

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH- OUARGLA



Faculté des sciences appliquées
Département de Génie des procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Industries pétrochimiques

Spécialité : Génie Raffinage

Présenté par :

GUEMMOULI Moustafa . DEBILI Ali . GOHMES Mohamed

Thème :

**Dimensionnement d'une installation PV pour
alimenter une unité industrielle**

Soutenu publiquement : le 12/06/2022

Devant le jury composé de :

M^{me}. **KH .BOUZIANE**

M^{elle}. **N. CHAOUCH**

M^r. **A. AKRICHE**

M.C.B

M.C.A

M.C.A

Promoteur

Président

Examineur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سورة الفاتحة

DÉDICACES

**Je voudrais dédier ce travail à ma chère mère et
cher père, à toute ma famille, à tous mes amis, et
à tous ceux qui nous ont enseigné de professeur
et enseignant jusqu'à ce que nous arrivions à ce
moment, et à la professeure Khadija Bouziane
pour nous avoir soutenus dans cette travail et
pour son enthousiasme. Merci**

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu le Miséricordieux

Louange et merci à Dieu en premier et en dernier Après cela, je voudrais saluer et remercier les parents et tous ceux qui ont contribué à ce travail à tous ceux qui se sont tenus avec nous pour atteindre ce moment

Je tiens tout particulièrement à remercier Mme Bouziane Khadija d'avoir supervisé ce travail avec tant de compétence et d'enthousiasme, et de l'avoir mise à disposition lorsque cela était nécessaire.

Je remercie également les membres du jury, akriche Ahmed et chaouch Noura, pour le bénéfice qu'ils ont versé à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir de leurs pour nous.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes de près et de loin pour leur aide et leurs encouragements.

RÉSUMÉ

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser. L'objectif de ce travail est le dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter une station de pompage. Pour réaliser le dimensionnement de ce système on doit connaître l'emplacement de la région (haoud el hamra), l'inclinaison des panneaux solaires, la durée d'insolation journalier et la quantité de la consommation d'électricité dans cette station et avec matériel nécessaires de système PV. Pour faciliter l'accès aux dimensions du système nous avons utilisé un logiciel MATLAB qui permet de planifier et de concevoir des systèmes photovoltaïques, de réaliser des simulations dynamiques et d'analyser le rendement des systèmes et qui nous donne un aperçu sur les courbes de variation de température, l'irradiation, la vitesse du vent, le cout et la rentabilité

Mots clés : Photovoltaïque (PV), Station de pompage, Modélisation, dimensionnement, Alimentation.

ABSTRACT

Photovoltaic energy is a possibility of efficient and sustainable development. This is why scientific research is developing in the direction of generalizing The objective of this work is the sizing of a photovoltaic system to supply a pumping station. To carry out the sizing of this system, one must know the location of the region (haoud el hamra), the inclination of the solar panels, the duration of daily insolation and the quantity of electricity consumption in this station and with equipment. PV system kits. To facilitate access to the dimensions of the system, we used MATLAB software which allows us to plan and design photovoltaic systems, to carry out dynamic simulations and to analyze the performance of the systems and which gives us an overview of the variation curves. temperature, irradiation, wind speed, cost and profitability

Keywords: Photovoltaic PV, pumping station, modeling, dimensions, supply.

تلخيص

الطاقة الكهروضوئية هي إمكانية التنمية الفعالة والمستدامة. هذا هو سبب تطور البحث العلمي في اتجاه التعميم. الهدف من هذا العمل هو تحديد حجم النظام الكهروضوئي لتزويد محطة ضخ. لتنفيذ تحجيم هذا النظام ، يجب معرفة موقع المنطقة (حوض الحمراء) ، وميل الألواح الشمسية ، ومدة التشمس اليومي وكمية استهلاك الكهرباء في هذه المحطة والمعدات اللازمة لنظام الكهروضوئية. لتسهيل الوصول إلى أبعاد النظام ، استخدمنا برنامج MATLAB الذي يسمح لنا بتخطيط وتصميم الأنظمة الكهروضوئية ، وإجراء عمليات المحاكاة الديناميكية وتحليل أداء الأنظمة والتي تعطينا نظرة عامة على منحنيات تغير درجات الحرارة. والإشعاع وسرعة الرياح والتكلفة والربحية.

الكلمات الرئيسية : الكهروضوئية, محطة ضخ , النمذجة , الأبعاد, تزويد.

SOMMAIRE

N°	Titre	Page
	Introduction générale	1
Chapitre I: Généralités sur les systèmes photovoltaïque		
I-1-	Le soleil	3
I-1-1-	L'énergie solaire	3
I-1-1-1	L'énergie solaire thermique	3
I-1-1-2-	L'énergie solaire photovoltaïque	4
I-1-2-	L'histoire de l'énergie solaire	4
I-1-3-	Rayonnement Solaire	4
I-1-3-1-	Répartition spectrale du rayonnement solaire	4
I-1-3-1-1-	Constante solaire	6
I-1-3-1-2-	Durée d'insolation	6
I-1-3-1-3-	Déclinaison du soleil	6
I-1-4-	Avantages et inconvénients de l'énergie solaire	7
I-2-	Les systèmes photovoltaïques	8
I-2-1-	Type des systèmes PV	9
I-2-1-1	Les systèmes autonomes	10
I-2-1-2-	Les systèmes PV hybrides	10
I-2-1-3-	Les systèmes raccordés aux réseaux	11
I-2-2-	Différentes Configurations du Système PV	12
I-2-3-	Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur PV	12
I-3-	Energie photovoltaïque	13
I-3-1-	Historique de l'énergie photovoltaïque	14
I-3-2-	Effet photovoltaïque	14
I-3-3-	principe de la conversion photovoltaïque	15
I-4-	Le fonctionnement des panneaux solaires	16
I-4-1-	Les différentes installations photovoltaïques	17
I-4-1-1-	installations sur site isolé	17

I-4-1-2	Les installations raccordées au réseau de distribution public	18
I-4-2-	Technologie	19
I-4-2-1-	Cellule photovoltaïque	19
I-4-3-	Les différents types de cellules solaires	21

