



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

Par : CHANAY Khaoula

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

Thème :
**Modélisation du productible d'une centrale Pv
Connecté au réseau**

Soutenu devant le jury composé par :

Dr DOMAZE		USDB	Président
Dr AMROUCHE	Badia	USDB	Promotrice
Dr BOUZAKI	Mustapha	USDB	Examineur
Dr AIT SAHED	Oussama	USDB	Examineur

Septembre 2018

Résumé

Cette recherche porte sur l'étude des variables les plus importantes qui affectent la production d'une centrale photovoltaïque, afin de connaître et de déterminer la proportion d'énergie produite en fonction des conditions de travail. Un modèle empirique a été présenté pour exprimer la puissance à la sortie de la centrale en fonction de l'éclairement à la base d'une base de données couvrant une année de fonctionnement de la centrale PV de 5MWc d'In Salah.

Résumé en arabe

هذا البحث يتطرق الى دراسة اهم المتغيرات التي تؤثر على انتاج مركز الطاقة الكهروضوئية بحيث نصل الى معرفة وتحديد نسبة الطاقة المنتجة في ظل هذه المتغيرات بتغير الفصول في منطقة صحرواية.

Abstract

This research deals with the study of the most important variables affecting the production of photovoltaic power plant, so that we get to know and determine the proportion of energy produced under these variables changes seasons in a desert area. A model for PV plant, describing the produced energy according to the solar irradiation is presented. This model is base on one year recorded database which describe the functioning of 5Mc solar PV power plant. This PV plant is located at In Salah.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail comme preuve de respect de
gratitude et de reconnaissance ;*

*Aux joyeux de ma vie à mes parents qui sont la source de
ma réussite.*

*Je souhaite qu'ils trouvent à travers ce mémoire le faible
témoignage de leurs efforts et sacrifices.*

*J'ai également pu compter sur le soutien, les
encouragements et 'aide de mes amies.*

*A mes chers frères et mes sœurs, A toute ma belle famille
de la petite au grand.*

*A tout mes amies(e) de la promotion 2011/2012 de Blida et
ceux du département d'ENR 2017/2018*

*A tout mes de résidence et à tous ceux qui n'ont connu de
près ou loin.*

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 ;
Au responsables de SKTM, en particulier Monsieur Lakhel mokhtar, DRH de SKTM, les responsable de la centrale de In Salah pour nous avoir accordé l'opportunité de visiter l'un des joyeux de l'industrie PV en Algérie, la centrale de In Salah, qui nous a servi d'exemple de compréhension, d'étude et de mise en situation professionnelle. Grand Merci.

Je remercie mon promoteur Mm AMROUCHE Badia Docteur en Énergies Renouvelables à l'université de BLIDA (1)/département des EnR pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et son sens d'écoute et d'échange ; et les gens de SKTM, Monsieur le DRH, lakhel mokhtar et les responsables de la centrale de In Salah

Tout le corps des enseignants du département des EnR/ université de BLIDA (1) qui nous ont fait bénéficier d'une formation pluridisciplinaire de haut niveau et adaptée aux réalités des Energies Renouvelables ;

Je tiens également à remercier Monsieur H. Megueni chef de département des Énergie Renouvelables, et tout le staff administratif, ainsi que mes chers enseignants

Je tiens à remercier mes chers Parents, pour leurs encouragements, leur sacrifice, et leur soutien permanent, aussi moral que financier, ainsi que toute ma famille ;

Je tiens également à remercier tous mes Amis et tous les étudiants de mastère Énergies Renouvelables 2016/2017, et tous ceux qui m'ont soutenue moralement pendant la réalisation de ce travail pour leurs patience et leurs encouragement

Nomenclature- Symboles-Acronymes

VLS : très grande échelle

IEA : Agence internationale de l'énergie

PVPS : Systèmes photovoltaïques

PV : photovoltaïque

DC : Courant continu

AC : Courant alternative

BT : Base tension

HT : Haut tension

UV : Ultra-violet

MT : Moyenne tension

SKTM : Sharikat kahrabaa wa takate el motadjadida

E : l'éclairement (W/m^2)

S : la surface active de la cellule (m^2)

PVF : polyvinyl fluoride

ENA : ethylene vinyl acetate

STC : les conditions standards de test

Sommaire

Introduction générale.....	11
Chapitre 1 :	13
1.1 Introduction.....	13
1.2 L'effet photovoltaïque :	13
1.3 Les composants d'un système PV et leurs caractéristiques	14
1.3.1 Cellule photovoltaïque	14
1.3.3 Influence de l'éclairement sur le fonctionnement d'un module PV.....	17
1.3.4 Influence de la Température.....	17
1.3.5 Le convertisseur	18
1.4 Les centrales PV connectées au réseau.....	19
1.5 Les centrales connectées au réseau en Algérie.....	20
1.6 Synthèse	21
Chapitre 2.....	22
1.1 Introduction:.....	22
1.2 Description de la centrale d'IN SALAH :	22
1.2.1 Plan de masse:.....	23
1.2.2 Plan électrique:	24
1.2.3 Onduleur :	26
1.2.4 Transformateur:	27
1.2.5 Câbles électriques.....	28
1.2.6 Poste distribution MT:.....	30
1.3 Description de la base de données :	31
1.4 Synthèse.	33
Chapitre 3 :	34
3.1 Introduction.....	34
3.2 Méthodologie.....	34
3.3 Traitement de la base de données.....	35
3.4 Présentation du modèle.....	37
3.5 Etude de la corrélation entre l'éclairement et la puissance générée par la centrale.....	38
3.6 Validation du modèle.....	49
3.7 Syntèse.....	51
Conclusion générale.....	52

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN)	14
Figure I.2: Modèle électrique de la cellule photovoltaïque.....	15
Figure I.3: Les caractéristiques d'une cellule PV.....	15
Figure I.4: Composition de module photovoltaïque.....	16
Figure I.5: La connexion des cellules.....	16
Figure I.6: Caractéristique P-V et I-V du module en fonction de l'éclairement	17
Figure I.7: Caractéristique P-V et I-V du module en fonction de la temperature.....	18
Figure I.8: Centrale PV connectée au réseau	20

Chapitre II

Figure II.1: Central In Salah	22
Figure II.1: plan de masse de central In Salah	23
Figure II.3: Les modules PV de central In Salah	23
Figure II.4: Boite de jonction	24
Figure II.5: Boit parallèle	25
Figure II.6: l'onduleur C500KH	26
Figure II.7: Transformateur à tore	28
Figure II.8: Structurale du câble photovoltaïque	29
Figure II.9 : L'armoire de central	30
Figure II.10: Jeu de barre fermé avec haut niveau de sécurité et efficacité	31

Figure II.11: Capture d'écran de la base de données	32
Figure II.12 : Station de Mesure	32
Chapitre III	
Figure III.1 : Evolution de l'éclairement, la température et la puissance durant une journée (1/01/2017).....	35
Figure III.2 : Evolution de l'éclairement, la température et la puissance durant février 2017...	36
Figure III.3 : Evolution de l'éclairement, la température et la puissance durant une l'année 2017.....	37
Figure III.4 : Le schéma en bloc du modèle	37
Figure III.5: Exploration de la relation entre P et G pour une journée	38
Figure III.6: Représentation de P en fonction de G pendant une journée	39
Figure III.7: Exploration de la relation entre P et G durant plusieurs journées	39
Figure III.8: Représentation de P en fonction de G pendant plusieurs jours	40
Figure III.9: Régression linéaire du nuage de mesure de P en fonction de G pendant plusieurs jours	40
Figure III.10: correspondance entre les mesures et le modèle défini par les coefficients calculés par régression linéaire	41
Figure III.11: Les mesures.....	42
Figure III.12: La corrélation entre P et G.....	42
Figure III.13: La régression linéaire.....	43
Figure III.14: La correspondance entre les mesures et le modèle.....	43
Figure III.15: les 8 derniers jours de janvier.....	44
Figure III.16: les 8 derniers jours de mars.....	45
Figure III.17: Les valeurs des coefficients de régression pour les 3 derniers jours de chaque mois durant l'année 2017.....	47

Figure III.18: Résultats de la régression cubique pour les coefficients a et b.....	48
Figure III.19: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance. Décembre entre j16 et j 25	49
Figure III.20: Pen fonction de G et la régression.....	50
Figure III.21: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance. Décembre entre j16 et j 25, zoom sur quelques journées nuageuses.....	50

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tab II- 1:Exemple de centrales PV connecte au réseau en Algérie.....	21
--	----

Chapitre 2

Tab II- 1:Les éléments de base de la boîte de Junction de premier étage	25
Tab II- 2:Liste de pièce de Coeur de boîte en parallèle.....	Erreur ! Signet non défini.
Tab II- 3:Paramètre du côté DC et AC.....	Erreur ! Signet non défini.
Tab II- 4:caracter de cable.....	29

Chapitre 3

Tab III- 1:les valeurs des coefficients.....	41
Tab III- 2:les valeurs des coefficients.....	44
Tab III- 3:les valeurs des coefficients.....	45
Tab III- 4: les valeurs des coefficients.....	46
Tab III- 5:Les valeurs des coefficients de régression pour les 3 derniers jours de chaque mois durant l'année 2017	46
Tab III- 6:Les valeurs des coefficients de régression cubique pour le coefficient a en fonction des mois.....	Erreur ! Signet non défini.7
Tab III- 7:Les valeurs des coefficients de régression cubique pour le coefficient a en fonction des mois.....	48

Introduction Générale

Au cours des dernières années, le développement de la technologie solaire photovoltaïque (PV) a conduit à d'énormes réductions de prix qui, combinées à de faibles coûts d'installation et de maintenance, ont rendu le PV une solution prisé pour la génération d'une énergie propre. Dès lors, un impressionnant développements et déploiement de grandes centrales photovoltaïques à très grande échelle (VLS) de plus de 100 MWc a été remarqué.

La connaissance de la production de telles installations reste une nécessité absolue du fait que cette énergie est injectée dans le réseau électrique, et que par sa qualité intermittente, elle peut causer des perturbations du réseau. La surveillance analytique du réseau nécessite la mesure de nombreux paramètres, tels que la puissance et l'énergie de sortie, l'éclairement, la température ambiante, l'entrée DC de l'onduleur et La puissance de sortie CA, où tous sont mesurés à un certain intervalle de temps, tel que toutes les heures, tous les 15 minutes, toutes les minutes ou même quelques secondes. Compte tenu du coût et de la complexité des installations PV. Tout cela dans l'objectif de trouver un modèle permettant de décrire la sortie de la centrale en fonction de ses entrées et de ses paramètres.

Dans ce mémoire nous explorons la possibilité de développer un modèle empirique sous Matlab. Pour ce, nous disposons d'une base de données couvrant une année de fonctionnement de la centrale de 5MWc d'In Salah.

Le présent mémoire est partitionné en 3 chapitres.

Le premier chapitre rappelle quelque généralité sur les systèmes photovoltaïques avec un inventaire des centrales photovoltaïque dans l'Algérie et leurs puissances.

Dans la deuxième chapitre, une description de centrale photovoltaïque d'In Salah est donnée. Cette présentation nous permet de positionner les composent et les paramètres, et de comprendre son fonctionnement.

Enfin, Le troisième chapitre est consacré au traitement de la base de données, à la présentation du modèle développé et celle des résultats et leur discussion.

1.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie [1]. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Le mot « photovoltaïque » vient du Grec, il est composé de deux parties: **Photos** qui signifie lumière et **Volt** qui représente l'unité de tension électrique, du nom Alessandro Volta. Ce phénomène fut découvert au 19ème siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. [2]

La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utilisé pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications [3]. Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur l'effet photovoltaïque, les systèmes PV et leurs composants, avant de s'intéresser aux centrales PV connectées au réseau, objet de notre étude.

1.2 L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Il constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir

une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toute fois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première cellule photovoltaïque [4].

1.3 Les composants d'un système PV et leurs caractéristiques

1. Cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage. La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches de type P ou N en y diffusant du brome ou du phosphore. Une cellule solaire est alors obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposé (jonction PN). Au voisinage de la jonction apparaît un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives. Des contacts métalliques en formes de grille, contacts avant et arrière, sont déposés Figure (I.1).

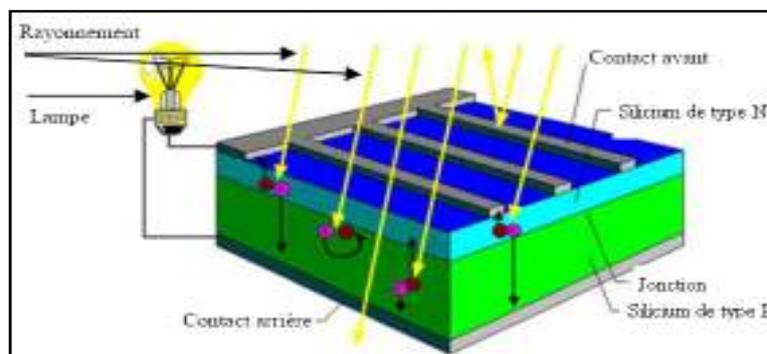


Figure I.1: Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium (jonction PN)

Le circuit électrique équivalent d'une cellule solaire PV est représenté par la Figure (I.2) tandis que ses caractéristiques de sortie I-V et P-V par la Figure (I.3).

