



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

Pour l'obtention du diplôme :
MASTER en Énergies Renouvelables
Option : Conversion photovoltaïque

Thème

*Etude et Analyse du fonctionnement de
centrale PV connecté au réseau d'In Salah*

Réalisé par :

BRAHMI Manel

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur DR. BENAHMED Moumen	USDB	Président
Monsieur DR .DOUMAZ Toufik	USDB	Examineur
Madame DR.MAZOUZ Halima	USDB	Examineur
Madame DR. AMROUCHE Badia	USDB	Encadreur

OCTOBRE 2022

ملخص

إن تشغيل محطة الطاقة الكهروضوئية معقد وغير خطي. لا يمكن التنبؤ بالطاقة التي توفرها المحطة الكهروضوئية لأنها تعتمد على مستوى الإضاءة الشمسية عند مدخلها ، والتي بطبيعتها متقطعة. من أجل إدارة تأثير هذا التقطع على الشبكة الكهربائية ، تقدم توقعات الطاقة المتولدة حلاً جيداً. تستند هذه التوقعات إلى ركيزتين هما نموذج تنبؤ لمورد الطاقة الشمسية المتاح ونموذج تشغيل المحطة الكهروضوئية. يركز هذا البحث على تطوير نموذج لمحطات الطاقة الكهروضوئية المتصلة بشبكة الكهرباء. سيجعل هذا النموذج من الممكن التنبؤ بمخرجات المحطة وهي الطاقة الكهربائية وفقاً لمدخلاتها ، في سياق هذا العمل ، الإضاءة الشمسية ودرجة الحرارة المحيطة. يبدأ العمل بتحليل تشغيل محطة الكهروضوئية باستخدام قاعدة بيانات تغطي سنة واحدة من القياس ، ثم نستخرج العلاقات التي تصف الارتباط بين طاقة الإخراج والمدخلات. تظهر نتائج التحليل علاقة خطية قوية بين القدرة المتولدة والإضاءة المتاحة. ومع ذلك ، تتأثر هذه العلاقة بدرجة الحرارة المحيطة التي تميل إلى خفض الطاقة المتولدة أثناء زيادتها. يركز هذا العمل على الارتباطات الحالية بين الأحجام المختلفة لمحطة 5 ميغاوات الكهروضوئية الموجودة في عين صالح من خلال استغلال القياسات التي تغطي سنة واحدة من التشغيل.

الكلمات المفتاحية: المحطة الكهروضوئية ، الارتباطات ، النمذجة ، الطاقة ، الإشعاع الشمسي ، درجة الحرارة

Résumé

Le fonctionnement d'une centrale photovoltaïque est complexe et non linéaire. La puissance fournie par une centrale PV est imprévisible car elle est fonction du niveau de l'éclairage solaire à son entrée et qui est par nature intermittent. Afin de gérer l'impact de cette intermittence sur le réseau électrique, la prévision de la puissance générée présente une bonne solution. Cette prévision repose sur deux piliers qui sont un modèle de prévision de la ressource solaire disponible et un modèle de fonctionnement de la centrale PV. La présente recherche porte sur le développement d'un modèle de centrales PV connectées au réseau électrique. Ce modèle permettrait de prédire la sortie d'une centrale qui est la puissance électrique en fonction de ses entrées qui sont, dans le cadre du présent travail, l'éclairage solaire et la température ambiante. Le travail commence par l'analyse du fonctionnement d'une centrale PV moyennant une base de données couvrant un an de mesure, ensuite on extrait les relations qui décrivent la corrélation entre la puissance en sortie et les entrées. Les résultats de l'analyse montrent une forte corrélation linéaire entre la puissance générée et l'éclairage disponible. Cette relation est, néanmoins, affectée par la température ambiante qui a tendance à baisser la puissance générée en augmentant. Le présent travail se focalise sur les corrélations existantes entre les différentes grandeurs de la centrale PV de 5MW d'In Salah en exploitant les mesures couvrant une année de fonctionnement.

Mots clés : centrale PV, corrélations, modélisation, la puissance produite, l'éclairage solaire, la température.

Abstract

The operation of a photovoltaic power plant is complex and non-linear. The power supplied by a PV plant is unpredictable because it depends on the level of solar illumination at its input, which is by nature intermittent. In order to manage the impact of this intermittency on the power grid, power forecasting generated a good solution. This forecast is based on two pillars which are a forecast model of the available solar resource and a model of operation of the PV plant. This research focuses on the development of a model of PV power plants connected to the electricity grid. This model makes it possible to predict the output of a plant which is the electrical power according to its inputs which are, in the context of the current work, the solar illumination and the ambient temperature. The work begins with the analysis of the operation of a PV plant using a database covering one year of measurement, then we extract the relationships that describe the correlation between the output power and the inputs. The results of the analysis show a strong linear correlation between the generated power and the available illumination. This relationship is, however, affected by the ambient temperature which tends to lower the power generated as it increases. This work focuses on the existing correlations between the different sizes of the 5MW PV power plant of In Salah by exploiting the measurements covering one year of operation.

Keywords: PV plant, correlations, modelling, produced power, solar radiation, temperature.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord ALLAH qui m'a donné l'aide, le courage, le pouvoir et surtout la patience pour finaliser ce travail.

Je remercie ma promotrice Mm AMROUCHE Badia pour son soutien et ses conseils et d'avoir accepté de diriger mon travail. Je remercie mes enseignants pour leurs efforts, leur aide précieuse, et leurs conseils bienveillants. Je remercie également les membres du jury. Je remercie le président Monsieur BENAHMED pour avoir accepté d'évaluer mon travail, et je remercie les examinateurs madame MAZOUZ et Monsieur DOUMAZ.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études

A mes chers parents, il est naturel que ma pensée la plus forte aille vers eux. Surtout à toi chère mère, ma préférée dans cet univers : pour l'amour et l'affection que tu m'as offerte, pour tes conseils fructueux qui m'ont été prodigués, grand merci.

A toute la famille ;

A tous les amis ;

A tous ceux que j'aime ;

A tous ceux qui savent.

Nomenclature

G	Eclairement [W/m ²]
I	Courant électrique [A]
I_{cc}	Courant de court-circuit [A]
I_{mpp}	Courant au point de puissance maximale [A]
K_v	coefficient de température (A/C)
MPP	point de puissance maximale
NOCT	Temperature nominale d'utilisation des cellules
P	Puissance [W]
PV	Photovoltaïque
STC	conditions standards de test.
T	Température [C k]
T_a	Température ambiante [C k]
V	Tension [V]
V_{mpp}	Tension au point de puissance maximale [V]
V_{oc}	Tension de circuit ouvert [V]
W	Watte
σ	Le rapport entre la puissance et l'éclairement

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 :	3
Contexte et problématique.....	3
1.1 . Introduction.....	3
1.2 La Transition Energétiques et les énergies Renouvelables en l’Algérie.....	3
1.2.1 Transition énergétique en Algérie	4
1.2.2. Le Potentiel National solaire	5
1.2.3. Le Potentiel National <i>éolien</i>	6
1.2.4. Programme de Développement des Energies Renouvelables	7
1.3 Les centrales PV en Algérie.....	8
1.3.1. Présentation de SONELGAZ Energies Renouvelables.....	9
1.3.2. Répartition des centrales photovoltaïques	10
1.4. Exposition de la problématique.....	11
1.5 Conclusion	13
Chapitre 2 :	14
La modélisation du fonctionnement d’une centrale PV connectée au réseau	14
2.1. Introduction.....	14
2.2. Les centrales PV connectée au réseau électrique.....	14
2.2.1. Les composants de la centrale PV connectée au réseau	15
2.3 Les trois types de modélisation	19
2.2.1 Modélisation Boite blanche : (analytique)	19
2.2.2 Modélisation boîte noire :	19
2.2.3 Modélisation boîte grise : (semi-analytique ou semi numérique).....	20
2.3. Comparaison entre les trois types de modélisation	20
2.4 La Modélisation du fonctionnement d’une centrale PV.....	21
2.4.1. Présentation des travaux antécédents.....	21
2.5. L’idée du modèle intégrant l’influence de la température ambiante et l’éclairement en même temps.....	26
2.6. Présentation de la méthodologie de travail.....	26
2.7 Conclusion	27

Chapitre 3 :	28
Présentation des résultats de l'analyse des données de la centrale connectée au réseau de In Salah en vue de sa modélisation	28
3.1. Introduction	28
3.2. Description de la centrale PV d'In Salah	28
3.2.1 Position géographique	28
3.2.2 Caractéristiques techniques de la centrale d'In Salah	31
3.2.3. Sous champ PV	33
3.2.4. Modules photovoltaïques	34
3.2.5. Onduleur c 500KH	34
3.3 Présentation de la base de données	35
3.4 Prétraitement de données	36
3.4 Analyse des données	37
3.4.1 Les données d'une année	40
3.4.2 Le cas des journées à forte intermittence de l'éclairement.	45
3.4.3 Analyse des corrélations	48
3.5 Conclusion	62
Conclusion générale	63
Bibliographie et Webographie	65

Liste des Figures

Chapitre 1 :

Figure 1.1: Potentiel solaire en Algérie par région.....	5
Figure1. 2: vitesse de vent disponible dans lrs régions du l'Algérie [3,4]	6
Figure1. 3: Evolution estimée du parc national de production d'électricité(MEM)[7]	7
Figure 1 4: La répartition de ce programma par filière technologie [8]	8
Figure 1. 5 : Le site des centrales sur la carte géographique de l'Algérie [9].....	9
Figure1. 6: Evolution de l'éclairement solaire au niveau de la centrale PV d'In Salah durant la deuxième semaine du mois de janvier 2017.	11
Figure 1.7 : Evolution de la puissance générée par la centrale PV d'In Salah durant la deuxième semaine du mois de janvier 2017.	12

chapitre 2:

Figure 2.1. schéma d'une centrale de production d'électricité PV	15
Figure 2.2: Le champs PV technologie couche mince[10]	16
Figure 2.3. les boites de raccordements [10].....	16
Figure 2.4: Onduleurs de la centrale PV	Error! Bookmark not defined.
Figure 2.5: Transformateur [10]	Error! Bookmark not defined.
Figure 2.6: La salle de controle [10]	Error! Bookmark not defined.
Figure 2.7: station météorologique [10].....	19
Figure 2.8. Schéma de bloc de fonctionnement de centrale PV	21
Figure 2.9. régression linéaire du nuage de P en fonction de G pendant plusieurs jours [15]	22
Figure 2.10: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance décembre entre 16j et 25j	24
Figure 2.11: L'isolation de l'effet de température ambiante (11/01/2021)[16]	25
Figure 2.12: l'isolation de l'effet de la température (Avril et mai)[16].....	25

Chapitre 3 :

Figure3.1. Position géographique de centrale PV In Salah.....	29
Figure 3.2. Variation de la température maximum et minimum pendant l'année 2021 à In Salah (données recoupée de [17]).....	30
Figure 3.3. Variation de la température moyenne d'In Salah pendant l'année 2021 (données recoupée de [17]).....	30
Figure 3.4. Schéma général de la centrale d'In Salah de 5MW raccordée au réseau.....	32
Figure 3.5. Aperçu schématique d'un sous-champ dans la centrale In Salah.....	33
Figure 3.6 : Capture d'écran de fichier de données.....	35
Figure 3.7. Filtrages des valeurs aberrantes identifiées.....	37
Figure 3.8. L'éclairement en fonction du temps (21/06/2017).....	37
Figure 3. 9 . la Puissance en fonction du temps (21/06/2017).....	38.
Figure 3. 10. Température ambiante en fonction du temps (11/04/2021).....	38
Figure 3. 11. L'humidité en fonction du temps.....	39
Figure 3. 12. la pression en fonction du temps.....	39

Figure 3. 13. la vitesse de vent en fonction du temps.....	40
Figure 3. 14.. Evolution de l'éclairement durant un an.....	41
Figure 3.15 .Evolution de la température ambiante durant un an.....	41
Figure 3.16 Evolution de l'humidité durant un an.....	42
Figure 3.17 .Evolution de la vitesse de vent durant un an.....	42
Figure 3.18 .Evolution de la puissance produite durant l'année 2017.....	43
Figure 3.19 .Evolution des températures maximales et minimale mensuelles durant l'année 2017.....	44
Figure 3.20.. Exemple de suppression de journées à forte intermittence de l'éclairement.....	45
Figure3.21. Evolution de l'éclairement solaire.....	46
Figure3.22 .Evolution de la température ambiante	46
Figure3.23. Evolution de la puissance	47
Figure 3.24. La puissance produite en Avril.....	47
Figure 3.25 : Corrélacion entre l'éclairement solaire et la puissance générée sur une année de mesure.....	48
Figure 3.26 : Mois de mai avant nettoyage.....	49
Figure 3.27 : Mois de mai après nettoyage.....	49
Figure 3.28 : Mois de mai après nettoyage (suite et fin).....	50
Figure3.29 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement.....	50
Figure 3.30 : Modélisation par régression linéaire de la relation entre la puissance et l'éclairement durant le mois de mai.....	51
Figure 3.31: droites de régression linéaire entre la puissance et l'éclairement durant les 6 premiers mois e l'année.	52
Figure 3.32 : droites de régression linéaire entre la puissance et l'éclairement durant les 6 derniers mois e l'année.....	53.
Figure 3.33 : la puissance en fonction de la température ambiante	53
Figure 3.28 : l'éclairement dans un ordre croissant.....	53
Figure 3.29 : La puissance en suivant l'ordre de l'éclairement.....	54
Figure 3.30 : La température ambiante suivant l'ordre de l'éclairement.....	54
Figure 3.31 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement et la température ambiante.....	55
Figure3.32 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement et la température ambiante (avec rotation).....	55
Figure 3.33 : La température du module suivant l'ordre de l'éclairement.....	56
Figure 3.34 : Relation entre le rapport puissance-éclairement et la température ambiante pendant une année.....	57
Figure 3.35 : Variation du rapport P/G.....	58
Figure 3.36 : Variation de la température durant le mois de mai 2017.....	58

Figure 3.37 : Conditions de travail et puissance générée durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.....59

Figure 3.38 : Evolution de la température ambiante et la température du module (calculée) durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.....60

Figure 3.39 : Evolution de du rapport puissance-éclairage durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.....60

Figure 3.40 : Relation entre l'évolution du rapport puissance-éclairage et la plage de variation de G.....61

Liste des Tableaux

Tableau 1.1: La situation des centrales en Algérie[9].....	10
Tableau 2.1: Avantage et inconvénient des trois type de modélisation	20
Tableau 2.2: les valeurs des coefficients de régression a et b [15].....	23
Tableau 3.1. Paramètres de conception de la centrale photovoltaïque In Salah 5 MW.....	33
Tableau 3.2. Configuration de la centrale in Salah 5 MWc.....	33
Tableau 3.3. Caractéristiques du panneau de la centrale d(In Salah).....	36
Tableau 3.4. spécifications de l'onduleur.....	36

Introduction Générale

En Algérie comme partout dans le monde la consommation en énergie électrique est en très forte croissance. De nouvelles sources d'énergie sont toujours les bienvenue pour diversifier le mixe énergétique. Les énergies renouvelables offre une nouvelle perspective très prometteuse au vue du gisement dont dispose notre pays. Ainsi un nouveau programme de développement sur ce secteur, se résumant à une soixantaine de projets (en grande majorité solaires photovoltaïques), avec comme objectif, à l'horizon 2030, la production d'électricité de l'ordre de 22000MW et une couverture de 40% des besoins d'électricité du pays en 2030 [1].

La stratégie de l'Algérie est axée sur le déploiement de méga centrales PV connectées au réseau électrique. Cependant, comme la ressource solaire est intermittente et imprévisible, ces centrales pourraient être considérées comme des sources de perturbations pour la stabilité du réseau électrique. Des solutions techniques sont proposées et appliquées partout dans le monde. L'une d'elle consiste à prédire la production énergétique des centrales afin de gérer le réseau en fonction. Une bonne prévision repose sur deux piliers 1) la prévision des conditions de travail et 2) disposer d'un modèle décrivant le fonctionnement de la centrale PV avec une grande fiabilité.

Une centrale PV connectée au réseau est un système très complexe. Sa sortie, qui est la puissance générée, est fonction des conditions de travail, à savoir le niveau de l'éclairement et la température du module. Cette dernière est-elle même fonction de du niveau de l'éclairement et de la température ambiante. Le présent travail constitue la première étape d'un travail détaillé de modélisation d'une centrale PV connectée au réseau électrique. il se focalise sur l'analyse des relations et des corrélations qui lient les différentes grandeurs intervenant dans le fonctionnement d'une centrale PV connectée au réseau.

Ce travail a été possible grâce aux données mesurées au niveau de la centrale de 5MW d'In Sallah qui se situe au centre du Shara Algérien. Notre travail se focalise sur deux paramètres qui sont l'éclairement (l'irradiance solaire) et la température ambiante et leur influence sur la puissance générée par la centrale à sa sortie.

Le reste du mémoire est organisée en trois chapitres.

Le premier chapitre donnera un aperçu du contexte général. Plusieurs notions seront rappelées telles que la transition énergétique, les énergies renouvelables et leur importances, le développement énergétique à partir les centrales PV connecté au réseau et leurs particularités.

Le deuxième chapitre donne un aperçu sur les travaux antécédents effectués par des étudiants des promotions précédentes et qui s'inscrivent dans la même optique : analyse, comprendre et modéliser le fonctionnement des centrales connectées au réseau électriques à la base de mesures. Ce chapitre sera l'occasion aussi de présenter la méthodologie de travail.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats de traitement et d'analyse des données. Il résumera toutes les corrélations constatées et donnera des orientations sur les pistes à suivre dans les travaux futures pour construire un modèle fiable qui prendra en compte toutes corrélations complexes relevées au cours de cette analyse.

Enfin, une conclusion générale, donnera une synthèse générale des résultats obtenus et ciblera les travaux qui pourront constituer une suite au contenu du présent mémoire.

Chapitre 1 :

Contexte et problématique

1.1. Introduction

L'Algérie a occupé la troisième place au niveau africain en matière de capacités d'énergies renouvelables installées avec 0.5 gigawatts (GW) à fin 2020, après l'Afrique du sud et l'Egypte, a indiqué le rapport mondial sur l'état des énergies renouvelables de 'initiative REN21. Ces dernières années, l'Algérie a connu une transition énergétique remarquable dans le remplacement progressif des énergies fossiles par un mix énergétique privilégiant les énergies renouvelables, pour réduire les problèmes environnementaux et climatique et augmente la croissance économique de l'énergie

Actuellement, la stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire à travers la réalisation des centrales photovoltaïque au depuis 2014 sur les Wilayas de Algérie qui sont considérés l'un pilier énergétique les plus importants, et basé sur la programme nationale de développement des énergies renouvelables de 22000 MW.

Dans ce chapitre nous parlerons sur le développement énergétique a partir les projets des énergies renouvelables et les centrales PV connectée au réseau en Algérie.

1.2 La Transition Energétiques et les énergies Renouvelables en l'Algérie

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable où il représente le cœur de la politique énergétique et économique. La cause principal qui a fait entrer l'Algérie dans la Voie des énergies Renouvelables est la baisse de la production énergétique due à l'augmentation de la demande nationale d'électricité générée a travers du gaz naturel a raison 98 % et cela réduit les quantités d'exportations, donc la détérioration de l'économie.

1.2.1 Transition énergétique en Algérie

La transition énergétique s'appuie sur les progrès technologiques et la volonté politique au sens large associant gouvernements, populations, acteurs économiques, c'est une partie intégrante de la transition écologique, représente l'ensemble des transformations en termes de production, distribution et consommation des énergies destinées à rendre le système énergétique plus durable [1].

L'Algérie se trouve aujourd'hui confrontée à un choix dans sa transition économique et énergétique très complexe. Sa dépendance aux hydrocarbures devient dangereuse, surtout en raison de l'incertitude du revenu de cette rente mais aussi du caractère épuisable de cette ressource dont les réserves s'amenuisent et peinent à faire face à une demande croissante (croissance démographique et développement du niveau de vie et des exigences sociales).

Outre l'objectif de s'affranchir de manière graduelle de la dépendance vis-à-vis des ressources conventionnelles, cette transition doit permettre à notre pays d'amorcer une dynamique d'émergence d'une énergie verte et durable dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques, en renforçant entre autres le développement des énergies renouvelables, la promotion de l'efficacité énergétique et des technologies propres, la rationalisation de la gestion des ressources en eau, la valorisation des déchets etc.

1.2.1.1. Modèle Énergétique durable

Le modèle énergétique à 2030 prendra en compte toutes les énergies, et permettra la définition d'une stratégie où les énergies fossiles seront de plus en plus épargnées au profit des générations futures. Le modèle du "bouquet énergétique" pour 2030, mettra l'accent sur toutes les énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien ainsi que la géothermie et l'hydroélectricité. Il s'appuiera sur le potentiel d'économie d'énergie existant dans l'ensemble des secteurs d'activité, sur l'intégration progressive des énergies renouvelables dans le mix énergétique et l'exploitation de l'ensemble du potentiel énergétique existant et exploitable tel que le nucléaire [1].

Ce nouveau modèle énergétique permettra à l'Algérie de s'éloigner de cette dépendance aux énergies fossiles, de continuer à assurer son développement économique et social et enfin de laisser un viatique aux générations futures. La proposition de la loi sur la transition viendra

alors, en fonction du modèle énergétique retenu, fixer des objectifs quantifiables, pour l'ensemble des secteurs concernés, ainsi les choix futurs en rapport avec la transition énergétique [1].

1.2.2. Le Potentiel National solaire

L'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable, parce qu'elle constitue le pays le plus ensoleillé de tout le bassin méditerranéen avec un potentiel estimé à 169 TWh/m²/an constitué comme suit : régions côtières avec 1700 TWh en 265 heures/an, hauts plateaux avec 1900 TWh en 3000 heures/an et le Sahara avec 2650 TWh en 3500 heures/an.

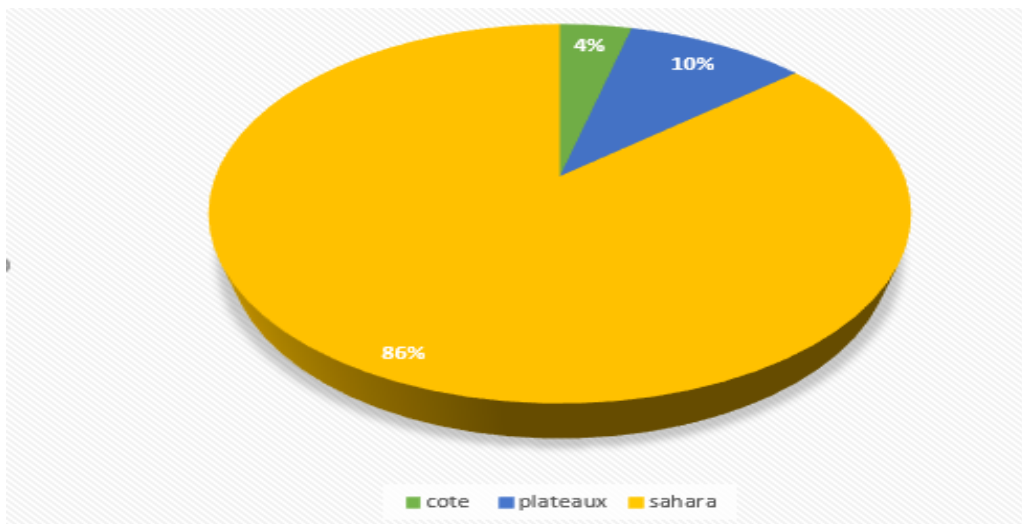


Figure 1.1: Potentiel solaire en Algérie par région

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut même atteindre 3900 heures notamment dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, sur l'ensemble du territoire national, l'énergie solaire globale reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré varie entre 5.1 KWh au Nord et 6,6 KWh dans le Grand Sud [2].

1.2.3. Le Potentiel National éolien

L'Algérie dispose d'un bon potentiel de production éolienne dans plusieurs régions, telles que MSila, bou Chekif, Djelfa et Mecheria .ces endroits ont des conditions venteuses tout au long de l'année, avec des vitesses allant de 6 à 7 m/s. Bien qu'il existe d'autres endroits avec des vitesses de vent élevées, comme In Salah et Adrar, ces endroits ne sont pas adaptés à l'installation de production éolienne en raison des conditions géographiques et de l'indisponibilité du réseau de transport électrique. D'autre part, des températures extrêmes jusqu'à 50 C° limitent l'installation dans les régions désertiques du sud du pays [3,4].

En Algérie, il en existe un centrale éolienne situé dans la région de l'Adrar. La ferme éolienne de Kaberten, une première ferme éolienne de 10 MW de puissance a été implantée à Adrar et mise en service en juin 2014. L'énergie électrique fournie par cette ferme est injectée au réseau local et le taux de pénétration de l'énergie éolienne représenterait 5% environ [5].

