

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université Ahmed Draya d'Adrar
Faculté des sciences et de la technologie
Département des science et technologie**



N° d'ordre.....

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

Intitulé

**Etude Techno-Economique D'une Centrale
Photovoltaïque Raccordée au Réseau Installé
Dans le Sud de l'Algérie**

Présenté par :

✓ SALEMI Abderrahmane

✓ GHOULAM Boudjamaa

Membres de jury :

Encadreur : Mr. CHABACHI Salem

Co-Encadreur : Dr. NECAIBIA Ammar

Examineur : Pr. MAKHLOUFI Salim

Examineur : Mr. MASMOUDI Mohamed

Université d'Adrar

(URERMS) Adrar

Université d'Adrar

Université d'Adrar

Année Universitaire : 2021/2022

ملخص

أدت انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والتحديات المالية المرتبطة بمصادر الطاقة التقليدية إلى زيادة الاهتمام العالمي باستهلاك الطاقة المتجددة ، خاصة في المناطق الريفية والنائية ، وتعتبر الطاقة الشمسية أحد مصادر الطاقة المتجددة الأكثر فائدة ، لأنها أقل تلوثًا وصيانتًا ، مصدر وفير و مجاني ، متاح في جميع البلدان. ومع ذلك ، هناك حاجة إلى عملية تحكم فعالة تعتمد على وحدات التحكم الطاقة القسوى لأنظمة الضخ الكهروضوئية لاستخراج الطاقة القسوى التي توفرها الوحدات الكهروضوئية.

نظام الضخ الكهروضوئي هو تطبيق يستخدم على نطاق واسع في المنطقة المعزولة لضمان توفير المياه من أجل تلبية احتياجات الري والشرب ، ويشمل هذا النظام ثلاثة أجزاء رئيسية ؛ وحدة الكهروضوئية ، محول مستمر مع تتبع النقطة القصوى- للطاقة ، محرك مستمر ومضخة الطرد المركزي. واقترحت هذه الرسالة تطبيق طريقتين طريقة التشويش و المراقبة و طريقة السلوك التصاعدي التي يمكن أن تخفف من العيوب الرئيسية المرتبطة عادة بالطرق التقليدية ، مثل دقتها في تتبع الطاقة القسوى. يتم عرض النتائج التجريبية لمحول مستمر و الذي يتم التحكم فيه بواسطة ميكروكونترولر منخفض التكلفة للتحقق من صحة التحليل والتحقق من أداء التحكم المقترح. تظهر نتائج المناهج المقترحة كفاءات أعلى ووقت تقارب أقصر- من الطرق التقليدية حتى في الظروف السريعة لتغير الإشعاع الشمسي.

الكلمات المفتاحية - تخزين الطاقة الشمسية - لوحة ضوئية - تتبع النقطة القسوى لطاقة - محول مستمر - نظام ضخ

شمسي.

Résumé

Les améliorations techniques et la mise à l'échelle ont conduit à une réduction significative des coûts des modules solaires photovoltaïques (PV), ce qui a conduit à la croissance de l'industrie PV à l'échelle mondiale. Dans de nombreuses régions du monde, il y a eu des politiques d'énergie solaire favorables qui permettent une réponse positive du public et soutiennent la croissance de l'énergie solaire. Ce mémoire consiste en une étude orientée vers l'analyse techno-économique d'une nouvelle technologie pour les systèmes solaires photovoltaïques connectés au réseau pour augmenter le niveau de pénétration du photovoltaïque ainsi que réduire les émissions de gaz à effet de serre en Algérie. Dans cette étude, l'examen de faisabilité techno-économique de la production d'électricité solaire photovoltaïque (PV) sera réalisé sur une centrale photovoltaïque commerciale connectée au réseau, installée dans la wilaya d'Adrar, en Algérie, en plus de se concentrer sur les impacts climatiques potentiels sur l'efficacité énergétique et la productivité énergétique, et le retour d'investissement, en particulier dans le sud. À cette effet, les caractéristiques techniques du générateur photovoltaïque, le montant de la production d'électricité, le coût de production d'électricité, les durées d'amortissement des investissements et les coûts d'exploitation et le montant de la réduction des émissions de CO₂ de la centrale solaire photovoltaïque ont été déterminés.

Mots clés : System PV connecté au réseau, centrale solaire photovoltaïque, étude techno-économique, impacts climatiques.

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude (Master) au sein de la faculté des sciences et technologie département de sciences technologie à l'Université Ahmed Draia - Adrar.

Avant tout, nous remercions notre DIEU le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé. Nous voudrions exprimer nos profondes gratitudes à notre encadreur Mr.CHABACHI Salem pour ses encouragements, son suivi continué ainsi que sa rigueur et ses précieux conseils. Sans sa perspicacité et son appui, elle aurait été impossible de mener à bien ce travail. Ses connaissances et son expérience resteront pour nous une source constante de savoir. Nous avons une dette de reconnaissance envers elle. Nous voudrions aussi à remercier Dr.NECAIBIA Ammar pour avoir accepté d'être Co rapporteur de cette mémoire ainsi que pour ces nombreux conseils.

Nos remerciements vont aussi à Messieurs les membres de la jurée Pr. MAKLOUFI Salim et Mr MASMOUDI Mohamed de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'être les examinateurs de ce mémoire. Nos remerciements au département de Science et Technologie de l'université d'Adrar et à tous les enseignants qui nous enseignés durant les années du cursus.

Nous voudrions aussi exprimer notre profonde gratitude à nos familles, pour leur énorme soutien moral et leurs encouragements prodigués pendant toutes ces années. Nombreux sont celles et ceux qui nous ont apporté aide et encouragements au cours de la préparation de ce mémoire. Qu'ils en soient tous chaleureusement remercié

Table des matières

	Page
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xi
Liste des symboles	xii
<hr/>	
1 L'état de l'art Sur les Énergies Renouvelables	4
1.1 Introduction	5
1.2 Contexte énergétique	5
1.3 Les différents types des ressources énergétiques renouvelables . .	7
1.3.1 L'énergie hydrolique	7
1.3.2 Biomasse	7
1.3.3 La géothermie	8
1.3.4 L'énergie éolienne	8
1.3.5 L'énergie solaire	8
1.3.5.a L'énergie solaire thermique	8
1.3.5.b L'énergie solaire thermodynamique	8
1.4 L'énergie Renouvelables en Algérie	9
1.5 L'énergie Renouvelables dans la région d'Adrar	12
1.6 Les avantages et les Inconvénients de les énergies Renouvelables	12

1.6.1	Conclusion	13
2	Analyse de performances de la centrale PV Zaouiet Kounta	14
2.1	Introduction	15
2.2	Situation géographique de la centrale PV Zaouiet Kounta	15
2.3	Présentation de la centrale PV Zaouiet Kounta	16
2.3.1	Boites de raccordements parallèles	17
2.3.2	Convertisseur(onduleur)	19
2.3.3	Transformateur	20
2.3.4	Poste d'évacuation MT	20
2.3.5	Salle de contrôle	21
2.3.6	Dispositif de mesures environnementales	22
2.3.7	Fonctionnement de la centrale PV Zaouiet Kounta	23
2.4	Méthodologies	23
2.5	Performances normalisées	23
2.5.1	Rendement de référence : Y_r	24
2.5.2	Rendement du champ PV : Y_a	25
2.5.3	Rendement final du système PV : Y_f	25
2.5.4	Rapport de performance : PR	25
2.5.5	Les pertes du système par conversion : LS	26
2.5.6	Les pertes diverses : LC	26
2.5.7	Rendement du champ PV :	26
2.5.8	Rendement du système PV	27
2.5.9	Rendement de l'onduleur photovoltaïque	27
2.5.10	Facteur de charge : FC	27
2.6	Analyse de l'évolution des performances de centrale PV Zaouiet Kounta	27
2.6.1	Paramètres météorologiques journaliers moyens mensuels	28
2.6.2	l'énergie mensuelle générée pendant une année injectée dans le réseau	28
2.6.3	Paramètres des mesures de performance et facteurs de pertes	30

2.6.3.a	Les rendements : de référence (Y_r), du champ PV (Y_a) et final du système PV (Y_f)	30
2.6.4	Paramètres de mesure de performance et et facteurs d'efficacité, PR et CF	31
2.6.4.a	Les efficacités du champ (η_{PV}), du onduleur (η_{INV}) et de système (η_{SYS})	31
2.7	Conclusion	32
3	Simulation et étude techno-économique d'un PV raccordé au réseau	34
3.1	Introduction	35
3.2	Présentation de logiciel de simulation PVsys	35
3.2.1	Gestion d'un projet donne (système raccordé au réseau) .	36
3.2.2	Données géographiques	36
3.2.3	Données climatiques de site Zaouiet Kounta	37
3.2.4	Trajectoire du soleil	38
3.2.5	Orientation des modules PV	38
3.2.6	Conception / dimensionnement du système	40
3.2.6.a	Dimensionnement de système : outil visuel . . .	40
3.2.6.b	Caractéristique du module PV	42
3.2.6.c	Caractéristique de l'onduleur	42
3.2.7	Schéma de l'installation PV	42
3.3	Présentation de la méthode utilisée	44
3.3.1	Paramètres économiques principaux utilisés	44
3.3.1.a	Taux d'actualisation (Discount Rate, DR) . . .	44
3.3.1.b	Taux inflation	45
3.3.1.c	Flux de trésorerie (Cash-Flow)	45
3.3.1.d	Facteur de Recouvrement du Capital (Capital Recovery Factor, CRF)	45
3.3.2	Indicateurs d'évaluation économiques des centrales solaires	46
3.3.2.a	Le Cout Normalisé de production de l'Électricité (LEC)	46

3.3.2.b	Analyse de la rentabilité	46
3.3.2.c	Indicateur environnemental	48
3.4	Analyse économique de la centrale PV raccordé au réseau	49
3.5	Écologiquement	51
3.6	Conclusion	52
Bibliographie		56

Liste des figures

1.1	Mix d'électricité d'origine renouvelable dans le monde et contribution des diverses technologies (2020).	5
1.2	Evolution par technologie des capacités installées d'électricité renouvelable	6
1.3	Différentes énergies renouvelables	7
1.4	Gisements solaires en Algérie	9
1.5	Capacité et Situation géographique des centrales EnR relevant de SKTM en Algérie	10
1.6	Capacité des centrales photovoltaïques en Algérie	11
1.7	Potentiel énergétique dans la wilaya d'Adrar Algérie	12
2.1	Situation géographique de la centrale	16
2.2	Panneaux solaires photovoltaïques de la centrale	17
2.3	Boîtier de jonction	18
2.4	Onduleur SG500MX	19
2.5	Transformateur	20
2.6	Poste d'évacuation MT	21
2.7	Salle de Contrôle	21
2.8	Salle de Contrôle	22
2.9	Schéma principale de la centrale PV de zaouiet kounta	23
2.10	Chaîne de conversion de l'énergie	24

2.11	Données météorologiques moyennes mensuelles, température ambiante du module de température et vent	29
2.12	Rendement mensuel moyen de référence, rendement du champ et rendement final	31
2.13	Rendement mensuel moyen de référence, rendement du champ et rendement final	32
3.1	Menu principal de logiciel PVsyst	35
3.2	Cite de Zaouiet Kounta	36
3.3	Cite de Zaouiet Kounta	37
3.4	Coordonnée géographique de Zaouiet Kounta	37
3.5	caractéristiques climatiques de site Zaouiet Kounta	38
3.6	Trajectoire du soleil à Zaouiet Kounta	39
3.7	Orientation et inclinaison du système PV	39
3.8	Configuration du système dans PVSYST.	40
3.9	Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYST.	41
3.10	Caractéristique du module PV	42
3.11	Caractéristique de l'onduleur	43
3.12	Schéma simplifié d'une installation PV raccordée au réseau.	43
3.13	Investissement et charge	50
3.14	Flux trésorerie annuel (kUSD)	51
3.15	Flux trésorerie cumulé (kUSD)	51
3.16	Emissions de CO2 évitées.	52

Liste des tableaux

1.1	Potentiel solaire en Algérie	9
1.2	Les puissances à installer par filière sur la période 2014/2030 : . .	10
1.3	Le programme de développement des énergies renouvelables. . .	11
2.1	Caractéristiques électriques des panneaux	17
2.2	Fiche technique de la boîte de raccordements	18
2.3	Caractéristiques électriques d'onduleur SG500MX	19
2.4	Caractéristiques technique de Station métrologie	22
2.5	Paramètres météorologiques journaliers moyens mensuels (2018)	28
2.6	Énergie mensuelle produite pendant une années	29
2.7	Paramètres des mesures de performance et facteurs de pertes pendant uné année 2018.	30
2.8	Paramètres des mesures de performance et facteurs d'efficacité PR CF.	32

Liste des abréviations

ACF	Flux de trésorerie annuel
AC	Courant Alternatif
DC	Courant continu
CRF	(Capital Recovery Factor) Facteur de Recouvrement du Capital
ER	énergie renouvelable
FC	Facteur de capacité
GES	Gaz à Effet de Serre
IRR	Taux de rentabilité interne.
NPV	Valeur Actualisée Nette (Net Present Value)
LEC	Coût Normalisé de production de l'Électricité
POT	Temps de retour sur investissement
PV	Photovoltaïque
PR	Ratio de performance
SKTM	ShariketKahraba wa Taket Moutadjadida
TC	coût total)
USD	dollar des États-Unis
VAN	Le nombre d'années nécessaires avant de pouvoir espérer en tirer des bénéfices

Liste des symboles

HR	Humidité relative.
HT	Ensoleillement global dans le plan
HP_a	Pression
GT	GlobHor ; Rayonnement solaire global dans le plan
T_{cell}	Température de la cellule
T_m	Température du module
CGV	Rayonnement solaire STC
L_c	Capter les pertes
L_s	Pertes système
L_{cr}	Pertes de température des cellules
P_{nom}	Puissance nominale PV
η	Efficacité
η_{INV}	Efficacité PV dans des conditions de test standard
η_{PV}	Efficacité du module PV
η_{inv}	Efficacité de l'onduleur
η_{sys}	Efficacité du système
E_{AC}	Energie CA produite
E_{DC}	
Y_a	Rendement du générateur
Y_r	Rendement de référence
Y_f	Rendement de
$IPOA$	Quantité totale de rayonnement solaire

G_0	Uantité de rayonnement de référence
P_0	Puissance nominale
$E - Grid$	Energie injecte au réseau
$E - Erray$	Energie produise au sortir de champ PV
W_s	Vitesse du vent
T_{amb}	Température ambiante
$Glob - Inc$	l'irradiation horizontale globale sur le plan du capteur
$Glob - Eff$	l'irradiance globale efficace
MPP	Poin d'énergie max.
HS	Angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu.
AZ	Azimut (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est).
DR	Taux d'actualisation (Discount Rate).
$C_t(N)$	Flux de trésorerie survenant après N années après.
$C_a(N)$	flux de trésorerie survenant ramener à sa valeur actuelle.
$C_a(N)$	flux de trésorerie survenant ramener à sa valeur actuelle.

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 de l'être humain, il est la complication essentielle pour l'homme dans le monde actuel, ses sources, est la question que le futur va poser à l'homme. Cependant l'histoire réserve parfois des surprises. Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbures d'origine fossile (pétrole, gaz et charbon), la demande énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité ; leur exploitation arrange beaucoup l'environnement.[1]

Puisque l'Algérie de la grande surface 2381741 Km^2 , le dixième plus grand pays du monde, et le premier d'Afrique, arabe et de la Méditerranée et avec 44 million de population, cette énergie convient pratiquement pour notre pays qui a lancée beaucoup des projets dans ce domaine plus de 30 projets centrale PV dans les trois dernières années.

La wilaya d'Adrar c'est un grand pays de l'Algérie de population répartie sur (06) Daïra et quinze (15) communes qui répartition plus de l'existence de projets modernes de recherche d'agriculture et pétrolienne

parmi c'est projets on trouve six installations énergétiques (Adrar, Kaberten, Zauiet Kounta, Régan et Aoulef) et une éolienne (Kabertan) avec une capacité de 48 MWc installé par le gouvernement d'Algérie.

