

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère d'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saâd Dahlab, Blida-1
Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Préparée Par : ABDELKRIM Kaouthar

SEFFAH Mohamed

Mémoire pour
L'obtention du diplôme :
MASTER en Énergies Renouvelables
Option : Conversion Photovoltaïque

Thème :
**Etude et analyse de l'effet de la température sur
le rendement des centrales PV connectées au
réseau électrique**

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur Toufik DOUMAZ	Professeur	USDB	Président
Madame Badia AMROUCHE	MCA	USDB	Encadreur
Monsieur Moustapha BOUZAKI	Enseignant	USDB	Examineur

Septembre 2021

ملخص

تم تزويد الجزائر بالعديد من المحطات الكهروضوئية المتصلة بالشبكة. إجمالي القدرة المركبة هو 342 ميغاواط. ومع ذلك ، فالمحطات الكهروضوئية المتصلة بالشبكة لا تتمتع بمزايا فقط. من أكبر العوائق التي تواجهها هو إنتاجها المتقطع الذي يتغير حسب ظروف العمل ، منها الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. في هذا العمل ، نهتم بتأثير درجة الحرارة على الإستطاعة التي توفرها المحطة الكهروضوئية بعين الملح في ولاية المسيلة. للقيام بذلك ، نقوم بتحليل قاعدة بيانات المحطة الكهروضوئية لعزل تأثير درجة الحرارة ثم نمذجة العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة المحولة إلى شبكة التوزيع الكهربائية. هذا من شأنه أن يجعلنا نتوقع الإنتاج بشكل أفضل لتسهيل إدارة شبكة الكهرباء في وجود مصدر طاقة متقطع مثل الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

تؤكد نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج محاكاة MATLAB أن درجة الحرارة المحيطة لها تأثير سلبي على الطاقة التي تنتجها المحطة الكهروضوئية ، وتسمح لنا بتحديد الانخفاض في الكفاءة.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الكهروضوئية ، المحطات الكهروضوئية المتصلة بالشبكة ، الإنتاج المتقطع ، درجة الحرارة ، الطاقة المحقونة.

Résumé

L'Algérie s'est dotée de plusieurs centrales PV connectées au réseau. La capacité installée est égale à 342 MW. Cependant, les centrales PV connectées au réseau électrique ne présentent pas que des avantages. L'un des plus grands inconvénients est leur production intermittente qui change en fonction des conditions de travail, à savoir l'éclairement et la température. Dans le présent travail, nous nous intéressons à l'influence de la température sur la puissance fournie par la centrale PV d'Aïn El Malh dans la wilaya de M'sila. Pour ce faire, nous analysons une base de données de la centrale PV pour isoler l'effet de la température puis modéliser la relation entre la température et la puissance injectée dans le réseau de distribution électrique. Cela permettrait de mieux anticiper la production afin de faciliter la gestion du réseau électrique en présence de source d'énergie intermittente comme le solaire PV.

Les résultats de simulation obtenus moyennent le logiciel de simulation MATLAB confirme que la température ambiante a une influence négative sur la puissance produite par la centrale PV et nous permet de quantifier la baisse du rendement.

Mots clés : Energie photovoltaïque, centrales PV connectées au réseau, production intermittente, température, puissance injectée.

Abstract

Algeria has several PV power stations connected to the grid. The installed capacity equals 342 MW. However, grid-connected PV power stations don't only show advantages. One of its biggest drawbacks is their intermittent production which it changes according to the working conditions, basically lighting and temperature. In this work, we are interested in the influence of temperature on the power supplied by the Aïn El Malh PV plant in the wilaya of M'sila. In order to do this, we analyze a database of the PV plant to isolate the effect of temperature and then model the relationship between temperature and the power injected into the electrical distribution network. This would make it possible to better anticipate production in order to facilitate the management of the electricity grid in the presence of an intermittent energy source such as solar PV.

The simulation results obtained using the MATLAB simulation software confirms that the ambient temperature has a negative influence on the power produced by the PV plant and allows us to quantify the drop in efficiency.

Keywords: Photovoltaic energy, PV plants connected to the grid, intermittent production, temperature, injected power.

Remerciements

Après avoir rendu grâce à **Dieu** le tout puissant et le Miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ceux qui. De près ou de loin ont participé à la réussite de ce travail. Plus particulièrement :

Aux responsables de **SKTM**, en particulier Mr **Zerbani karim**, les responsables de la centrale de **Ain EL-Malh** Mr **Helali Ahmed (directeur de la centrale)**, Mr **Bensghir Ahmed (ingénieur d'exploitation)**, Mr **Refis Abdelhak (technicien supérieure (TPCC))** pour nous avoir accordé l'opportunité de visiter l'un des joyeux de l'industrie PV en Algérie, la centrale de **Ain EL-Malh**, qui nous a servi d'exemple de compréhension, d'étude et de mise en situation professionnelle. Grand Merci.

Nous remercions notre promotrice Mme **AMROUCHE Badia** Docteur en Energies Renouvelables à l'université de BLIDA 1 département des ENR pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et son sens d'écoute et d'échange.

Nous tenons également à remercier tout le staff administratif, ainsi que nos chers enseignants.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études

À mes chers parents, il est naturel que ma pensée la plus forte aille vers eux, à qui je dois la vie et une part essentielle de ma personnalité. Qu'ils sachent que l'amour qu'ils me donne continue à m'animer et me permet d'envisager l'avenir comme un défi.

À mes chères sœurs pour leur amour, leurs soutiens et leur encouragement.

À mes grands-parents qui n'ont cessé de prier pour moi

À mon fiancé Qui n'a jamais cessé de me soutenir pour que je puisse finir mes études et avoir une bonne formation et surtout être la meilleure et à qui je voudrais exprimer mes affections et mes gratitude.

À mes amies et mes camarades pour leur soutien

Sans oubliez tous les professeurs que ce soit du primaire du moyen du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

Abdelkrim Kacuthar

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études

À mon cher père décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

*J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme
preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.*

Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

*À ma chère mère en témoignage de ma reconnaissance, envers son soutien, les sacrifices et
tous les efforts qu'elle a fait pour mon éducation ainsi que ma formation.*

Mon cher frère, et mes chères sœurs pour leur affection, compréhension et patience.

À mes grands-parents qui n'ont cessé de prier pour moi.

À mes amies et mes camarades pour leur soutien.

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire du moyen du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

Seffah Mohamed

Nomenclatures - Symboles-Acronymes

PV	: Photovoltaïque.
W	: Watt.
W _c	: Watt crête.
G	: L'éclairement.
T _a	: Température ambiante.
P	: Puissance.
STC	: conditions standards de test.
I_{PH}	: Photocourant.
I_S	: Courant de saturation de la cellule.
Q	: Charge d'électron.
k	: Constante de Boltzmann.
T_C	: Température de fonctionnement de la cellule.
R_{SH}	: Résistance shunt.
R_S	: Résistance série.
I_{SC}	: Courant de court-circuit.
V_{OC}	: Tension à circuit ouvert.
K_1	: Coefficient de température du courant de court-circuit.
T_{Ref}	: Température de référence de la cellule.
λ	: irradiation solaire en kW/m ² .
I_{RS}	: Courant de saturation inverse de la cellule.
E_G	: Energie de gap.
N_P	: Nombre de cellules parallèles.
N_S	: Nombre de cellules en série.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	15
CHAPITRE 1 : LES CENTRALES PV EN ALGERIE	17
1.1. INTRODUCTION :	17
1.2. LES ENERGIES RENOUVELABLES EN ALGERIE :	17
1.2.1. L'énergie solaire :	18
1.2.2. L'énergie éolienne :	19
1.2.3. Energie géothermique :	20
1.2.4. Énergie biomasse :	21
1.3. LES CENTRALES PV CONNECTEES AU RESEAU ELECTRIQUE :	22
1.3.1. Le générateur PV :	23
1.3.2. Boites de raccordement :	24
1.3.3. Câblage.....	25
1.3.4. Système de protection :	26
1.3.5. L'onduleur :	26
1.3.6. Le transformateur :	27
1.3.7. Le compteur	27
1.3.8. La station de mesure.....	28
1.4. LES CENTRALES PV CONNECTEES AU RESEAU ELECTRIQUE EN ALGERIE :	29
1.4.1. Présentation de SKTM :	29
1.4.2. Les sites des centrales PV en Algérie :	29
1.5. L'IMPACT DES FACTEURS CLIMATIQUE (TEMPERATURE, ENSOLEILLEMENT) SUR LA PUISSANCE DES CELLULES PV :	31
1.5.1. Modélisation du Générateur PV :	31
1.5.2. Effet de la température :	33
1.5.3. Effet de l'ensoleillement.....	33
1.6. PROBLEMATIQUE :	34
1.7. L'IMPACT DES FACTEURS CLIMATIQUE (TEMPERATURE, ENSOLEILLEMENT) SUR LA PUISSANCE DES CENTRALES PV :	35
1.8. CONCLUSION :	36

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION DE LA CENTRALE PV DE AIN EL MALH M'SILA	37
2.1. INTRODUCTION :	37
2.2. PRESENTATION DE LA CENTRALE :	37
2.2.1. <i>Panneaux solaires</i> :	38
2.2.2. <i>Boîtes de raccordement</i> :	40
2.2.3. <i>Convertisseur (Onduleur)</i> :	42
2.2.4. <i>Transformateur élévateur</i> :	43
2.2.5. <i>Poste d'évacuation MT</i> :	45
2.2.6. <i>Transformateur élévateur 60KV</i> :	47
2.2.7. <i>Salle de contrôle et de commande</i> :	48
2.2.8. <i>Station météorologique</i> :	50
2.2.9. <i>Les systèmes auxiliaires</i> :	54
2.2.10. <i>Locale de pompage</i> :	56
2.3. DESCRIPTION DES DONNEES :	57
2.4. CONCLUSION :	59
CHAPITRE 3 : ETUDE ET ANALYSE DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LE RENDEMENT DE LA CENTRALE PV DE AIN EL-MALH.....	61
3.1. INTRODUCTION :	61
3.2. METHODOLOGIE :	61
3.3. ANALYSE DES DONNEES :	62
3.3.1. <i>Travail sur une journée</i> :	62
3.3.2. <i>Travail sur deux mois</i> :	65
3.4. CONCLUSION :	78
CONCLUSION GENERALE	79
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE.....	81

Liste des figures

Chapitre 1

FIGURE 1-1 : CARTE DE L'IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE HORIZONTALE.	18
FIGURE 1-2 : CARTOGRAPHIE DE LA VITESSE MOYENNE DU VENT.....	19
FIGURE 1-3 : FERME EOLIENNE DE KABERTENE ADRAR.....	20
FIGURE 1-4 : CARTE DE TEMPERATURE DES RESSOURCES GEOTHERMALES.	20
FIGURE 1-5 : CASCADE D'ALGERIE HAMMAM DEBAGH (EX-HAMMAM MESKHOUTINE), GUELMA.....	21
FIGURE 1-6 : SCHEMA DE PRINCIPE DE LA CENTRALE SOLAIRE NTPC (NATIONAL THERMAL POWER CORPORATION 10 MW). [8].....	23
FIGURE 1-7 : EXEMPLES DE STRUCTURES PORTEUSES.	24
FIGURE 1-8 : BOITES DE RACCORDEMENT.....	24
FIGURE 1-9 : CABLE PV MODELE MC.	25
FIGURE 1-10 : CABLE PV.....	25
FIGURE 1-11 : LES DIFFERENTS TYPES D'ONDULEURS.....	27
FIGURE 1-12 : TRANSFORMATEUR DE LA CENTRALE PV DE DJELFA.....	27
FIGURE 1-13 : COMPTEUR DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.....	28
FIGURE 1-14 : STATION DE MESURE METEOROLOGIQUE.	28
FIGURE 1-15 : EMBLACEMENT DES CENTRALES SUR LA CARTE GEOGRAPHIQUE DE L'ALGERIE.....	30
FIGURE 1-16 : PHOTOS DE QUELQUE CENTRALE DE SKTM.....	30
FIGURE 1-17 : MODELE GENERAL D'UNE CELLULE PV.	31
FIGURE 1-18 : MODELE D'UN PANNEAU SOLAIRE A NS CELLULES SERIES ET NP CELLULES PARALLELES.....	31
FIGURE 1-19 : EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA CARACTERISTIQUE I-V.	33
FIGURE 1-20 : EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LA CARACTERISTIQUE P-V.....	33
FIGURE 1-21 : IMPACT DE L'ENSOLEILLEMENT SUR LA CARACTERISTIQUE IV.....	34
FIGURE 1-22 : IMPACT DE L'ENSOLEILLEMENT SUR LA CARACTERISTIQUE PV.....	34
FIGURE 1-23 : EFFET DE L'ECLAIREMENT ET DE LA TEMPERATURE SUR LA PUISSANCE DE SORTIE DE LA CENTRALE DE 10MW EN INDE.	35

Chapitre 2

FIGURE 2-1 : VU DE CIEL DE LA CENTRALE DE AIN EL MALH PRISE PAR DRONE.....	38
FIGURE 2-2 : VU ARRIERE DU PANNEAU SOLAIRE YINGLI SOLAR YL250P-29B.....	38
FIGURE 2-3 : VU AVANT DU PANNEAU SOLAIRE YINGLI SOLAR YL250P-29B.....	39
FIGURE 2-4 : FICHE TECHNIQUE DU PANNEAU SOLAIRE YINGLI SOLAR YL250P-29B.....	39
FIGURE 2-5 : BOITE DE JONCTION	41
FIGURE 2-6 : FICHE TECHNIQUE DE LA BOITE DE JONCTION	41
FIGURE 2-7 : SURVEILLANCE DES BOITES DE JONCTIONS.....	41

FIGURE 2-8 : BOITE PARALLELE.	42
FIGURE 2-9 : FICHE TECHNIQUE DE LA BOITE PARALLELE.	42
FIGURE 2-10 : LOCAL DE L'ONDULEUR CONTIENT 2 ONDULEURS DE 500kW.	42
FIGURE 2-11 : AFFICHEUR DE L'ONDULEUR.	43
FIGURE 2-12 : FICHE TECHNIQUE DE L'ONDULEUR.	43
FIGURE 2-13 : SURVEILLANCE D'UNITE D'ONDULEUR.	43
FIGURE 2-14 : LOCAL DU TRANSFORMATEUR.	44
FIGURE 2-15 : FICHE TECHNIQUE DU TRANSFORMATEUR.	44
FIGURE 2-16 : COTE TRANSFORMATEUR ELEVATEUR.	44
FIGURE 2-17 : COTE CELLULE DE BOUCLE.	45
FIGURE 2-18 : ENTREE DU POSTE D'EVACUATION MT.	46
FIGURE 2-19 : LES ARRIVEES ET LE DEPART DU POSTE D'EVACUATION MT.	46
FIGURE 2-20 : AFFICHEURS DES ARRIVEES.	47
FIGURE 2-21 : OUTILS DE PROTECTION.	47
FIGURE 2-22 : LOCAL DE TRANSFORMATEUR ELEVATEUR 60KV.	48
FIGURE 2-23 : ENTREE DE LA SALLE CONTROLE COMMANDE.	48
FIGURE 2-24 : MICROS DE SURVEILLANCE.	49
FIGURE 2-25 : SCHEMA UNIFILAIRE DE LA CENTRALE DE AIN EL MALH.	49
FIGURE 2-26 : MAQUETTE DE LA CENTRALE.	50
FIGURE 2-27 : SALLE DE COMMANDE.	50
FIGURE 2-28 : STATION METEOROLOGIQUE.	51
FIGURE 2-29 : PYRANOMETRES.	51
FIGURE 2-30 : CAPTEUR D'HUMIDITE EN BAS.	51
FIGURE 2-31 : CAPTEUR DE LA QUANTITE DE PLUIE.	52
FIGURE 2-32 : CAPTEURS DE MESURE EN HAUT.	52
FIGURE 2-33 : CAPTEURS DE TEMPERATURE.	53
FIGURE 2-34 : BATTERIE D'ALIMENTATION DE LA STATION METEOROLOGIQUE.	53
FIGURE 2-35 : SURVEILLANCE STATION METEOROLOGIQUE.	53
FIGURE 2-36 : GROUPE DIESEL.	54
FIGURE 2-37 : BATTERIES STATIONNAIRES.	54
FIGURE 2-38 : TRANSFORMATEUR ABAISSEUR.	55
FIGURE 2-39 : FICHE TECHNIQUE DE TRANSFORMATEUR.	55
FIGURE 2-40 : POTEAU ET KIT DE L'ECLAIRAGE PUBLIC SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE.	55
FIGURE 2-41 : ENTREE DU LOCALE DE POMPE.	56
FIGURE 2-42 : EQUIPEMENTS DE POMPAGE.	57
FIGURE 2-43 : BASE DE DONNEES DE LA JOURNEE 01/04/2021.	58

Chapitre 3

FIGURE 3-1 : SCHEMA BLOC DE FONCTIONNEMENT DU FONCTIONNEMENT GENERAL D'UNE CENTRALE PV.....	61
FIGURE 3-2 : L'ECLAIREMENT EN FONCTION DU TEMPS (11/04/2021).....	62
FIGURE 3-3 : LA PUISSANCE EN FONCTION DU TEMPS (11/04/2021).....	62
FIGURE 3-4 : TEMPERATURE AMBIANTE EN FONCTION DU TEMPS (11/04/2021).....	63
FIGURE 3-5 : LA PUISSANCE EN FONCTION DE L'ECLAIREMENT (11/04/2021).....	63
FIGURE 3-6 : L'ISOLATION DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE (11/04/2021).....	64
FIGURE 3-7 : LA PUISSANCE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE (11/04/2021).....	64
FIGURE 3-8 : PROGRAMME MATLAB DE LA JOURNEE (11/04/2021).....	65
FIGURE 3-9 : LES DIFFERENTES FORMES DE L'ECLAIREMENT.....	66
FIGURE 3-10 : L'ECLAIREMENT, LA TEMPERATURE ET LA PUISSANCE DURANT (AVRIL ET MAI).....	66
FIGURE 3-11 : L'ECLAIREMENT EN FONCTION DU TEMPS (AVRIL ET MAI).....	67
FIGURE 3-12 : LA PUISSANCE EN FONCTION DU TEMPS (AVRIL ET MAI).....	67
FIGURE 3-13 : LA TEMPERATURE AMBIANTE EN FONCTION DU TEMPS (AVRIL ET MAI).....	68
FIGURE 3-14 : LA PUISSANCE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE AMBIANTE (AVRIL ET MAI).....	68
FIGURE 3-15 : LA PUISSANCE EN FONCTION DE L'ECLAIREMENT (AVRIL ET MAI).....	69
FIGURE 3-16 : PROGRAMME MATLAB DES MOIS AVRIL ET MAI.....	70
FIGURE 3-17 : L'ISOLATION DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE (AVRIL ET MAI).....	72
FIGURE 3-18 : <i>Donnees du 1er groupe $G=550 W/m^2$</i>	72
FIGURE 3-19 : <i>Donnees du 2eme groupe $G=710 W/m^2$</i>	73
FIGURE 3-20 : <i>Donnees du 3eme groupe $G=900 W/m^2$</i>	73
FIGURE 3-21 : <i>DONNEES DU 4EME GROUPE $G = 1110 W/m^2$</i>	74
FIGURE 3-22 : VARIATION DES COEFFICIENTS DE L'EQUATIONS DE REGRESSION AVEC L'ECLAIREMENT.....	75
FIGURE 3-23 : TEMPERATURE DES 33 CAS TROUVEES.....	76
FIGURE 3-24 : PUISSANCE DES 33 CAS TROUVEES.....	76
FIGURE 3-25 : PERTES EN PUISSANCE (kW/M^2).....	77
FIGURE 3-26 : PERTE EN PUISSANCES (%)......	77

Liste des tableaux

Chapitre 1

TABLEAU 1-1 : RESSOURCES BIOENERGETIQUES DURABLES EN ALGERIE. [6]	22
---	----

Chapitre 2

TABLEAU 2-1 : DATA SHEETS DU PANNEAU SOLAIRE YINGLI SOLAR YL250P-29B [14].	37
--	----

Chapitre 3

TABLEAU 3-1 : POINTS OU G EST CONSTANT (11/04/2021).	64
TABLEAU 3-2 : ECLAIREMENT MAXIMUM DURANT LES MOIS AVRIL ET MAI	71
TABLEAU 3-3 : PUISSANCE MAXIMALE DURANT LES MOIS AVRIL ET MAI.....	71
TABLEAU 3-4 : DONNEES DES EQUATIONS DE LA REGRESSION LINEAIRE POUR LES 4 GROUPES DE DONNEES.....	74

Introduction Générale

La demande croissante d'énergie dans notre pays et la baisse du prix du pétrole ces dernières années a déclenché la question de notre sécurité énergétique. Il a été donc essentiel de poser la question de la transition énergétique et l'exploitation des ressources énergétique renouvelables dont nous disposons. Ainsi l'Algérie s'est lancée dans un programme national des énergies renouvelables dès 2011. Ce programme vise à augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique en se basant principalement sur le PV connecté au réseau. Ainsi, les centrales PV connectées au réseau sont devenues les meilleures alternatives en matière d'énergie renouvelable à grande échelle. Cependant, l'aspect intermittent de leur production n'est pas sans effet sur le réseau électrique. L'analyse des performances de ces installations connectées au réseau pourrait aider à comprendre et à quantifier cette influence, dans le but de mieux anticiper la production et aussi la planification de déploiement, la conception, l'exploitation et à la maintenance de nouvelles centrales connectés au réseau et même celles existantes.

