulle [16].

I.6.4.1.Tension du circuit ouvert Voc

Il s'agit de la tension pour laquelle le courant délivré par la cellule est nul, elle représente la tension maximale d'une cellule photovoltaïque dans des conditions climatiques données, elle diminue avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse [12].

I.6.4.2.Courant de court-circuit Icc

Le courant de court-circuit (Isc) est un paramètre essentiel d'une cellule solaire photovoltaïque, il se produit dans une cellule PV éclairée et court-circuitée, dans cette condition ($V=0$) [12].

I.6.4.3.Puissance maximale MPP

La puissance de sortie maximale (Pm) est la plus grande valeur de puissance possible de la cellule photovoltaïque, elle décrit le produit maximal des valeurs (I et V).

$$Pm = Im \times Vm \quad (8)$$

I.6.4.4. Puissance-crête et rendement

La puissance maximale dépend de l'éclairement. Lorsqu'il s'agit de la puissance maximale dans les conditions normales d'ensoleillement STC (1000 W/m^2 , 25 °C, spectre solaire AM 1.5), on parle alors de watts-crête (Wc) ou de puissance- crête.

Le rendement de conversion (η) d'une cellule solaire PV est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale (Pm) extraite par la cellule PV et le produit du rayonnement solaire (E) et de la surface (S) de la cellule PV dans laquelle la cellule PV est éclairée [12].

$$\eta = \frac{P_m}{E \times S} \quad (9)$$

I.6.4.5. Le facteur de remplissage (FF)

Le facteur de remplissage (FF) est un paramètre supplémentaire pour caractériser la qualité d'une cellule PV ; il exprime le rapport entre le remplissage du rectangle ($I_{sc}-V_{oc}$) et celui du rectangle (I_m-V_m) [12].

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{(I_{sc} \times V_{oc})} \quad (10)$$

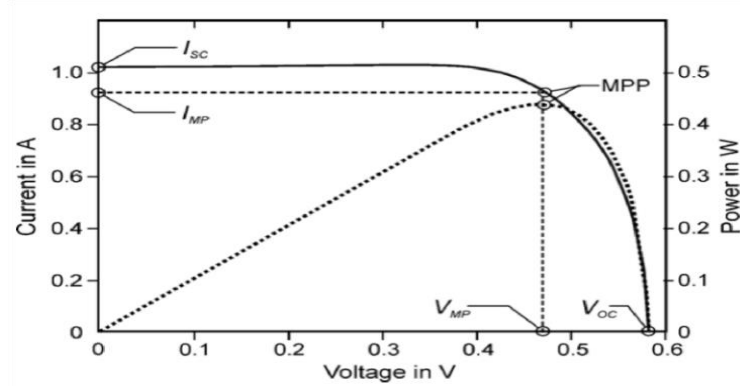


Figure I. 12: Les caractéristiques (I-V) et (P-V) de la cellule PV[12].

I.6.5. Influence des paramètres externes

Nous avons effectué une simulation avec logiciel MATLAB pour la présentation de l'influence de la température et de l'éclairement sur les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule.

I.6.5.1. La Température

Lorsque la température de la cellule augmente, la tension en circuit ouvert diminue considérablement tandis que le courant de court-circuit n'augmente que légèrement en raison d'une meilleure absorption de la lumière. La puissance électrique maximale diminue également avec la température. Les conditions standard sont généralement choisies pour une valeur de la température interne T égale à 25°C.

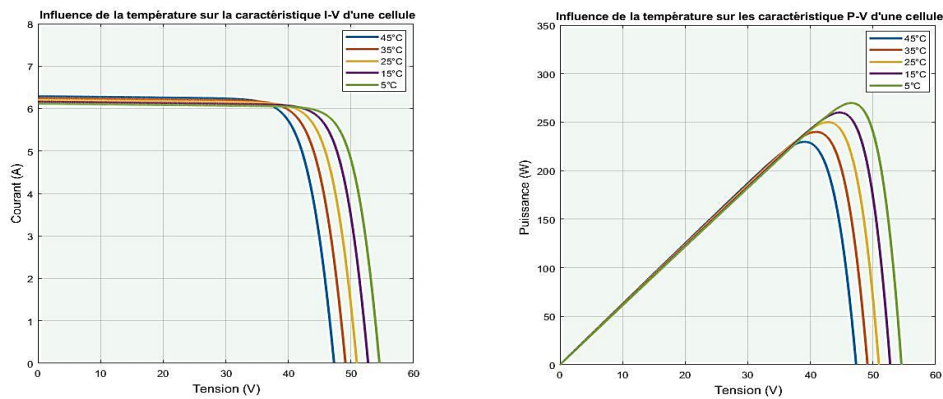


Figure I. 13: Influence de la température sur les caractéristiques I-V et P-V.

I.6.5.2. L'Eclairement

La figure montre les caractéristiques courant-tension I-V et puissance-tension P-V de la cellule PV pour différents niveaux de rayonnement. On constate que le courant de court-circuit I_{sc} augmente proportionnellement avec l'irradiation d'éclairement, contrairement à la tension de circuit ouvert V_{co} qui varie très peu au même temps. L'augmentation de l'éclairement influe aussi sur la puissance maximale délivrée par le module PV pour engendrer une augmentation considérable à ce dernière. Les conditions de référence sont généralement choisies avec une irradiance de 1 000 W/m².

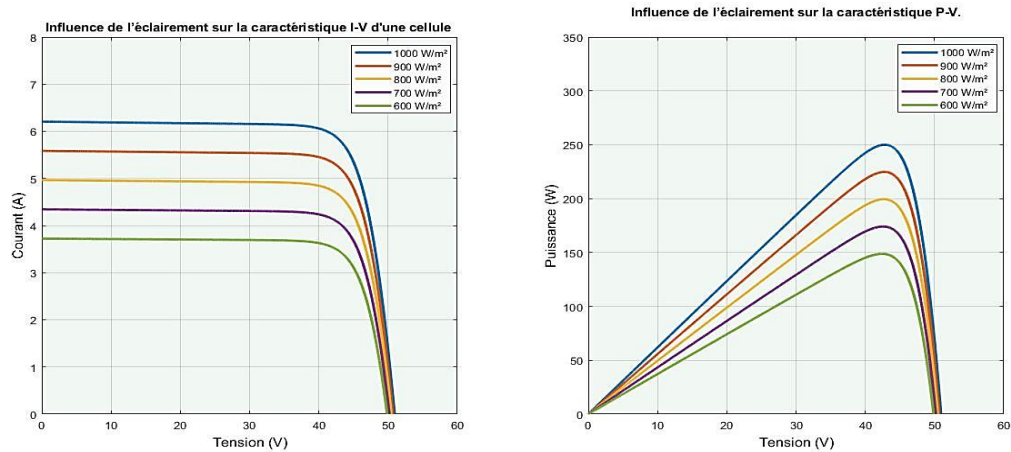


Figure I. 14:Influence de l'éclairement sur les caractéristique I-V et P-V.

I.6.6. Effet de l'ombrage

L'ombrage complet ou partiel peut être causé par l'ombre d'obstacles proches (arbres, bâtiments, antennes et poteaux électriques), des nuages en mouvement, des oiseaux souillés et d'autres types d'ombres. La puissance de sortie des modules PV est directement proportionnelle à l'irradiance, la réduction de la lumière due à l'ombrage complet ou partiel d'une cellule PV peut avoir un effet négatif sur la production d'électricité de la cellule. La diminution du courant produit par une cellule entraîne la réduction du courant de toute la chaîne de cellules PV connectées en série, ce qui entraîne une baisse significative de la performance de l'ensemble du panneau PV.

Outre la dégradation des performances des systèmes PV, l'ombrage partiel peut causer un dommage permanent aux panneaux PV en raison de la création de points chauds dans les cellules ombragées. Lorsqu'une zone partielle du module PV est ombragée et que le courant de court-circuit devient inférieur au courant de circulation généré par les autres cellules éclairées, il y'a création d'une polarisation inverse et la puissance générée par les autres cellules est dissipée sous forme de chaleur. Par conséquent, le panneau PV peut être endommagé à cause de la température locale très élevée, qui dépend de la taille du point chaud et du courant inverse.

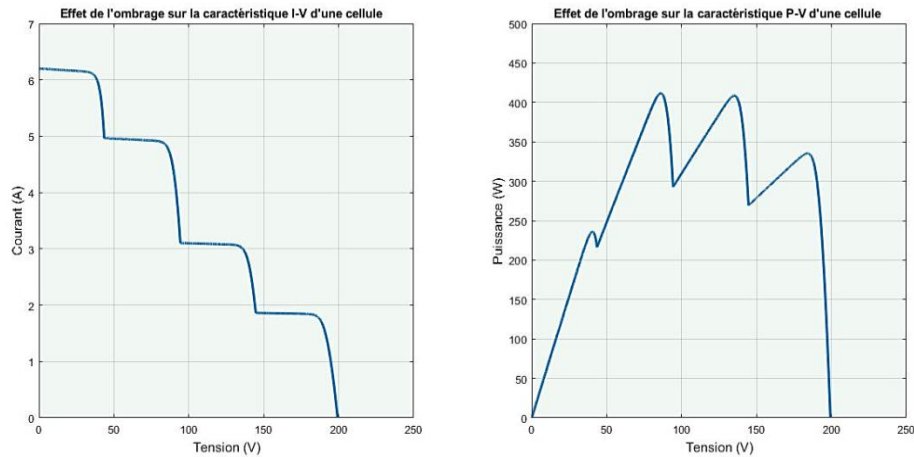


Figure I.15: Effet de l'ombrage sur les caractéristiques I-V et P-V d'une cellule.

I.6.7. Protection d'un Générateur Photovoltaïque

I.6.7.1. Diode By-Pass

Lorsqu'une seule cellule (ou un groupe de cellules) est ombragée, elle devient en polarisation inverse, ne générant plus de puissance, mais devenant un puits de puissance qui dissipe la puissance générée par les autres cellules de la chaîne, le même effet se produira si l'une des cellules est partiellement ou totalement endommagée, ce problème peut être corrigé en ajoutant une diode de dérivation sur chaque cellule. Les effets d'un point chaud peuvent être évités grâce à l'utilisation d'une diode de dérivation connectée en parallèle avec une polarité opposée à celle de la cellule solaire, comme la **Figure I.16** l'illustre. Dans des conditions de fonctionnement normales, chaque cellule solaire est polarisée dans le sens direct. La diode de dérivation est alors polarisée en inverse et ne transporte aucun courant [13].

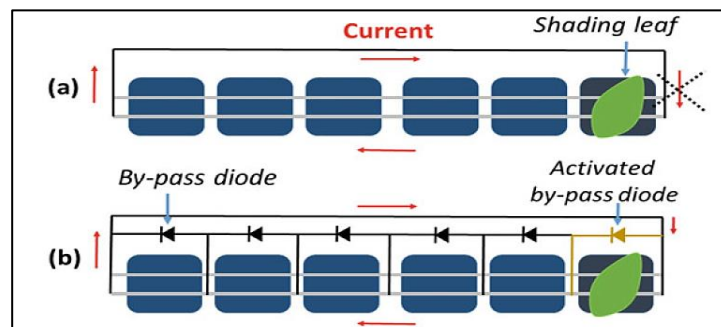


Figure I.16: Diode By-Pass [16].

- a) Une chaîne de six cellules solaires connectées en court-circuit avec une cellule ombragée.
- b) Diodes de dérivation placées en parallèle à chaque cellule de la chaîne.

I.6.7.2. Diode anti-retour

La tension produite par chaque chaîne peut être différente. Lors de la mise en parallèle de ces strings pour former un champ, le string ayant la tension la plus faible peut absorber un

courant provenant des autres strings. Cela entraîne une baisse de la production et les modules de la chaîne traversés par le courant inverse peuvent également être sensibles au courant inverse. Pour éviter les courants inverses, une diode anti-retour est placée à l'extrémité de chaque string [13].

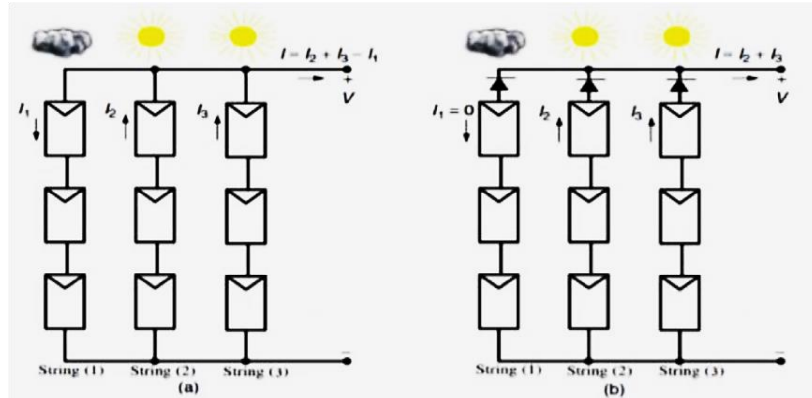


Figure I.17:Protection des panneaux avec une diode anti-retour [16].

I.6.8. Structure Générale

Pour garantir une telle durée de vie des panneaux, le module PV doit être construit avec des composants bien choisis. La Figure I.18 montre les composants typiques d'un module PV en silicium cristallin.

- (1) Verre soda-calcique d'une épaisseur de plusieurs millimètres, qui offre une stabilité mécanique tout en étant transparent pour la lumière incidente.
- (2) Les cellules solaires sont prises en sandwich entre deux couches d'encapsulant.
- (3) La couche arrière fait office de barrière contre l'humidité et d'autres contraintes. Selon le fabricant, il peut s'agir d'une autre plaque de verre ou d'une feuille de polymère composite.
- (4) Un cadre généralement en aluminium, est placé autour de l'ensemble du module afin d'améliorer la stabilité mécanique.
- (5) Une boîte de jonction est généralement placée à l'arrière du module. Dans cette boîte, les connexions électriques de la cellule solaire sont reliées aux fils utilisés pour connecter le module aux autres composants du système photovoltaïque [14].

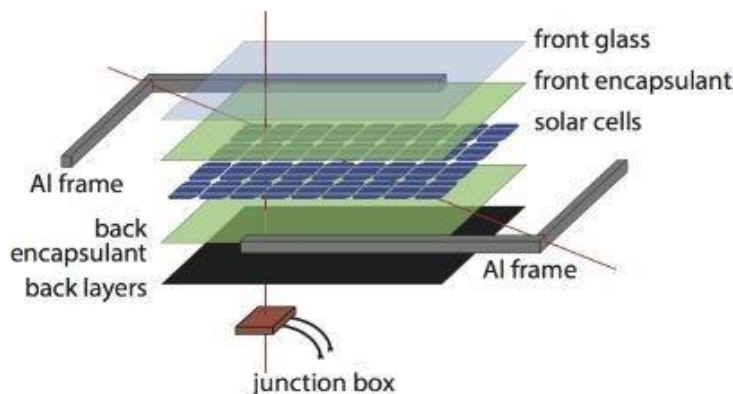


Figure I.18:Structure sandwich typique d'un module solaire PV [14].

I.7. Les Systèmes Photovoltaïques

I.7.1. Les Types des systèmes Photovoltaïques

En fonction de la configuration du système, on peut distinguer trois grands types de systèmes PV : autonomes, connectés au réseau et hybrides. Les principes et les éléments de base des systèmes PV restent les mêmes. Les systèmes sont adaptés pour répondre à des exigences particulières en variant le type et la quantité des éléments de base [14].

I.7.1.1. Système autonome

Les systèmes autonomes, également appelés systèmes PV hors réseau, reposent uniquement sur l'énergie solaire, ces systèmes peuvent être constitués uniquement de modules PV et d'une charge ou ils peuvent inclure des batteries pour le stockage de l'énergie. En cas d'utilisation de batteries, des régulateurs de charge sont inclus. Les batteries des modules PV lorsqu'elles sont complètement chargées, elles peuvent déconnecter la charge pour empêcher les batteries de se décharger. Les batteries doivent avoir une capacité suffisante pour stocker l'énergie produite pendant la journée afin de l'utiliser la nuit et pendant les périodes de mauvais temps. Si la charge est en courant alternatif, alors un onduleur est ajouté au système [14].

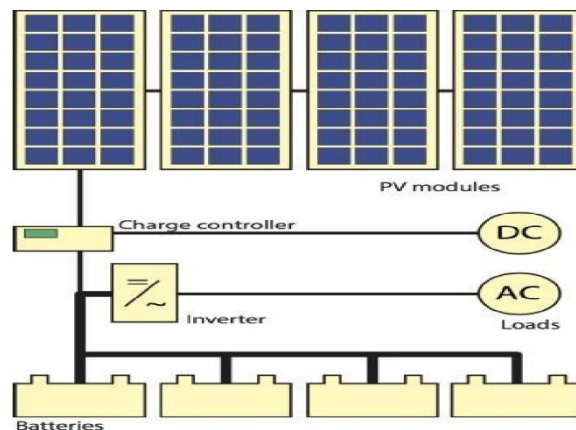


Figure I.19: Système photovoltaïque autonome [14].

I.7.1.2. Système hybride

Les systèmes hybrides combinent des modules PV avec une méthode complémentaire de production d'électricité, telle qu'un générateur diesel, à gaz ou éolien. Une représentation schématique d'un système hybride est illustrée à la figure I.20.