Cette installation qui entre dans le cadre du programme national des énergies

renouvelables englobant plusieurs wilayas dans le sud du pays, devra contribuer à l'amélioration de l'approvisionnement en énergie électrique de la région, notamment durant la période estivale où la demande est très élevée.

L'objectif principal de ce travail consiste en une étude orientée vers l'analyse techno-économique **d'une nouvelle technologie** pour les systèmes solaires photovoltaïques connectés au réseau pour augmenter le niveau de pénétration du photovoltaïque ainsi que réduire les émissions de gaz à effet de serre en Algérie. Dans cette étude, l'examen de faisabilité techno-économique de la production d'électricité solaire photovoltaïque (PV) sera réalisé **sure** une centrale photovoltaïque commercial connecté au réseau, installé dans la willaya d'Adrar.

Pour atteindre les objectifs susmentionnés et faciliter la présentation des résultats obtenus dans ce travail de recherche, le mémoire est organisée comme suit :

Le premier chapitre présente un état de l'art sur l'énergie photovoltaïque et leurs différents types et par suite nous présentons le potentiel solaire dans le monde et le contexte énergétique en Algérie et comme cas particulier la région d'Adrar.

le deuxième chapitre est consacré à l'analyse de performance de la centrale photovoltaïque de Zaouiet Kounta **wilaya d'Adrar** à savoir : sa situation géographique, condition climatique, les champs solaire, les boites de jonctions, les onduleurs, transformateur, Dispositif de mesures environnementales, la salle de contrôle le fonctionnement de cette centrale et l'analyse des paramètres de performances durant l'année 2018. Les paramètres de performance de cette analyse ont été spécifiés par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) et sont décrits dans les normes standardisées (Commission Electrotechnique Internationale) CEI 61724. Ces paramètres sont le rendement de référence (Y_r), le rendement du champ PV (Y_a), le rendement final du système PV (Y_f), le rapport de performance (PR), les pertes du système (LS) et les pertes diverses (LC).

Le troisième chapitre est consacré à l'étude par simulation de notre système : nous présentons le logiciel que nous avons utilisé PVSYST,7.2 ensuite, nous présentons les résultats obtenus de l'installation PV, pour statuer sur la rentabilité économique de l'installation solaire photovoltaïque.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives

Chapitre **1**

L'état de l'art Sur les Énergies

Renouvelables

1.1 Introduction

Le secteur des énergies renouvelables a enregistré une croissance remarquable ces dernières années et a connu un grand succès grâce aux progrès technologiques et à la prise de la conscience mondiale de l'abandon des sources fossiles, **que nous concentrons-nous** dans ce chapitre, **et pour cela** on va **donné une** aperçu sur les énergies renouvelable dans le monde, Algérie et finalement dans la région d'Adrar.

1.2 Contexte énergétique

Le dernier rapport d'IRENA sur les nouvelles capacités de génération d'électricité renouvelable installées en 2020 (figure1.1) ,indique que la production d'énergie renouvelable s'élevait à 2799 GW, l'hydroélectricité représentant toujours la plus grande part (1211 GW) (43%), bien que le solaire et l'éolien rattrapent rapidement leur retard (respectivement 714 GW (26%) et 733 GW (26%). Les deux sources d'énergies renouvelables ont en effet dominé l'expansion des capacités en 2020 avec **respectivement** 127 GW de biomasse et 14 GW de géothermie, plus 500 MW d'énergie **marin**. [1]. Le PV continue de croître rapidement. Mais qui est responsable de l'évolution du PV? Quelle est la situation actuelle? Quel est son avenir dans le monde, et l'Algérie? [2]

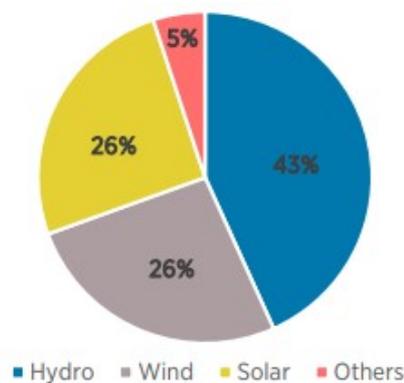


FIGURE 1.1 – Mix d'électricité d'origine renouvelable dans le monde et contribution des diverses technologies (2020).

La Figure 1.2 illustre la capacité de production d'énergie renouvelable dans le monde en 2020, selon les différentes sources. Le solaire photovoltaïque continue d'évoluer en tête avec 127 GW (22 %) supplémentaire suivi de l'éolien qui n'a progressé que 18 %, soit 111 GW de nouvelles capacités, l'hydroélectricité de 20 GW (2%), la biomasse de 2 GW (2%) et la Géothermie 164 MW.

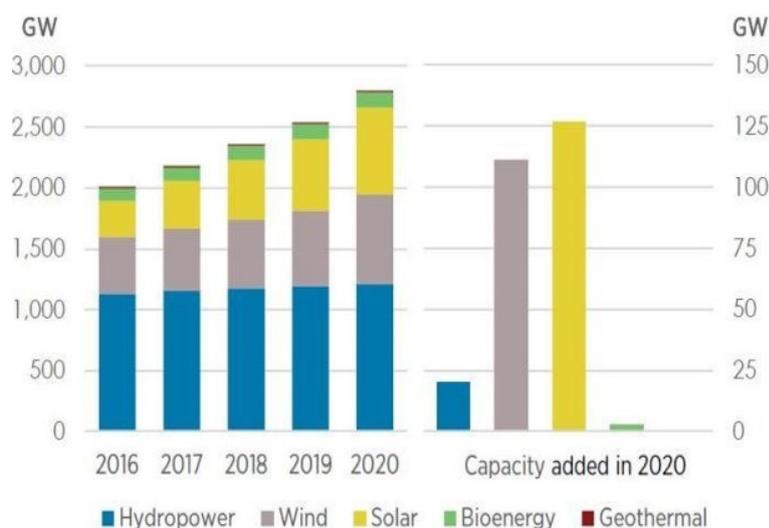


FIGURE 1.2 – Evolution par technologie des capacités installées d'électricité renouvelable

Ce sont la Chine et les États-Unis d'Amérique qui ont connu la croissance de marché la plus marquée et ce dès 2020. La Chine, qui est d'ores et déjà le plus vaste marché des énergies renouvelables au monde, s'est dotée l'an dernier de 136 GW de capacité supplémentaire, pour l'essentiel en énergies éolienne (72 GW) et solaire (49 GW). Les États-Unis d'Amérique se sont dotés quant à eux de 29 GW de capacité énergétique de sources renouvelables l'an dernier, soit une augmentation 80% plus rapide qu'en 2019, et répartie entre le solaire (15 GW) et l'éolien (env. 14 GW). L'Afrique a poursuivi sur la voie d'un développement régulier : de nouvelles capacités ont vu le jour sur le continent à hauteur de 2,6 GW, soit un peu plus qu'en 2019. L'Océanie est restée la région à la croissance la plus rapide (+ 18,4%), bien qu'elle ne représente qu'une petite fraction de la capacité mondiale et que presque toute cette expansion ait eu l'Australie pour théâtre[2].

1.3 Les différents types des ressources énergétiques renouvelables

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources différentes (figure 1.3).



FIGURE 1.3 – Différentes énergies renouvelables

1.3.1 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique permet de fabriquer de l'électricité, dans les centrales hydroélectriques, grâce à la force de l'eau. Cette force dépend soit de la hauteur de la chute d'eau (centrales de haute ou moyenne chute), soit du débit des fleuves et des rivières (centrales au fil de l'eau).

1.3.2 Biomasse

L'énergie issue de la biomasse est une source d'énergie renouvelable qui dépend du cycle de la matière vivante végétale et animale.

1.3.3 La géothermie

Désigne l'énergie **a** géothermique issue de l'énergie de la terre qui **convertir ou** chaleur.

1.3.4 L'énergie éolienne

Est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie provenant du vent au moyen d'un dispositif arégénérateur[3] .

1.3.5 L'énergie **solaire**

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique.

1.3.5.a L'énergie solaire thermique

Elle est radicalement différente de l'énergie solaire photovoltaïque, elle produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques qui relèvent d'une toute autre technologie. Dans le langage courant, ce sont des « chauffe eau solaires » ou des capteurs à air chaud [4].

1.3.5.b L'énergie solaire thermodynamique

Il y a aussi ce qu'on appelle l'énergie solaire thermodynamique, qui fonctionne sur le principe de concentration des rayons solaires au moyen des miroirs galbés, en un foyer placé sur une tour qui emmagasine les calories pour les restituer ensuite sous forme mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur par exemple.

1.4 L'énergie Renouvelables en Algérie

Selon la situation géographique l'Algérie dispose d'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 atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara)(figure1.4.table 1.1)[5].

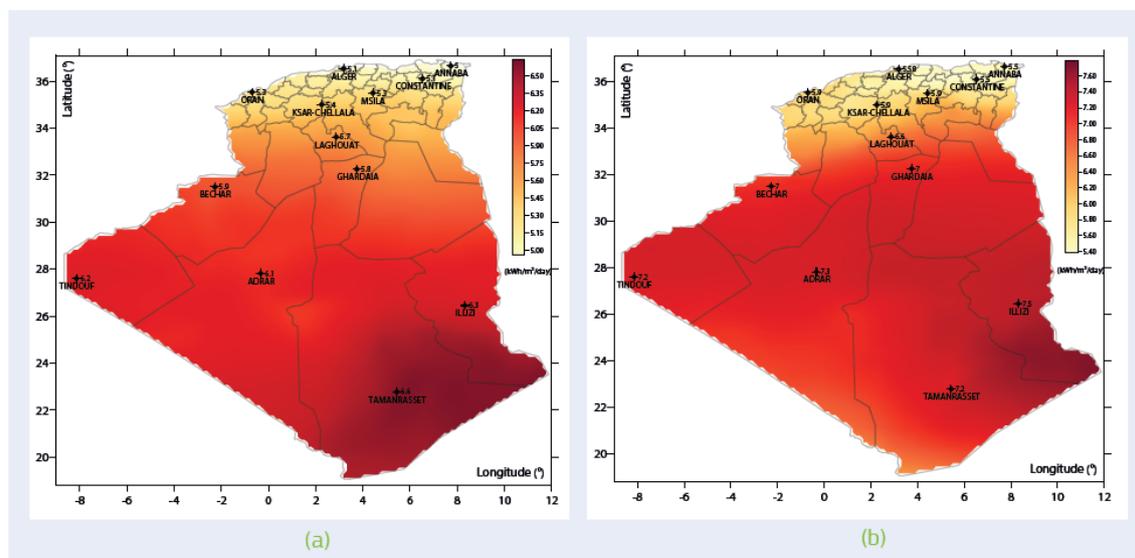


FIGURE 1.4 – Gisements solaires en **Algérie**

région	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
superficie	4		86
Durée moyenne d'ensoleillement	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue	700	9000	26500

TABLEAU 1.1 – Potentiel solaire en **Algérie**

Le programme national de développement des énergies renouvelables, adopté en 2011 puis révisé en 2015, ambitionne d'atteindre, à l'horizon 2030, une puissance totale de 22000 Mégawatt (MW) dédiés à la seule consommation locale. Il prévoit, pour cela, de mettre en œuvre un large éventail de filières technologiques où le photovoltaïque (PV) et l'éolien se taillent la part du lion avec respectivement 13575 MW et 5010 MW, le reste étant réparti entre le thermo-solaire (CSP), la biomasse, la cogénération et la géothermie (figure1.5.table 2.1).

filère	Capacités à installer
Photovoltaïque	13 575
Eolien	5 010
Solaire thermique	2 000
Biomasse	1 000
Cogénération	400
Géothermie	15
Total	22000

TABLEAU 1.2 – Les puissances à installer par filère sur la période 2014/2030 :

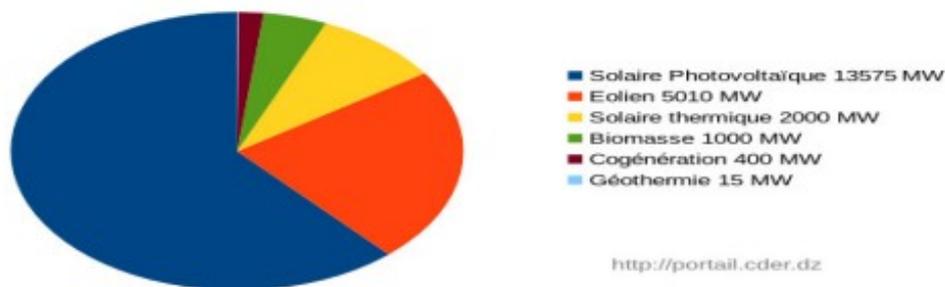


FIGURE 1.5 – Capacité et Situation géographique des centrales EnR relevant de SKTM en Algérie

La stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc d'ici 2020. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030 [7]. Actuellement on compte 23 centrales photovoltaïques sur le territoire national comme illustré sur le tableau 1.3[6]. Elles ont été installées par la société SKTM (Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadiada) depuis 2014. Ces centrales sont réparties en trois groupes selon la situation géographiques comme illustré sur la figure 1.6[7] :

Station	Région	Puissance installée em Mw
Eolienne kabertan	Adrar	10.2
Adrar	Adrar	20
Kabertan	Adrar	03
Zaouiet kounta	Adrar	06
Reggan	Adrar	05
Aoulef	Adrar	05
Timimoun	Timimoun	06
In salah	In salah	05
Tamenrasset	Tamenrasset	13
Djanet	Djanet	03
Tindouf	Tindouf	09
Oued Nechou	Ghardaïa	01.1
Sedret Leghzal	Naâma	20
Oued Elkebrit	Souk Ahras	15
Ain Skhouna	Saida	30
Ain Elbel	Djelfa 1 et 2	53
Lekhaneg	Laghouat 1 et 2	60
Telagh	Sidi belabbès	12
Lebidh Sid Chikh	El-bayadh	23
El-Hadjira	Touggret	30
Ain El-Malah	M'sila	20
Oued El-Ma	Batna	02
Total	23 Centrale	354.3

TABLEAU 1.3 – Le programme de développement des énergies renouvelables.



FIGURE 1.6 – Capacité des centrales photovoltaïques en Algérie

1.5 L'énergie Renouvelables dans la région d'Adrar

La wilaya d'Adrar, dans l'extrême Sud-ouest du pays, fait partie des régions du monde à l'avenir prometteur en matière d'énergies renouvelables, au regard de ses grandes potentialités naturelles. Couvrant un immense territoire, la wilaya d'Adrar recèle, outre les énergies fossiles, des ressources énergétiques renouvelables, notamment solaires (Adrar, Kaberten, Zaouiet Kourta, Régan et Aoulef) et éolienne (kabertan) (figure 1.7), faisant de la région un pôle mondial des énergies renouvelables,

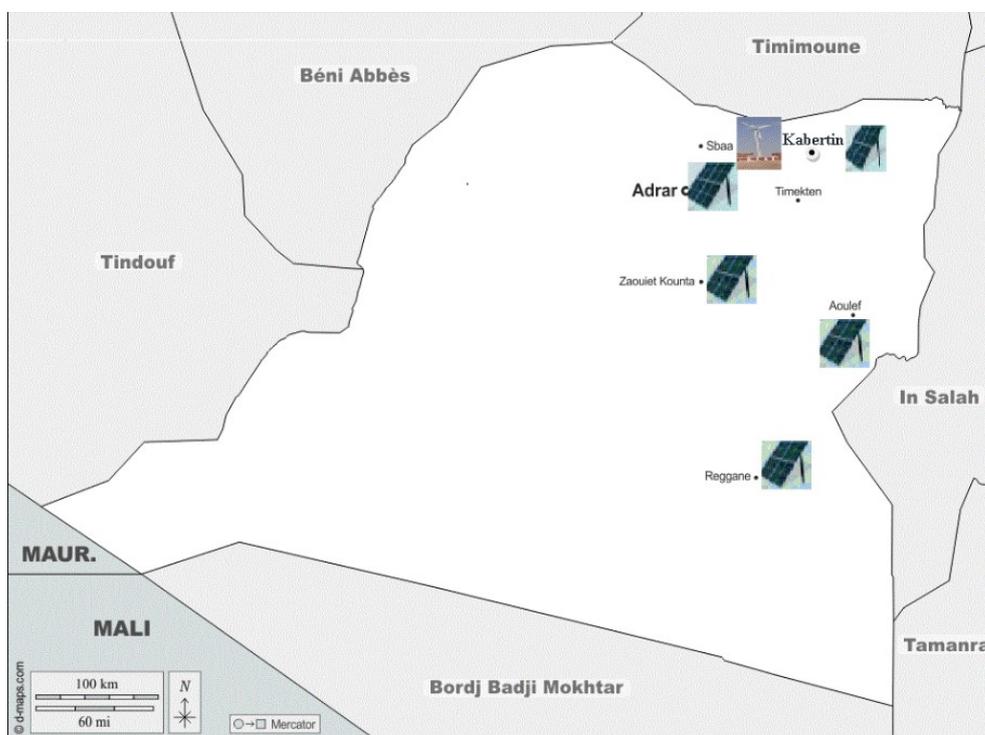


FIGURE 1.7 – Potentiel énergétique dans la wilaya d'Adrar

Algérie

1.6 Les avantages et les Inconvénients de les énergies Renouvelables

Les avantages des énergies renouvelables sont nombreux, car ces dernières sont en général propres sûres et surtout, elles existent en quantité illimitée.