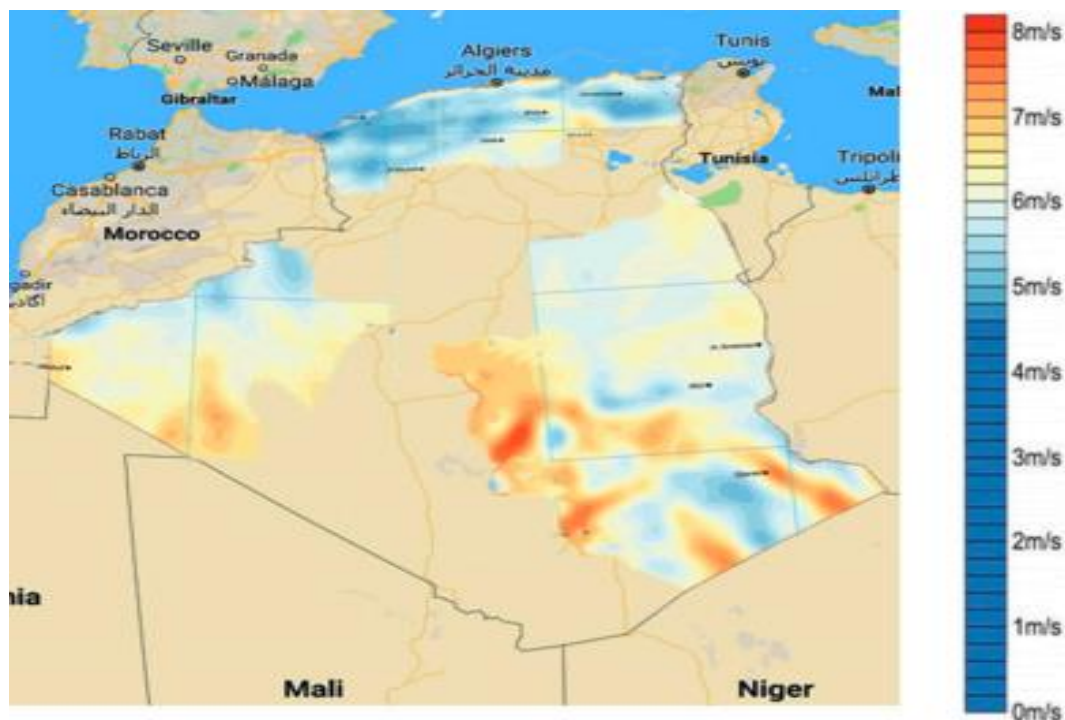


Figure1. 2: vitesse de vent disponible dans lrs régions du l'Algérie [3,4]

1.2.4. Programme de Développement des Energies Renouvelables

Le programme des énergies renouvelables dans sa version actualisée, consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent [6]. Le premier programme national dédié au développement et la promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (PNEREE) en Algérie, a été adopté par le Gouvernement en date du 3 février 2011. Il ambitionnait un taux de 40 % de capacité de production d'électricité d'origine renouvelable à l'horizon 2030. Ceci étant sur la base d'une estimation de l'évolution de la puissance installée préalablement établie (Figure 1.3) et présentée par le Ministère de l'Energie et des Mines (MEM), qui a tablé sur une consommation annuelle globale à terme de 150 TWh/an [7].

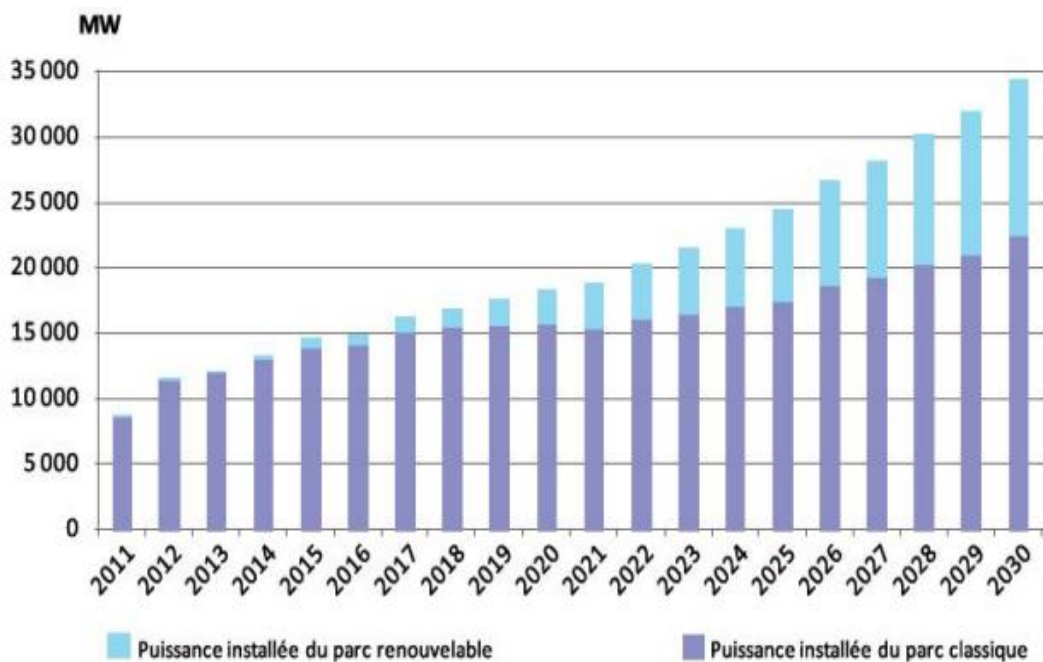


Figure1. 3:Evolution estimée du parc national de production d'électricité(MEM)[7]

Ce programme axé sur l'énergie photovoltaïque pour grande partie par rapport aux autres l'énergie éolienne , solaire thermique , biomasse etc.

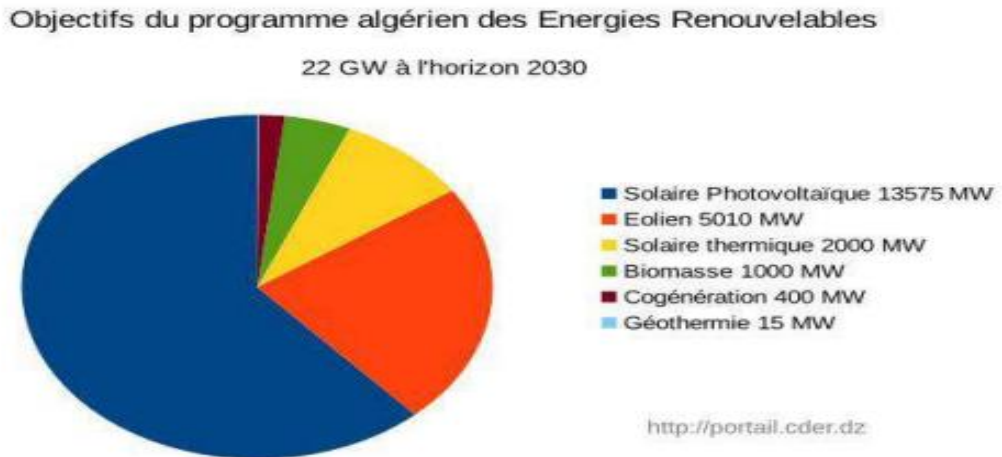


Figure 1 4: La répartition de ce programma par filière technologie [8]

1.2.4.1 Projet de 1000 MW de centrales PV en 2021

Pour la mise en œuvre du programme national de développement de la production de l'électricité à partir de sources renouvelables, il a été proposé en concertation avec le Ministère de l'Énergie, la création d'une société de développement de centrales d'énergie électrique renouvelable à l'instar des sociétés nationales et internationales de développement de tels projets d'envergure. La prise en charge de ces projets, par de telles entités a permis de réduire progressivement les prix du kWh renouvelable, suite notamment à leur rôle d'interface et de garant vis-à-vis des investisseurs [1].

1.3 Les centrales PV en Algérie

La société SONELGAZ Energies Rnouvelables ex SKTM (Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadiada) a installé depuis 2014 un nombre de 22 centrales photovoltaïques et un centrale éolienne sur le territoire national comme illustré sur la Figure 1.5 pour exécuter la première phase de déploiement du programme national des énergies renouvelables .

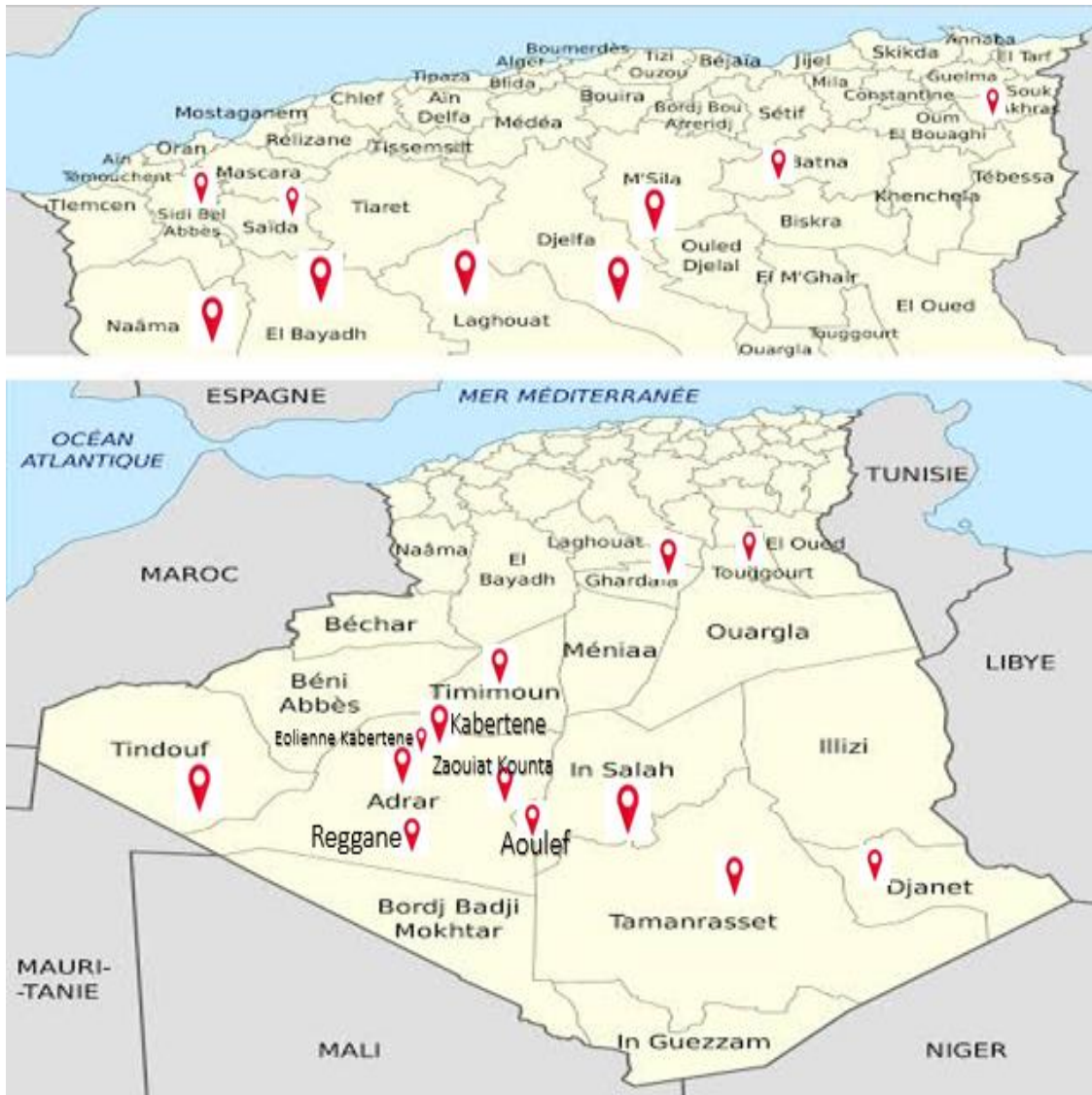


Figure 1. 5 : Le site des centrales sur la carte géographique de l'Algérie [9]

1.3.1. Présentation de SONELGAZ Energies Renouvelables

SONELGAZ Energies Renouvelables ex [Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida](#), SKTM est une société de production d'électricité (SPA) , dont le capital est souscrit entièrement par la holding Sonelgaz.. Créée le 07 avril 2013, par scission de la société SPE Spa dont siège social est basé à Ghardaïa [8]. Elle a pour mission de développement de réseau électrique pour les besoins du territoire national et pour un but d'apporter une continuité de service de production de haute qualité pour l'Algérie surtout pour les régions sud. La volonté de la concrétiser l'ambitieux programme national de développement des énergies renouvelables, en mettant en valeur les potentialités énormes dont dispose notre pays, notamment l'étendue de son territoire et la durée d'ensoleillement [9].

1.3.2. Répartition des centrales photovoltaïques

La capacité totale des centrales environ 354 MW jusqu'à 400MW, la première centrale mise en service est celle de Djanet en 2015 d'une puissance 3MW, la grande centrale de puissance est Laghouat de 60MW et la plus petite valeur de puissance est Ghardaïa de 1.1MW avec la centrale de Batna de 2MW [9]. Elles sont regroupées en trois groupes avec la région et la puissance de production selon le tableau 1.1.

Tableau 1.1: La situation des centrales en Algérie[9]

Service de production	Les centrales	Année d'injection	Puissance (MW)
Hauts plateaux EST	Ghardaïa	2014	1.1
	Batna	2015	2
	Souk Ahras	2016	15
	Msila	2016	20
	Touggourt	2016	30
	Djelfa	2015/2016	53
Hauts plateaux OUEST	Sidi Bel Abbas	2015	12
	Naama	2016	20
	El Byadh	2016	23
	Saida	2016	30
	Laghouat	2016	60
SUD	Kabertère PV	2015	3
	Djanet	2015	3
	Reggane	2016	5
	Aoulef	2016	5
	In Salah	2016	5
	Zouiet Kounta	2016	6
	Timimoune	2016	9
	Tindouf	2015	9
	Kabertère éolienne	2015	10.2
	Tamanrasset	2015	13
	Adrar	2015	20

1.4. Exposition de la problématique

L'Algérie mise sur les centrales PV connectées au réseau pour sa politique de la transition énergétique. Or une centrale PV, contrairement à une centrale thermique à gaz, a une production intermittente. Cette intermittence trouve son origine dans la propriété de l'éclairement solaire qui est par nature variable à cause du mouvement de la terre autour d'elle et autour du soleil. La figure 1.6 illustre l'évolution de l'éclairement au niveau de la centrale d'In Salah au sud de l'Algérie pendant une semaine. Tandis que la Figure 1.7.

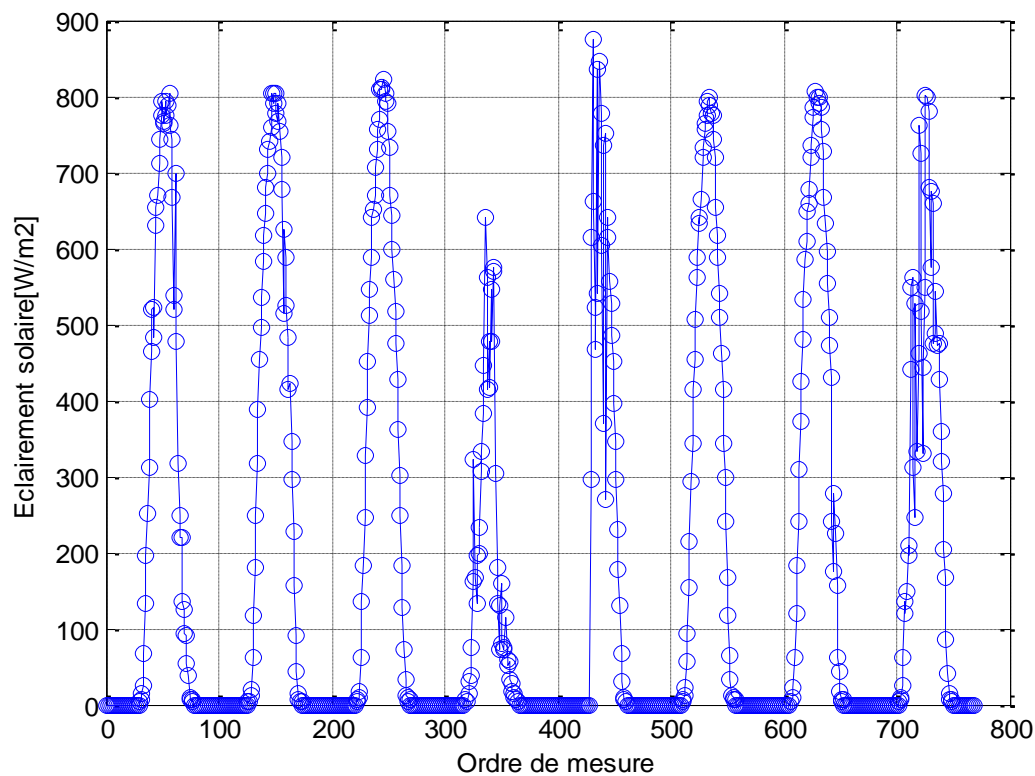


Figure1. 6: Evolution de l'éclairement solaire au niveau de la centrale PV d'In Salah durant la deuxième semaine du mois de janvier 2017.

D'un autre côté, Il faut savoir que l'opérateur en charge de la gestion du réseau électrique veille à la stabilité du système et ce, en assurant l'équilibre entre l'énergie disponible à l'entrée du réseau et l'énergie consommée à tout instant. Face à la nature intermittente de l'énergie d'origine photovoltaïque, les opérateurs électriques ont développé des solutions parmi lesquelles se compte la prévision du productible des centrales PV. En effet si l'opérateur arrive à connaître à l'avance la production des centrales PV, il peut gérer le réseau en fonction.

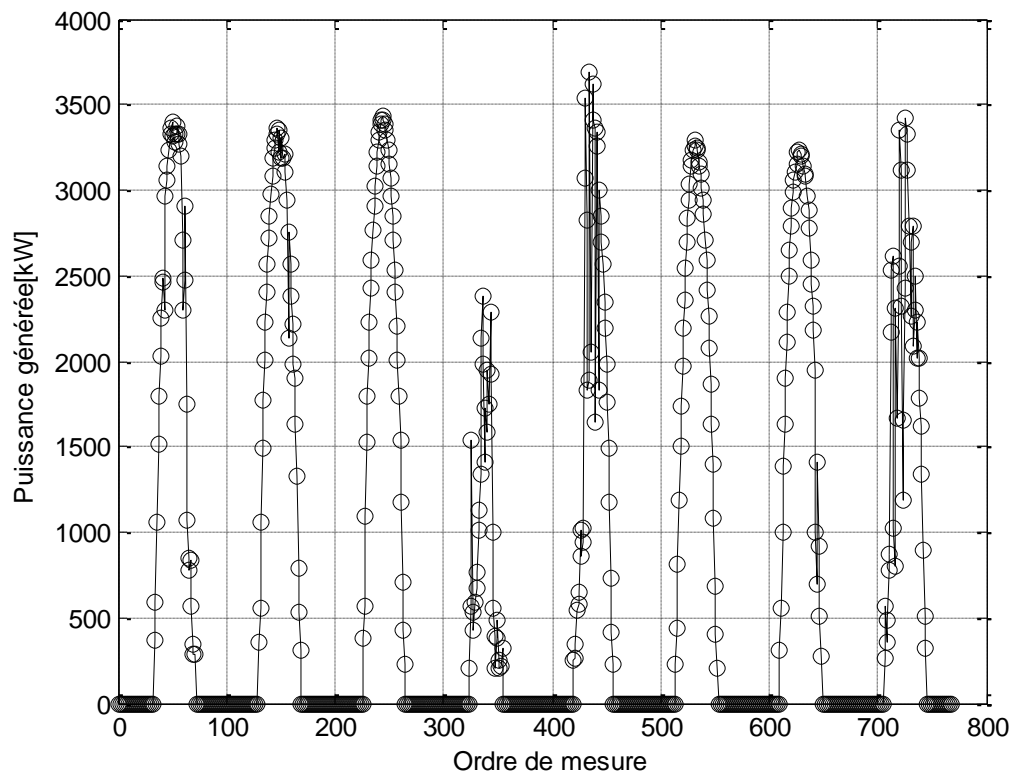


Figure 1.7 : Evolution de la puissance générée par la centrale PV d'In Salah durant la deuxième semaine du mois de janvier 2017.

La prévision du productible d'une centrale PV connectée au réseau se fait généralement en deux étapes :

- 1) Prédire la source d'énergie qui est intermittente à savoir l'éclairement solaire ;
- 2) Calculer la puissance produite par la centrale moyennant un modèle qui simule son fonctionnement.

La qualité des prévisions est fonction des résultats des deux étapes. Il faut donc disposer d'un bon modèle de prévision de l'éclairement et d'un bon modèle de simulation du fonctionnement des centrales PV. Les centrales PV sont des systèmes très complexes où la puissance générée à la sortie est fortement dépendante des conditions de travail et des technologies des composants qui la composent. Dans le présent travail, nous analysons le fonctionnement d'une centrale PV afin de développer un modèle fidèle de son fonctionnement. Cette analyse est rendu possible grâce à la disponibilité des données mesurées qui nous ont été

fournies par SONELGAZ énergies renouvelables, chose qui n'était pas possible y'a quelques années en absence de centrales PV dans notre pays.

1.5 Conclusion

Les centrales PV sont devenues des éléments essentiels du réseau électrique national dans un contexte de transition énergétique favorisant les énergies renouvelables. Les centrales PV par leur intermittence risquent de perturber le fonctionnement du réseau électrique et de sa stabilité. D'où le besoin de comprendre leur fonctionnement pour le modéliser.

Dans ce premier chapitre, il a été question de rappeler le contexte national, le programme de développement des énergies renouvelables et les centrales PV installées avant d'exposer la problématique. Dans le chapitre suivant, plus de détails sont donnés en ce qui concerne la modélisation des centrales PV et les travaux antécédents dans notre département des énergies renouvelables. La méthodologie y sera également exposée et expliquée.

Chapitre 2 :

La modélisation du fonctionnement d'une centrale PV connectée au réseau

2.1. Introduction

La production électrique de centrale PV connectée au réseau est affectée par plusieurs facteurs externes incontrôlables tels que la température, l'humidité, vitesse de vent et l'éclairement solaire, il y a donc une perte d'énergie et la baisse.

Ce chapitre traitera le sujet de modélisation du fonctionnement d'une centrale PV connectée au réseau et présentera par la même occasion les travaux antécédent entrepris par des étudiants du département des énergies renouvelables durant leur Projet de Fin d'étude de Master.

2.2. Les centrales PV connectée au réseau électrique

Une centrale PV est une installation de production d'électricité PV. Elle transforme l'énergie solaire en énergie électrique avec l'injection de la production énergétique au réseau électrique.

La centrale PV produit un courant continu à partir du rayonnement solaire à travers une certaine quantité de panneaux raccordés en série qui sont raccordés aux boîtes de raccordements en parallèle pour atteindre le niveau de courant nominal au niveau d'un ou plusieurs onduleurs par lequel le courant continu est transformé en courant alternatif. L'onduleur est à son tour relié à un transformateur d'élévation de tension, qui sera connecté au réseau électrique. La Figure suivante présente une illustration d'une centrale PV connectée au réseau électrique.

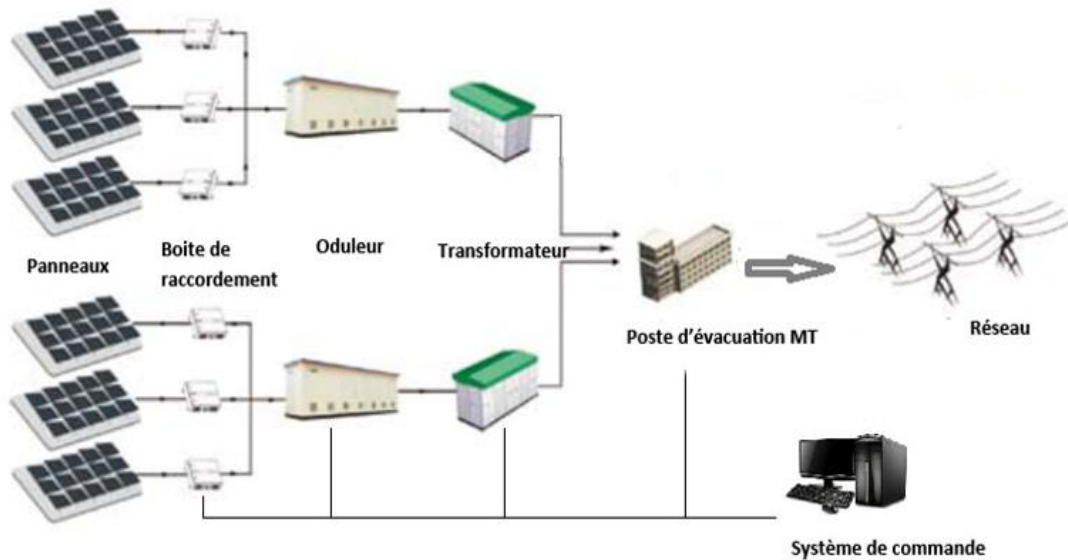


Figure 2.1. schéma d'une centrale de production d'électricité PV

Pour donner un meilleur aperçu d'une centrale PV connectée au réseau, nous présentons la centrale de Ghardaïa qui a été l'objet d'un stage de 15 jours pendant la préparation du présent PFE. La centrale de Ghardaïa délivre une puissance de 1.1MWc. C'est l'unique centrale photovoltaïque pilote en Algérie installée en 2014. Elle comporte 4 technologies de modules PV (silicium Monocristallin, silicium poly-cristallin, Amorphe est le CdTe). La centrale est considérée comme un laboratoire à ciel ouvert pour les recherches universitaires car elle permet de tester le comportement des équipements solaires ainsi que d'analyser leur adaptations au climat du sud algérien. La réalisation de cette centrale a notamment pour objectif d'évaluer la rentabilité des différentes technologies photovoltaïques avant de les déployer à travers l'ensemble du territoire national, et ce, dans le but de renforcer la sécurité d'approvisionnement en énergie électrique de la clientèle domestique et industrielle de la wilaya et, par conséquent, contribuera à l'amélioration de la qualité des prestations [10]

2.2.1. Les composants de la centrale PV connectée au réseau

- **Générateur Photovoltaïque :** contenant quatre (04) modules photovoltaïques de technologie différentes (silicium mono-ristallin , silicium polycristallin , Cdte , silicium amorph).

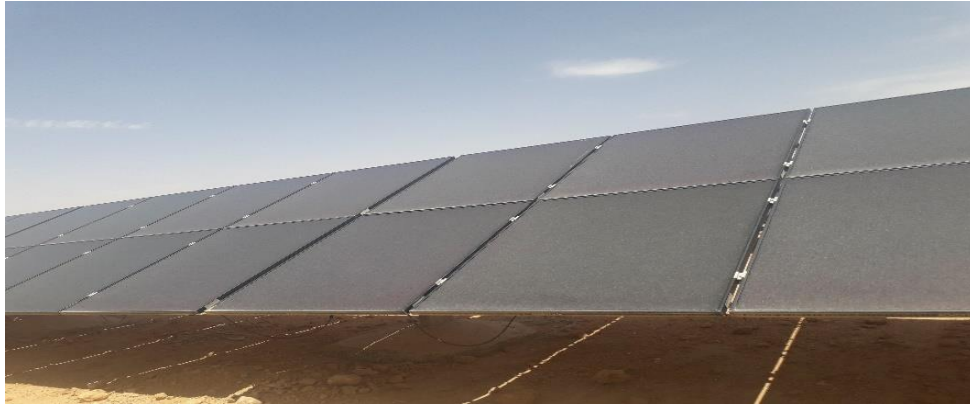


Figure2.2:Le champs PV technologie couche mince[10]

- **Équipement de raccordement** : La boîte de raccordement (ou de jonction) est le siège des connexions pour le câblage du champ photovoltaïque et prédispose les câblages au coffret courant continu. Dans la boîte il est réalisé le parallèle des chaînes de panneaux y raccordées. La boîte de raccordement contient :
 - Les bornes de chaque chaîne du sous-champ.
 - Un fusible pour chaque série de modules photovoltaïques et pour chaque polarité.
 - Un interrupteur-sectionneur.
 - Un parafoudre.
 - Des points de test pour chaque branche.
 - Un transducteur pour la mesure du courant et de la tension des chaînes de panneaux y afférent.