Chapitre II: Modélisation et dimensionnement du système PV

II-1-	Modélisation du système photovoltaïque	22
II-1-1-	Modèle de Rayonnement solaire	22
II-1-1-1-	Hypothèses simplificatrices	22
II-1-1-2-	Modèle d'éclairement solaire sur un plan horizontal	22
II-1-1-3-	Calcul du rayonnement solaire sur un plan fixe (inclinaison et orientation fixe)	23
II-1-1-4-	Calcul du rayonnement solaire sur des différents plans	23
II-1-1-5-	Organigramme du modèle de rayonnement	24
II-1-2-	Modèle du générateur photovoltaïque	26
II-1-2-1-	Variation de la tension à circuit ouvert	27
II-1-2-2-	Point de fonctionnement optimum, (V_m , I_m)	27
II-1-2-3-	Rendement photovoltaïque	28
II-1-2-4-	Rendement du système poursuit solaire	29
II-1-3-	Modèle de la température	29
II-1-3-1-	Température de jonction	29
II-1-3-2-	Température ambiante	29
II-2-	Présentation de l'unité industrielle	30
II-2-1-	Présentation du site	30
II-2-2-	Historique de la base Haoud El Hamra	31
II-2-3-	Puissance de pompe	32
II-2-3-1-	Pompes centrifuges	32
II-3-	Présentation de système photovoltaïque	35
II-3-1-	Panneaux photovoltaïque	35
II-3-2-	Système de regulation	36
II-3-3-	Système de conversion	37
II-3-4-	Système de stockage	38
II-3-5-	Système poursuite solaire	39
II-3-6-	Charge	40
II-4-	Dimensionnement du couple générateur / stockage	40
II-4-1	Dimensionnement du générateur	40
II-4-1-1-	Calcul de nombre de modules en série	41

II-4-1-2-	Calcul de nombre de branches en parallèle	41
II-4-2-	Dimensionnement du stockage	42
II-4-2-1-	Calcul de nombre d'éléments en série	42
		42
II-4-2-2-	Calcul de nombre de branches en parallèle	
II-5-	Méthodologie de travail	43

Chapitre III : Résultats et discussion

III-1-	Etude de système PV :	44
III-1-1-	Evolution de durée de jour	44
III-1-2-	Evolution du rayonnement	46
III-1-2-1-	Sur plan fixe	46
III-1-2-2-	Sur plan traqueur	48
III-1-3-	Evolution d'énergie PV produite	50
III-1-3-1-	Sur plan fixe	50
III-1-3-2-	Sur plan traqueur	52
III-1-4-	Etude des caractéristique I-V des panneaux	54
III-2-	Résultats de dimensionnement	56
III-2-1-	Dimensionnement de couple Générateur-stockage	55
III-2-1-1-	système a alimentation pour 24 heures (autonome)	58
III-2-1-2-	Système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement)	60
III-2-1-3	Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ-champ Photovoltaïque)	61
III-2-2-	Comparaison des résultats	61

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Chapitre I: Généralités sur les systèmes photovoltaïque		
I-1	Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire	5
Chapitre II: Modélisation et dimensionnement du système PV		
II-1	Les données climatique de site	31
II-2	Caractéristiques des panneaux solaires polycristallins	35
II-3	Caractéristiques des Régulateurs solaires MPPT	36
II-4	Caractéristiques des onduleurs solaires	37
II-5	Caractéristiques des batteries solaires	38
II-6	Caractéristiques de traqueur solaire	39
Chapitre III : Résultats et discussion		
III-1	Dimensionnement du système a alimentation pour 24 heures (autonome)	58
III-2	Dimensionnement du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement)	60
III-3	Dimensionnement du Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque)	61

Liste des figures

Liste des figures

N°	Titre de la figure	Page
Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïque		
I-1	Analyse spectrale du rayonnement solaire	5
I-2	La constante solaire	6
I-3	Courbe de déclinaison du soleil	7
I-4	Système PV autonome avec batterie	10
I-5	Système PV hybride	11
I-6	Structure d'un système PV connecté au réseau	11
I-7	Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque	12
I-8	Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque.	13
I-9	Schéma représenté l'effet PV	15
I-10	principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque	16
I-11	principe de fonctionnement des panneaux	17
I-12	Installation sur site isolé	17
I-13	Exemple des installations photovoltaïques	18
I-14	l'injection d'énergie dans les réseaux	18
I-15	Injection d'énergie	19
I-16	Injection énergie supplément dans le réseau	19
I-17	cellules solaires	20
I-18	fabrication d'une cellule photovoltaïque	20
Chapitre II :Modélisation et dimensionnement du système PV		
II-1	Organigramme de calcul du rayonnement solaire sur différents plans.	26
II-2	Organigramme des caractéristique I-V du module PV	28
II-3	Haoud El-Hamra en 1959	30
II-4	Pompe centrifuge	32
II-5	Hauteur manométrique d'une pompe	33
II-6	Panneau solaire Polycristallin	35

II-7	Régulateur MPPT Rosefinch	36
II-8	Onduleur 50KW solar charger	37
II-9	Batterie en lithium	38
II-10	Système poursuite solaire mono axiale	39
II-12	Méthodologie du travail	43

Chapitre III : Résultats et discussion

III-1	Évolution de durée de jour au mois de Décembre	44
III-2	Évolution de durée de jour au mois de Juillet	45
III-3	Évolution annuel de durée de jour (2021)	45
III-4	Évolution de rayonnement au mois de Décembre	46
III-5	Évolution de rayonnement au mois de Juillet	47
III-6	Évolution de rayonnement pour l'année 2021	47
III-7	Évolution de rayonnement au mois de Décembre	48
III-8	Évolution de rayonnement au mois de Juillet	49
III-9	Évolution annuel de rayonnement (l'année 2021)	49
III-10	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre	50
III-11	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet	51
III-12	Évolution annuel de l'énergie PV produite	51
III-13	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre	52
III-14	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet	53
III-15	Évolution annuel de l'énergie PV produite	53
III-16	Caractéristique I-V des panneaux PV utilisés	54
III-17	Evolution de caractéristique I-V avec l'éclairement solaire	55
III-18	Evolution de caractéristique I-V avec la température ambiante	55
III-19	Schéma de l'installation électrique pour plan horizontal de système PV	59

Liste des symboles

Liste des symboles

Symbole	Définition	Unité
CSto	La capacité du stockage	Wh
CAh	Capacité de stockage en Ampère heure	Ah
Ce	Capacité de stockage par batterie	Ah
Df	Rayonnement diffus plan incline	W/m ²
Dh	Rayonnement diffus plan horizontal	W/m ²
DJ	Durée de jour	heure
E_{mod}	Énergie fournie par module	Wh
Gf	Rayonnement global sur plan incliné	W/m ²
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
γ	Hauteur angulaire	°
I	Courant fourni par la cellule	A
I₀	Courant de diode, représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la jonction p - n de la cellule	A
I_m	Point du courant à la puissance maximale	A
I_P	Courant dérivé par la résistance parallèle	A
I_{ph}	Photo-courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)	A
IRR	Irradiation moyenne journalière annuelle minimale	KWh/m ²
N_{bp}	Nombre des batteries en parallèle	
NBPA	Nombre des modules en parallèle	
N_{es}	Nombre des batteries en série	
NM	Nombre des modules	
NMS	Nombre des modules en série	
NOCT	Température nominale de fonctionnement de cellule solaire	°C
P_c	Puissance crête	1000W/m ²
P_G	Puissance de générateur photovoltaïque	KW
P_m	Puissance maximale	W
PV	Photovoltaïque	
Q	Débit d'une pompe	m ³ /h
RPV	Rendement photovoltaïque	
R_{tr}	Rendement du système pour suit solaire	
R_f	Rayonnement réfléchi	W/m ²
R_p	Résistances shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule	Ω
R_s	Résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les résistances ohmique et de contact au niveau des connexions des cellules	Ω
TL_L	heure du lever de soleil	