Sûreté : En les utilisant en majorité, on retrouverait une stabilité climatique,

économique, environnementale et sociale surtout en développant de grandes centrales thermiques. La sûreté est l'un des avantages principaux car il existe de très faibles risques d'accident. Peu de déchets : Elles génèrent également peu de déchets **sont** parfois recyclable, ces énergies renouvelables permettent de réduire considérablement l'émission de CO₂.

1.6.1 Conclusion

A travers notre étude de ce chapitre, nous concluons que les énergies renouvelables ont une grande importance. Chaque type d' **(EnR)** à **ca** caractéristiques distinctives et un principe de fonctionnement qui diffère **e** de l'autre ; cela a poussé la plupart des pays développés à en dépendre pour produire de l'électricité et répondre à leurs besoins, Selon les capacités disponibles.

L'énergie solaire modifie le système énergétique mondial car c'est la source d'énergie à la croissance la plus rapide au monde ; **Il** a récemment assisté à une baisse des coûts de production d'une manière qui **le** qualifie pour concurrencer le pétrole et le gaz, à l'heure actuelle, avec le faible coût des énergies renouvelables nous pouvons convertir des maisons ordinaires en maisons avec de l'énergie propre.

Le chapitre suivant sera consacré pour l'analyse de performances de la centrale PV Zaouiet Kounta

Chapitre 2

Analyse de performances de la centrale
PV Zaouiet Kounta

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous faisons une présentation générale de la centrale photovoltaïque de Zaouiet Kounta **wilaya d'Adrar** à savoir : sa situation géographique, son développement, sa composition (les champs solaires, les boites de jonctions, les onduleurs, la salle de contrôle, l'armoire de communication des charges et le dispositif de mesures environnementales) et le fonctionnement de cette centrale. **En suite** nous avons fait l'analyse des performances du champ photovoltaïque Zaouiet Kounta d'une puissance de 6 MWc raccordée au réseau national durant l'année **2016**. Les paramètres de performance de cette analyse ont été spécifiés par l'Agence Internationale de l'Energie (IEA) et sont décrits dans les normes standardisées (Commission Electrotechnique Internationale) CEI 61724. Ces paramètres sont le rendement de référence (Y_r), le rendement du champ PV (Y_a), le rendement final du système PV (Y_f), le rapport de performance (PR), les pertes du système (LS) et les pertes diverses (LC).

2.2 Situation géographique de la centrale PV Zaouiet Kounta

La centrale photovoltaïque de PV Zaouiet Kounta 06 MWc illustrée sur la figure 2.1 est située dans la Wilaya d'Adrar à une distance 70 km de la capitale **de wilaya** et à 80 km au nord de la daïra de Reggan. Ce projet couvre une superficie de 12 ha pour un coût de réalisation estimée à 11 millions d'euro, La centrale photovoltaïque de Zaouiet Kounta a été installée en 2015 par production d'électricité Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM). Elle s'inscrit dans le cadre du programme national des énergies renouvelables, Cette centrale injecte sa puissance produite directement dans le réseau PIAT (Pôle de In saleh, Adrar et Timimoun) 30KV.



FIGURE 2.1 – Situation géographique de la centrale

2.3 Présentation de la centrale PV Zaouiet Kounta

Le parc solaires de la centrale PV Zaouiet Kounta occupe une superficie de 12 ha avec 24552 panneaux photovoltaïques (YL245P-29b-silicium polycristallin) installés (figure 2.2). Tous les sous-champs sont identiques (chacun avec une puissance crête de 1MWc), chaque sous-champ est composé de deux onduleurs, deux boîtes générales et un transformateur, Chaque onduleur est alimenté par une boîte générale avec un sortie positif et autre négatif, Chaque boîte générale ressemble un total de 04 boites parallèles avec des fusibles de protection, Chaque boîte parallèle ressemble un total de 03 boites jonctions avec des fusibles de protection, Chaque boîte jonction ressemble un total de 08 string, avec des fusibles de protection et une carte de communication transférée tous les donne des strings (courant, tension, défaut de terre, température, l'état de fusible et parafoudre qui permet de supervision très précise pour l'intervention rapide et efficace), et ressemble deux strings en parallèle, chaque string se compose a 22 panneaux en séries, chaque panneaux de 245wc, avec les caractéristiques électriques regroupées dans la tableau 2.2, Donc chaque onduleur rassemble 4092 panneaux, Ces panneaux photovoltaïques sont dirigés vers le sud et ils sont inclinés d'un angle de 26°.



FIGURE 2.2 – Panneaux solaires photovoltaïques de la centrale

Marque	YINGLI SOLAR
Type de module	YL245P-29b
Classe d'application	A
Puissance mesurée (W)	245
Tension mesurée (V)	29,6
Courant mesuré (A)	8,28
Fusible série Max (A)	15
Tension à circuit ouvert (V)	37,5
Courant de court-circuit (A)	8,83
Tension système max (V)	1000

TABLEAU 2.1 – Caractéristiques électriques des panneaux

2.3.1 Boîtes de raccordements parallèles

Les boîtes de raccordement (figure 2.3) sont disposées dans les sous-champs. Leur fonction est de rassembler l'électricité des câbles DC des panneaux et raccorder avec les onduleurs.

- Le niveau de protection est IP65 soit : contre l'eau, la poussière, la rouille, le soleil, et contre le sel du brouillard.
- Raccordement avec plusieurs circuits de panneaux en série, et capables de supporter la tension de circuit ouvert ;
- Les câbles DC d'export sont équipés des parafoudres entre le positif à la terre, le négatif à la terre et le positif au négatif.
- Il y a un système de surveillance à l'import et l'export du courant, de la tension et de la température.

Les caractéristiques techniques des boîtes centrales sont notées dans le tableau

2.2

Marque	PVS-8M	PVS-16M
Tension max de Sous-champs	1000	1000
Entrées max raccordé en parallèle	8	16
Courant nominal de fusible	15/10A	15/10A
section de borne sortie	50mm ²	70mm ²
Niv de protection	IP65	IP65
Température ambiante	—25~60°C	—25~60°C
Humidité ambiante	0~95 %	0~95 %
Dimension (L*P*H) mm	670*570*170	720*590*170
Poids	25kg	31kg

TABLEAU 2.2 – Fiche technique de la boîte de raccordements

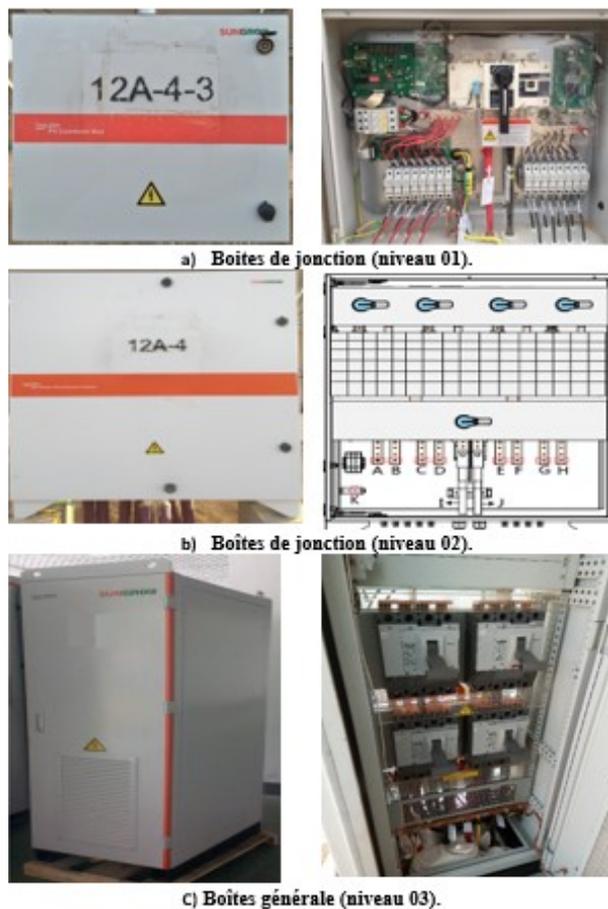


FIGURE 2.3 – Boîtier de jonction

2.3.2 Convertisseur(onduleur)

Dans la centrale PV de Zaouiet Kounta il existe un nombre de 12 onduleurs (figure 2.4) de type SG500MX Central dont les spécifications sont regroupées dans le Tableau 2.3. Ces onduleur assurent la conversion du courant continu délivré par les panneaux solaires photovoltaïques en courant alternatif.



FIGURE 2.4 – Onduleur **SG500MX**

	Entrée
Puissance max	560kW
Tension max	1000V
Courant max	1220A
Tension de démarrage	500V
Tension MPP	480~850V
Nombre des bornes	8/16
	sortie
Puissance max	500kW
Puissance apparente max	550kVA
Courant max	1008A
Tension du réseau nominal	315V (252~362V réglable)
Fréquence de réseau nominal	50/60Hz (47~5, 57~62Hz)
Limite de facteur de puissance	-0.9~-1, 0.9~1
Ratio de distorsion de wiggle de courant général THD	<3%@nominal
Composante continue	«0.5% courant sortie nominal

TABLEAU 2.3 – Caractéristiques électriques d'onduleur SG500MX

2.3.3 Transformateur

Chaque **shilte** comporte un transformateur de type SGB éleveur comme indiqué sur la figure 2.5. Ce dernier permet de transformer un système de tension et de courant alternatif en un autre système de tension et courant de valeurs généralement différentes, dans le but de transmettre la puissance électrique.

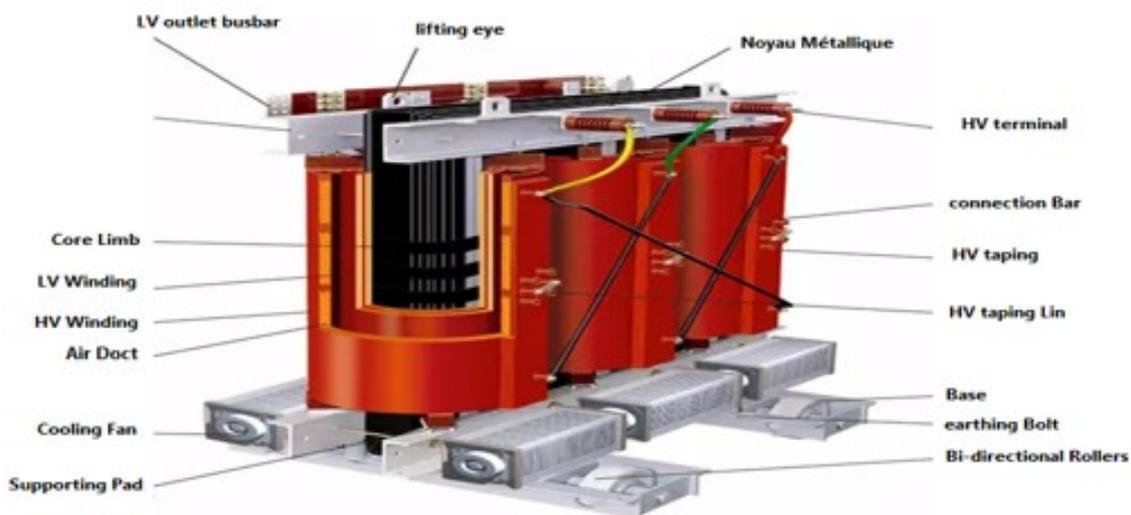


FIGURE 2.5 – Transformateur

2.3.4 Poste d'évacuation MT

C'est la sortie **de un** départs 30 KV destinés à l'injection au réseau de distribution (figure 2.6), aussi les arrivées secours d'alimentation de la centrale, Ils sont des cellules 30 kv en SF6 caractérisé par :

- Jeu de barre fermé
- Système de commande BT
- Câblage étanche

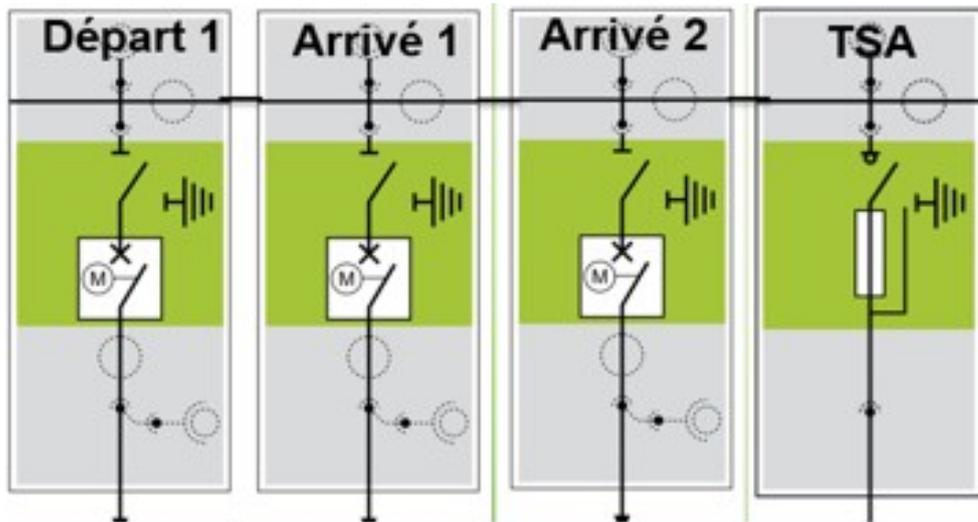


FIGURE 2.6 – Poste d'évacuation MT

2.3.5 Salle de contrôle

Les équipements de la centrale solaire PV (hormis l'armoire de commutation des charges et les panneaux d'affichages) sont connectés aux salles de contrôle (Figure 2.7) qui est isolée de la chaleur extérieure. De ce fait, elle est équipée de quatre climatiseurs fonctionnant en alternance permettant de garder une température convenable dans la salle de contrôle.

La salle de contrôle contient cinq ordinateurs, quatre pour l'acquisition des données de la centrale et le contrôle des systèmes (onduleurs, les connecteurs, les panneaux...ect) et le cinquième connecté par internet pour commandé la station à distance.



FIGURE 2.7 – Salle de Contrôle

2.3.6 Dispositif de mesures environnementales

La centrale de Zaouiet Kounta est équipée avec de station de mesures environnementales, comportant des instruments de mesures des rayonnements solaires (pyranomètre de type SPN1), (pyranomètre de type CMP6), un capteur de mesure d'humidité (Hygromètre) et d'un anémomètre pour la mesure de la vitesse du vent. Ces instruments illustrés sur la figure 2.8 permettent d'enregistrer les conditions climatiques dans la zone de l'installation des modules PV.