Le module PV est le premier maillon de la chaîne de conversion PV. Il existe plusieurs facteurs qui conduisent à une diminution de son efficacité et son rendement avec le temps. L'un des facteurs les plus remarquables est la température du site. Il est bien connu que l'augmentation de la température ambiante induit une augmentation de la température de panneau PV et un échauffement des différents équipements de l'installation et ça influe sur le rendement des centrales PV connectées au réseau électrique.

Les caractéristiques d'un module PV sont déterminées dans les conditions standards (STC) pour lesquelles la température du module est égale à 25 °C. À chaque augmentation d'un degré de la température (en degrés Celsius) l'efficacité des modules en silicium cristallin diminue, généralement de l'ordre de 0,5 %. À des températures ambiantes élevées sous forte irradiation, les températures des modules peuvent augmenter sensiblement. Ainsi nous avons remarqué que pour une centrale de 20MWc, une perte égale à 4MWc peut être causé par la température. Ant on sait que le coût d'investissement dans les centrales solaire

est très énorme, une centrale de 1MWc coute plusieurs millions d'euros, il devient logique de vouloir quantifier l'effet des pertes liées à la température pour nos centrales PV connectées au réseau qui sont installées dans des conditions météorologiques extrêmes. Pour quantifier cette influence, les données de la centrale connectée au réseau de M'sila ont été exploitées.

A noter que le présent travail fait complément le travail réalisé pour la modélisation du fonctionnement d'une centrale PV et qui se focalisait sur la relation entre l'éclairement et la puissance fournie par la centrale [1-2].

Le reste du présent mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre intitulé 'les centrales PV en Algérie' présente le contexte de ce travail et la problématique. Ainsi, un aperçu sur les centrales PV connectées au réseau en Algérie est présenté.

Le deuxième chapitre est une présentation de la centrale PV de Ain El Malh et ses constituants. A la fin du chapitre, une description détaillée des données qui sont exploitées pour ce travail est donnée.

Et enfin le troisième chapitre contient l'analyse des données, les résultats obtenus moyennant le logiciel MATLAB ainsi que leur discussion.

Chapitre 1 : Les centrales PV en Algérie

1.1. Introduction :

Le déploiement des centrales PV connectées au réseau électrique a été adopté comme stratégie pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Ainsi, une vingtaine de centrales ont été installées dans le Sud et dans les Hauts plateaux. Une centrale PV a une durée de vie qui avoisine les 30 années et son fonctionnement est très dépendant des conditions de travail à savoir l'éclairement et la température. Pour son bon fonctionnement, les performances d'une centrale PV doivent être analysées et suivies durant toute sa durée de vie.

Dans le présent chapitre, nous présentons le contexte et la problématique.

1.2. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie, à travers son ambitieux programme 2030, place les énergies renouvelables en tête de ses priorités. Le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables permettra à l'Algérie de diversifier son mix énergétique, de protéger l'environnement et de lutter contre le changement climatique.

En tant que plus grand pays d'Afrique, du monde arabe et du bassin méditerranéen, et grâce à sa position géographique stratégique et à ses terres diversifiées (littoral, hauts plateaux et Sahara), l'Algérie possède l'une des plus grandes ressources d'énergie renouvelable au monde, allant de l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la géothermie à la bioénergie [3].

Le développement des énergies renouvelables en Algérie s'opère dans de nombreux secteurs. Son déploiement à grande échelle s'appuie sur l'énorme potentiel de ses ressources solaires, éoliennes, géothermiques et bioénergétiques. Le potentiel d'énergie solaire en Algérie est parmi les plus importants au monde avec une durée solaire annuelle moyenne

dépassant 2500 heures par an et un rayonnement solaire moyen de l'ordre de 3000 kilo-Watt-heure par mètre carré par an. Le potentiel éolien disponible est également appréciable avec l'existence de nombreux sites caractérisés par une vitesse moyenne des vents supérieure à 5 m/s. De même, l'Algérie possède plusieurs ressources géothermiques dont les températures dépassent 90°C. La transformation des déchets en énergie offre également des opportunités importantes pour la production d'énergie en Algérie [4].

1.2.1. L'énergie solaire :

L'Algérie, avec une superficie de 2 381 741 de Km², possède un gisement solaire important.

Au cours de sa traversée de l'atmosphère, la radiation solaire est diffusée, absorbée et réfléchiée par les molécules atmosphériques (CO₂, O₃, H₂O, etc.), les aérosols naturels ou dus à l'activité humaine et les différents types de nuages qui se forment selon la saison de l'année. Par conséquent, la radiation solaire globale reçue sur un plan horizontal peut être divisée en deux composantes (directe et diffuse).

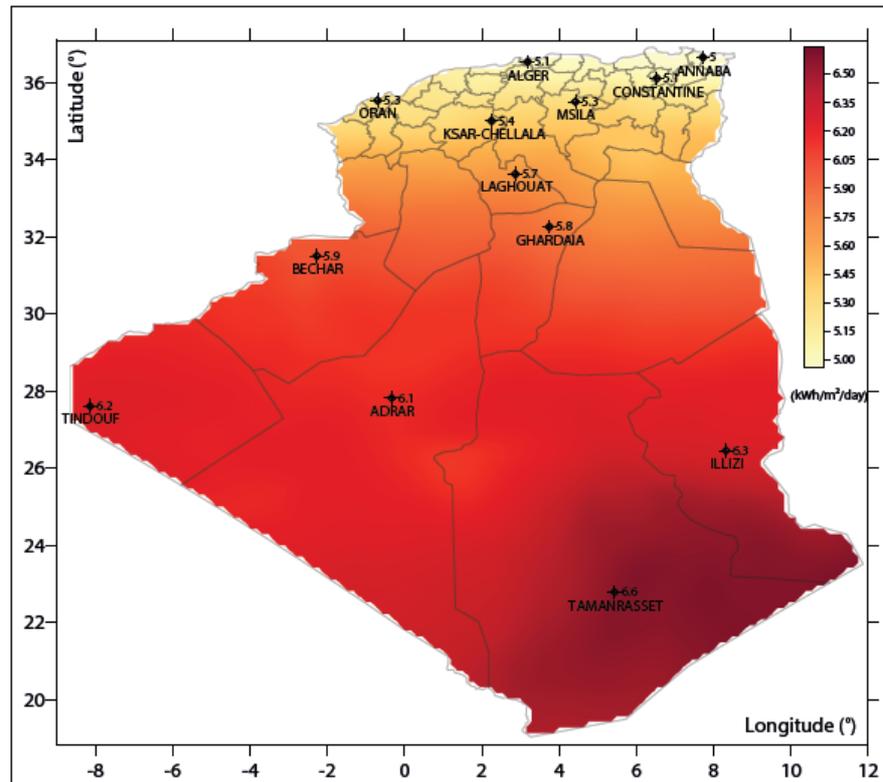


Figure 1-1 : Carte de l'irradiation solaire globale horizontale.

1.2.2. L'énergie éolienne :

La carte éolienne présentée ci-dessous, représente la distribution de la vitesse moyenne du vent (en m/s) sur le territoire algérien à 10 et 80 m de hauteur.

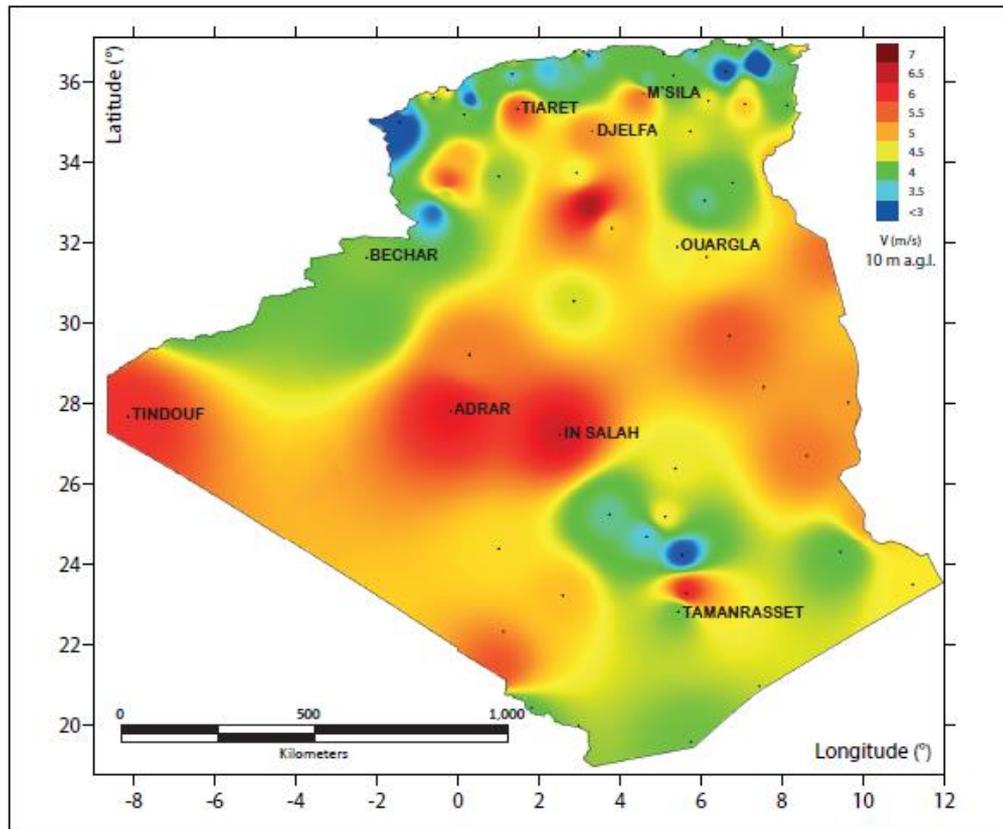


Figure 1-2 : Cartographie de la vitesse moyenne du vent.

- **La ferme éolienne de Kabertène :**

Ce projet représente le fruit d'un partenariat algéro-français, premier du genre à échelle nationale. Dotée d'une douzaine d'éoliennes, installées sur la base d'études techniques et de terrain, cette centrale assure une production alternative propre et renouvelable de 10 MW d'électricité, intégrée au réseau électrique pour le renforcement des capacités d'alimentation en énergie de la wilaya d'Adrar.

Cette ferme éolienne vient renforcer huit autres stations implantées à travers le territoire de la wilaya d'Adrar en vue d'atteindre une production énergétique de 50 MW [5].



Figure 1-3 : Ferme éolienne de Kabertène ADRAR.

1.2.3. Energie géothermique :

L'Algérie, avec plus de 240 sources thermales, a un fort potentiel en ressources énergétiques d'origine géothermale. Les principales ressources géothermales sont classées en fonction de la température.

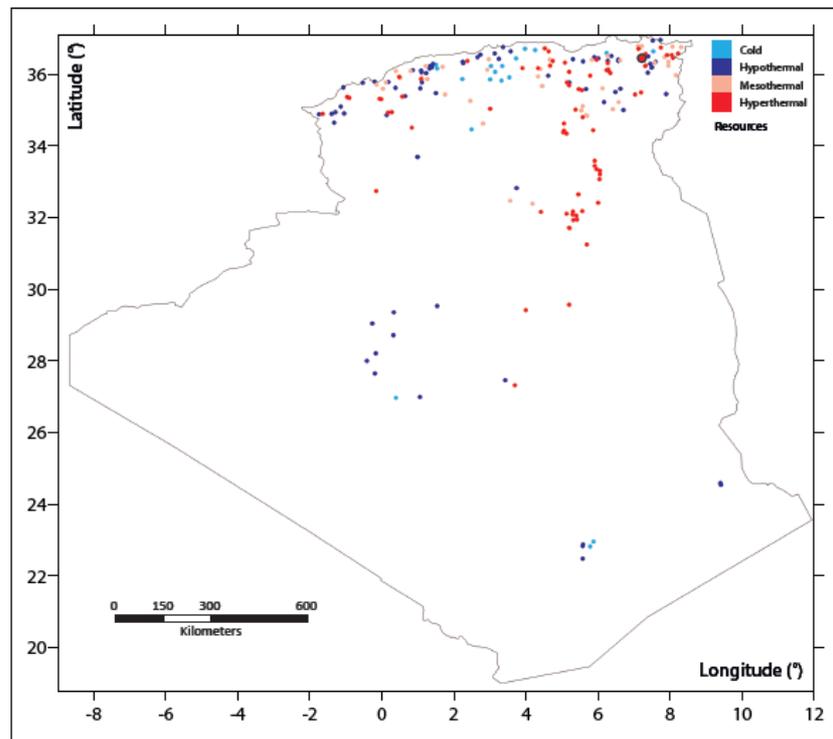


Figure 1-4 : Carte de température des ressources géothermales.

La plus renommée de ces ressources est la source thermale de Hammam Debagh (Ex-Hammam Meskhoutine). Elle est classée parmi les sources thermales les plus chaudes au monde, sa température d'eau à l'émergence est de 98°C.



Figure 1-5 : Cascade d'Algérie Hammam Debagh (Ex-Hammam Meskhoutine), GUELMA.

1.2.4. Énergie biomasse :

La bioénergie consiste à convertir une matière première sous forme de biomasse ou de déchets en une énergie (chaleur, électricité, carburant). Il existe quatre grands modes de conversion : thermique, thermochimique, chimique et biochimique. La biomasse utilisée dans ces procédés peut être issue d'une multitude de sources renouvelables : lignocellulosique, déchets agroalimentaires, boues des stations d'épuration, déchets municipaux.

Le tableau ci-dessous met en évidence l'importance et la diversité du potentiel de la bioénergie en Algérie. En considérant uniquement les ressources présentées ici, il est possible d'atteindre une production de l'électricité supérieure à 1900 GWh grâce à la valorisation énergétique des déchets. Sachant que la consommation annuelle moyenne d'électricité par habitant en Algérie est d'environ 1236 kWh (IEA, 2016), le potentiel

présenté pourrait couvrir les besoins en électricité de plus d'un million et demi d'habitants (Akbi et al. 2017).

Tableau 1-1 : Ressources bioénergétiques durables en Algérie. [6]

Ressources	Potentiel annuel de biogaz (Millions de m3)	Potentiel de production d'électricité (GWh)
Déchets urbains :		
- Fraction organique des déchets ménagers	974	1646
- Eaux usées des stations d'épuration	22.91	38.72
Déchets de l'industrie des olives		
- marc d'olive	-	215.5
- Eaux végétales	10.5	17.74
- Lactosérum de l'industrie laitière	2.35	3.97
Total	1009.76	1921.93

1.3. Les centrales PV connectées au réseau électrique :

Une centrale solaire PV connectée au réseau est une grande installation PV dont l'énergie électrique produite est injectée au réseau électrique. Une méga centrale PV connectée au réseau, que nous appellerons dans ce mémoire centrale PV, est une centrale dont la capacité installée dépasse le 1 MWc. Les principaux constituants d'une centrale PV, comme illustré par la Figure (1-6). [7]

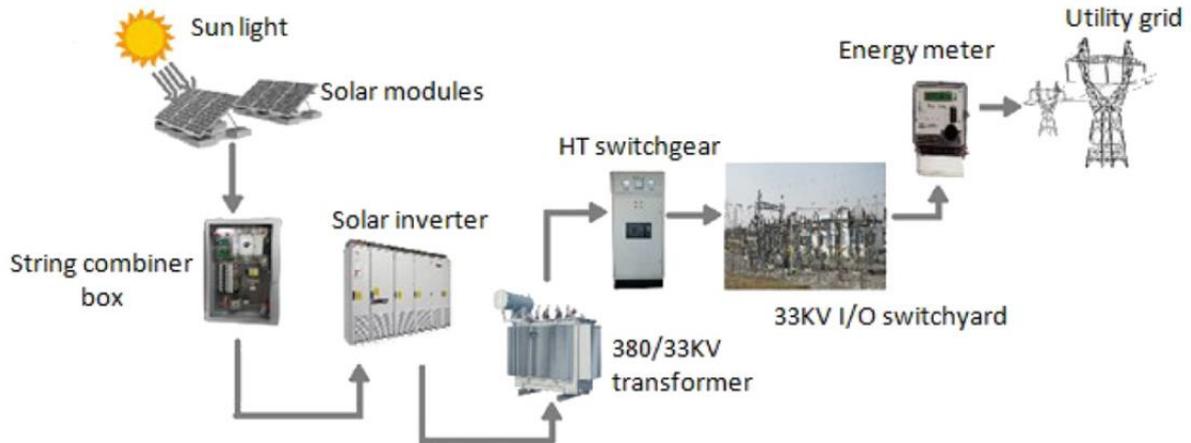


Figure 1-6 : Schéma de principe de la centrale solaire NTPC (National thermal power corporation 10 MW). [8]

1.3.1. Le générateur PV :

Le générateur PV (GPV) est la partie chargée de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Il est constitué de modules PV associés en séries pour former des strings. Ces strings sont ensuite connectés entre elles pour avoir la tension souhaitée pour attaquer l'étage suivant. Le GPV est constitué généralement de :

Modules PV :

Le module PV, composant élémentaire du GPV est caractérisé par plusieurs paramètres qui sont affichés sur une étiquette qui se trouve à sa face arrière.