Tmax	Température maximale journalière	°C
Tmin	Température minimale journalière	°C
Tmoy	Température moyenne journalière	°C
TSL	Temps solaire au lever du soleil	°C
TSC	Temps solaire au coucher du soleil	°C
Ta	Température ambiante	°C
Tc	Température de jonction	K
Sf	Rayonnement direct plan incliné	W/m ²
SH	Rayonnement direct plan horizontal	W/m ²
VCOO	Tension à circuit ouvert de référence	V
Vm	Point de tension à la puissance maximale	V
VT	Tension thermique	V
ΔT	Variation de la température	°C
α	Coefficient de variation de courant à circuit ouvert en fonction de la température	A/°C
β	Coefficient de variation de la tension de court-circuit en fonction de la température	V/°C
ω	Déclinaison	°
δ	Angle horaire	°
βf	Inclinaison	°
Ψ	Angle d'azimute	°
αf	Angle d'orientation	°
ρ	Masse volumique	Kg/m ³
η	Rendement d'une pompe	%



INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

Dans nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'eau et de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter. Ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés où l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour ce type de sites.

Comme nous le savons, la plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Les études et les prévisions récentes nous alertent que l'utilisation massive de ces ressources conduira certainement à l'épuisement total de ces réserves. En plus, tout le monde est mondialement convaincu par le danger de ce processus sur l'environnement. A partir de ce constat, il est nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles.

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés plus particulièrement par l'énergie solaire photovoltaïque avec comme application, le pompage dans station de hydrocarbure

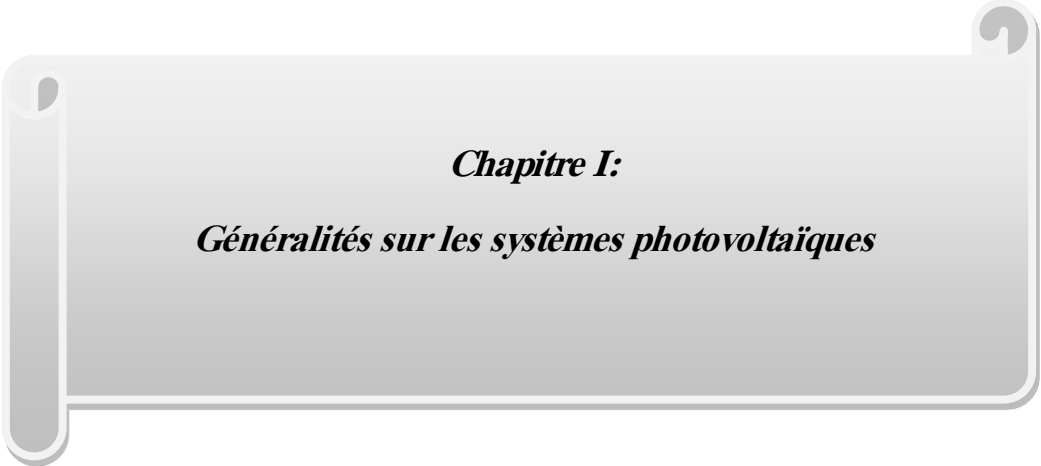
L'étude de dimensionnement est toujours confrontée par deux critères essentiels qui sont gisement solaire et la demande de l'énergie. Cette gestion d'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle utilisés.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont les plus importants en raison du coût élevé qu'ils totalisent (plus de 50% de prix de l'installation) et du degré de satisfaction.

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur l'étude des paramètres d'évolution de système photovoltaïque appliqué à la région d'Ouargla (région Haoud El Hamra). Pour se faire nous avons présenté ce manuscrit de la façon suivante :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté généralité sur les systèmes photovoltaïques et rayonnement solaire, construction des cellules photovoltaïques, et l'effet Photovoltaïque, ainsi principe de fonctionnement et les avantages et inconvénients.
- Dans le second chapitre, nous avons présenté la modélisation des modèles de rayonnement et photovoltaïque , le site Haoud El Hamra , la pompe centrifuge, matériels photovoltaïque et la méthode de dimensionnement du système PV.
- Le dernier chapitre sera consacré pour les résultats et discussion.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude dans sa partie théorique et simulation des résultats.



Chapitre I:
Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I-1-Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse d'hélium et dihydrogène (80% H_2 , 19% He et 1% autres éléments), sa densité moyenne est de 76000 Kg/m^3 au centre, la masse du soleil représente 99.58 % de la masse totale de système solaire et 330000 fois celle de la terre, son âge est estimé à 5.10^9 ans, le diamètre du soleil atteint 1391000 Km [1]. Le soleil est composé de trois régions principales :

- **L'intérieur** : C'est le lieu de la production de l'énergie par une suite des réactions thermonucléaire exothermique dite « cycle de Bethe ». La température dans ces régions peut atteindre de 8.10^6 à 40.10^6 K, et la pression un milliard d'atmosphère [2].

- **La photosphère** : C'est une mince région (300 Km d'épaisseur environ).

Elle est seule responsable de la majorité du rayonnement qui arrive au sol, sa température moyenne est de quelques Milliers de degrés, mais elle décroît rapidement dans l'épaisseur jusqu'à la température de la surface qui est de l'ordre de 5720 K [2].

- **La chromosphère et cornue** : C'est une région à faible densité ; sa matière est très diluée le rayonnement émis est très faible.

I-1-1-L'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

I-1-1-1-L'énergie solaire thermique

Qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux solaires. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

1-1-2-L'énergie solaire photovoltaïque

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [2].

1-2-L'histoire de l'énergie solaire:

La source utilisée très récemment est l'énergie solaire. En réalité cette énergie telle que l'utilisation de la lumière ou du soleil est beaucoup plus ancienne. Il y a des milliers d'années des civilisations différentes ont honoré le soleil comme un vrai dieu. En 212 avant JC, Archimède a utilisé le soleil pour arrêter la flotte romaine en se servant des miroirs en bronze poli. Avec ces miroirs il a réussi à mettre le feu à la flotte à distance. L'humanité connaît la force du soleil depuis toujours et il est intéressant d'observer comment l'utilisation d'énergie provenant du soleil a évolué.