Les données collectées sont enregistrées dans un des ordinateurs d'acquisition des données de la centrale installé dans la salle de contrôle



FIGURE 2.8 – Salle de Contrôle

Paramètre		Température	
Temps de réponse	95% 18 seconds	Plage de mesure	-4~+80°C
Glissement de RT	200W / m ² ± 15W / m ²	Résolution	0.1 °C
Glissement de température	5K / hr ± 4W / m ²	Précision	± 0.2
Erreur linéaire	1000W / m ² ± 1%	Glissement	<0.04 °C/ yr
Sensibilité à la température	± 4% -10~+40°C	Humidité	
Sensibilité Irrad	-5~16µV / W / m ²	Signal de Sortie	0~15mV
Rayonnement maximal	2000W / m ²	0~100% RH	100% RH
Erreur accumulée	± 5	Résolution	0.1Hpa
Vitesse du vent (Ultrasons)		Pression atmosphérique	
Plage de mesure	0~60 m / s	Plage de mesure	10~1100 hPa
Précision	± 3 % (at 10m / s)	Précision	± 0.5hPa 25°C
Résolution	d0.1 m / s	Résolution	0.1Hpa

TABLEAU 2.4 – Caractéristiques technique de Station métrologie

2.3.7 Fonctionnement de la centrale PV Zaouiet Kounta

Dès le lever du soleil, la centrale PV zaouiet knouta convertir le rayonnement solaire **a** un courant continu à travers une certaine quantité de panneaux en silicium raccordés en série, et la mise en place de boîtes de raccordements en parallèle pour atteindre le niveau de courant nominal au niveau de l'onduleur, relié avec le transformateur d'élévation de tension, par lequel le courant continu est transformé en courant alternatif qui sera raccordé au réseau public, l'énergie produite est injecté au réseau de distribution.

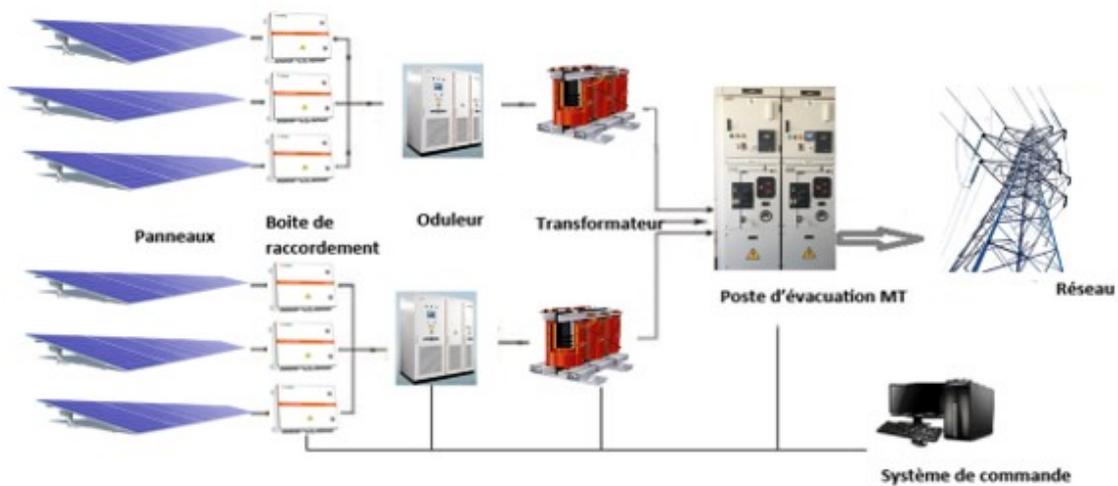


FIGURE 2.9 – Schéma principale de la centrale PV de zaouiet kounta

2.4 Méthodologies

La figure 2.10 illustré la chaine de conversion du flux d'énergie dans un système photovoltaïque **raccordé au réseau**

2.5 Performances normalisées

Afin d'analyser les performances d'un système solaire PV, des paramètres de performance ont été spécifiés par l'Agence Internationale de l'énergie (IEA)

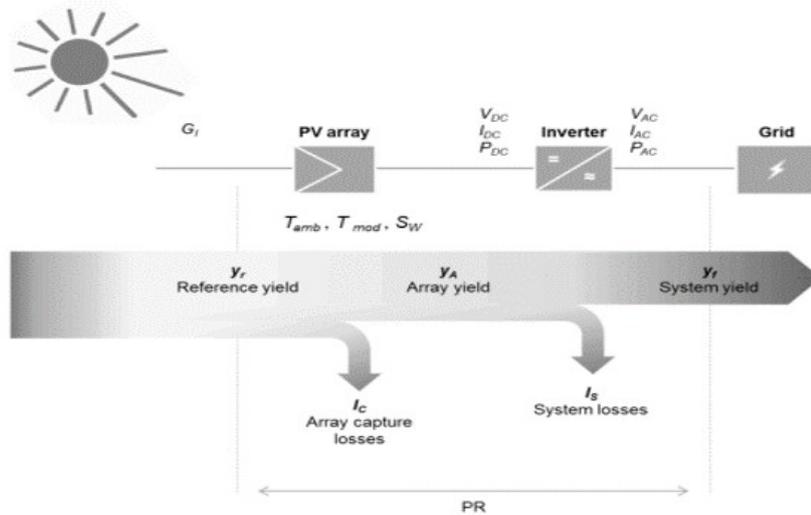


FIGURE 2.10 – Chaîne de conversion de l'énergie

et sont décrits dans les normes standardisées (Commission Électrotechnique Internationale) (CEI) 61724. Ces paramètres sont le rendement de référence (Y_r), le rendement du champ PV (Y_a), le rendement final du système PV (Y_f), le rapport de performance (PR), les pertes du système (LS) et les pertes diverses (LC). Ces paramètres sont utilisés pour définir les performances du système dans son ensemble par rapport à la production d'énergie, les ressources solaires et l'effet global des pertes du système photovoltaïque. L'ensemble des mesures de rendement examinées dans cette étude est résumé dans la suite.

2.5.1 Rendement de référence : Y_r

Le rendement de référence est le rapport entre la quantité totale de rayonnement solaire IPOA (kWh/m²) arrivant à la surface des panneaux solaires PV et la quantité de rayonnement de référence G_0 (1kW/m²). Ce paramètre représente le nombre d'heures durant lesquelles l'éclairement est égal à celui de référence, Y_r définit la ressource solaire pour le système PV[8]

$$Y_r = \frac{I_{POA}}{P_0} \quad (2.1)$$

2.5.2 Rendement du champ PV : Y_A

Le rendement du champ PV est défini comme le rapport entre l'énergie totale générée EDC (kWh) par les rangées PV pour une période définie (jour, mois ou année) et la puissance nominale P_0 (kWc) des rangées sous les conditions standard (STC : irradiation : 1000 W/m², 25°C température ambiante et spectre de référence AM 1.5-G)[8][9].

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_0} \quad (2.2)$$

2.5.3 Rendement final du système PV : Y_f

Le rendement final correspond à l'énergie totale produite par le système PV, EAC (kWh) par rapport à la puissance nominale installée P_0 (kWc). Cette quantité représente le nombre d'heures pendant lesquelles le champ PV devrait fonctionner à sa puissance nominale [10].

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_0} \quad (2.3)$$

2.5.4 Rapport de performance : PR

Le rapport de performance PR indique l'effet global des pertes sur la production énergétique des rangées d'un système PV. Les valeurs de PR indiquent à quel point un système PV approche les performances idéales dans des conditions réelles d'exploitation. PR est défini par le ratio entre le rendement final et le rendement de référence, c'est une quantité adimensionnelle [11].

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (2.4)$$

2.5.5 Les pertes du système par conversion : LS

Les pertes du système LS sont dues aux pertes par conversion des onduleurs (courant continu courant alternatif) et elles sont définies par la différence entre le rendement du champ PV (Y_a) et le rendement final Y_f [12][13].

$$L_S = Y_a - Y_f \quad (2.5)$$

2.5.6 Les pertes diverses : LC

Les pertes diverses LC sont définies par la différence entre le rendement de référence et le rendement du champ PV. Elles représentent les pertes dues aux : températures des panneaux, câblages, ombrage partiel, pertes spectrales, la salissure, erreurs dans la recherche du point de puissance maximale, de conversions (DC-AC), etc.[14][15]

$$L_C = Y_r - Y_a \quad (2.6)$$

Le rendement de l'installation peut être évalué en fonction des rendements distincts du champ PV, du système et de l'onduleur.

2.5.7 Rendement du champ PV :

Le rendement du champ photovoltaïque est le rapport de l'énergie totale générée par les rangées PV (EDC) au produit de la quantité d'irradiation sur le plan des panneaux et de la surface globale du champ photovoltaïque [16][17].

$$\eta_{PV} = \frac{E_{DC}}{I_{POA} \times A_a} \times 100\% \quad (2.7)$$

2.5.8 Rendement du système PV

Le rendement du système PV est le rapport de l'énergie totale générée par le système PV (E_{AC}) au produit de la quantité d'irradiation sur le plan des panneaux et de la surface globale du champ photovoltaïque [9][18].

$$\eta_{SYS} = \frac{E_{AC}}{I_{POA} \times A_a} \times 100\% \quad (2.8)$$

2.5.9 Rendement de l'onduleur photovoltaïque

⚡ L'efficacité de l'onduleur est le rapport de l'énergie totale générée par le système PV à l'énergie totale générée par les rangées photovoltaïques[19][20].

$$\eta_{inv} = \frac{E_{AC}}{E_{DC}} \times 100\% \quad (2.9)$$

2.5.10 Facteur de charge : FC

Le facteur de charge (FC) est défini comme le rapport de la production annuelle d'énergie réelle à la quantité d'énergie générée par la centrale solaire photovoltaïque si elle fonctionnait à puissance nominale maximale (P_0) pendant 24 h par jour pendant une année [20].

$$FC = \frac{E_{AC}}{P_0 \times 24 \times 365} = \frac{Y_f}{8760} = \frac{Y_r \times PR}{8760} \quad (2.10)$$

2.6 Analyse de l'évolution des performances de centrale PV Zaouiet Kounta

. Notre analyse de performance porte sur l'année 2018 de la centrale de Zaouiet Kounta wilaya d'Adrar d'une capacité de 6 MWc raccordée au réseau, .

2.6.1 Paramètres météorologiques journaliers moyens mensuels

Afin de comprendre le comportement de l'installation solaire photovoltaïque dans un milieu désertique, nous avons illustré dans le tableau 4 diverses données météorologiques mensuelles pendant les heures d'ensoleillement pendant **un** année. Les paramètres météorologiques moyens mensuels sont donnés (radiation solaire (GT), Température Ambiante (Tamb), température du module PV (Tm), vitesse de Vent (Ws) et Humidité relative (**RH**)).

Mois	Année	Gt KWh/m ²	Tamb °C	Ws m/s	RH %	Tm °C
Jan	2018	92.89	16.76	3.81	29.39	32.87
Fév	2018	113.67	19.48	4.71	26.78	37.75
Mar	2018	154.45	29.27	4.31	20.25	38.98
Avr	2018	166.65	33.76	4.93	9.23	39.43
Mai	2018	174.76	34.87	4.86	10.02	44.98
Jun	2018	201.43	37.43	4.23	9.36	50.99
JUL	2018	209.27	42.81	3.19	11.99	49.97
Août	2018	191.32	38.68	3.34	16.52	47.09
SEP	2018	177.43	35.29	4.01	21.05	43.75
OCT	2018	145.76	28.06	4.52	26.92	40.16
NOV	2018	114.60	22.10	4.24	32.98	38.13
DEC	2018	103.90	15.71	5.03	36.39	34.71
Moyenne	-	153,84	29,52	4,21	20,91	38,68

TABLEAU 2.5 – Paramètres météorologiques journaliers moyens mensuels (2018)

2.6.2 l'énergie mensuelle générée pendant une année injectée dans le réseau

. Le tableau 2.6 représentent l'énergie mensuelle générée pendant l'année 2018 injectée dans le réseau. L'énergie journalière générée par le champ photovoltaïque (EDC) présente une valeur maximale de 9,3724 MWh enregistrée durant le mois de septembre et présente également une valeur minimale de 6,69 MWh notée durant le mois de Janvier. La moyenne mensuelle de l'énergie générée est de 10.032MWh

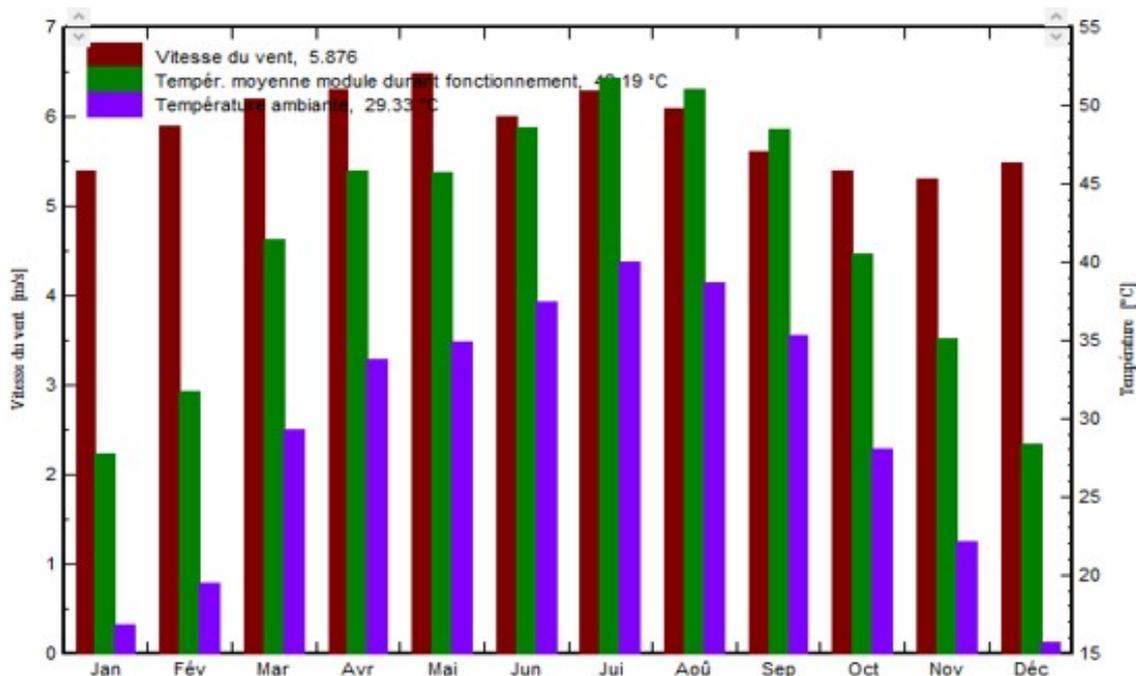


FIGURE 2.11 – Données météorologiques moyennes mensuelles, température ambiante **du module de température** et vent

Production d'énergie	
Mois	2018 KWh
JAN	669222
FEV	743202
MAR	863982
AVR	828980
MAI	803967
JUN	893445
JUL	930124
AOUT	906025
SEP	937246
OCT	872690
NEV	796357
DEC	787104
Total	10032344

TABLEAU 2.6 – Énergie mensuelle produite pendant une années

2.6.3 Paramètres des mesures de performance et facteurs de pertes

Le tableau 2.7 résume les paramètres de performance et les facteurs de pertes pour la région considérée pendant l'année 2018.

Moi	Année 2018							PR
	YR (h/d)	Lc (h/d)	Ya (h/d)	Ls (h/d)	Yf (h/d)	(h/d)		
JAN	4.04	0.289	3.75	0.160	3.59	0.072	0.040	0.889
FEV	5.04	0.437	4.60	0.187	4.41	0.087	0.037	0.876
MAR	5.56	0.727	4.84	0.202	4.63	0.131	0.036	0.833
AVR	5.66	0.857	4.80	0.205	4.59	0.151	0.036	0.812
MAI	5.34	0.828	4.51	0.199	4.31	0.155	0.037	0.808
JUN	6.21	1.036	5.17	0.219	4.95	0.167	0.035	0.798
JUL	6.32	1.120	5.20	0.216	4.99	0.177	0.034	0.789
AOT	6.11	1.036	5.07	0.212	4.86	0.170	0.035	0.796
SEP	6.42	1.007	5.41	0.220	5.19	0.157	0.034	0.809
OCT	5.55	0.678	4.87	0.195	4.68	0.122	0.035	0.843
NOV	5.09	0.497	4.60	0.184	4.41	0.098	0.036	0.866
DEC	4.73	0.329	4.40	0.178	4.22	0.070	0.038	0.893
MOY	5.51	0.738	4.77	0.198	4.57	0.134	0.036	0.830

TABLEAU 2.7 – Paramètres des mesures de performance et facteurs de pertes pendant uné année 2018.