Afin d'optimiser les différentes méthodes de production d'électricité, les systèmes hybrides nécessitent généralement des commandes plus sophistiquées que les systèmes PV autonomes ou connectés au réseau, par exemple : dans le cas d'un système PV/diesel, le moteur diesel doit être démarré lorsque la batterie atteint le niveau de saturation, et arrêté lorsque la batterie atteint un état de charge adéquat. Le générateur de secours peut être utilisé pour recharger les batteries uniquement ou pour alimenter la charge [14].

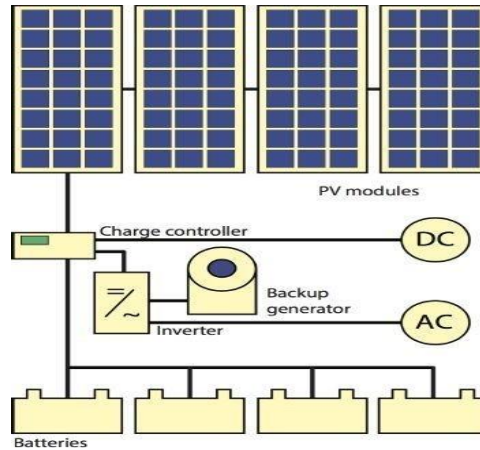


Figure I. 20: Système PV hybride avec un générateur diesel comme source d'électricité alternative. [14]

I.7.1.3. Système connecté au réseau

Dans ces systèmes, les installations photovoltaïques sont connectées au réseau électrique public dans lequel elles injectent l'électricité qu'elles produisent pour une utilisation optimale sans avoir besoin de batterie de secours [14]. Ces systèmes sont généralement composés de panneaux solaires (ou matrice), un tableau de distribution, un onduleur intelligent, un compteur électrique et le réseau. La **Figure I.21** montre les composants du système PV connecté au réseau. Les systèmes PV connectés au réseau peuvent soit fournir toute son énergie au réseau, soit répondre à la demande de la charge locale et fournir un excédent d'énergie au réseau [14].

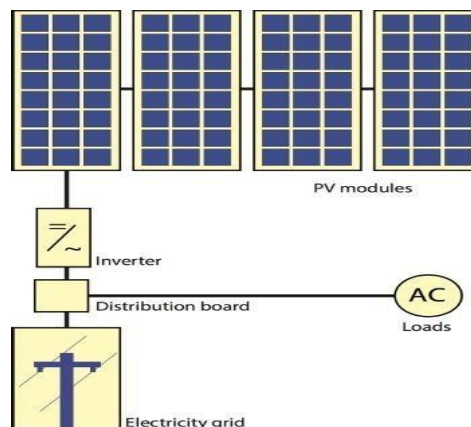


Figure I. 21: Système PV connecté au réseau [14].

I.7.2. Performance des Systèmes Photovoltaïque

L'augmentation de l'utilisation des systèmes photovoltaïques au fil des ans a conduit les acteurs du secteur à se poser des questions sur l'évaluation des performances. La capacité d'évaluer la performance d'un système PV autonome ou connecté au réseau aidera à évaluer les investissements, à planifier la maintenance et également à évaluer le rendement des systèmes. Il existe plusieurs méthodes proposées par les acteurs de l'industrie pour évaluer la performance d'un système PV, que ce soit pour la puissance (kW) ou l'énergie (kWh) à long terme [17].

I.7.2.1. Rendement

La mesure du rendement est l'indicateur de " référence " qui est capable d'indiquer la performance du système photovoltaïque par rapport à la quantité d'énergie produite pendant une période donnée. Il s'agit généralement d'une évaluation annuelle. Cependant, les calculs de rendement ne tiennent pas compte des conditions météorologiques. Les facteurs suivants permettent d'obtenir un bon rendement : année de fonctionnement, bon ensoleillement et faible température PV [17].

I.7.2.2. Le ratio de performance

La commission internationale de l'énergie et le laboratoire national des énergies renouvelables des États-Unis ont établi le ratio de performance comme mesure commune pour l'évaluation de la performance PV. L'inconvénient du PR comme mesure standard de la performance PV est que la température n'est pas prise en considération lors des calculs, ce qui affecte les résultats des calculs de performance PV en hiver, au printemps et en été [17].

I.7.2.3. Facteur de capacité

La capacité est la production maximale d'une centrale électrique, généralement mesurée en kW, MW ou GW. Le facteur de capacité d'une centrale indique l'efficacité de cette centrale. Il s'agit du rapport entre la puissance nominale de la centrale et la puissance annuelle produite, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie produite pendant une période donnée (généralement un an) et la capacité nominale. Le CF d'une installation PV peut être calculé à partir des valeurs de sortie CC du générateur PV ou des valeurs de sortie CA de l'onduleur. Il est préférable d'utiliser les valeurs de tension alternative pour calculer le CF. Le facteur de capacité des installations solaires photovoltaïques est compris entre 15 et 25 % [17].

I.7.3. Les avantages et les inconvénients des systèmes PV

Tableau I.2: Les avantages et les inconvénients des systèmes PV.

Avantages	Inconvénients
-Une grande fiabilité -La plupart des modules d'un système PV ont une période de garantie allant jusqu'à 25 ans et restent opérationnels même après de nombreuses années. -Faibles coûts de maintenance - Consommation nulle de carburant -Les systèmes PV ne nécessitent pas de combustible et peuvent être exploités en toute sécurité après une conception et une installation appropriées.	- Coût de démarrage élevé -Certains systèmes PV utilisent des batteries comme dispositifs de stockage d'énergie. Cela augmente l'encombrement, le coût et la complexité du système. -La technologie photovoltaïque est une technologie émergente. Le manque d'informations pertinentes limite le développement de ses marchés et de ses technologies. - Rendement faible.

I.7.4. Raccordement des Centrales PV avec le Réseau Electrique

La contribution de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dans le secteur de l'électricité augmente rapidement. L'intérêt récent pour l'intégration du PV solaire dans le réseau soulève des inquiétudes quant à la technique de synchronisation. Des recherches continues ont permis de remplacer avec succès le petit système autonome par un système PV raccordé au réseau. La synchronisation est un problème crucial dans le fonctionnement des onduleurs raccordés au réseau et la recherche sur le contrôle indique que la fréquence, la séquence de phase la phase et l'amplitude de la tension sont les paramètres les plus importants qui doivent être mesurés et contrôlés pour l'application raccordée au réseau [18].

I.8. Conclusion

Nous avons insisté à travers ce chapitre de souligner et détailler le domaine de l'énergie photovoltaïques et tous ce qui concerne les systèmes PV.

Malgré le grand gisement de l'énergie solaire dont dispose l'Algérie et qui est considéré comme l'un des plus grands gisements au monde, les taux de son exploitation restent très faibles. Le gouvernement Algérien s'ambitionne à renforcer sa production en utilisant les EnR en général et le PV en particulier, pour atteindre sa sécurité énergétique et aussi exporter l'excédent de sa production. L'objectif du programme national des énergies renouvelables est d'intégrer 27 % de son parc de production en énergies renouvelables d'ici 2030 qui présente notre sujet du deuxième chapitre.

CHAPITRE II
PROGRAMME NATIONAL DE
TRANSITION ET SÉCURITÉ
ÉNERGÉTIQUE

II.1. Introduction

L'Algérie dispose d'un programme national des ENR très ambitieux, ce chapitre est dédié à la présentation de ce programme, il est composé de deux parties :

La première partie présente l'ancien programme national des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique et ses cinq principaux éléments, dans ses deux versions (2011 et 2015).

La deuxième partie est consacrée au nouveau programme national « Production de 2000 MW d'électricité solaire » lancé par Sonelgaz.

Ensuite, nous allons présenter les intervenants dans le secteur des énergies renouvelables en Algérie.

II.2. Historique de l'énergie renouvelable en Algérie

L'Algérie joue un rôle très important sur les marchés mondiaux de l'énergie, à la fois en tant que producteur important d'hydrocarbures et en tant qu'exportateur et aussi en tant que participant clé sur le marché des énergies renouvelables.

Au milieu des années quatre-vingt du siècle dernier, l'Algérie crée les premières institutions publiques chargées à développer et suivre les énergies renouvelables. Nous citons l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) créée en 1985 et le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) en 1988, depuis de nombreux programmes sectoriels visant un déploiement assez limité de solutions énergétiques décentralisées, à base de ressources renouvelables en faveur des zones rurales isolées et en particulier, dans les hauts plateaux et le sud du pays ont été initiés avec un appui financier direct de l'état. A ce titre, il est essentiel de citer les programmes du grand sud dont celui du balisage solaire qui sont entrepris par le Centre de Développement des Energies Renouvelables, ainsi que le projet de l'électrification par l'énergie solaire de 906 foyers répartis sur 18 villages isolés du grand sud Algérien particulièrement, dans les wilayas d'Adrar, Tamanrasset, Tindouf et Illizi qui sont réalisés par Sonelgaz (1998- 2001) avec une capacité globale de 344 kWc [19].

Le gouvernement Algérien a encouragé l'utilisation des énergies renouvelables par le biais d'une série de lois et de programmes officiels. Il a mis en place un programme national d'intégration des énergies renouvelables, qui a pour objectif d'atteindre les 20 % du parc de production en énergies renouvelables d'ici l'année 2030. Le programme national des EnR vise l'installation d'une capacité totale de production d'électricité de 22 000 qui comprend 12000 MW pour les utilisateurs finaux locaux et 10000 MW destinées pour l'exportation. Plusieurs études ont abordé les choix politiques des différents pays dans le monde pour l'accomplissement d'un développement durable.

Afin de montrer l'attention portée à l'axe des énergies propres et renouvelables en Algérie, une courte mise en évidence de plusieurs travaux de recherche ont été rapportés dans différents domaines comme le photovoltaïque, l'éolien, la bioénergie, le traitement des

déchets, l'évaluation de la durabilité , la construction de bâtiments durables , l'efficacité énergétique , l'utilisation et la consommation d'énergie [20].

II.3. Programme National des Energies Renouvelables et de L'Efficacité Energétique (PNEREE)

Le Programme National des Energies Renouvelables et de L'Efficacité Energétique a été adopté par le gouvernement Algérien en Février 2011 et révisé en mai 2015 et placé au rang de priorités nationales en février 2016 lors du conseil du restreint gouvernement afin de poursuivre le grand projet des énergies renouvelables comme solution aux défis environnementaux et aux problèmes de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile. Ce programme s'appuie sur cinq axes de développement et de recherche fondamentaux :

Le développement des énergies renouvelables

- Le programme d'efficacité énergétique.
- Les capacités industrielles à améliorer pour accompagner le programme
- La recherche et le développement.
- Les mesures initiatives et réglementaires [21].

II.3.1. Contenu du Programme

La phase d'expérimentation du programme 2011-2014 a connu la réalisation de plusieurs centrales :

- 1. Centrale Hybride Solaire-Gaz :** de Hassi-Rmel, avec une capacité de 150MW (120 MW cycle combiné et 30MWc solaire thermique), elle a été mise en service en juillet 2011.[22]
- 2. Ferme Eolienne :** de Kabertène (Adrar), de 10.2 MWc, englobant 12 aérogénérateurs de puissance nominale de 850 KW chacun, elle a été mise en service en juin 2014.[23]
- 3. Centrale Pilote Photovoltaïque d'Oued N'Chou :** à Ghardaïa, de 1.1MWc, elle contient huit sous champs de quatre technologies(Monocristallin, poly cristallin, amorphe et couche mince CdTe) montées sur des structures fixes et motorisées (mise en service en juin 2014) [22].

4. Projet en centrales photovoltaïques de 343 MWc :

➤ Projet des centrales dans le nord de L'Algérie

Tableau II.1:Les centrales PV dans le nord de l'Algérie [22].

Wilaya	Localité	Capacité installée (MWc)	Mise en service
Djelfa	Ain -El-Ibel (I)	20	08/04/2016
Djelfa	Ain -El-Ibel (II)	33	06/04/2017
Souk Ahras	Oued El Keberit	15	24/04/2016
Naama	Sedrate	20	03/05/2016
Saida	Ain-Skhouna	30	05/05/2016
Sidi-Bel-Abbas	Telagh	12	29/09/2016
El Bayadh	BiodhSidiChikh	23	26/10/2016
M'Sila	Ain-El-Melh	20	26/01/2017
Batna	Oued El-Ma	02	16/01/2018

➤ Les centrales dans le sud de L'Algérie

Tableau II. 2:Les centrales PV dans le sud de l'Algérie [22].

Wilaya	Localité	Capacité installée (MWc)	Mise en service
Illizi	Djanet	03	19/02/2015
Adrar	Adrar	20	28/10/2015
Adrar	Kabertene	03	13/10/2015
Tamanrasset	Tamanrasset	13	03/11/2015
Tindouf	Tindouf	09	14/12/2015
Adrar	ZaouietKounta	06	11/01/2016
Adrar	Reggane	05	28/01/2016
Adrar	Timimoun	09	07/02/2016
Tamanrasset	In-Salah	05	11/01/2016
Adrar	Aoulef	05	07/03/2016
Ouargla	El-Hdjira	30	16/02/2017

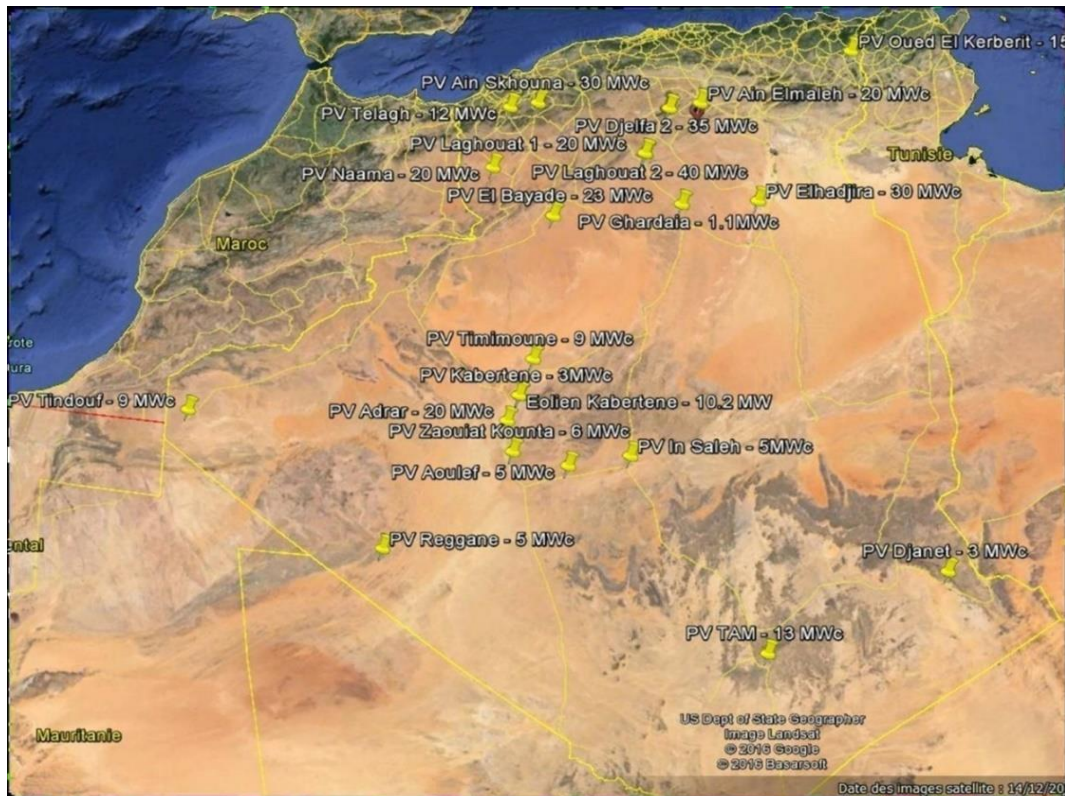


Figure II.1: L'emplacement des centrales PV de capacité 343 MWc [22].

La phase de révision du programme 2015-2030 consiste à développer les cinq éléments fondamentaux du programme :

Dans son volet « **Développement des Energies Renouvelables** », les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux phases :

- ✓ La Première 2015 - 2020 : Selon le programme national des EnR, cette phase verra la réalisation d'une puissance de 3000 MW d'origine photovoltaïque, et 1010 MW à partir de l'éolien, ainsi que 515 MW composée de la biomasse, la cogénération, et la géothermie [21].
- ✓ Deuxième 2021 - 2030 : consiste en l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar, à cette échéance, l'énergie solaire devrait représenter plus 60% des énergies renouvelables programmées [21].

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

Tableau II. 3: Plan d'exécution du PNEREE révisé en 2015 (en MW) [23].