La transformation de la lumière du soleil en courant électrique date de 1839.

Elle a été découverte par Antoine-César Becquerel². Au XIXe siècle, quelques moteurs à miroirs ont été construits. Mais même malgré la découverte de l'effet du sélénium photovoltaïque en 1877 il faudra attendre jusqu'en 1955 que les chercheurs de Bell Telephone Laboratories (aux Etats-Unis) soient capables de produire la cellule qui avait le rendement de conversion énergétique au moins 6% (ratio entre l'énergie utilisée pendant la fabrication et l'énergie que le système est capable de produire). Enfin pour pouvoir annoncer la naissance de la photopile solaire. Cet effet a surtout été utilisé pendant les exploitations dans l'univers qui elles aussi commençaient à se développer. Mais en exploitant toujours de plus en plus le charbon, le pétrole et développant l'énergie nucléaire les industriels ne se sont pas sérieusement intéressés aux possibilités de l'énergie solaire avant la crise pétrolière de 1973. Les années 70 peuvent être considérées comme le berceau de l'énergie solaire (photovoltaïque).[3]

1-3- Rayonnement Solaire :

1-3-1-Répartition spectrale du rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0,2 μm) à l'infrarouge lointain (2,5 μm).

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement de:

– 9% dans la bande des ultraviolets (<0,4 μm),

– 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8 μm),

– 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

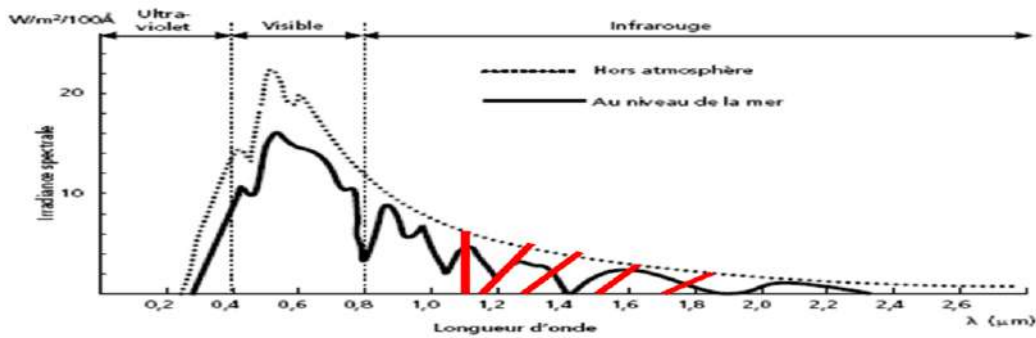


Figure. (I.1) : Analyse spectrale du rayonnement solaire. [4]

Le tableau I.1 donne les valeurs énergétiques caractéristiques des photos pour diverses longueurs d’ondes, ainsi que les zones correspondantes au spectre lumineux. [5]

Tableau (I.1): Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire. [5]

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Les capteurs d’énergie solaire doivent donc être compatibles avec ces longueurs d’ondes pour pouvoir piéger les photos et les restituer sous forme de chaleur ou d’électrons.

Pour que le rayonnement solaire produise un courant électrique dans un matériau donné, faisant alors office de capteur, il faut que les photons soient tout d’abord absorbés par un ou plusieurs matériaux sensibles à la longueur d’onde des photons, qui sont ensuite collectés afin de constituer un courant électrique global. [5]

1-3-1-1-Constante solaire

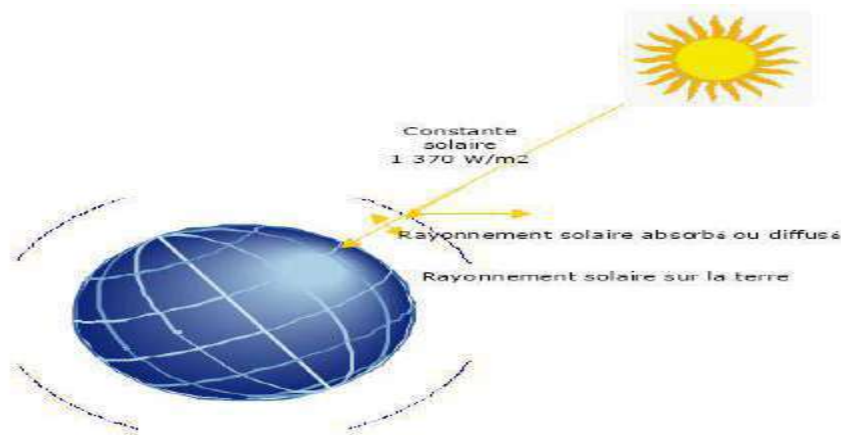


Figure.(I.2): La constante solaire.[4]

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre-Solaire égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m² par Claus Fröhlich et Christoph Wehrli du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse).

1-3-1-2-Durée d'insolation:

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell-Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée. [6]

1-3-1-3- Déclinaison du Soleil

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre [7], sa valeur en degré est donné par la relation de Cooper suivante :

$$\delta = 23 \cdot 45 \times \sin \left[2\pi \times \left(\frac{284+J}{365} \right) \right] \quad (\text{I-1})$$

Où j : est le numéro d'ordre du jour de l'année ($n=1$ pour le 1er Janvier, $n=32$ pour le 1^{er} Février,...etc.)

La déclinaison varie entre.