Figure2.3.les boites de raccordements [10]

- **Les onduleurs :** Les onduleurs sont les équipements qui transforment le courant continu produit par le champ photovoltaïque, en courant alternatif. Les onduleurs employés dans les centrales photovoltaïques sont de haut rendement : onduleurs solaires. A Ghardaïa les onduleurs sont de marque ASI (AnsaldoSistemiIndustriali – Answer Drives), type PV8L et PV8M. Ils sont installés dans le bâtiment électrique au milieu du cham.



Figure2.4: Onduleurs de la centrale PV

- **Transformateur :** Sa principale fonction consiste à élever la tension du courant qui traverse le réseau .

Les six onduleurs de type PV8L121 (100 kW) sont mis en parallèle à travers un tableau BT, nommé « TBT - Tableau de Parallèle», qui porte l'énergie sur un transformateur élévateur 30/0,4 kV, 750 kVA. Au contraire les deux onduleurs de type PV8M291 (250 kW) sont connectés aux deux enroulements secondaires d'un transformateur 30/0,27 kV, 630 kVA, à travers un « Tableau de liaison – TBT1 [10].



- Le poste

Figure 2.5: Transformateur [10]

Figure2.5: Transformateur [10]

d'évacuation : Il permet l'injection de l'énergie produite dans le réseau électrique. Il est situé dans un bâtiment à la limite du site, près de la clôture.

Pendant le fonctionnement normal de la centrale, tous les disjoncteurs et sectionneurs du tableau MT sont fermés. Le disjoncteur « général » doit être toujours enclenché ; il se déclenche automatiquement dans le cas de manque de tension sur réseau MT. En cas de manque de tension, tous les disjoncteurs internes aux onduleurs cotés AC. Se déclenchent avec un retard de quelques secondes [10].

- **Salle de contrôle** : L'acquisition des données des différents composants, la supervision ainsi que le contrôle de la centrale photovoltaïque se fait principalement dans la salle de commande, en utilisant un serveur de type DCS.

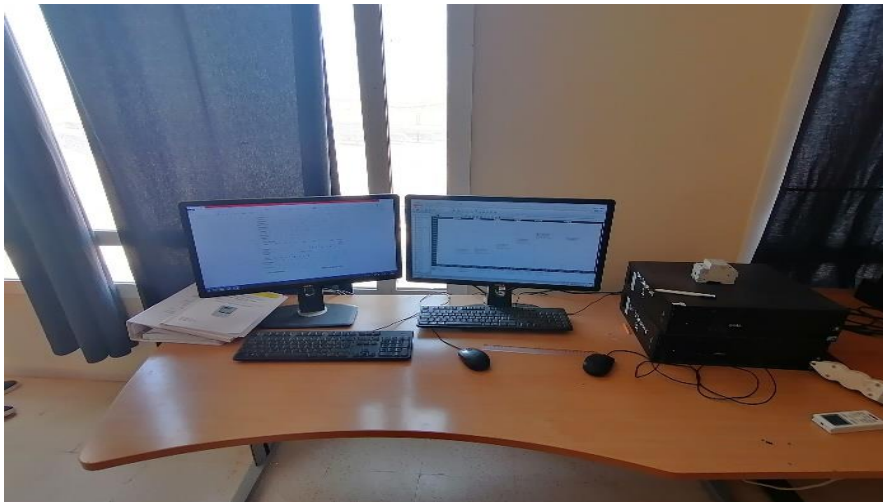


Figure 2.6: La salle de contrôle [10].

- **Station météo** : L'objectif est de construire une station météorologique donnant toutes les informations utiles et cela pour une large gamme d'utilisateurs allant du domaine familial aux métiers nécessitant des données météorologiques de centrale PV [10]. Cette station est composée de :
 - Capteur à cinq éléments (mesurer la vitesse de vent, direction de vent, température, humidité, pression atmosphérique).
 - Radiomètre inclinable.
 - Radiomètre direct solaire de suivi automatique.
 - Pluviomètre.



Figure 2.7: station météorologique [10]

2.3 Les trois types de modélisation

La modélisation d'un système peut se faire de trois manières différentes. Chacune a ses avantages, ses inconvénients et son propre principe de base. Ces trois types de modélisations sont :

2.2.1 Modélisation Boite blanche : (analytique)

La modélisation boîte blanche est l'approche permettant de décrire un modèle par des expressions mathématiques formé d'équations et des fonctions qui ont une explication physique réelle. Ces modèles donnent une réponse précise et fiable si leurs paramètres sont parfaitement connus [11]. De fait, pour les phénomènes complexes, il est difficile de construire un modèle de type boîte blanche.

L'idée de la boîte blanche est d'établir un modèle en analysant le mécanisme des phénomènes physiques, réactions chimiques et biologiques dans l'industrie processus [12]. Cependant, en ce qui concerne les systèmes avec processus de fabrication complexes, le modèle du premier principe ne peuvent souvent pas bien performer.

2.2.2 Modélisation boîte noire :

La modélisation en boîte noire consiste à utiliser, pour représenter les relations entre les entrées et les sorties, des équations (algébriques, différentielles, ou récurrentes) paramétrées, et à estimer les paramètres, à partir des mesures disponibles, de manière à obtenir la meilleure précision possible avec le plus petit nombre possible de paramètres ajustables. Pour la modélisation boîte noire, le modèle n'est caractérisé que par ses paramètres d'entrée (ou un

vecteur d'entrée) et ses paramètres de sortie (ou vecteur de sortie). Les relations liant les entrées et les sorties sont masquées.

Cette méthode ne nécessite pas de compréhension approfondie du mécanisme et ne se fier qu'aux données pour construire le modèle. Les méthodes couramment utilisées pour la modélisation basée sur les données incluent la régression en composantes principales (PCA), régression des moindres carrés partiels (PLSR) et artificielle réseau de neurones [13]. Cependant, avec le développement de la technologie, la dimensionnalité et la variété des données augmentent, le modèle basé sur les données fait face au défi de la sélection et de l'application des données.

2.2.3 Modélisation **boîte grise** : (semi-analytique ou semi numérique)

Un modèle de type boîte grise est un modèle mathématique qui s'appuie sur des connaissances physiques afin de déterminer certains de ses paramètres tandis que d'autres sont obtenus par identification en utilisant des données expérimentales. Généralement, ce modèle est décomposé en plusieurs parties, des parties boîtes blanches et des parties boîtes noires. On dit que les modèles en boîte grise ont de meilleures propriétés d'extrapolation par rapport le modèle boîte noire [14]. Un compromis raisonnable entre la boîte blanche basée sur la physique et les modèles de boîte noire basés sur les données est l'utilisation de la boîte grise.

2.3. Comparaison entre les trois types de modélisation

Les trois types de modélisation sont très utilisés. Elles sont différentes et chacune a ses propres avantages et inconvénients comme résumé dans le tableau suivant.

Tableau 2.1: *Avantage et inconvénient des trois type de modélisation*

	Boîte blanche	Boîte noire	Boîte grise
Type du modèle	Connaissances	Relations entrées-sorties	semi-analytique
Avantages	réponse précise	les paramètres sont ajustables en fonction des mesures expérimentales	réduit le nombre de paramètres à identifier
Inconvénients	Phénomènes complexes	l'absence de signification physique des paramètres qui fait que le modèle n'est pas valable au-delà des conditions pour lesquelles les paramètres ont été identifiés.	Non exhaustivité

2.4 La Modélisation du fonctionnement d'une centrale PV

La modélisation est la conception et l'utilisation d'un modèle, selon son objectif et les moyens utilisés. On modélise le fonctionnement d'une centrale en extrayant les équations mathématiques qui lient les paramètres d'entrée et de sortie de la centrale. La puissance représente la sortie de la centrale et elle affectée par la température ambiante et l'éclairement incident qui sont considérés comme étant les entrées de la centrale, selon le schéma suivant.



Figure 2.8. Schéma de bloc de fonctionnement de centrale PV

2.4.1. Présentation des travaux antécédents

Deux PFE de Master en Energies renouvelables option Conversion photovoltaïques ont été consacrés à la modélisation du fonctionnement des centrales PV connectées au réseau électrique [15-16]. Ces études ont été possibles grâce à les disponibilités de données mesurées de nos centrales obtenues après passage en stage au niveau des centrales de SONELGAZ Energies Renouvelables. Le principe de cette modélisation de ces deux travaux est celui de la modélisation en boîte noire. A chaque fois, la centrale a été étudiée, et son fonctionnement analysé en se basant sur le modèle de la boîte noire, aucune relation physique n'a été considérée. L'analyse traitait la relation entre les entrées et la sortie de la centrale PV.

2.4.1.1 Modèle puissance- éclairement solaire

Dans le premier mémoire intitulé « Modélisation de productible d'un centrale Pv Connecté au réseau », la modélisation s'est focalisée sur la relation entre l'éclairement en entrée et la puissance générée en sortie. Cela a été rendu possible en sélectionnant les points de fonctionnement à températures égales de la base de données [16] comme décrit par l'équation suivante :

$$P = f(G) \quad (2.1)$$

Avec $T_a = \text{cst}$

P : puissance

G : l'éclairement

T_a : température ambiante

L'analyse a permis d'établir l'existence d'une relation proportionnelle linéaire entre la puissance et l'éclairement solaire. Cette relation a été décrite par l'équation suivante :

$$P = a.G + b \quad (2.2)$$

La régression linéaire a été utilisée pour déterminer les coefficients a et b de l'équation (2.2) moyennant la fonction polyfit de Matlab. Le résultat est illustré par la Figure suivante.

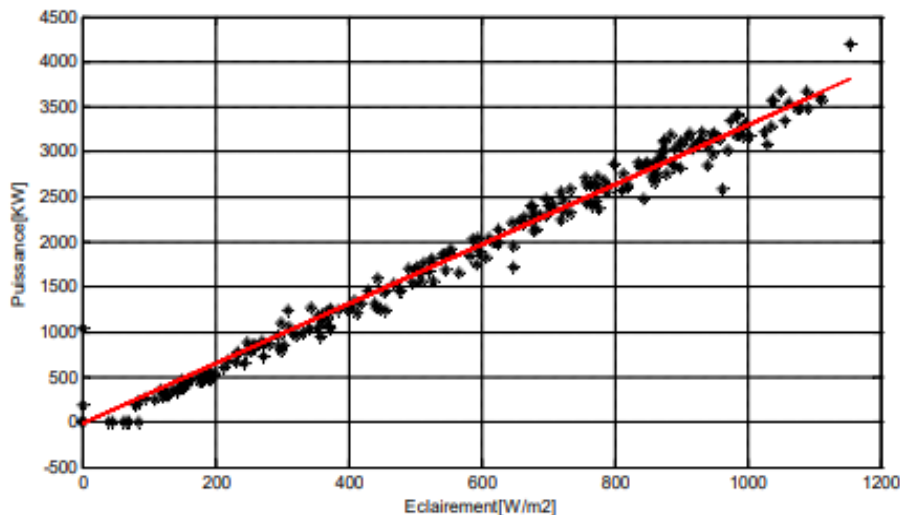


Figure 2.9. régression linéaire du nuage de P en fonction de G pendant plusieurs jours [15]

Il a été constaté que la pente des droites de régressions changeait au fil des mois. Ainsi, une étude de la variation des coefficients de la régression en fonction des mois a été entreprise pour analyser la variation des coefficients de régression durant l'année. Pour enfin appliquer une régression cubique sur les coefficients. Les valeurs de tous les coefficients sont résumées dans le tableau 2.1.

$$a = a_3m^3 + a_2m^2 + a_1 m + a_0 \quad (2.3)$$

Le modèle a été construit et développée moyennant les mesures effectués durant 3 jours de chaque mois et validé moyennant les autres jours du mois. Les résultats ont conclu de l'existence d'un autre facteur qui influençait la relation entre l'éclairement solaire et la puissance générée. Il a été conclu que ce facteur n'était autre que la température ambiante

Tableau 2.2: les valeurs des coefficients de régression a et b [15].

La période		Coefficient a				Coefficient b			
1 er mesure		3.3076				-12.6222			
Autre mesure		3.2686				-25.0179			
Derniers 8 jours de janvier		4.0606				14.9437			
8 derniers jours de mars		3.7055				-17.0768			
3 jours de mois	Derniers Janvier	4.0989				-2.6109			
	Février	3.641				8.308			
	mars	3.8218				-15.0647			
	Avril	3.4707				-1.5525			
	mai	3.1719				-31.7499			
	juin	2.9786				-21.8708			
	juillet	3.1258				-55.0704			
	Aout	3.6352				-28.7302			
	Septembre	4.0532				-8.3774			
	Octobre	4.22				-17.4773			
	Novembre	4.2806				-16.0823			
	Décembre	4.2988				-28.5671			
coefficient en fonction des mois (régression cubique)		a ₃	a ₂	a ₁	a ₀	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀
		-0.0036	0.1031	-0.7493	4.8613	-0.0501	1.6453	-15.9987	22.0486

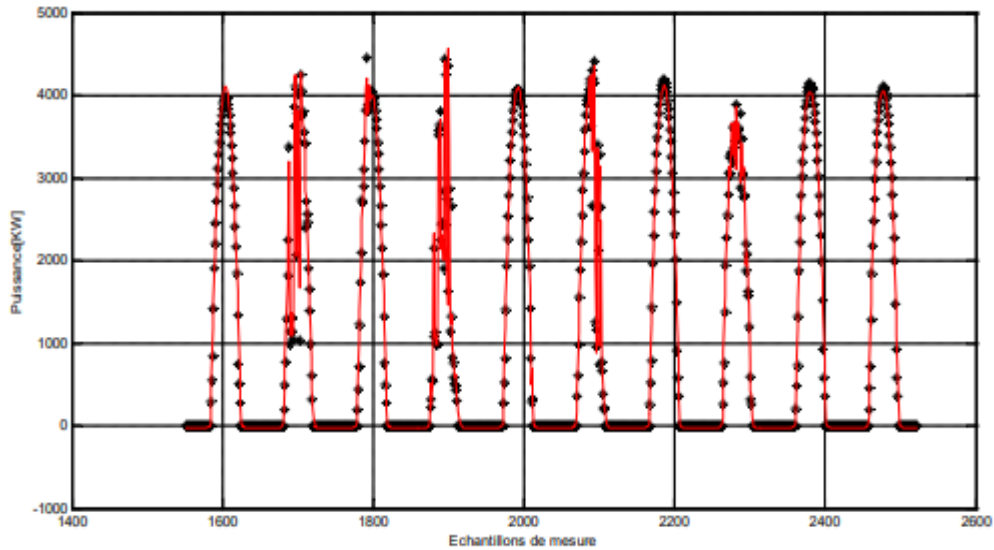


Figure 2.10: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance décembre entre 16j et 25j[15]

2.4.1.2. Modèle de la température ambiante

Afin de modéliser l'influence de la température ambiante sur le fonctionnement de la centrale et donc sur sa sortie qui est la puissance générée, des points de fonctionnement avec la même valeur de l'éclairement ont été sélectionnés pour isoler l'effet de la température. cette fois ci les données d'une autre centrales ont été exploitée, il s'agit de la centrale de Ain El-Malh de 20 MW située dans la wilaya de M'Sila.

$$P=f(T_a) \quad \text{avec } G=\text{cst} \quad (2.4)$$

La base de donnée ne couvrant que deux mois, il a été décidé 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 comme illustré dans la Figure 2.4 et d'aboutir à l'équation 2.5 qui confirme un constat bien connu qui est celui de la diminution de la puissance quand la température augmente. L'analyse s'est faite sur quatre groupes de données comme illustré par la Figure 2.5 (550 W/m², 710 W/m², 900 W/m², 1110 W/m²).

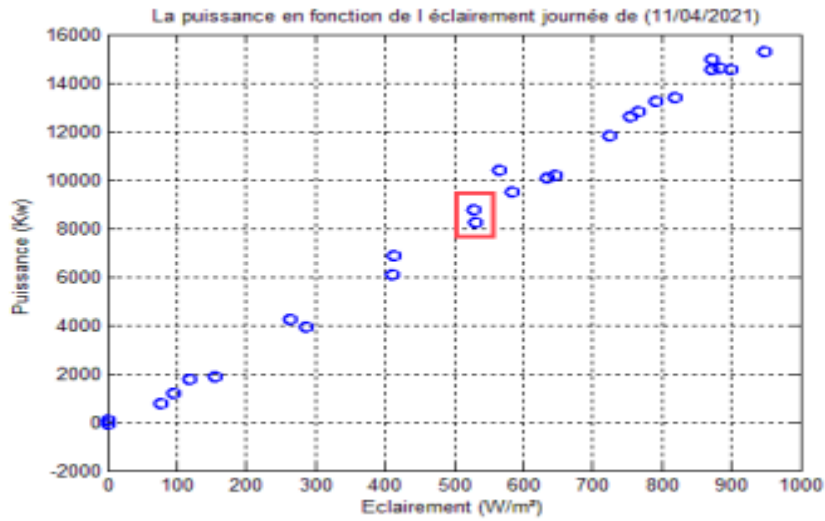


Figure 2.11: L'isolation de l'effet de température ambiante (11/01/2021)[16]

$$P = -78.46 T_a + 1024 \quad (2.5)$$

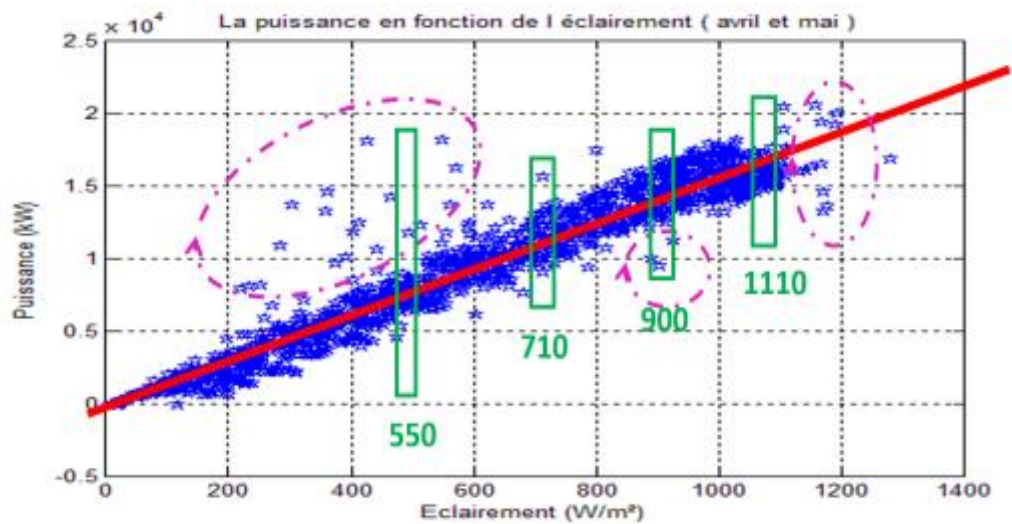


Figure 2.12: l'isolation de l'effet de la température (Avril et mai)[16]

2.5. L'idée du modèle intégrant l'influence de la température ambiante et l'éclairement en même temps

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique se fait au niveau du générateur PV qui est constitué de plusieurs centaines de milliers de modules PV pour les centrales PV connectées au réseau électrique. Il est bien connu que la puissance générée par un module et par conséquent par une centrale PV augmente quand l'éclairement augmente. Il est également connu que le module perd de ses performances quand sa température augmente. Et cette température est fonction de l'éclairement, de la température ambiante et d'une manière moindre de la vitesse du vent.

Pour que le modèle d'une centrale PV soit le plus fidèle possible, une analyse approfondie des relations qui lient la sortie de la centrale (la puissance générée) à ses entrées qui sont les conditions de travail (éclairement et température ambiante), soient analysée et modélisée.

2.6. Présentation de la méthodologie de travail

Comprendre le fonctionnement des centrales PV nécessite des données réelles mesurées dans des conditions de fonctionnement différents. La qualité du modèle développé est fonction de la richesse de la base de données qui sert à analyser le fonctionnement du système à modéliser. Dans notre cas, l'objet de travail est une base de données couvrant une année de fonctionnement d'une centrale PV. Une année de fonctionnement c'est le minimum car les conditions de travail couvrent les quatre saisons. Cette base de données a été ensuite exploitée suivant ces étapes :

- 1- Explorer et étudier la base de données afin de connaître son contenu
- 2- Définir le périmètre de l'étude en fonction des données disponibles et du temps alloué au PFE ;
- 3- Traiter et nettoyer la base de données car l'une des propriétés des mesures sur une longue période est la probabilité de contenir des valeurs erronées qui risquent de fausser l'étude.
- 4- Explorer les corrélations existantes entre les grandeurs qui nous intéressent en vue de les modéliser.
- 5- Décrire les relations entre les différentes variables, si possible.

2.7 Conclusion

Une centrale PV est une installation complexe dont le fonctionnement doit être bien maîtrisé pour garantir la stabilité du réseau électrique auquel elle est connectée. Le présent chapitre a été l'occasion de rappeler quelques notions en relation avec le sujet telles que les centrales PV, la modélisation et ses types. Pour la présentation des centrales PV, la centrale de 1.1 MW de Ghardaïa, visitée dans le cadre d'un stage durant ce PFE a été prise comme exemple. Nous avons également présenté la méthodologie de notre travail qui est axée sur l'analyse d'une base de données couvrant une année de mesures d'une centrales PV installée en plein centre du sud de l'Algérie.

Chapitre 3 :

Présentation des résultats de l'analyse des données de la centrale connectée au réseau de In Salah en vue de sa modélisation

3.1. Introduction

Désormais les paramètres d'entrée et la sortie de modèle connus, une étape importante avant la modélisation consiste à étudier le fonctionnement de la centrale en analysant la base de données. La centrale connectée au réseau d'In Salah dont la capacité est de 5MWc représente un bon cas d'étude. Les données mesurées pendant une année de fonctionnement sont utilisées pour étudier les différentes corrélations. Pour ce faire, un travail de traitement préliminaire de la base de données est effectué avant de présenter les résultats de cette analyse.

3.2. Description de la centrale PV d'In Salah

3.2.1 Position géographique

La centrale PV, objet de la présente étude, est une centrale de 5MW. Elle est installée à In Salah qui est une ville située au centre de l'Algérie, à 280 mètres d'altitude. Géographiquement, elle est située à la position dont les coordonnées géographiques sont : longitude 83 23' 6.54'' E et latitude 17 48' 8.208'' N. la centrale est branchée sur la ligne Nord-Sud. Elle a été mise en service le 11 février 2016.



Figure3.1. Position géographique de centrale PV In Salah

Le climat d'In Salah est subtropical désertique, avec des hivers très doux (mais durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés. Les précipitations totalisent 15 millimètres par an, elles sont donc au niveau désertique. En moyenne, elles ne dépassent jamais 5 mm par mois. À In Salah, il y a en moyenne 3830 heures de soleil par an.

La région d'in Salah est considérée comme l'une des plus chaudes, nous verrons donc la variation de température pendant l'année 2021.