	1ère Phase 2015-2020	2ème Phase 2021-2030	Total
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2 000	2 000
Génération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000
Géothermie	05	10	15
Total	4 525	17 475	22 000

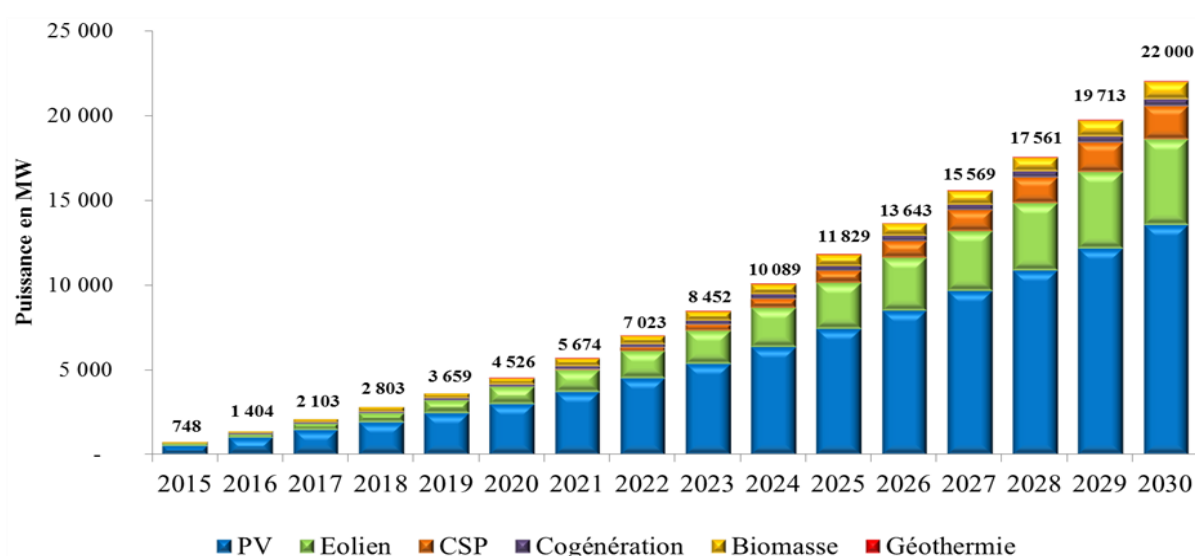


Figure II.2: Croissance des énergies renouvelables dans la période 2015-2030 [22].

Dans son volet « **Efficacité Energétique** », le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de promouvoir une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer tous les moyens pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile, il consiste à produire les mêmes services, en utilisant le moins d'énergie possible.

La concrétisation sur le terrain de ce programme permettra de réduire la croissance de la demande énergétique. Ainsi, les économies d'énergie cumulées seraient de l'ordre de 93 millions de TEP, dont 63 millions de TEP d'ici 2030.

Le programme national de l'efficacité énergétique se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie.

Dans le secteur des bâtiments :

Plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030 répartie comme suit :

Chapitre II : Programme National De Transition Et Sécurité Energétique

- L'isolation thermique des bâtiments (7 millions de TEP) ;
- La promotion du chauffe-eau solaire et de la climatisation solaire (2 millions de TEP) ;
- Une meilleure performance dans l'éclairage (1 million de TEP) ;
- Lampe de basse consommation (20 millions de TEP) ;

Dans le secteur industriel :

Plus de **30 millions de TEP** qui seront économisées.

Dans le secteur de transport :

Plus de 16 millions de TEP d'ici 2030, seront économisées afin de promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants (GPLc et le GNc) [22].

Dans son volet, «**Développement des capacités industrielles**». Le gouvernement Algérien envisage de renforcer et développer le tissu industriel pour être à l'avant-garde des mutations positives sur les plans industriel et technique et aussi sur les plans de l'ingénierie et de la recherche. Le gouvernement est également déterminé à investir dans tous les segments créateurs de la valeur et à les développer localement [23].

Dans un autre volet, le rôle de « **la Recherche et le développement** » est très important car il constitue un élément primordial dans l'acquisition des technologies, le développement des savoirs et l'amélioration des performances énergétiques. Pour le gouvernement Algérien, l'accélération de l'acquisition et le recours aux technologies est crucial surtout en matière de photovoltaïque, solaire thermique, l'éclairage, l'isolation thermique et la climatisation, ainsi la coopération scientifique étant considérée comme une part essentielle pour le développement de toutes les activités de recherche dans les domaines des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, L'Algérie encouragera les échanges entre les entreprises et les différents centres de recherche, dans ce cadre, il convient de souligner que le programme de l'efficacité énergétique prévoit le financement des projets pilotes, issus des travaux de recherche scientifique, concourant à une meilleure maîtrise de l'énergie. Ce financement est prévu comme un soutien aux chercheurs afin de stimuler leurs efforts de création scientifique [23].

Dans sa dernière partie, le PNEREE donne une vue sur le cadre juridique et réglementaire et les mesures incitatives relatives aux domaines des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique [23].

II.4. L'horizon de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie

II.4.1. Le nouveau programme national «Production de 2000 MWc d'électricité solaire»

Le 30 janvier 2022, le conseiller du PDG de Sonelgaz, avait révélé que le groupe a été chargé « officiellement » par les pouvoirs publics de réaliser 15.000 MW en ENRs et qu'un appel d'offres national et international sera lancé avant la fin du premier trimestre 2023 portant sur l'étude et la mise en service de 15 centrales solaires PV, d'une capacité totale de 2000 MW réparties en 15 lots comme première phase.

Chapitre II : Programme National De Transition Et Sécurité Energétique

L'appel d'offres a été lancé par Sonelgaz-Energies Renouvelables, il a été publié par la société d'édition et de publicité BAOSEM, lundi 27 février 2023 [24].

Tableau II.4:Liste des sites des centrales PV du lot 2000 MWc renseignée par la disponibilité des travées.[24]

Site	Wilaya	Capacités [MWc]	Superficies [H]	Poste raccordement	Tension [KV]
Abadla	Bechar	80	160	Abadla 60/30KV	60
Kenadsa		120	240	Bechar 220/60KV	220
Aflou	Laghouat	200	400	Aflou 220/60KV	220
Nakhla	El oued	200	400	Oued El Allenda 220/60KV	220
Taleb Larbi		80	160	Taleb Larbi 60/30KV	60
Touggourt	Touggourt	130	260	Tamacine 2 220/60KV	220
Leghrous	Biskra	200	400	Tolga 220/60KV	220
Tolga		80	160	Tolga 220/60KV	60
Khenguet Sidi Nadji		150	300	Bade 220/60KV	220
Batmete	M'Sila	220	440	El Hamel 220/60KV	220
M'Ghaier	M'Ghaier	220	440	M'Ghaier 220/30KV	220
Guerrara	Ghardaia	80	160	Guerrara 60/30KV	60
Ras El Oued	B.B.Argeridj	80	160	Ras El Oued 60/30KV	60
Merouana	Batna	80	160	Merouana 60.30KV	60
Frenda	Tiaret	80	160	Frenda 60/30KV	60

II.5. Les principaux intervenants dans le secteur des énergies renouvelables en Algérie

1-La Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG) :est créée selon la loi n°02-01 du 05 février 2002, elle est installée en 2005, elle encadre et régule les activités du secteur de l'électricité et du gaz. La promulgation de cette loi a permis la réorganisation de Sonelgaz avec la création de la société holding « Sonelgaz » ainsi qu'une quarantaine de filiales de métiers, de travaux et de services et des sociétés en participation pour la création de cette commission

2- L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) :est une institution publique industrielle et commerciale créée en 1985, placée sous la tutelle du Ministère de l'Énergie, elle a pour objectif principale de développer, mettre en œuvre et suivre des programmes nationaux d'efficacité énergétique.

3- Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables(CDER) :est un centre de Recherche créé le 22 mars 1988. Le CDER est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) chargé d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développements, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et de la biomasse.

4-Le Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz(CREDEG):est une filiale du groupe Sonelgaz créé le 1^{er} janvier 2005 en Société par actions (SPA), il a pour principale vocation la recherche appliquée, le développement technologique, l'expertise des équipements industriels en phase d'exploitation et de fabrication dans le domaine des métiers de base des sociétés du Groupe Sonelgaz.

5-Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM spa):est une société de production d'électricité qui est une filiale du groupe Sonelgaz créée le 07 Avril 2013, par scission de la société SPE Spa son siège social est basé à Ghardaïa, elle a pour mission principale l'exploitation des réseaux d'énergie électrique isolés du sud (Production d'électricité en conventionnel) et des énergies renouvelables pour l'ensemble du territoire national

6-New Energy Algeria (NEAL) : est une société par actions (SPA) détendue par SONALGAZ, SONATRACH et SIM, créée le 28 juillet 2002, elle a pour objectif de poser la première pierre d'une démarche de développement durable.

7-Ecole Nationale Supérieure des Energies Renouvelables, Environnement et Développement Durable: est créée par décret exécutif n° 20-152 du 8 juin 2020 .L'Ecole a pour mission d'assurer la formation supérieure, la recherche scientifique et le développement technologique dans les domaines et les filières des énergies renouvelables, environnement et développement durable, notamment, le génie électrique et les réseaux intelligents, la métrologie, les énergies nouvelles et renouvelables, l'environnement, la santé publique et l'économie verte.

II.6. Présentation du lieu de stage

Nous avons effectué un stage pratique supplémentaire au niveau de l'Opérateur Système Electrique (CRC-ANNABA).

II.6.1. Opérateur du Système Electrique

L'Opérateur du Système Electrique a été érigé en filiale du groupe SONELGAZ en 2006. Cette entité est responsable de la gestion du système de production et de transport de l'électricité. Elle est tenue d'assurer la coordination de ce système conformément à la loi N°02-01 du 5 février 2002, qui régit l'électricité et la distribution du gaz par canalisation, en particulier les articles n° 35 et 36.

II.6.2. Missions de l'Opérateur du Système Électrique (OS)

L'Opérateur du Système Électrique (OS.Spa) a pour mission principale de maintenir en permanence l'équilibre entre la consommation et la production d'électricité (conventionnelle et non conventionnelle). Les courbes ci-dessous présentent la consommation électrique journalière en 2022.

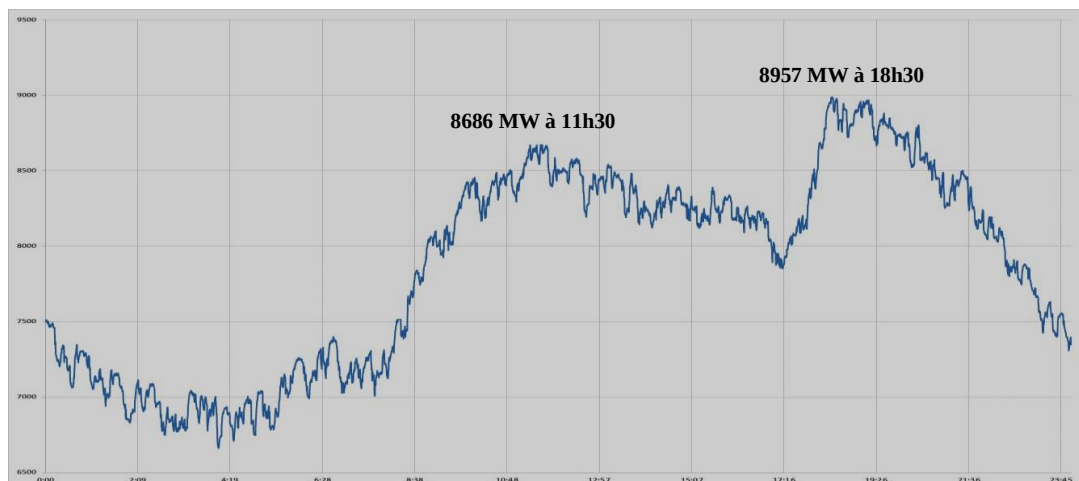


Figure II. 3 : Courbe de charge active de la journée Mardi 1^{er} Novembre 2022.

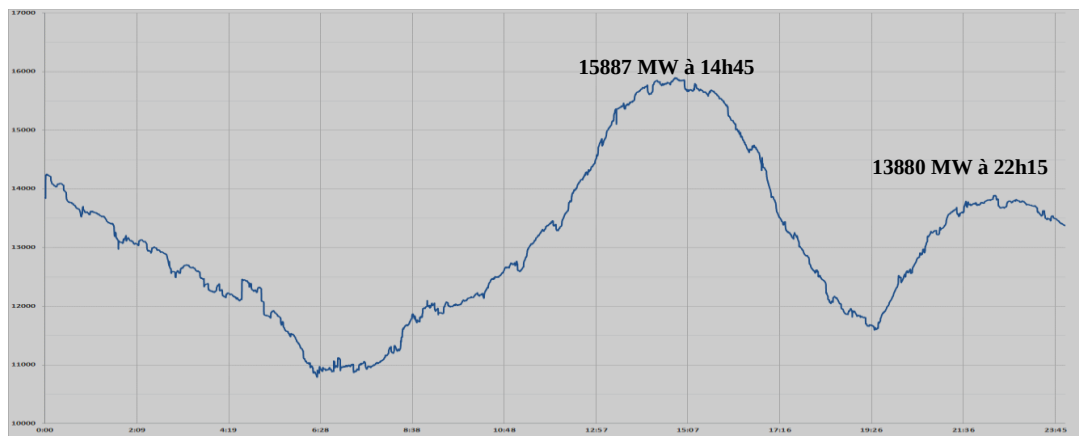


Figure II.4 : Courbe de charge active de la journée Mardi 1^{er} Août 2022.

Afin de garantir la sécurité du système, l'OS.Spa se mobilise à tous les niveaux de gestion pour mettre en place une série de "lignes de défense" adaptées à chaque événement impactant le système électrique. Ces mesures permettent d'éviter ou de contrôler les principaux phénomènes susceptibles de causer un effondrement du système.

La figure ci-dessous représente la répartition des structures du CRC Annaba.

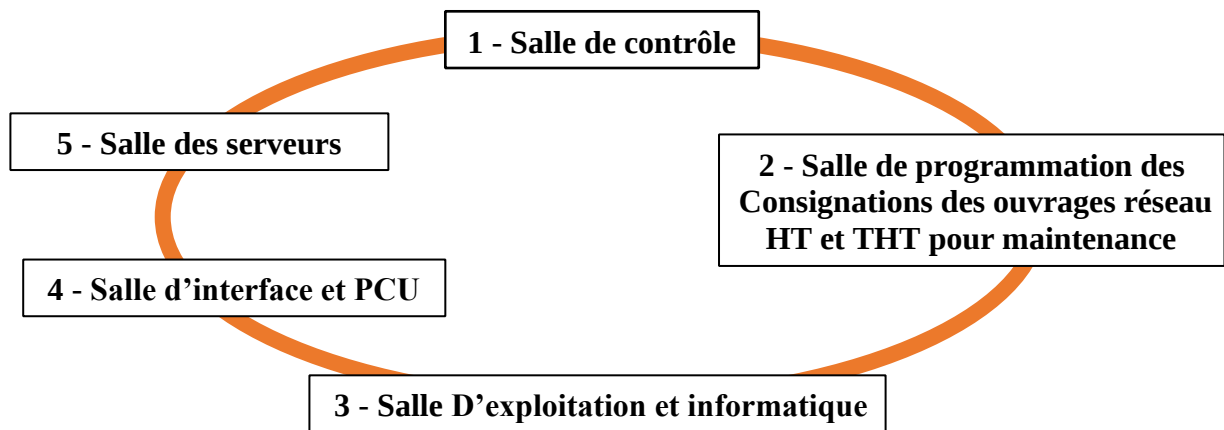


Figure II.5:Plan de répartition des structures du CRC Annaba.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur les efforts déployés par le gouvernement Algérien pour promouvoir la production des énergies renouvelables dans notre pays à travers le lancement d'un programme de développement des EnRs et d'efficacité énergétique. Nous avons discuté aussi les changements et les renouvellements qu'a connu ce programme depuis son annonce en 2011, jusqu'au janvier 2023 et le lancement d'une quinzaine de centrales photovoltaïques d'une capacité totale de 2000 MWc réparties en 15 lots. Nous citons, la centrale d'ABADLA 80 MWc prévue dans la localité de Bechar qui est le sujet de notre étude dans le troisième chapitre.

CHAPITRE III
ETUDE ET CONCEPTION D'UNE
CENTRALE PV RACCORDÉE AU
RÉSEAU
(BECHAR-ABADLA 80MWc)

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur l'étude d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau électrique. Pour ce faire, nous allons utiliser deux méthodes : Une méthode analytique à base d'un calcul manuel et l'autre une simulation par le logiciel PVSyst. Cette centrale fait partie du programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique prévu par le gouvernement Algérien, elle sera installée dans la région d'Abadla (Wilaya de Bechar-Algérie). Au cours de cette étude, nous allons analyser les aspects techniques de dimensionnement et les caractéristiques des équipements afin d'optimiser la conception de cette centrale.

III.2. Objectifs de l'étude

Nous avons choisi la communauté d'Abadla, située à 90 Km au sud-ouest de la wilaya de Bechar, pour les raisons suivantes :

- Abadla se trouve dans une région saharienne, ce qui élimine le problème de la disponibilité d'espace (la superficie d'Abadla est de 2870 km²).
- La wilaya de Béchar, en tant que région saharienne, bénéficie d'un important gisement solaire avec une durée d'insolation pouvant atteindre jusqu'à 3000 heures par an.
- La centrale photovoltaïque Abadla est décidée comme l'une des plus grandes centrales photovoltaïques prévues en Algérie, avec une capacité impressionnante de 80 MWc.

III.3. Choix du site

L'implantation de cette centrale est prévue dans la région d'Abadla wilaya de Bechar.