Structure porteuse :

Les structures supportent la charge du poids des modules et, selon l'inclinaison, une surcharge de vent, neige et salissure. Il existe des structures modulaires, conçues spécialement pour les centrales solaires au sol. Elles sont généralement fabriquées à base d'aluminium ou d'acier traité contre la corrosion avec des périodes de garantie sur tout le système de construction. Une garde au sol d'un minimum de 0,8 m permet de faciliter l'entretien du site et à la petite faune de circuler librement. Cette garde au sol permet également de laisser passer la lumière du soleil sous les modules. Cette lumière diffuse arrive au niveau du sol et permet à la végétation de se développer.



Figure 1-7 : Exemples de structures porteuses.

1.3.2. Boîtes de raccordement :

En électricité, une boîte de raccordement ou boîte de dérivation, est un boîtier électrique située en aval d'un tableau électrique. Elle est située au plus près des installations sur le terrain et permet de centraliser les départs vers les différents appareils électriques.

Cette boîte de raccordement doit être mise à la terre (si elle est en métal) pour éviter les risques d'électrisation en cas de défaillance. On doit aussi mettre un couvercle pour éviter de toucher les conducteurs accidentellement. Les connexions sont réalisées avec des capuchons de connexion ou avec des borniers. Les fils qui entrent dans la boîte peuvent être dans des câbles ou dans des conduites. On les fixe à la boîte avec des connecteurs.



Figure 1-8 : Boîtes de raccordement.

1.3.3. Câblage

Une installation PV comprend plusieurs types de câbles en fonction des contraintes électriques ou extérieure. Le câblage entre les modules PV et l'onduleur intègre une connectique particulière pour éviter les risques de chocs électriques pendant l'installation.

Une connectique débranchable spécifique au PV est utilisée sur la partie courant continu (modules PV, boîtes de jonctions, coffret DC, onduleurs) pour faciliter l'installation et réduire les risques de chocs électriques. L'installation de ces connecteurs sont obligatoires lorsque la tension V_{oc} max entre chaque module PV et à l'extrémité de chaque chaîne PV est supérieure à 60V. Dans la pratique, des connecteurs appelés MC3 et MC4 sont utilisés [7].



Figure 1-9 : Câble PV modèle MC.

Les câbles reliant les modules au coffret de protection courant continu sont spécifiques au PV et ses contraintes. Les câbles utilisés sont communément appelés câble PV. Ce sont des câbles mono conducteurs en cuivre ou en aluminium d'isolement. Ces câbles doivent respecter certaines caractéristiques telles que l'isolation de type C2 non propagateur de la flamme, température admissible sur l'âme d'au moins 90°C en régime permanent, stabilité aux UV répondant, tension assignée du câble (U0/U) compatible avec la tension maximum UCOMAX.



Figure 1-10 : Câble PV.

1.3.4. Système de protection :

Une protection courant-continue est exigée en amont de l'onduleur. Il est donc placé entre le GPV et l'onduleur. Il comporte au minimum un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale

1.3.5. L'onduleur :

L'onduleur réseau est un convertisseur électrique permettant de transformer le courant électrique continu du GPV en courant alternatif compatible avec le réseau électrique national. Dans le cas d'un raccordement au réseau, l'onduleur doit intégrer un système de découplage au réseau. Dans le cas échéant, un système de découplage externe doit être installé. Plusieurs types d'onduleurs existent. Le choix d'un type dépend de la topologie de la centrale, ainsi on trouve [7] :

Le micro-onduleur :

Qui se branche à un ou deux modules selon les modèles. Il permet une gestion personnalisée et précise de la puissance de chaque module. Il est généralement utilisé pour les installations de 100 Wc à 10 kWc. Son utilisation est avantageuse dans le cas où le générateur PV subit de forts ombrages ou des orientations multiples. L'ensemble des micro-onduleurs sont ensuite reliés entre eux au niveau du coffret de protection électrique AC avant l'injection du courant alternatif sur le réseau.

Onduleur string :

L'onduleur string se connecte à un ensemble de modules branchés en série appelé string (en général par série d'une dizaine). L'onduleur peut avoir plusieurs entrées et donc se connecter à plusieurs dizaines de modules. Il permet la gestion indépendante de la puissance de chaque string. Chaque générateur PV peut comporter plusieurs onduleurs strings. Ainsi, Il est généralement utilisé pour les installations de 1kWc à 100kWc.

Onduleur central :

L'onduleur central se connecte à plusieurs centaines de modules en série. De la faite de cette solution centralisée, le coût aux Wc de l'installation est réduit et la maintenance est facilitée grâce à des moyens de supervision adaptés. Aussi, dans le cas de grosse centrale PV, la gestion du réseau est simplifiée. L'onduleur central est généralement utilisé pour les installations supérieures à 100kWc.



Figure 1-11 : Les différents types d'onduleurs.

1.3.6. Le transformateur :

Un transformateur électrique (parfois abrégé en « transfo ») est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement [7].



Figure 1-12 : Transformateur de la centrale PV de Djelfa.

1.3.7. Le compteur

Dans le cas d'une installation PV reliée au réseau avec injection totale, le gestionnaire du réseau installe deux compteurs d'énergie. Un pour mesurer la production d'électricité et un autre pour mesurer la consommation des appareils électriques de l'installation PV, notamment les onduleurs.



Figure 1-13 : Compteur de l'énergie électrique.

1.3.8. La station de mesure

Les champs PV nécessitent l'installation d'une ou plusieurs centrales météorologiques pour le suivi des paramètres environnementaux qui peuvent influencer la production électrique. Plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre pour répondre au mieux et toujours dans le respect des normes IEC.

La norme IEC 61724 préconise l'enregistrement de plusieurs paramètres météorologiques en précisant l'intervalle d'enregistrement et fournit des recommandations sur le positionnement des capteurs. De ces grandeurs physiques collectées découlent ensuite des données élaborées.

Les stations mesurent généralement les paramètres environnementaux suivants : la température de l'air, l'humidité relative, la pression atmosphérique, les précipitations, la vitesse et la direction du vent, l'enneigement et les radiations solaires. Ces données sont très utiles [8].



Figure 1-14 : Station de mesure météorologique.

1.4. Les centrales PV connectées au réseau électrique en Algérie :

1.4.1. Présentation de SKTM :

Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida, SKTM. SPA, est une société de production d'électricité, dont le capital est souscrit entièrement par la holding Sonelgaz. Créée le 07 avril 2013, par scission de la société SPE, son siège social est basé à Ghardaia.

La société est née dans un contexte de prise de conscience généralisée des incertitudes énergétiques et de la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique, un recours massif à l'énergie solaire sous toutes ses formes, directes (PV, thermique) ou indirectes (éolien, biomasse) doit s'imposer comme une priorité, une évidence.

En plus des enjeux liés au réchauffement climatique, l'épuisement des ressources énergétiques traditionnelles, le pétrole, le gaz naturel entre autres, le recours aux énergies propres, n'est plus une question de choix mais beaucoup plus une question de devenir des nations. D'autant plus que l'Algérie jouit d'un potentiel solaire des plus importants de par le monde, et d'un potentiel éolien également non négligeable, ajoutés à l'étendue de son territoire, lui permettant d'implanter les ouvrages de production d'électricité par les procédés renouvelables sans encombre. [10]

1.4.2. Les sites des centrales PV en Algérie :

La société SKTM a placé des contrats de réalisation de 23 centrales en filière PV, technique fixe poly cristalline, à l'entame de l'année 2014, après un appel à manifestation d'intérêt international ayant touché une trentaine de leaders mondiaux dans la filière PV avec les opérateurs chinois, Groupement YINGLI SOLAR/SINO HYDRO/CNTIC.

Sur l'ensemble des centrales lancées, dix-neuf (19) centrales sont déjà mises en service et injectent sur les réseaux 30KV et 60KV, totalisant une puissance installée de 268MWc. La première centrale mise en service est celle de Djanet, le 19 février 2015, d'une puissance de 03MWc. Cinq (05) centrales totalisant une puissance de 48MWc ont été raccordées au réseau durant l'année 2015, à savoir Djanet, Adrar, Kabertène, Tindouf et Tamanrasset. L'année 2016 a été marquée par le raccordement de quatorze (14) centrales totalisant une puissance de 220MWc, lesquelles : Timimoune, Aoulef, Reggane, In Salah,

Zouyet Kounta, El Bayodh, Naâma, Sidi Belabes, Saida, Ouargla, M'sila, Souk Ahras, Djalfa (1) et Laghouat (1) [9].

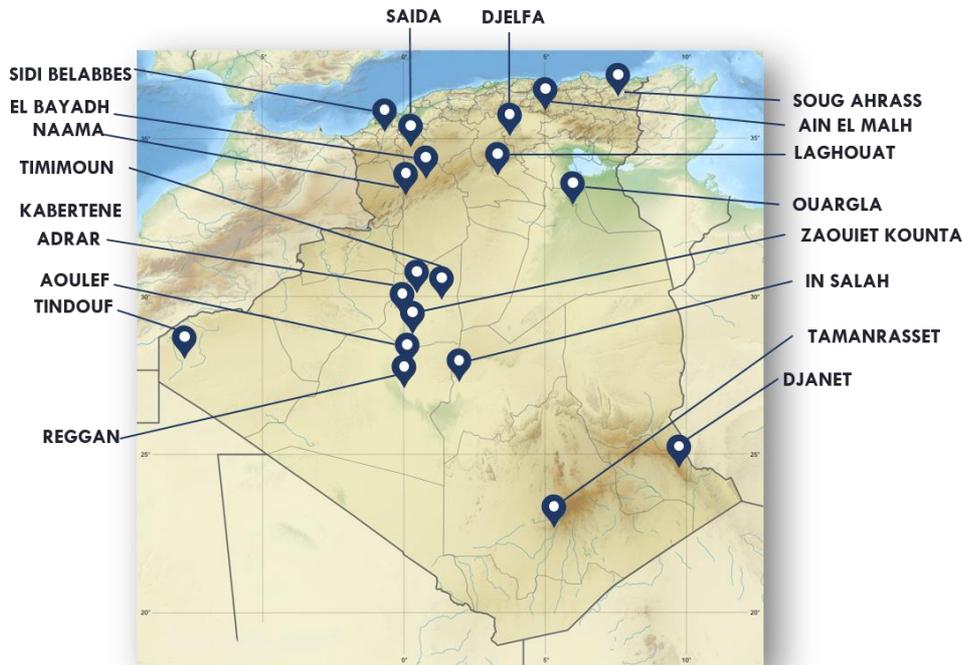


Figure 1-15 : Emplacement des centrales sur la carte géographique de l'Algérie.

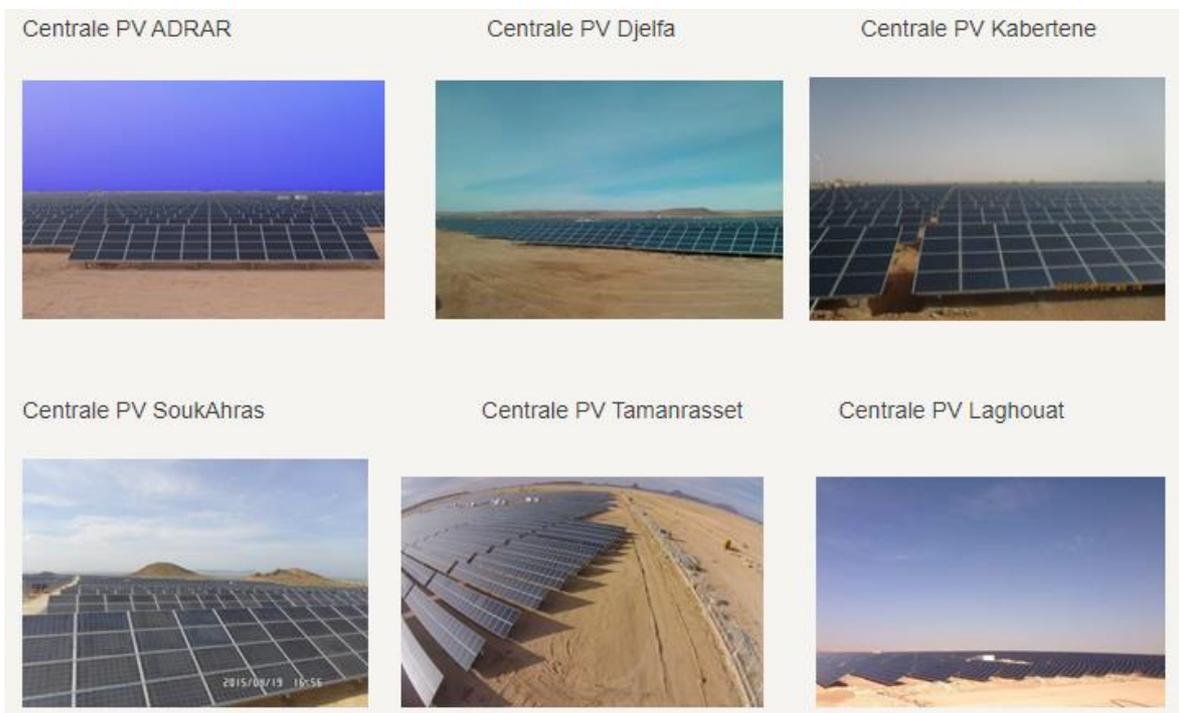


Figure 1-16 : Photos de quelque centrale de SKTM.

1.5. L'impact des facteurs climatique (Température, ensoleillement) sur la puissance des cellules PV :

Un modèle mathématique a été développé sous Matlab et simulé pour deux effets : diverses variables de l'éclairement et de la température. Les résultats de simulation montrent que la production de l'énergie augmente avec l'augmentation de l'irradiation alors que l'augmentation de la température diminue la puissance et le courant.

1.5.1. Modélisation du Générateur PV :

Le modèle généralisé d'une Cellule PV se constitue d'une diode connectée en parallèle avec un générateur de courant auxquels en ajoute une résistance série et une résistance shunt pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule. [15]

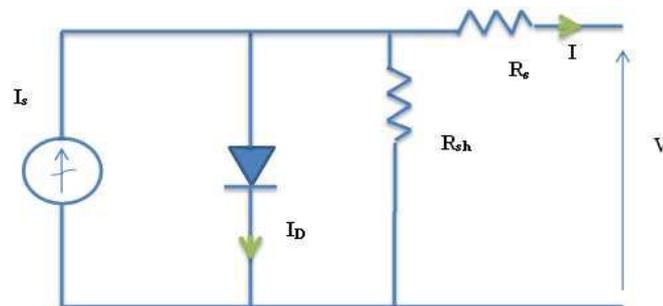


Figure 1-17 : Modèle général d'une cellule PV.

Pour atteindre certaines valeurs de courant et/ou de tension, un nombre N_s des cellules sont mises en série et N_p sont reliées en parallèle. La combinaison des N_s et N_p cellules constituent un panneau solaire. Un panneau solaire peut être représenté comme montre la figure (1-18). [16]

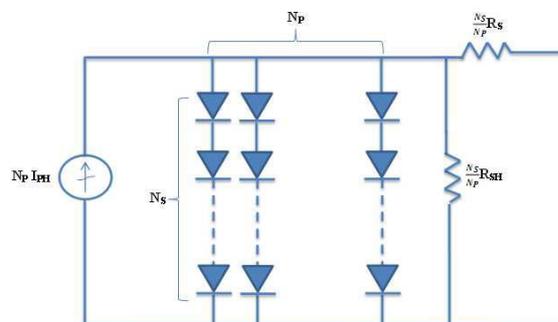


Figure 1-18 : Modèle d'un panneau solaire à N_s cellules séries et N_p cellules parallèles.

Par conséquent les équations mathématiques décrivent ce système sont :

$$I = N_p \cdot I_{PH} - N_p \cdot I_S \left[\exp \left(\frac{q}{k \cdot T_C \cdot A} \cdot \left(\frac{V}{N_S} + \frac{I \cdot R_S}{N_P} \right) \right) - 1 \right] - \frac{1}{R_{SH}} \cdot \left(\frac{N_P \cdot V}{N_S} + I \cdot R_S \right) \quad (1.1)$$

Avec :

$$I_{PH} = [I_{SC} + K_1(T_C - T_{Ref}) \cdot \lambda] \quad (1.2)$$

$$I_S = I_{RS} \left(\frac{T_C}{T_{Ref}} \right)^3 \cdot \exp \left[\frac{q \cdot E_G}{k \cdot A} \left(\frac{1}{T_{Ref}} - \frac{1}{T_C} \right) \right] \quad (1.3)$$

$$I_{RS} = \frac{I_{SC}}{\exp \left(\frac{q \cdot V_{OC}}{N_S \cdot k \cdot A \cdot T_C} \right) - 1} \quad (1.4)$$

I_{PH} : Photocourant.

I_S : Courant de saturation de la cellule.

Q : Charge d'électron, $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

k : Constante de Boltzmann, $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.

T_C : Température de fonctionnement de la cellule.

R_{SH} : Résistance shunt, $R_{SH} = 5 \times 10^5 \Omega$.

R_S : Résistance série, $R_S = 5 \times 10^{-5} \Omega$.

I_{SC} : Courant de court-circuit de la cellule à 25°C, 1 kW/m²

V_{OC} : Tension à circuit ouvert.

K_1 : Coefficient de température du courant de court-circuit.

T_{Ref} : Température de référence de la cellule.

λ : irradiation solaire en kW/m².

I_{RS} : Courant de saturation inverse de la cellule.

E_G : Energie de gap pour le silicium cristallin (1.12 eV).

N_P : Nombre de cellules parallèles =2

N_S : Nombre de cellules en série=40

1.5.2. Effet de la température :

Pour voir l'impact de la température, une simulation est faite dans laquelle ils ont maintenu un éclairement constant soit 100w/m² pour plusieurs valeurs de température soit (0°C, 25°C, 50°C, 75°C 100°C). [17]

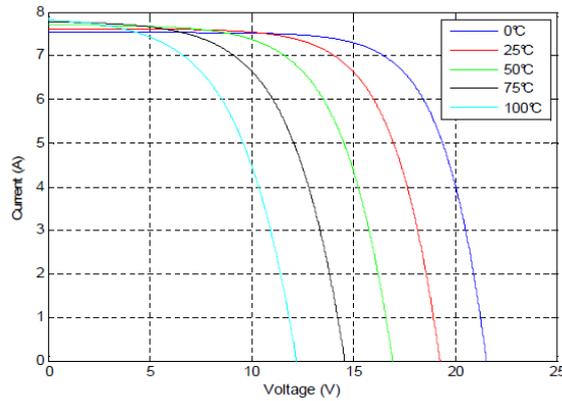


Figure 1-19 : Effet de la température sur la caractéristique I-V.

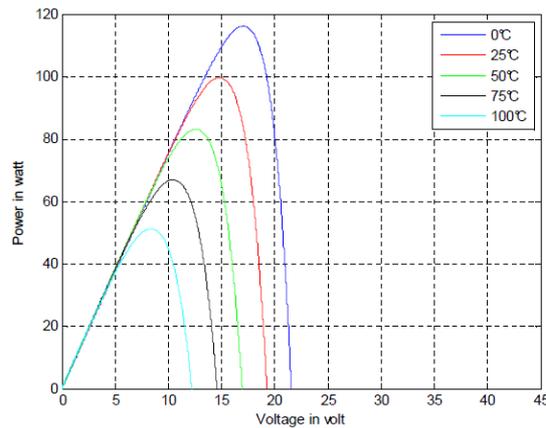


Figure 1-20 : Effet de la température sur la caractéristique P-V.