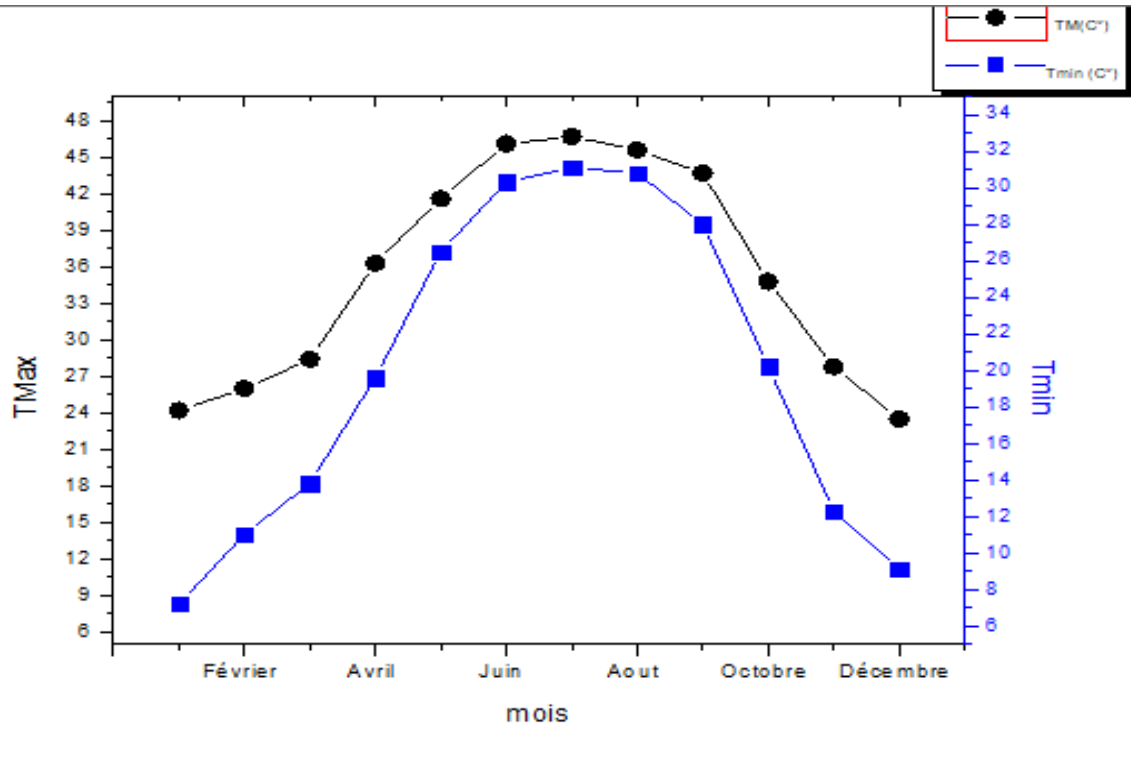


Figure 3.2. Variation de la température maximum et minimum pendant l'année 2021 à In Salah (données recoupée de [17])

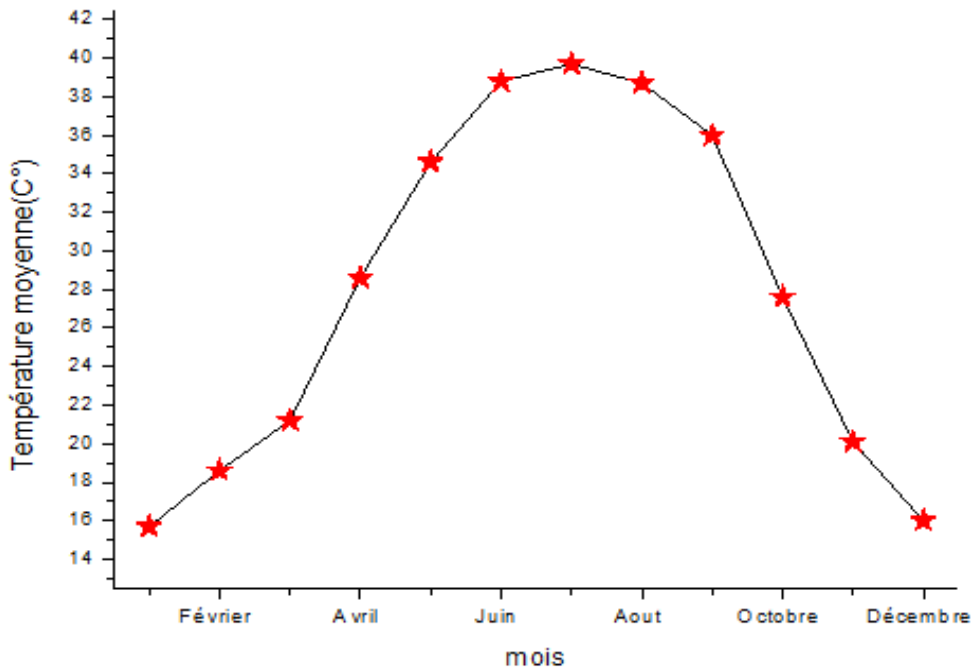


Figure 3.3. Variation de la température moyenne d'In Salah pendant l'année 2021 (données recoupée de [17])

3.2.2 Caractéristiques techniques de la centrale d'In Salah

Pour atteindre la puissance souhaitée, l'architecture de la centrale photovoltaïque tient compte des contraintes de compatibilité avec l'onduleur. Les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 avec la Configuration de la centrale dans tableau 2.

Tableau 3.1. Paramètres de conception de la centrale photovoltaïque In Salah 5 MW.

Paramètre de conception	Caractéristiques
Capacité de central	5MW
Type de module	Poly-cristallin
Rendement	15%
Type d'installation	Fixe
Distance entre rangées photovoltaïques	8 m
Onduleur	500 KW
Transformateur	315 V/30KW

Tableau 3.2. Configuration de la centrale in Salah 5 MWc.

Equipment	Nombre
Sous champ PV	5 (chaque sous champ contient 4092 panneau)
Modules PV 245 Wc	20460 panneau
Onduleurs	5
Transformateur	1 (nous ne connaissons pas le nombre exact)
Boite de jonction	120
Boite de parallèle	40

Les panneaux contiennent des cellules solaires de type Yingli fabriquées à partir de blocs de silicium poly cristallin. Ces cellules coûtent moins cher à fabriquer que cellules monocristallines, mais leur perte d'énergie est considérable à chaud climats [18] . Avec 20460 modules de 245 Wc, la capacité de production d'électricité installée est de 5MWc ou 1 MWc par sous-champ de 4092 modules. Chaque sous-terrain est équipé avec un onduleur. Les onduleurs (tension de sortie 315 V AC) sont connectés au côté basse tension via des Câbles AC vers le transformateur de 315 VA. Les 5 sous-champs sont connectés à l'évacuation 30 kV station. L'électricité produite est évacuée par une ligne aérienne de 30 kV connectée au réseau local comme indiqué selon le schéma dessous.

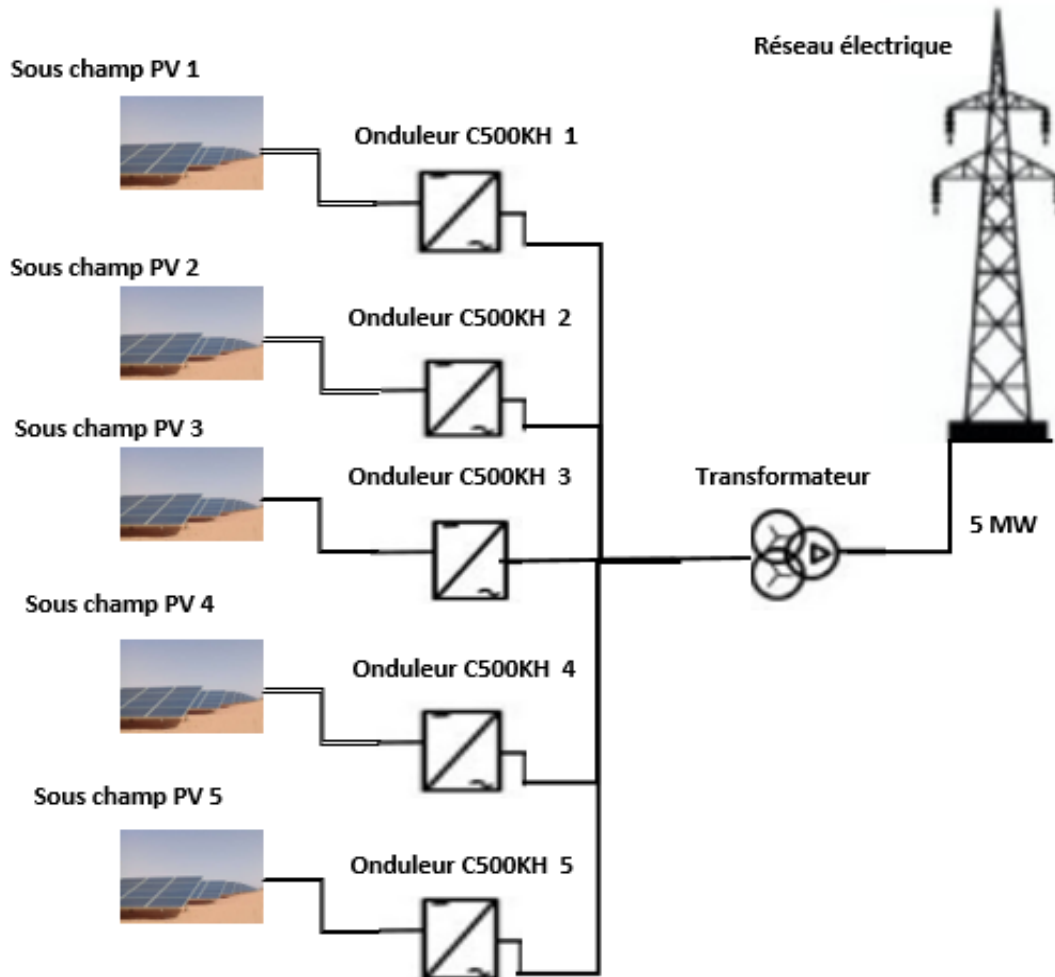


Figure 3.4. Schéma général de la centrale d'In Salah de 5MW raccordée au réseau.

3.2.3. Sous champ PV

La centrale PV contient 5 sous champs, chaque sous- champ (4092 panneau) est équipée de boîtes de regroupement à trois niveaux. Les modules photovoltaïques sont connectés à un onduleur de 500 kW armoires à travers des boîtes de jonction), des boîtes parallèles et les boîtes générales. Le courant continu est converti en courant alternatif par onduleur qui contient de 93 matrices et envoyé au poste de transformation. Les boîtiers de regroupement à trois étages réduisent la longueur totale des câbles DC et les pertes ohmiques et améliorer l'efficacité de la puissance génération dans toute la centrale selon le schéma suivant :

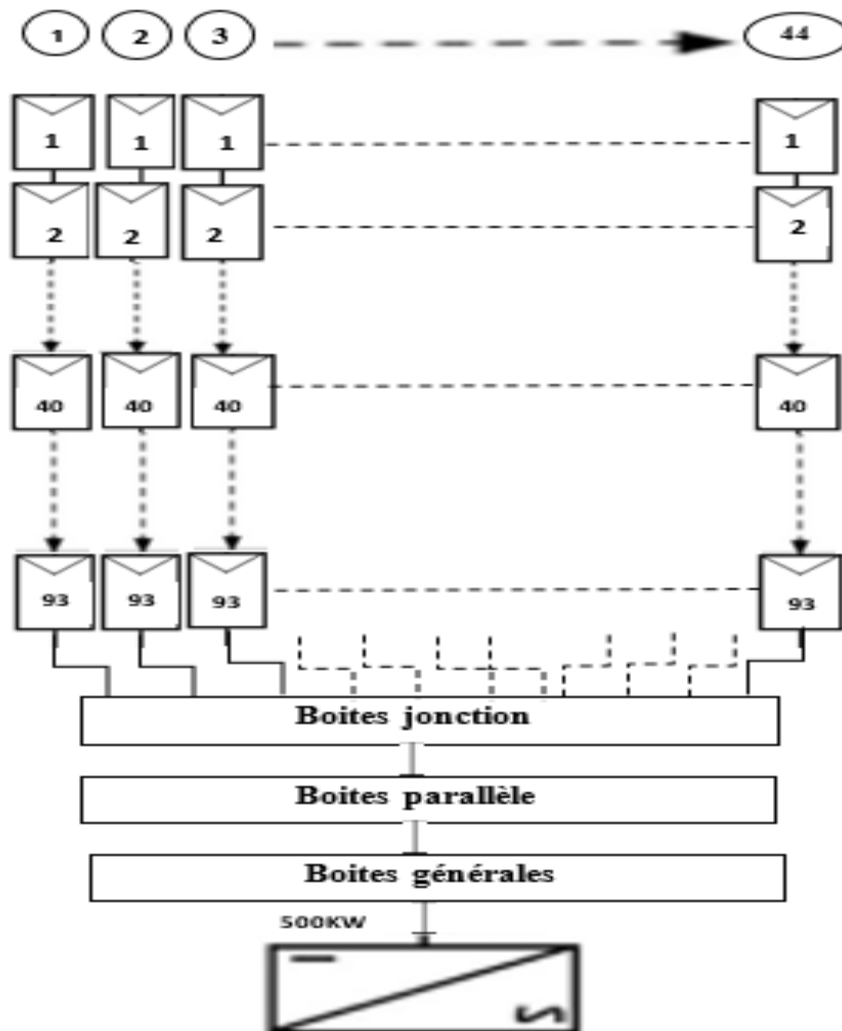


Figure 3.5. Aperçu schématique d'un sous-champ dans la centrale In Salah.

3.2.4. Modules photovoltaïques

Les caractéristiques des modules solaires photovoltaïques en polysilicium Yingli 245 W choisis par SKTM sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3.3. Caractéristiques du panneau de la centrale d'In Salah

Type de module	Yingli Solar YL245-29b
Puissance mesurée	245.0 W (0/+5)
Tension mesurée	29.6 V
Courant mesurée	8.28 A
tension à circuit ouvert	37.5V
courant à court-circuit	8.83 A
Tension système max	600Vdc ou 1000Vdc
Fusible série max	15 A
Classe de résistance au feu	classe C
température nominale de fonctionnement de la cellule NOCT	46(+/-2)
Tolerances	-0/+3

3.2.5. Onduleur c 500KH

Les caractéristiques de fonctionnement de l'onduleur sont :

Tableau 3.4. spécifications de l'onduleur

Paramètres	Détails
Puissance maximal entrée DC	618KW
DC plage de tension de fonctionnement maximale	500V - 820V
Puissance de sortie nominale	500KW
Tension nominale de réseau électrique	315Vac

3.3 Présentation de la base de données

Les mesures sont prélevées à une fréquence de 15 minutes. Elles sont enregistrées dans des fichiers Excel à raison d'un fichier par jour comme illustré par la Figure suivante. Chaque fichier contient 96 lignes de mesure de différentes variables. On y trouve :

- L'éclairement solaire (l'irradiance solaire globale inclinée mesurée au plan des modules PV)
- La puissance en sortie
- La température ambiante
- La vitesse du vent
- La pluviométrie
- La pression atmosphérique
- Le taux d'humidité
- L'énergie

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Energie active totale import2											
2	2017-6-21											
3												
4	Temps	P--I (kw)	ENERGIE sortie(MwH)	ENERGIE sortie(MwH)	ENERGIE entree(MwH)	ENERGIE sortie(MwH)	TSA P (kw)	Température de station(°C)	Rayonnement d'inclinaison	humidité (%)	pression (Hpa)	vitesse de vent (m/s)
5												
6	00:00	0.0000	11223.60	12105,6	151.8000	167,4	67.8000	33.3000	0.0000	17.4000	977.5000	4.2000
7	00:15	0.0000	11223.60	12105,6	151.8000	167,4	67.8000	33.0000	0.0000	17.8000	977.3000	5.9000
8	00:30	0.0000	11223.60	12105,6	151.8000	167,4	67.8000	32.6000	0.0000	18.5000	977.2000	5.4000
9	00:45	0.0000	11223.60	12105,6	151.8000	167,4	67.8000	32.1000	0.0000	19.3000	977.2000	5.5000
10	01:00	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	31.6000	0.0000	20.0000	977.1000	5.0000
11	01:15	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	31.5000	0.0000	20.3000	977.0000	5.4000
12	01:30	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	31.2000	0.0000	20.7000	977.0000	5.8000
13	01:45	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.7000	0.0000	21.7000	976.9000	5.1000
14	02:00	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.2000	0.0000	22.6000	976.8000	5.6000
15	02:15	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.6000	0.0000	22.1000	976.9000	5.4000
16	02:30	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.8000	0.0000	21.4000	976.9000	6.7000
17	02:45	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.7000	0.0000	21.9000	977.0000	5.9000
18	03:00	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.6000	0.0000	22.5000	977.0000	7.0000
19	03:15	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.7000	0.0000	22.4000	977.1000	7.0000
20	03:30	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.4000	0.0000	23.2000	977.2000	6.9000
21	03:45	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	30.0000	0.0000	24.0000	977.0000	6.2000
22	04:00	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	29.6000	0.0000	24.8000	977.0000	5.8000
23	04:15	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	29.6000	0.0000	25.5000	977.3000	5.9000
24	04:30	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	29.2000	0.0000	26.2000	977.2000	5.7000
25	04:45	0.0000	11223.60	12105,6	152.4000	168	67.8000	28.9000	0.0000	27.1000	977.2000	5.5000

Figure 3.6 : Capture d'écran de fichier de données

3.4 Prétraitement de données

La base de données telle que fournie devait être travaillée avant exploitation.

1^{er} étape : Au début nous voyons les fichiers de données dans lequel les mesures sont effectuées chaque 15 minutes et nous classons les fichiers journalier en annuel, en suite on passe à la sélection des variables à utiliser : la puissance, l'éclairement globale, température ambiante, le temps, l'humidité, vitesse du vent, la pression,etc.

2^{ème} étape : Identifier les valeurs aberrantes, lorsqu'on voit dans la base des données on trouve des valeurs anomalies tandis que l'origine de cette aberration est la survenance d'erreurs techniques dans la centrale PV. Pour détecter les différentes anomalies on a utilisé plusieurs critères :

- Détection la chute de puissance de centrale (délestage)
- Détection la période de reconnexion au réseau de la centrale solaire (la période prend 4 min)
- les quantités d'irradiation solaire sont disponibles et que les panneaux PV de la centrale ne délivrent aucune production (puissance =0)
- Détection un bug au niveau du pyranomètre où on a pour certaines périodes des puissances non nulles pour des quantités d'irradiations nulles.
- Détection correspond à l'arrêt d'un onduleur alors que les autres fonctionnent cette anomalie se produit surtout lors reconnexion les onduleurs au réseau électrique après délestage, également correspond aux périodes d'arrêts de la centrale soit volontaire de la centrale pendant un certain temps pour dépannage ou d'autres arrêts involontaires

3^{ème} étape : Filtrer les valeurs aberrantes identifiées puis les supprimer.



Figure 3.7. Filtrages des valeurs aberrantes identifiées

3.5 Analyse des données

L'analyse des données est faite moyennant le logiciel MATLAB pour sa simplicité de programmation. Les Figures 3.8-3.13 illustrent à titre d'exemple l'évolution de de l'éclairement, la température ambiante, la puissance produite, l'humidité, la pression atmosphérique, et la vitesse du vent durant la journée du 21 juin 2017 respectivement.

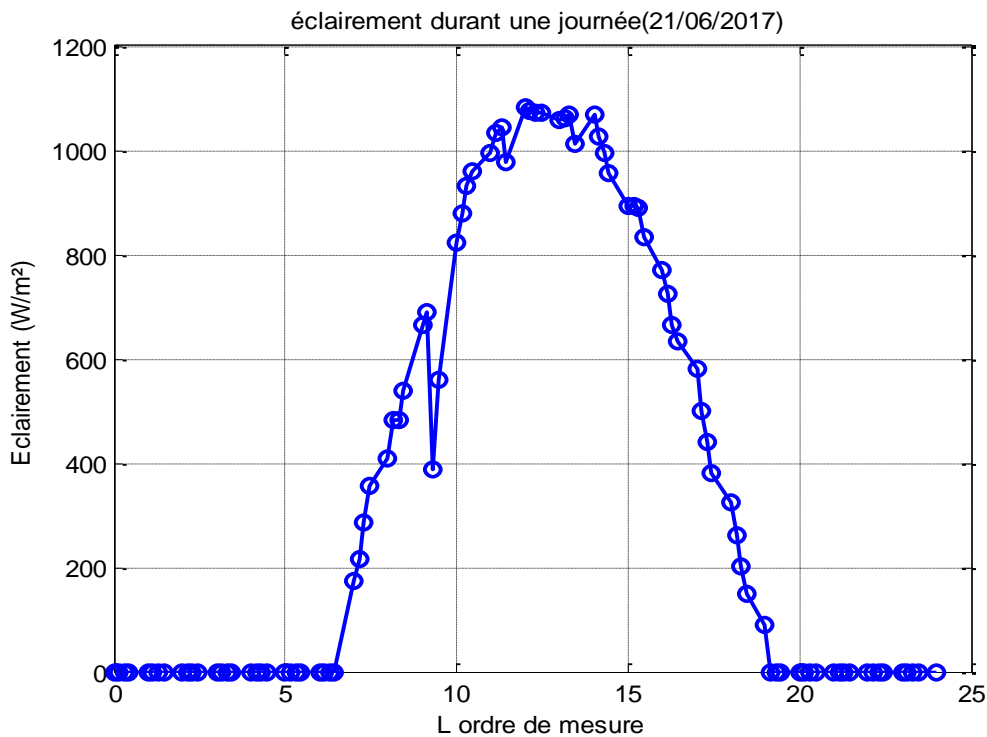


Figure 3.8. L'éclairement en fonction du temps (21/06/2017)



Figure 3. 9 .la Puissance en fonction du temps (21/06/2017).

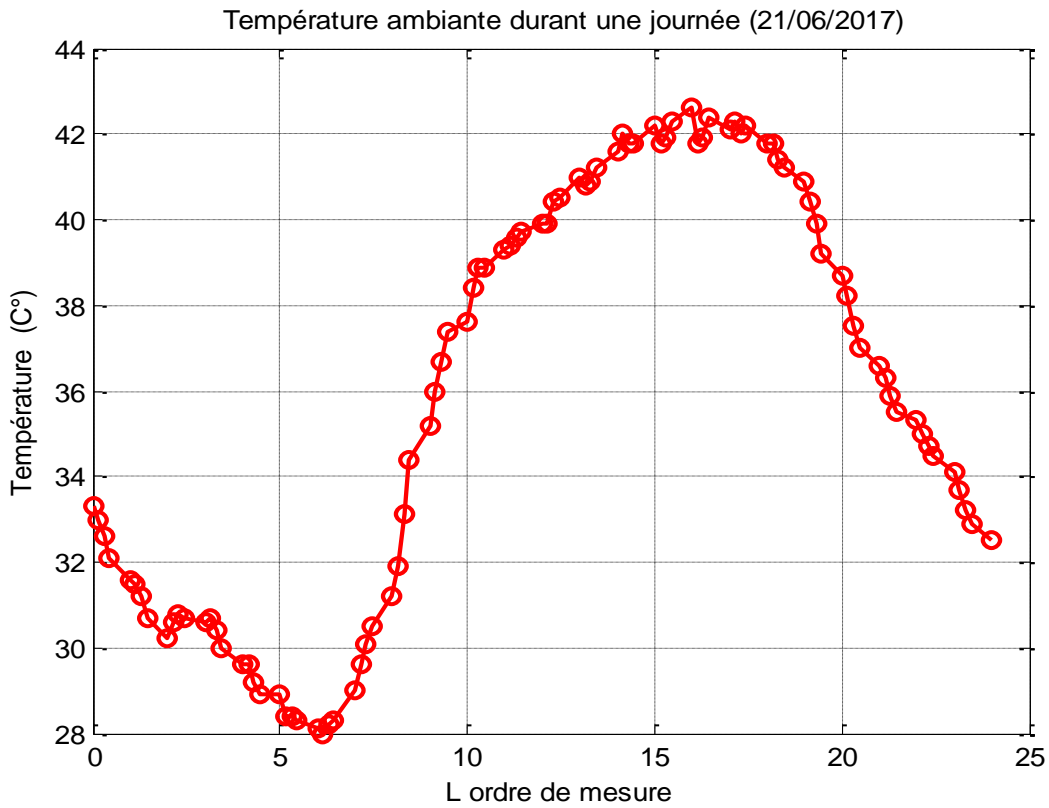


Figure 3. 10. Température ambiante en fonction du temps (11/04/2021).

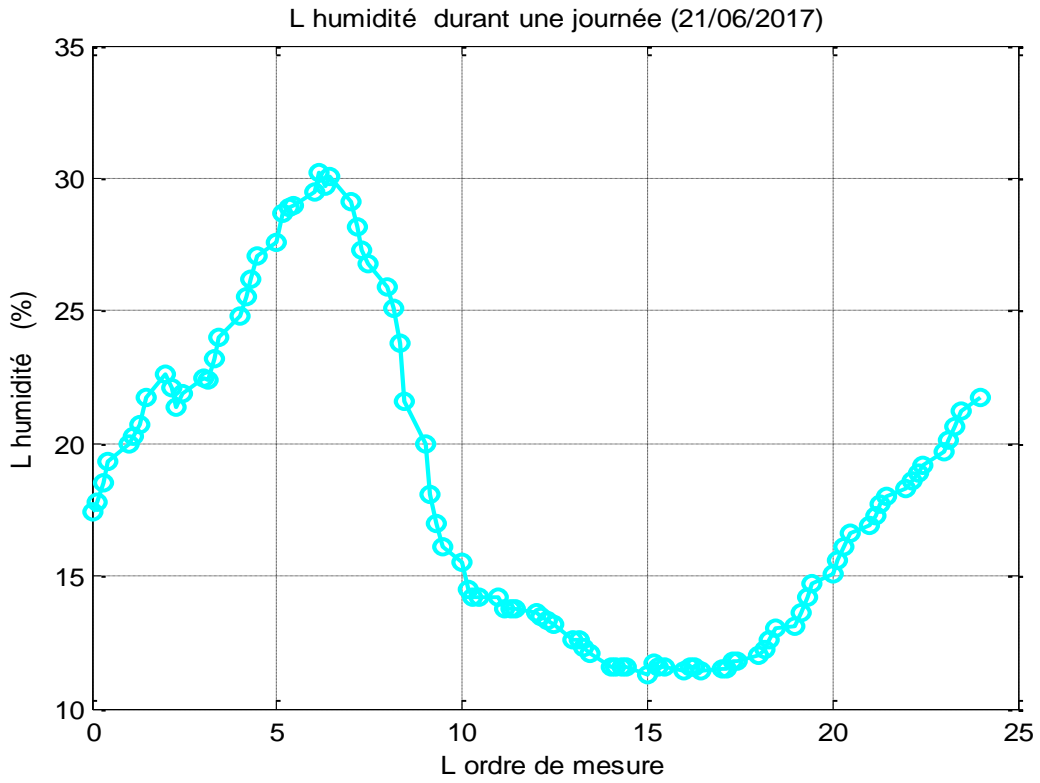


Figure 3. 11. L'humidité en fonction du temps

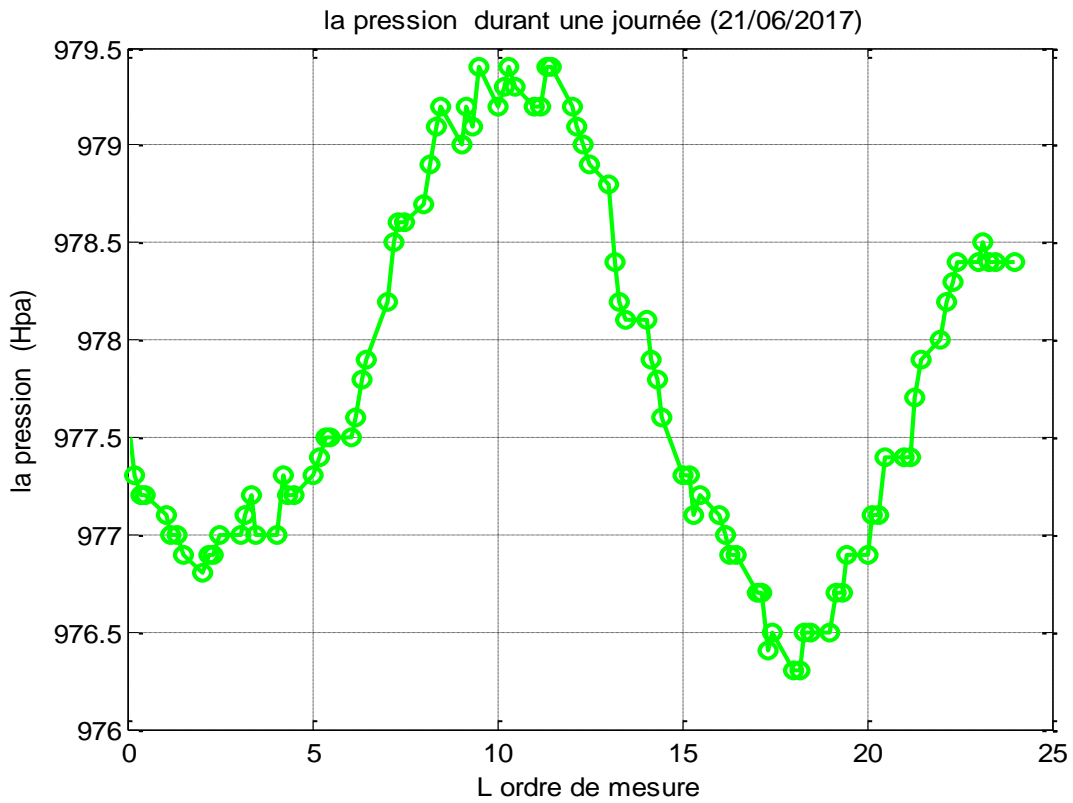


Figure 3. 12. la pression en fonction du temps.