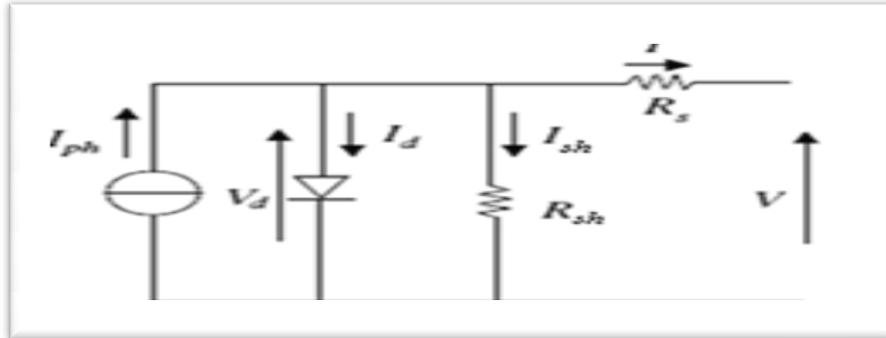
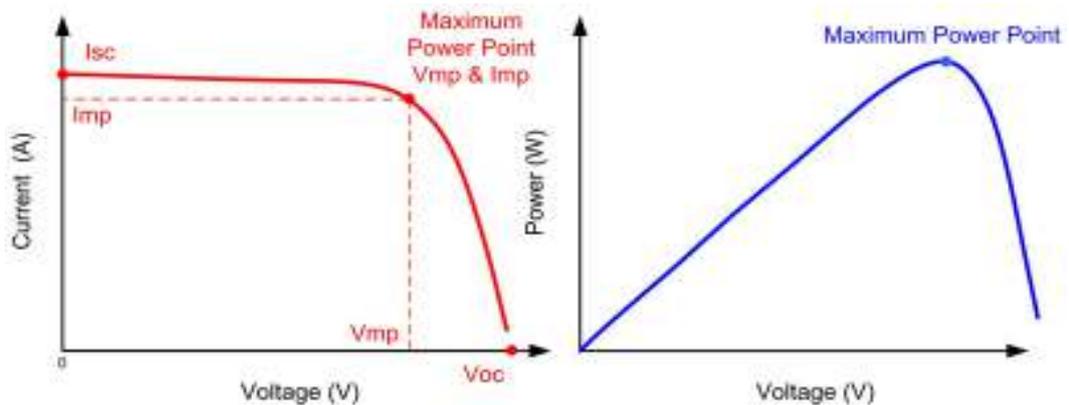


Figure I.2: Modèle électrique de la cellule photovoltaïque



Caractéristiques : courant-tension $I(V)$

Caractéristique : puissance-tension $P(V)$

Figure I.3: Les caractéristiques d'une cellule PV

2. Rendement d'une cellule PV : On définit le rendement énergétique d'une cellule par le rapport entre la puissance maximum et la puissance incidente :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{E S} \quad (I.1)$$

Avec :

E : l'éclairement (W/m^2)

S : la surface active de la cellule (m^2)

P_{\max} : est la puissance maximum mesurée dans les conditions standards de test (Standard Test Conditions STC). Qui correspondent à un spectre AM1.5 , une température de 25°C, et un éclairage de 1000 W/m².

3. Le Module PV: Les cellules ne développent qu'une puissance relativement faible et sont extrêmement fragiles et sensibles aux éléments extérieurs tels que la corrosion. Pour utiliser l'énergie PV à grande échelle, les cellules sont connectées entre elle en série pour augmenter la tension et en parallèle pour augmenter le courant. Elles sont ensuite encapsulées entre une feuille de verre et une feuille de Tedlar (polyvinyl fluoride (PVF)) à l'aide d'un polymère (et prise en sandwich entre deux supports et éloignés de 1cm du bord. En face avant, en mit du verre trempé résistant, transparent et de haute transmission de 3 à 4 mm d'épaisseurs

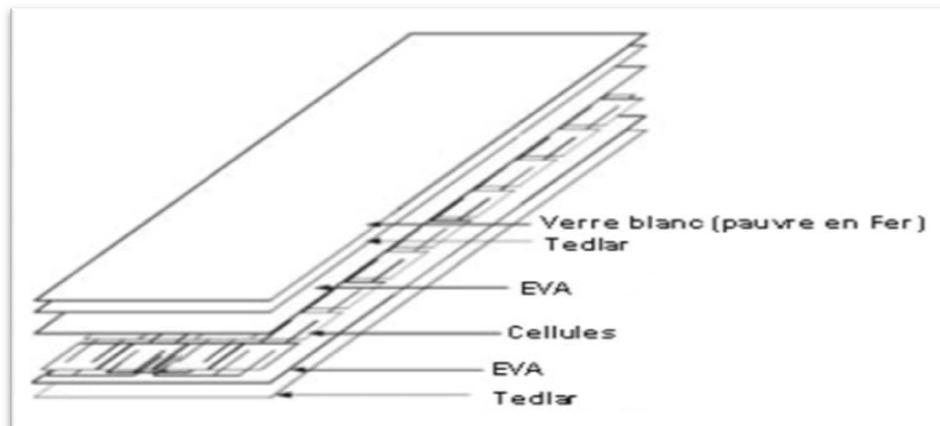


Figure I.4: Composition de module photovoltaïque

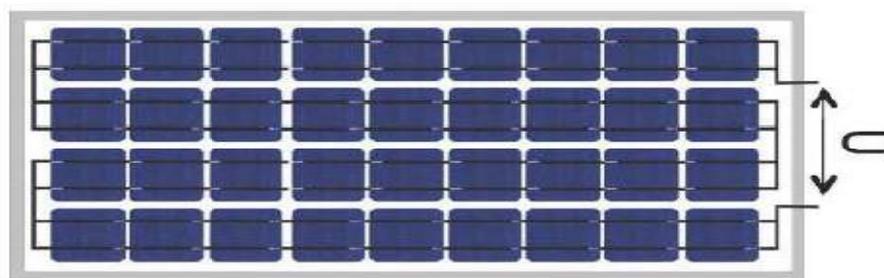


Figure I.5: La connexion des cellules

3.1 Influence de l'Éclairement sur le fonctionnement d'un module PV

Lorsqu'on fait varier l'éclairement solaire incident sur un module PV, on obtient une variation au niveau des caractéristiques de sortie I-V et PV comme illustré par la Figure 1.6. On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.

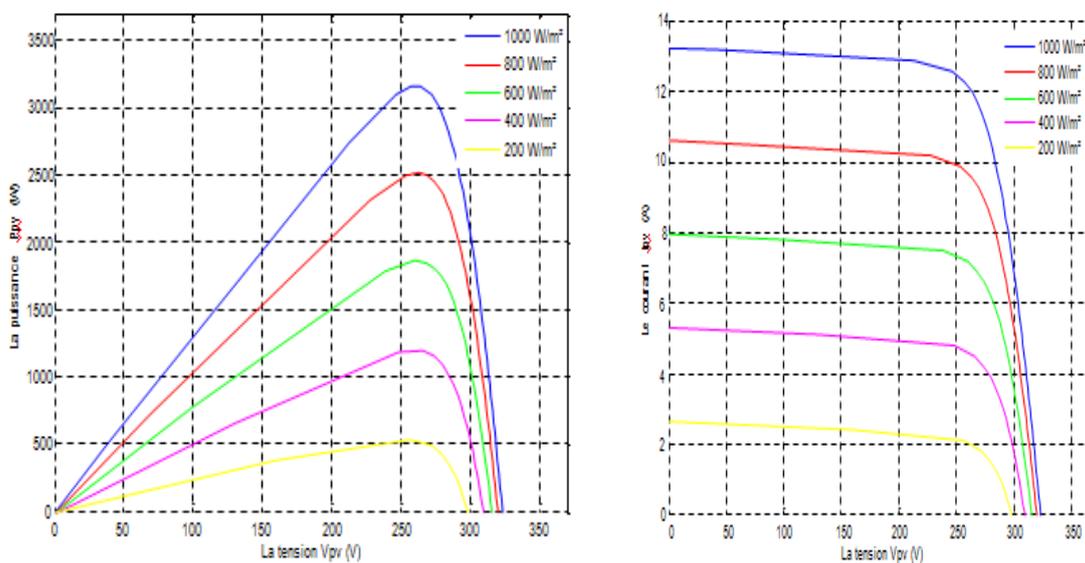


Figure 1.6: Caractéristique P-V et I-V du module en fonction de l'éclairement.

3.2 Influence de la Température

En faisant varier la température de 25°C jusqu'à 50°C, la caractéristique ($I_{pv}=f(V_{pv})$) est donnée par la Figures (1.7). On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue.

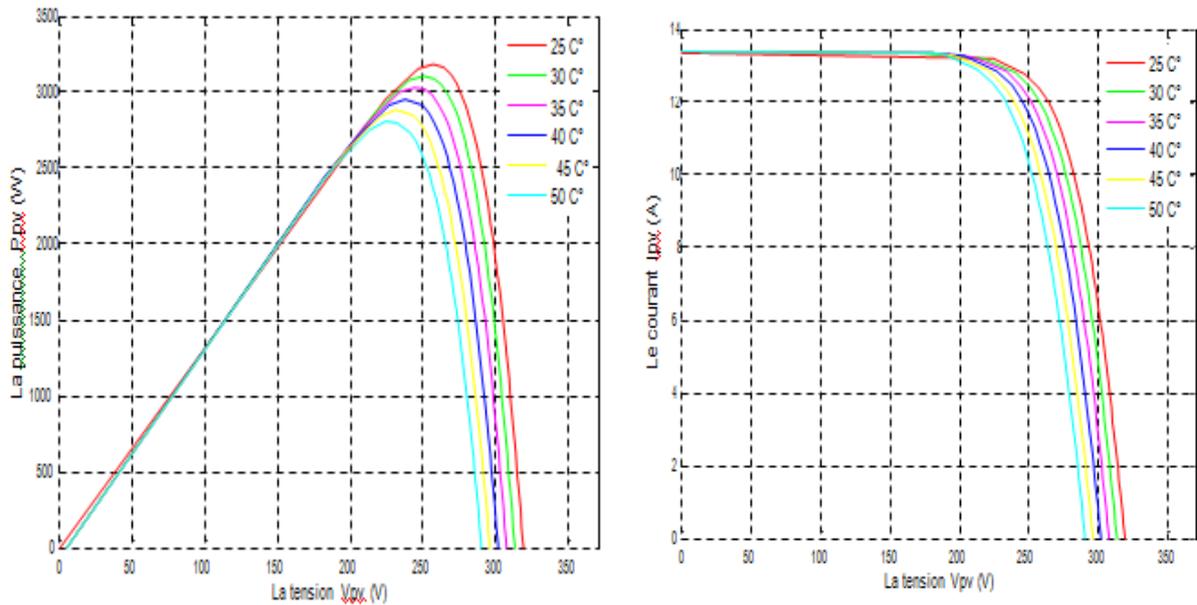


Figure I.7: Caractéristique P-V et I-V du module en fonction de la température.

4. Le convertisseur : Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative. Dans ce dernier cas, il s'agit d'onduleurs DC/AC.

Un onduleur est un convertisseur de tension continue /alternative. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique photovoltaïque en énergie électrique alternative soit pour faire fonctionner des charges, soit pour débiter de l'énergie au réseau. Généralement à base de thyristors, selon l'exploitation de cet onduleur peut être monophasé ou triphasé [5]. Les applications photovoltaïques les plus valorisantes actuellement sont les installations PV destinées à alimenter le réseau électrique public.

Il existe différentes topologies de gestion de ces installations. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un GPV raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent et mettent en forme l'énergie solaire électrique. Les progrès effectués ces dernières années dans le développement des onduleurs dédiés aux photovoltaïques ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent

plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximale. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs : l'onduleur central, les onduleurs strings (chaînes) et les onduleurs intégrés aux panneaux (module).

1.4 Les centrales PV connectées au réseau

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisent sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés [6,7]. Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité par exemple le cas de la centrale d'In Salah de 5MW.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où [8, 9, 10, 11] .

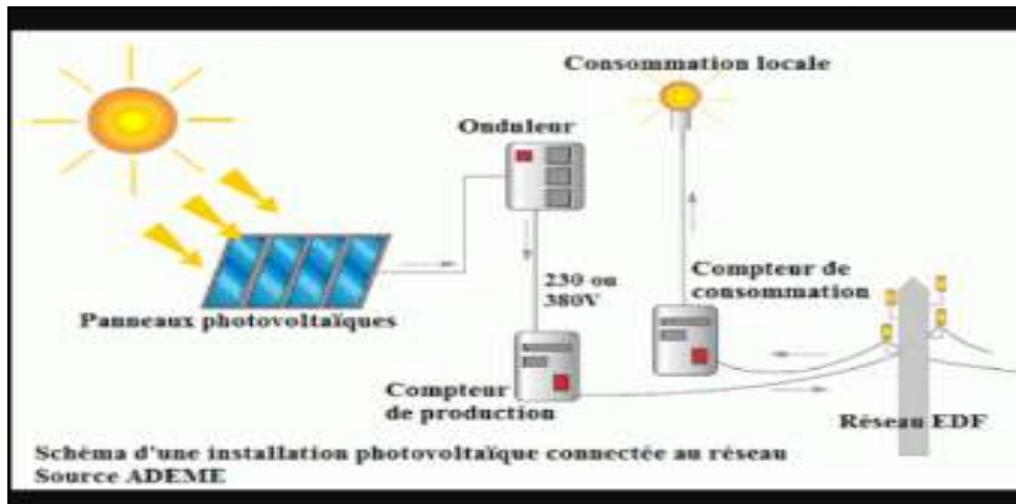


Figure I.8: Centrale PV connectée au réseau

Fonctionnellement, une centrale connectée au réseau est composée de plusieurs parties qui sont :

- a) la partie génératrice : il s'agit du champ PV qui assure la conversion de l'énergie solaire en énergie PV ;
- b) la partie d'adaptation : cette partie assure la conversion de l'énergie fournie par la partie génératrice pour son adaptation à sa charge qui est le réseau électrique dans ce cas.

1.5 Les centrales connectées au réseau en Algérie

L'Algérie fait partie des pays qui se sont orientés vers une solution de mix énergétique par le lancement du programme nationale de développement des énergies renouvelables. Cet investissement est marqué par la réalisation des 22 centrales photovoltaïques en 2017 par l'entreprise SKTM, filiale SONELGAZ dans les hauts plateaux et dans le sud, d'une capacité totale de 343 MW.

Tableau I .1 : Exemple de centrales PV connecte au réseau en Algérie

Centrale photovoltaïque	Puissance en (MW)
Adrar	20
Djelfa	33
Tamanrasset	13
Laghouat	40
In Salah	5
Kabertene	10

1.6 Synthèse :

Le but du présent chapitre a été de rappeler quelques notions générales sur les systèmes et les centrales PV. Ces notions sont reprises dans les chapitres suivant et leur compréhension facilite l'assimilation de notre travail.