La figure (1-19) et la figure (1-20) montrent l'évolution des caractéristiques I-V et P-V en fonction de la température. Le courant de court-circuit augmente lorsque la température s'élève et engendre une décroissance moins prononcée de la tension de circuit ouvert, ainsi que la réduction de puissance en élevant la température.

1.5.3. Effet de l'ensoleillement

Contrairement au cas précédent, on a maintenu une température constante de 25°C pour différents éclairements (0W/m², 100W/m², 200W/m², 300W/m², 400W/m², 500W/m², 600W/m², 700W /m², 800W/m², 900W/m², 1000W/m²). [17]

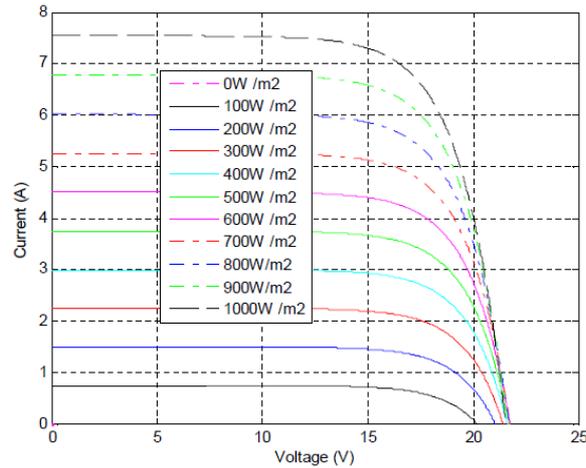


Figure 1-21 : Impact de l'ensoleillement sur la caractéristique IV.

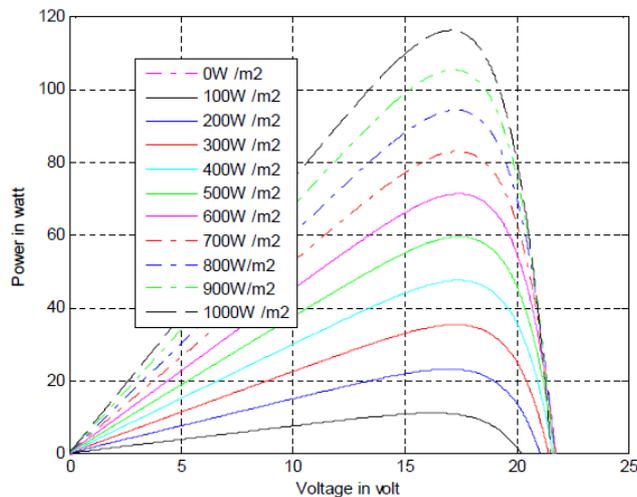


Figure 1-22 : Impact de l'ensoleillement sur la caractéristique PV.

La caractéristique I-V montre une variation constante du courant suivi d'une diminution brutale en dépassant une tension seuil. Ce qui résulte une augmentation nette de la puissance.

1.6. Problématique :

La température joue un rôle central dans le processus de conversion PV, en raison d'une augmentation de la température de fonctionnement supérieure à 25 °C à un effet négatif sur l'efficacité électrique des modules PV. En effet, parmi les propriétés électriques du module PV figurent les coefficients de température qui servent à quantifier les pertes en puissance en fonction de l'augmentation de la température. Un travail de modélisation a été déjà fait pour modéliser le fonctionnement d'une centrale PV [1,2]. Cependant l'accent a été mis sur la relation entre l'éclairement et la puissance.

La question qui se pose est comment intégrer l'effet de la température dans ce modèle pour affiner le modèle.

1.7. L'impact des facteurs climatique (Température, ensoleillement) sur la puissance des centrales PV :

Dans une centrale PV L'irradiance solaire absorbée par les modules solaires est convertie en puissance utile. La puissance de sortie varie en fonction de l'ensoleillement et de la température ambiante.

Une étude est faite sur une centrale solaire PV de 10 Mwc en Inde présente un résultat journalier typique illustré à la figure (1-23) pour comprendre l'effet de l'éclairement et de la température sur la puissance de sortie du système.[9]

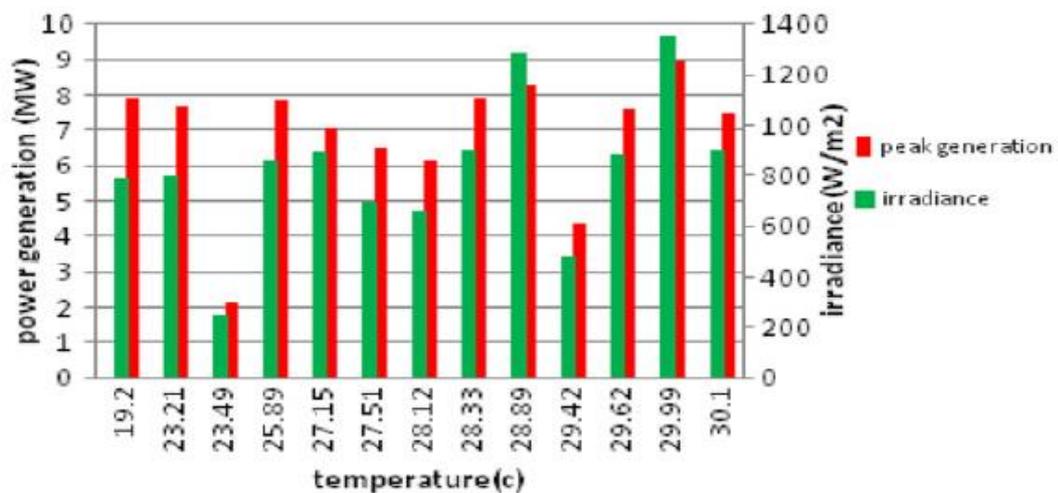


Figure 1-23 : Effet de l'éclairement et de la température sur la puissance de sortie de la centrale de 10Mw en Inde.

Au fur et à mesure que la température augmente, la puissance de sortie diminue jusqu'à un certain point, même s'il y a une bonne quantité de rayonnement. De plus, avec l'augmentation de la température, la production d'électricité diminue légèrement même lorsque l'irradiance solaire est constante. La tendance peut être clairement observé sur la figure (1-23).

1.8. Conclusion :

Ce chapitre a été pour nous l'occasion de rappeler quelques notions générales sur les énergies renouvelables et les centrales PV. Le sujet étant très vaste, nous nous sommes donc limités aux notions ayant un lien direct avec notre objet de mémoire. Ceci dans le but de faciliter la compréhension du chapitre suivant qui est une présentation de la centrale de Ain El Malh et une description des données utilisées pour la modélisation de l'effet de la température sur le rendement de la centrale.

Chapitre 2 : Description de la centrale PV de Ain El Malh M'sila

2.1. Introduction :

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme du Master, nous avons effectué un stage de courte durée dans la centrale photovoltaïque de Ain El Malh, M'sila.

Ce chapitre sera une présentation de cette centrale, et à la fin une description des données que nous avons exploitées pour faire notre étude.

2.2. Présentation de la centrale :

La centrale PV d'Ain El Malh est une centrale de production d'électricité à partir des panneaux solaires photovoltaïques d'une capacité globale de 20MWc et d'une superficie de 40 hectares. Elle est composée de 20 sous-champs chaque un produit 1MWc.

Chaque sous-champ est composé de :

- 4004 panneaux en silicium poly cristallin 250Wc.
- 91 matrices (une matrice contient 44 panneaux, chaque 22 panneaux sont raccordés en série).
- 1 onduleur de 1MW.
- 1 transformateur élévateur.
- 24 boîtes de jonction.
- 8 boîtes parallèles.



Figure 2-1 : Vu de ciel de la centrale de Ain El Malh prise par Drone.

2.2.1. Panneaux solaires :

- Les panneaux utilisés dans la centrale sont de marque YINGLI SOLAR YL250P-29b de technologie poly cristallin.
- Le panneau est composé de 60 cellules en silicium avec une surface de verre, matériels d'EVA en dos, cadre en aluminium et boîte de jonction.



Figure 2-2 : Vu arrière du panneau solaire YINGLI SOLAR YL250P-29b.



Figure 2-3 : Vu avant du panneau solaire YINGLI SOLAR YL250P-29b.

YINGLI SOLAR
Power Your Life

YINGLI ENERGY (CHINA) CO., LTD
NO. 3399 CHAOYANG NORTH ROAD
BAODING, HEBEI 071051 CHINA
TEL : +86 (312) 892 9801
FAX : +86 (312) 892 9800
yinglisolar.com

Le module Photovoltaïque est mesuré à un spectre solaire AM1.5G,
une irradiance 1000W/m² et une température cellule de 25°C

Type de module :	YL250P-29b	Classe d'application :	A
Puissance mesurée :	250.0 W(0/+5W)		
Tension mesurée :	29.8 V	Tension à circuit ouvert :	37.6 V
Courant mesuré :	8.39 A	Courant de court-circuit :	8.92 A
Fusible série Max. :	15 A	Tension système max. :	1000 V

Veuillez trouver le numéro de série sur la face avant du module
Classe de résistance au feu : Classe C

 **Attention ! Danger électrique**
Ne pas connecter ou déconnecter quand le module est en service

Veuillez lire le Manuel d'Installation et de l'Utilisateur avant installation, utilisation ou mise en service.

Fabriqué en Chine

 شركة كهرباء و طاقات متجددة
Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida

Figure 2-4 : Fiche technique du panneau solaire YINGLI SOLAR YL250P-29b.

Tableau 2-1 : Data Sheets du panneau solaire YINGLI SOLAR YL250P-29b. [14]

DC Electrical Characteristics	
STC Power Rating	250W
PTC Power Rating	226.2W
STC Power per unit of area	153.0W/m ² (14.2W/ft ²)
Peak Efficiency	15.3%
Power Tolerances	0%/+2%
Number of Cells	60
Nominal Voltage	Not applicable
Imp	8.24A
Vmp	30.4V
Isc	8.79A
Voc	38.4V
NOCT	46°C
Temp. Coefficient of Isc	0.06%/K
Temp. Coefficient of Power	-0.45%/K
Temp. Coefficient of Voltage	-0.127V/K
Series Fuse Rating	15A
Maximum System Voltage	600V

2.2.2. Boîtes de raccordement :

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

Les boîtes de raccordement doivent satisfaire les fonctions et les exigences qui suivent :

- 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.

Botes de jonction :

Elle contient 8 entrés plus, 8 entrés moins, un grand plus et un grand moins à la sortie.



Figure 2-5 : Boîte de jonction



Figure 2-6 : Fiche technique de la boîte de jonction

Surveillance paramètres analogique des boîtes de jonction1

← → 中文 →

NO	Description	Unité	1A-1-1	1A-1-2	1A-1-3	1A-2-1	1A-2-2	1A-2-3	1A-3-1	1A-3-2	1A-3-3	1B-2-2	1B-2-1	1B-1-2
1	Nombre maxi de circuits		8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
2	Tension du bus DC	V	627.90	627.70	631.50	627.30	628.40	627.20	626.90	625.10	625.80	631.80	619.40	628.10
3	Température à l'intérieur d'armoire	°C	19.90	19.80	22.80	19.80	19.90	19.80	20.00	20.00	20.00	23.90	24.10	24.00
4	Courant maxi	A	7.27	7.16	7.02	7.11	6.84	7.11	7.37	7.15	7.23	6.94	7.08	7.13
5	Courant moyen	A	7.99	7.07	6.91	6.96	6.78	6.98	7.20	7.01	7.06	6.82	7.02	6.93
6	Courant circuit 1	A	6.96	7.04	6.75	6.96	6.77	6.97	7.15	6.84	6.96	6.85	6.96	7.01
7	Courant circuit 2	A	6.94	7.08	6.85	6.97	6.84	6.98	7.23	6.99	6.96	6.94	7.04	7.13
8	Courant circuit 3	A	7.11	7.08	6.94	7.04	6.82	7.04	7.23	6.97	6.96	6.85	7.02	6.90
9	Courant circuit 4	A	7.18	7.13	6.96	7.11	6.77	7.11	7.13	7.09	7.06	6.77	6.97	6.99
10	Courant circuit 5	A	7.11	7.16	6.94	6.82	6.71	6.82	7.16	6.92	7.02	6.87	7.06	6.80
11	Courant circuit 6	A	7.27	7.16	7.02	6.87	6.84	6.92	7.13	7.01	7.02	6.90	6.99	6.80
12	Courant circuit 7	A	7.04	6.97	0.00	6.96	6.75	6.97	7.20	7.15	7.16	6.75	7.08	6.90
13	Courant circuit 8	A	7.13	6.96	0.00	6.96	6.77	7.02	7.37	7.13	7.23	6.65	7.01	6.89
14	Courant totale	A	56.70	56.60	41.50	55.70	54.30	56.80	57.60	56.10	56.40	54.60	56.10	55.40
15	Puissance DC totale	W	35649	35645	26201	34956	34119	35059	36132	35095	35301	34512	34795	34838
16	Puissance DC 1	W	4371.00	4424.00	4285.00	4367.00	4255.00	4377.00	4483.00	4277.00	4356.00	4333.00	4312.00	4405.00
17	Puissance DC 2	W	4380.00	4446.00	4331.00	4378.00	4299.00	4388.00	4537.00	4372.00	4356.00	4387.00	4385.00	4480.00
18	Puissance DC 3	W	4488.00	4446.00	4385.00	4421.00	4288.00	4420.00	4537.00	4363.00	4356.00	4333.00	4395.00	4340.00
19	Puissance DC 4	W	4512.00	4478.00	4396.00	4484.00	4255.00	4483.00	4472.00	4438.00	4421.00	4279.00	4323.00	4394.00
20	Puissance DC 5	W	4468.00	4500.00	4385.00	4281.00	4223.00	4280.00	4493.00	4330.00	4399.00	4344.00	4376.00	4275.00
21	Puissance DC 6	W	4566.00	4500.00	4439.00	4313.00	4299.00	4345.00	4472.00	4384.00	4399.00	4366.00	4333.00	4275.00
22	Puissance DC 7	W	4425.00	4381.00	0.00	4367.00	4245.00	4377.00	4515.00	4470.00	4485.00	4268.00	4387.00	4340.00
23	Puissance DC 8	W	4479.00	4370.00	0.00	4367.00	4255.00	4409.00	4623.00	4460.00	4529.00	4202.00	4344.00	4329.00

Figure 2-7 : Surveillance des boîtes de jonctions.

Boîte parallèle :

Elle contient 3 entrés plus, 3 entrés moins, un grand plus et un grand moins à la sortie.



Figure 2-8 : Boîte parallèle.



Figure 2-9 : Fiche technique de la boîte parallèle.

2.2.3. Convertisseur (Onduleur) :

- Local de convertisseur inclut 2 onduleurs de 500kW. Afin de faciliter l'entretien, la persienne contre-poussière est disposée sous le local.
- L'onduleur démarre uniquement si les conditions suivantes entre le réseau et l'onduleur sont établis :
 - La même tension.
 - La même fréquence.
 - Le même champ tournant.



Figure 2-10 : Local de l'onduleur contient 2 onduleurs de 500kW.



Figure 2-11 : Afficheur de l'onduleur



Figure 2-12 : Fiche technique de l'onduleur.



Figure 2-13 : Surveillance d'unité d'onduleur.

2.2.4. Transformateur élévateur :

- Local de transformateur en cabine, l'avant est un transformateur élévateur, l'arrière est une cellule de boucle et de distribution.
- C'est une petite surface, facilite l'installation et la préfabrication dans l'usine.



Figure 2-14 : Local du transformateur.



Figure 2-15 : Fiche technique du transformateur.

Le transformateur :

C'est un élévateur de tension du 315V jusqu'à 31.5kV.



Figure 2-16 : Coté transformateur élévateur.

La Cellule de boucle :

La cellule S a f e 36 est un système étanche cachant tous les éléments électriques et les disjoncteurs dans une armoire inoxydable. Une méthode d'isolation en gaz SF6 est utilisée pour diminuer le volume. L'ensemble du dispositif est isolé de l'extérieur assurant la stabilité des équipements et la sécurité de l'exploitation.



Figure 2-17 : Coté cellule de boucle.

2.2.5. Poste d'évacuation MT :

Appelé aussi poste d'injection. C'est une chambre qui contient 4 arrivées et 1 départ, elle fait le raccordement. Elle est équipée d'un dernier modèle CBGS-0 de SCHNEIDER en gaz SF6 avec un bon niveau de sécurité et petite surface. Le dispositif est équipé de protection SPEAM40 pour assurer la sécurité des équipements électriques. Le dispositif de la mesure et contrôle assure le comptage de la production d'électricité.



Figure 2-18 : Entrée du Poste d'évacuation MT.



Figure 2-19 : Les arrivées et le départ du poste d'évacuation MT.



Figure 2-20 : Afficheurs des arrivées.

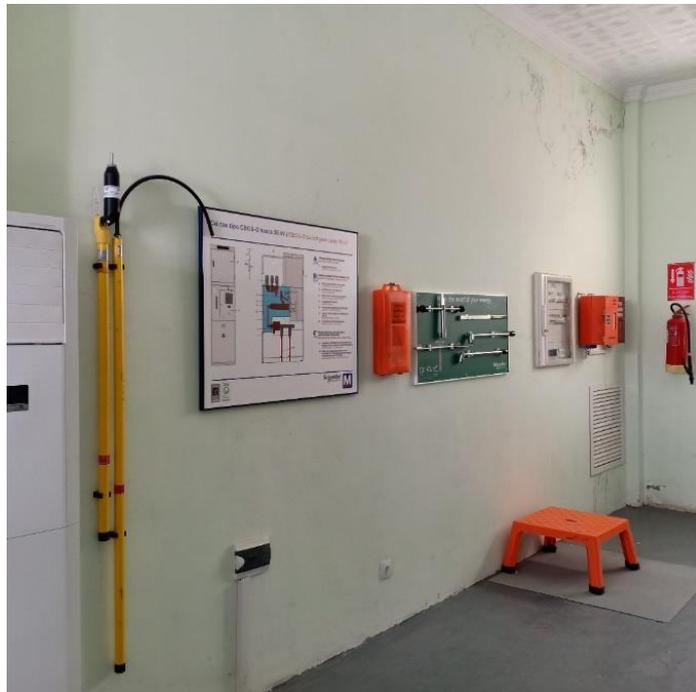


Figure 2-21 : Outils de protection.

2.2.6. Transformateur élévateur 60KV :

C'est un élévateur de tension du 30kV (qui vient du poste d'évacuation MT) jusqu'à 60kV (pour être ensuite injecté aux réseau public).



Figure 2-22 : Local de transformateur éleveur 60KV.

2.2.7. Salle de contrôle et de commande :

C'est la salle où les ingénieurs contrôlent et commandent la centrale à distance via des micros dont il est installé les logiciels de surveillance.



Figure 2-23 : Entrée de la salle contrôle commande.

Système de surveillance :

Il s'agit du système de surveillance pour les onduleurs, transformateurs, cellules MT, Cellule de disjoncteur, boîte de raccordement, station météorologique, transformateurs axillaires.



Figure 2-24 : Micros de surveillance.