2.6.3.a Les rendements : de référence (Yr), du champ PV (Ya) et final du système PV (Yf)

La figure 2.12 illustre l'évolution des rendements mensuels; rendement de référence (Yr), rendement du champ photovoltaïque (Ya) et le rendement final du système photovoltaïque (Yf) pendant l'année 2018. On remarque que le rendement mensuel de référence (Yr) varie entre une valeur minimale de 4,04 h/d noté du mois Janvier et une valeur maximale de 6,42h/d enregistré du mois Septembre. Le rendement mensuel du champ photovoltaïque (Ya) présente une valeur maximale de 5,51 h/d enregistrée du mois Mai et une valeur minimale de 3.75 h/d noté du mois Janvier et le rendement du final (Yf) mensuel varie entre 3.59 h/d noté du mois Janvier 5.19 h/d enregistré du mois Septembre.

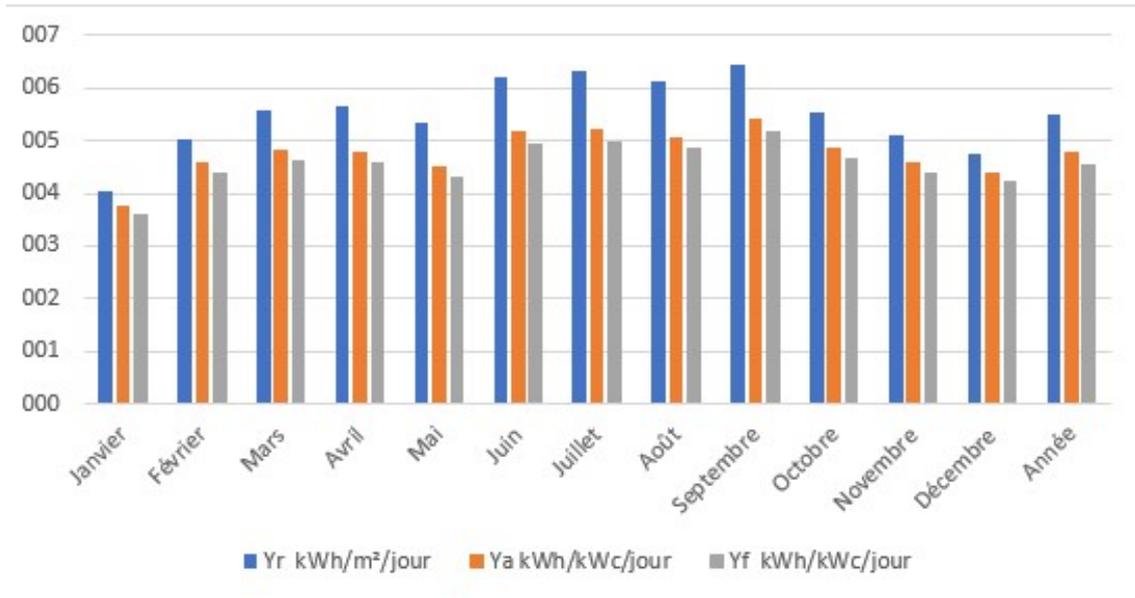


FIGURE 2.12 – Rendement mensuel moyen de référence, rendement du champ et rendement final

2.6.4 Paramètres de mesure de performance et et facteurs d’efficacité, PR et CF

Le tableau 2.8 résume les paramètres de performance et les facteurs d’efficacité PR et CF pour la région considérée pendant l’année 2018. on remarque que l’indice de performance PR présente des valeur maximale pendant le mois décembre 21,63% et des valeur minimale 14,96% durant le mois de Janvier

2.6.4.a Les efficacités du champ(η_{PV} , du onduleur (η_{INV}) et de système (η_{SYS})

L’évolution mensuelle des efficacités du module et du système de la centrale PV de Zaouiet Kounta est illustrée sur la figure 2.13. Les efficacités du champ (η_{PV} , du onduleur (η_{INV}) et de système (η_{SYS}), Ils présentent des valeurs maximales (20,93% 90,78% 19,00 respectivement) durant le mois de Décembre et des valeurs minimales (13,65% 11,13% respectivement) durant le mois de Juin pour les efficacités du champ (η_{PV} , onduleur et de système (η_{SYS}) et efficacité de onduleur (η_{INV}) au mois de Juillet (80,53%).

Mois	Année 2018				
	η_{PV} (%)	η_{INV} (%)	η_{SYS} (%)	PR (%)	CF (%)
Jan	19,98	90,44	18,07	88,90	14,96
Fév	18,43	89,01	16,40	87,60	18,38
Mar	16,53	84,87	14,03	83,30	19,29
Avr	15,05	82,90	12,48	81,20	19,13
Mai	13,97	82,63	11,54	80,80	17,96
Jun	13,65	81,52	11,13	79,80	20,63
Jul	13,85	80,53	11,15	78,90	20,79
Aôut	14,66	81,04	11,88	79,60	20,25
Sep	16,10	82,29	13,25	80,90	21,63
Oct	17,55	85,56	15,02	84,30	19,50
Nov	19,81	88,00	17,43	86,60	18,38
Déc	20,93	90,78	19,00	89,30	17,58
MOY	12.90	95.47	12.42	73.39	62.47

TABLEAU 2.8 – Paramètres des mesures de performance et facteurs d'efficacité PR CF.

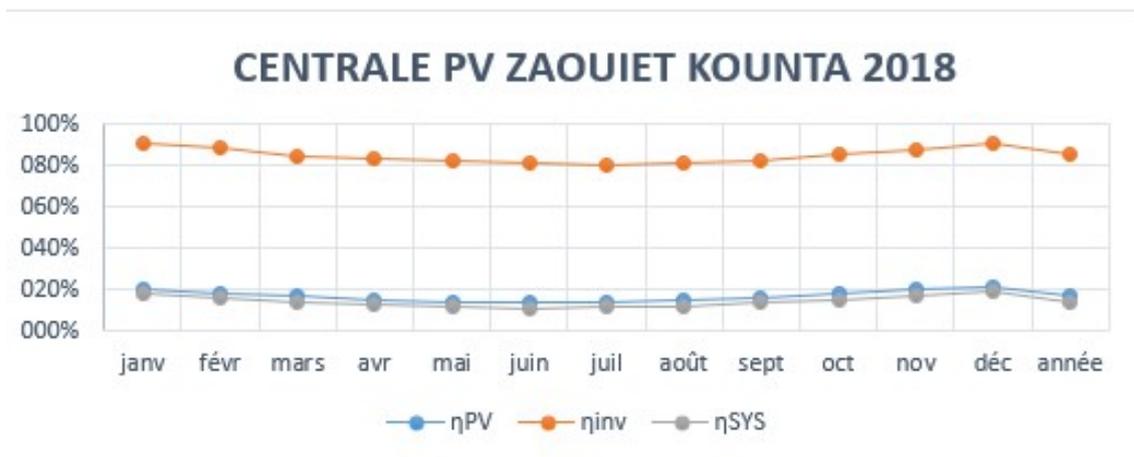


FIGURE 2.13 – Rendement mensuel moyen de référence, rendement du champ et rendement final

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit d'une manière générale une description d'une centrale PV de Zaouiet Kounta raccordée au réseau d'une capacité de 6MwC à sa voire ces différents composants sont comme suit :

Localisation géographique, Boîtes de raccordements parallèles, les onduleur, transformateur, salle de commande...etc) et pat la suite nous avons fait l'analyse de performance de ce centrale pendant l'année 2018 permis de constaté que :

- L'énergie mensuelle générée (EDC) dans la centrale photovoltaïque de Zaouiet Kounta durant l'année 2018, elle présente une valeur maximale durant le mois de septembre (9,3724 MWh) et une valeur minimale d'énergie durant le mois d'Janvier avec 6,69 MWh.
- Le rendement mensuel de référence (Y_r), le rendement du champ photovoltaïque (Y_a) et le rendement du final (Y_f) sont également Ils présentent des valeurs maximales durant le mois de Septembre, Mai Septembre respectivement et des valeurs minimales durant le mois Janvier.
- Les efficacités du champ (η_{PV}), du onduleur (η_{INV}) et de système (η_{SYS}), Ils présentent des valeurs maximales (20,93%, 90,78% et 19,00% respectivement) durant le mois de Décembre et des valeurs minimales (13,65% 11,13% respectivement) durant le mois de Juin pour les efficacités du champ (η_{PV} , onduleur et de système (η_{SYS}) et efficacité de onduleur (η_{INV}) au mois de Juillet (80,53%).

Le chapitre suivant sera consacré pour une étude techno-économique d'une centrale PV raccordée au réseau en milieu désertique

Chapitre 3

Simulation et étude technico-économique
d'un PV raccordé au réseau

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présentée une étude techno-économique d'un PV raccordé au réseau de Zaouiet Kounta wilaya d'Adrar installée au milieu désertique on utilisant un logiciel de simulation très puissant et connaît aux niveaux mondial PV Système , qui permet d'avoir la consommation et la production énergétique avec une estimation économique du système

3.2 Présentation de logiciel de simulation PVsys

Le programme PVsys est un outil de simulation utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVsys permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. PVsys V 7.2 propose 3 niveaux d'étude du système PV telle que connectés au réseau, autonomes, pompage et systèmes PV (figure3.1) :

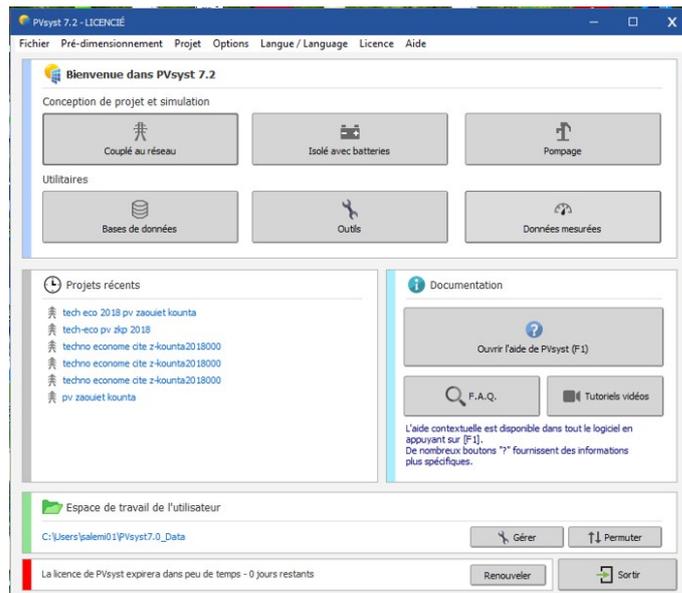


FIGURE 3.1 – Menu principal de logiciel PVsyst

3.2.1 Gestion d'un projet **donne** (système raccordé au réseau)

La figure 3.2 illustre l'interface de désignation du projet du système PV connecté au réseau, ou peut construire plusieurs variation telle que : les données météorologies, paramètre principaux (orientations des panneaux, système pertes...) et optionnel(horizon, gestion de l'énergie....etc) **à fin** d'obtenir la simulation

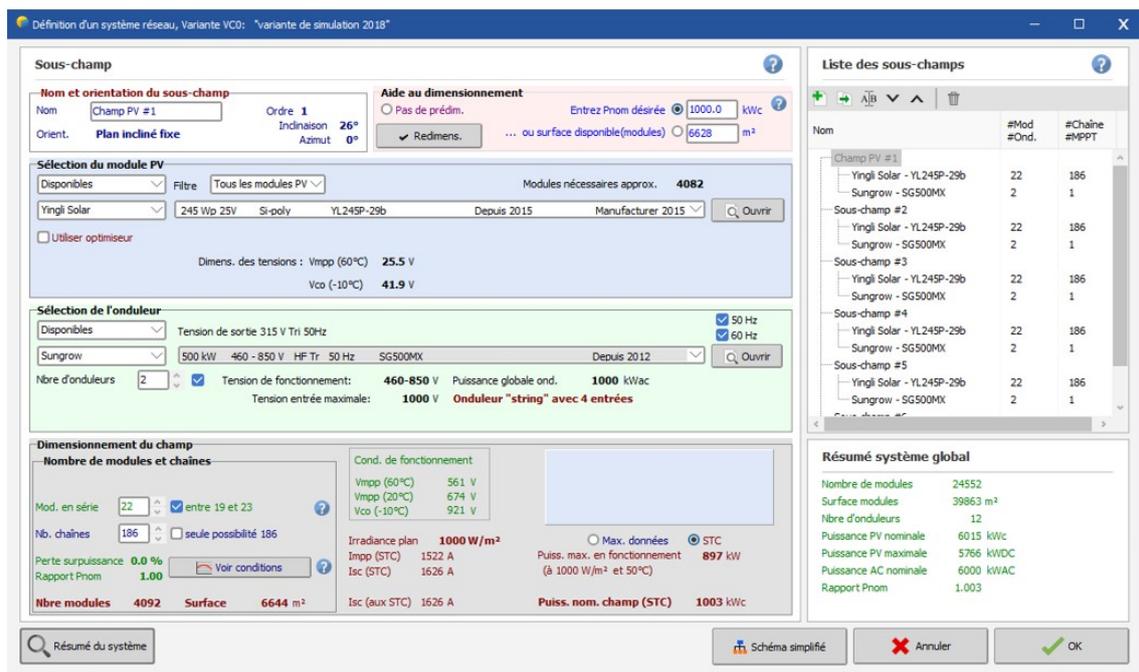


FIGURE 3.2 – Cite de Zaouiet Kounta

3.2.2 Données géographiques

Pour la simulation de notre projet de la centrale PV, nous avons **choisir** la centrale PV Zaouiet Kounta(figure 3.3) ou les données géographiques sont incluses dans le logiciel PVsyst(figure 3.4), mais les donne météorologies est importé réellement **au** rapport journalier de la centrale pendant une année (2018)