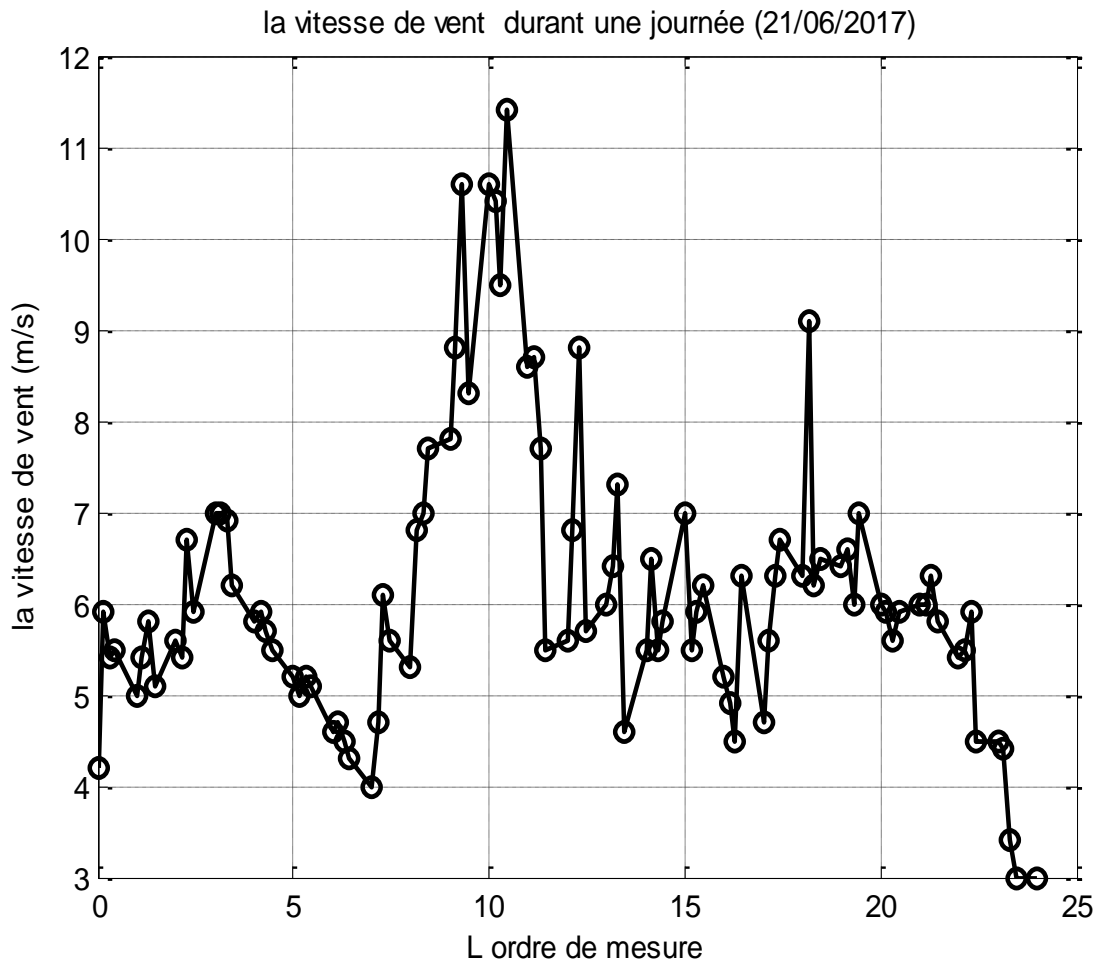


Figure 3. 13. la vitesse de vent en fonction du temps.

3.5.1 Les données d'une année

Après avoir concaténer les fichiers journaliers, nous nous sommes intéressés à l'évolution des différentes grandeurs durant toute l'année 2017. Les Figures 3.14 - 3.18 illustrent l'évolution de l'éclairement, la température ambiante, l'humidité, la vitesse de vent et la puissance produite durant cette période. Cette illustration permet de visualiser l'aspect de la variation saisonnière en particulier sur l'éclairement, la température et la puissance générée par la centrale PV.

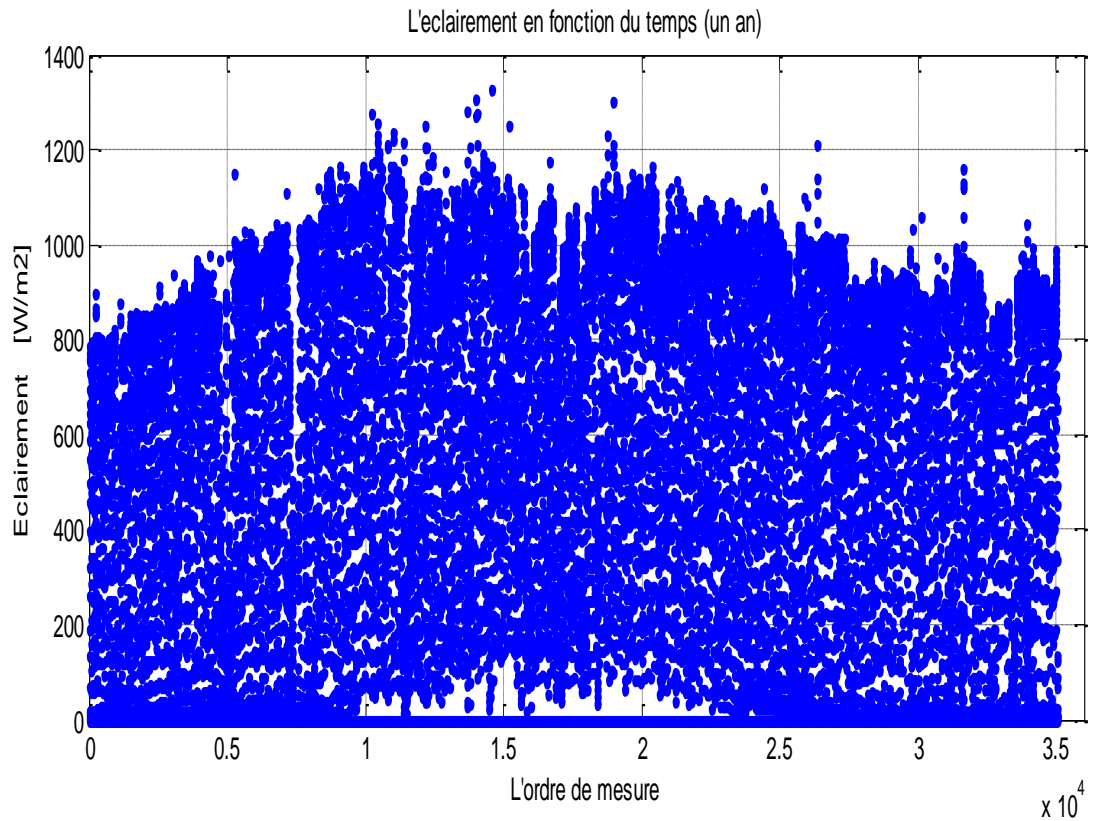


Figure 3. 14.. Evolution de l'éclairage durant un an

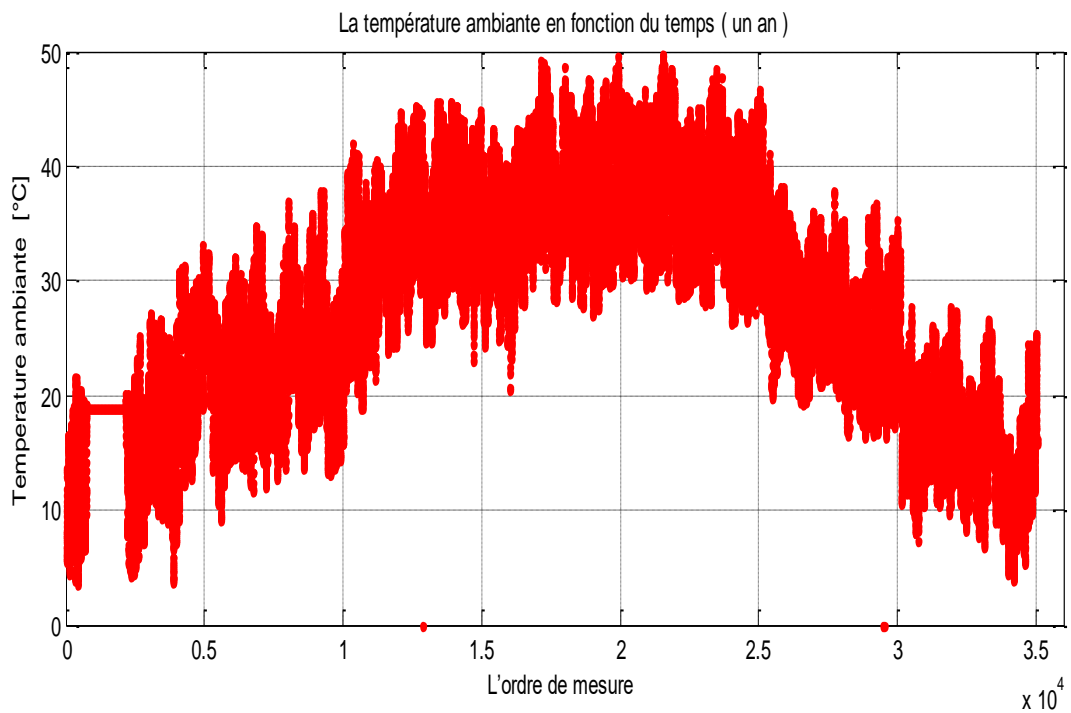


Figure 3.15 .Evolution de la température ambiante durant un an .

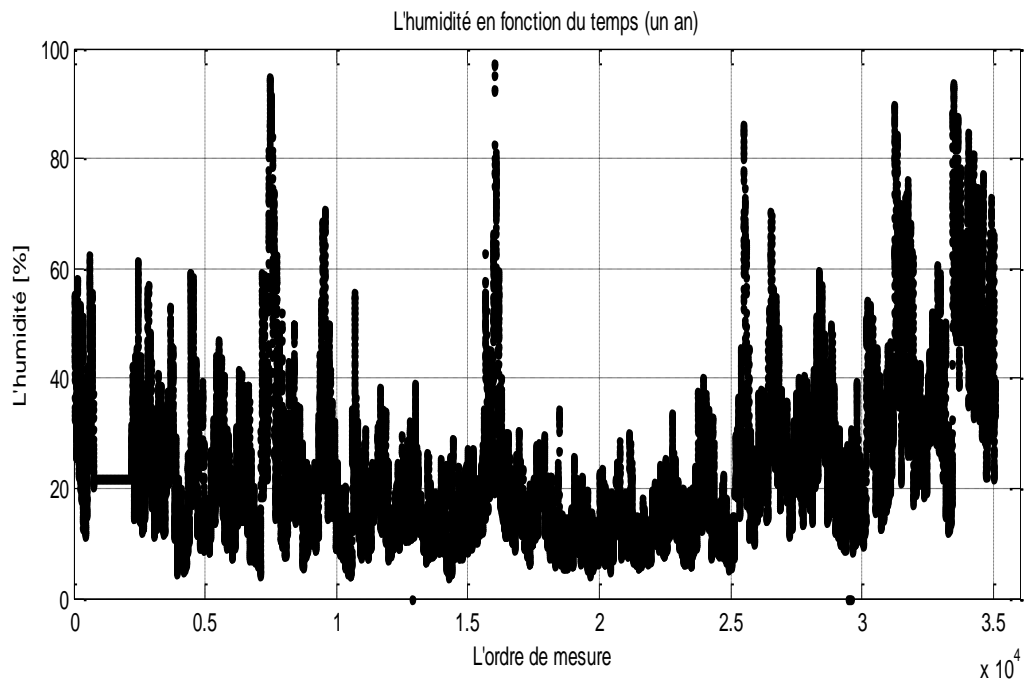


Figure 3.16 Evolution de l'humidité durant un an

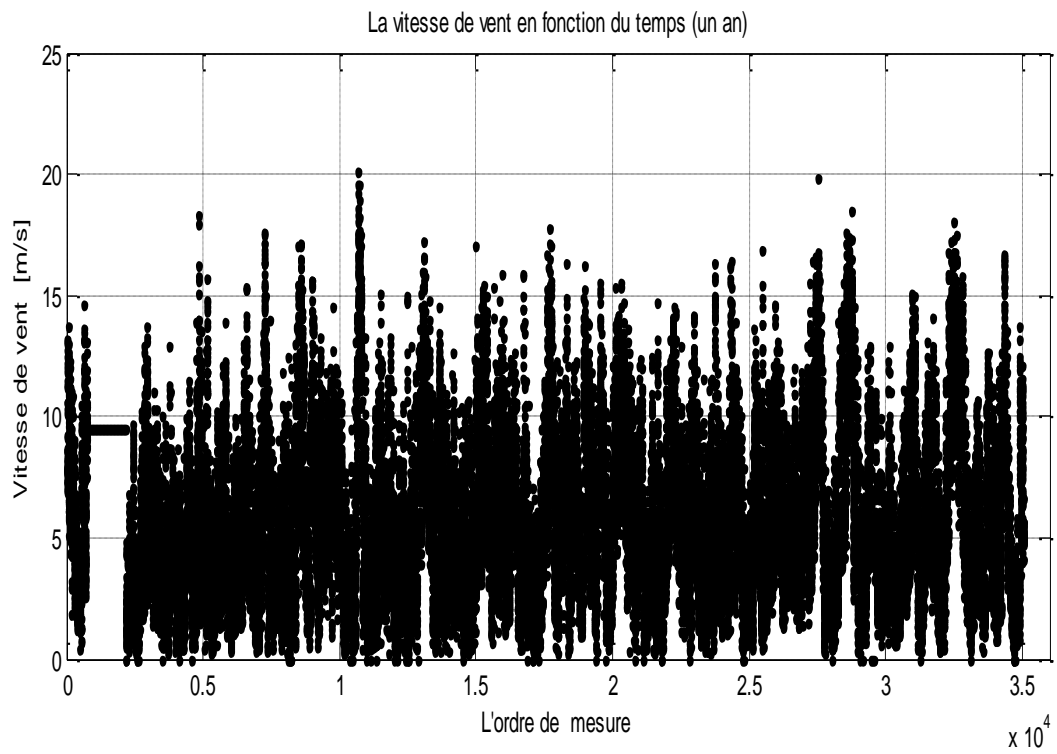


Figure 3.17 Evolution de la vitesse de vent durant un an

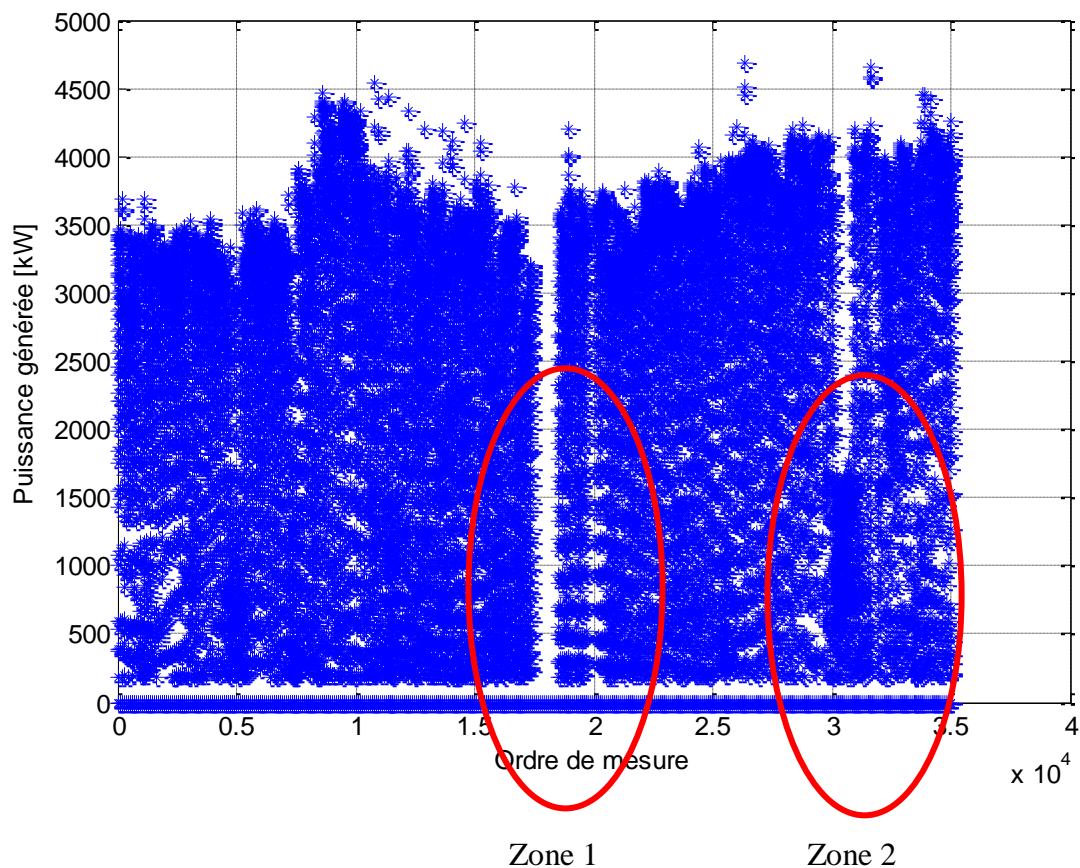
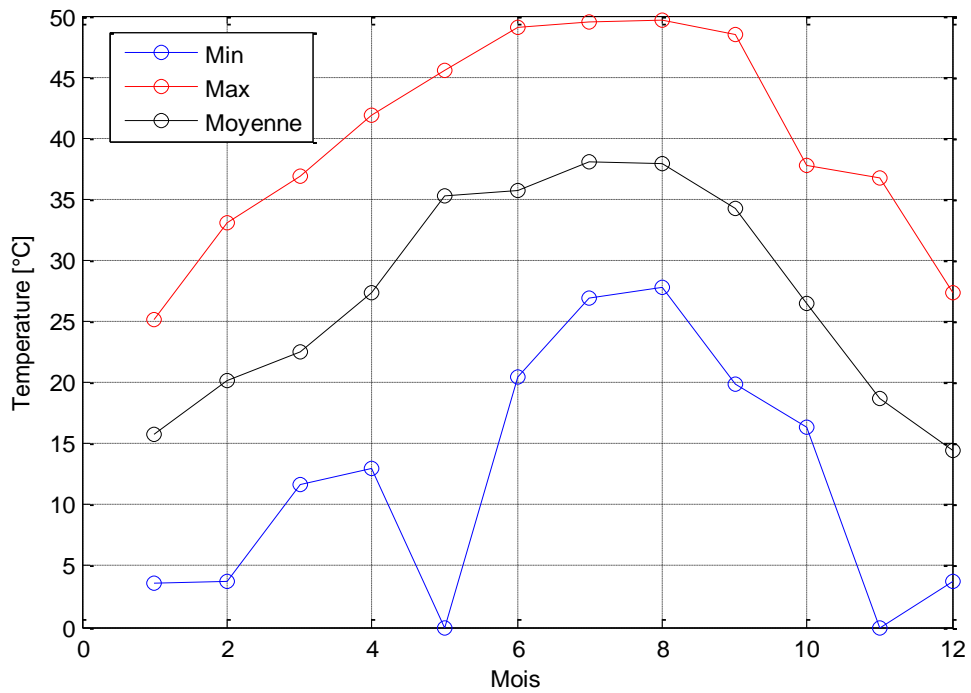


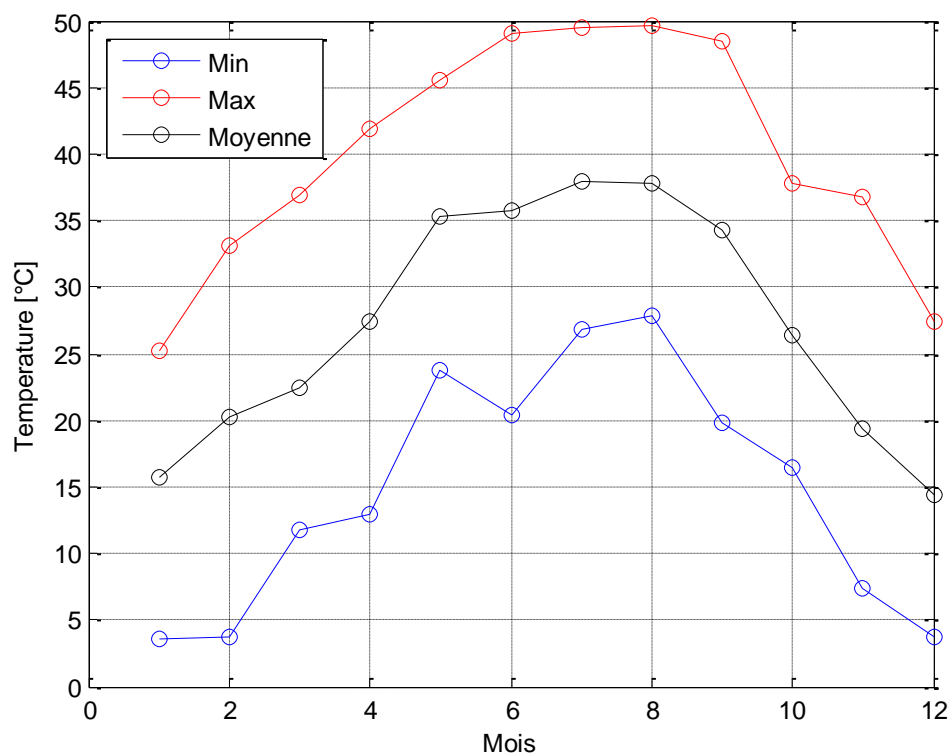
Figure 3.18 .Evolution de la puissance produite durant l'année 2017.

La Figure de la puissance générée nous renseigne sur la présence d'autres anomalies dans la base de données. Il s'agit d'une période pendant laquelle les valeurs sont nulles durant plusieurs jours du mois de juin (zone 1), et d'une autre période durant le mois de novembre où l'éclaircissement est élevé, la température modérée mais la puissance produite remarquablement faible (zone 2).

Les températures maximales et minimales des 12 mois sont illustrées dans la figure 3.19. Cette illustration a permis de déceler des mesures aberrantes où le capteur de température donnait une fois par hasard une valeur nulle entre deux valeurs réelle non nulles. Ici on a procédé au remplacement de la valeur aberrante par la moyenne des deux valeurs voisines.



a) Avec les valeurs aberrantes



b) Après correction

Figure 3.19 .Evolution des températures maximale et minimale mensuelles durant l'année 2017.

3.5.2 Le cas des journées à forte intermittence de l'éclairement.

Cette deuxième phase de nettoyage a été suivie d'une autre troisième phase visant les journées à forte variation de l'éclairement. En effet, lorsque le générateur PV de la centrale qui s'étend sur plusieurs hectares est soumis à un éclairement non uniforme, l'effet de mismatching apparaît et cela fait baisser la production de la centrale en puissance. La relation entre la puissance et l'éclairement mesuré sur le pyranomètres ne correspondent pas, et font fausser l'analyse. La figure suivante illustre des exemples de journées à forte intermittence en éclairement.

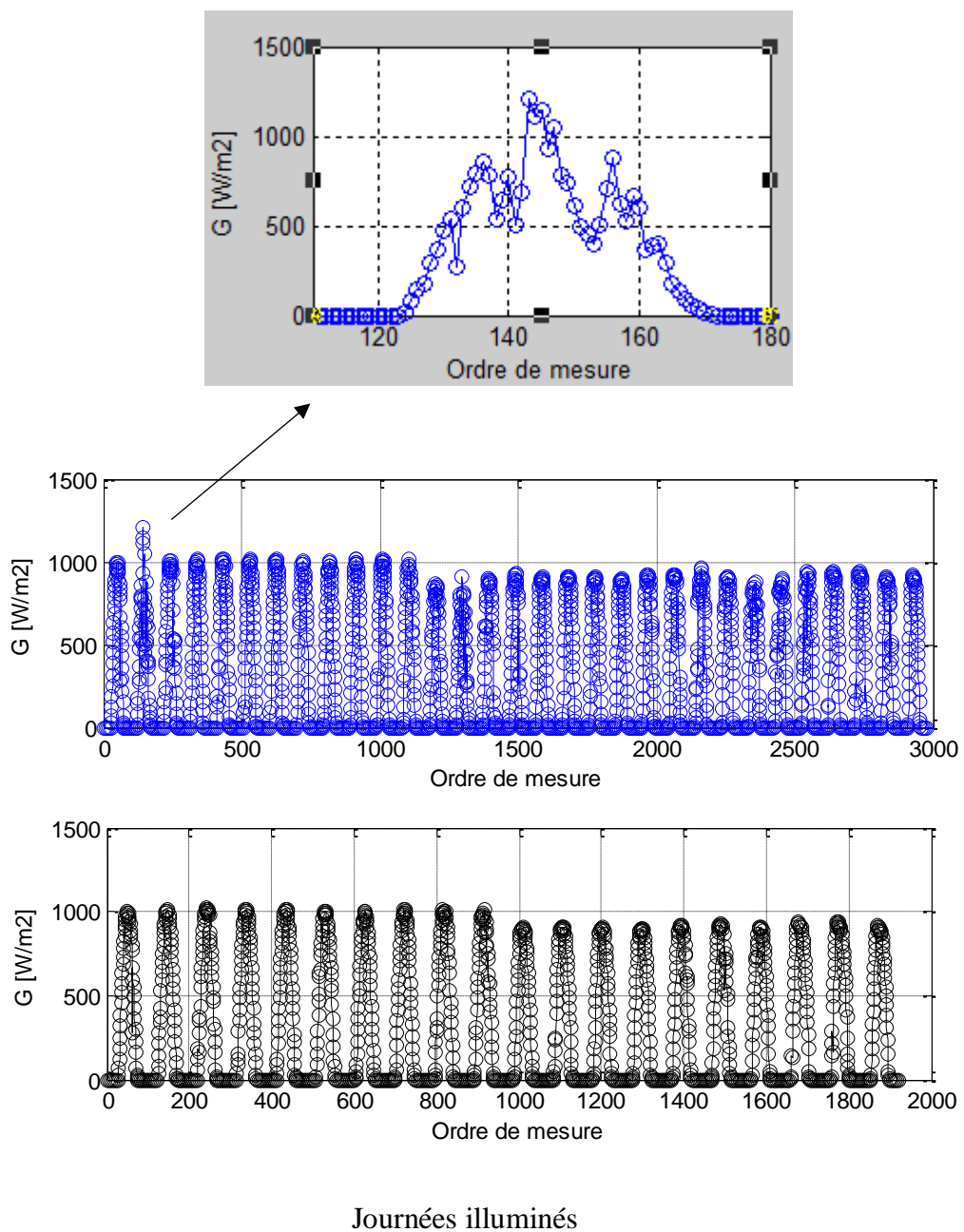


Figure 3.20. Exemple de suppression de journées à forte intermittence de l'éclairement.