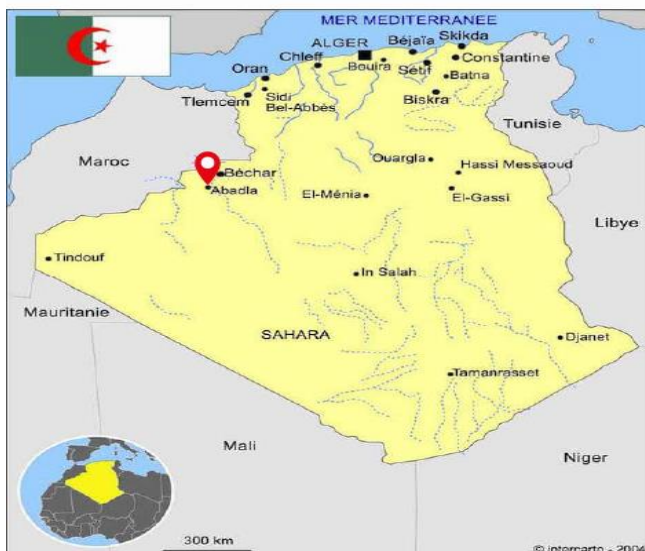


Figure III.1: Situation géographique
à l'échelle nationale.



Figure III.2 : Situation géographique
à l'échelle régionale.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

III.3.1. Données météorologique du site

Les tableaux suivants donnés par le logiciel PVSyst présentent les données météorologiques du site d'ABADLA, qui sont des paramètres essentiels lors de l'étude préliminaire pour l'implantation des panneaux solaires des systèmes photovoltaïques.

➤ Irradiations moyennes mensuelles.

Tableau III.1: Irradiations moyennes mensuelles.

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin.	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
G (KWh/ m ² /moi s)	116.1	129	178.3	204.1	218.6	226.8	222.9	208	163.9	146.5	121	105	2040.2

➤ Vitesse du vent

Tableau III.2: Vitesse du vent.

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne Annuelle
Vitesse en (m/s)	4.40	3.19	3.90	4.50	4.50	4.00	3.91	3.59	3.50	3.00	2.80	2.30	3.5

➤ Température

Tableau III.3: Température du site.

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne Annuelle
Temp en (°C)	9.5	12.3	17.4	21.7	26.5	31.3	35.9	34.4	28.7	23.1	15.1	10.4	22.2

III.4. Dimensionnement d'une centrale PV

Le dimensionnement est une partie très importante dans le cas d'une installation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau. Les étapes de dimensionnement sont les suivantes :

III.4.1.Dimensionnement de l'onduleur

III.4.1.1.Compatibilité de puissance

Une étude de la 'Deutsch Gesellschaft für Sonnen energie' à montrer que le rapport entre la puissance de l'onduleur et la puissance du champ PV (puissance de branchement) doit être comprise entre les valeurs 0.7 et 1.2 :

$$0.7 < \frac{P_{onduleur}}{P_{branchement}} < 1.2$$

III.4.1.2. Compatibilité en tension et en courant

Les caractéristiques de sortie du champ PV doivent être adaptées aux caractéristiques d'entrée de l'onduleur car ils sont directement connectés l'un à l'autre.

➤ **Tension maximale admissible par l'onduleur**

$$U_{ondmax} = N_{smax} \times U_{mpp} \times 1.25 \quad (11)$$

Où : N_{smax} : Le nombre des modules en série.

U_{mpp} : La tension de puissance maximale en V.

➤ **L'intensité maximale admissible par l'onduleur :**

$$I_{ondmax} = N_{pmin} \times I_{cc} \times 1.25 \quad (12)$$

Où : N_{pmin} : Le nombre de panneaux placés en parallèle.

I_{cc} : Le courant de court-circuit.

➤ **Tension minimale de déclenchement de l'onduleur**

$$U_{ondmin} = N_{smin} \times U_{mpp} \times 0.85 \quad (13)$$

Où : N_{smin} : Le nombre des modules en série

III.4.1.3.Coefficient de performance

Le coefficient de performance PR a été introduit pour évaluer et comparer les différentes technologies .Il permet de déterminer les performances d'un système dans les conditions standard de fonctionnement (STC).Le coefficient de performance PR est exprimé par la relation suivante :

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (14)$$

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

Où : Y_f : représente la productivité réelle et exprimée comme étant le rapport entre l'énergie réellement fournie par l'installation (KWh) et la puissance crête de cette installation (KW).

$$Y_f = \frac{\text{Energie réellement fournie par l'installation}}{\text{Puissance crête de l'installation}} \quad (15)$$

Y_r : représente la productivité de référence et donnée comme étant le ratio entre l'irradiation quotidienne dans le plan des modules (KWh) et l'irradiation condition (KW).

$$Y_r = \frac{\text{Irradiation quotidienne dans le plan des modules}}{\text{Irradiation condition}} \quad (16)$$

III.5.Choix des équipements

III.5.1.Choix du module photovoltaïque

Nous avons choisi le panneau solaire **MA 5BB POLY 320 Wc** fabriqué par l'usine algérienne **Zergoun Green Energy** située à Ouargla qui a une capacité de production annuelle de 180 MWc, en application de la politique de limitation et la réduction des importations dans le domaine pour les critères suivants :

- Excellent pour les installations à grande échelle.
- Certifié IEC 1500V.
- L'empreinte de puissance élevée réduit le temps d'installation.
- Capable de résister à des grêlons de 35 mm à une vitesse de 97 km/h.
- Charge de vent de 2400Pa et charge de neige de 5400Pa.
- Résistance excellente au PID (Potential Induced Degradation).
- Tous les modules doivent passer le test d'électroluminescence.

Les caractéristiques électriques et mécaniques de ce panneau sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

- **Caractéristique mécanique** (Voir annexe1)

Tableau III.4: Les caractéristiques mécaniques du panneau PV.

Dimension de module	1967x992x40mm		
Nombre de cellules	72	Cadre	Aluminium
Poids	23Kg	Boite de jonction	IP67, 3 diodes
Type de cellules	Polycristalline 156.7x156.7mm	Câbles	4mm ² (1500V)
Front-Sheet	3.2 mm d'épaisseur entièrement trempé	Connecteur	QC4.10 (1000V)

- **Caractéristique électrique** (voir annexe1)

Tableau III.5: Les caractéristiques électriques du panneau PV.

STC Air mass 1.5, Irradiance 1000W/m ² Température 25°C	Puissance nominale maximale (Pmax)	320
	Tension de puissance maximale	38.5
	La tension de circuit ouvert (Voc)	45.2
	Le courant de puissance maximale (Imp)	8.3
	Le courant de court-circuit (Isc)	8.8
Efficacité du module		16.4
NOCT Air mass 1.5, Irradiance 800W/m ² Température 20°C	Puissance nominale maximale (Pmax)	238
	Tension de puissance maximale	35.8
	La tension de circuit ouvert (Voc)	41.9
	Le courant de puissance maximale (Imp)	6.6
	Le courant de court-circuit (Isc)	7.1

III.5.2.Structures porteuses

Une structure porteuse dédiée sera utilisée pour l'implantation des modules photovoltaïques au sol. Les critères suivants ont été pris en compte pour déterminer les structures adaptées pour le site :

- Facilité d'installation et de maintenance.
- Capacité optimale de la structure à supporter les modules pendant une durée minimale de 25 ans.
- Installation optimisée pour une production d'électricité maximale des modules.

- Impact négatif environnemental minimal.
- Adaptation aux contraintes liées au site, telles que la pente de la zone d'implantation.

Les structures prévues du projet sont des structures fixes inclinées à un angle de 31 degrés, cette inclinaison permet d'optimiser des surfaces de production installée par hectare.

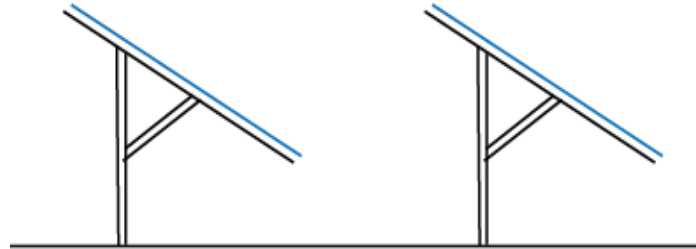


Figure III. 3: Structures porteuses.

La structure porteuse sera conçue pour supporter des charges supplémentaires de vent et de neige. Sa durée de vie sera d'au moins 25 ans, en prenant en compte les contraintes environnementales spécifiques au site d'exploitation.

III.5.3.Câblage solaire

Les câbles utilisés doivent répondre aux critères suivants pour être compatibles avec l'installation photovoltaïque :

- La chute de tension doit être inférieure à 2%.
- Ils doivent être dotés d'un isolant spécifique contre les effets de l'ozone.
- Ils doivent être faciles à transporter, à installer et à diagnostiquer en cas de défaut.

Ces câbles de section 4 mm² seront utilisés pour connecter les panneaux solaires à la boîte de jonction. Les connecteurs QC4.10 sont pré-sertis sur les câbles, ce qui facilite et sécurise la connexion. Les câbles sont disponibles en rouge et noir afin de repérer facilement les polarités.



Figure III. 4: Câblage solaire des panneaux PV. [25]

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques techniques du câble solaire :

Tableau III.6: Les caractéristiques techniques du câble solaire.

Données	Valeurs
Isolation	Low Smoke Zero Halogen
Section du câble	4 mm ²
Température	-40 °C à +90 °C
Métal	Cuivre

III.5.4.Choix de l'onduleur

Le choix de l'onduleur est crucial dans une installation solaire. Voici quelques critères à prendre en compte pour choisir le bon modèle d'onduleur :

- La tension d'entrée de l'onduleur doit être compatible avec la tension de sortie des panneaux PV.
- La tension de sortie doit correspondre à celle des appareils utilisés.
- Les caractéristiques techniques de l'onduleur (puissance et rendement).
- La garantie et la durée de vie.
- Les fonctionnalités.
- Le meilleur prix.
- Disponibilités sur marché.

Selon ces critères, nous avons choisi l'onduleur triphasé **SunGrowSG-1250d** d'une puissance de 1375 kW.



Figure III. 5: Onduleur SUNGROW SG-1250 utilisé dans la centrale. [26]

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de l'onduleur.

Tableau III.7: Caractéristiques de l'onduleur SUNGROW.

Nom de modèle	SG 1250
Entrée DC	
Tension DC maximale	1100 V
Tension DC minimale	540 V
Courant DC maximum	2712 A
Plage de tension MPPT	520-850 V
Sortie DC	12
Sortie AC	
Puissance AC maximale	1375 KW
Puissance AC nominale	1250 KW
Plage de tension AC sortie	288-414 V
Voltage AC maximal	360 V
Courant AC maximum	2205 A
Efficacité maximale	99 %
Données générales	
Dimension (H/L/P)	2120×2150×850 mm
Poids	1900 Kg
Température d'utilisation	35 - +60 °C
Classe de protection	IP65

III.5.5.Transformateur élévateur triphasé 0.400/30 KV

Dans le cadre du raccordement au réseau, il est nécessaire d'utiliser un transformateur élévateur (BT/HTA) pour convertir la tension basse tension produite par les onduleurs en une tension haute tension adaptée pour le raccordement au réseau électrique HTA. Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser un transformateur de 1600 KVA/30 KV, qui sera implanté dans le poste électrique situé à proximité immédiate des onduleurs.



Figure III. 6: Transformateur 400V/30KV. [27]

Tableau III.8:Caractéristiques du transformateur.

Fabricant	EL SEWEDY
Normes de références	CEI 60076 1-5 et spécification STS 160xDE 12/2000
Mode de refroidissement ONAN	ONAN
Puissance nominale 1600 KVA	1600 KVA
Tension secondaire à vide	30 KV
Tension primaire	400 V
Courant nominal au primaire	30.79 A
Courant nominal au secondaire	2309.4 A
Dimensions (mm)	2080×1130×2080
Poids (Kg)	4400

III.5.6. Station météorologique

Nous avons choisi la station météorologique VSN800 pour les critères suivants :

1. Pré-câblée et prête au montage dès la livraison.
2. Installation sans nécessité d'outils spéciaux.
3. Livraison de la station météorologique VSN800 prête à être montée.
4. Installation sur un mât fourni par l'utilisateur.
5. Raccordement des câbles électriques et de données, déclenchant automatiquement la procédure de mise en service du système.
6. Aucun besoin de logiciel spécifique ni de calibrage sur place.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

Cette station surveille automatiquement les conditions météorologiques du site et la température des panneaux photovoltaïques en temps réel, et transmet les mesures des capteurs à la plateforme de gestion Aurora Vision. La VSN800 est équipée d'un kit de capteurs environnementaux essentiels pour la surveillance solaire. Ces capteurs permettent une gestion efficace de la centrale, quelle que soit sa taille. Les équipements inclus dans cette station sont les suivants :

- **Pyranomètre** : Fournit à l'opérateur la valeur en temps réel de l'irradiation solaire.
- **Pluviomètre** : Fournit à l'opérateur la quantité de précipitations.
- **Sonde de température ambiante** : Fournit à l'opérateur la valeur en temps réel de la température ambiante.
- **Sonde de température à l'arrière du module** : Fournit à l'opérateur la valeur en temps réel de la température de la cellule.
- **Sonde d'humidité relative** : Fournit à l'opérateur la valeur en temps réel de l'humidité relative.
- **Capteur de pression atmosphérique** : Fournit à l'opérateur la valeur en temps réel de la pression atmosphérique.
- **Capteur de direction et de vitesse du vent** : Fournit à l'opérateur des informations sur la manière dont le vent peut refroidir les panneaux, ainsi que des indications sur le volume de poussière susceptible d'être accumulé sur les panneaux.

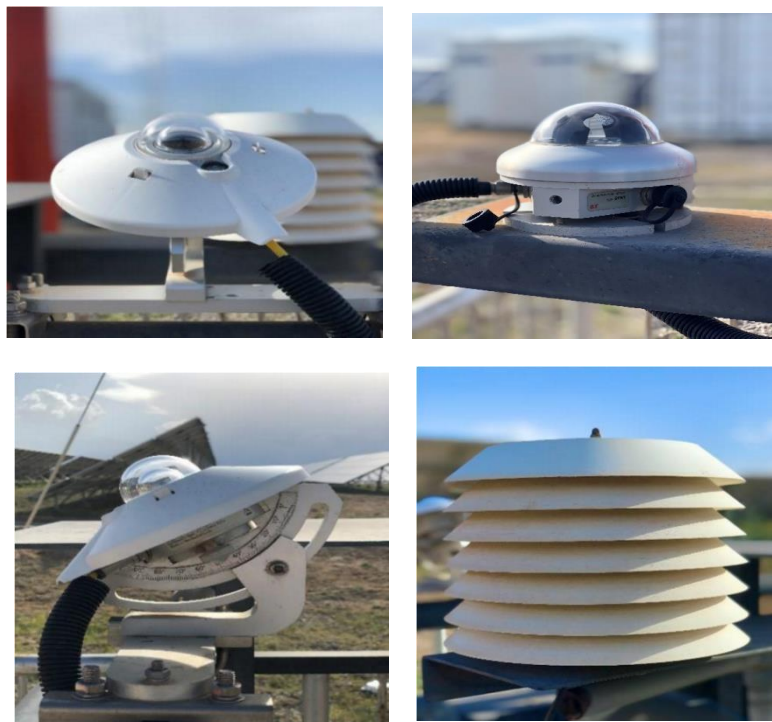


Figure III.7: Quelques équipements de mesure.

III.5.7.Système de contrôle commande (SCADA)

Le système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permet une exploitation locale sur site de notre installation photovoltaïque. Il nous permet de visualiser en temps réel toutes les valeurs mesurées localement. En cas de défaut, il nous permet de réagir rapidement et efficacement. Des analyses de haute qualité, des graphiques de flux et une gestion intelligente des alarmes sont également disponibles dans le système.

Le système SCADA est également compatible avec les enregistreurs de données, les automates programmables et les actionneurs. Au sein du centre SCADA, nous avons la possibilité d'activer les actionneurs et de visualiser immédiatement leur statut. Cela nous offre un contrôle complet et une gestion efficace de notre installation photovoltaïque.

Ce système de commande contient les éléments de surveillance suivants :

- État et caractéristiques électriques des inverseurs d'installation.
- Stations météorologiques incluant tous les composants associés.
- Compteur de facturation situé dans la sous-station.
- Mesure redondante des paramètres d'entrée en courant continu (CC) des inverseurs.
- Mesure redondante des paramètres électriques en courant alternatif (CA) à la sortie des inverseurs.
- Données en temps réel des tableaux string box, incluant tous les dispositifs intégrés.
- État des protections et des cellules de moyenne tension.
- Mesure de la température des transformateurs du Power Center.
- Signaux SCADA provenant de la sous-station.
- Système de réglage des inverseurs.