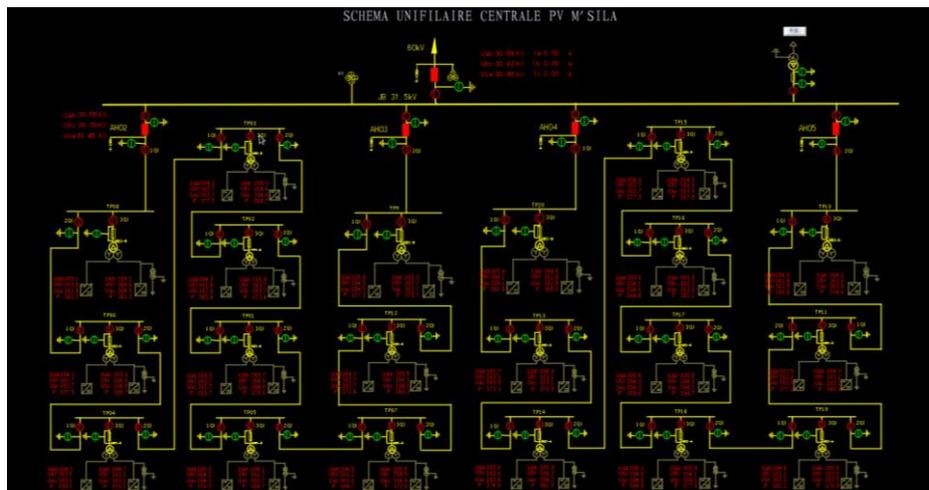


Figure 2-25 : Schéma unifilaire de la centrale de Ain El Malh.



Figure 2-26 : Maquette de la centrale.

Système de commande :

Le système de commande est la partie principale de l'automatisation de la centrale avec la fonction de contrôle et mesure, communication à distance et protection.



Figure 2-27 : Salle de commande.

2.2.8. Station météorologique :

Il s'agit d'un ensemble de capteurs pour mesurer les paramètres météorologiques liés aux variations du climat. Elle contient :

- Un pyranomètre pour mesurer le rayonnement direct et un autre pour mesurer le rayonnement diffus.



Figure 2-28 : Station météorologique.



Figure 2-29 : Pyranomètres.

- Un capteur pour mesurer l'humidité en bas.



Figure 2-30 : Capteur d'humidité en bas.

- Un capteur de la quantité de pluie (type TDZ02-1).



Figure 2-31 : Capteur de la quantité de pluie.

- 5 éléments accrocher en haut pour mesurer la température ambiante, la direction du vent, la vitesse du vent, la pression et l'humidité en haut.



Figure 2-32 : Capteurs de mesure en haut.

- Deux capteurs collés sur les panneaux pour enlever la température des panneaux.



Figure 2-33 : Capteurs de température.

- Une batterie pour alimenter la station météorologique



Figure 2-34 : Batterie d'alimentation de la station météorologique.

Les mesures s'affichent dans le PC de surveillance comme apparaît dans la figure (2-35)

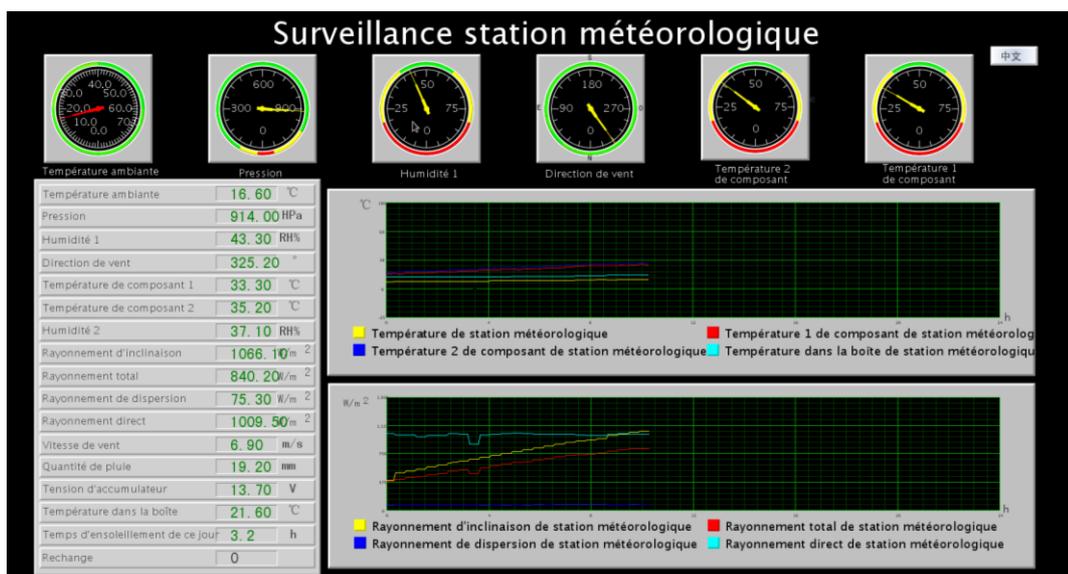


Figure 2-35 : Surveillance station météorologique.

2.2.9. Les systèmes auxiliaires :

Fonctionnent durant l'absence du rayonnement solaire ou dans le cas d'un problème dans le réseau électrique. Dans le but d'assurer le fonctionnement du système de contrôle commande.

2.2.10.1 Le groupe diesel :

C'est un premier secours en cas de coupure d'électricité.



Figure 2-36 : Groupe diesel

2.2.10.2 Les batteries stationnaires :

C'est un deuxième secours en cas de coupure d'électricité.



Figure 2-37 : Batteries stationnaires.

2.2.10.3 Les onduleurs :

Pour la conversion de tension d'après les batteries du DC en AC.

2.2.10.4 Redresseur/Hacheur :

Pour charger les batteries et déminer la tension du 220V au 120V et 48V.

2.2.10.5 Transformateur auxiliaire :

C'est un transformateur abaisseur de tension du 31.5kV jusqu'à 315V. Il assure l'alimentation des auxiliaire 380 V.



Figure 2-38 : Transformateur abaisseur.

SUNTEN 顺特电气		Transformateur auxiliaire	
Type	SC10-160 / 31.5	No. de série	D241
Capacité nominale	160 kVA	Code du produit	SSD21104337-1
Normes	IEC60076-11	Fréquence nominale	50 Hz 3 Phase
Tension nominale (V)	33075	Repère du groupe d'accouplement	Dyn11
Courant nominal (A)	32288	Classe thermique	F
Impédance de court-circuit (%)	31500	Valeur limité d'augmentation de température	100 K
Côté primaire	30713	Indice de protection	IP 20
Côté secondaire	29925	Mode de refroidissement	AN/AF
Classe climatique	400	Conditions d'utilisation	Type intérieur
Niveau d'isolation	C2	Poids total	1670 kg
		Date de fabrication	0501
		Niveau environnemental	E2
		Classe de performance de combustion	F1
		Borne de ligne HT LI/AC 170/170/170 kV / ligne BT LI/AC 10/3 kV	
SUNTEN ELECTRIC EQUIPMENT CO., LTD. Numéro d'urgence: +86 354 2233822			

Figure 2-39 : Fiche technique de transformateur.

2.2.10.6 Éclairage de la centrale :

La centrale est équipée par 76 poteaux d'éclairage avec le solaire photovoltaïque :

- 67 poteaux au niveau de la clôture.
- 09 poteaux à l'intérieure de la centrale.

Chaque poteau contient 2 panneaux en silicium monocristallin de 140W pour chaque un, dans le sous-sol il y a les batteries de 12V 120Ah, et le régulateur de charge.



Figure 2-40 : Poteau et kit de l'éclairage public solaire photovoltaïque.

2.2.10. Locale de pompage :

Il contient :

- Une grande cuve de filtrage d'eau pour l'utilisation personnel.
- Les appareils de traitement d'eau.
- Une bache d'eau, pour stocker l'eau après le traitement pour l'utiliser dans le nettoyage des panneaux de la centrale.

Le nettoyage des panneaux solaires PV permet d'optimiser la durée de vie de ces derniers, et maximiser leurs rendement. Il est préférable d'utiliser une eau la moins calcaire possible, le calcaire risquerait de former un léger dépôt blanc réfléchissant les rayons du soleil avant qu'ils n'atteignent les cellules PV des panneaux.



Figure 2-41 : Entrée du locale de pompe.



Figure 2-42 : Equipements de pompage.

2.3. Description des données :

Les données de la centrale sont enregistrées dans des fichiers Excel. A chaque journée de mesure correspond un fichier. Les données sont mesurées avec un pas de 30min. Les paramètres enregistrés sont : La puissance instantanée, l'éclairement et la Température ambiante.

	A	B	D	E	I	J	K	L
1	 شركة كهرباء وطاقات متجددة Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida Base de donnée du mois d'Avril et Mai 2021							
2								
3								
4								
5								
6								
7	Time	P (kW)	G (W/m ²)	Ta (°C)	jour	mois	année	
8	06:00	-90.0000	0.0000	12.1000	1	4	2021	
9	06:30	-60.0000	0.0000	12.7000	1	4	2021	
10	07:00	1130.0000	0.0000	13.2000	1	4	2021	
11	07:30	2090.0000	140.4000	13.4000	1	4	2021	
12	08:00	2960.0000	175.9000	14.3000	1	4	2021	
13	08:30	6780.0000	396.9000	17.4000	1	4	2021	
14	09:00	8550.0000	499.2000	18.9000	1	4	2021	
15	09:30	7310.0000	450.8000	21.3000	1	4	2021	
16	10:00	10630.0000	619.2000	20.1000	1	4	2021	
17	10:30	12080.0000	688.8000	20.3000	1	4	2021	
18	11:00	16100.0000	931.6000	21.3000	1	4	2021	
19	11:30	16530.0000	935.6000	22.6000	1	4	2021	
20	12:00	16750.0000	913.1000	22.5000	1	4	2021	
21	12:30	16810.0000	944.4000	22.9000	1	4	2021	
22	13:00	16650.0000	954.0000	22.9000	1	4	2021	
23	13:30	16390.0000	935.5000	24.0000	1	4	2021	
24	14:00	15790.0000	908.2000	24.0000	1	4	2021	

Figure 2-43 : Base de données de la journée 01/04/2021.

En raison de confidentialité, nous n'avons pu obtenir que les données couvrant deux mois de fonctionnement. Cette base de données est donc constituée de 61 fichiers Excel pour les 61 jours des mois d'avril et mai 2021.

2.4. Conclusion :

La centrale de Ain El Malh située à M'sila est une centrale connectée au réseau d'une capacité de 20 MWc. Avec ses données enregistrées avec un pas de mesure égal à 30min, elle représente un bon exemple d'étude pour nous. La base de données qui nous a été fournie couvre deux mois de fonctionnement, le mois d'avril et le mois de mai 2021. Les 61 fichiers Excel sont l'objet de traitement et d'analyse dont les détails sont exposés dans le chapitre 3.

Chapitre 3 : Etude et analyse de l'effet de la température sur le rendement de la centrale PV de Ain El-Malh

3.1. Introduction :

La modélisation de l'effet de la température sur le fonctionnement d'une centrale PV est compliquée. La raison de cette complication se trouve dans la non linéarité et l'interdépendance des conditions météorologiques de travail. Dans ce chapitre nous présentons la méthodologie de travail que nous avons adoptée pour isoler l'effet de la température, nous présentons les données avec plus de détails ainsi que les résultats obtenus et leur interprétation.

3.2. Méthodologie :

La puissance fournie par une centrale PV est fonction des conditions météorologiques de travail qui sont l'éclairement global et la température ambiante. Cette relation est non linéaire et peut être schématisée par le schéma bloc de la figure (3-1).

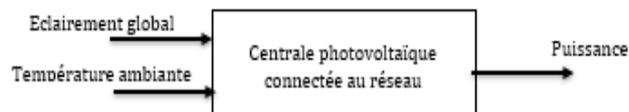


Figure 3-1 : Schéma bloc de fonctionnement du fonctionnement général d'une centrale PV.

Pour étudier et analyser l'influence de la température sur le fonctionnement de la centrale PV, il faut tout d'abord isoler cet effet. L'éclairement et la température étant très liés et leur relation avec la sortie (la puissance) étant non linéaire, la solution est donc de choisir des instants de fonctionnement, dans la base de données, durant lesquelles l'éclairement est fixe tandis que la puissance fournie par la centrale soit différente. Ainsi, les groupes de données sélectionnés peuvent être traités et analysés et les résultats peuvent être affectés à l'effet de la température étant donné que son effet ait été isolé. Nous commencerons par une journée pour élargir la même procédure sur l'ensemble de la base de données.

3.3. Analyse des données :

3.3.1. Travail sur une journée :

Afin de bien comprendre notre travail nous avons commencé par travailler sur une journée. Nous avons choisi les données de la journée de 11/04/2021. L'évolution de l'éclairement durant cette journée est illustrée par la Figure suivante.

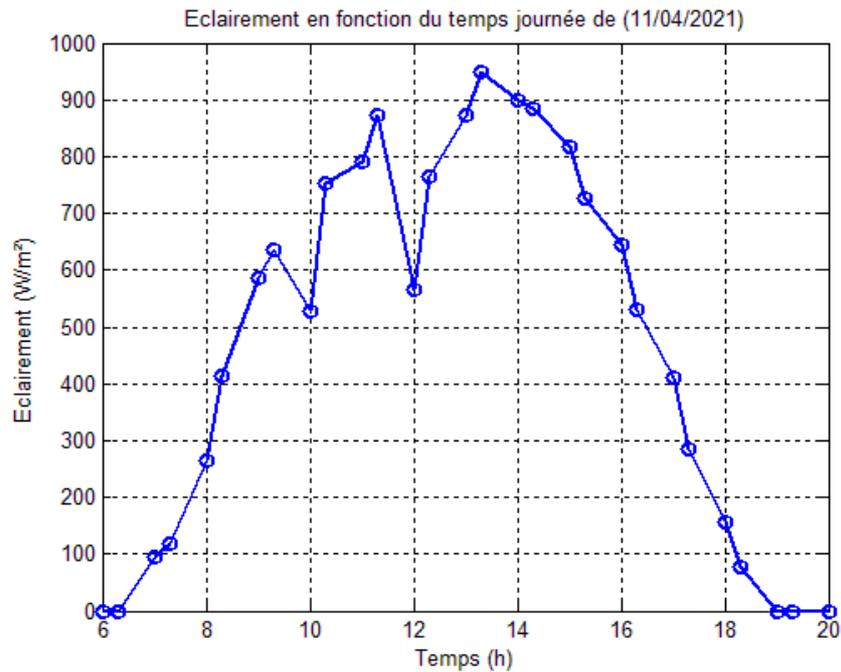


Figure 3-2 : L'éclairement en fonction du temps (11/04/2021).

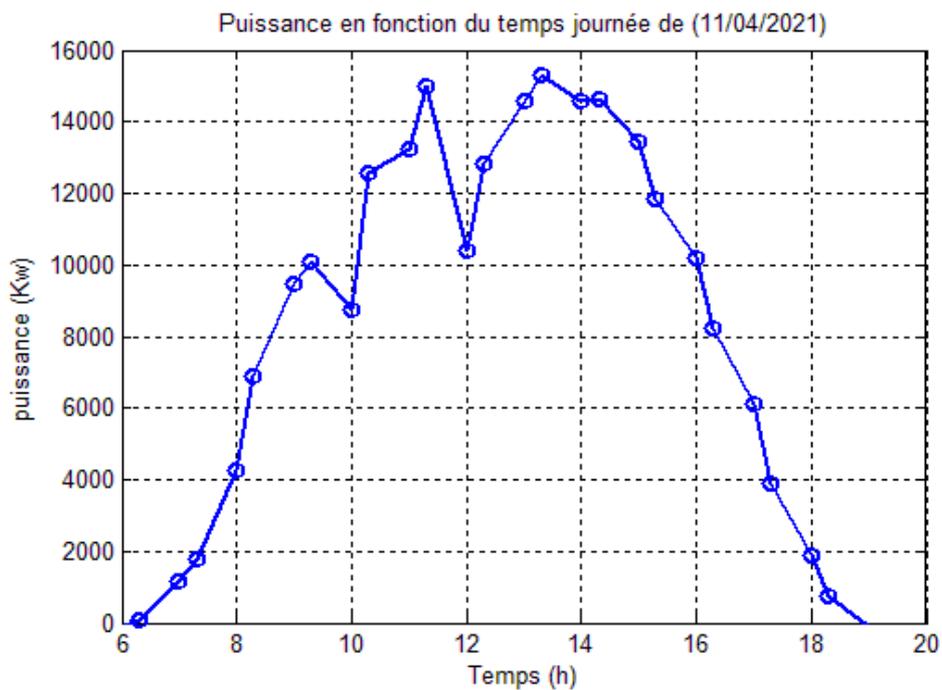


Figure 3-3 : La puissance en fonction du temps (11/04/2021).

On remarque que l'éclairement et la puissance sont de même allure.

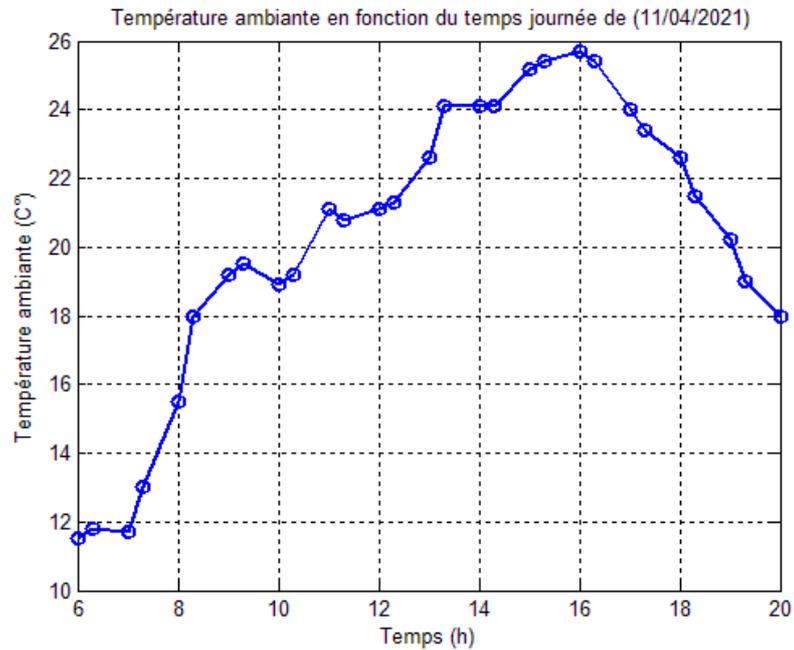


Figure 3-4 : Température ambiante en fonction du temps (11/04/2021).

La représentation de la puissance en fonction de l'éclairement permet de confirmer la linéarité entre eux comme illustré par la Figure (3-5). Le but de tracer la puissance en fonction de l'éclairement est d'extraire les points où G est constant pour isoler l'effet de la température et ensuite tracer la puissance de ces points (où G est constant) en fonction de T_a pour identifier l'équation qui relie ces deux paramètres.