2.1 Introduction

Dans ce chapitre on représentera une description pour la centrale étudié avec les déférents composants de système photovoltaïque connecté au réseau, ce système est produise une quantité d'énergie alimenté le réseau.

La production d'électricité à la terre de modélisation d'une basse de données.

2.2 Description de la centrale d'IN SALAH :

Le projet est une centrale photovoltaïque de 5MWc à In-Salah. Le site du projet est situé au côté Est de l'ancienne centrale de Sonelgaz, il est traversé par la conduite du transfert d'eau de Tamanrasset à partie d'In-Salah, ainsi que la prise de vent(**Afrag**), qui est implantée sur la ligne Nord-Sud et mise en service le 11 février 2016 et constitue par cinq sous-champ , cinq onduleurs (chaque onduleur contient de 93 matrice) et transformateur , 120 boîtes jonction et 40 boîtes parallèle et contient des 465 matrice (chaque matrice 44 panneau solaire) on générale notre centrale constitue par 20460 panneau solaire.



Figure II.1: Central In Salah

2.3 Plan de masse:



Figure II.2: plan de masse de central In Salah



Figure II.3: Les modules PV de central In Salah

2.4Plan électrique:

1)-Système raccordement

Pour faire diminution des pertes ohmiques dans les câbles DC et maximisation de la production électrique de la centrale on faire réduction de la longueur totale des câbles de courant continu.

2)-Boites jonction:

- * Située au plus près du champ PV
- * Une seule sortie à deux polarités
- * Rôle : connexion des chaînes de modules en parallèle et transmission de la puissance produite aux boîtes parallèles
- * Protection : dispose d'un pouvoir de coupure & sectionnement (inter sectionneur) + protection contre les surtensions (parafoudre) + éventuellement des fusibles sur chacune des chaînes PV

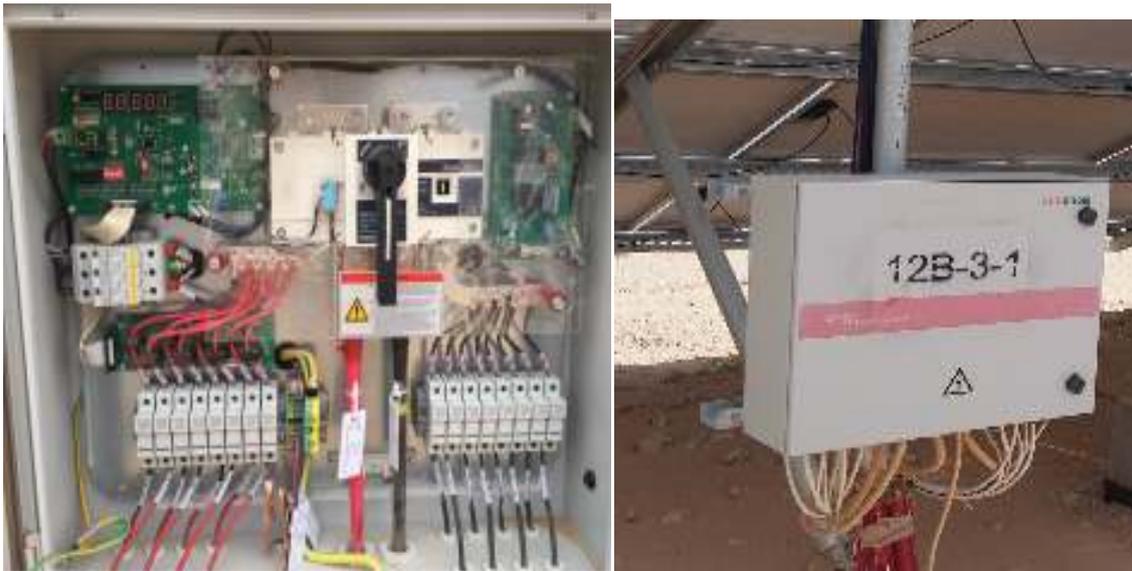


Figure II.4:Boite de jonction

N°	Equipement/élément	Type	Nom de l'usine	Quantité	Forme
1	Charge-commutateur	GM5-125 PG	Électroménager populaire	1	
2	Déchargeur	DXH06-F/3DC1000R40	PUTLANZHONGPU	1	
3	Fusible	RS308-PV-3E15A	Fusible de Chine	16	
4	Unité de surveillance intelligent	TBEA-HL-PCB01	TBEA	1	/

Tab II 1: Les éléments de base de la boîte de Junction de premier étage.

3)-Boite parallele:

* Connexion entre les boites de jonction et les boites générales

*Pouvoir de coupure et de sectionnement (inter-sectionneur et fusible) + protection contre les surtensions (parafoudre)

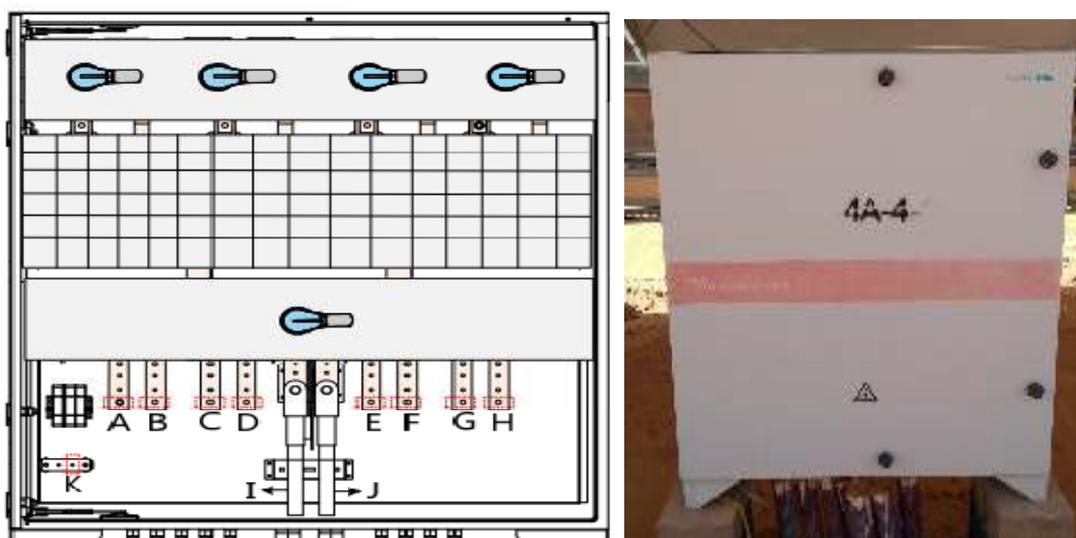


Figure II- 5: Boit parallèle

N°	Equipment/élément	Type	Nom de l'usine	Quantité	Forme
1	Fusible	PV-125ANH1	BUSSMANN	8	
2	Charge-commutateur	GM5-630 PG	Électroménager populaire	1	
3	Charge-commutateur	GM5-125 PG	Électroménager populaire	4	

Tab II 2:Liste de pièce de Coeur de boîte en parallèle

4)-Onduleur :



Figure II. 6:l'onduleur C500KH

Caractéristiques de fonctionnement de l'onduleur :
Indices techniques principaux de l'onduleur C500KH

Paramètre du côté DC	
Tension de circuit ouvert de matrice maximale	1000V
Puissance maximal entrée DC	618kW
DC plage de tension de fonctionnement	500V~1000V
Limite suivie de tension de puissance maximale	500V~820V
Courant d'entrée maximal	1120A
Nombre d'entrée	8
Paramètre du côté AC	
Puissance de sortie nominale	500kW
Tension nominale de réseau électrique	315Vac

Tab II- 3:Paramètre du côté DC et AC

5)-Transformateur:

Un transformateur statique, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Il transforme la tension (HT à BT ou BT à HT), c'est un équipement électrique très important pour le système de transformation et de transport AC. La transformation de tension est réalisée à travers de rapport de nombre de spires primaires et secondaires, mais un transfo ne transforme que la tension et courant, mais non changement de valeur d'énergie et fréquence, il y a seulement perte d'énergie. Un transformateur dont le primaire comporte 30,000 spires alimenté par une tension sinusoïdale de 30KV de tension efficace, le secondaire qui comporte 315 spires présentera à ses bornes une tension dont la valeur efficace sera égale à 315 V (attention, en général une spire n'est pas « égale » à 1 V) .

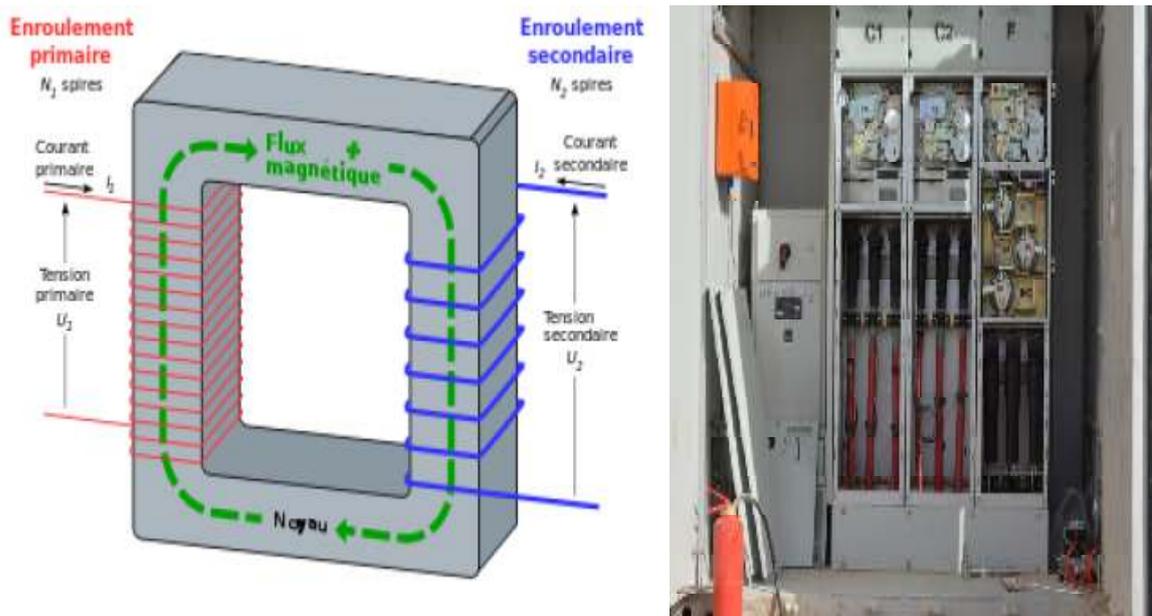


Figure II.7: Transformateur à tore

6)-Câbles électriques

Les câbles d'alimentation sont l'élément principal du réseau de système électrique. En général, le câblage est dans le couloir souterrain, dont la fonction est de transférer et de distribuer l'énergie électrique.

Câble photovoltaïque est utilisé principalement dans la ligne d'extrémité de tension de DC en plus de 1,8 kV - le système d'équipement des lignes optique, la catégorie de protection de câble est niveau II, avec les exigences environnementales élevées, doit avoir les caractéristiques de résistance à l'ozone, à l'UV, à l'acide et l'alcalin, à la température haute, au froid, contre les bosselures, sans halogène etc. et la compatibilité avec les connecteurs standards, le système de connexion, etc.

1)- Principe de fonctionnement des câbles :

Le câble électrique isolé par polyéthylène de réticulation, est une molécule de polyéthylène de la matière isolée du câble par des méthodes chimiques ou physiques de la structure linéaire de polyéthylène plastique en une structure de réseau en trois dimensions, à savoir le polyéthylène thermoplastique transversale d'origine en plastique de réticulation

thermodurcissable de polyéthylène, ce qui améliore grandement la résistance à la chaleur et la durée de vie du câble, et conserve ses excellentes propriétés électriques .

2)-Structure du câble photovoltaïque :

- ① : Conducteur Câble photovoltaïque est le conducteur de cuivre.
- ② : Isolant polyoléfine sans halogène ignifuge Réticulé d'irradiation.
- ③ : Gaine polyoléfine sans halogène ignifuge Réticulé d'irradiation.

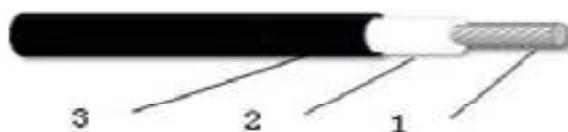


Figure II-8: Structurale du câble photovoltaïque

Nom de câble	Type de câble
Câble 0,6/1kV	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 3×240 mm ²
	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 3×185+2×95 mm ²
	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 3×70+2×35 mm ²
	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 3×50+2×25 mm ²
	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 5×10 mm ²
	CU/XLPE/STA//FR 0,6/1kV 5×6 mm ²
	CU/XLPE 0,6/1kV 1×35mm ²
	CU/XLPE 0,6/1kV 1×16 mm ²
Câble photovoltaïque	PV1-F 1×4 (en cuivre, mono-conducteur)
Câble DC	AL/XLPE 1×70mm ²
	AL/XLPE 1×240 mm ²
Câble d'appareils	CU/XLPE/PVC/CTS/PVC//CTS/PVC FR 0. 6/1kV 2*2*1,5

Tab II .4: caracter de cable

3)-Poste distribution MT:

Le poste d' distribution MT de la centrale (la tension va passer moyen tension d' environ 24 kV à 36 kV pour être injecté sur réseau de transport d'électricité. Et dans ce poste il ya trois armoire d'arrivée et un départ (cellule métallique étanche en gaz SF6), et un transformateur auxiliaire.

1-Généralité de l'armoire:



Figure II.9 :L'armoire de central

L'armoire de la série CBGS-0 de SCHNEIDER est un système étanche absolu. Toutes les pièces chargées et les interrupteurs sont fermés dans la coque en acier inoxydable, faisant l'isolation par le gaz SF6, ce qui diminue le volume de l'équipement. Ce dispositif entier n'est pas affecté par l'environnement extérieur, donc il peut assurer la fiabilité de fonctionnement et la sécurité personnelle.