III.6.Dimensionnement analytique de la nouvelle centrale ABADLA 80 MWc

➤ Calcul du nombre de panneaux

L'étude de la centrale PV à base des calculs théoriques s'effectue comme suit :

$$N = \frac{P_t[W]}{P_{pv}[W]} = \frac{80000000}{320} = 250000 \text{ Panneaux} \quad (17)$$

➤ Compatibilité en tension

a) Nombre de modules PV en série

$$NS_{min} = E_{min} \left\lceil \frac{U_{min}[V]}{U_{mpp}[V] \times 0.85} \right\rceil = \frac{520}{38.5 \times 0.85} = 15.88 \approx 15 \text{ Panneaux en séries} \quad (18)$$

$$NS_{max} = E_{max} \left\lceil \frac{U_{max}[V]}{U_{mpp}[V] \times 1.15} \right\rceil = \frac{850}{38.5 \times 1.15} = 19.19 \approx 19 \text{ Panneaux en séries} \quad (19)$$

b) Vérification de la compatibilité en tension

La tension maximale qu'une chaîne de 17 modules photovoltaïques en série peut fournir est calculée par l'expression suivante :

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

$$NS_{max} \times U_{mpp}[V] \times 1.15 = 17 \times 38.5 \times 1.15 = 752.675V < U_{ond} = 1000 V \quad (20)$$

Cette tension ne dépasse pas la valeur de la tension maximale admissible à l'entrée de l'onduleur.

➤ **Compatibilité en puissance (courant)**

a) Nombre de chaîne en parallèle

$$NP = \frac{I_{max}}{I_{cc} \times 1.25} = \frac{2712}{8.8 \times 1.25} = 246 \text{ Chaînes en parallèle par onduleur} \quad (21)$$

b) Vérification de la compatibilité en puissance

L'expression suivante permet de calculer la puissance maximale pouvant être fournie par un sous-champ photovoltaïque composé de 246 chaînes en parallèle avec 17 modules en série par chaîne :

$$P_{branch} = NS_{max} \times NP \times P_{pv} = 17 \times 246 \times 320 = 1338.240 \text{ KW} < 1375 \text{ KW} \quad (22)$$

$$0.7 < \frac{P_{ond}}{P_{branch}} = \frac{1375}{1338.240} = 1.02 < 1.2$$

Cette puissance ne dépasse pas la valeur de la puissance maximale admissible à l'entrée de l'onduleur.

Afin de déterminer le nombre d'onduleurs nécessaires, il suffit de diviser la puissance totale par la puissance fournie par un sous-champ, comme suit :

$$N_{onduleurs} = \frac{P_t [KW]}{P_{branch} [KW]} = \frac{80000}{1338.240} = 59.78 \approx 60 \text{ Onduleurs} \quad (23)$$

Nous disposons de 60 onduleurs dans notre centrale, ce qui signifie que nous avons 60 sous-champs. Chaque sous-champ est composé de matrices comprenant 2 strings, et chaque string est constitué de 17 panneaux en série ($N_{\text{pann matrice}} = 17 \times 2 = 34$ panneaux dans une matrice).

• **Le nombre des matrices de la centrale (N_{mat})**

On calcul d'abord la puissance qui produise chaque matrice :

$$P(\text{matrice}) = N_{\text{pann matrice}} \times P_{\text{panneau}} = 34 \times 320 = 10880 \text{ Wc} \quad (24)$$

$$N_{mat} = \frac{P_t}{P_{matrice}} = \frac{80000000}{10880} = 7353 \text{ Matrices}$$

• **Le nombre de matrices de chaque sous champs**

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

$$N_{mat\ sc} = \frac{N_{mat}}{N_{sc}} = \frac{7353}{60} = 123 \text{ Mactices par sous-champs} \quad (25)$$

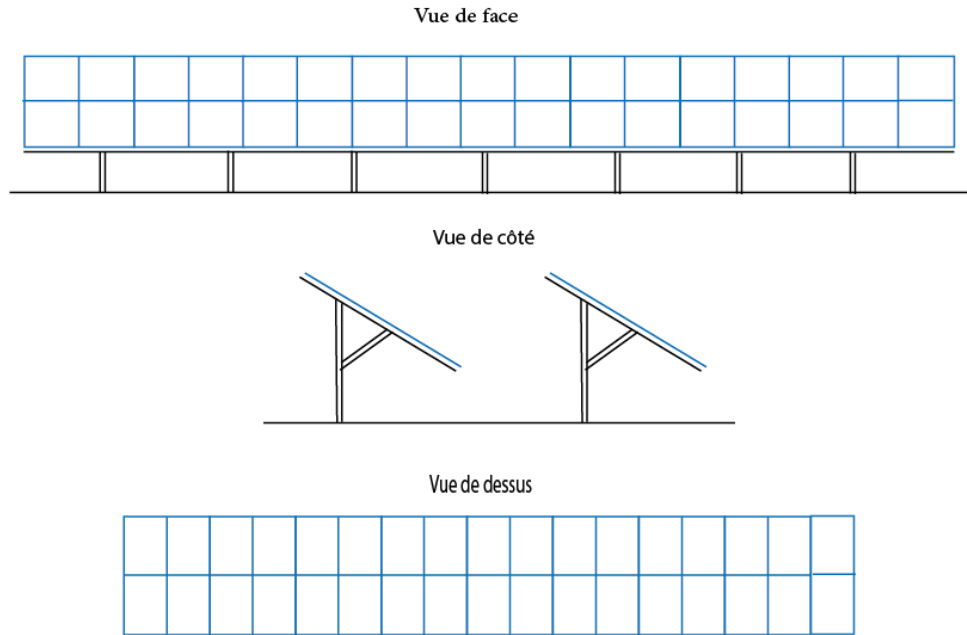


Figure III. 8: La matrice d'un sous-champ.

➤ Calcul d'ombrage

Puisque la puissance de sortie des modules PV est directement proportionnelle à l'irradiance, la réduction de la lumière due à l'ombrage complet ou partiel d'une cellule PV peut avoir un effet négatif sur la production d'électricité de la cellule, comme nous avons mentionné dans le premier chapitre.

Pour éviter l'ombrage nous avons effectué un calcul de la distance minimale (D) entre les panneaux qu'il est donné par la relation suivante :

$$D = d1 + d2 = \frac{Z}{\tan(h_0)} + \frac{Z}{\tan(\beta)} \quad (26)$$

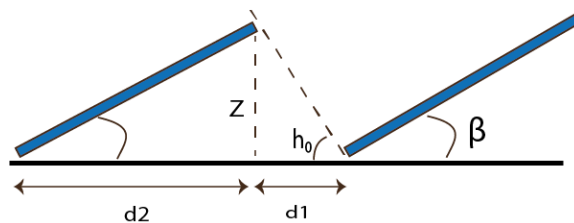


Figure III. 9: La distance minimale de l'ombrage.

D'après les centrales effectuées par Sonelgaz la distance $d1 = 2 \times Z$ (stage pratique).

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

$$Z = \text{long Pann} \times \sin(\beta) = 1.967 \times \sin(31) = 1.013 \text{ m}$$

$$d1 = 2.026 \text{ m}$$

Avec :

Long Pann : La longueur du panneau PV en [m].

La latitude $\beta = 31^\circ$.

$$h0 = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{d1} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1.013}{2.026} \right) = 33.42^\circ$$

Donc :

$$D = \frac{Z}{\tan(h0)} + \frac{Z}{\tan(\beta)} = \frac{1.013}{\tan(33.42)} + \frac{Z}{\tan(31)} = 3.22 \text{ m}$$

➤ Boite de jonction

Les boîtes de jonction sont positionnées dans les sous-champs dans le but de :

Assurer une connexion efficace des chaînes de panneaux solaires et faciliter le cheminement du courant produit vers les postes de conversion, nous avons utilisé des boîtes de jonction qui se composent de deux niveaux (Niv 1 et 2).

La mise en parallèle des chaînes se fait au niveau des boites de jonction Niv1 (**Figure III.10**), chaque boite contient 08 chaînes (4 matrices) et chaque sortie des boites de raccordement Niv1 est mise en parallèle avec une autre boite de raccordement Niv2 (**Figure III.11**). Cette dernière contient 04 boites Niv1.

Chaque onduleur est équipé de 4 boîtes Niv 2.

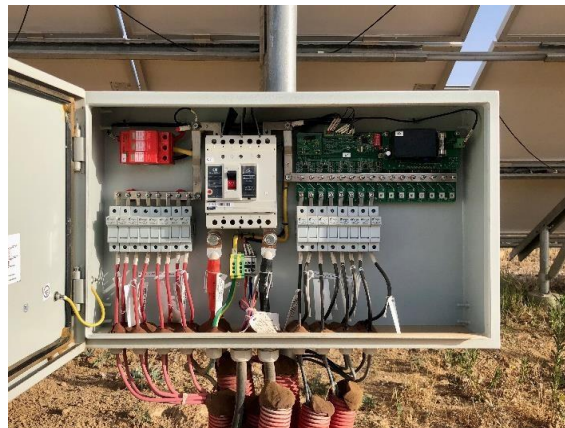


Figure III. 10:Boite de jonction Niv1.

Tableau III.9: Caractéristiques de la boîte de jonction Niv1.

Marque de produit	TBEA-H0810/1000-A
Tension maximale (V)	DC 1000V
Courant maximum (A)	DC 10A/Circuit
Nombre d'entrées	8 entrées
Protection	IP 65



Figure III. 11: Boîte de jonction Niv2.

Tableau III.10: Caractéristiques de la boîte de jonction Niv2.

Marque de produit	TBEA TD04/01
Tension maximale (V)	DC 1000V
Courant maximum (A)	DC 125A/Circuit
Nombre d'entrées	4 entrées
Protection	IP 65

➤ Station Mégawatt

La station Mégawatt PVS800 joue un rôle crucial dans le fonctionnement de la centrale, elle se caractérise par :

- La conversion du courant continu en courant alternatif.
- La protection des circuits de distribution en courant continu (DC) et des intervenants contre les risques électriques et atmosphériques.
- La génération d'un courant alternatif de haute qualité.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

- La transformation de la basse tension en moyenne tension.

En fonction du nombre d'onduleurs présents dans notre centrale, un total d'un nombre de 60 stations Mégawatts, chaque station contient :

- Onduleurs solaires de type **SunGrowSG-1250**.
- Un transformateur élévateur (0.4/30KV) de 1600 KVA.
- Armoire de communication (à connecter avec le SCADA).



Figure III. 12: Station Mégawatt PVS800. [28]

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de la station Mégawatt.

Tableau III.11: Caractéristiques de la station Mégawatt PVS800.

Type de signation		PVS800-IS-1645KW-C
Entrée (DC)		
Puissance d'entrée maximale ($P_{pv,max}$)		2468 KW
Plage de tension DC MPP		550-580V
Tension DC maximale ($U_{DC,max}$)		1000V
Courant DC maximum ($I_{DC,max}$)		3700 A
Sortie (AC)		
Puissance de sortie AC nominale ($P_{AC,N}$)		1645 KW
Puissance de sortie AC maximale ($P_{AC,max}$)		1975 KW
Courant AC nominal ($I_{AC,N}$)		2500 A
Tension DC nominale ($U_{DC,N}$)		380 V
Dimensions		6058 x 2896 x 2438 mm

Poids	8 t
Degré de protection	IP 54
Plage de température ambiante	-20 °C to +45 °C

III.7.Dimensionnement par le logiciel PVSyst

III.7.1.Présentation du logiciel PVSyst

PVSyst est un logiciel PC spécialisé dans l'étude, le dimensionnement et l'analyse de données pour les systèmes photovoltaïques (PV). Il prend en charge différents types de systèmes PV, tels que ceux connectés au réseau, autonomes, de pompage et à courant continu (utilisés dans le transport public). Le logiciel dispose d'une base de données complète comprenant des informations météorologiques et des composants de systèmes PV, ainsi que des outils généraux sur l'énergie solaire.

Les principales fonctionnalités du logiciel incluent une estimation rapide de la production lors de la phase de planification du projet, une étude détaillée, le dimensionnement et la simulation de nombreux paramètres nécessaires aux concepteurs de systèmes photovoltaïques. De plus, il permet de générer des rapports de simulation complets.

PVSyst permet également l'importation de données météorologiques provenant de différentes sources, ainsi que l'ajout de données personnalisées. Il possède une base de données contenant des milliers de modules et de modèles d'onduleurs, et offre également la possibilité de saisir des données spécifiques définies par l'utilisateur.



Figure III. 13: Logo du logiciel PVSyst.

III.7.2.Simulation de la centrale PV

Dans cette section, nous allons examiner en détail les étapes suivies lors de la conception et du dimensionnement de la centrale ABADLA (80 MWc) en utilisant

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

l'environnement PVSyst. Ensuite, nous procéderons à une comparaison entre les résultats obtenus avec PVSyst et les résultats calculés.

III.7.3. Hypothèses de simulation

- ✓ Aucune évaluation des ombrages n'a été effectuée car le site de la centrale est complètement dégagé.
- ✓ Les données météorologiques du fichier "Meteonorm" ont été choisies car elles correspondent aux conditions de la station de mesure de la centrale photovoltaïque.
- ✓ Les panneaux solaires ont été orientés vers le sud avec une inclinaison de 31°.

III.7.4. Création et conception du projet avec PVSyst

Pour effectuer notre simulation, on va passer par les étapes suivantes :

III.7.4.1. Choix du type de la centrale

Tout d'abord, nous avons créé le type de panneau solaire choisi dans notre centrale "MA 5BB POLY 320 Wc" dans la base de données du logiciel, car ce type n'était pas initialement inclus.

Ensuite, nous avons choisi le type de notre centrale PV (centrale connectée au réseau).

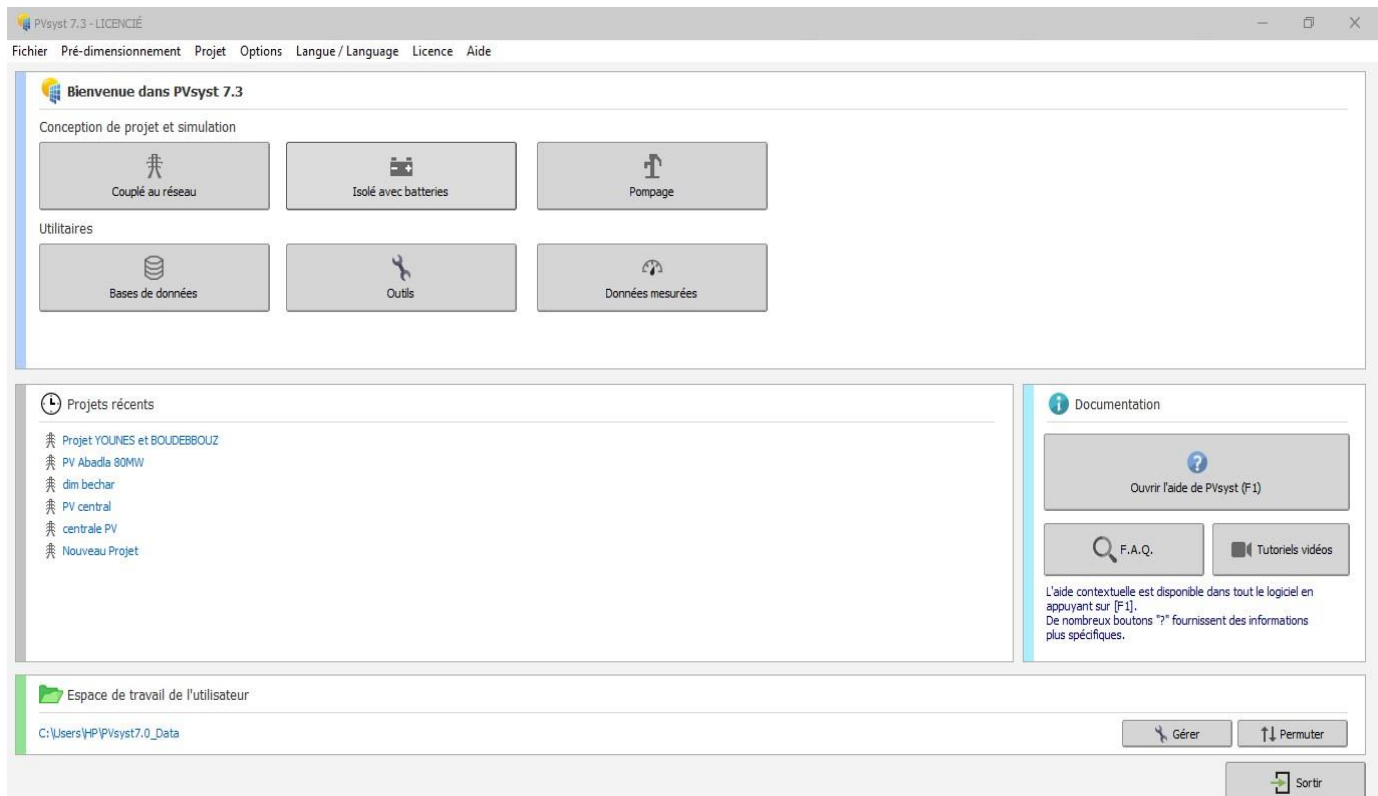


Figure III. 14:La page principale du PVSyst.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

III.7.4.2.Introduction des données du projet

Le choix du type de projet "couplé au réseau", permet l'obtention du tableau de bord suivant pour la gestion du projet :

The screenshot displays the software interface for project management. The top section, labeled 'Projet', contains fields for 'Nom du projet' (Project PFE YOUNES et BOUDEBBOUZ Promo 2023), 'Fichier site' (Abadla_MN81.STT), and 'Fichier Météo' (Abadla_MN81_SYN.MET). Below this, a blue banner prompts the user to 'Veuillez choisir l'orientation du plan !'. The bottom section, labeled 'Variante', shows the 'N° de Variante' (VC1) and a list of simulation parameters. The 'Résultats principaux' table is as follows:

Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages
Production du système	0.00 MWh/an
Productible	0.00 kWh/kWc/an
Indice de performance	0.00
Production normalisée	0.00 kWh/kWc/jour
Pertes champ	0.00 kWh/kWc/jour
Pertes système	0.00 kWh/kWc/jour

Figure III. 15: Tableau de bord du système.