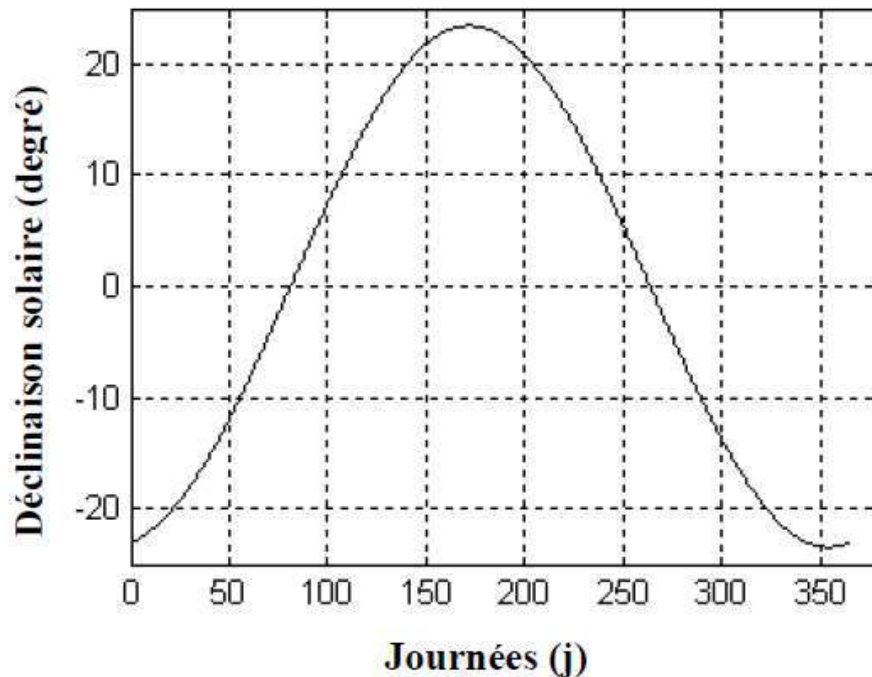


Figure (1.3) : Courbe de déclinaison du soleil

1-4-Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

Les systèmes photovoltaïques présentent un grands nombres d'avantages et d'inconvénients qui sont[8] :

- **Avantage :**

Les systèmes photovoltaïques ont plusieurs avantages:

- ils sont non polluants sans émissions ou odeurs discernables.
- ils peuvent être des systèmes autonomes qui fonctionnent sûrement, sans surveillance pendant de longues périodes.
- ils n'ont besoin d'aucun raccordement à une autre source d'énergie où à un approvisionnement en carburant.
- ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système.
- ils peuvent résister à des conditions atmosphériques pénibles comme la neige et la glace.
- ils ne consomment aucun combustible fossile et leur carburant est abondant et libre.

Chapitre 1: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

- une haute fiabilité car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles, ce qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées, d'où son utilisation sur les engins spatiaux.
- le système modulaire de panneaux photovoltaïques permet un montage adaptable à des besoins énergétiques variés ; les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications allant du milliwatt au mégawatt.
- la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologiques car le produit est non polluant, silencieux, et n'entraîne aucune perturbation du milieu.
- ils ont une longue durée de vie.
- les frais et les risques de transport des énergies fossiles sont éliminés.
- **Inconvénients:**
 - la fabrication des modules photovoltaïques relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé.
 - le rendement réel d'un module photovoltaïque est de l'ordre de 10 à 15%,
 - ils sont tributaires des conditions météorologiques.
 - l'énergie issue du générateur photovoltaïque est continue et de faible voltage (< 30 V) donc il doit être transformé par l'intermédiaire d'un onduleur.
 - beaucoup d'appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 230 V alternatif.

2-Les systèmes photovoltaïques

Dans des conditions d'ensoleillement standards ($1000\text{W}/\text{m}^2$; 25°C), la puissance maximale délivrée par une cellule en silicium de 150 cm^2 est d'environ $2,3\text{ W}_C$ sous une tension de $0,5\text{ V}$. Une cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de faible puissance, insuffisant en tant que tel pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait, réalisés par association, en série et/ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires. Outre cette juxtaposition de cellules et d'après ce que nous venons de voir dans le paragraphe précédent, le courant généré par les cellules photovoltaïques produit uniquement du courant continu à partir du rayonnement solaire .

L'utilisation de ce courant continu diffère d'une installation à l'autre, selon le but de celle-ci. On distingue principalement deux types d'utilisation selon si l'installation photovoltaïque est connectée ou non à un réseau de distribution d'électricité.

Chapitre 1: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Les installations non connectées peuvent directement consommer l'électricité produite. C'est le cas des sites non raccordés au réseau électrique (en montagne, sur des îles ou des voiliers, un satellite, etc.) qui peuvent en outre être équipés de batteries, d'accumulateurs pour disposer d'électricité au cours de périodes sans lumière (la nuit notamment).

Des installations photovoltaïques peuvent également être connectées à un réseau de distribution. Sur les grands réseaux de distribution (Amérique du Nord, Europe, Japon, etc.) des installations photovoltaïques produisent de l'électricité et l'injectent dans le réseau. Pour ce faire, ces installations transforment le courant continu en courant alternatif aux caractéristiques du réseau (fréquence de 50 Hz en Europe ou 60 Hz en Amérique du Nord par exemple). Elles n'ont pas besoin d'installation de stockage (batteries) car l'électricité est consommée à l'instant où elle est produite par les consommateurs les plus proches sur le réseau. Ce raccordement nécessite l'utilisation d'un onduleur, c'est-à-dire un dispositif qui a pour fonction de transformer un courant électrique continu en courant alternatif, identique à celui circulant sur le réseau. Il existe des onduleurs issus de différente technologie, cependant, leurs principes et objectifs sont les mêmes : faire passer l'énergie du *DC* (courant continu) à l'*AC* (courant alternatif). Cette transition entraîne une modification des performances globales du système. Il convient d'introduire le facteur *PR* (« performance ratio ») qui dépend du choix des composants comme l'onduleur, la température, l'énergie perdue, etc. et peut modifier considérablement la production d'électricité au cours du temps. Le *PR* est calculé par le rapport entre le rendement mesuré et celui théorique.

L'onduleur est un appareil technologique sophistiqué qui fonctionne grâce à un microprocesseur et qui est soumis à des normes réglementaires. Il est protégé par un petit boîtier métallique que l'on place au plus près des modules photovoltaïques, afin d'éviter toute déperdition d'énergie. La durée de vie moyenne d'un onduleur est de 10 ans. En transformant la nature du courant, l'onduleur est le composant du module Photovoltaïque qui permet d'utiliser l'électricité produite. Pour un site dit isoler (non raccordé au réseau), l'onduleur sert à faire passer l'électricité photovoltaïque du module de production aux appareils à alimenter.

2-1-Type des systèmes PV

Selon la manière dont l'énergie est utilisée, il existe trois différents types de systèmes PV ; comme les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes raccordés au réseau.

2-1-1- Les systèmes autonomes

Une installation PV autonome est une installation qui fonctionne indépendamment du réseau électrique ou toutes autres sources d'énergies. Cette installation est utilisée pour alimenter un ou plusieurs consommateurs situés, comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignés ainsi qu'à des applications comme la surveillance et le pompage d'eau.

Il existe deux types de systèmes PV autonomes avec stockage et sans stockage. Le schéma général d'un système PV autonome est représenté sur la **figure (I-4)** [9].