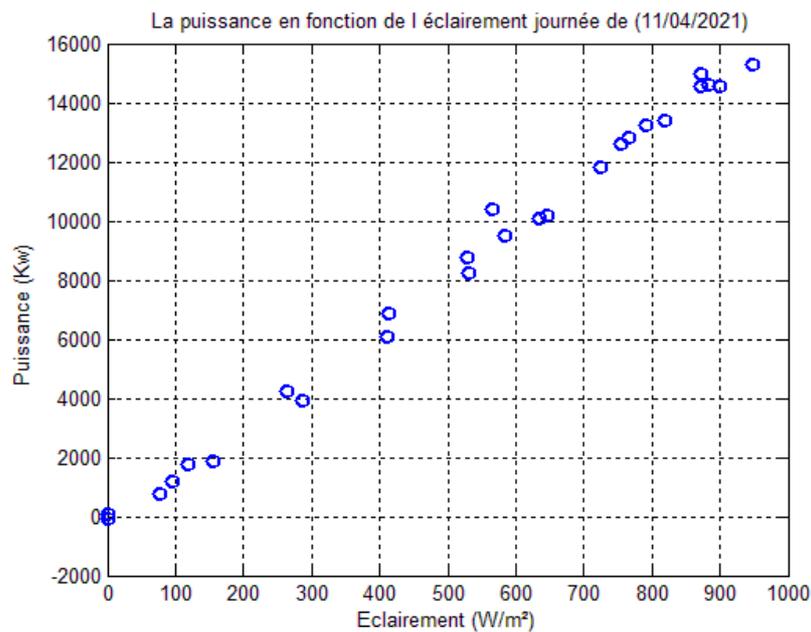


Figure 3-5 : La puissance en fonction de l'éclairement (11/04/2021).

- Exemple d'identification et d'isolation des cas d'études pour l'effet de la température :

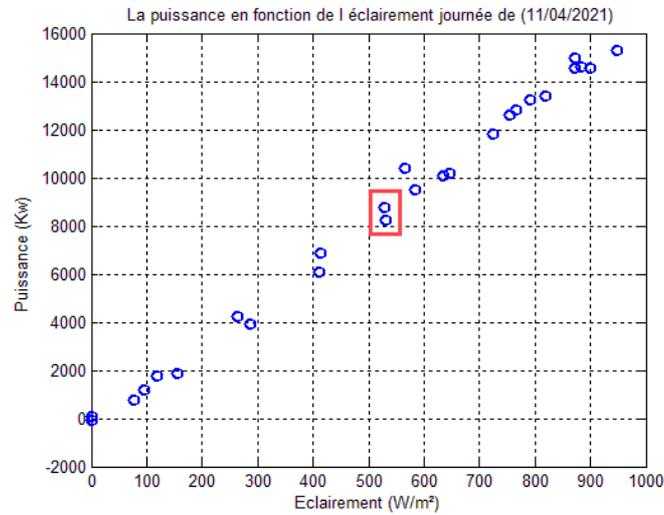


Figure 3-6 : L'isolation de l'effet de la Température (11/04/2021).

Pour mettre les choses claires on a pris les points encadrés en rouge figure (3-6) et enlever leurs paramètres : éclairements, puissances, températures présenter dans ce tableau

Tableau 3-1 : Points ou G est constant (11/04/2021).

	G (w/m ²)	P (kW)	T (C°)
1	530	8250	25.4
2	527.8	8760	18.9

Ensuite on a tracé la puissance en fonction de la température ambiante figure (3-7) et faire la régression linéaire on obtient l'équation (3.1) :

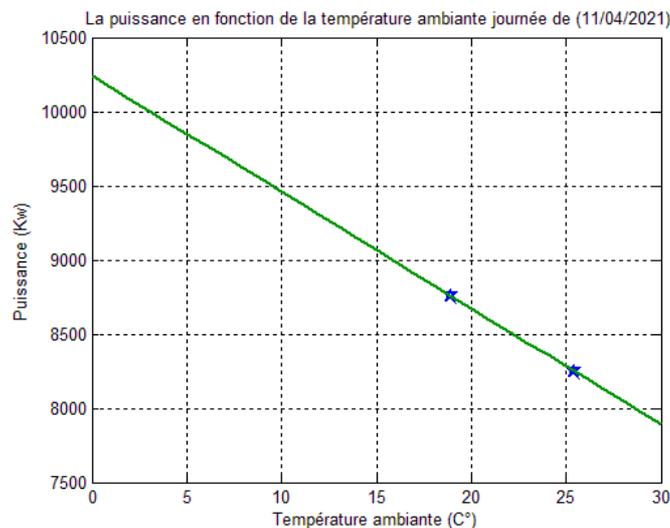


Figure 3-7 : La puissance en fonction de la température ambiante (11/04/2021).

On remarque que la puissance de la centrale diminue avec l'augmentation de la température ambiante. Cette relation peut être modélisée par l'équation suivante :

$$P = -78.46 T_a + 1024 \quad (3.1)$$

```
31 20.00 -90.0000 0.0000 18.0000
32
33 ] ;
34 t=M(:,1);
35 Pi=M(:,2);
36 G=M(:,3);
37 T=M(:,4);
38
39 %%
40 figure(1)
41 plot(t,Pi,'o-','linewidth',2); grid on;
42 xlabel('Temps (h)')
43 ylabel('puissance (Kw)')
44 title('Puissance en fonction du temps journée de (11/04/2021)')
45
46 figure(2)
47 plot(t,G,'o-','linewidth',2); grid on;
48 xlabel('Temps (h)')
49 ylabel('Eclairement (W/m²)')
50 title('Eclairement en fonction du temps journée de (11/04/2021)')
51
52 figure(3)
53 plot(t,T,'o-','linewidth',2); grid on;
54 xlabel('Temps (h)')
55 ylabel('Température ambiante (C°)')
56 title(' Température ambiante en fonction du temps journée de (11/04/2021)')
57
58 figure(4)
59 plot(G,Pi,'o','linewidth',2); grid on;
60 xlabel('Eclairement (W/m²)')
61 ylabel('Puissance (Kw) ')
62 title(' La puissance en fonction de l éclairement journée de (11/04/2021)')
63
```

Figure 3-8 : Programme MATLAB de la journée (11/04/2021).

3.3.2. Travail sur deux mois :

Le travail sur une journée n'est pas suffisant pour développer un modèle ou confirmer l'effet de la température sur le rendement de la centrale, pour cela nous avons élargi notre travail sur la totalité de la base de données qui couvre 61 jours.

Pour ce faire, nous avons commencé par tracer les graphes de l'éclairement de quelque journée séparés, pour montrer les différentes formes que peut avoir sa courbe, figure (3-9). Puis on a tracé les courbes de l'éclairement, figure (3-11), la puissance de la centrale, figure (3-12) et la température ambiante, figure (3-13) tout au long des mois d'avril et mai et aussi le graph de La puissance en fonction de la température ambiante, figure (3-14).

Chapitre 3 : Etude et analyse de l'effet de la température sur le rendement de la centrale PV de Ain El-Malh

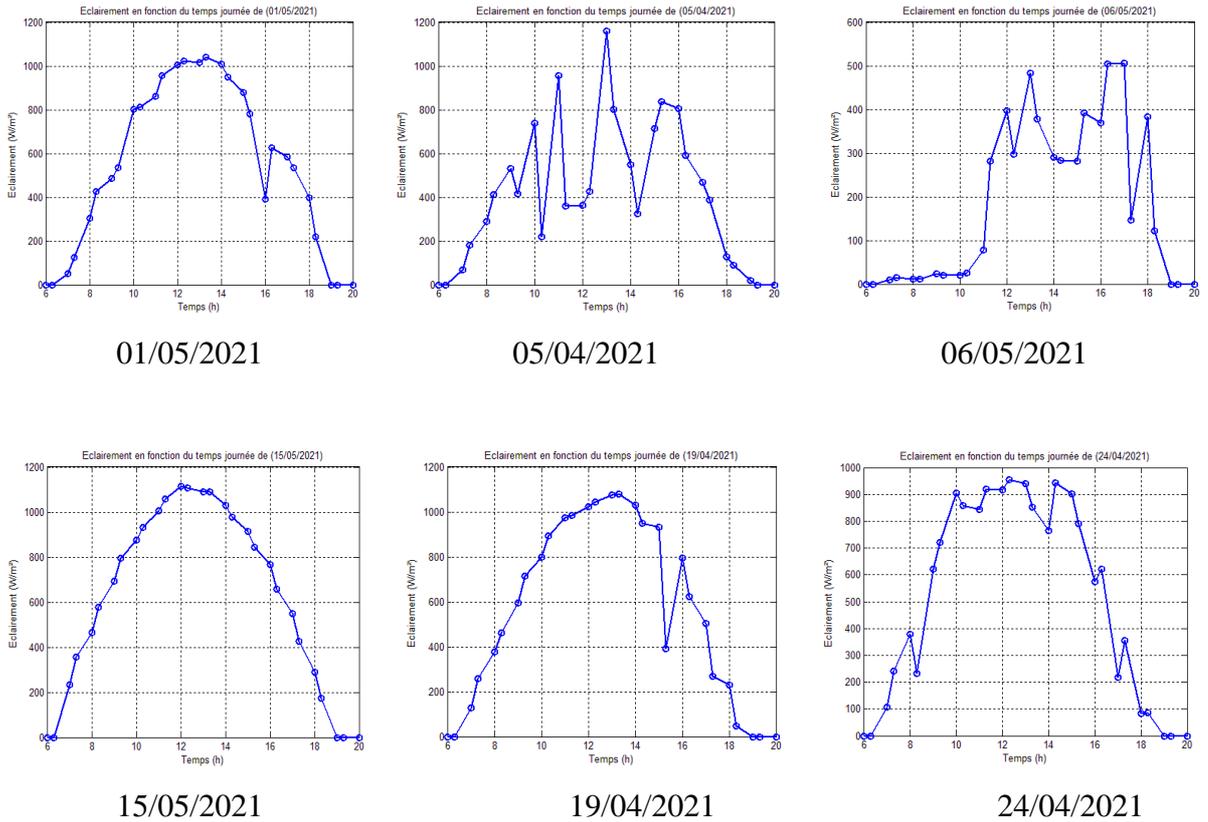


Figure 3-9 : Les différentes formes de l'éclairement.

Figure 3-10 :

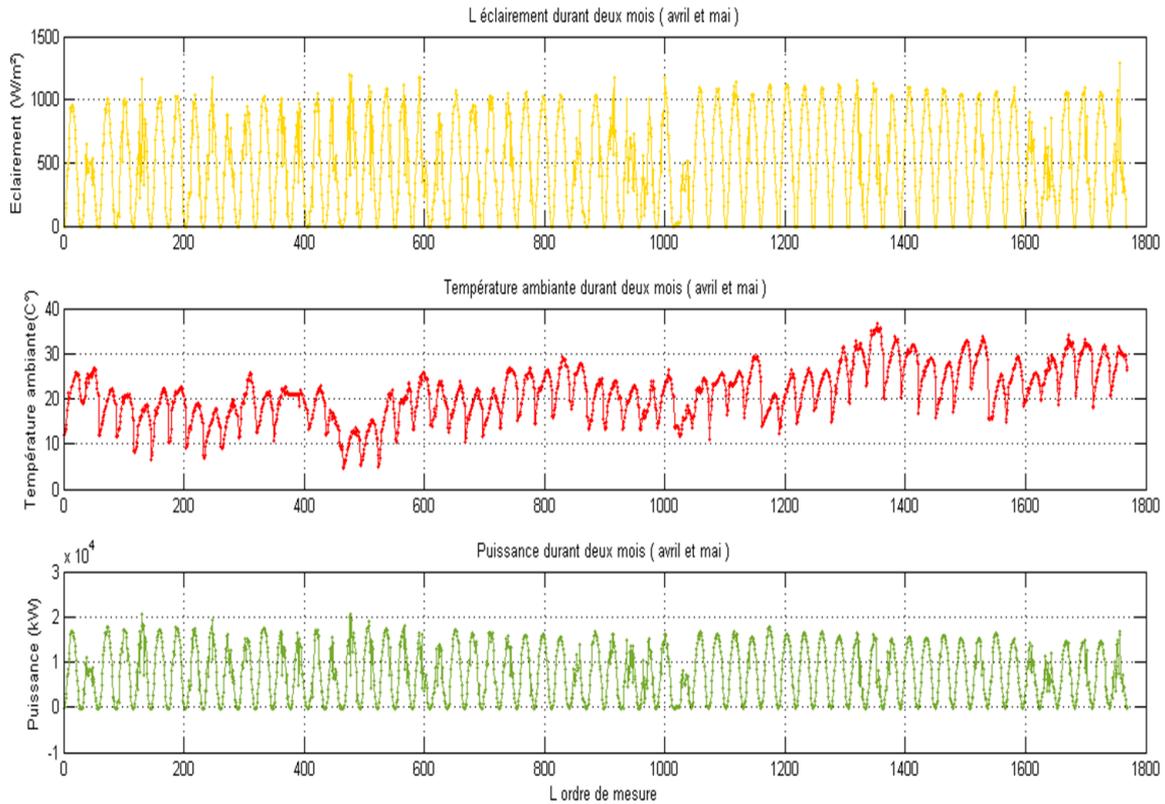


Figure 3-11 : L'éclairement, la température et la puissance durant (avril et mai).

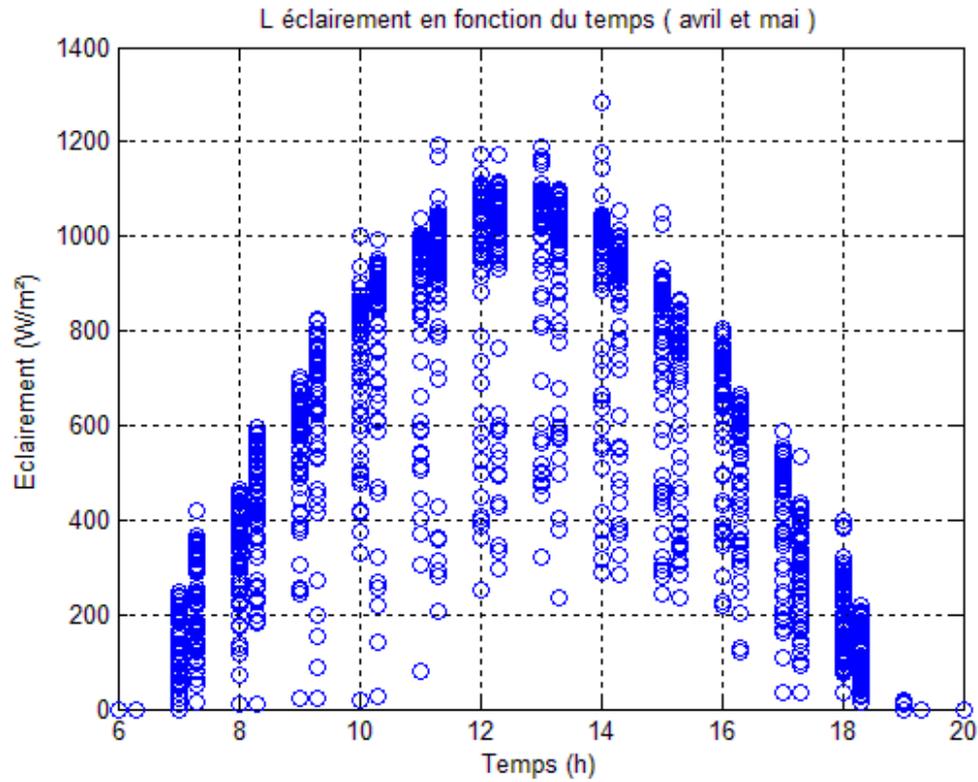


Figure 3-12 : L'éclairement en fonction du temps (avril et mai).

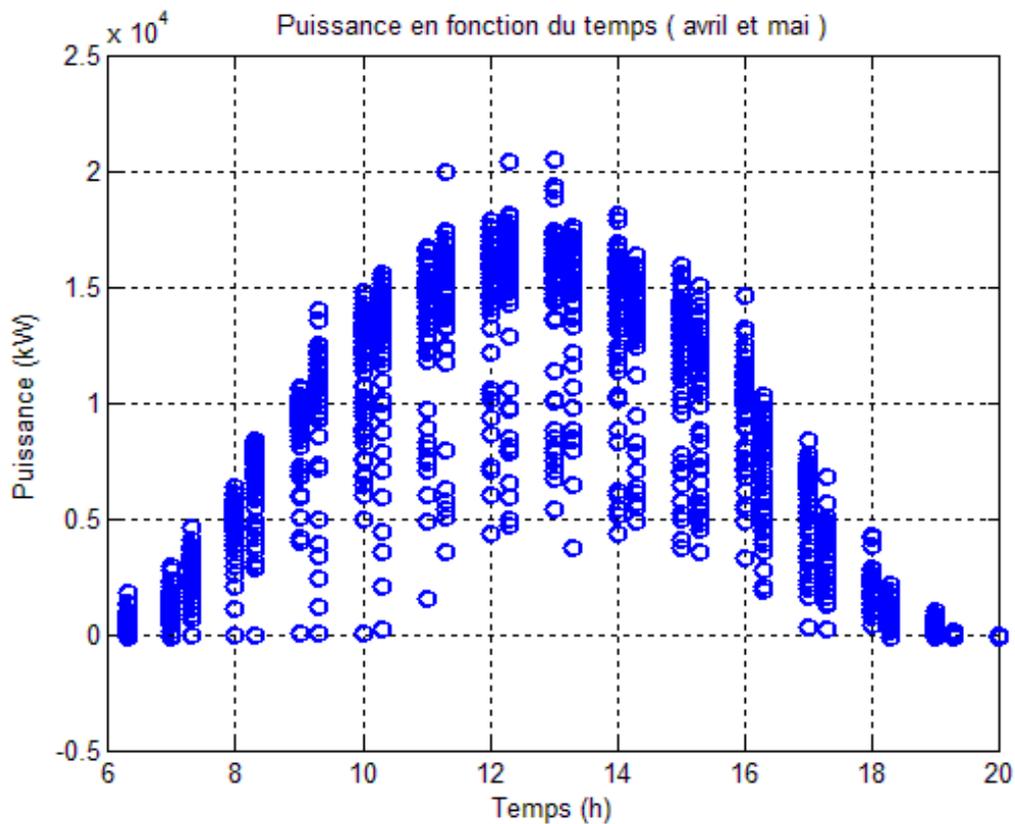


Figure 3-13 : La puissance en fonction du temps (avril et mai).

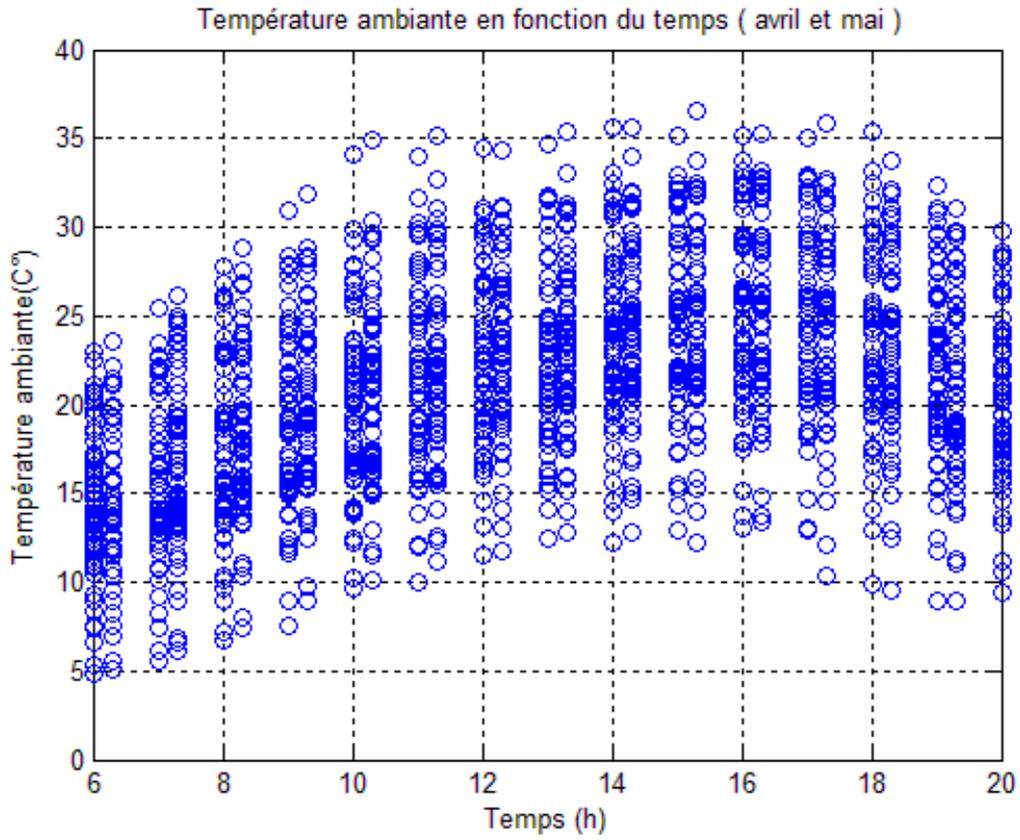


Figure 3-14 : La température ambiante en fonction du temps (avril et mai).