Ce document comprend deux parties principales : la partie Projet et la partie Variante.

1.La partie Projet : permet la définition des éléments de base du projet :

- Nom du projet : Projet PFE YOUNES et BOUDEBBOUZ Promo 2023.
- Sélectionner le site "ABADLA" en utilisant la carte géographique ainsi que le fichier météo à partir de la base des données Meteonorm.
- Sauvegarder le projet défini.

2. La partie variante : contient les paramètres principaux de la simulation. Au début, ces paramètres "Orientation" et "Système" sont marqués en rouge. Cette couleur indique que cette version spécifique du projet n'est pas encore prête à être simulée.

➤ Orientation des panneaux

Pour commencer, cliquez sur l'option "Orientation", les panneaux solaires seront installés sur un plan incliné fixe. Les valeurs des angles d'inclinaison et d'azimut du plan sont respectivement de 31° et 0°. Après avoir saisi ces valeurs correctes d'inclinaison et d'azimut, vous pouvez cliquer sur le bouton "OK". Une fois cela fait, le bouton "Orientation" deviendra vert pour indiquer que les paramètres ont été enregistrés avec succès.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

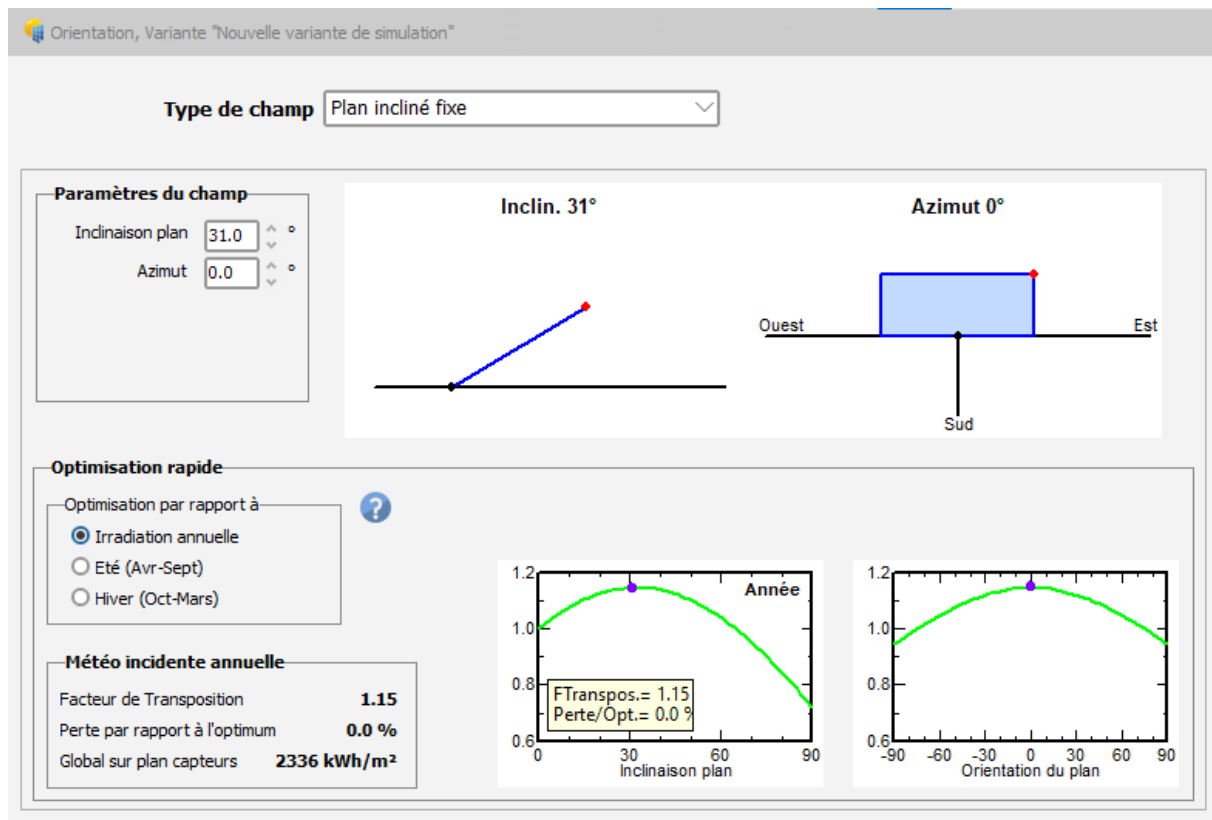


Figure III. 16: Orientation des panneaux PV dans la centrale.

➤ Données de système

Il comprend toutes les définitions détaillées de notre système, qui serviront de base pour les calculs de simulation.

Tout d'abord, nous avons ajouté les caractéristiques de notre centrale comprenant une puissance de 80MWc, de panneaux solaire de type "MA 5BB POLY 320 Wc", ainsi que l'onduleur solaire triphasé "SunGrowSG-1250". PVSyst propose une configuration complète de l'installation : 17 modules PV en série avec 14706 chaînes en parallèle et 60 onduleurs.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ
Nom: Champ PV
Orient.: Plan incliné fixe
Inclinaison: 31°
Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
☐ Pas de prédim.
Entrez Pnom désirée: 80000.0 kWc
☒ Redimens.
... ou surface disponible(modules): 487816 m²

Sélection du module PV

Disponibles: Filtre: Tous les modules PV
Modules nécessaires approx.: 250000
Zergoun Green Energy: 320 Wp 33V Si-poly MA 588 POLY MODULE
Datasheet 2022
☐ Utiliser optimiseur
Dimens. des tensions: Vmpp (60°C): 33.6 V
Vco (-10°C): 50.6 V

Sélection de l'onduleur

Disponibles: Tension de sortie: 360 V Tri 50Hz
Sungrow: 1250 kW 520 - 850 V TL 50/60Hz SG1250. Depuis 2016
Nbre d'onduleurs: 60
☐ Tension de fonctionnement: 520-850 V Puissance globale ond.: 75000 kWac
☐ Utilise multi-MPPT Tension entrée maximale: 1000 V onduleur avec 2 MPPT
Power sharing within this inverter

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes
Mod. en série: 17 entre 16 et 19
Nb. chaînes: 14706 entre 13787 et 18007
Perte surpuissance: 0.0 %
Rapport Pnom: 1.07
Nb modules: 250002 Surface: 487820 m²

Cond. de fonctionnement
Vmpp (60°C): 572 V
Vmpp (20°C): 667 V
Vco (-10°C): 860 V
Irradiance plan: 1000 W/m²
Imp (STC): 123459 A
Isc (STC): 129413 A
Puis. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C): 73428 kW
Puis. nom. champ (STC): 80001 kWc

Liste des sous-champs

Nom	#Mod #Ond.	#Chaine #MPPT
Champ PV		
Zergoun Green Energy - MA 588 POLY MODULE	17	14706
Sungrow - SG1250.	60	1

Résumé système global

Nb. de modules	250002
Surface modules	487820 m²
Nbre d'onduleurs	60
Puissance PV nominale	80001 kWc
Puissance PV maximale	80343 kWDC
Puissance AC nominale	75000 kWAC
Rapport Pnom	1.067

Annuler OK

Figure III. 17: Définition des paramètres du système.

Une fois que le type de module, l'onduleur et la configuration du tableau ont été définis, le cadre vert de la boîte de dialogue de la figure ci-dessus ne montre aucun avertissement concernant la conception.

Les avertissements affichés en orange indiquent des imperfections de conception, mais le système reste acceptable dans ces cas-là. Par contre, les avertissements affichés en rouge signalent des problèmes de conception non acceptables, ce qui signifie que la simulation ne peut pas être effectuée tant que ces problèmes ne sont pas résolus.

III.7.5.Lancement de la simulation

Une fois que toutes les étapes de la simulation sont terminées, le bouton "Lancer la simulation" devient actif, indiquant que la simulation est prête à être lancée.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

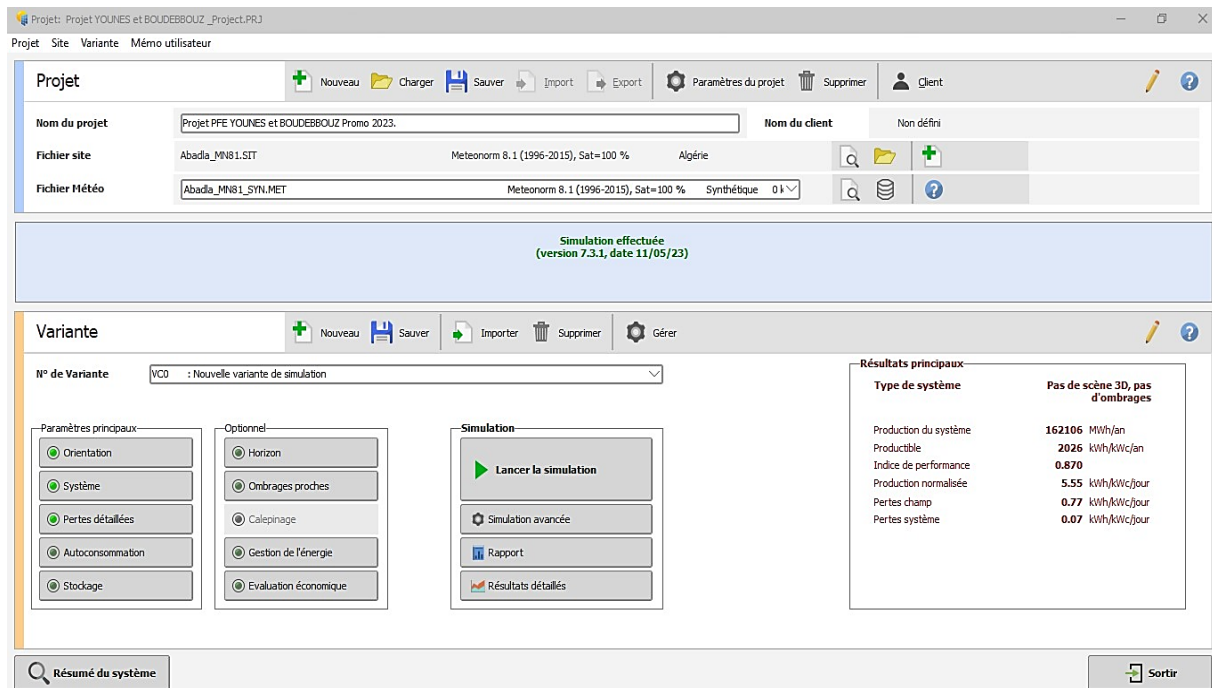


Figure III. 18: Lancement de la simulation.

III.7.5.1. Analyse des résultats

En haut de cette boîte de dialogue, vous trouverez un résumé des paramètres de simulation que vous devez rapidement vérifier afin de vous assurer qu'aucune erreur évidente n'a été commise dans les paramètres d'entrée. À droite, vous verrez un cadre contenant six valeurs qui fournissent un aperçu rapide des principaux résultats de la simulation. Ces valeurs ne donnent qu'une vision globale des résultats et servent à repérer rapidement les erreurs évidentes ou à obtenir une première impression des changements ou des comparaisons entre les différentes variantes du projet.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, vous trouverez plusieurs diagrammes qui fournissent des informations plus détaillées sur le comportement global du système. Ces diagrammes vous permettent d'obtenir une vision plus approfondie des différentes caractéristiques et tendances du système.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

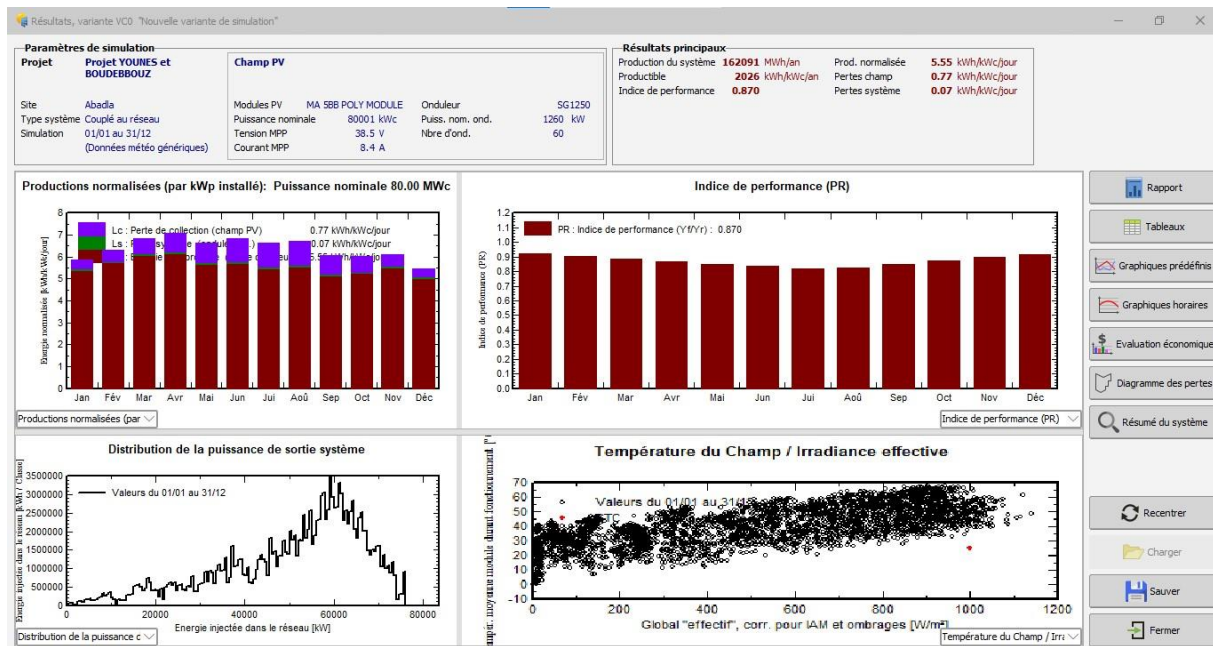


Figure III. 19: Fenêtre de résultats de la simulation.

III.7.5.2.Présentation du rapport du projet

Ce rapport contient les informations principales des résultats de la simulation :

- **Première page :** présente des résumés de projet du système et des résultats de cette variante de la simulation. Les propriétés site géographique et données météo sont entièrement définies dans la case "**Project summary**". Le nombre de modules et d'onduleurs ainsi que la puissance nominale installée sont présentés dans la case "**System summary**". Cette page donne aussi l'énergie produite annuelle, la puissance pour chaque KW installée ainsi que l'indice de performance PR.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

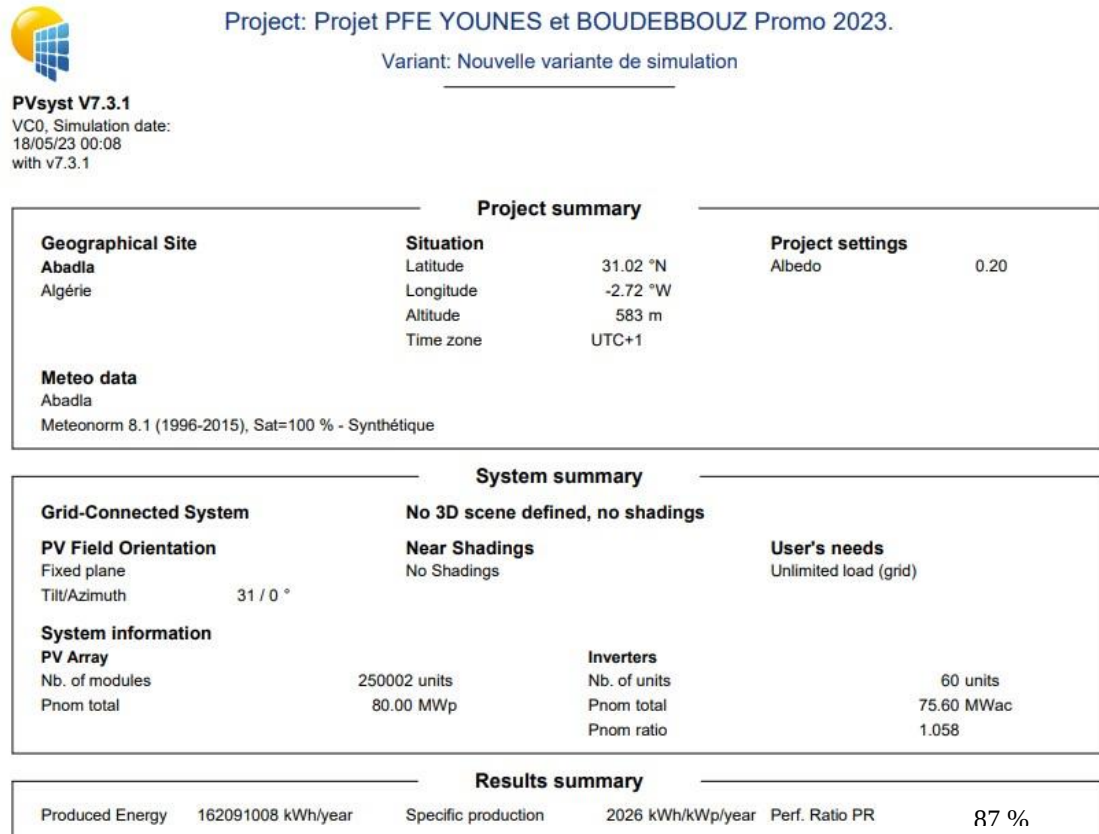


Figure III. 20: Résumé du projet.