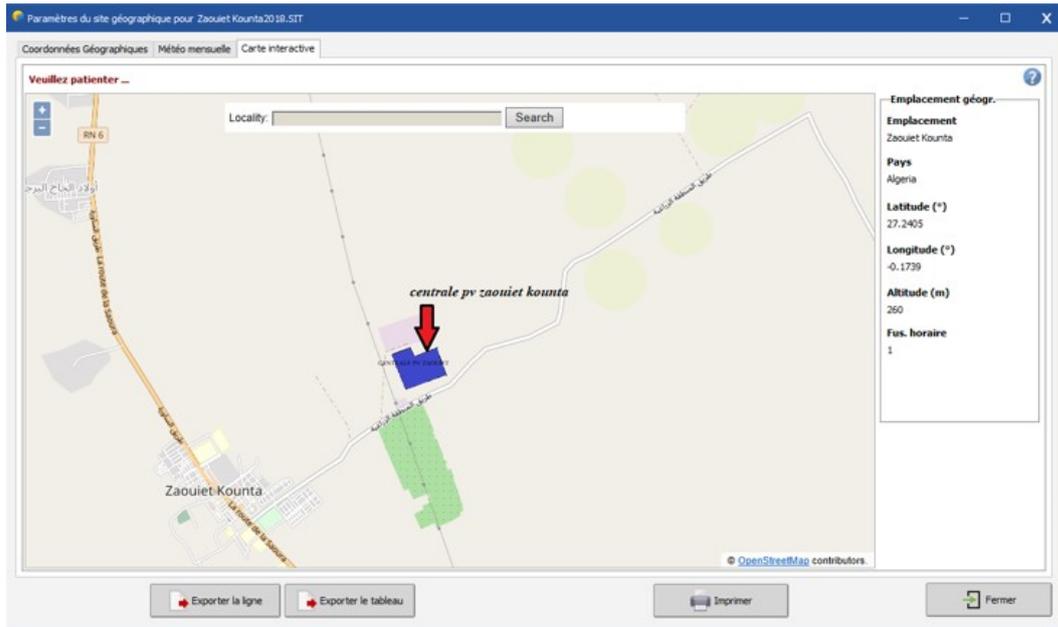


FIGURE 3.3 – Cite de Zaouiet Kounta

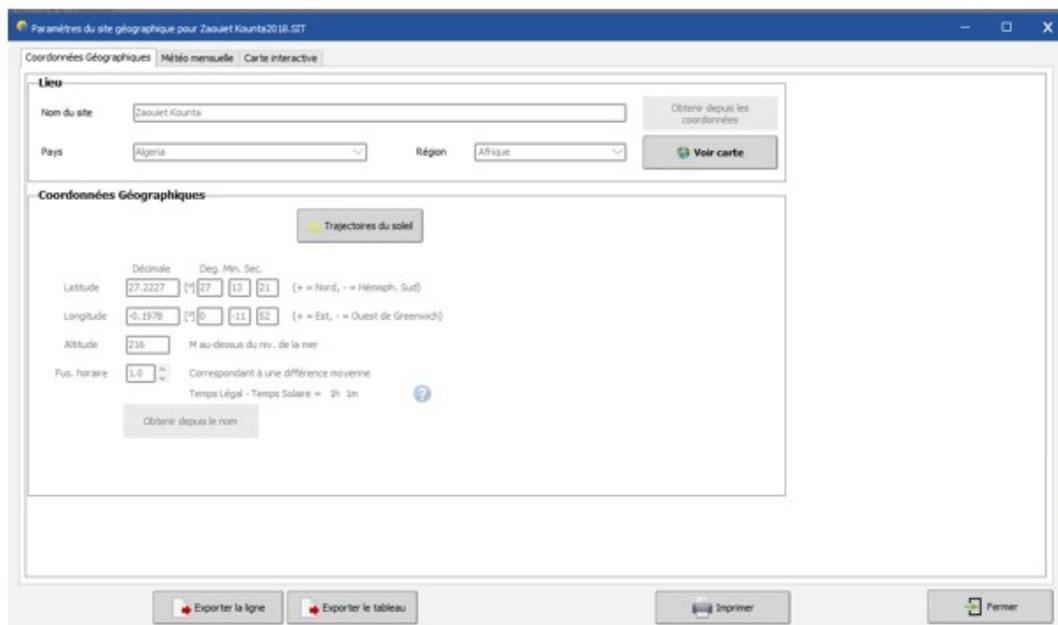


FIGURE 3.4 – Coordonnée géographique de Zaouiet Kounta

3.2.3 Données climatiques de site Zaouiet Kounta

Après avoir choisi le cite de Zaouiet Kounta, nous avons introduire toutes les informations climatiques de la zone sous la forme d'un tableau contenant les données mensuelles de caractéristiques climatiques(l'irradiation,la température,la vitesse de vent,l'humidité relative et la pression)(figure 3.5)

Site Zaouiet Kounta (Algérie)					
Source des données : centrale metrologie de zaouiet kounta					
	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Humidité relative %
Janvier	92.9	43.3	16.8	5.40	29.4
Février	113.7	50.0	19.5	5.90	26.8
Mars	154.5	75.7	29.3	6.20	20.3
Avril	166.6	84.2	33.8	6.31	9.2
Mai	174.8	99.7	34.9	6.50	10.0
Juin	201.4	105.0	37.4	6.00	9.4
Juillet	209.3	106.2	40.0	6.29	12.0
Août	191.3	105.8	38.7	6.10	16.5
Septembre	177.4	77.8	35.3	5.61	21.1
Octobre	145.8	70.9	28.1	5.40	26.9
Novembre	114.6	46.3	22.1	5.31	33.0
Décembre	103.9	41.7	15.7	5.49	36.4
Année	1846.2	906.6	29.3	5.9	20.9

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.1%

FIGURE 3.5 – caractéristiques climatiques de site Zaouiet Kounta

3.2.4 Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est) (figure 3.6).

3.2.5 Orientation des modules PV

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie. Pour la simulation en technologie de silicium polycristallin, nous avons choisi un plan Incliné fixe d'une inclinaison 26° (par rapport à l'horizontale) comme l'illustre la figure 3.7, 26° c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST, en dehors de cette dernière le rendement diminue.

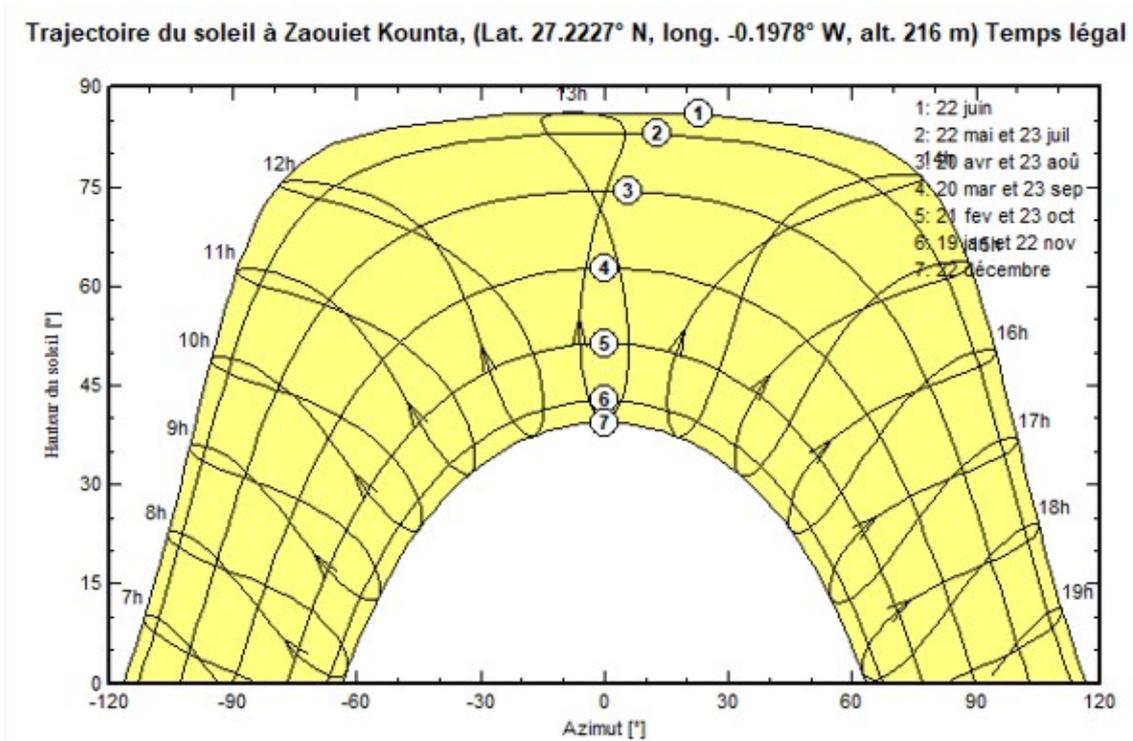


FIGURE 3.6 – Trajectoire du soleil à Zaouiet Kounta

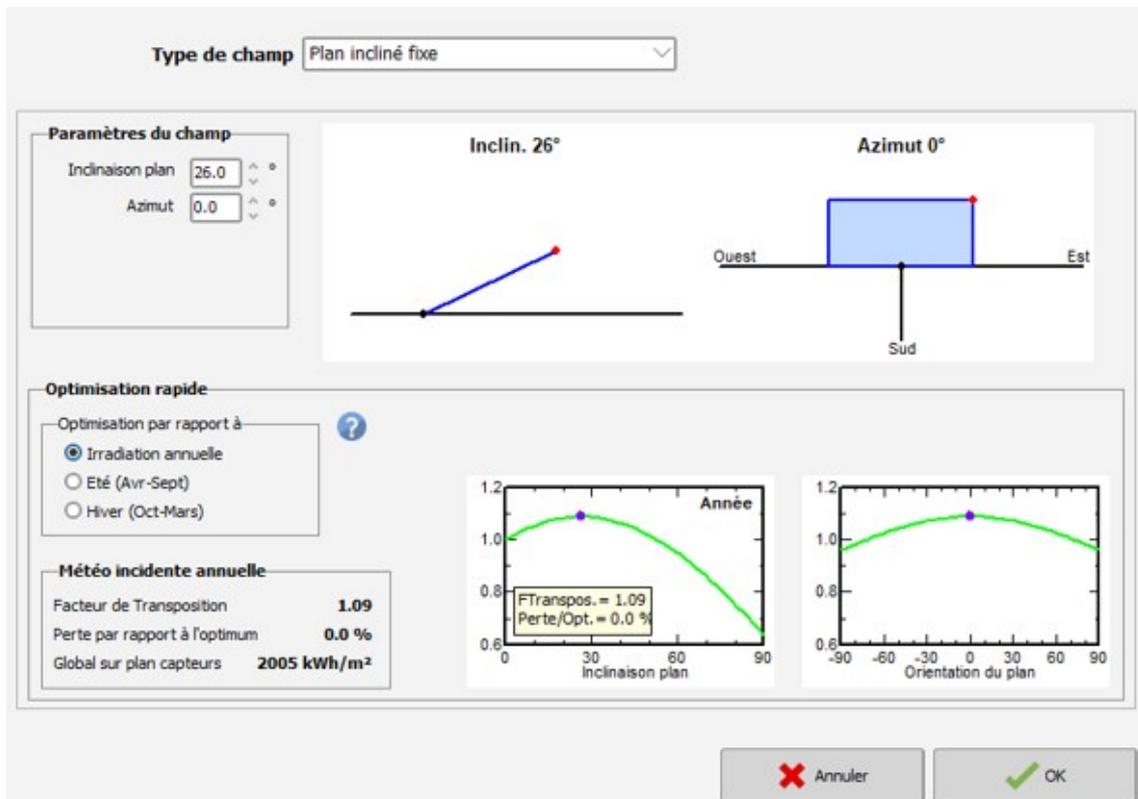


FIGURE 3.7 – Orientation et inclinaison du système PV

3.2.6 Conception / dimensionnement du système

La figure 3.8 illustre la configuration de système PV connecté au réseau tel que

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible
- Choisir les modules PV dans la base de données interne.
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne

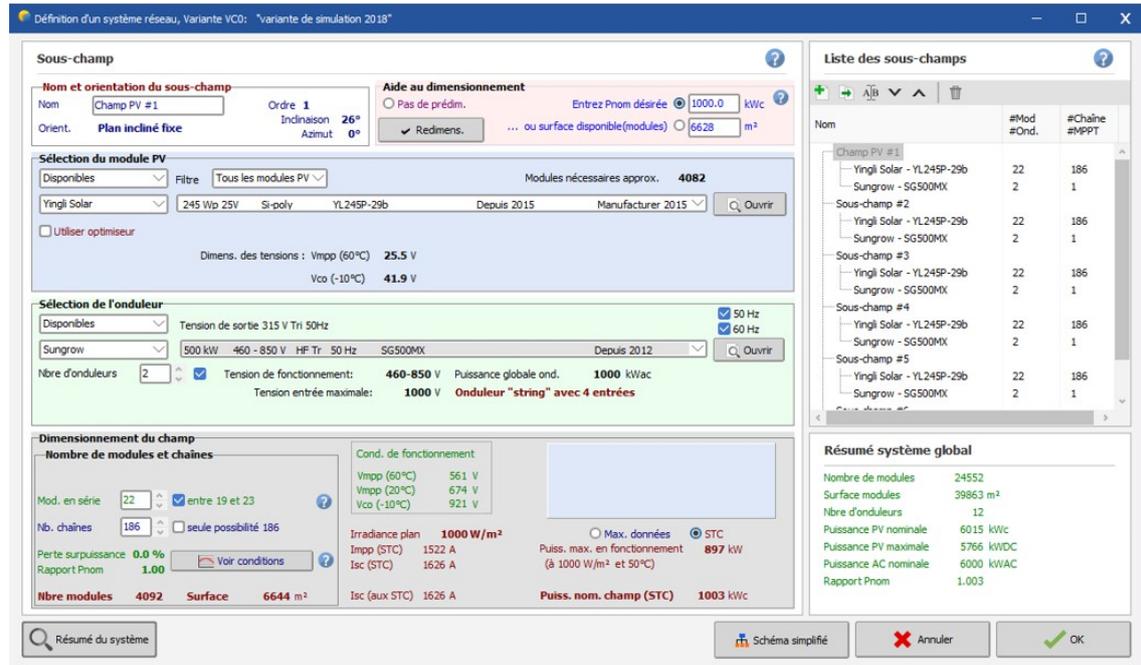


FIGURE 3.8 – Configuration du système dans PVSYS.

3.2.6.a Dimensionnement de système : outil visuel

Un outil spécifique rassemble toutes les contraintes pour le dimensionnement du système (figure 3.9).

- Pour le nombre de modules en série : le diagramme supérieur montre la courbe I/V du champ PV (été/hiver), et les contraintes de tension (y compris courant et puissance) de l'onduleur.
- Pour le dimensionnement de l'onduleur : le second graphique montre la distribution annuelle de puissance MPP du champ et la puissance effective de l'onduleur.
- Le dimensionnement optimal de l'onduleur est basé sur la perte de surcharge

acceptable sur une année. Il conduit habituellement à sur-dimensionner le rapport de puissance nominale champ/onduleur

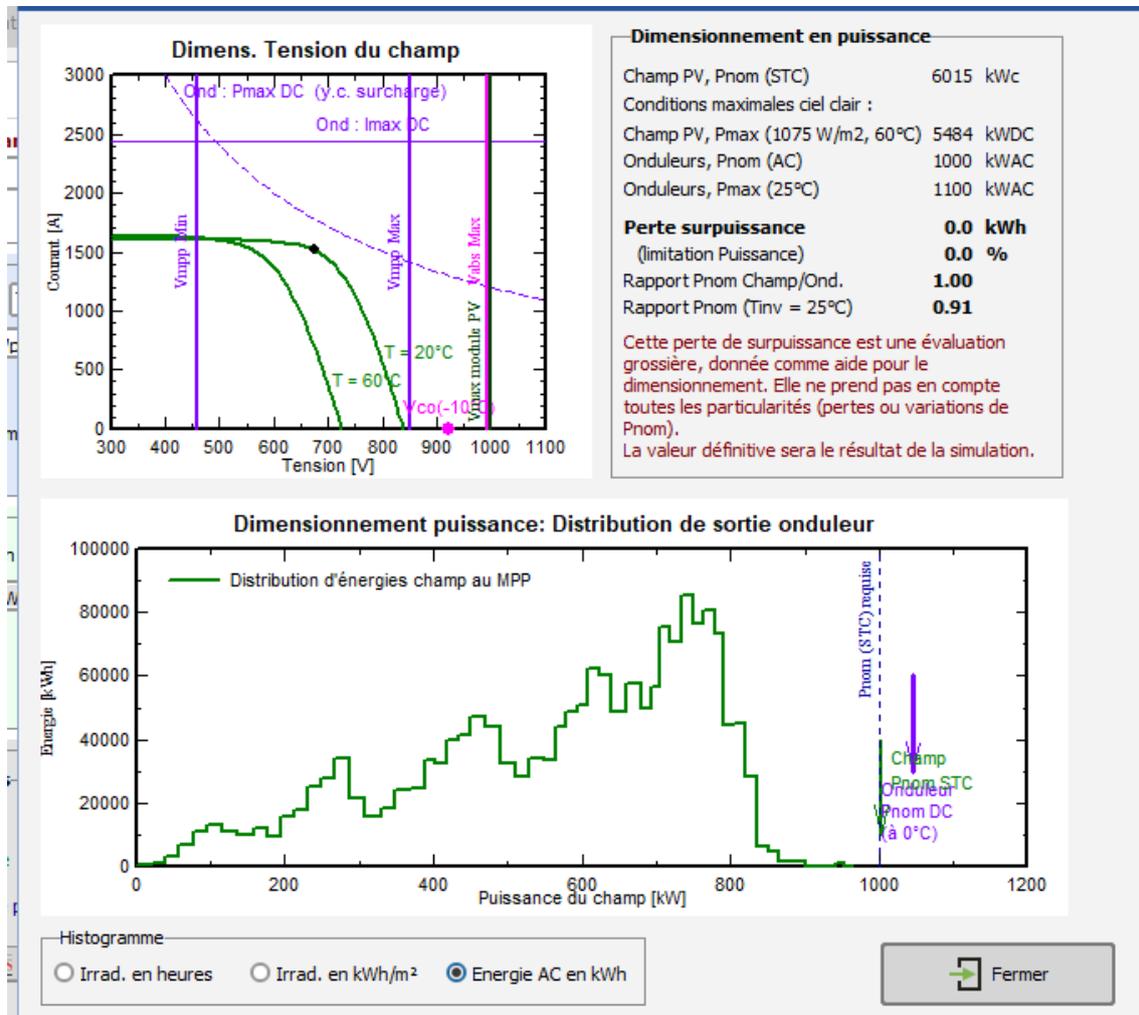


FIGURE 3.9 – Conditions de dimensionnement champ/ onduleur dans PVSYS.