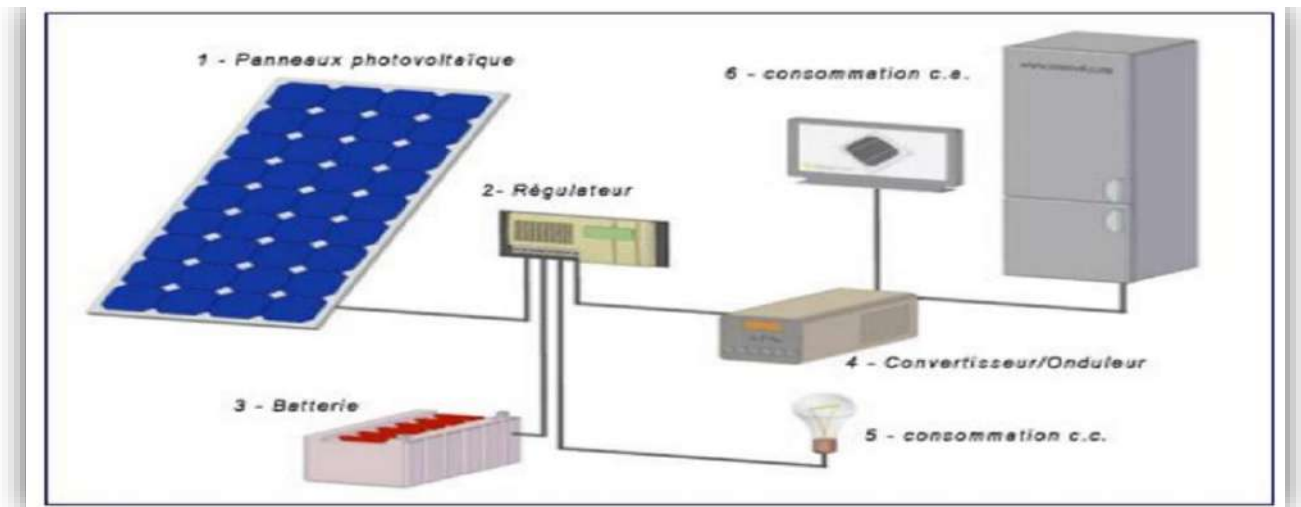


Figure. (I-4):Système PV autonome avec batterie

2-1-2- Les systèmes PV hybrides

Les systèmes PV hybrides intègrent un générateur PV et un autre générateur : éolien, groupe électrogène, système hydroélectrique et même parfois le réseau public d'électricité. Ces systèmes s'appliquent particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment, où les coûts de transport du carburant sont élevés et où, il n'est pas encore rentable d'utiliser le système PV seul avec les batteries.

Ils sont souvent utilisés pour de très nombreuses applications d'intérêt sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontaliers, l'habitat isolé, etc., hors réseau d'électricité conventionnelle [10].

Un système hybride est représenté par la **figure(I-5)**.

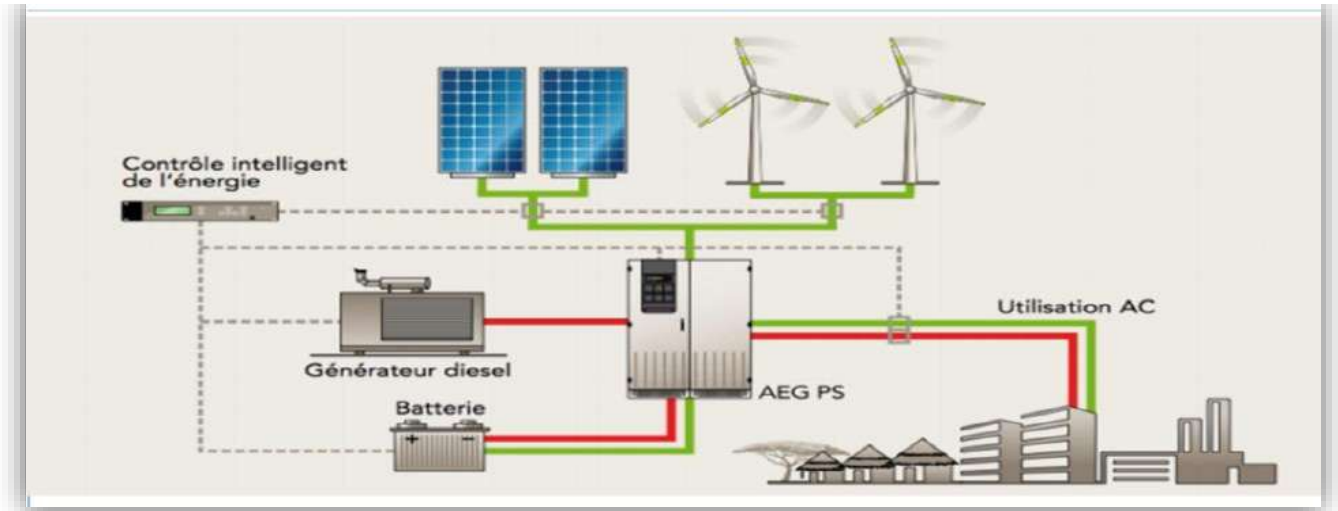


Figure.(I-5) : Système PV hybride

2-1-3- Les systèmes raccordés aux réseaux

Dans ces systèmes PV, le générateur PV est couplé directement au réseau électrique. Le système PV raccordé au réseau est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT(Maximum Power Point Tracking), d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau. La structure d'un système PV connecté au réseau est montrée par la **figure (I.6)** [11].

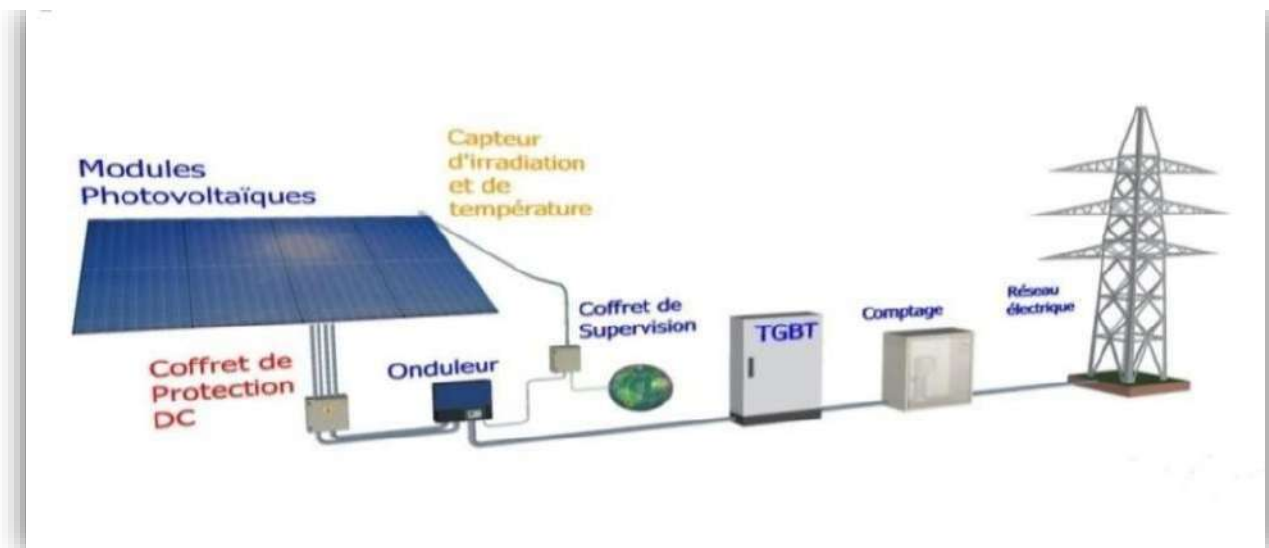


Figure.(I-6) : Structure d'un système PV connecté au réseau.