➤ **Deuxième page :** montre tous les paramètres généraux de cette simulation :

- Les paramètres inclus le type de système, l'orientation du champ PV et la configuration de l'ombrage utilisées.
- Les caractéristiques de générateur PV indiquent tous les paramètres du système PV, cela inclus les modules et leurs disposition ainsi que les onduleurs.
- Les pertes du champ photovoltaïques donnent un aperçu sur tous les paramètres pris en compte lors du calcul des pertes pendant la simulation.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)



PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
18/05/23 00:08
with v7.3.1

Project: Projet PFE YOUNES et BOUDEBBOUZ Promo 2023.

Variant: Nouvelle variante de simulation

General parameters					
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings			
PV Field Orientation		Sheds configuration		Models used	
Orientation		No 3D scene defined		Transposition	
Fixed plane				Perez	
Tilt/Azimuth		31 / 0 °		Diffuse	
				Perez, Meteonorm	
				Circumsolar	
				separate	
Horizon		Near Shadings		User's needs	
Free Horizon		No Shadings		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Zergoun Green Energy	Manufacturer	Sungrow
Model	MA 5BB POLY MODULE	Model	SG1250
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	320 Wp	Unit Nom. Power	1260 kWac
Number of PV modules	250002 units	Number of inverters	60 units
Nominal (STC)	80.00 MWp	Total power	75600 kWac
Modules	14706 Strings x 17 in series	Operating voltage	520-850 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC-AC)	1.06
Pmpp	73.43 MWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	595 V		
I mpp	123459 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	80001 kWp	Total power	75600 kWac
Total	250002 modules	Number of inverters	60 units
Module area	487820 m²	Pnom ratio	1.06

Array losses					
Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	0.080 mΩ	Loss Fraction	-0.8 %
Uc (const)	29.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC		
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s				
Module mismatch losses		Strings Mismatch loss			
Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %		
IAM loss factor					
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526					
0°	30°	50°	60°	70°	75°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.882	0.776
					0.636
					0.403
					0.000

Figure III. 21: Paramètres généraux du système.

➤ **Troisième page :**

Cette page présente les principaux résultats de la simulation, il s'agit notamment de la production de l'énergie et le ratio de performance.

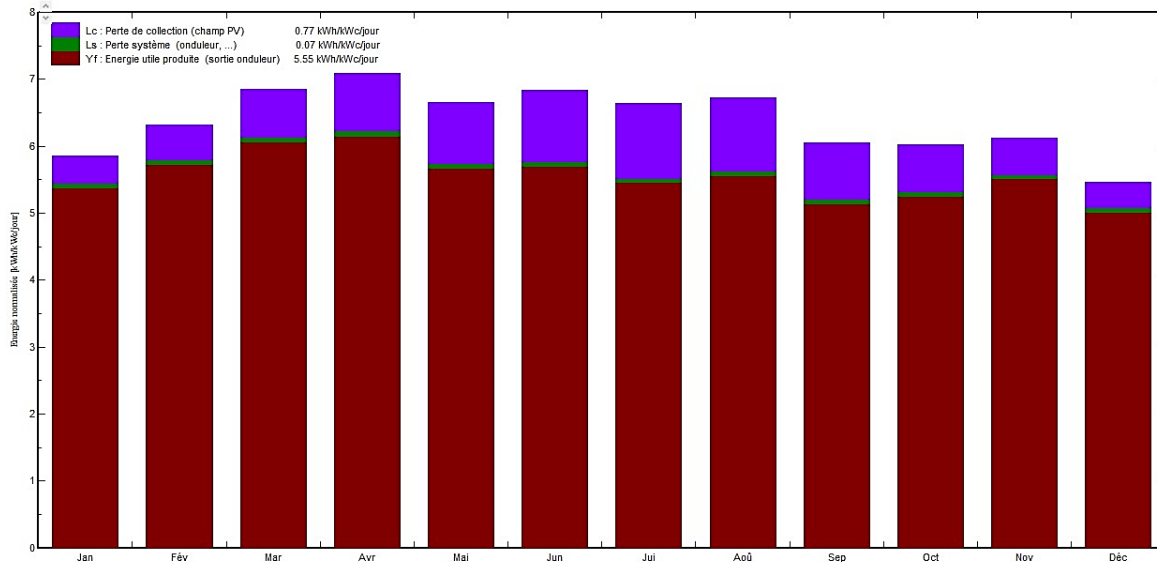


Figure III. 22: Productions normalisées (Par KWc installé).

Ce graphe montre les résultats proposés par la norme CEI 61724, ceci est exprimé en terme de variables standards définies dans cette norme. Ces variables sont normalisées pour la puissance nominale du système, elles permettent de comparer les systèmes PV de différents types, tailles et endroits.

Il résume des pertes qui influencent la production mensuelle du système photovoltaïque (pertes de collection L_c). Ces pertes incluent les pertes ohmiques du câblage, les pertes liées à la température du champ photovoltaïque, les pertes liées à la qualité des modules. Il présente aussi l'énergie utile produite à la sortie de l'onduleur Y_f , c'est-à-dire la quantité d'énergie réellement disponible pour une utilisation après avoir pris en compte toutes les pertes mentionnées précédemment. Chaque barre du graphique représente le rendement de référence du système Y_r selon la norme. Il indique l'énergie qui serait produite si le système fonctionnait constamment à son efficacité nominale dans des conditions STC. Cela équivaut à la valeur de l'incident global sur le plan collecteur, également appelée G_{lobInc} .

On remarque que :

- La valeur moyenne de l'énergie utile produite à la sortie de l'onduleur est de 5.55 KWh/KWc/jour, c'est-à-dire, chaque KWc produit 5.55 KWh par jour.
- La valeur maximale de cette centrale atteinte 7.3 KWh/KWc/jour au mois d'Avril. Cette observation confirme la cohérence de nos résultats, car en Avril, l'ensoleillement est important et les températures sont basses, ce qui favorise un fonctionnement optimal de notre système

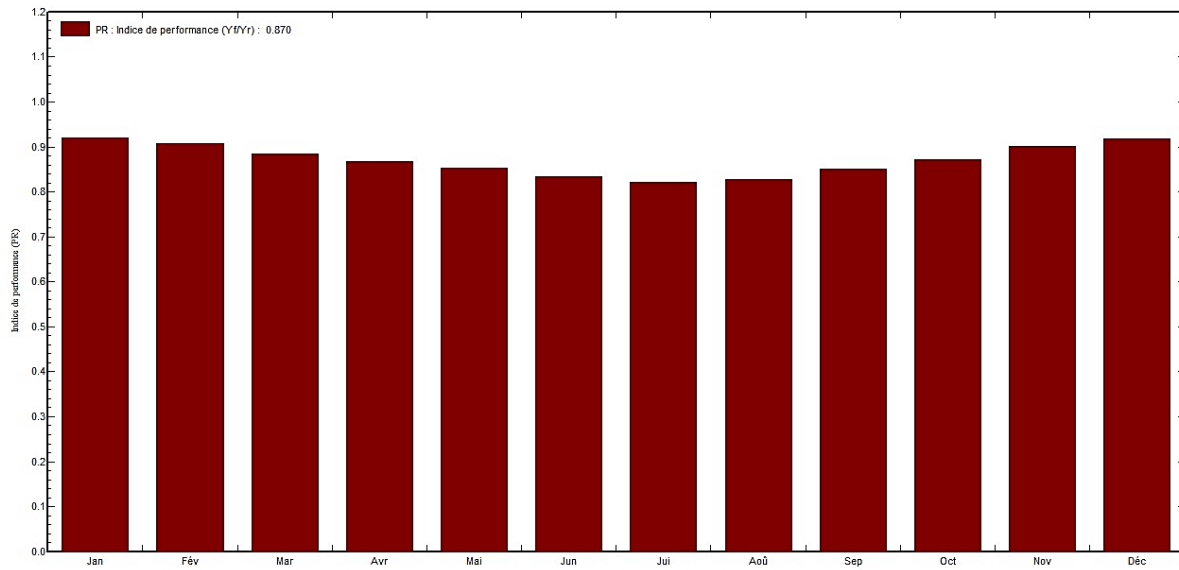


Figure III. 23: Diagramme de l'indice de performance de la centrale.

Le diagramme présenté ci-dessus, illustre l'efficacité globale du système par rapport à ce qui pourrait être attendu en fonction de la puissance installée. Il est synonyme du rendement du système. Il est observé que l'indice de performance PR est de valeur moyenne de 87%, ce qui est une valeur très satisfaisante pour un système photovoltaïque. Cet indice démontre les avantages et l'efficacité du choix des équipements du notre système. Il est constaté que PR diminue pendant la saison d'été. Cette diminution est due à des températures de fonctionnement plus élevées du GPV, ce qui entraîne des pertes de chaleur plus importantes dans le générateur PV.

- **Quatrième page :** Le diagramme de perte présenté est un diagramme de Sankey qui représente tous les flux d'énergie afin de visualiser l'ensemble des pertes dans le système PV. Ce diagramme est un indicateur puissant de la qualité du système, car il permet d'identifier les erreurs de dimensionnement et de localiser les sources de pertes d'énergie. En l'analyse de ce diagramme, on peut déterminer les étapes où les pertes sont les plus importantes, ce qui facilite l'optimisation et l'amélioration du système PV.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)



PVsyst V7.3.1
VC0, Simulation date:
18/05/23 00:08
with v7.3.1

Project: Projet PFE YOUNES et BOUDEBBOUZ Promo 2023.

Variant: Nouvelle variante de simulation

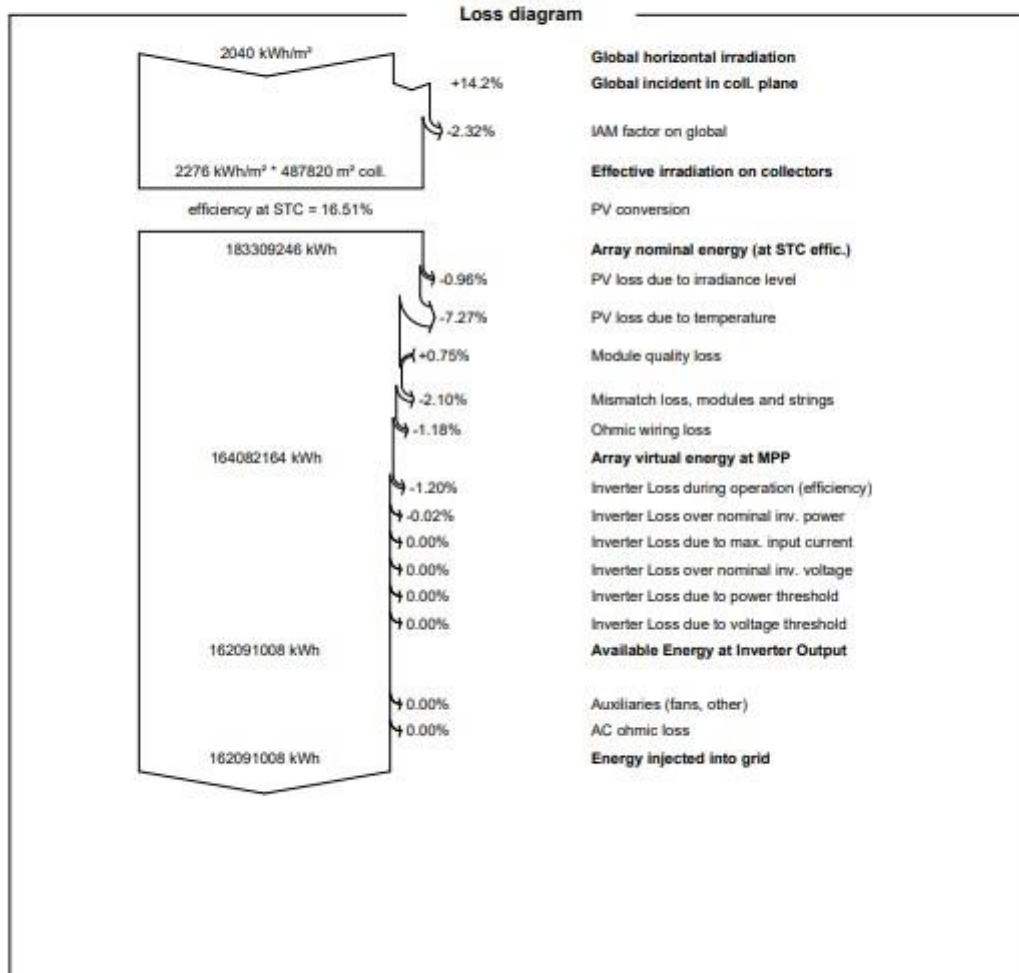


Figure III. 24: Diagramme des pertes détaillé.

- **Cinquième page :** Le "diagramme d'entrée/sortie quotidien" représente l'énergie injectée dans le réseau en fonction de l'irradiation incidente globale sur le plan du collecteur, pour chaque jour simulé. On observe que ce diagramme affiche une ligne droite qui atteint une saturation légère pour les valeurs élevées d'irradiation. Cela confirme que notre système, connecté au réseau est bien dimensionné. Les paramètres pris en compte, tels que les pertes du champ photovoltaïque, l'énergie produite annuelle, la puissance installée et l'indice de performance PR, indiquent que l'étude de la centrale d'Abadla80 MWc est conçue de manière appropriée pour répondre aux besoins et assurer une performance optimale.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

La légère courbure observée est due à l'effet de la température. L'absence des points (jours) qui s'écartent de la tendance prévue à des irradiances élevées, indique que même dans des conditions de surcharge, notre dimensionnement reste fiable.

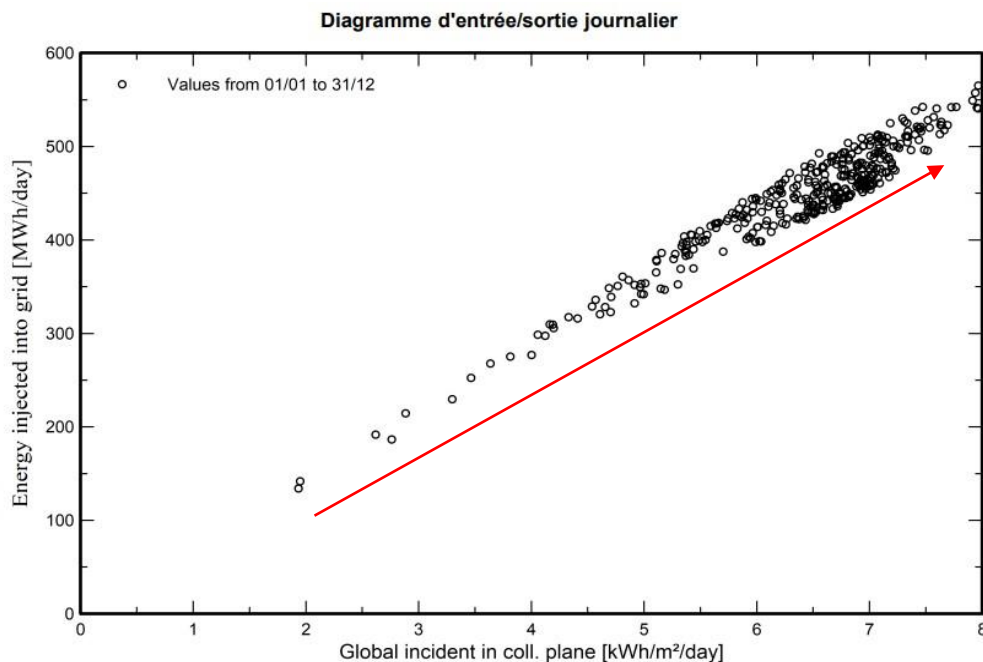


Figure III. 25: Diagramme d'entrée/sortie journalier.

III.8.Comparaison des résultats (méthode analytique et simulation PVSyst)

Tableau III.12: Comparaison des résultats de la méthode analytique et la simulation.

	Méthode analytique	Simulation
Nombre de panneaux	250000 unités	250002unités
Nombre de panneaux en série	17	17
Nombre de panneaux en parallèle	14706 chaines	14706 chaines
Nombre d'onduleurs	60	60

Nous avons observé une conformité entre les résultats de simulation et le calcul manuel, notamment en ce qui concerne le nombre d'onduleurs et leur configuration de raccordement, et une légère différence dans le nombre de panneaux (2 panneaux PV) à effet négligeable vu le nombre total important plus de 200000 panneaux ce qui confirme la validité des deux méthodes et les performances du logiciel sélectionné.

III.9. Conception de la centrale

Après avoir achever toutes les étapes nécessaires et effectué tous les calculs pour dimensionner la centrale, nous avons obtenu le schéma électrique de la conception final de la centrale.