Après un bon dimensionnement du système, on peut définir différentes pertes comme les ombrages lointains et proches, en utilisant un éditeur 3D complet, pour la définition de l'environnement et des conditions d'ombrages proches. Des outils spécialisés sont également fournis pour l'évaluation des pertes de câblage, et de pertes telles que la qualité des modules, l'inadéquation entre les modules, les salissures, les comportements thermiques selon le mode de montage, la non-disponibilité du système,... etc

3.2.6.b Caractéristique du module PV

la figure 3.10 illustre la caractéristique du module PV (ynglisolar) de la centrale PV Zaouiet Kounta

The screenshot shows the 'Définition d'un module PV' window with the following data:

Données de base		Dimensions et Technologie		Paramètres modèle		Données additionnelles		Commercial		Graphiques	
Modèle	YL245P-29b	Fabricant	Yingli Solar								
Nom fichier	Yingli_YL245P-29b_2015.PAN	Source données	Manufacturier 2015								
Puissance nom. (aux STC)		245.0 Wc	Tol. -/+	0.0	3.0 %	Technologie		Si-poly		Base de données PVsyst originale Prod. depuis 2015	
Spécifications fabricant ou autres mesures						Résumé du modèle					
Cond. de référence	GRef	1000 W/m ²	TRef	25 °C	Paramètres principaux						
Courant de court-circuit	Isc	8.740 A	Circuit ouvert Vco	37.50 V	R parall.		209 Ω				
Point de Puissance max.	Imp	8.180 A	Vmpp	30.00 V	Rparall(G=0)		693 Ω				
Coefficient de tempér.	muIsc	3.7 mA/°C	Nbre cellules		R série model		0.38 Ω				
	ou muIsc	0.042 %/°C	60 en série		R série max.		0.42 Ω				
Résultats du modèle interne						Paramètres modèle					
Cond. de fonctionnement	GOper	1000 W/m ²	TOper	25 °C	Gamma		0.950				
Point de Puissance max.	Pmpp	245.4 W	Coeff. de température	-0.42 %/°C	IoRef		0.06 nA				
Courant	Imp	8.18 A	Tension Vmpp	30.0 V	muVco		-127 mV/°C				
Courant de court-circuit	Isc	8.74 A	Circuit ouvert Vco	37.5 V	muPMax fixé		-0.43 /°C				
Efficacité	/ Surf. cellules	16.81 %	/ Surf. module	15.11 %							

Buttons at the bottom: Voir optimisation, Export vers table, Imprimer, Annuler, OK.

FIGURE 3.10 – Caractéristique du module PV

3.2.6.c Caractéristique de l'onduleur

la figure 3.11 illustre la caractéristique de l'onduleur de la centrale PV Zaouiet Kounta

3.2.7 Schéma de l'installation PV

La figure 3.12 représente le schéma de l'installation PV raccordé au réseau prise en compte dans la simulation

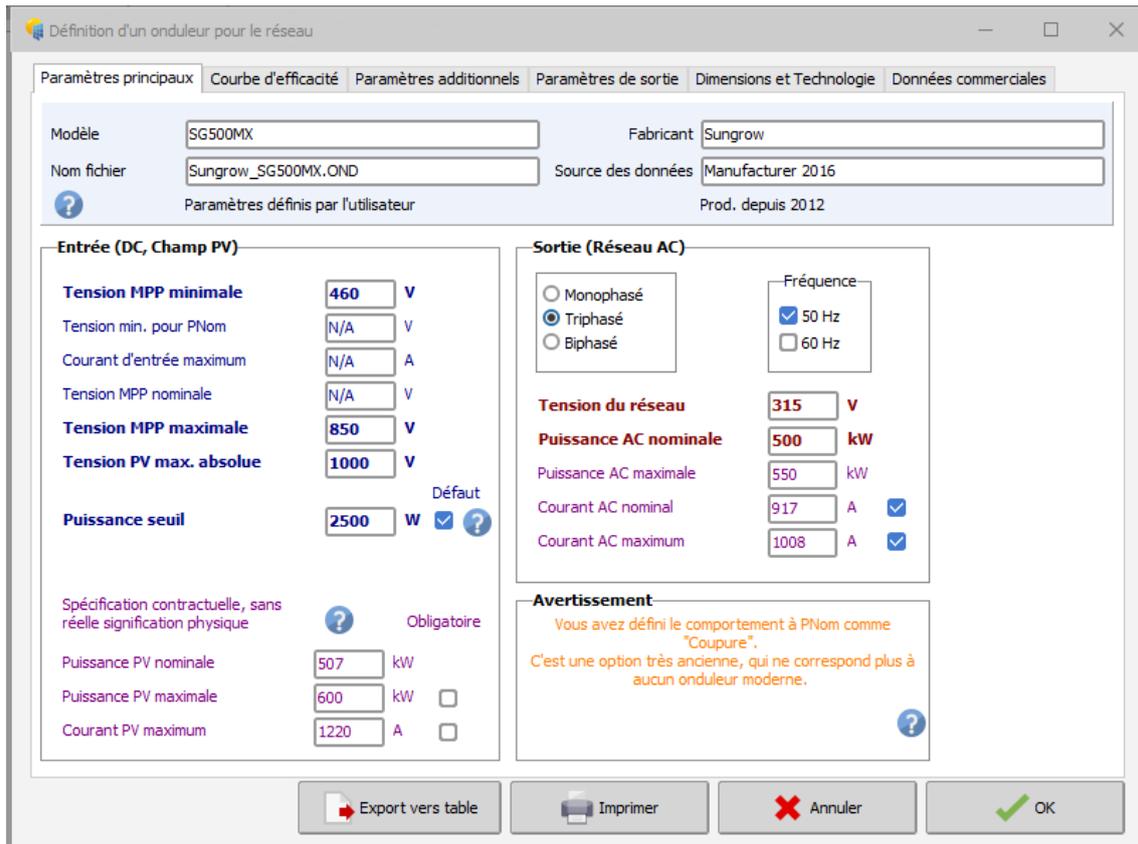


FIGURE 3.11 – Caractéristique de l'onduleur

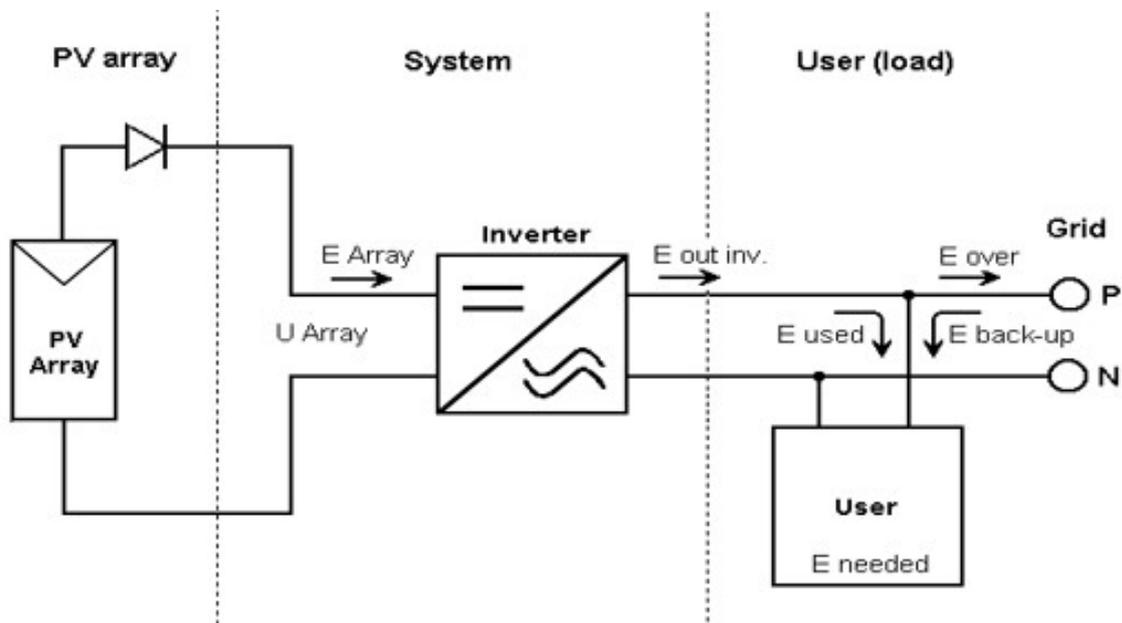


FIGURE 3.12 – Schéma simplifié d'une installation PV raccordée au réseau.

3.3 Présentation de la méthode utilisée

Il existe plusieurs méthodes pour procéder de l'analyse économique des systèmes solaires, chaque méthode a ses propres avantages, inconvénients et limitations. À noter aussi que chaque méthode a ses conditions spécifiques qui doivent être satisfaites. Certaines méthodes peuvent donner des résultats différents pour des conditions différentes [21].

Dans notre étude, on c'est basé sur la méthode dite "Méthode d'Épargne du cycle de vie" (Life Cycle Saving Method) Cette méthode prend en compte la valeur de l'argent au cours du temps et permet de considérer de façon détaillée tous les flux de trésorerie (recette ou dépense) intervenant dans l'exploitation de la centrale. elle est utilisée essentiellement pour déterminer les économies réalisées durant la durée de vie de telle centrale.

3.3.1 Paramètres économiques principaux utilisés

Les paramètres économiques nécessaires pour effectuer une étude technoéconomique des centrales solaires sont présentés d'une manière succincte dans ce qui suit :

3.3.1.a Taux d'actualisation (Discount Rate, DR)

L'actualisation, dans le milieu financier, est un mécanisme qui consiste à calculer la valeur actuelle d'une somme future à partir du taux d'actualisation.

En d'autres mots, l'actualisation permet de comparer à l'instant présent des quantités de biens ou de services qui apparaissent dans le futur à des horizons temporels différents, ce qui est bien appréciable pour prendre des décisions dans le présent sur des investissements futurs, pour un investisseur, une disposition d'argent immédiate est préférée à une disponibilité future du même montant, plus le taux d'actualisation est élevé, plus cela marque une préférence pour le présent, il reflète les craintes d'un investisseur vis-à-vis du long terme et du risque d'un investisseur lié à son investissement, ce paramètre est fixé à partir

des parts moyennes respectives de financement par fonds propres et emprunts et de leurs taux d'intérêts moyens réels.

3.3.1.b Taux inflation

Le taux d'inflation ou le taux de dépréciation de la monnaie est l'augmentation de prix des produits et services d'un an à un autre.

3.3.1.c Flux de trésorerie (Cash-Flow)

Il représente un flux annuel de trésorerie regroupant à la fois (la différence) les recettes et les dépenses annuelles liées à l'exploitation d'une centrale solaire durant sa durée de vie.

Ce paramètre est considéré comme l'élément clé de toute évaluation économique des projets, équipements et investissement.

Un flux de trésorerie $Ct(N)$ survenant après N années après "aujourd'hui " peut être ramené à sa valeur actuelle ca (N) en fonction du Taux d'inflation, par l'équation suivante [22] :

$$C_{a(N)} = \frac{C_{a(t)}}{(1 + \tau_{act})^N} \quad (3.1)$$

3.3.1.d Facteur de Recouvrement du Capital (Capital Recovery Factor, CRF)

Ce paramètre représente le rapport d'une annuité constante sur la somme actualisée de toutes ces annuités sur la durée de vie de la centrale. Sa définition complète est la suivante :

$$CRF = \frac{\tau_{act} LCE (1 + \tau_{act})^N +}{(1 + \tau_{act} LCE)^{N-1}} \quad (3.2)$$

3.3.2 Indicateurs d'évaluation économiques des centrales solaires

Dans ce qui suit, nous allons tenter de proposer des définitions consistantes d'indicateurs économiques et financiers fréquemment employés dans l'étude des projets de centrales solaires.

3.3.2.a Le Cout Normalisé de production de l'Électricité (LEC)

Cet indicateur est considéré comme l'indicateur principal pour l'analyse économique des systèmes solaires, qui représente la valeur actualisée des coûts convertis en un courant de paiements actuels égaux, divisé par la production électrique annuelle. Il peut inclure les coûts associés aux émissions de CO₂. Cette approche doit être réservée à la comparaison de cas où les hypothèses économiques sont équivalentes. Cette définition générale est simple, mais les valeurs actualisées des coûts annuels difficile à déterminer et sont interprétés à des niveaux de détails différents suivant les références.

L'équation générale pour calculer le LEC est la suivante :

$$LCE = \frac{CRF(C_{aINV} + C_{aM0} - C_{Envi})}{P_{el,Net}} \quad (3.3)$$

3.3.2.b Analyse de la rentabilité

Même si le processus de l'étude de faisabilité économique peut se limiter uniquement sur la base d'un simple critère de minimisation du LEC, la décision d'investissement prend également en compte les critères de rentabilité.

L'installation ne se révélera rentable que si les économies réalisables (différence entre les revenus et les dépenses) permettent de rembourser le capital investi, y compris les intérêts, dans une durée limitée afin de générer rapidement des bénéfices. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour juger de la rentabilité

d'un projet.

Les principales utilisées dans ce travail sont le taux de rentabilité interne (IRR) et le temps de retour sur investissement (POT), tous les deux, déterminés à partir de l'expression fondamentale de la valeur actualisée nette (NPV).

A) Valeur Actualisée Nette (Net Présent Value, NPV)

C'est une valeur standardisée très répandue pour l'analyse financière de projets qui correspond à la somme actualisée de la variation de trésorerie disponible sur toute la période d'amortissement. Cet indicateur permet de juger très rapidement de la rentabilité d'un projet d'installation. En effet, s'il est positif, l'investissement sera attractif. Il peut même servir à classer plusieurs projets entre eux, à condition qu'ils aient la même durée de vie. La NPV représente la somme des différents flux de trésorerie annuels actualisés (dépenses et recettes) depuis la mise en service de la centrale à l'année zéro (0) jusqu'à l'année d'exploitation N. quand celle-ci est supérieure à 0, le projet devient rentable [23].

$$NPV_N = \sum_{i=0}^N C_{a(i)} = \sum_{i=0}^N \frac{C_{t(i)}}{(1 + \tau_{act})^i} \quad (3.4)$$

B) Taux de Rentabilité Interne (Internal Return Rate, IRR)

Cet indicateur est défini comme étant la valeur du taux d'actualisation qui annule la valeur actualisée nette. En effet, si le IRR est supérieur au taux d'actualisation choisi pour le projet et défini par l'investisseur, celui-ci sera rentable.