Le cellule, jonction de la centrale et le réseau, est responsable de l'opération de fermeture, de l'ouverture, de la protection, de mesure, de contrôle et de l'alimentation d'électricité interne.

Fermeture et ouverture : Raccorder et séparer avec le réseau par l'opération des disjoncteurs.

Protection : En cas de défaillance des équipements électriques (court-circuit, mis à la terre), Couper le raccordement à temps avec le réseau à assurer la sécurité de la centrale et le réseau.

Mesure et contrôle : Comptage de l'électricité par les dispositifs des transformateurs de tension et de courant etc.

Alimentation interne : Alimenter l'électricité au transformateur auxiliaire et cellule de sélecteur en charge. (Éclairage, électricité dynamique, système de surveillance).

Jeu de barre :

Dans la distribution électrique un jeu de barres désigne un conducteur de cuivre ou d'aluminium qui conduit de l'électricité dans un tableau électrique, à l'intérieur de l'appareillage électrique ou dans un poste électrique. Le terme officiel est barre omnibus, mais il n'est guère employé. Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique international, il s'agit « d'un conducteur de faible impédance auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés ».



Figure II.10: Jeu de barre fermé avec haut niveau de sécurité et efficacité

2.5 Description de la base de données :

D'après signature d'une convention avec SKTM, la société propriétaire de la centrale In Salah, Les responsables de cette dernière nous ont fourni une base de données carrai une année de mesure. Cette base de données est sous forme de fichier Excel, Elle est constituée de 12 fichier, Chaque fichier contient les mesures d'un mois, Chaque colonne est représente les paramètres de mesure avec des lignes qui représente la variabilité des mesures de chaque paramètre, le pas de mesure étant de 15 min.

Les mesures enregistrées qui représente par la figure (II-9) :

Energie&Météorologique									
									2017-1-1
TIME	P (kW)	ENERGIE sortie (MWh)	ENERGIE entree (MWh)	TSA P (Qw)	Température de station (°C)	Rayonnement d'inclinaison (°)	humidité (%)	pression (hpa)	vitesse de vent (m/s)
00:00	----	8049.0000	112.2000	----	----	----	----	----	----
00:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	8.2000	0.0000	43.1000	988.1000	8.3000
00:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	8.2000	0.0000	43.6000	988.0000	8.3000
00:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	8.1000	0.0000	44.0000	987.9000	7.9000
01:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.8000	0.0000	44.7000	987.8000	8.1000
01:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.8000	0.0000	45.0000	987.6000	7.9000
01:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.9000	0.0000	45.1000	987.5000	8.2000
01:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.8000	0.0000	45.2000	987.2000	8.6000
02:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.7000	0.0000	45.3000	986.7000	9.2000
02:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.5000	0.0000	45.9000	986.6000	8.7000
02:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.4000	0.0000	46.2000	986.7000	8.7000
02:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.3000	0.0000	46.7000	986.6000	8.5000
03:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.2000	0.0000	46.9000	986.6000	7.8000
03:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	7.1000	0.0000	47.4000	986.6000	8.1000
03:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.7000	0.0000	47.7000	986.2000	7.2000
03:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.6000	0.0000	48.4000	986.3000	7.6000
04:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.4000	0.0000	49.0000	985.9000	7.8000
04:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.3000	0.0000	49.3000	985.9000	8.0000
04:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.1000	0.0000	49.9000	985.8000	7.4000
04:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.1000	0.0000	50.6000	985.6000	7.8000
05:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.0000	0.0000	50.9000	985.6000	8.0000
05:15	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.0000	0.0000	51.4000	985.4000	7.6000
05:30	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	6.0000	0.0000	51.9000	985.4000	7.7000
05:45	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	5.9000	0.0000	52.5000	985.3000	7.8000
06:00	0.0000	8049.0000	112.2000	0.0000	5.8000	0.0000	53.0000	985.1000	8.1000

Figure II.11: Capture d'écran de la base de données



Figure II.12 : Station de Mesure

2.6 Synthèse

Cette base de données est le seul pour mon travailler, dans le chapitre suivant et détailles ma base de données et je faire programmer à partir de le logiciel MATLAB.

3.1 Introduction

Une centrale PV connectée au réseau est un système dont les paramètres d'entrée sont les conditions de travail telles que l'éclairement, la température ambiante et la vitesse du vent d'un côté, et les paramètres de sortie qui sont la puissance ou l'énergie. Modéliser le fonctionnement d'une centrale PV revient à décrire la relation qui relie les sorties aux entrées par des équations mathématiques.

Dans ce présent chapitre, nous allons développer un modèle simple reliant la puissance que fournit une centrale PV aux conditions de travail. Pour ce faire nous allons exploiter la base de données de la centrale d'In Salah.

3.2 Méthodologie

La modélisation de la centrale passe par les étapes suivantes :

- 1) **Traitement de la base de données** : il s'agit d'analyser le contenu de la base de données afin de décider de sa fiabilité et de déterminer la forme sous laquelle les données y sont stockées afin de préparer les programmes en fonction.
- 2) **Inspection visuelle des données** cette étape permet de déceler des corrélations entre les entrées et les sorties du modèle à développer.
- 3) **Proposer un modèle mathématique** simple à la lumière des corrélations précédemment décelées.
- 4) **Identifier les paramètres du modèle** : il s'agit de fixer les valeurs numériques des différents paramètres du modèle qui permettent de calculer les sorties en fonction des entrées du système.
- 5) **Validation du modèle** : cette étape est très importante car elle permet de valider le modèle pour une partie de données non utilisée pendant la phase de construction du modèle et d'identification de ses paramètres.

3.3 Traitement de la base de données

La base de données couvre une année de mesure avec un pas de 15 mn. Dans la présente étude nous nous intéressons à 3 mesures, l'éclairement et la température en entrée, et la puissance générée par la centrale en sortie. Les Figures III.1, III.2 et III.3 illustrent ces données mesurées pour une journée, un mois et l'année 2017.

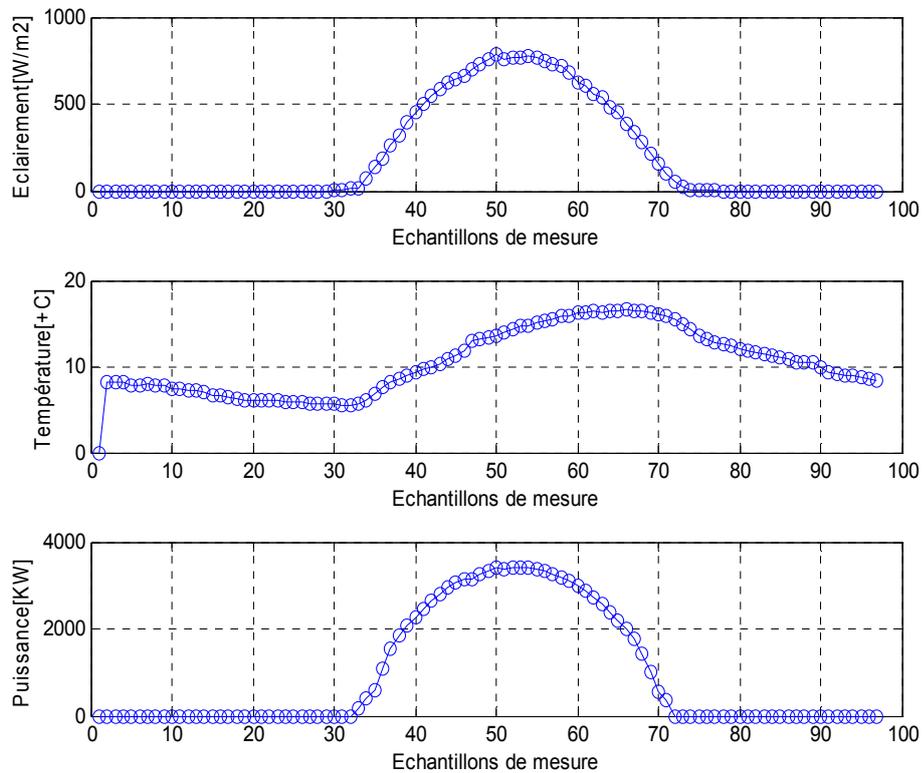


Figure III.1 : Evolution de l'éclairement, la température et la puissance durant une journée (1/01/2017)

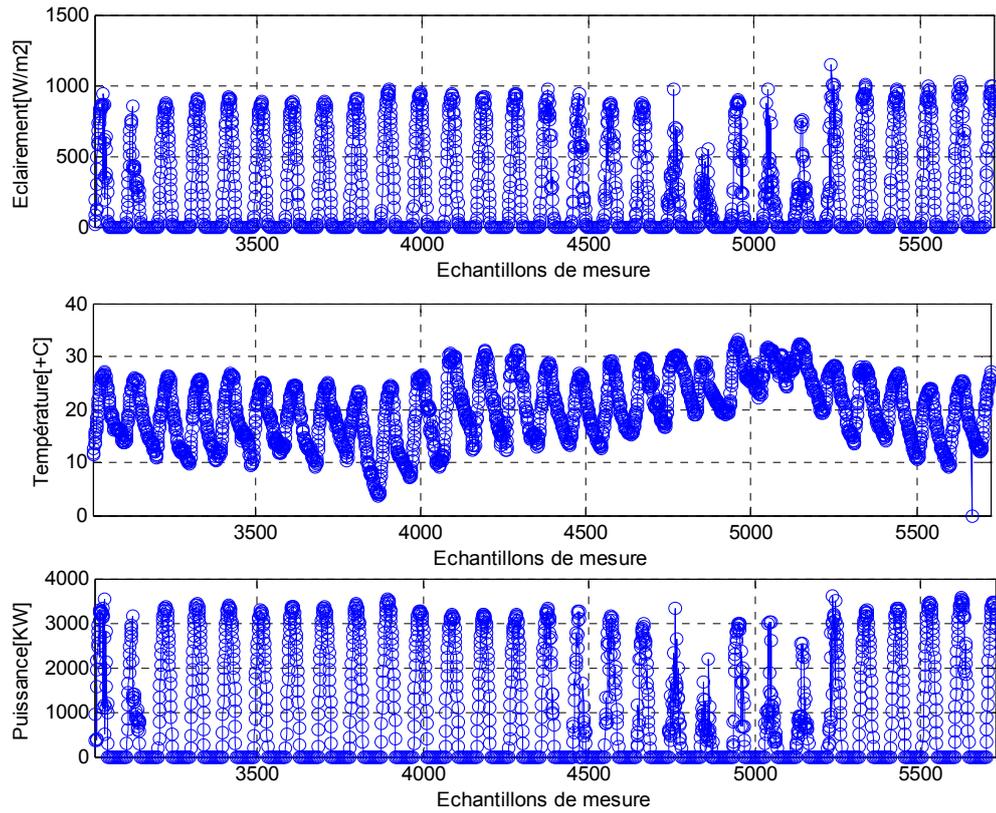


Figure III.2 : Evolution de l'éclairage, la température et la puissance durant février 2017.

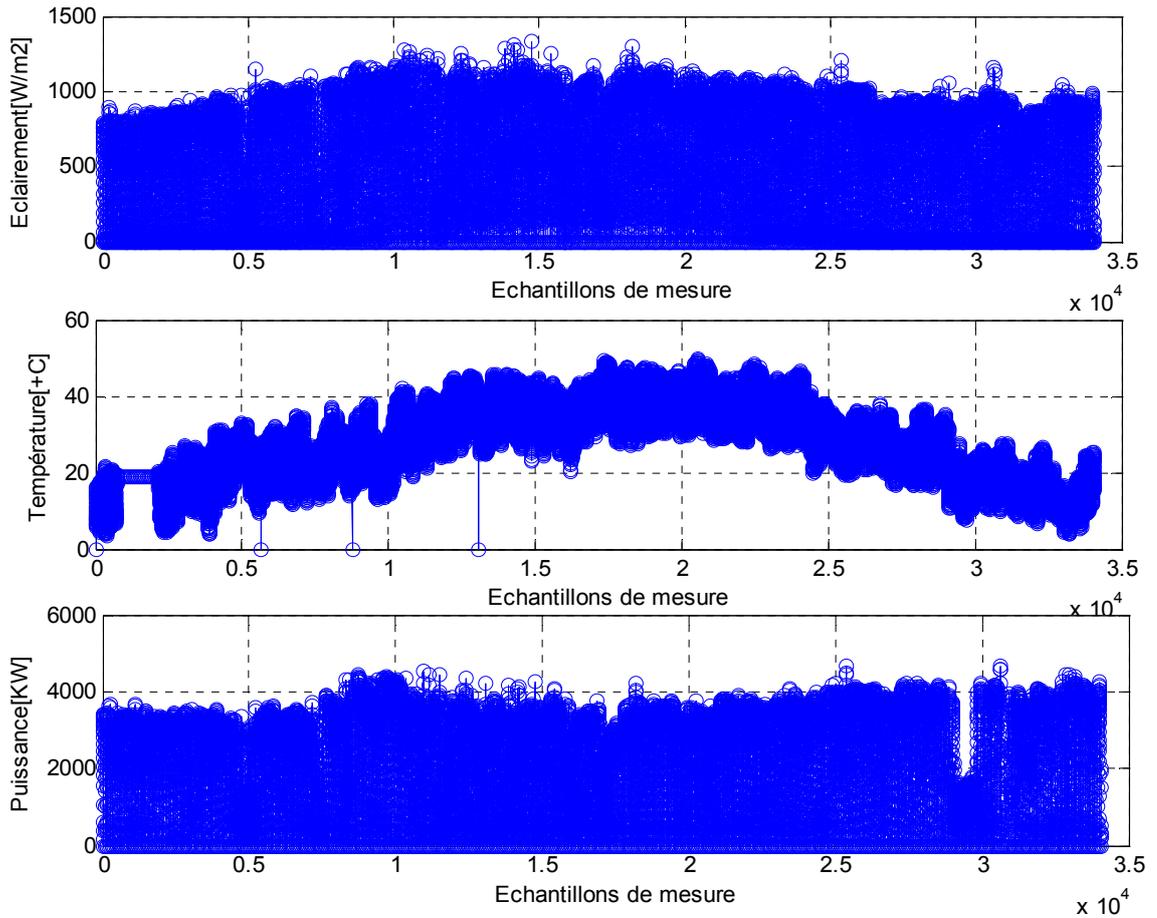


Figure III.3 : Evolution de l’éclairement, la température et la puissance durant une l’année 2017.