Cette étape a fait réduire la taille de la base de données de 365 jours à 172 jours. La variation de l'éclairement, la température ambiante et la puissance produite sont illustrées par les Figures 3.21-3.23.

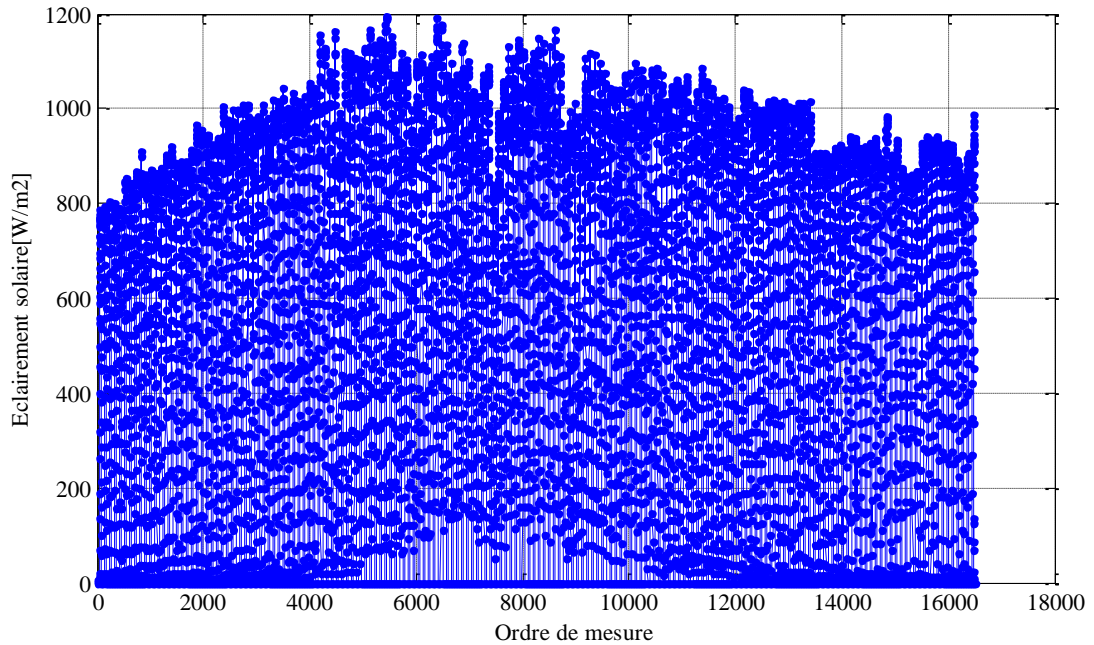


Figure 3.21. Evolution de l'éclairement solaire.

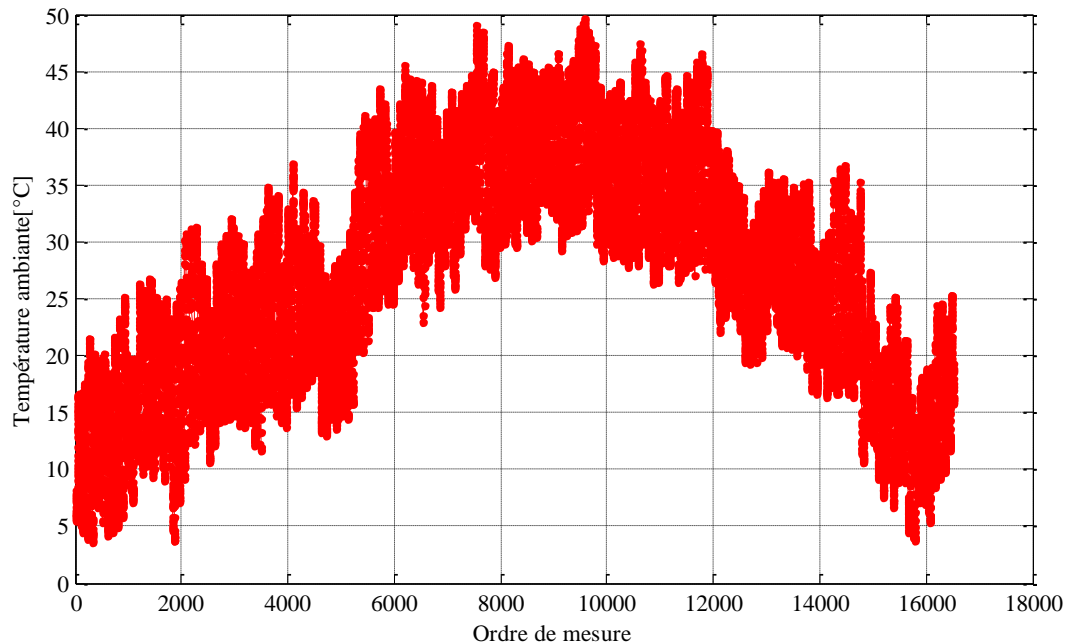


Figure 3.22. Evolution de la température ambiante.

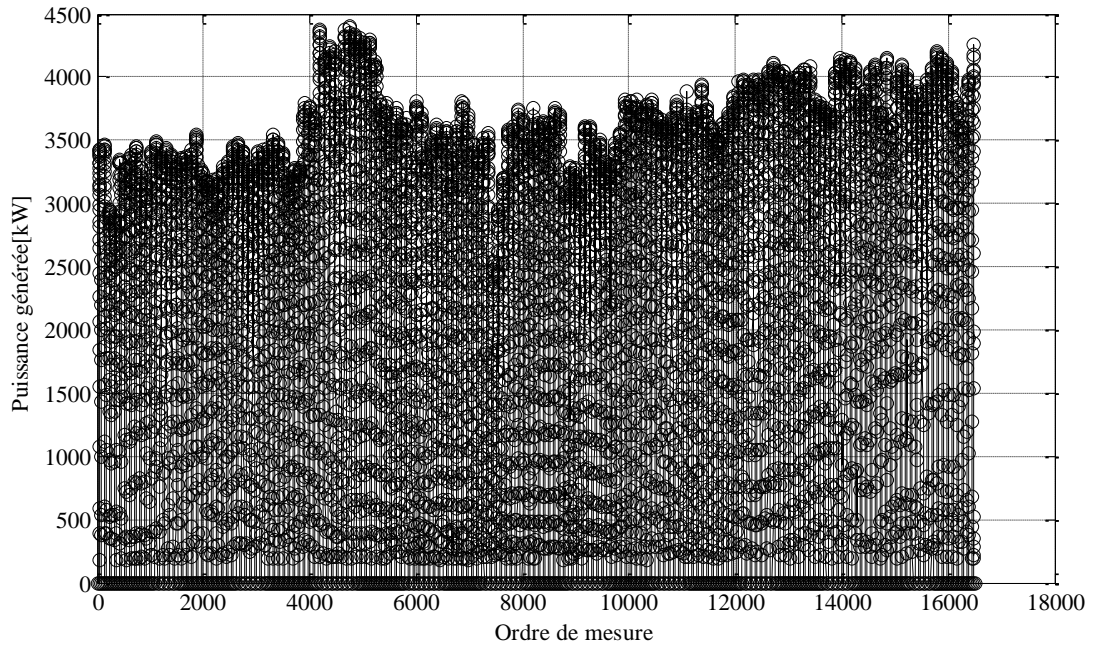


Figure 3.23. Evolution de la puissance.

On peut remarquer que la production de la puissance est à son maximum pendant le printemps et ce malgré le fait que l'éclairement est à son max pendant les mois de mai, juin et juillet. Cela est dû au fait que la température est plus modérée au printemps.

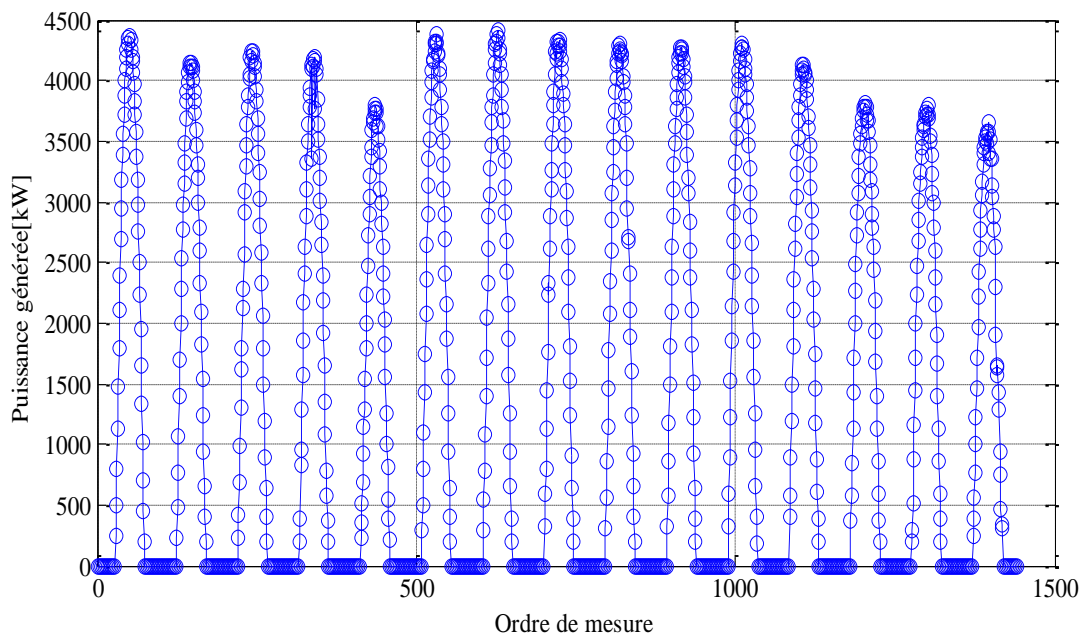


Figure 3.24. La puissance produite en Avril.

3.5.3 Analyse des corrélations

Pour construire le modèle, nous avons étudié les relations entre les différentes variables moyennant les mesures disponibles après nettoyage de la base de données. Nous avons relevé les remarques suivantes

- 1) La puissance générée est linéairement proportionnelle à l'éclairement disponible de la centrale.

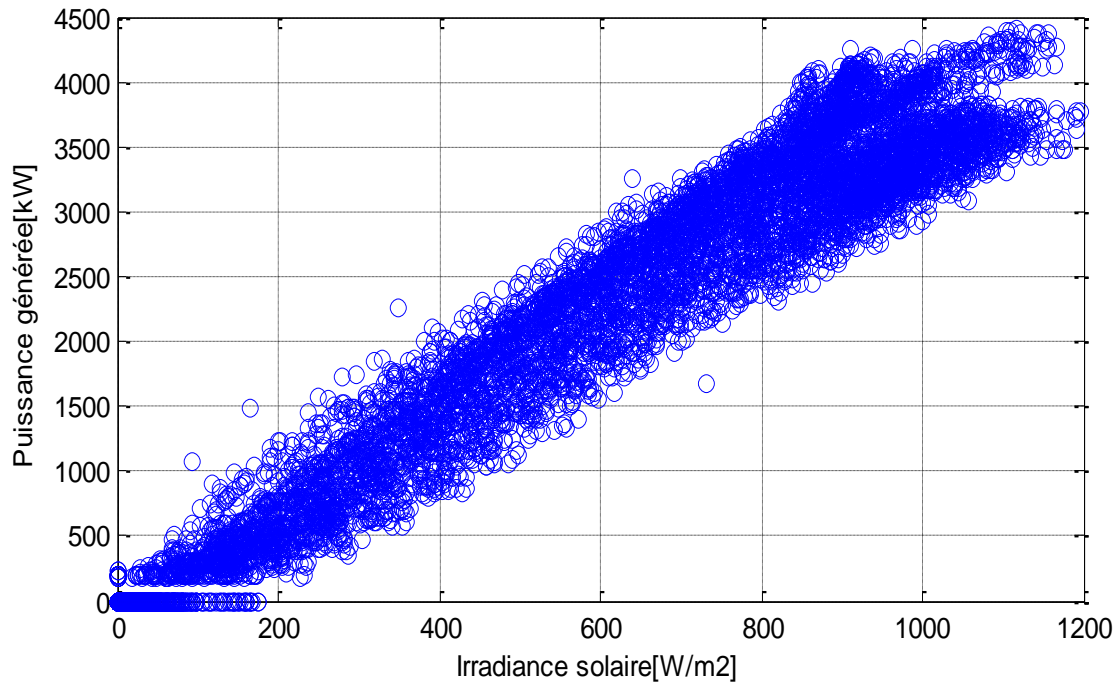


Figure 3.25 : Corrélation entre l'éclairement solaire et la puissance générée sur une année de mesure.

- 2) Les points dispersés correspondent fort probablement à des mesures pendant une exposition non uniforme à l'éclairement (intermittence ou salissure des modules). Le traitement des données du mois de mai conforte cette hypothèse. En effet, ces points disparaissent après suppression des journées à forte intermittence durant le mois de mai comme illustrent les Figures 3.23 et 3.24.

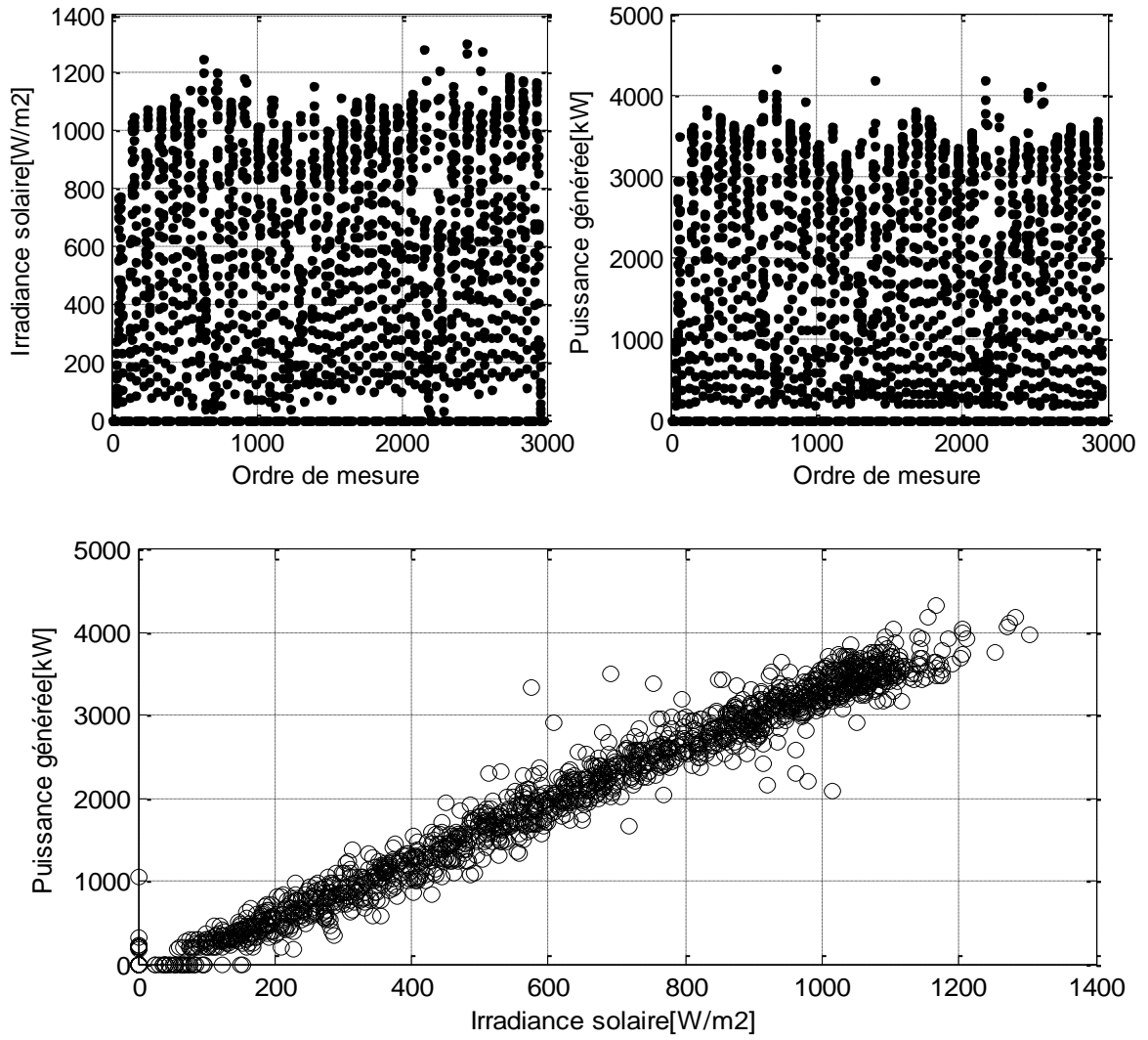


Figure 3.26 : Mois de mai avant nettoyage

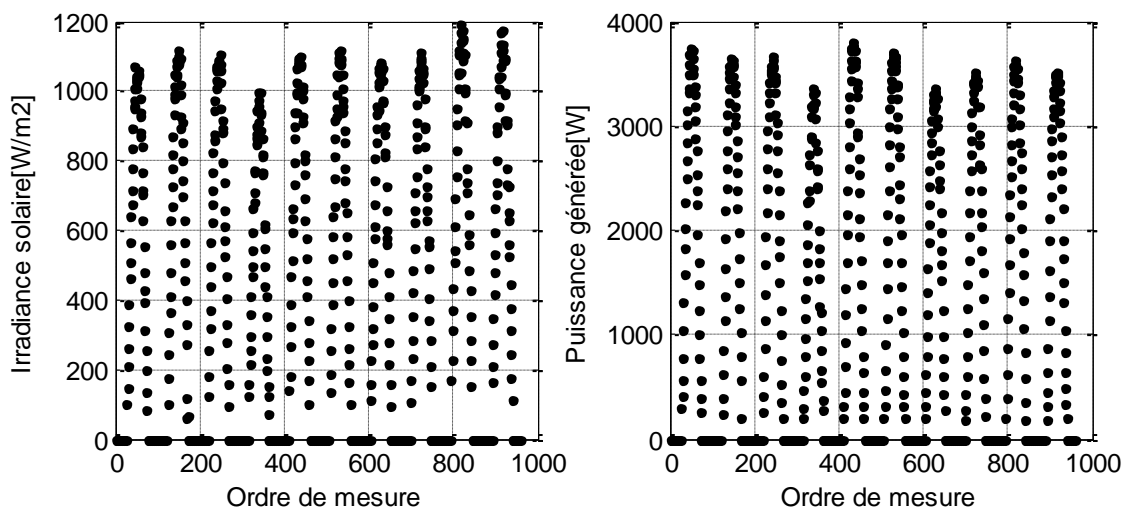


Figure 3.27 : Mois de mai après nettoyage

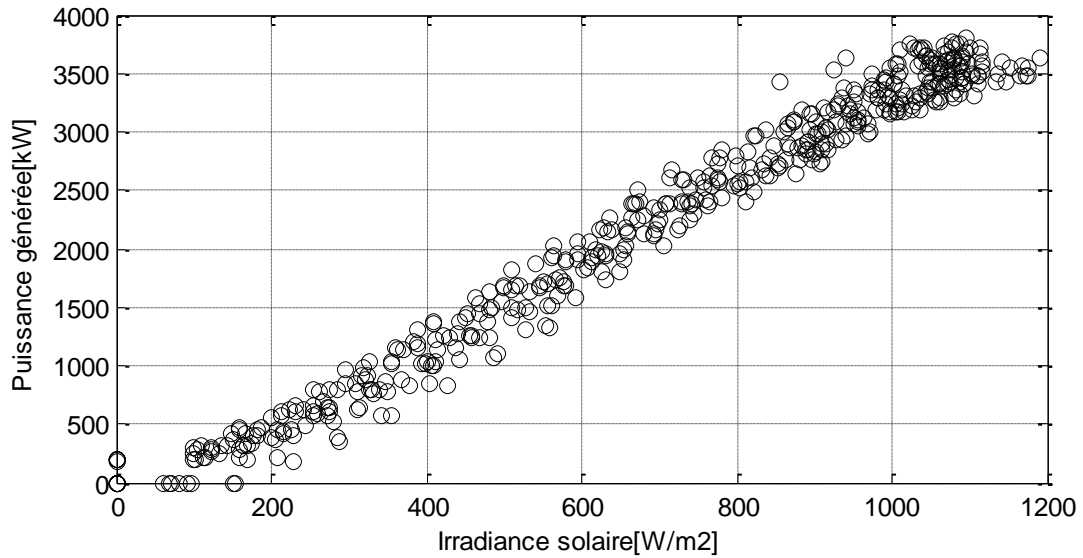


Figure 3.28: Mois de mai après nettoyage (suite et fin).

- 3) La proportionnalité entre la puissance générée et l'éclairement change d'un mois à un autre comme illustré par la figure suivante.

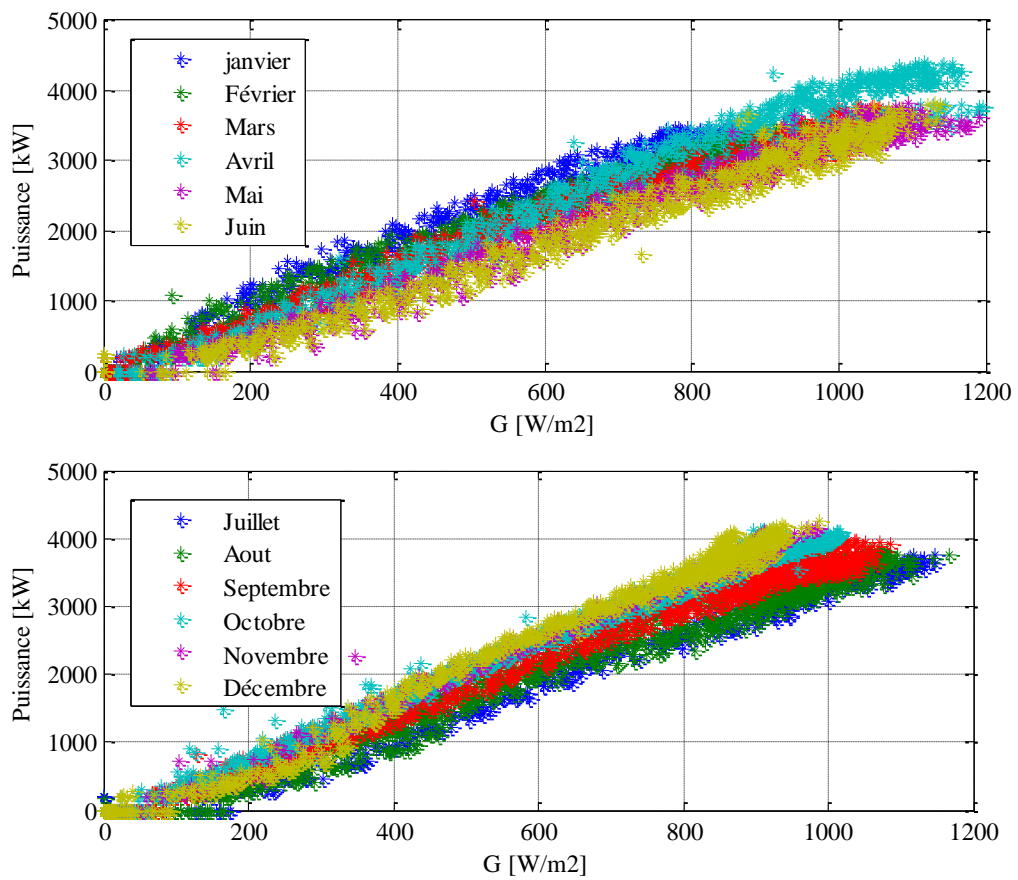


Figure 3.29 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement.

- 4) En modélisant la corrélation à l'aide d'une régression linéaire, on peut obtenir une droite comme illustré par la Figure 3.25 pour le mois de mai.