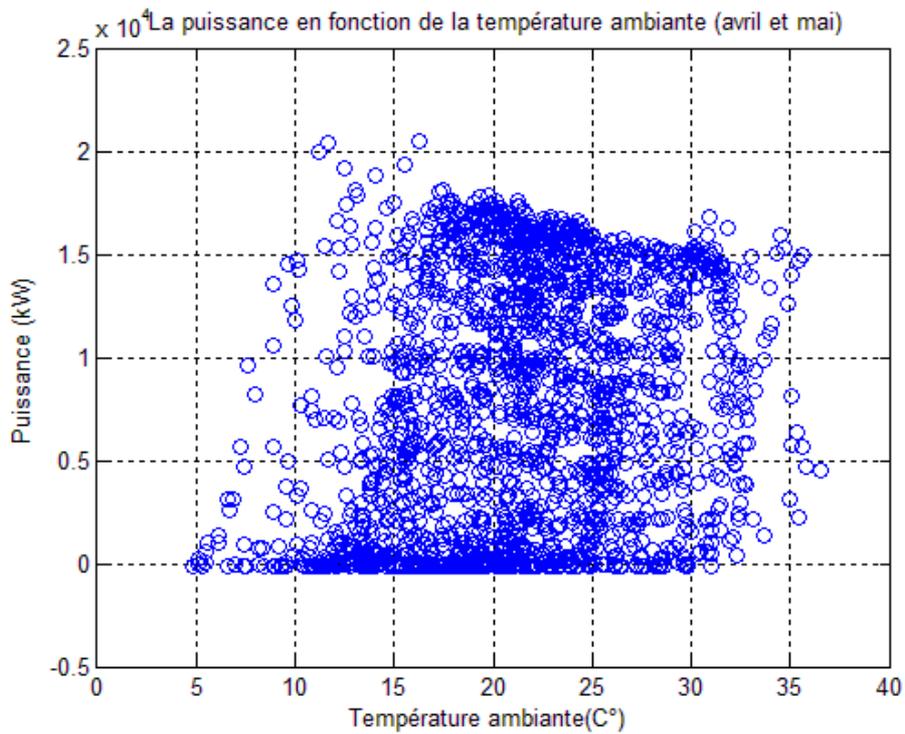


Figure 3-15 : La puissance en fonction de la température ambiante (avril et mai).

L'effet de l'éclairement sur la puissance peut être mis en évidence en illustrant le graphe de la puissance de la centrale en fonction de l'éclairement durant les mois d'avril et mai, figure (3-15). Cette figure nous sert d'outil de sélection des données qui isolent l'effet de la température et donc extraire les points correspondant à un éclairement global G fixe.

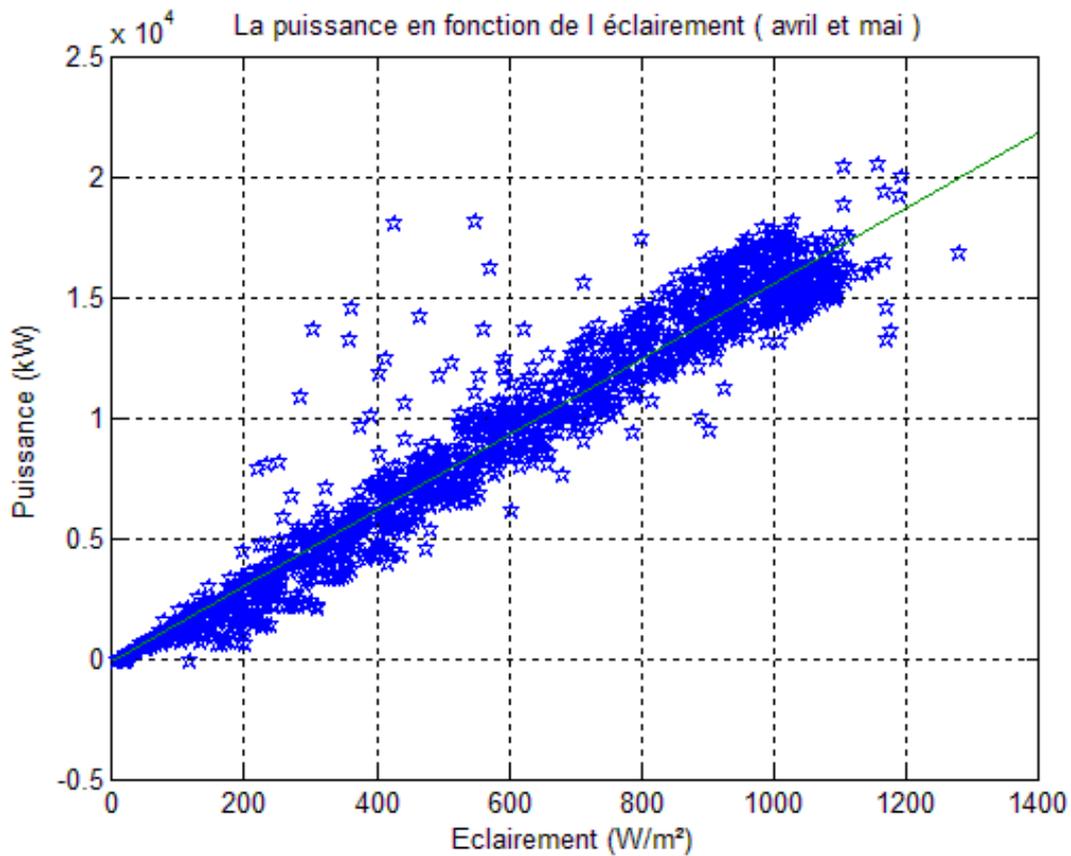


Figure 3-16 : La puissance en fonction de l'éclairement (avril et mai).

On remarque que le résultat est un nuage de points qui a une tendance linéaire. Plus dense de celle d'une journée. En faisant la régression linéaire de ce nuage de points on obtient l'équation (3.2) de la droite qui passe par les majorités des points.

$$P = 15.6465G - 129.1650 \quad (3.2)$$

```
1775 - t=M(:,1);
1776 - Pi=M(:,2);
1777 - R=M(:,3);
1778 - T=M(:,4);
1779
1780
1781 - figure(1)
1782 - plot(t,Pi,'o','linewidth',2); grid on;
1783 - xlabel('Temps (h)')
1784 - ylabel('Puissance (kW)')
1785 - title('Puissance en fonction du temps ( avril et mai )')
1786
1787
1788 - figure(2)
1789 - plot(t,R,'o'); grid on;
1790 - xlabel('Temps (h)')
1791 - ylabel('Eclairement (W/m²)')
1792 - title('L éclairement en fonction du temps ( avril et mai )')
1793
1794
1795 - figure(3)
1796 - plot(t,T,'o'); grid on;
1797 - xlabel('Temps (h)')
1798 - ylabel('Température ambiante(C°)')
1799 - title(' Température ambiante en fonction du temps ( avril et mai )')
1800
1801
1802 - figure(4)
1803 - plot(T,R,'o'); grid on;
1804 - xlabel('Température ambiante(C°)')
1805 - ylabel('Eclairement (W/m²)')
1806 - title('L éclairement en fonction de la température ambiante( avril et mai )')
1808
1809 - figure(5)
1810 - plot(R,P,'o'); grid on;
1811 - xlabel('Eclairement (W/m²)')
1812 - ylabel('Puissance (kW)')
1813 - title(' La puissance en fonction de l éclairement ( avril et mai )')
1814
1815 - %% regression linéaire
1816 - p=polyfit(R,Pi,1)
1817 - Rp=0:1400;
1818 - Pp=polyval(p,Rp);
1819
1820 - figure(6)
1821 - plot(R,Pi,'p',Rp,Pp)
1822 - grid on
1823 - xlabel('Eclairement (W/m²)')
1824 - ylabel('Puissance (kW)')
1825 - title(' La puissance en fonction de l éclairement ( avril et mai )')
1826
1827
1828 - figure(7)
1829 - plot(T,Pi,'o'); grid on;
1830 - xlabel('Température ambiante(C°) ')
1831 - ylabel('Puissance (kW)')
1832 - title(' La puissance en fonction de la température ambiante (avril et mai)')
1833 - .....
```

Figure 3-17 : Programme MATLAB des mois avril et mai.

- **Analyse des données :**

D'après le graphe, la valeur maximale qu'atteint l'éclairement a cette période est de 1283W/m² à 14h mais a une puissance de 16.8 MW qui est n'est pas la valeur que devrait atteindre la puissance à la sortie de la centrale et ce, en considérant seulement l'éclairement. Rappelons que pour les conditions STC, G=1000 W/m² la centrale devrait fournir 20MW. Ceci confirme qu'il y a un autre facteur qui influe sur la valeur de la puissance et qui est la température ambiante étant donné qu'à cet instant elle est de 30.9 C° qui est plus élevé à la température STC (25C°).

Tableau 3-2 : Eclairement maximum durant les mois avril et mai.

Puissance (kWc)	Eclairement (W/m²)	Température ambiante (C°)	Temps
16800	1283	30.9	14h00

Par ailleurs on voit que la puissance atteint et dépasse les 20MW à des températures basses 16.3, 11.7 et 11.2 C°. Ces 3 cas sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-3 : Puissance maximale durant les mois avril et mai.

Puissance (kWc)	Eclairement (W/m²)	Température ambiante (C°)	Temps
20510	1159.4	16.3	13h00
20410	1108.2	11.7	12h30
19960	1195.2	11.2	11h30

D'après les résultats obtenues, la température influe la puissance de la centrale, quand l' éclairement atteint ses valeurs maximales à des tempéraures basses la puissance est maximale (tableau 3-1) , mais quant il atteint sa valeur maximale a une température élevée la puissance diminue (jusqu'à 4MWc de pertes).

- L'isolation :

Nous avons pris les données qui se trouvent sur la même verticale donc qui ont des puissances différentes pour un éclairement fixe, encadrés en vert.

D'après la figure (3-17) il y a des points loin de la droite, ces points de fonctionnement sont groupés dans les rectangles verts. Nous avons ensuite fait la regression linéaire des points de ces 4 groupes comme illustré par les Figures 3.19, 3.20, 3.21 et 3.22.

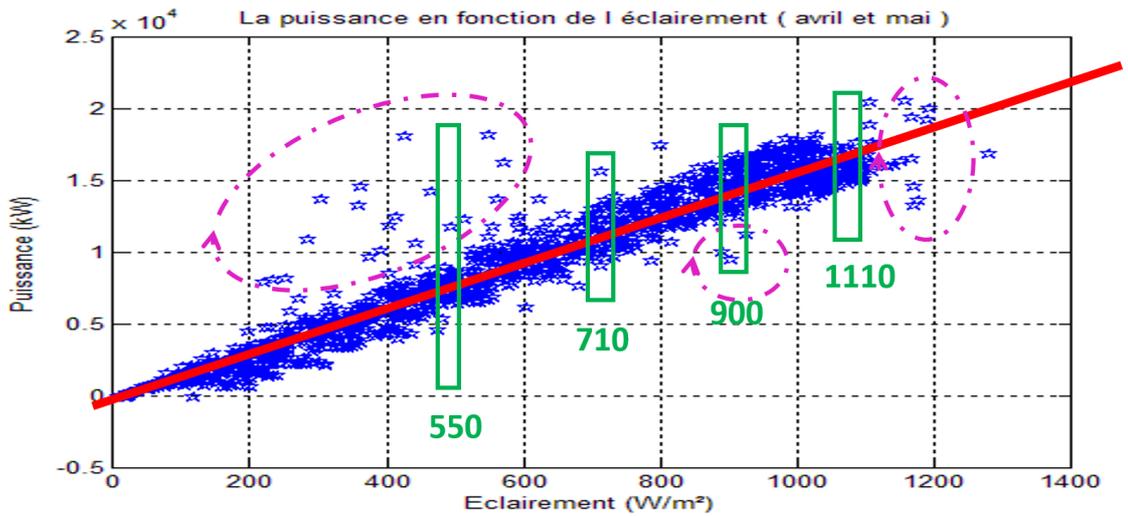


Figure 3-18 : L'isolation de l'effet de la température (avril et mai).

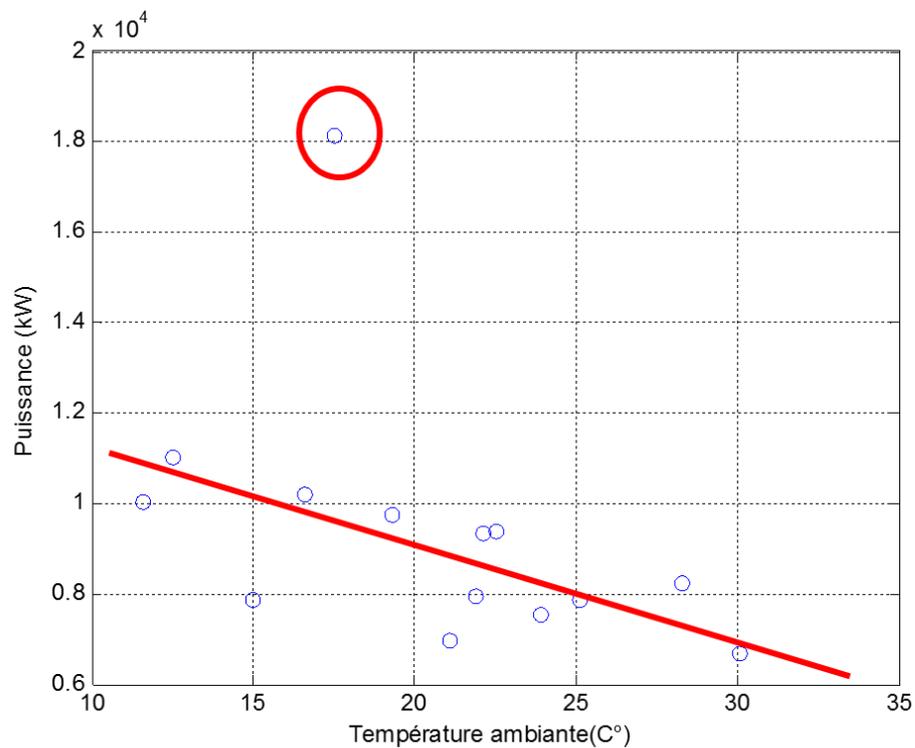


Figure 3-19 : Données du 1er groupe $G=550 \text{ W/m}^2$.

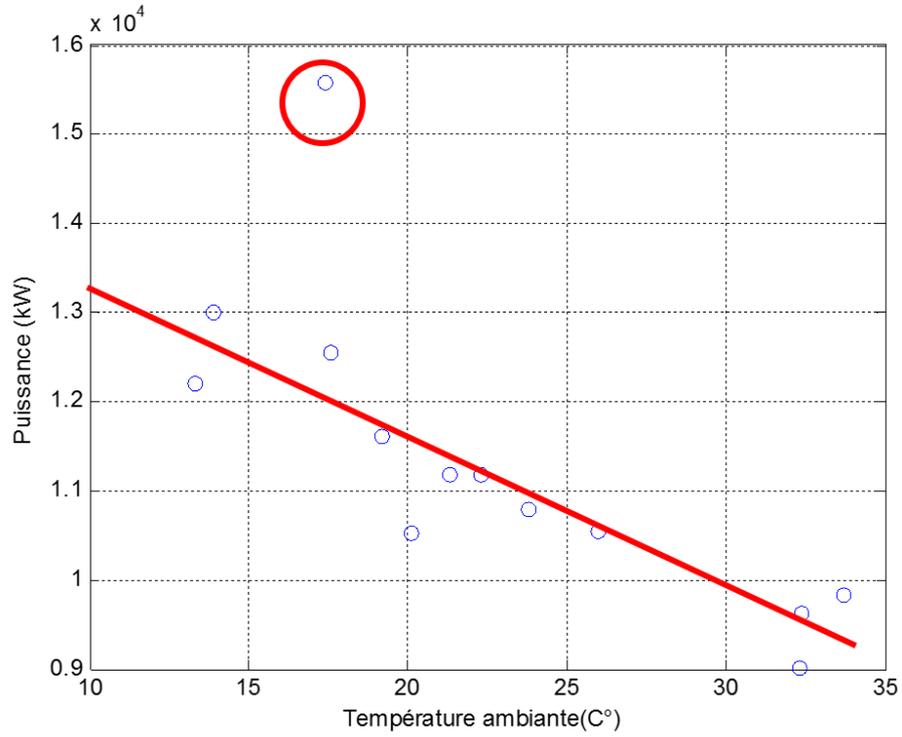


Figure 3-20 : Données du 2ème groupe $G=710 \text{ W/m}^2$.

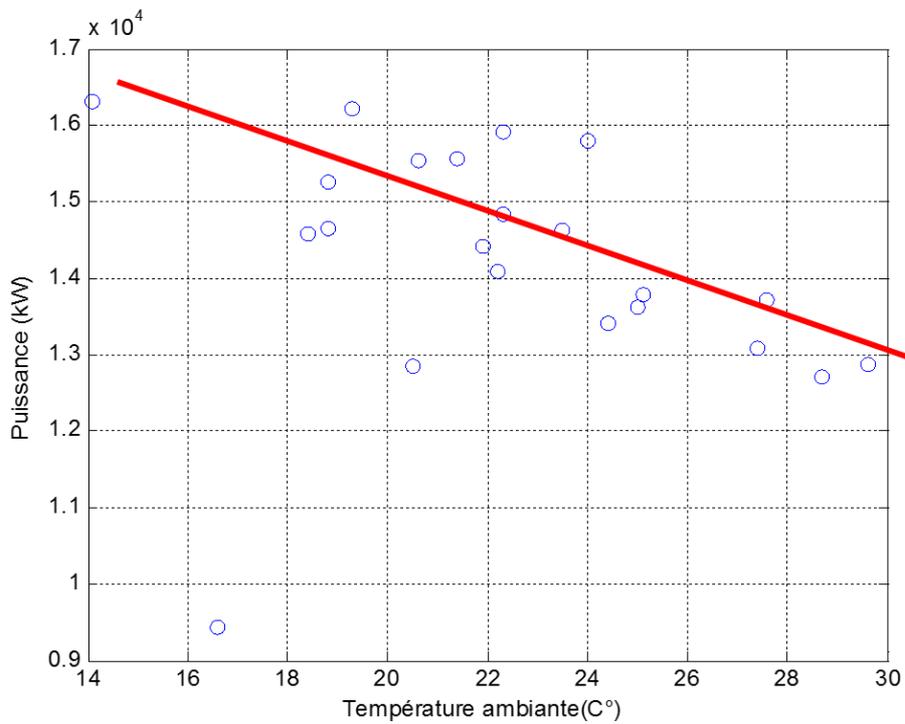


Figure 3-21 : Données du 3ème groupe $G=900 \text{ W/m}^2$.