3.4 Présentation du modèle

Au vu des premières figures, nous n’avons conclu que la puissance linéairement avec l’éclairement. La corrélation entre eux est forte. Notre modèle est de la forme.

$$P = f(G, T) \tag{III.1}$$

Avec P, la puissance, G l’éclairement et T la température ambiante.

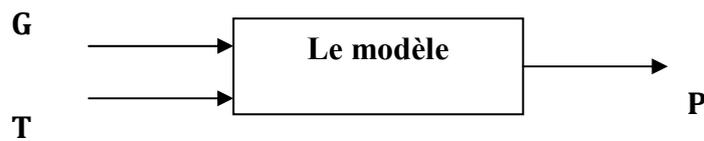


Figure III.4 : Le schéma en bloc du modèle.

3.5 Etude de la corrélation entre l'éclairement et la puissance générée par la centrale

Partant du fait que l'éclairement a plus d'incidence sur la puissance que la température, nous avons commencé par explorer la relation entre ces deux mesures par l'intermédiaire des représentations graphiques. Pour ce nous avons commencé par des journées nuageuses, puis une série de journées successives.

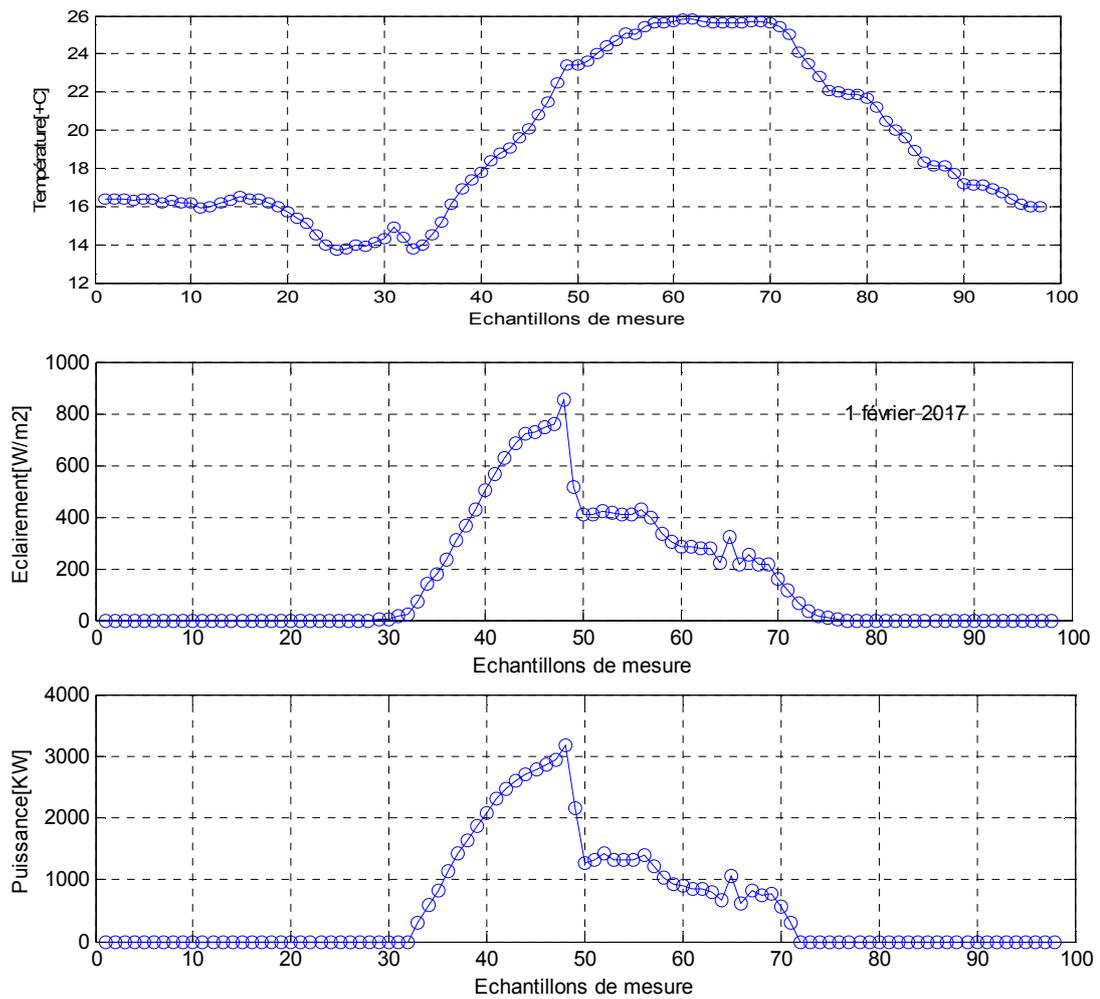


Figure III. 5: Exploration de la relation entre P et G pour une journée.

La Figure III.5 montre que la relation entre P et G est linéaire. Cette constatation est confirmée par la Figure III.6.

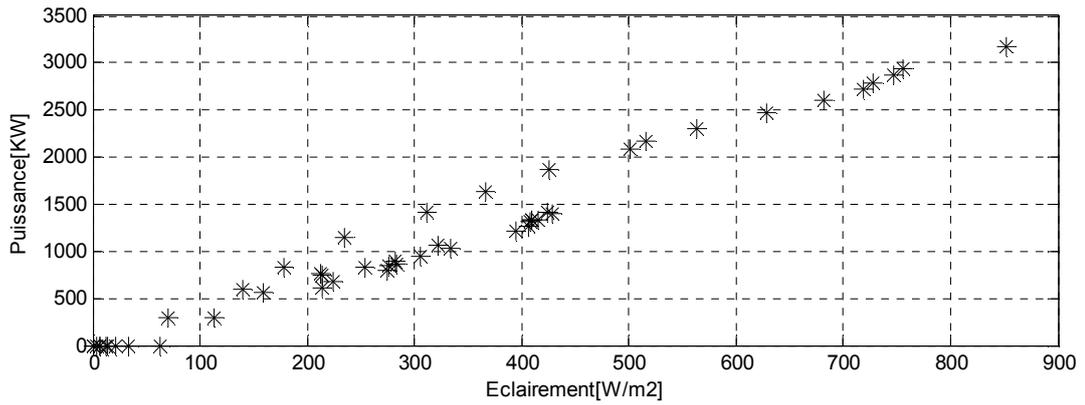


Figure III. 6: Représentation de P en fonction de G pendant une journée.

Les mesures de quelques jours successifs donnent le même résultat.

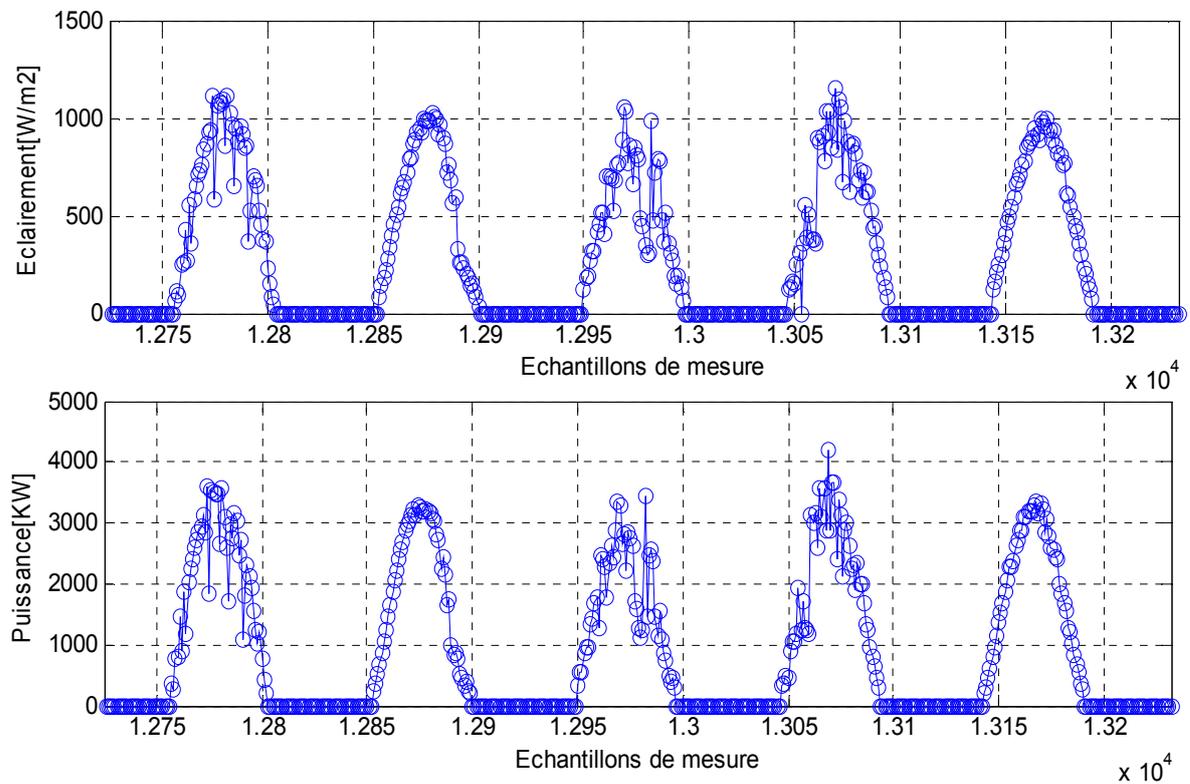


Figure III. 7: Exploration de la relation entre P et G durant plusieurs journées.

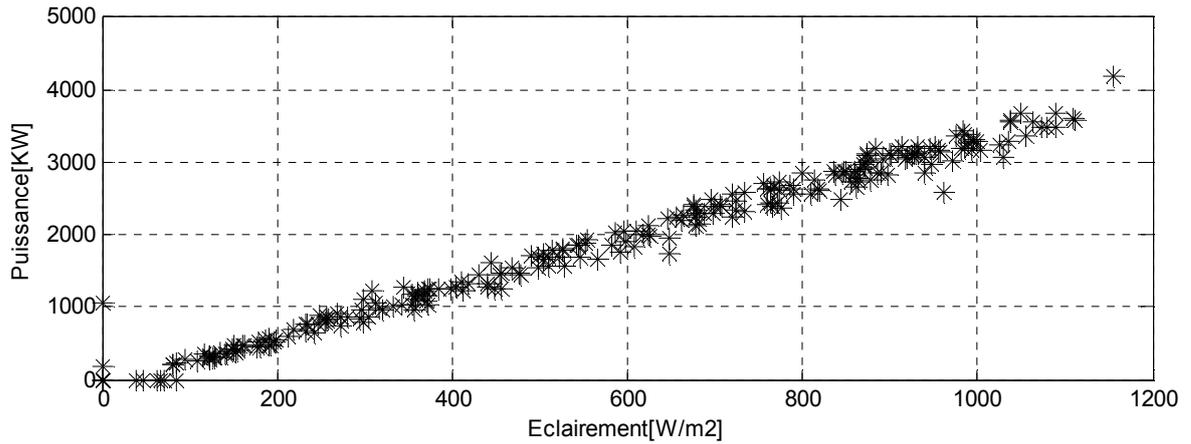


Figure III. 8: Représentation de P en fonction de G pendant plusieurs jours.

Il paraît évident que la relation est linéaire et peut être exprimé par la relation suivante :

$$P = a.G + b \quad (III.2)$$

La deuxième étape de la modélisation consiste à déterminer les valeurs des coefficients a et b. Pour ce, nous avons exploité la fonction du fitting polynomiale de Matlab et le résultat est illustré par les figures et le tableau suivant.

- Règression
- ★ Les mesures

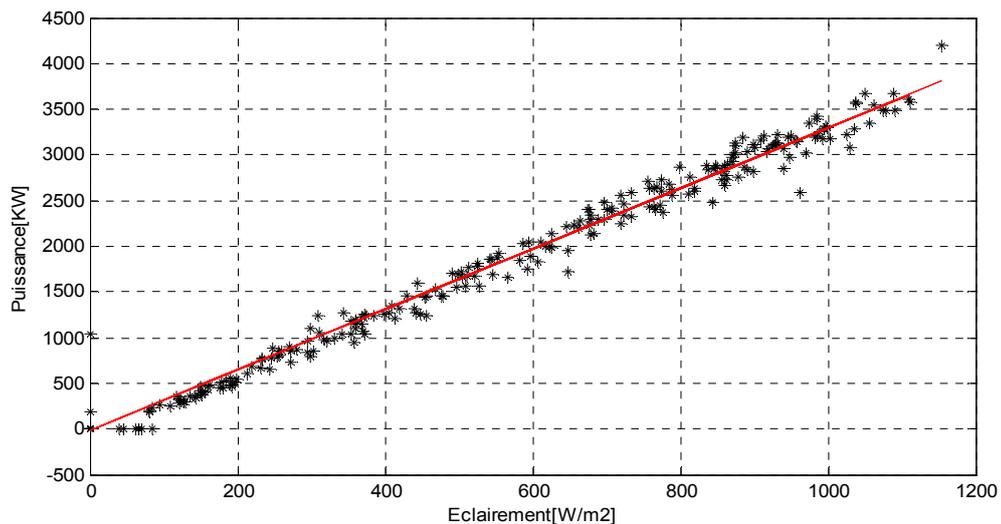


Figure III. 9: Régression linéaire du nuage de mesure de P en fonction de G pendant plusieurs jours.