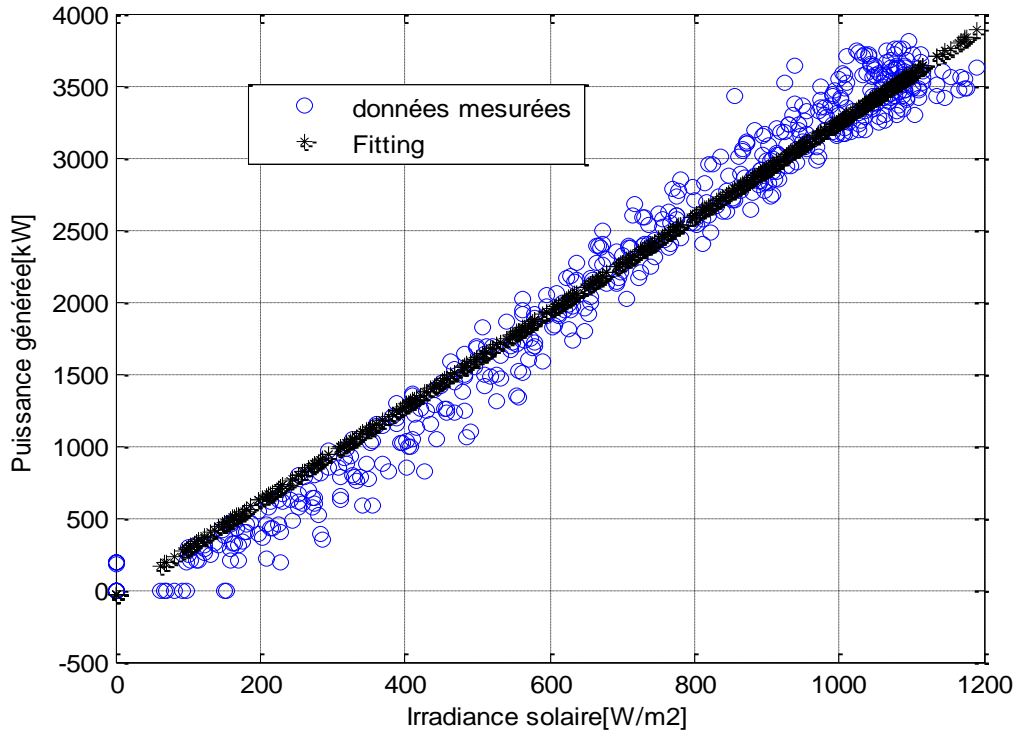


Figure 3.30 : Modélisation par régression linéaire de la relation entre la puissance et l'éclairement durant le mois de mai.

- 5) La pente de la droite de la régression linéaire varie d'un mois à un autre comme illustré par les Figures 3.26 et 3.27. la dispersion des points autour de la ligne est sûrement due a un autre facteurs qui est identifiée comme étant la température.

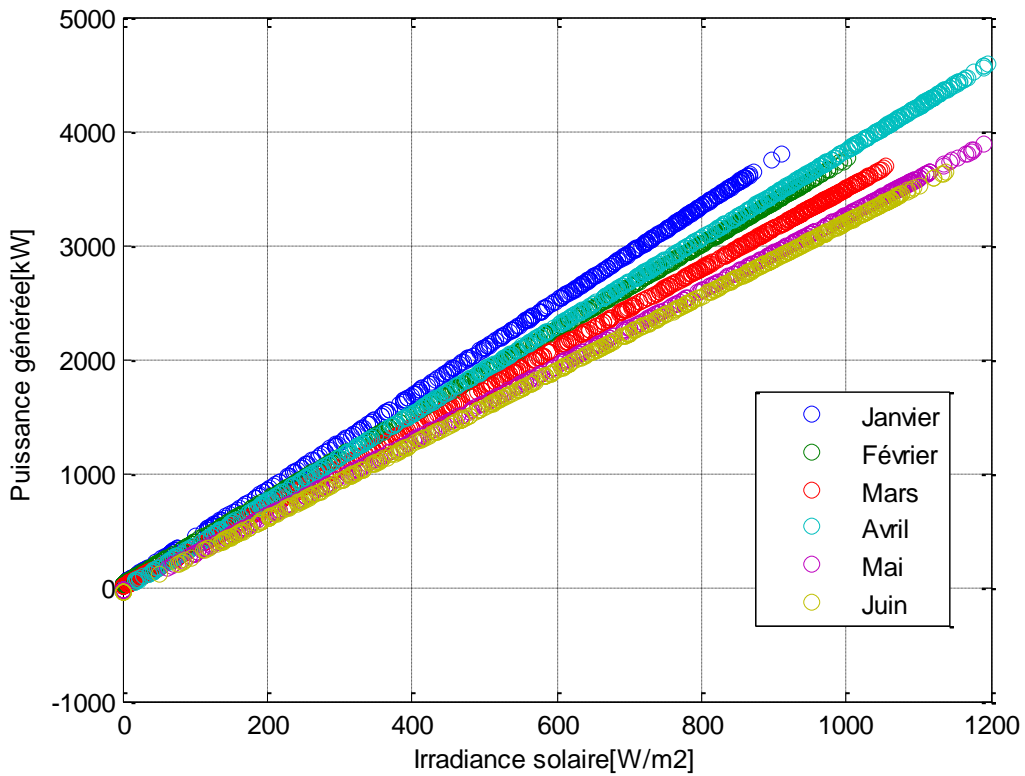


Figure 3.31 : droites de régression linéaire entre la puissance et l'éclairement durant les 6 premiers mois e l'année.

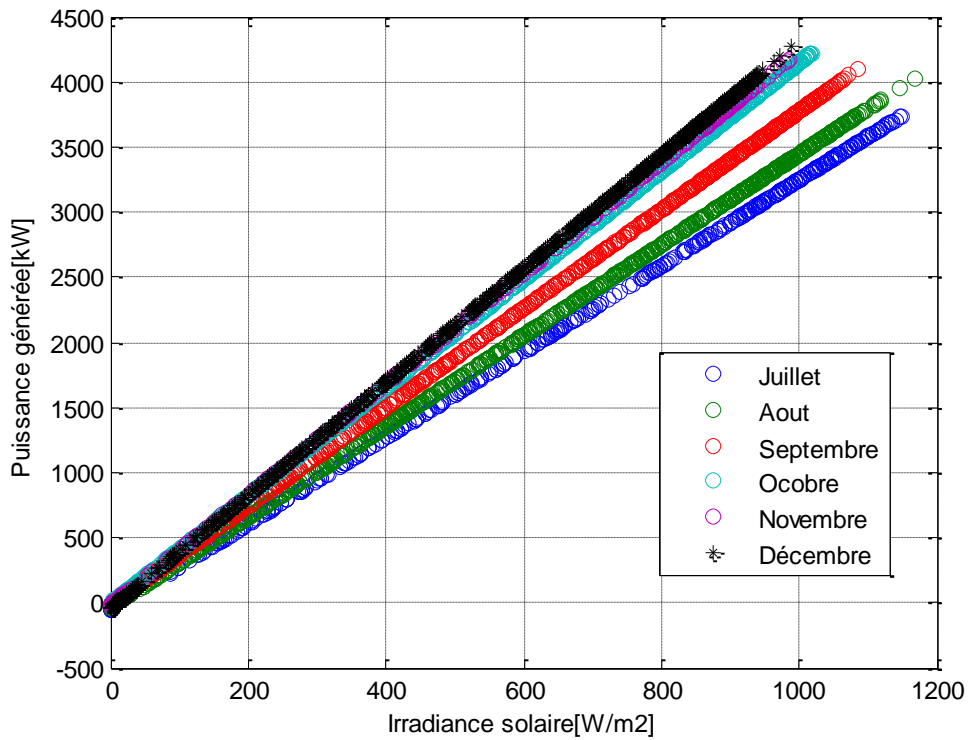


Figure 3.32 : droites de régression linéaire entre la puissance et l'éclairement durant les 6 derniers mois e l'année.

- 6) Pour analyser la relation entre la puissance et la température ambiante on a illustré la première en fonction de la deuxième. Le résultat est représenté par la Figure suivante. Il est évident qu'aucune information ne peut être tirée de cette représentation. Etant donné que les données forment un nuage très dispersé. C'est pour cette raison, que nous avons pensé à représenter les même données en respectant un classement des valeurs de l'éclairement dans un ordre croissant telle que représenté par la Figure 3.28 et ce, afin d'avoir un autre angle de vue.

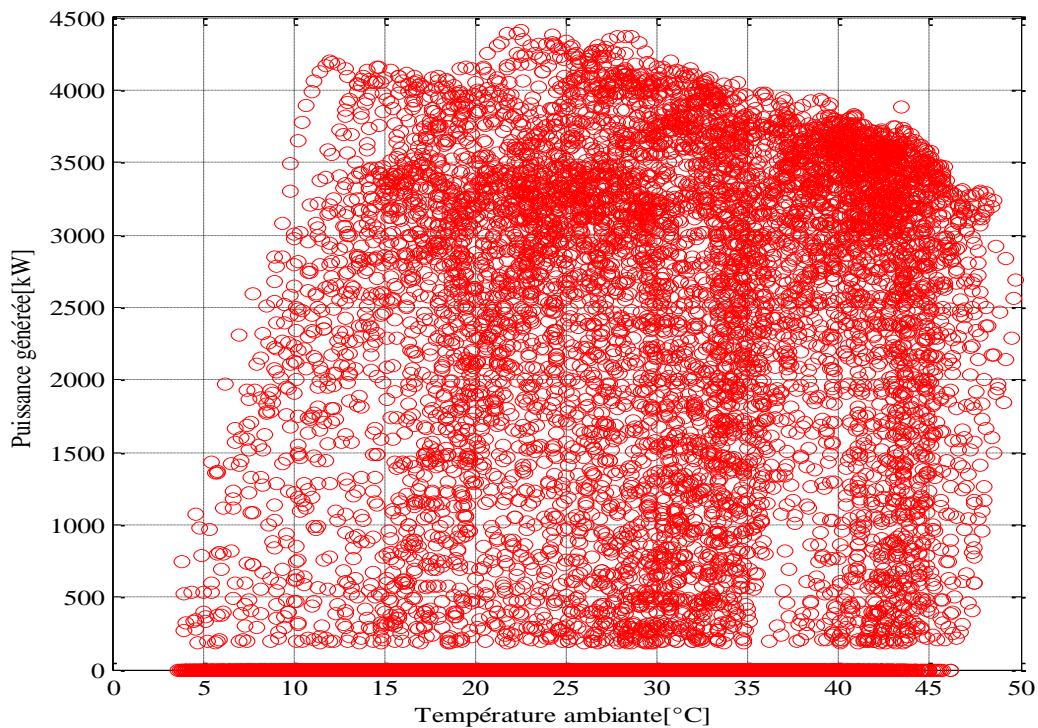


Figure 3.33 : la puissance en fonction de la température ambiante

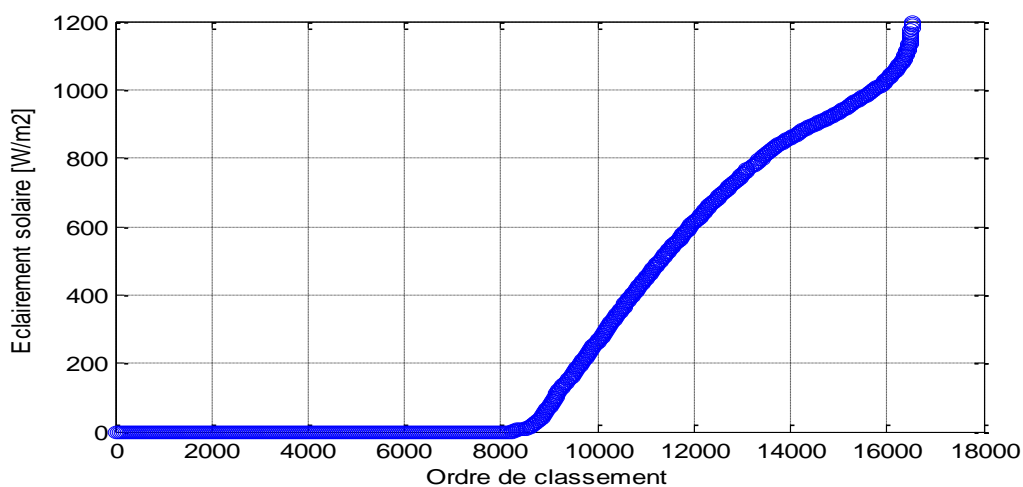


Figure 3.34 : l'éclairement dans un ordre croissant

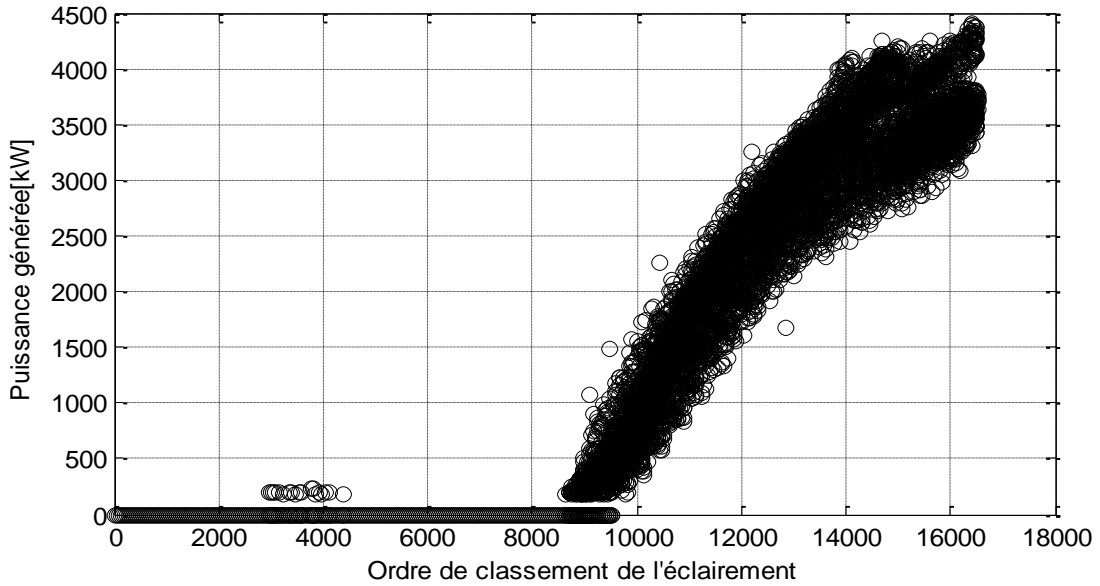


Figure 3.35 : La puissance en suivant l'ordre de l'éclairémebt.

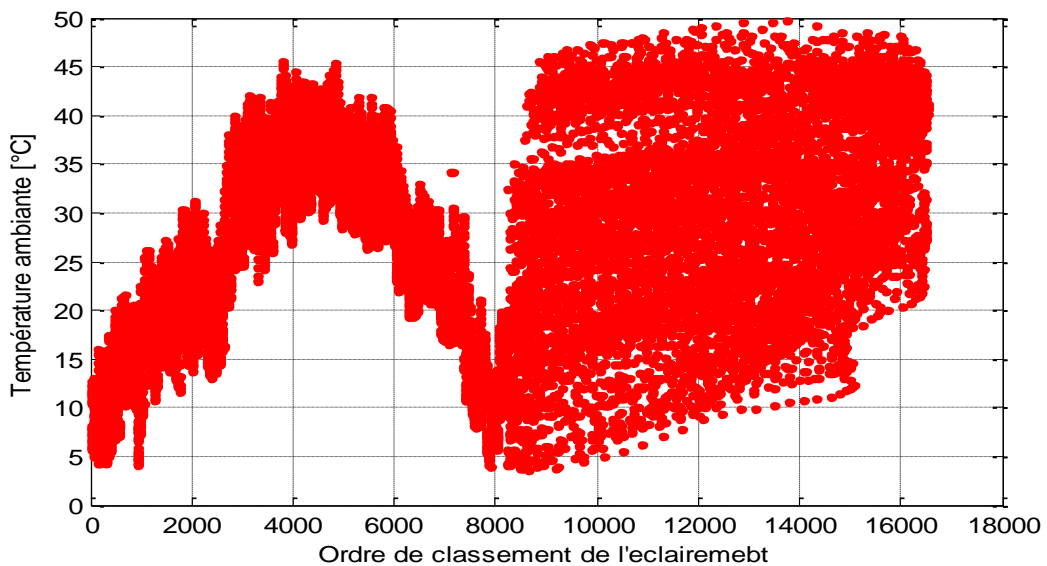


Figure 3.36 : La température ambiante suivant l'ordre de l'éclairémebt.

Il parait évident que la température est le deuxième facteur à considérer. Car elle justifie la constitution des mesures de la puissance (Figure 3.29) en forme de nuage sur une forme qui correspond parfaitement à l'évolution de l'éclairémebt dans la Figure 3.28. Pour en savoir plus, on a procédé à l'analyse de la corrélation entre la puissance d'un côté et deux variable d'entrée qui sont l'éclairémebt et la température ambiante moyennant une illustration 3D qu'offre Matlab. Le résultat est illustré par les Figure 3.31 et 3.32.

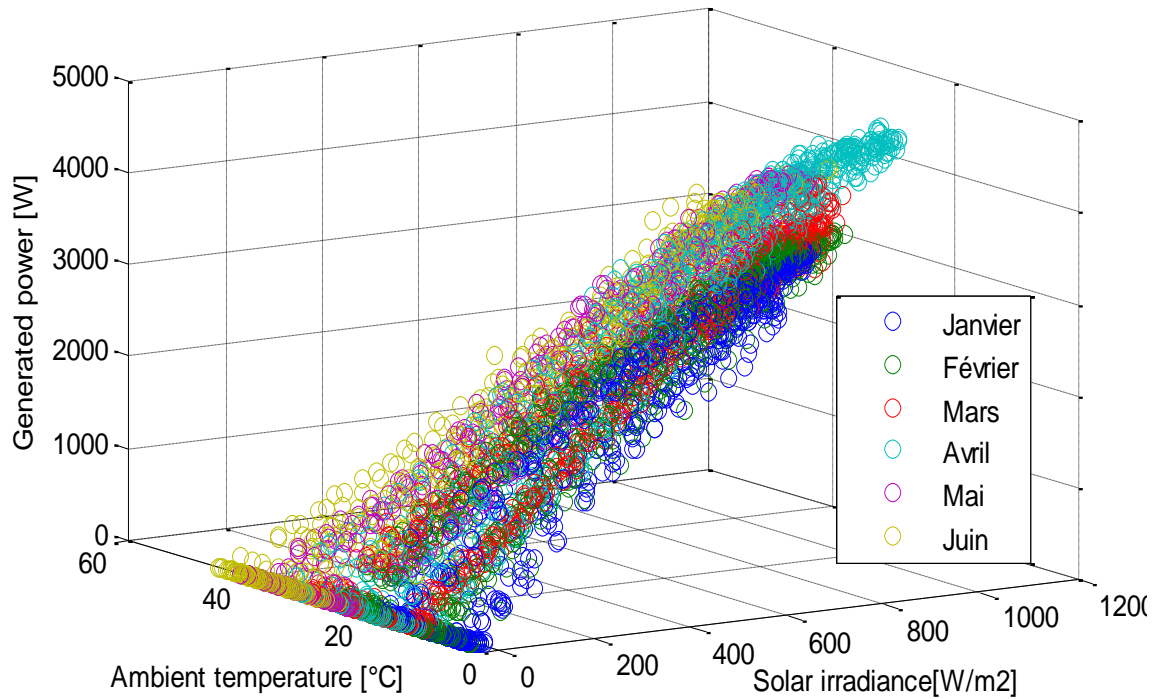


Figure 3.37 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement et la température ambiante.

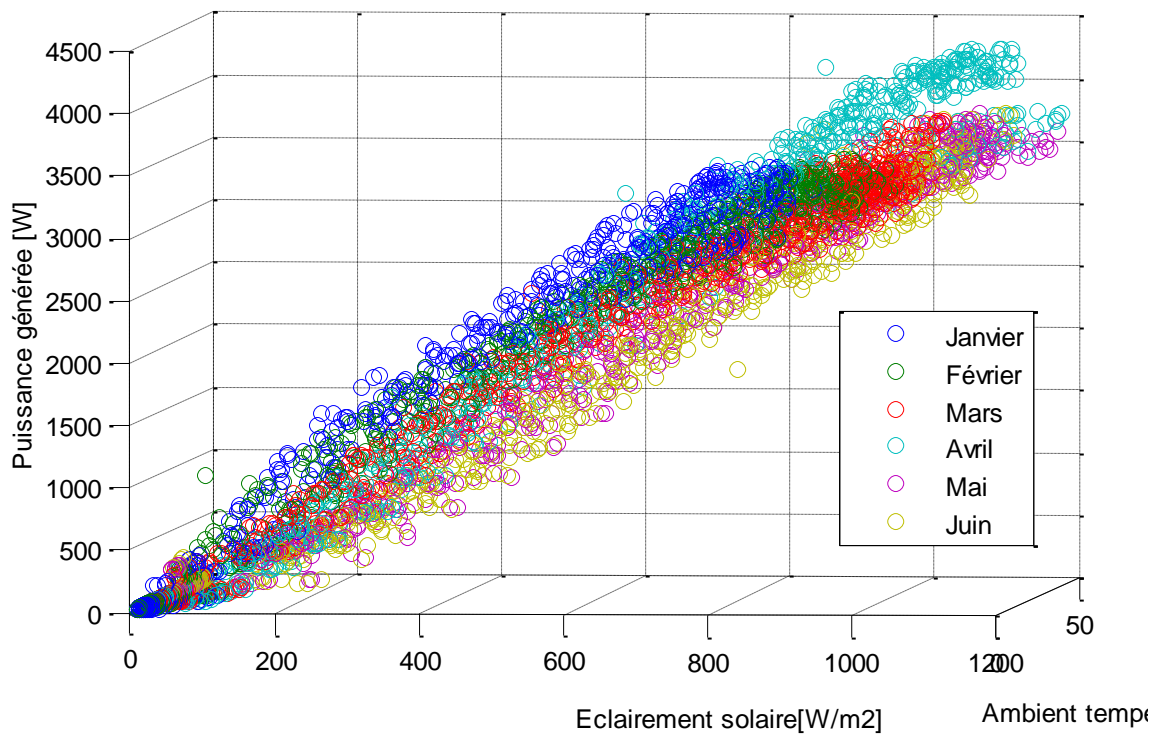


Figure 3.38 : La puissance générée sur une année de mesure en fonction de l'éclairement et la température ambiante (avec rotation).

Il est clair que la température fait baisser la puissance générée. En effet, la production d'un module PV en puissance baisse quand sa température augmente. Celle-ci a été calculée moyennant le modèle de l'équation 3.1 et a donné le résultat illustré par la Figure 3.33.

$$T_c = T_a + (G/800) \cdot (T_{INOCT} - 20) \quad (3.1)$$

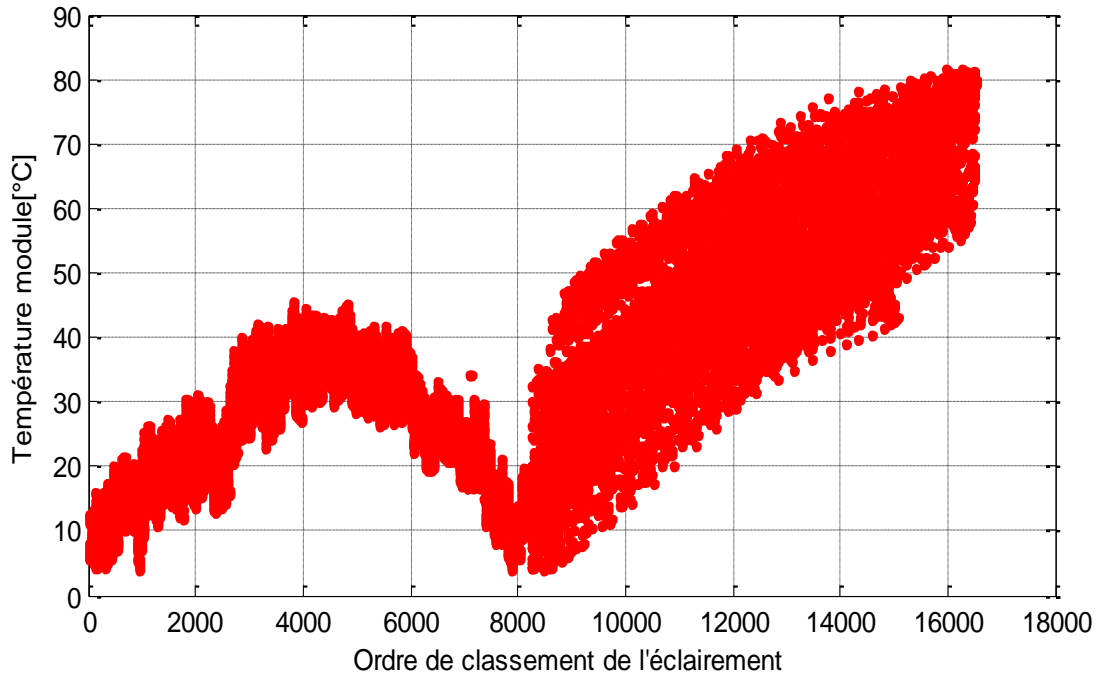


Figure 3.39 : La température du module suivant l'ordre de l'éclairement.