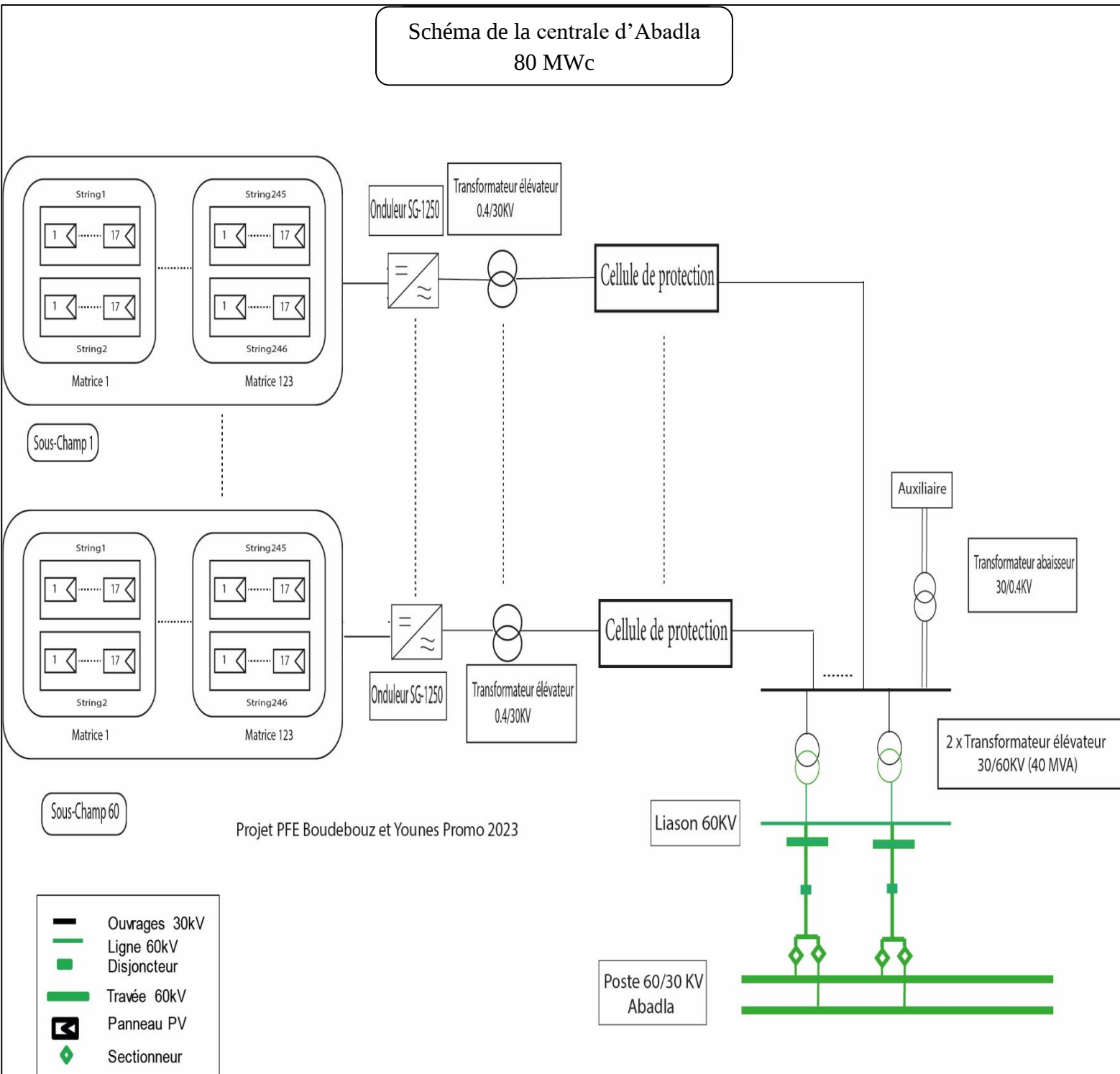


Figure III. 26: Conception de la centrale ABADLA 80MWc.

Chapitre III : Etude et Conception D'une Centrale PV Raccordée au Réseau (Bechar-Abadla 80MWc)

La nouvelle centrale d'ABADLA est constituée de :

- 250000 panneaux photovoltaïques de marque **MA 5BB POLY 320 Wc**.
- 60 sous-champs photovoltaïques.
- Un total de 7 353 matrices, chacune est constitué de 34 panneaux photovoltaïques.
- Chaque sous-champ est connecté à un onduleur de marque **SUNGROW SG-1250** pour convertir le courant continu en courant alternatif.
- La centrale comprend également 60 transformateurs 0.4/30 KV de 1600 KVA, chacun étant connecté à la sortie de l'onduleur pour augmenter la tension à 30 KV.
- Un poste d'évacuation est équipé d'un transformateur abaisseur 30/0.4 KV pour alimenter les auxiliaires, ainsi que de deux transformateurs élévateurs (30/60 KV) pour l'injection au réseau.

III.10.Poste d'évacuation

Le poste 60 KV est équipé des éléments suivants :

- Deux travées de ligne 60 KV.
- Deux travées de transformateurs 30/60 KV.

• SERVICES AUXILIAIRES

Les paramètres pour le système AC/DC de service auxiliaire sont les suivants :

- ✓ Tension triphasée auxiliaire AC: 400 VAC.
- ✓ Tension monophasée auxiliaire AC: 230 VAC.
- ✓ Tension auxiliaire DC: 110 VDC et 48 VDC.

III.11.Ligne d'injection 60KV centrale PV ABADLA vers le poste ABADLA 60/30KV

Afin de permettre l'évacuation de la puissance totale de 80 MWc de la centrale et d'assurer la continuité de service, il a été décidé, en consultation avec le service réseau de GRTE Annaba, de réaliser deux lignes en ALmelec avec une section de 366 mm² par phase sur un seul support haute tension, c'est-à-dire en configuration double ternes.

Tableau III.13: Caractéristiques des deux lignes 60 KV en double ternes Abadla-Bechar.
(données de stage)

Ligne 60 KV ABADLA-BECHAR						
Caractéristique du câble			Résistance Ω /Km		Réactance Ω /Km	
Type	Section (mm ²)	Longueur (Km)	Directe	Homopolaire	Directe	Homopolaire
Almec	1*366	80	0.14	0.29	0.4	1.35

III.12.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué toutes les étapes de dimensionnement et conception d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau (BECHAR-ABADLA 80 MWc). Les résultats obtenus à partir des deux méthodes que nous avons utilisées démontrent l'efficacité de l'utilisation de PVSyst en tant qu'outil de simulation, ainsi que la validité de nos calculs.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Aujourd'hui, le développement durable nécessite la maîtrise de la demande en électricité et une augmentation significative de la part des énergies renouvelables. En effet, dans les années à venir, tout système énergétique durable reposera sur une utilisation rationnelle des ressources énergétiques et une plus grande utilisation des énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire photovoltaïque.

Cependant, l'énergie photovoltaïque a suscité un intérêt croissant et a attiré l'attention de nombreux chercheurs dans de nombreuses applications en raison du fort potentiel solaire mondial, de sa capacité de conversion directe de l'énergie électrique sans causer de dommages à l'environnement, de sa facilité de mise en œuvre, de sa flexibilité en termes de taille et de son faible coût d'exploitation.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les concepts fondamentaux de l'énergie solaire photovoltaïque. Nous avons donné un aperçu général du profil solaire à l'échelle mondiale et nationale. Nous avons également abordé la conversion photoélectrique, les panneaux solaires et leurs caractéristiques. De plus, nous avons examiné les différents types des systèmes photovoltaïques, ainsi que leurs performances.

Dans le deuxième chapitre, nous avons examiné en détail le programme National Algérien de l'Energie Renouvelable et de l'Efficacité Energétique et la mise à jour du ce programme. Nous avons analysé les objectifs et les initiatives prise pour ce programme. L'objectif était de déterminer la valeur ajoutée que notre projet apportera à ce programme, en termes de contribution aux objectifs nationaux en matière d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique.

Nous avons entamé dans le dernier chapitre une étude détaillée d'une centrale photovoltaïque de 80 MWc à BECHAR-ABADLA. Cette étude comprend le choix des équipements de la centrale ainsi que des calculs détaillés associés. L'objectif principal de cette étude comparative entre les résultats obtenus par la méthode analytique et ceux obtenus à l'aide du logiciel de simulation PVSyst est de confirmer les performances attendues de notre centrale photovoltaïque avec l'enregistrement d'un indice de performance très satisfaisant de l'ordre de 87%.

- Finalement, un projet de conception d'une centrale photovoltaïque d'une grande capacité peut jouer un rôle crucial pour couvrir les besoins énergétiques. À la suite de cette étude.
- Cela confirme également que notre centrale photovoltaïque est capable de fournir les performances attendues, en termes de production d'une énergie électrique durable et vert.
- Le raccordement au réseau électrique 60KV permet l'augmentation et la diversification des ressources du parc national tout en permettant de renforcer notre sécurité énergétique et la réflexion à l'exportation notamment vers le marché européen.

CONCLUSION GENERALE

- La concrétisation de ces projets inscrits dans le PEENR permet d'atteindre les objectifs économique et énergétique ainsi que le respect des engagements écologique mondial (COP 27 du 6 au 18 novembre 2022 à Charm el-Cheikh, en Égypte).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Stratégies d’approvisionnement en énergies fossiles des centrales électriques algériennes Perspectives et développements ». <https://123dok.net/document/qmjmdk4q-strat%C3%A9gies-approvisionnement-%C3%A9nergies-centrales-%C3%A9lectriques-alg%C3%A9riennes-perspectives-d%C3%A9veloppements.html>).
- [2] C. A. □ B. Moun, « Diagnostic des défauts dans les panneaux photovoltaïques par SVM », Thesis, faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/2367>
- [3] F. Amir, « Etude du fonctionnement des centres de production dans un système de marché libre de l’énergie électrique », magister, Université de Batna 2, 2012.. [En ligne]. Disponible sur: <http://eprints.univ-batna2.dz/1301/>
- [4] « Renewable Energy | Department of Energy ». <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy>.
- [5] V. Dabra, K. K. Paliwal, P. Sharma, et N. Kumar, « Optimization of photovoltaic power system: a comparative study », *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 2, n° 1, p. 3, févr. 2017.
- [6] *Solar Electric Power Generation*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.
- [7] « World Bank Launches Global Solar Atlas in Partnership with International Solar Alliance - Mercom India », *Mercomindia.com*. <https://mercomindia.com/world-bank-launches-global-solar-atlas-partnership-international-solar-alliance>.
- [8] « Global Solar Atlas ». <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>.
- [9] « L’Union européenne a ajouté une puissance maximale nette de 22,8 GW (renouvelable) - Enerzine ». <https://www.enerzine.com/lunion-europeenne-a-ajoute-une-puissance-maximale-nette-de-228-gw-renouvelable/38519-2022-06>.
- [10] « Understanding the Composition of a Solar Cell - Technical Articles ». <https://eepower.com/technical-articles/understanding-the-composition-of-a-solar-cell/#>.
- [11] « Solar Cells and Modules | SpringerLink ».
- [12] R. Ayat, « Contribution à la Commande Synergétique d’une Installation de Production d’Energie Photovoltaïque Autonome », Thesis, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/3886>
- [13] « Modeling and Simulation of the Photovoltaic Cells for Different Values of Physical and Environmental Parameters | Hysa | Emerging Science Journal ». <https://www.ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/270>.
- [14] « Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems - Smets, Arno, Jäger, Klaus, Isabella, Olindo, van Swaaij, René, Zeman, Miro - Livres ».

- [15] « Renewable and Efficient Electric Power Systems | IEEE eBooks ».
- [16] « Etude Et Amélioration Des Systèmes De Conversion Photovoltaïque Dans Les Zones Arides Et Semi-arides ». <https://www.theses-algerie.com/6663269916077866/these-de-doctorat/universite-kasdi-merbah---ouergla/etude-et-am%C3%A9lioration-des-syst%C3%A8mes-de-conversion-photovolta%C3%AFque-dans-les-zones-arides-et-semi-arides>.
- [17] O. C. Ozerdem, S. Tackie, et S. Biricik, « Performance evaluation of Serhatkoy (1.2 MW) PV power plant », in *2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, nov. 2015.
- [18] « Recent advances in synchronization techniques for grid-tied PV system: A review - ScienceDirect ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721008118>.
- [19] « CEREFÉ | Ensemble pour la transition énergétique en Algérie ». <https://www.cerefe.gov.dz/fr/accueil/>.
- [20] « Status of renewable energy potential and utilization in Algeria - ScienceDirect ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619338818>.
- [21] « Mémoire enjeux de la Transition Énergétique en Algérie », *Bing*. <https://www.bing.com/search?q=Mémoire+enjeux+de+la+Transition+Énergétique+en+Algérie&cvid=91820730f4f941f7a06cad1ab2812b56&aqs=edge..69i57.442j0j4&FORM=ANAB01&PC=U531>.
- [22] « Ministère de l'Énergie | Algérie ». <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>.
- [23] A. Hebri, « Le programme des énergies renouvelables en Algérie Vers une efficacité énergétique d'ici 2030. », *JEP*, avr. 2018.
- [24] « Sonelgaz : Appel d'offres pour 15 centrales solaires d'une capacité totale de 2000 MW ». Stage pratique
- [25] « Câblage solaire».
- [26] « Onduleur solaire, SunGrow SG-1250. Chine ».
- [27] « Transformateur triphasé 1600 KVA/30KV, EL SEWEDY».
- [28] « Station Megawatt PVS800,ABB».

ANNEXES

Annexe 1: Fiche technique du panneau MA 5BB POLY 320 Wc.



MA 5BB POLY MODULE 72 CELL Polycrystalline Module 315 W - 330 W



HIGH RETURN ON INVESTMENT

- Excellent for large scale installations.
- 1500V IEC certified.
- High power footprint reduces installation time and BOS costs.



HIGHER OUTPUT POWERPER SURFACE

- High quality Poly-crystalline 5BB cells.



EXCELLENT WITHSTAND CHALLENGING ENVIRONMENTAL CONDITIONS

- 35mm hail stones at 97 km/h.
- 2400Pa wind load and 5400 Pa snow load.



EXCELLENT DURABILITY RELIABILITY PERFORMANCE

- Excellent PID resistant.
- All modules have to pass electroluminescence inspection.



PRODUCT CERTIFICATES

- IEC 61 215 : 2016
- IEC 61 730 : 2016
- OHSAS 18 001 : 2007



MANAGEMENT CERTIFICATES

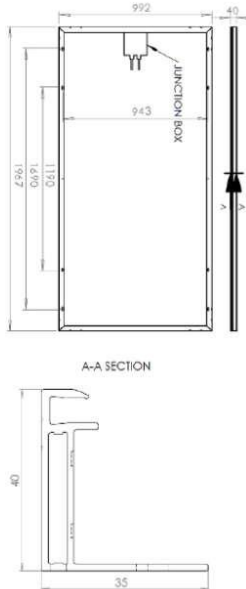
- ISO 9 001 :2015
- ISO 14 001 :2015



Zergoun Green Energy (Zergoun Group)
www.zergoungreenenergy.com
contact@zergoungreenenergy.com
+213 23 70 01 35



MECHANICAL SPECIFICATIONS



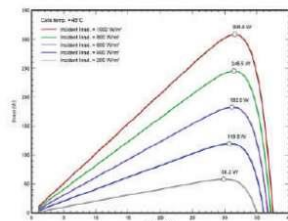
Module dimension	1967x992x40mm	Back-sheet	
Number of Cells	72	Frame	Aluminum
Weight	23Kg	Junction box	IP67, 3 diodes
Cell type	Polycrystalline 156.7x156.7mm	Cables	4mm ² (1500V)
Front-sheet	3.2mm thickness full tempered	Connector	QC4.10 (1500V)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

		315	320	325	330
STC Air Mass 1.5; Irradiance 1000W/m ² ; cell temperature 25°C	Maximum rated power (P _{max}) (0 ~ +5)	315	320	325	330
	Maximum power voltage (V _{mp})	38.3	38.5	38.8	40
	Open circuit voltage (V _{oc})	45	45.2	45.4	45.6
	Maximum power current (I _{mp})	8.2	8.3	8.4	8.5
	Short circuit (I _{sc})	8.7	8.8	8.9	9
Module efficiency (%)		16.1	16.4	16.6	16.8
NOCT Air Mass 1.5; Irradiance 800W/m ² ; ambient temperature 20°C	Maximum rated power (P _{max}) (0 ~ +5)	234	238	242	246
	Maximum power voltage (V _{mp})	35.6	35.8	36	36.2
	Open circuit voltage (V _{oc})	41.7	41.9	42.1	42.3
	Maximum power current (I _{mp})	6.55	6.6	6.7	6.8
	Short circuit (I _{sc})	7	7.1	7.2	7.3

Measuring power tolerance: ±3%

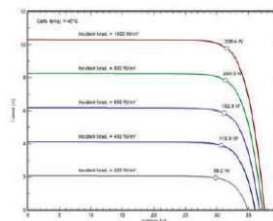
POWER-VOLTAGE CURVE



MAXIMUM RATINGS

Operational temperature	-40 o +85°C
Maximum system voltage	1500 V
Maximum series fuse rating	20 A

CURRENT-VOLTAGE CURVE



TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Temperature coefficient of P _{max}	-0.390%/°C
Temperature coefficient of V _{oc}	-0.300%/°C
Temperature coefficient of I _{sc}	0.050%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C