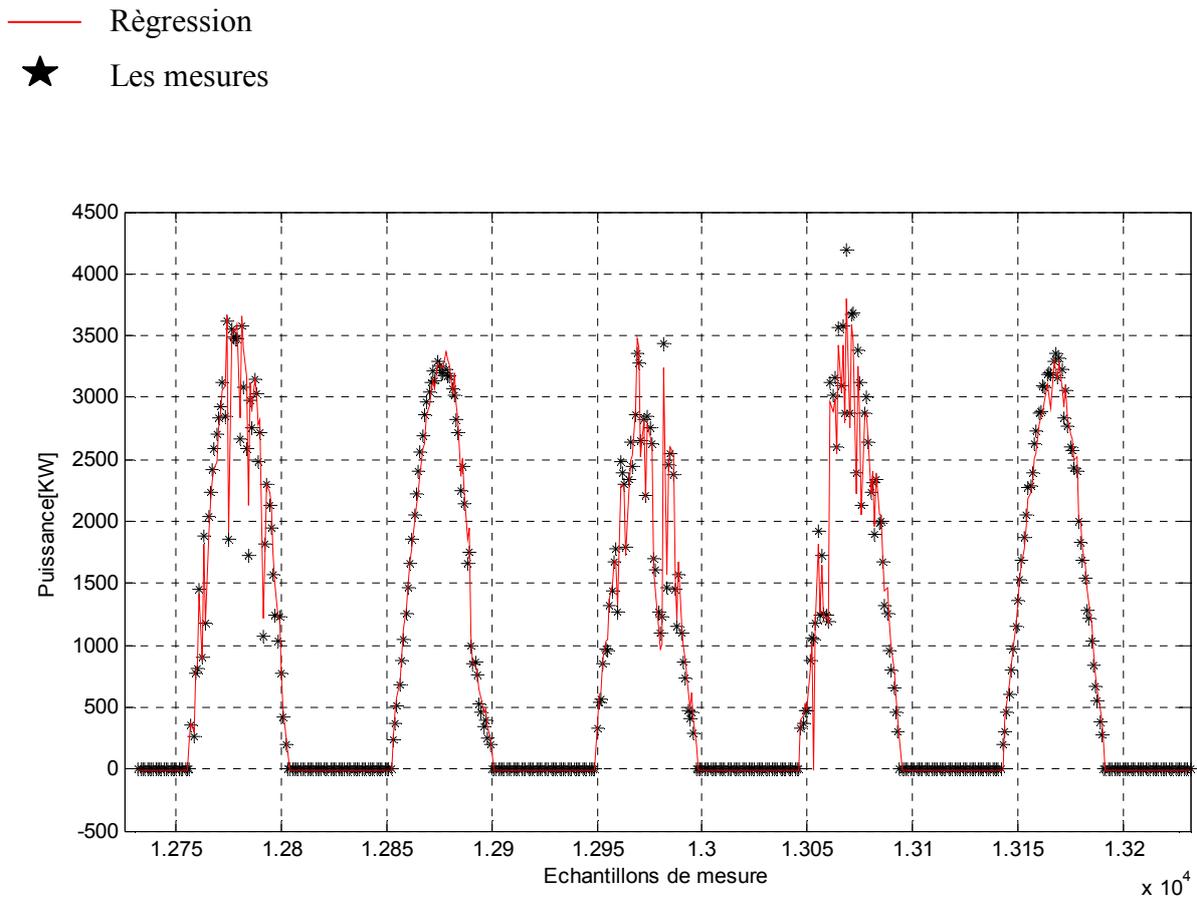


Figure III. 10: correspondance entre les mesures et le modèle défini par les coefficients calculés par régression linéaire.

Coefficients du polynôme	a	b
Valeurs	3.3076	-12.6222

Table III.1 : les valeurs des coefficients.

Pour étudier les coefficients de la régression, nous les avons calculés pour une autre période de mesure. Les résultats sont les suivants :

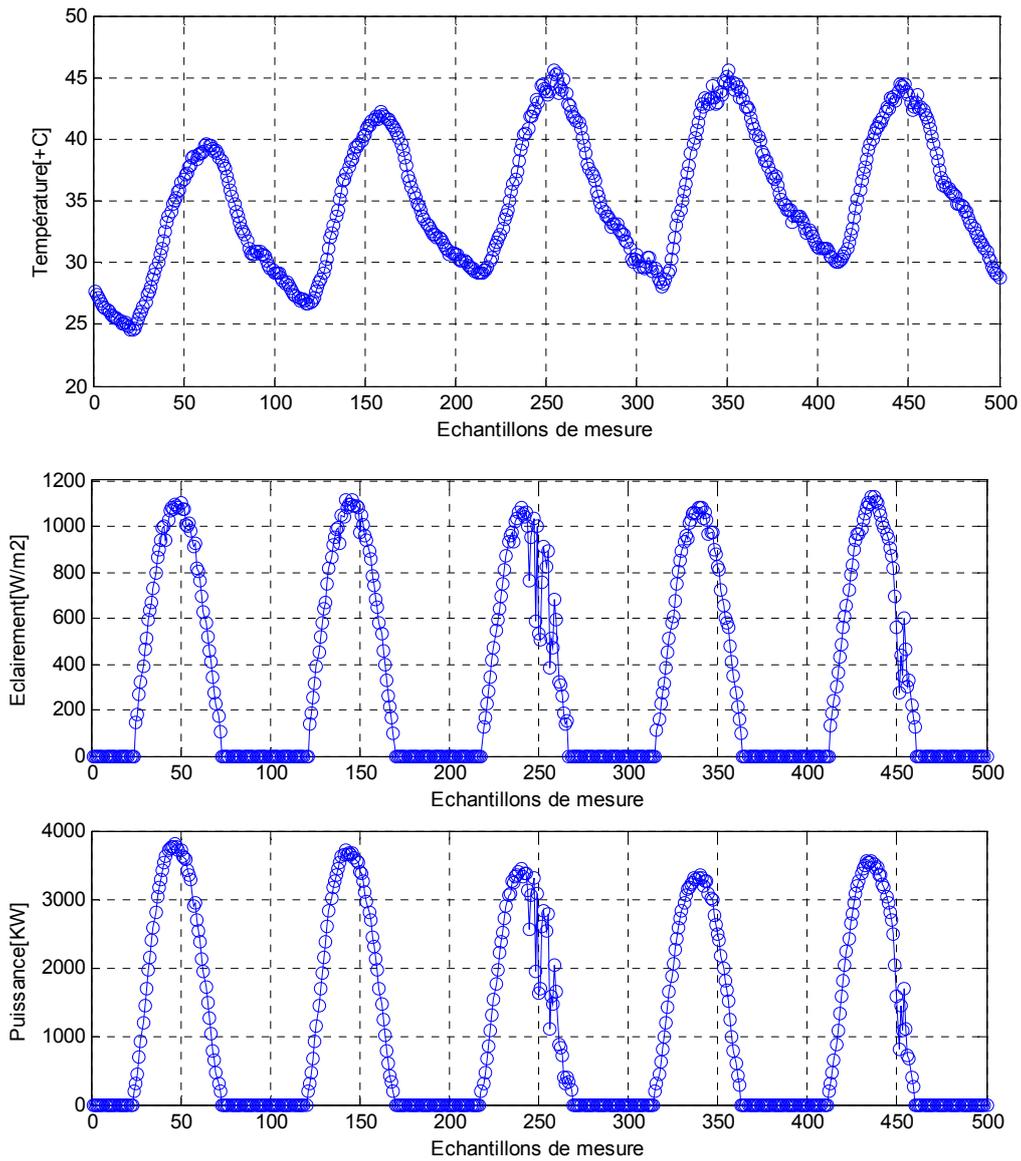


Figure III. 11: Les mesures.

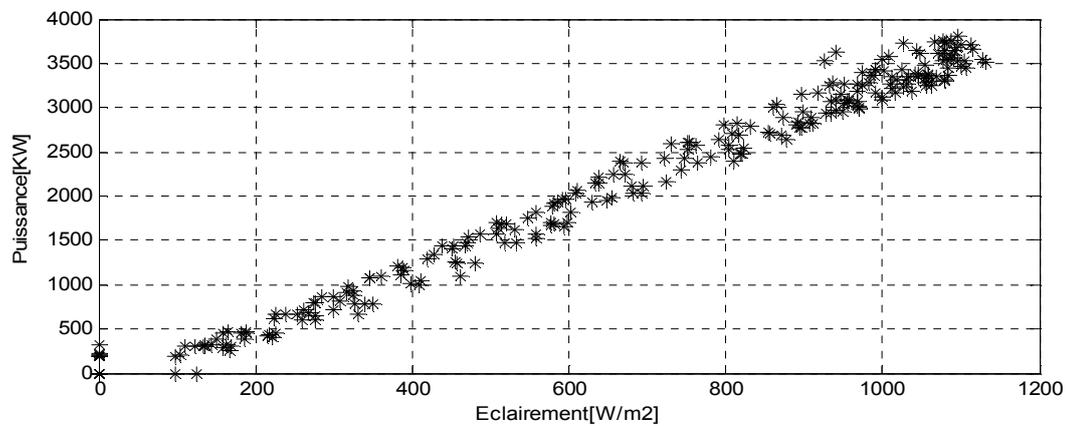


Figure III. 12: La corrélation entre P et G.

- Règression
- ★ Les mesures

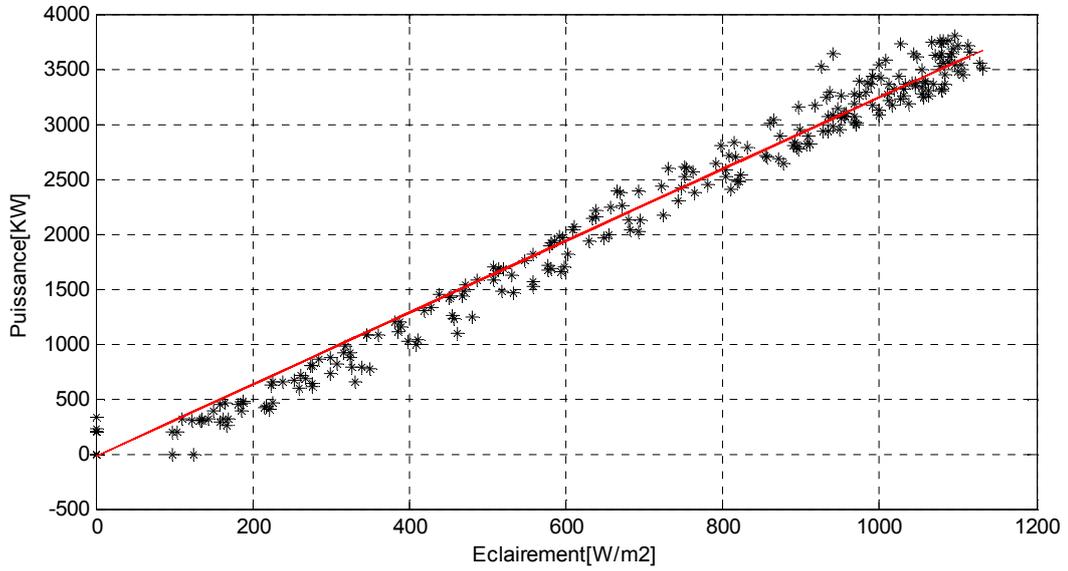


Figure III. 13: La régression linéaire.

- Règression
- ★ Les mesures

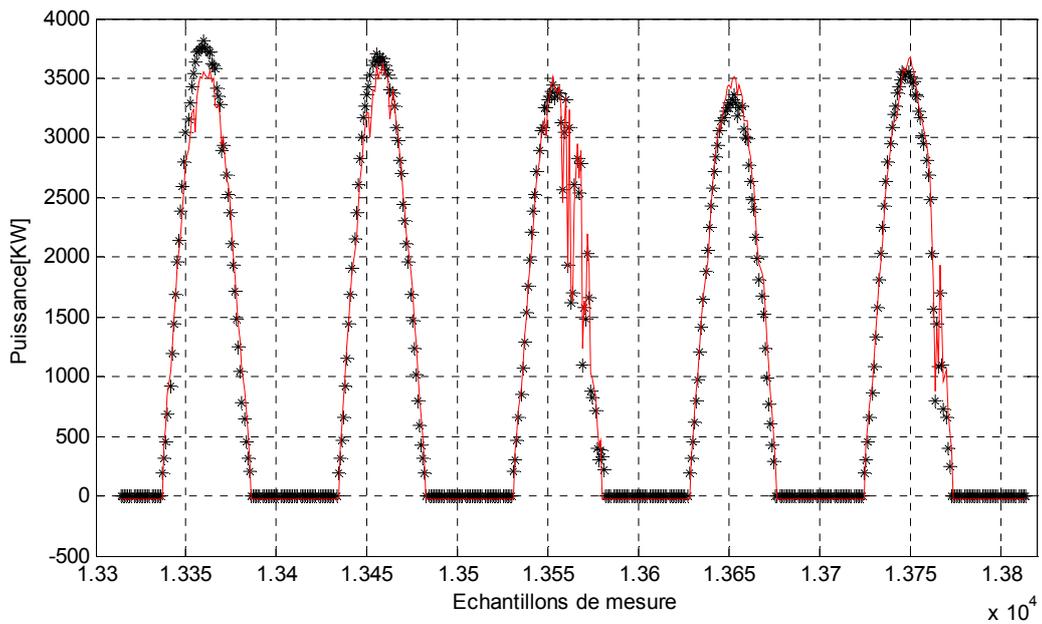


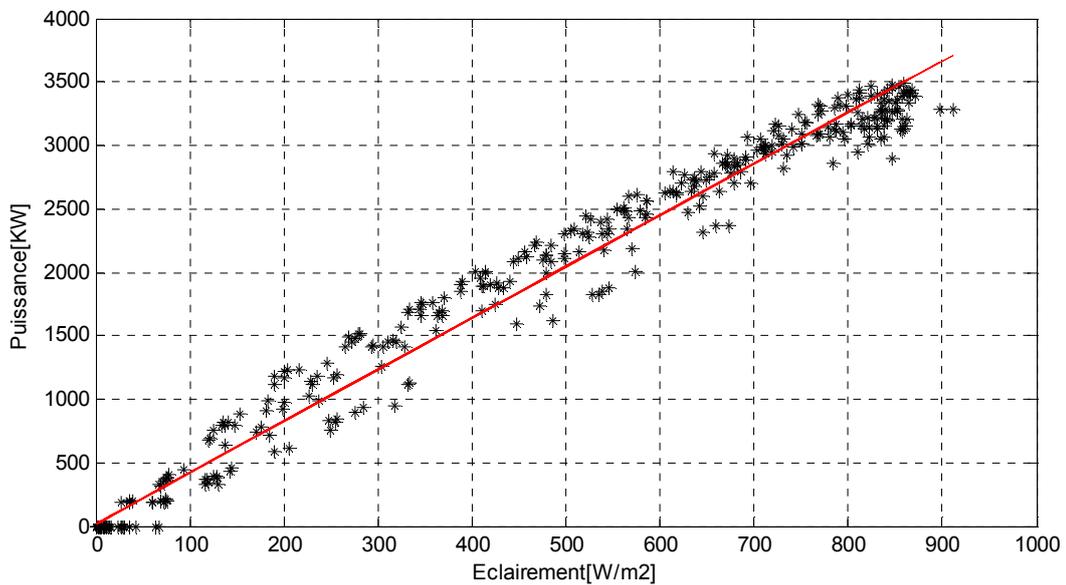
Figure III. 14: La correspondance entre les mesures et le modèle.