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil. Donc toute l'énergie est récupérée. Il y a un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Ces systèmes ne sont

pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau, car ils ne comportent aucune réserve d'énergie [11]. Dans notre étude, on s'intéresse au fonctionnement d'un système PV connecté au réseau.

2-2-Différentes Configurations du Système PV

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants : [12], [13]

- un générateur photovoltaïque.
- un convertisseur statique continu / continu (DC/DC).
- un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC).
- Un système de régulation et de stockage.
- une source auxiliaire d'appoints.

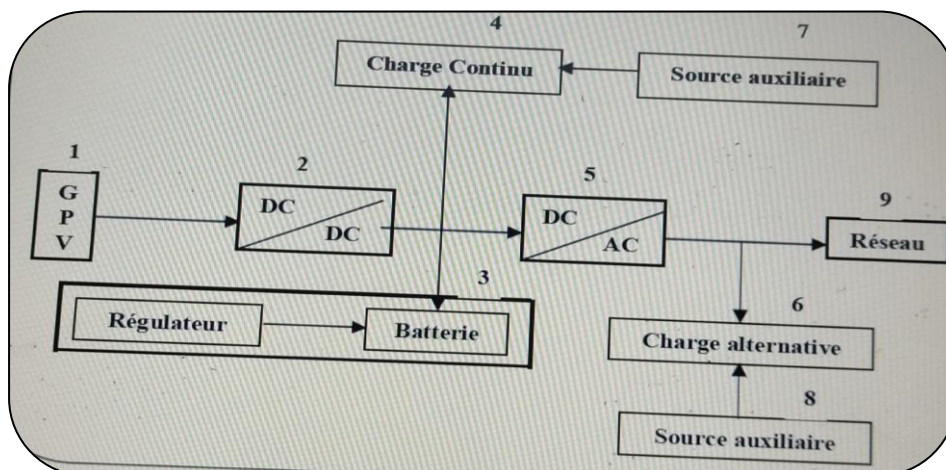


Figure.(I.7) : Schéma synoptique d'une installation photovoltaïque

2-3-Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur PV

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque.

La figure (I-8) représente trois zones essentielles [14] :

- a) **La zone (1) :** où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, Le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- b) **La zone (2) :** correspondant au code de la caractéristique, la région intermédiaire Entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du Générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- c) **La zone (3) :** qui se distingue par une variation de courant correspondant à une Tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension.

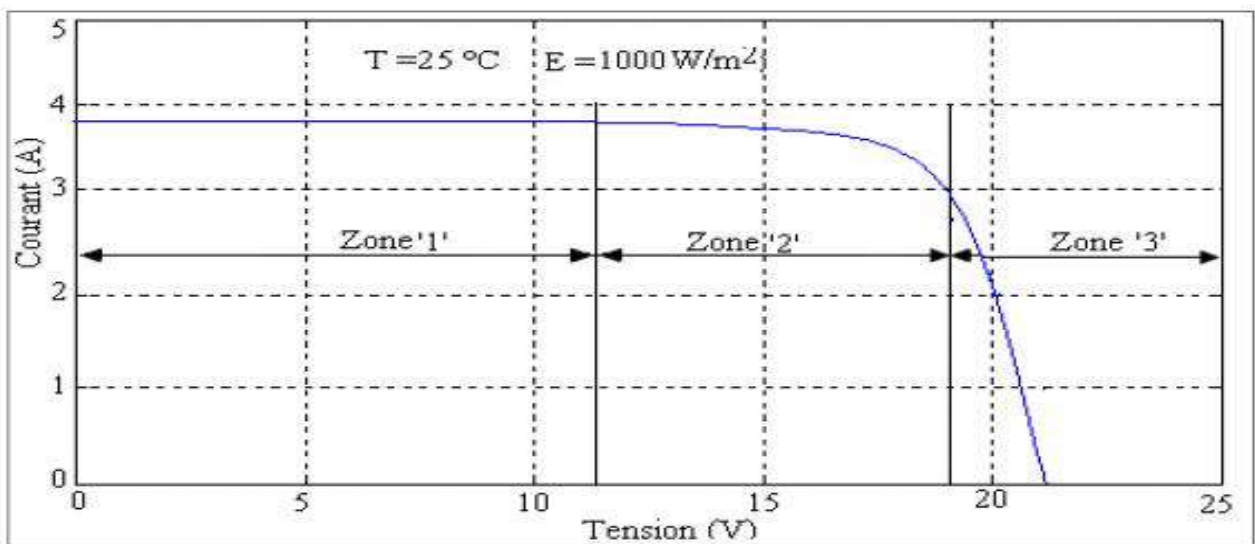


Figure.(I-8) : Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque.

3-Energie photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires PV. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau PV aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.

Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique (l'effet PV découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technologie associée. L'énergie solaire PV est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une

Chapitre 1: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

cellule PV. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique [15]

3-1-Historique de l'énergie photovoltaïque

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie.

3-2-Effet photovoltaïque

Il est obtenu par absorption des photons. L'effet PV a été découvert par Alexandre Edmond dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules PV produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie [16].