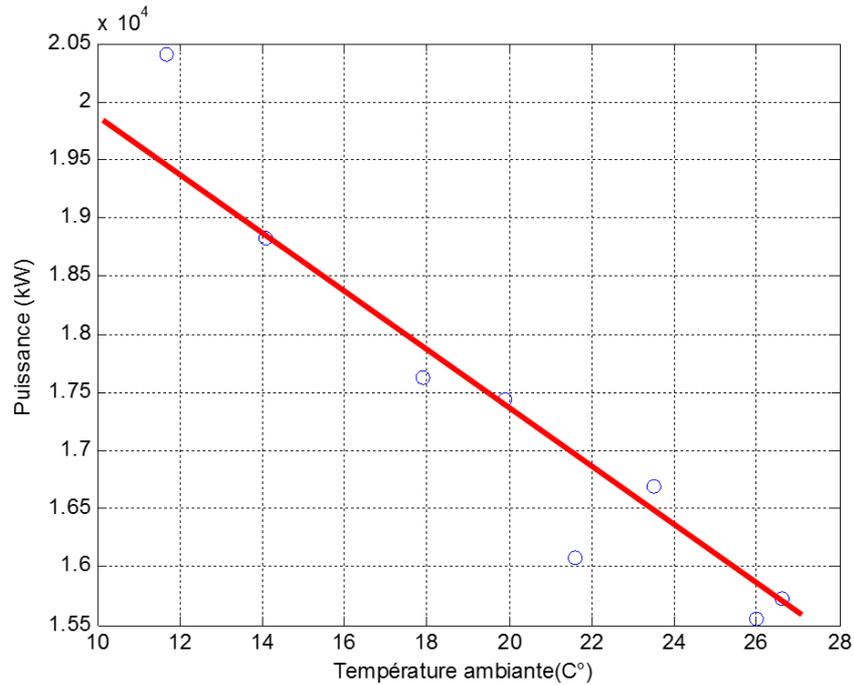


Figure 3-22 : Données du 4ème groupe $G = 1110 \text{ W/m}^2$

- Les équations de régression :

Tableau 3-4 : Données des équations de la régression linéaire pour les 4 groupes de données.

Groupe	Eclairement	Equation de régression	a	b
1	550	$P = -0.0238 T_a + 1.4150$	-0.0238	1.4150
2	710	$P = -0.0194 T_a + 1.5741$	-0.0194	1.5741
3	900	$P = -0.0100 T_a + 1.6483$	-0.0100	1.6483
4	1110	$P = -0.0299 T_a + 2.3322$	-0.0299	2.3322

Le tableau (3-4) résume les données des équations de la régression linéaire pour les 4 groupes de données de la figure (3-17). Le coefficient (a), a des valeurs négatives. Cela veut dire que la puissance diminue quand la température augmente. On remarque qu'on a des valeurs différentes d'a et b.

- La variation des coefficients de l'équations de régression avec l'éclairement :

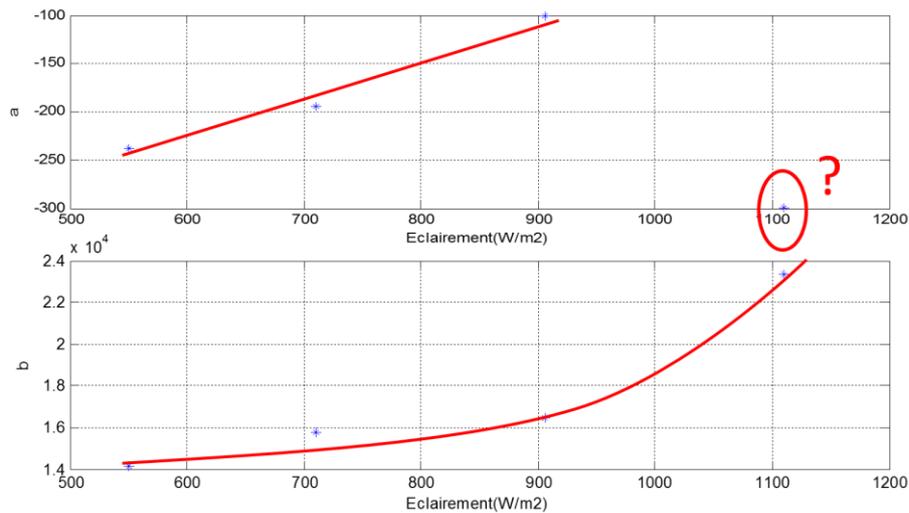


Figure 3-23 : Variation des coefficients de l'équations de régression avec l'éclairement.

Nous avons cherché la cause ou des corrélations qui expliquent cette variation. On a cherché la relation entre ces coefficients et l'éclairement, Nous remarquons une tendance linéaire croissante à confirmer avec plus de données.

- Combien fourni la centrale sous un éclairement égale à 1000 W/m² ?
Il était intéressant de creuser les questions suivantes :
 - Combien fourni la centrale sous un éclairement égale à 1000 W/m² ?
 - Quelles sont les pertes et leurs pourcentages ?

Nous avons **33 cas** dans la base de données.

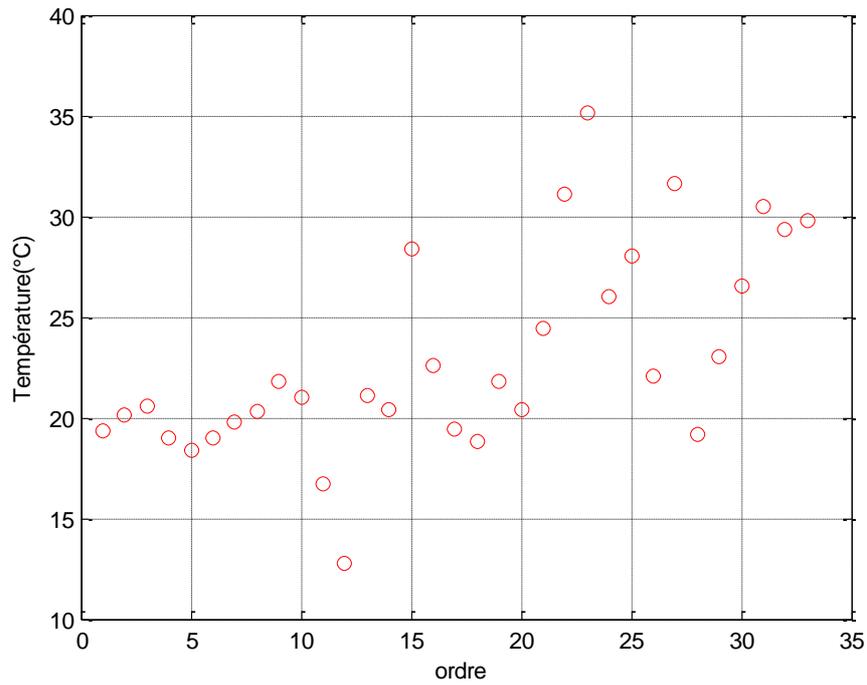


Figure 3-24 : Température des 33 cas trouvées.

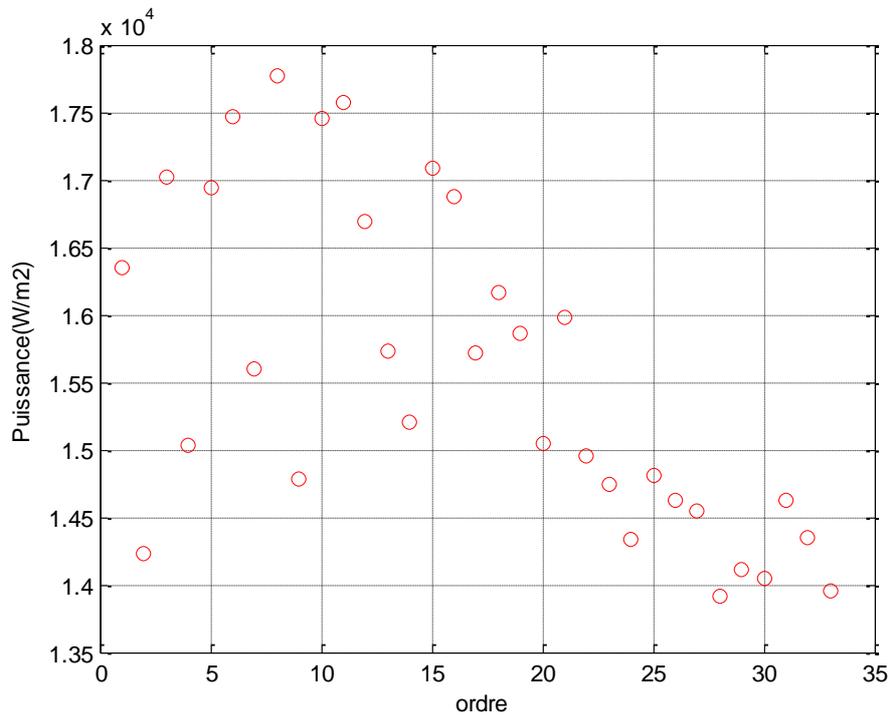


Figure 3-25 : Puissance des 33 cas trouvées.

Ce qui nous donne des pertes entre 2 MW et 6,1 MW, de pourcentages de pertes de 11.15% et 30.45 % représentées par les deux figures (3-25) et (3-26).

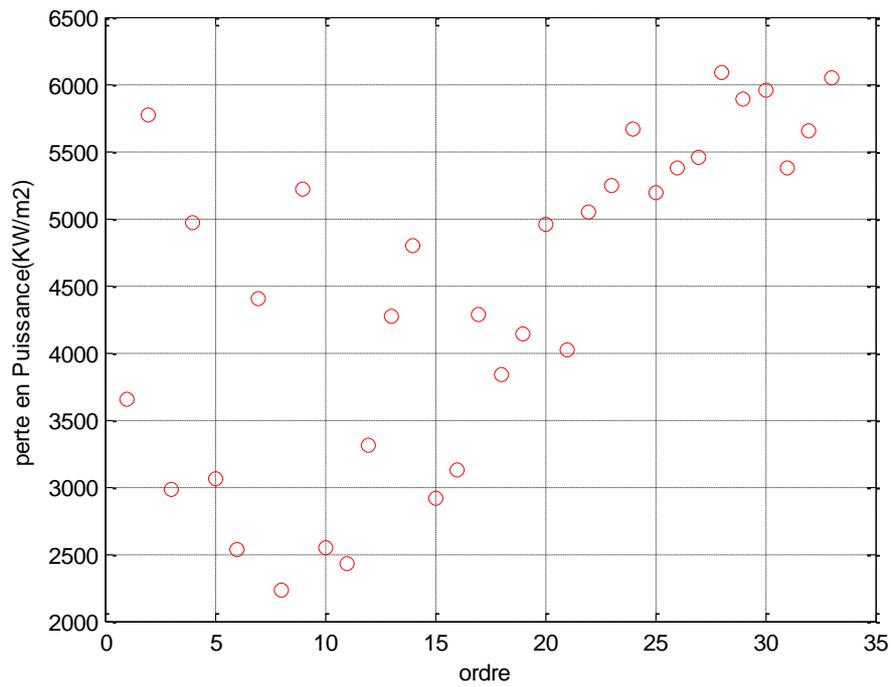


Figure 3-26 : Pertes en puissance (kW/m²).

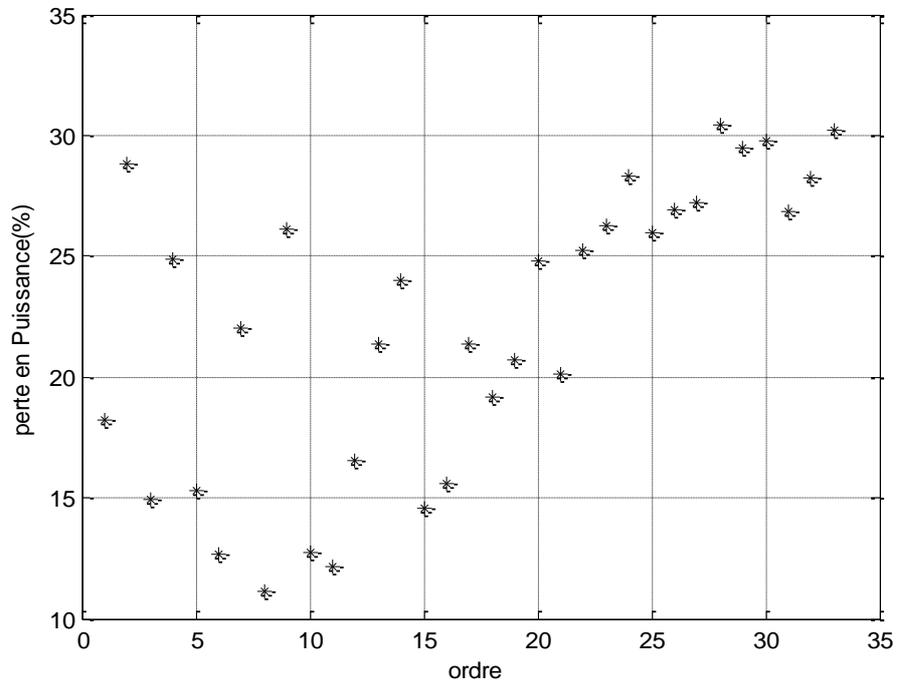


Figure 3-27 : Perte en puissances (%).

On remarque que les pertes sont importantes puisqu'on a des valeurs allant jusqu'à 30%.

3.4. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet de la température sur le fonctionnement d'une centrale PV. Nous avons travaillé sur les données de deux mois de la centrale de Ain ElMalh de Msila qui est une centrale de 20 MWc. La difficulté de ce travail réside dans la dépendance entre l'éclairement et la température ambiante d'un côté et la non linéarité de la relation qui existe entre les entrées et la sortie de la centrale PV.

La solution que nous avons envisagée consiste à isoler des données correspondant à des conditions de travail présentant le même éclairement. Ainsi, il a été possible d'isoler des données pouvant servir à la modélisation de l'effet de la température et de conclure que la relation entre la température et la puissance fournie à la sortie de la centrale PV est caractérisée par :

- **Une linéarité.**
- **Une proportionnalité inversée.**

Deux mois de données étaient suffisants pour nous construire une idée sur les tendances, cependant, une base de données couvrant les 12 mois de l'année avec l'effet de saisonnalité et contenant des valeurs plus extrêmes de température et d'éclairement pourraient nous apporter plus d'éléments de réponse.

Conclusion générale

Pour un opérateur électrique, il est important de connaître la puissance que va fournir une centrale PV et injecter dans son réseau. Cette information est primordiale car elle affecte la sécurité du réseau électrique surtout qu'elle est de nature intermittente.

Il est bien connu que le fonctionnement d'une centrale PV est fonction de plusieurs paramètres. Les plus importants sont les conditions de travail : l'éclairement global et la température ambiante. Avoir un modèle précis de cette dépendance est très utile pour les opérateurs électriques. Dans le but de développer un modèle précis, des études ont été menées [1-2]. Cependant, ces études se sont focalisées sur la relation mathématique entre l'éclairement global et la puissance. Des modèles satisfaisants ont été développés et validés expérimentalement.

Comme suite à ces travaux, il a été logique de s'intéresser à l'effet de la température qui, comme démontré par l'analyse présentée dans le chapitre 3, montre que l'augmentation de la température ambiante peut occasionner jusqu'à 4MW de pertes et ce à des températures ambiantes de seulement 31°C. En plus de ce constat fort intéressant, l'exploitation de deux mois de données a permis de mettre en place un procédé d'isolement de l'effet de la température et de conclure que la relation entre la température et la puissance fournie à la sortie de la centrale PV est caractérisée par une linéarité et une proportionnalité inversée.

Comme suite à ce travail, ce résultat doit être exploité pour affiner le modèle déjà développé dans les études précédentes. Aussi il serait intéressant et nécessaire de considérer les mois les plus chauds dans l'étude de l'analyse de l'effet de la température sur la puissance fournie par les centrales PV connectées au réseau électrique.

Bibliographie et Webographie

- [1] CAHIER D'INFORMATION SUR L'ÉNERGIE 2019-2020, PORTAIL CANADIEN D'INFORMATION SUR L'ÉNERGIE, <https://www.statcan.gc.ca/fra/debut> .
- [2] TRAORE Massitan, GESTION DU SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE D'UNE ALIMENTATION PRIVEE CONNECTE AU RESEAU, MEMOIRE DE MASTER, soutenue en juin 2017.
- [3] Mot du Prof. Hafid Aourag, Algerian Renewable Energy Resource Atlas ,1st edition 2019, Traduit avec www.DeepL.com/Translator.
- [4] Mot du Prof. Nouredine Yassaa, Algerian Renewable Energy Resource Atlas ,1st edition 2019, Traduit avec www.DeepL.com/Translator.
- [5] <https://en.businessfrance.fr/algerie-la-ferme-eolienne-de-kabertene#:~:text=Dotée%20d%27une%20douzaine%20d,de%20la%20wilaya%20d%27Adrar>.
- [6] Algeria Renewable Energy Resource Atlas 1st edition 2019, CDER, <https://www.cder.dz/spip.php?article4444>.
- [7] <https://mteer.gov.dz/index.php/fr/feuille-de-route/industrie/projets-prioritaires-a-court-terme>.
- [8] Extrait du programme de Monsieur le Président de la République <https://mteer.gov.dz/index.php/fr/le-ministere/les-attributions-du-ministere-3>.
- [9] Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic, power plant in India, B. Shiva Kumar, K. Sudhakar, Energy Centre, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal 462003, MP, India.
- [10] HAMADDOUCHE Billel, Mémoire de master, Développement d'une application Android pour l'audit et diagnostic des centrales photovoltaïques, soutenue en juin 2018.
- [11] <https://www.sktm.dz/?page=article&id=56>.
- [12] <https://www.sktm.dz/?page=article&id=11> .

- [13] Mot du Président Directeur Général de SKTM M.ALICHIKOUCHE Mohamed
<https://www.sktm.dz/?page=article&ida=101&id=10>.
- [14] <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Yingli-Solar/2147/YL250P-29b/specification-data-sheet.html>.
- [15] E. Lorenzo, 'Solar Electricity: Engineering of Photovoltaic System', Progensa, Sevilla, 1994.
- [16] A. Amevi, 'Novel Photovoltaic Module Modeling using Matlab/Simulink', IJCA (0975-8887), V. 83 – No.16, 2013.
- [17] T. Sebbagh, A. Abdelouahed, 'Etude de l'impact des facteurs climatiques (Température, ensoleillement) sur la puissance des cellules photovoltaïques', SN02, Ecole Normle Supérieure d'Enseignement technologique de Skikda, Skikda, Algérie, Decembre 2014.