Coefficients du polynôme	P1	P2
Valeurs	3.2686	-25.0179

Table III.2 : les valeurs des coefficients.

Nous remarquons que les coefficient de la régression sont variables et sont dépendant des mesures. L’éclairement étant variable durant la journée et d’une saison à une autre. Nous avons décidé d’étudier la variation de ces coefficients en fonction des mois. Pour ce, nous avons pris des groupements de jours de chaque mois de l’année.

- Régression
- ★ Les mesures



- Règression
- ★ Les mesures

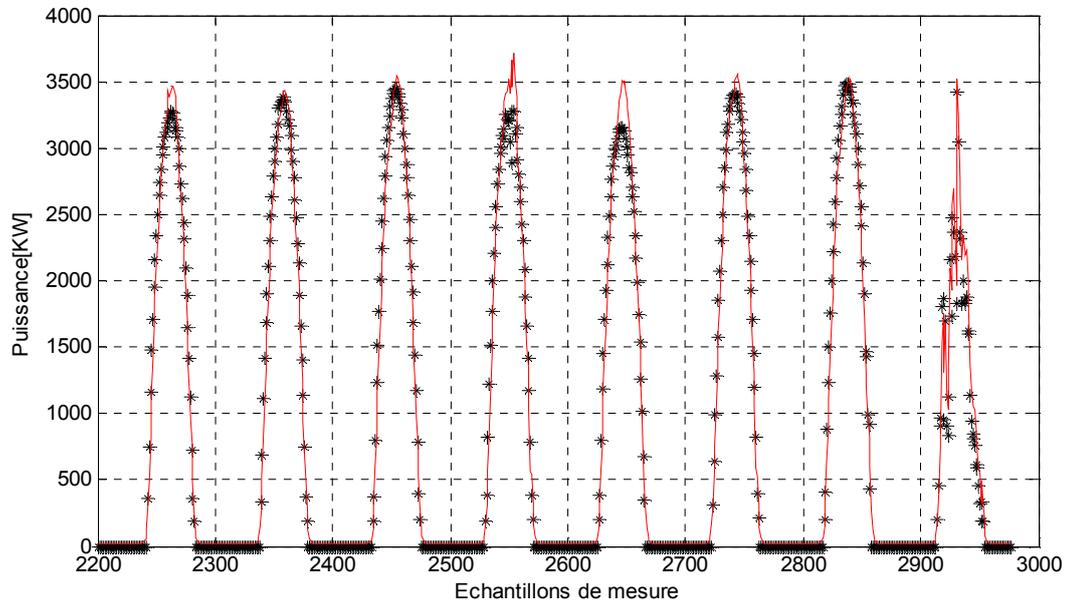


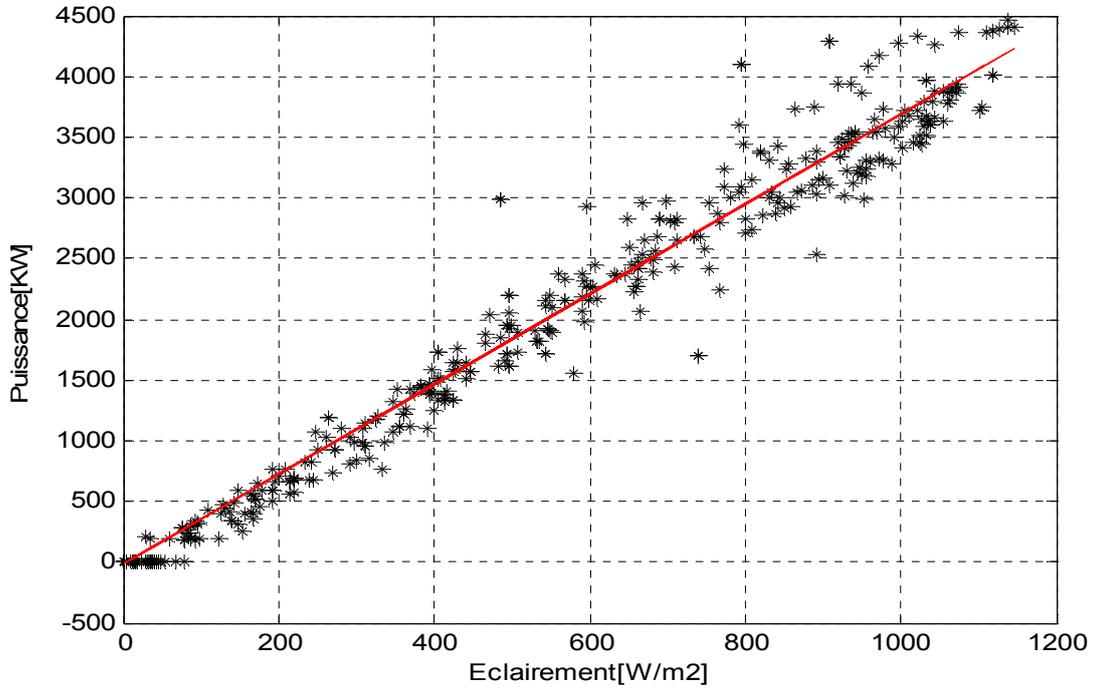
Figure III. 15: les 8 derniers jours de janvier

Coefficients du polynôme	P1	P2
Valeurs	4.0606	14.9437

Table III.3 : les valeurs des coefficients.

— Régression

★ Les mesures



— Régression

★ Les mesures

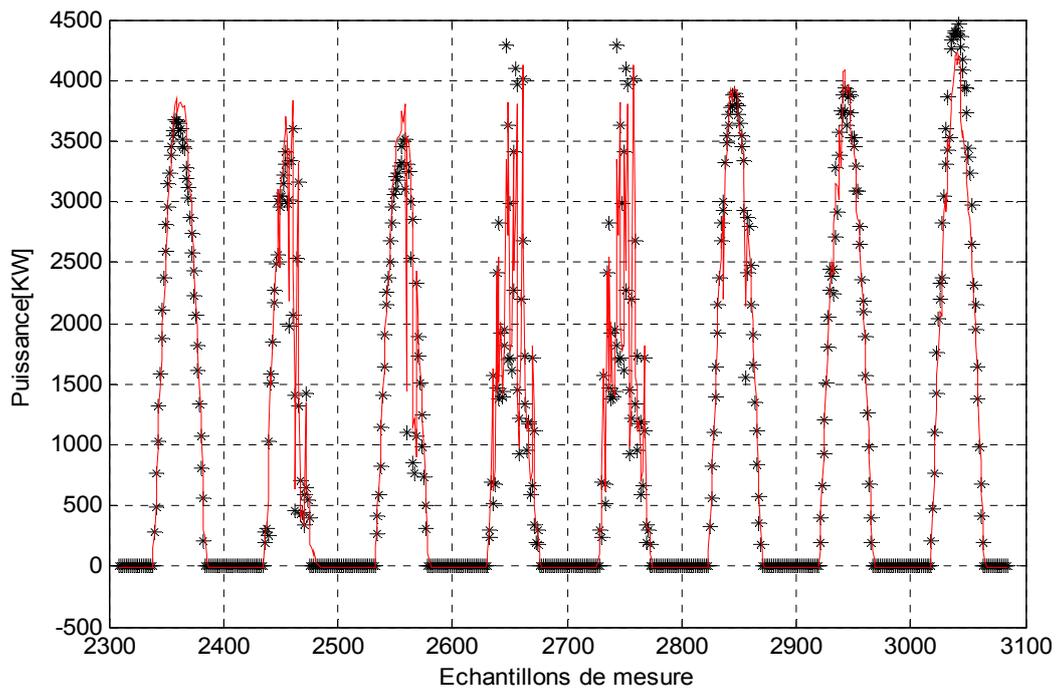


Figure III. 16: les 8 derniers jours de mars

Coefficients du polynôme	P1	P2
Valeurs	3.7055	-17.0768

Table III.4 : les valeurs des coefficients.

Pour analyser la variation des coefficients de régression durant l’année, nous avons choisi d’analyser leur variabilité mensuelle et donc saisonnière en prenant les trois derniers jours de chaque mois. Les résultats sont résumés dans le Tableau III.5.

Coefficients du polynôme Mois	P1	P2
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

Tableau III.5 : Les valeurs des coefficients de régression pour les 3 derniers jours de chaque mois durant l’année 2017

La Figure III.17, illustrant la variation des coefficients de régression durant les mois de l’année montre que la variation suit une forme sinusoïdale. Ce ci peut être expliqué par la hauteur du soleil et l’angle d’incidence de l’éclairement sur le champ PV.

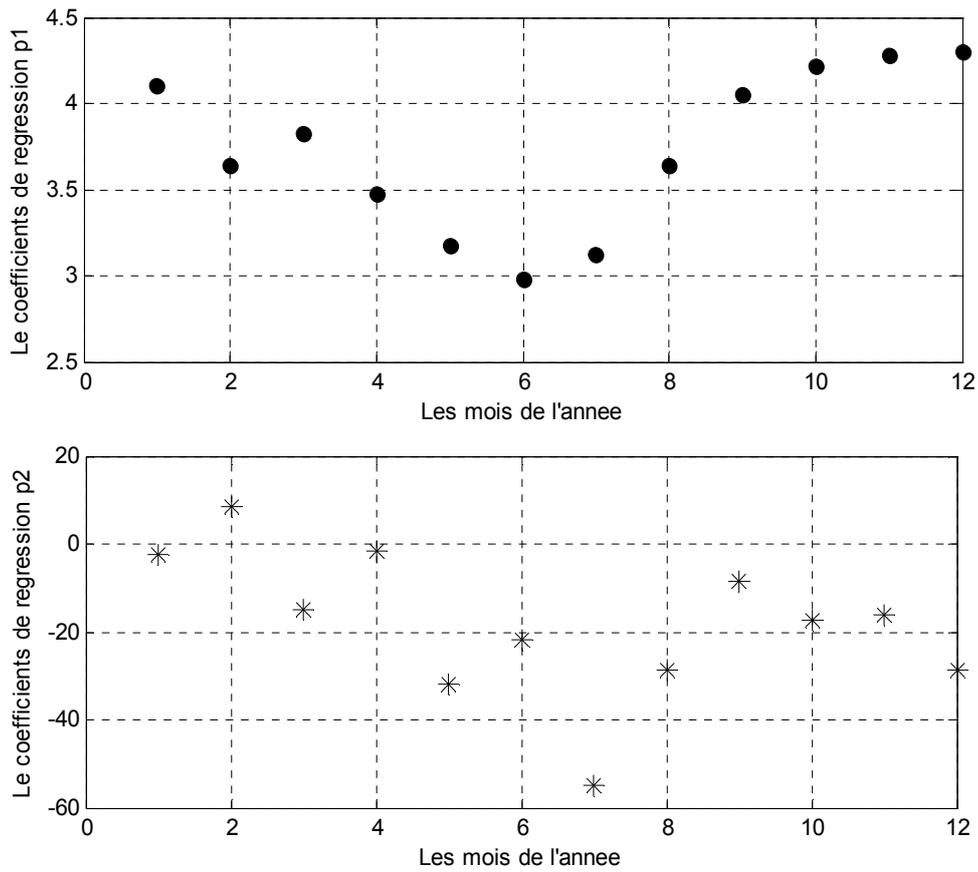


Figure III. 17: Les valeurs des coefficients de régression pour les 3 derniers jours de chaque mois durant l’année 2017

La relation reliant le coefficient a aux mois peut être exprimée par l’équation suivante.

$$a = a_3m^3 + a_2m^2 + a_1m + a_0 \quad (III.3)$$

Avec m représentant le mois et pouvant prendre la valeur de 1 à 12. Et les coefficients de régression cubique ont les valeurs suivantes :

a_3	a_2	a_1	a_0
-0.0036	0.1031	-0.7493	4.8613

Tableau III.6: Les valeurs des coefficients de régression cubique pour le coefficient a en fonction des mois

b_3	b_2	b_1	b_0
-0.0501	1.6453	-15.9987	22.0486

Tableau III.7: Les valeurs des coefficients de régression cubique pour le coefficient a en fonction des mois