- 1) La puissance générée diminue de mois en mois pour le même éclairement au fur et à mesure que la température ambiante augmente comme le suggèrent les figures suivantes :

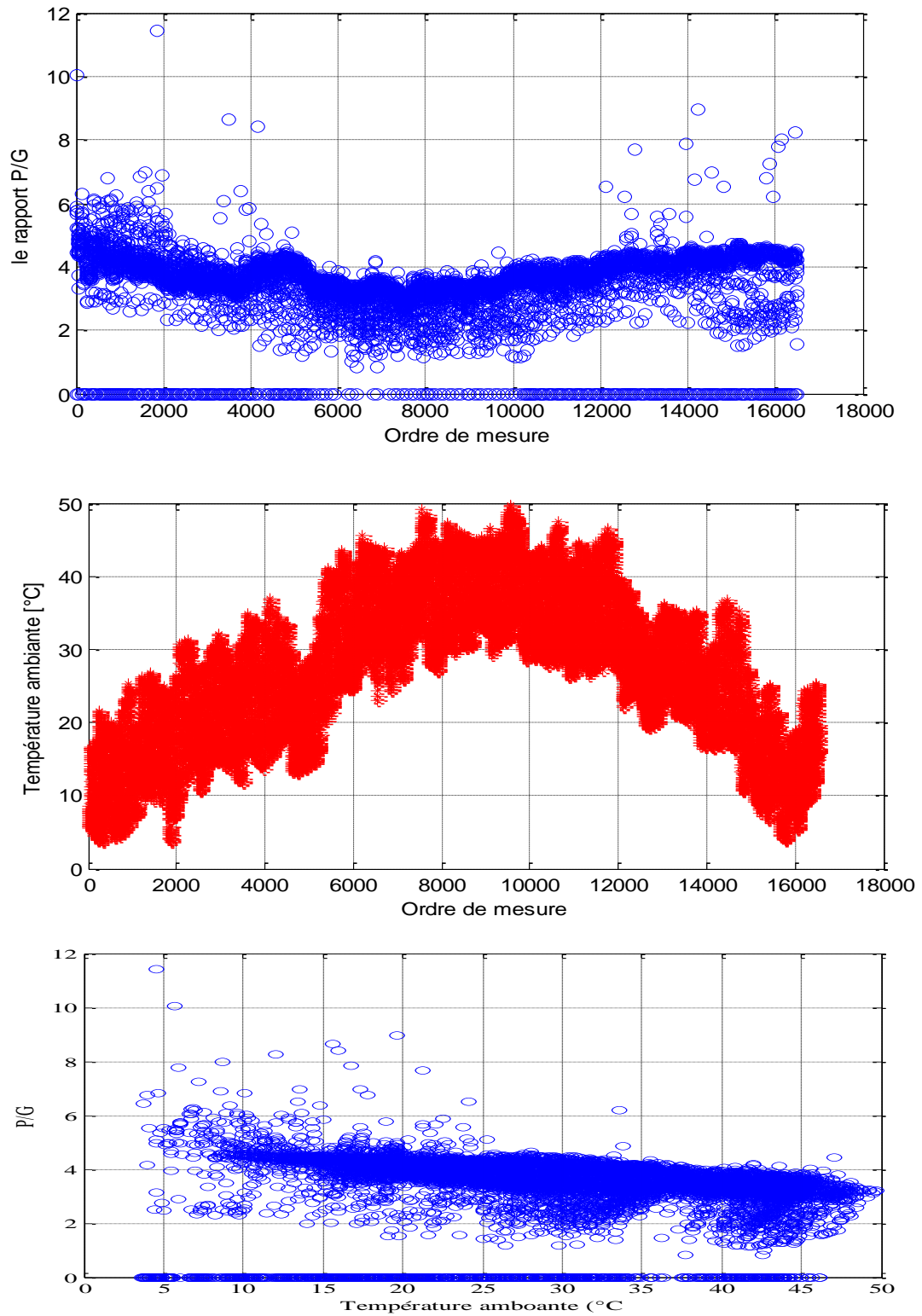


Figure 3.40 : Relation entre le rapport puissance-éclairement et la température ambiante pendant une année.

Afin de mieux comprendre le phénomène et la dépendance, on s'est focalisé sur un mois puis sur une journée pour plus de concentration. Le mois de mai a été choisi. Nous avons calculé le rapport de proportionnalité entre la puissance et l'éclairement (σ)

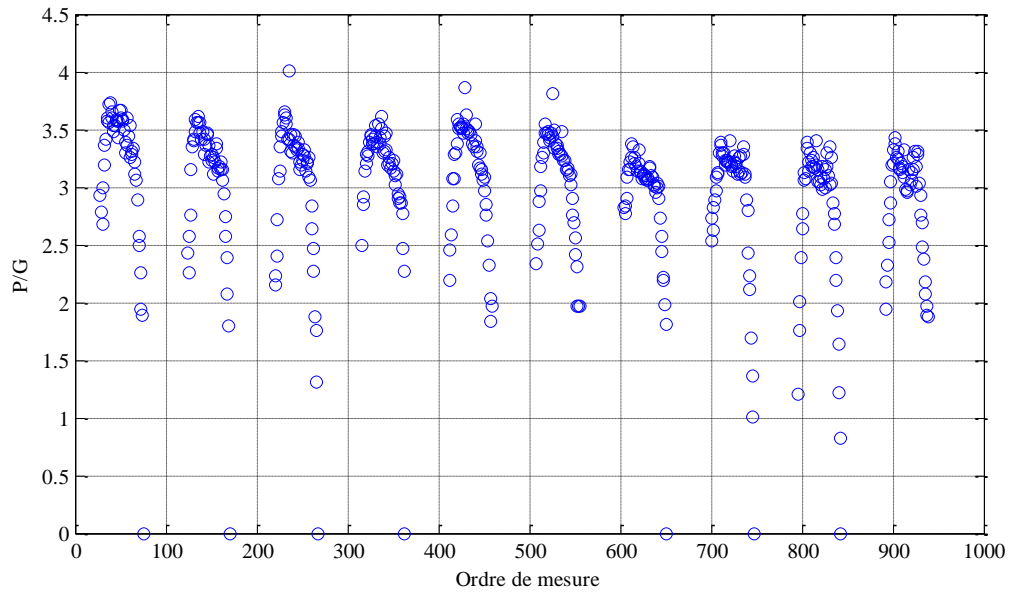


Figure 3.41 : Variation du rapport σ (P/G)

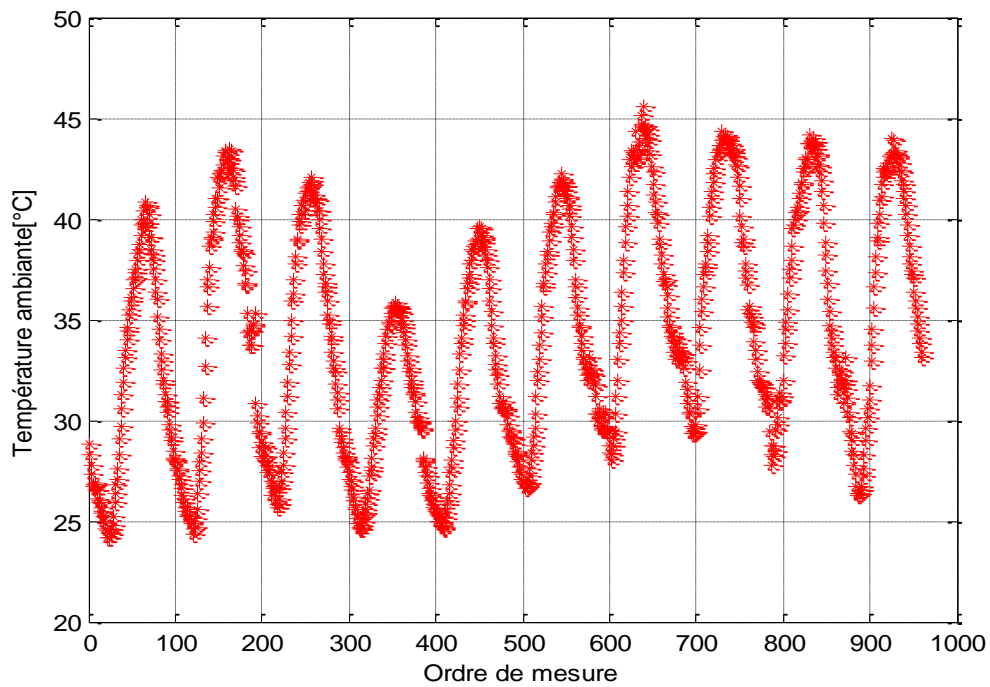


Figure 3.42 : Variation de la température durant le mois de mai 2017.

Analyse des corrélations durant une journée

Afin de cerner les relations existante entre le coefficient de linéarité de la corrélation puissance-éclairage et la température, nous avons choisi une journée de travail. C'était la 8^{ème} journée disponible du mois de mai. Les différentes grandeurs mesurées sont illustrées par la figure suivante.

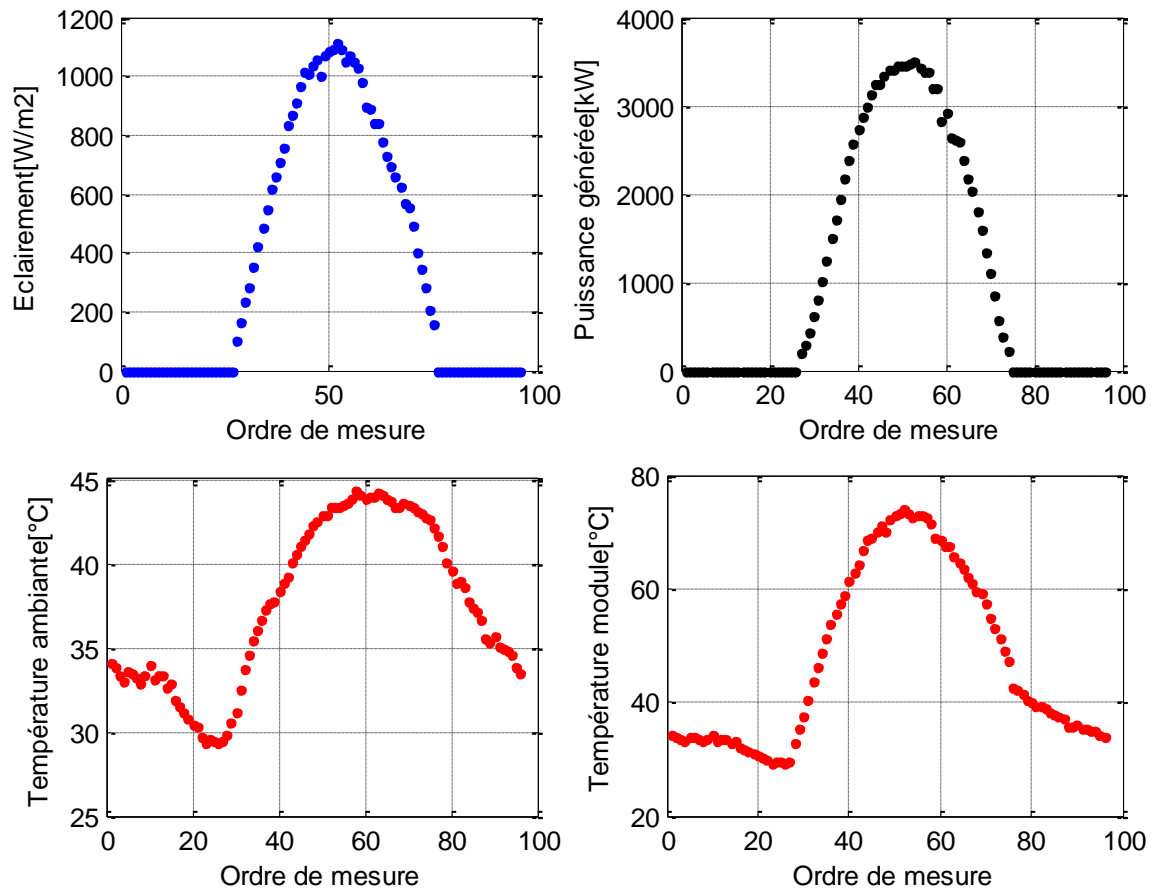


Figure 3.43 : Conditions de travail et puissance générée durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.

Ensuite le rapport σ a été calculé durant la période des mesures pendant laquelle l'éclairage n'était pas nul. Ce rapport a été représenté et confronté aux autres grandeurs qui sont l'éclairage, la température ambiante et la température du module comme illustré par les figures suivantes.

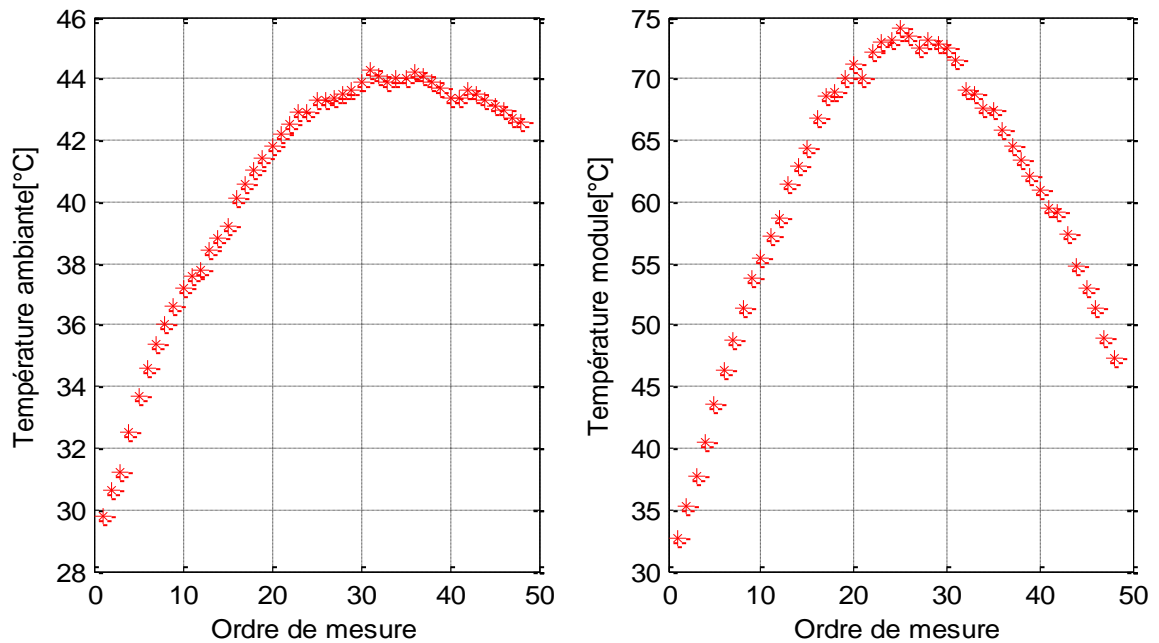


Figure 3.44 : Evolution de la température ambiante et la température du module (calculée) durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.

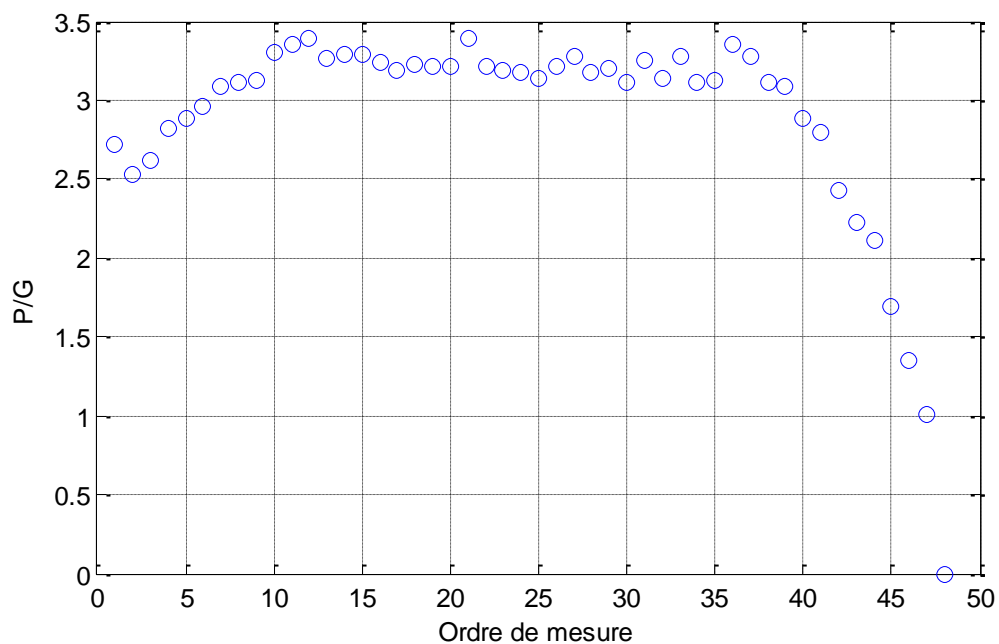


Figure 3.45: Evolution de du rapport σ (puissance-éclairage) durant le 8^{ème} jour de données disponibles du mois de mai 2017.

On peut aisément remarquer que le rapport entre la puissance et l'éclairage commence par augmenter puis se stabiliser avant de diminuer. Ceci presque à l'image de

l'éclairement, mais en juxtaposant les deux graphes de la figure suivante, on peut remarquer que cela à un rapport avec la valeur 800 W/m² de l'éclairement solaire. Qui est une grandeur caractéristique du panneau et qui correspond à la température NOCT.

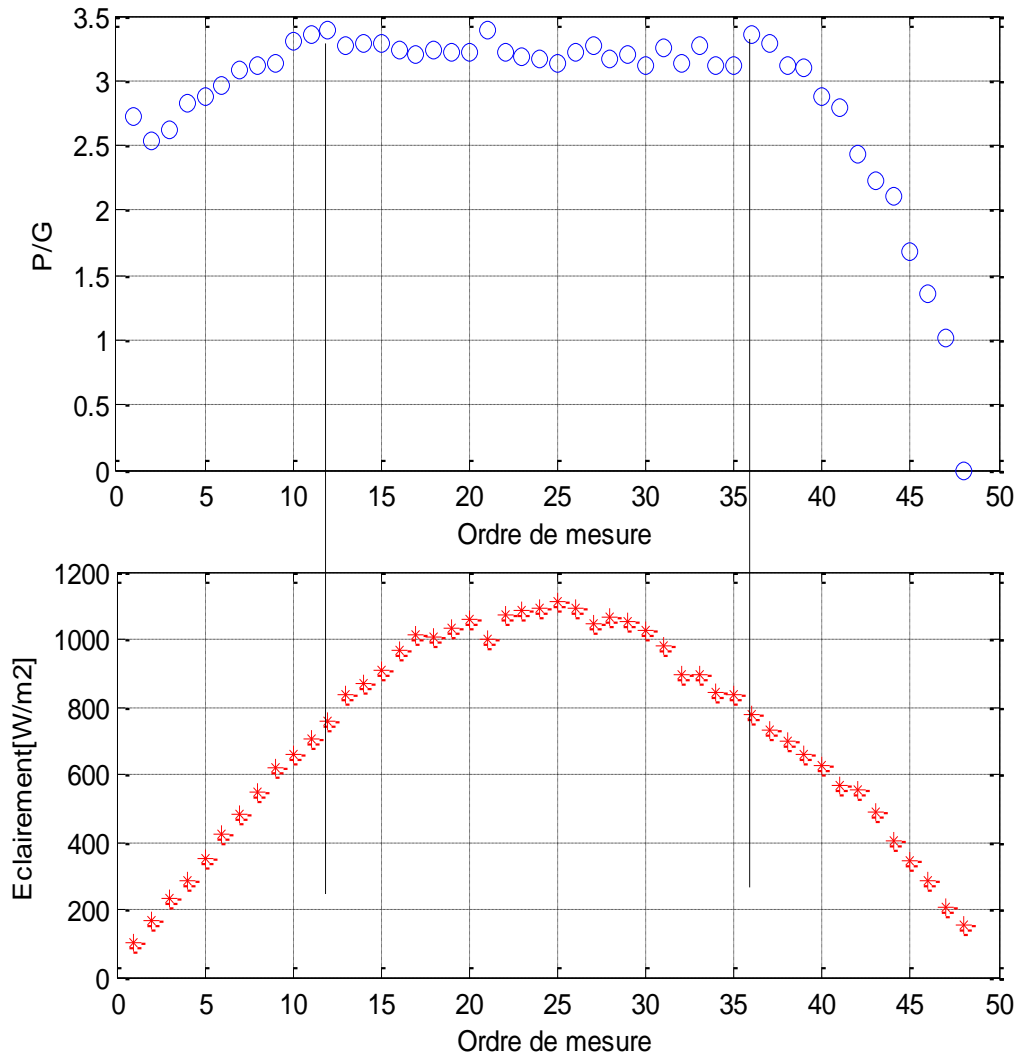


Figure 3.46: Relation entre l'évolution du rapport σ (puissance-éclairement) et la plage de variation de G.

Ceci nous amène sur une autre piste qui repose essentiellement sur la température du module en prenant en considération ses propriétés électriques aux conditions NOCT. Par manque de temps, cette piste demeurera une perspective au présent travail.

3.5 Conclusion

Les données de la centrale PV d'In Salah couvrant une année de fonctionnement constituent une mine d'or en information. Cette base de données couvrant initialement les 365 a été nettoyée pour ne retenir que 172 jours à la fin. Toute la base de données initiale est jugée comme intéressante y compris les données aberrantes qu'elle contient car elle renseigne sur des défauts de mesure et de fonctionnement qui doivent être pris en considération.

Cette base de données a été ensuite analysée pour identifier puis modéliser les corrélations qui existent entre la sortie de la centrale (la puissance générée) et les conditions de travaux (l'éclairement solaire au plan du module et la température ambiante). Ces corrélations ont pu être analysées mais malheureusement pas modélisée. On retient que la centrale est un système hautement non linéaire et très complexes. Les résultats de notre analyse ouvrent des perspectives intéressantes et donnent des pistes à explorer pour la construction d'un modèle fiable.

Conclusion générale

L'Algérie mise sur les centrales PV connectées au réseau pour sa politique de la transition énergétique. Or une centrale PV, contrairement à une centrale thermique à gaz, a une production intermittente. Cette intermittence trouve son origine dans la propriété de l'éclairement solaire qui est par nature variable à cause du mouvement de la terre autour d'elle et autour du soleil. Cette intermittence de la ressource solaire entraîne une intermittence de la puissance produite par une centrale PV ce qui pourraient causer la perturbation du réseau électrique si elle n'est pas bien gérée.

L'opérateur en charge de la gestion du réseau électrique veille à la stabilité du système et ce, en assurant l'équilibre entre l'énergie disponible à l'entrée du réseau et l'énergie consommée à tout instant. Face à la nature intermittente de l'énergie d'origine photovoltaïque, les opérateurs électriques ont développé des solutions parmi lesquelles se compte la prévision du productible des centrales PV. En effet si l'opérateur arrive à connaître à l'avance la production des centrales PV, il peut gérer le réseau en fonction.

La qualité des prévisions est fonction des résultats des deux étapes. Il faut donc disposer d'un bon modèle de prévision de l'éclairement et d'un bon modèle de simulation du fonctionnement des centrales PV. Les centrales PV sont des systèmes très complexes où la puissance générée à la sortie est fortement dépendante des conditions de travail et des technologies des composants qui la composent. Dans le présent travail, nous analysons le fonctionnement d'une centrale PV afin de développer un modèle fidèle de son fonctionnement. Cette analyse est rendu possible grâce à la disponibilité des données mesurées qui nous ont été fournies par SONELGAZ énergies renouvelables, chose qui n'était pas possible y'a quelques années en absence de centrales PV dans notre pays.

Dans un souci de développer un modèle performant pour la simulation du fonctionnement des centrales PV qui permettrait de calculer la puissance en fonction des prévisions de l'éclairement solaire, une analyse approfondie visant à identifier les corrélations existante entre la sortie de la centrale et les conditions de travail a été entreprise. Les résultats de cette analyse ont permis de :

- Mieux comprendre et modéliser la relation entre la puissance générée et l'éclairement. La relation est parfaitement linéaire mais influencée par un autre facteur.
- Le deuxième facteur est la température ambiante. Notre analyse a permis de statuer que la notion « moins important » pour désigner l'influence de la température sur la puissance par rapport à celle de l'éclairement n'est pas adéquate. Car si ignorée, la différence peut atteindre quelques centaines de watts ce qui n'est pas insignifiant pour une centrale de 5MWc
- La considération de la température du module est plus près de la réalité physique que l'utilisation de la température ambiante. Il faudrait considérer une étude qui permettrait de choisir le meilleur modèle pour la calculer au risque de cumuler les sources d'erreurs.

Enfin, il est à noter que ces corrélations ont pu être analysées mais malheureusement pas entièrement modélisée. On retient que la centrale est un système hautement non linéaire et très complexes. Les résultats de notre analyse ouvrent des perspectives intéressantes et donnent des pistes à explorer pour la construction d'un modèle fiable en profitant de la disponibilité des données réelles fournies par SONELGAZ Energies Renouvelables.

Bibliographie et Webographie

-
- [1] Site du Ministère de la transition énergétique et des énergies renouvelables. <http://mteer.gov.dz/>
-
- [2] Rapport Transition Energétique en Algérie, Leçons Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables, 20200 www.cerefe.gov.dz
-
- [3] Gadonneix, P.; Sambo, A.; Guobao, Z.; Kim, Y.D.; Teyssen, J.; Lleras, J.A.V. World Energy Issues Monitor 2019. World Energy Council. 2019. Available online: <https://www.worldenergy.org/> (accessed on 20 May 2020).
-
- [4] Kedaid, F.Z. Database on the geothermal resources of Algeria. *Geothermics* 2007, 36, 265–275. [CrossRef]
-
- [5] Dr Ouahiba GUERRI, L'Énergie éolienne en Algérie : Un bref aperçu, Recherche et Développement.
-
- [6] www.energy.gov.dz - Ministère de l'énergie
-
- [7] me des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, document élaboré par le ministère de l'énergie et des mines (MEM), Mars 2011.
-
- [8] <http://portail.cder.dz>
-
- [9] www.sktm.dz - sharikat el kahraba we taket el-moutajadida.
-
- [10] BRAHMI Manel, Rapport de stage à la centrale PV de Ghardaïa , mai 2022.
-
- [11] DELINCHANT B., WURTZ F., FANDINO J., "Mixing of FEM and Analytical Modeling for the Preliminary Design of a Transformer", OIPE'02, 7th International Workshop on Optimisation and Inverse Problems in Electromagnetism, Lodz, Poland, Sep. 12-14 2002.
-
- [12] Ferrer et al. Trypanosoma cruzi transmission dynamics in a synanthropic and domesticated host communitiy, 2019.
-
- [13] Kadlec et al. Clonal spread of methicillin-resistant staphylococcus pseudintermedius in Europe and North America: an international multicenter study, 2010
-
- [14] A. Afram, F. Janabi-Sharifi, Review of modeling methods for HVAC systems, *Appl. Therm. Eng.* 67 (2014) 507–519, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.055>
-
- [15] CHANAY Khaoula, Modélisation de productible d'un centrale Pv Connecté au réseau , MASTER en Énergies Renouvelables Option : Conversion Photovoltaïque, ,septembre 2018.
-
- [16] BDELKRIM Kaouthar et SEFFAH Mohamed, Etude et analyse de l'effet de la température sur le rendement des centrales PV connectées au réseau électrique , MASTER en Énergies Renouvelables Option : Conversion Photovoltaïque, ,septembre 2021.
-
- [17] <https://fr.tutiempo.net/climat/2021/ws606305.html>
-
- [18] Tossa at all. Energy performance of different silicon photovoltaic technologies under hot and harsh climate, 2016
-