C) Temps de retour sur investissement (Pay Out Time, POT) :

Le POT est un indicateur très simple pour évaluer la faisabilité et la rentabilité d'un projet [24], il renseigne sur le nombre d'années d'exploitation de la centrale nécessaire avant de pouvoir rentabiliser l'investissement ou encore le nombre d'année nécessaires avant de pouvoir espérer en tirer des bénéfices ($VAN > 0$),

il est défini comme un rapport entre le coût total (TC) et le flux de trésorerie annuel (ACF)

$$POT = \frac{TC}{ACF} \quad (3.5)$$

Remarque

Il est ici capital de comprendre que le LEC, la NPV, l'IRR et le POT ne sont pas des indicateurs économiques de même type. Le LEC est destiné à comparer entre eux différents systèmes de production d'électricité alors que la NPV est utilisée pour évaluer la faisabilité d'un projet. Dans le calcul du LEC, le taux d'actualisation est défini par les grands organismes du domaine de l'énergie tels que l'Agence Internationale de l'Energie (IEA). À l'opposé, dans le calcul de la NPV, c'est le fournisseur qui va définir le taux d'actualisation, principalement par rapport à son impression sur le risque de son investissement et des bénéfices qu'il veut en tirer. Le calcul du LEC est fait pour une année type d'exploitation de la centrale à partir du calcul du facteur de recouvrement du capital (CRF) qui représente le rapport d'une annuité constante sur la somme actualisée de toutes ces annuités sur la durée de vie de la centrale, et du coût total actualisé des flux de trésorerie. Dans l'équation (3.3), les coûts liés à l'assurance de la centrale sont négligés et les impôts sur les bénéfices de la centrale sont omis. À noter également que le LEC est réservé à la comparaison de cas où les hypothèses économiques sont équivalentes (emprunt, inflation, taux d'actualisation). Le meilleur choix est réservé au système ayant le LEC le plus bas. Finalement, il est à noter que le faible LEC ne signifie pas le meilleur rendement du système étudié [25]

3.3.2.c Indicateur environnemental

Les centrales solaires constituent un potentiel technique de réduction des émissions de gaz rejetées dans l'atmosphère par les centrales thermiques à combustibles fossiles. Dans cette analyse, nous intégrons un indicateur environnemental qui consiste à valoriser la tonne de CO₂ évitée par an. Dans notre étude, nous

avons introduit ce paramètre dans le calcul du LEC et la NPV. À noter que plusieurs pays attribuent des primes pour chaque tonne de CO₂ évitée lors de la production d'électricité et de chaleur d'origine renouvelables. L'équation utilisée pour déterminer la valeur de ce paramètre est la suivante :

$$C_{aEnvir} = P_{él} \cdot T_{CO2} \quad (3.6)$$

3.4 Analyse économique de la centrale PV raccordé au réseau

Puisque le constructeur de cette centrale PV de Zaouiet Kounta est étranger les prix de l'équipement utilisé est calculée par **Divise**. D'après la figure 3.13, on note que le prix total des panneaux solaires et des onduleur est de 6011579.60\$, 648091.10\$ respectivement, car ces composants sont les plus chers dans le projet d'énergie solaire, D'autre plus que les panneaux solaires sont en grande quantité dans de tels projets qui produisent beaucoup d'énergie, et les restants des coûts sont pour les études des autres composants, l'analyse, l'installation et l'assurance 3750383.60, 179515.47, 223445.27, 223445.27... respectivement jusqu'à ce que nous arrivions au coût d'investissement estimé à environ 13153991,83\$.

Le tableau qui se trouve adroite de figure 3.13 montre la consommation annuelle estimée de 55 480,10\$, de sorte que cette valeur augmente au fur et à mesure que nous progressons dans les années, et cette valeur ne peut être ignorée car elle deviendra des valeurs considérées avec le temps.

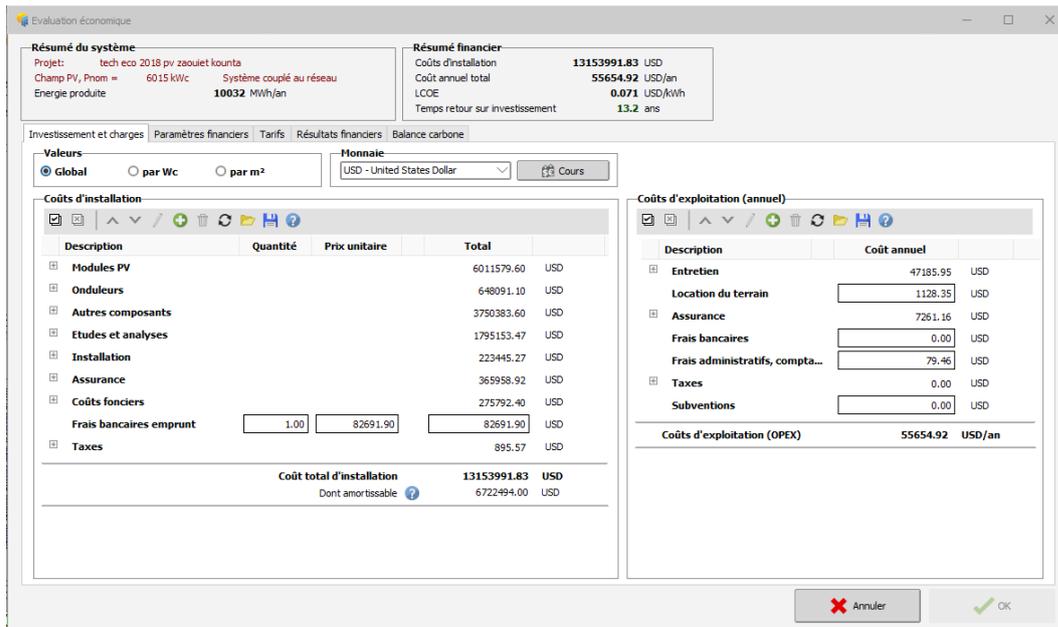


FIGURE 3.13 – Investissement et charge

Dans cette analyse économique nous avons limité l'étude à environ 20 ans (2016 - 2035) afin d'obtenir le résultat indiqué dans la figure 3.14. Et parce que le projet est réalisé par le gouvernement, le coût de l'annoté est un coût du budget de l'État afin qu'il y ait aucun autre investisseur ou aucun prestige d'autres parties..

L'achèvement de la station solaire n'a pris que 8 mois, ce qui est un facteur important de réduction des coûts, car plus le temps d'achèvement du projet est long, plus le coût est élevé.

En 2016, la centrale a commencé à injecter de l'électricité dans le réseau et le coût d'investissement a commencé à baisser jusqu'à l'année 2035 (3.15). Pour une puissance installée de 06 MW, soit 39863 M2 de panneaux solaires environ ou 35 841 cellules solaires, il est possible d'obtenir une production annuelle de 10.03 GWh. Un contrat de vente sur 20 ans de l'électricité pour un montant de 13153991.83 USD dégage un chiffre d'affaires annuel brut de 712272 USD, sur lequel il faudra retirer environ 55654.92 de charges (assurances, locations, ...etc.). En moyenne, cette installation photovoltaïque va permettre de générer un revenu annuel net aux alentours de 997 KUSD. Finalement, l'installation des panneaux photovoltaïques sera amortie en 13 ans seulement, et continuera de générer des revenus complémentaires pendant les sept années suivantes.

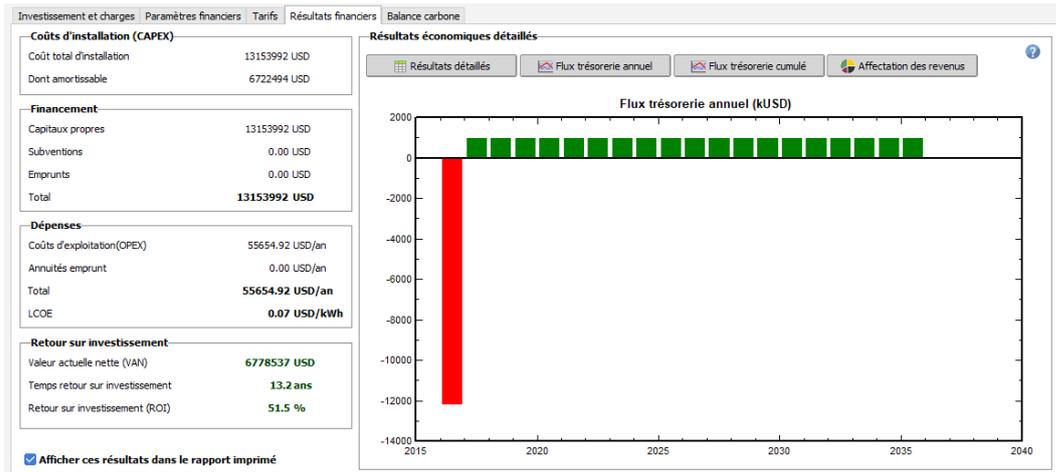


FIGURE 3.14 – Flux trésorerie annuel (kUSD)

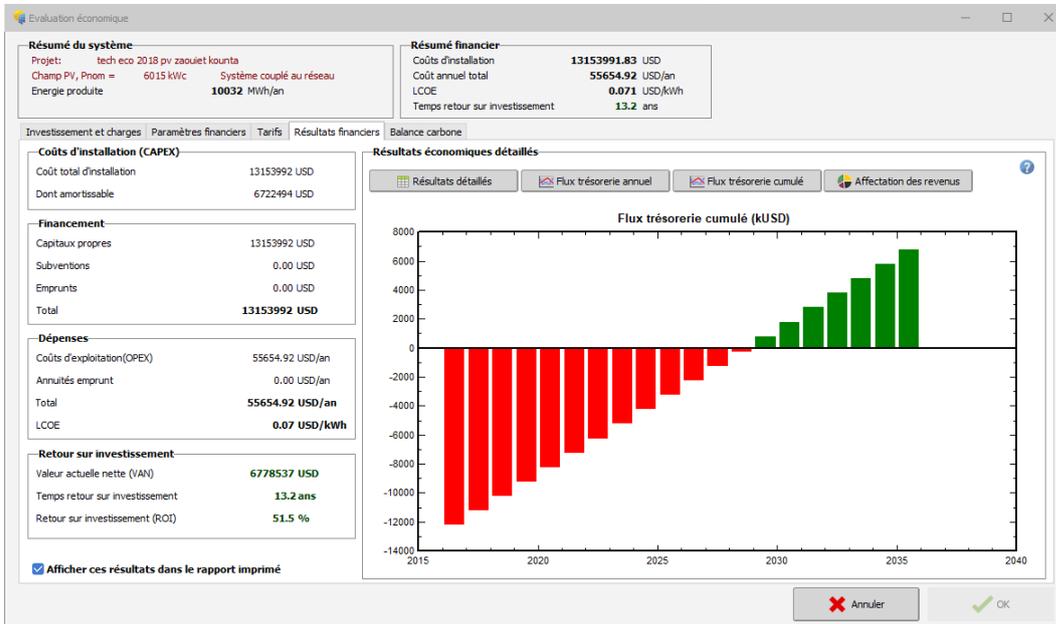


FIGURE 3.15 – Flux trésorerie cumulé (kUSD)

3.5 Écologiquement

La complexité du calcul de la référence GES (Gaz à Effet de Serre) **et** du projet variera en fonction de la production et de la source d'ER (énergie renouvelable) utilisée pour la production. Le scénario de référence serait égal aux émissions de combustibles fossiles déplacées du réseau. Figure 3.16 montre une simulation des émissions de carbone au cours des 30 prochaines années et nous constatons que l'analyse montre que l'émission de CO₂ économisée en installant le système PV est d'environ 146887.184 tonnes, ce qui prouve la faisabilité du système, qui

préservera les ressources naturelles et améliorera la qualité de l'air, la biodiversité et l'écosystème.

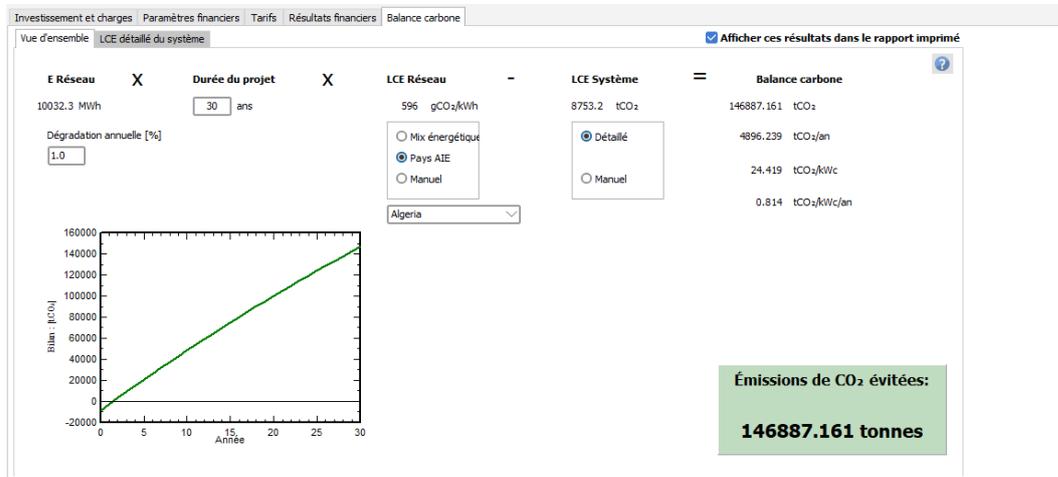


FIGURE 3.16 – Emissions de CO₂ évitées.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mené une étude technique-économique pour le fonctionnement d'une centrale PV raccordée au réseau installée au milieu désertique. A partir de cette étude nous avons constaté que :

- L'utilisation de PV en polycristallin permet une production maximale d'énergie
- L'évolution économique du système montre **il** ya un retour d'investissement à partir de 13.5 éme année d'utilisation (2016-2029 **on rééquiper** tous l'argent **dépones** sur le projet) et pour le reste de la durée d'utilisation jusqu'à 20 ans il ya des **penifices** et utilisation gratuite de l'électricité.
- cette étude nous a **permet d'estimé** la contribution de **note** système pour réduire l'émission du CO₂ **est** 146887.184 tonnes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire en a fait une étude techno-économique d'une centrale solaire photovoltaïque (PV) de Zaouiet Kounta située dans la wilaya d'Adrar.

En premier lieu nous avons présenté l'état de l'art sur les systèmes photovoltaïques tel que : contexte énergétique mondiale en Algérie et comme cas particulier la région d'Adrar. En **seconde** lieu on a parlé **sur** différents types **de** énergie renouvelable et par la suite nous avons fait l'analyse et performance d'un système PV raccordé au réseau dans un milieu désertique. **En fin** nous avons établi une étude de la rentabilité économique de cette centrale en utilisant un logiciel de simulation PVsyst 7.2. Ce logiciel répond correctement aux choix des composants constituant notre installation.

- Les résultats de dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base (Irradiation solaire, température ambiante et profil de consommation), afin d'aboutir à une meilleure optimisation des installations PV qui demeure l'objectif principal de tout installateur du système PV. L'étude technique a été complétée par une évaluation économique et écologique de l'installation photovoltaïque.
- En conclusion on peut dire que L'étude technico-économique de l'installation PV Zaouiet Kounta raccordée au réseau montre **il** ya un retour d'investissement à partir de 13.5^{ème} année d'utilisation (2016-2029 on rééquiper tous l'argent dépenses sur le projet) et pour le reste de la durée d'utilisation jusqu'à 20 ans il ya des bénéfices et utilisation gratuite de l'électricité.
- D'après l'évaluation économique et écologique effectuée, on peut en conclure

que le photovoltaïque représente une solution réelle de remplacement des énergies fossiles par une énergie verte, performante et lucrative.

- Comme perspective, on propose de compléter cette étude en tenant compte de faire une comparaison entre différents centrale tel que les centrales de Adrar, Régan, Aoulef, Kabrten et Timimoun et ainsi voir l'effet des conditions climatiques sur les performances de la centrale photovoltaïque.

Bibliographie

- [1] MERABET HOUSSAM et S. MOUHSSIN, « Etude de faisabilité d'une installation solaire photovoltaïque autonome par PVSyst pour établissement scolaire », thèse de doct., M'SILA, 2019, p. 77.
- [2] INERA, « 2020 , Année Record Pour Les Nouvelles Capacités En Énergies Renouvelables À Travers Le Monde », rapp. tech., 2021.
- [3] O. ABDELATIF, « Contribution à la Modélisation et au Développement des Systèmes de Chauffage Solaire à Usage Individuel », thèse de doct., Ecole nationale Polytechnique d'Oran Mourice Audin, 2018.
- [4] S. HEMZA, « Energies Renouvelables », Adrar university, rapp. tech., 2017, p. 194.
- [5] NOUREDDINE YASSAA et M. KHELIF, *Transition Énergétique en Algérie Edition 2020*. 2020.
- [6] A. BOURAIOU, A. NECAIBIA, N. BOUTASSETA, S. MEKHILEF, R. DABOU, A. ZIANE, N. SAHOUANE, I. ATTOUI, M. MOSTEFAOUI et O. TOUABA, « Status of renewable energy potential and utilization in Algeria », *Journal of Cleaner Production*, t. 246, p. 119 011, 2020, ISSN : 09596526. DOI : [10.1016/j.jclepro.2019.119011](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119011). adresse : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119011>.

- [7] H. M. BABE, « Etude de la centrale photovoltaïque de Skhouna (Saida) », thèse de doct., M'Sila, 2019.