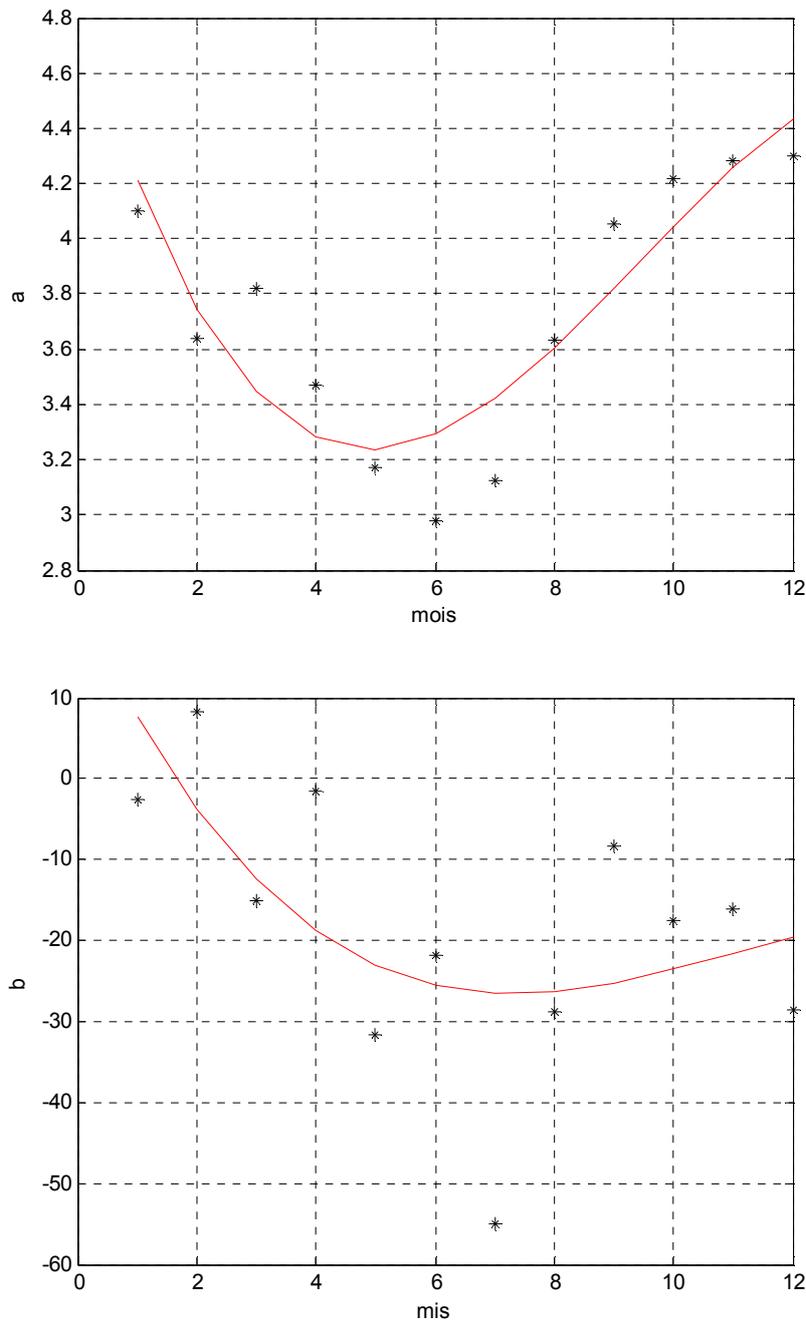


Figure III. 18: Résultats de la régression cubique pour les coefficients a et b.

3.6 Validation du modèle

Pour la validation du modèle, nous avons pris des mesures de l'éclairement que nous avons utilisées pour mesurer la puissance correspondante. Les valeurs données par le modèle ont été ensuite comparées aux mesures réelles. Notons que nous avons choisi des jours qui n'ont pas été utilisés pour la modélisation, il s'agit de 10 jours du mois de décembre avec une forte couverture nuageuse. Les Figures montrent des résultats satisfaisant. Cependant, quelques valeurs montrent un écart dont la cause reste à identifier.

- Le modèle
- ★ Les mesures

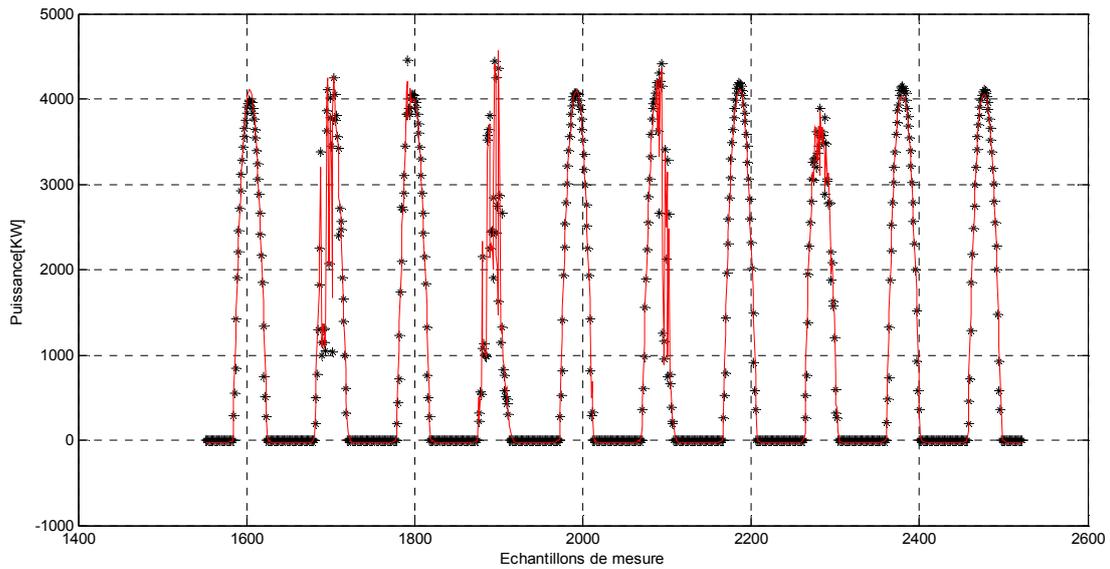


Figure III. 19: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance. Décembre entre j16 et j 25

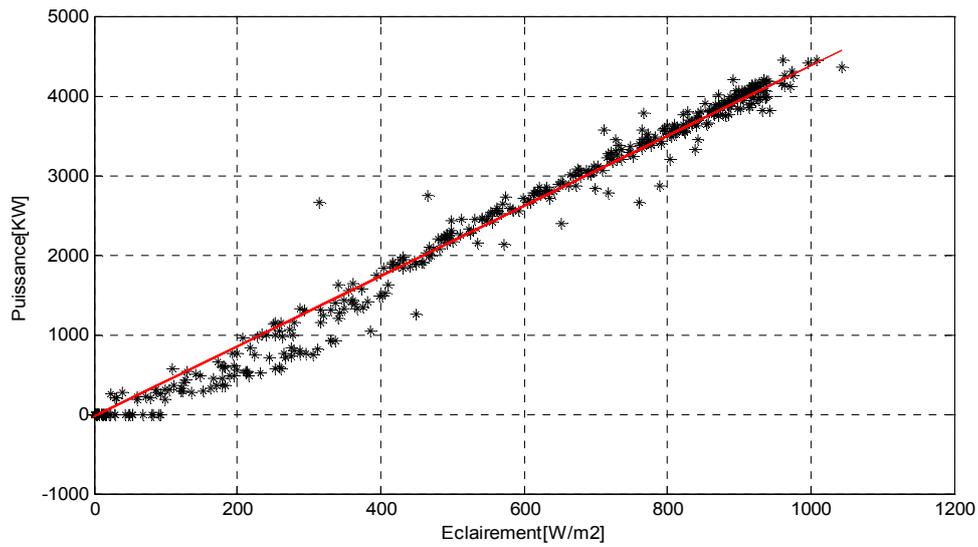


Figure III. 20: Pen fonction de G et la régression

- Le modèle
- ★ Les mesures

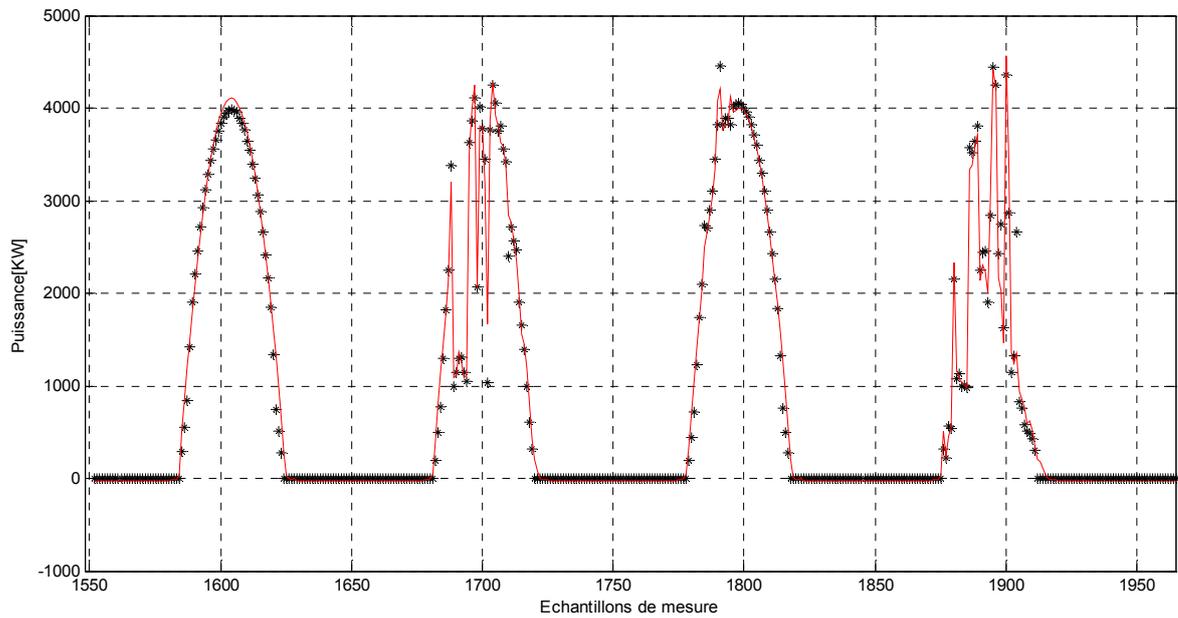


Figure III. 21: Correspondance entre la sortie du modèle et les mesures de la puissance. Décembre entre j16 et j 25, zoom sur quelques journées nuageuses.

3.6 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle empirique pour le fonctionnement d'une centrale PV connectée au réseau. Ce modèle fournit la valeur de la puissance générée par la centrale en fonction des conditions de travail. À ce stade de développement du modèle, seule la relation entre l'éclairement et la puissance a été considérée vu la nature de la corrélation qui existe entre eux. Les résultats obtenus sont satisfaisants du moment que le modèle arrive à suivre les variations de la production de sortie même en cas de variation rapide de l'éclairement. Dans un travail futur, il serait intéressant de considérer les aspects suivants : 1) l'influence de la température, et 2) l'angle d'inclinaison du champ PV avec les coordonnées du site.

Conclusion générale

Une centrale PV connectée au réseau est un système complexe dont la connaissance du mode de fonctionnement est très importante. La production de l'énergie d'une centrale est intermittente à l'image de l'éclairement qui constitue son entrée.

Le but de ce travail était de développer un modèle simple pour la modélisation de la sortie de la centrale PV, sa puissance produite, et ses entrées qui sont les conditions météorologiques de travail. cette modélisation est basées sur une base de données couvrant une année de fonctionnement de la centrale de 5MWc d'In Salah.

L'exploitation de cette base de données nous a permis de développer un modèle simple et empirique. Il s'agit d'une régression linéaire entre l'éclairement et la puissance. Le travail de traitement des données et de modélisation a été réalisé sous Matlab. Le modèle développé a été validé et présente de bons résultats. À ce stade de développement du modèle, seule la relation entre l'éclairement et la puissance a été considérée vu la nature de la corrélation qui existe entre eux. Les résultats obtenu sont satisfaisant du moment que le modèle arrive à suivre les variations de la production den sortie même en cas de variation rapide de l'éclairement. Dans un travail, future, il serait intéressant de considérer les aspects suivants : 1) l'influence de la température, et 2) l'angle d'inclinaison du champ PV avec les coordonnées du site.

Bibliographie et Webographie

Bibliographique

- [1].... **A. Oi**, «Design and simulation of photovoltaic water pumping system ». Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo September 2005.
- [2].**B .Equer** « le pompage photovoltaïque manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [3] **BOUALEM, DENDIB**, « Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïque : étude comparative » Université Ferhat Abbas-Sétif Mémoire de Magister, Département d'électronique TS4/6338, 2007.
- [4].**Zidane Achrefeddine, Sahtout Mehdi**«les system photovoltaïques connectes au réseau». Mémoire de master Université Badji Mokhtar Annaba.2017
- [5].**Boukhelifa Hamza** « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw » UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES -2017
- [6]. **M. G. Simoes, N.N.France schetti and M.Fried Hofer** «A Fuzzy logic based Photovoltaic Peak Power tracking Controller» IEEE Energy Convers. Mgmt 1998 pp: 300-305.
- [7] .**T. Senju and K. Uezato** «Maximum Power Point Tracker Using Fuzzy Control for Photovoltaic Arrays» IEEE Int. Conf. On Tech. 1994 pp: 143-147.
- [8]. **Betka Achour** « Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil » Thèse de Magister, université de Biskra.

[9]. **H. S. Kim, N. Okada and K. Takigawa** « A Study on Utility Interactive PV System in Harmony with Utility » IEEE Transactions on Conversion Energy 2000 pp: 1179-1184.

[10]. **H. S. Kim, N. Okada and K. takigawa** « Advanced grid-connected system with Functions to suppress disturbance by PV output variation and customer »load change Solar Energy Materials and Solar cells 67 (2001) pp: 560-569.

[11]. **W. Maranda, G. De Mey and A. Evost** «Optimisation of the Master –Slave inverter System for Grid-Connected Photovoltaic Plants» Energy convers. Mgmt Vol. 39, No. 12, pp : 1239-1246, 1998.

[12] **Wilfried van Sark, Atse Louwen, Odysseas Tsafarakis, and Panos Moraitis** «PV System Monitoring and Characterization » *Copernicus Institute, Utrecht University, the Netherlands*

Webographie

Site web

[1].(2006) www.iea.org/papers/2006/birol.pdf

Étiquette pour le CD



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

Par

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

Thème :

.....
.....

Juin 2018