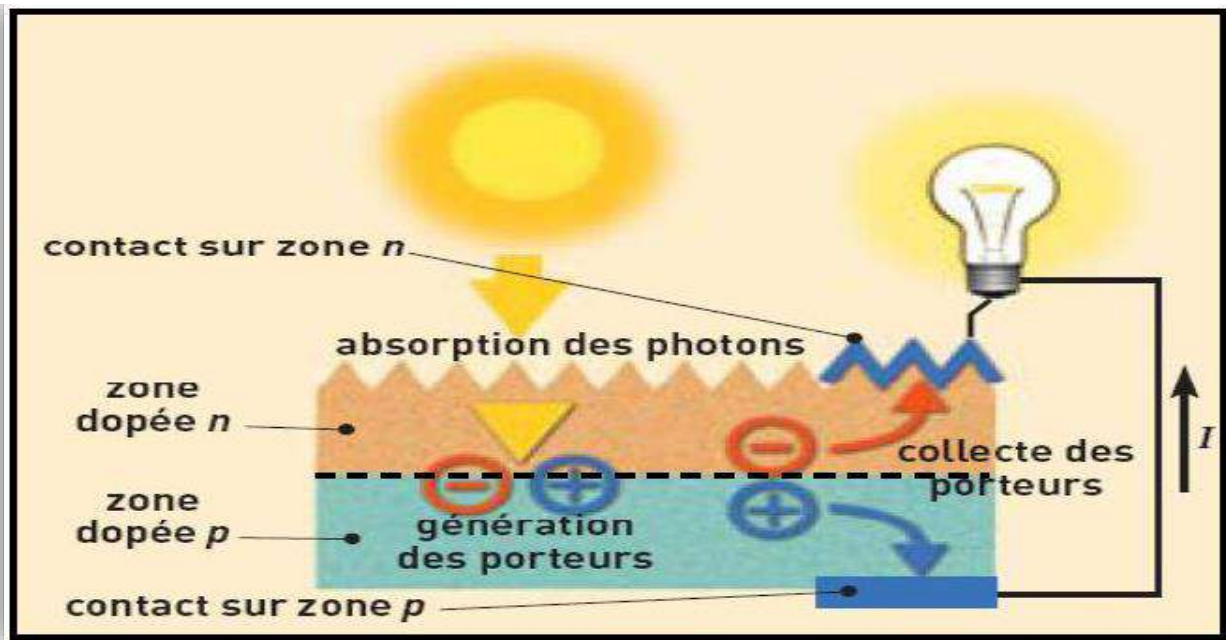


Figure. (I-9) : Schéma représenté l'effet PV

La lumière du soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'onde du spectre solaire. Quand un photon heurte une cellule PV, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule. Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome créant un «trou», qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron-trou.

Une cellule PV est une diode, formée de deux couches de matériaux de semi-conducteur dopées de sorte que l'une conduise les charges négatives et l'autre, les Charges positives. Ce phénomène crée un champ électrique permanent dans la cellule. Grâce à cet effet diode et lorsque la paire électron-trou a été créé, les charges négatives vont être séparées des charges positive. Il se crée donc une différence de potentiel entre les couches N et P de la cellule. Un courant circule si une résistance (ampoule par exemple) est placée entre ces contacts [16].

3-3-principe de la conversion photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule

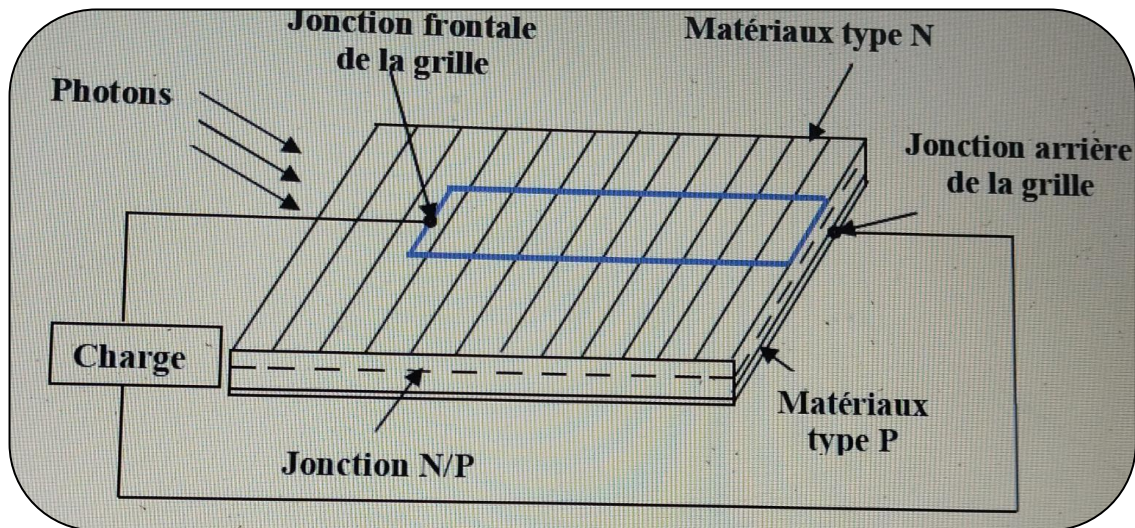


Figure.(I.10) : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque[17]

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous (charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connections des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert VOC. Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit ISC et dépend fortement du niveau d'éclairement.

4-Le fonctionnement des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont constitués des cellules photovoltaïques, ces cellules sont des composants électroniques capables de produire l'électricité à partir des rayonnements solaires grâce à l'effet photo.

Cet effet est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteur quand ils reçoivent des rayons solaires, dès que des photons rentrent en contact avec les matériaux, ils transmettent leur énergie à un électron de semi-conducteur qui génère un courant électrique (voir Figure (I.11)).

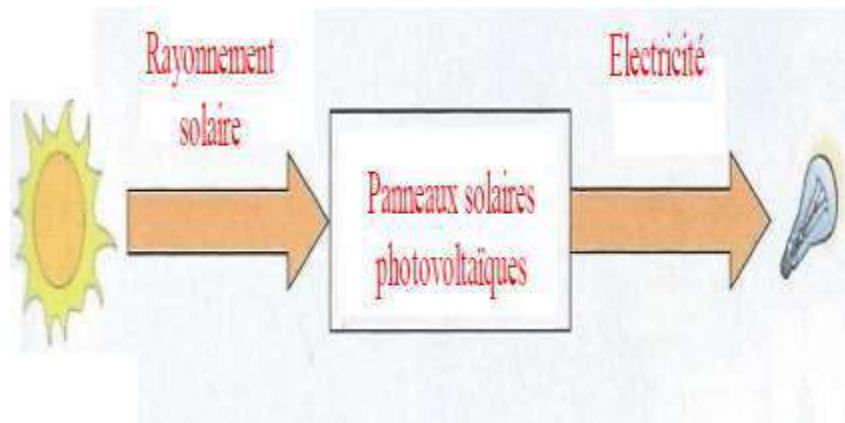


Figure. (I.11) : principe de fonctionnement des panneaux

4-1- Les différentes installations photovoltaïques

4-1-1- Les installations sur site isolé:

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.

Les panneaux photovoltaïques produisent l'électricité en courant continu (voir figure (I.12)). [18]



Figure. (I.12): Installation sur site isolé

Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection. L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC. Les batteries sont chargées le jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes (voir figure (I.13)).[18]

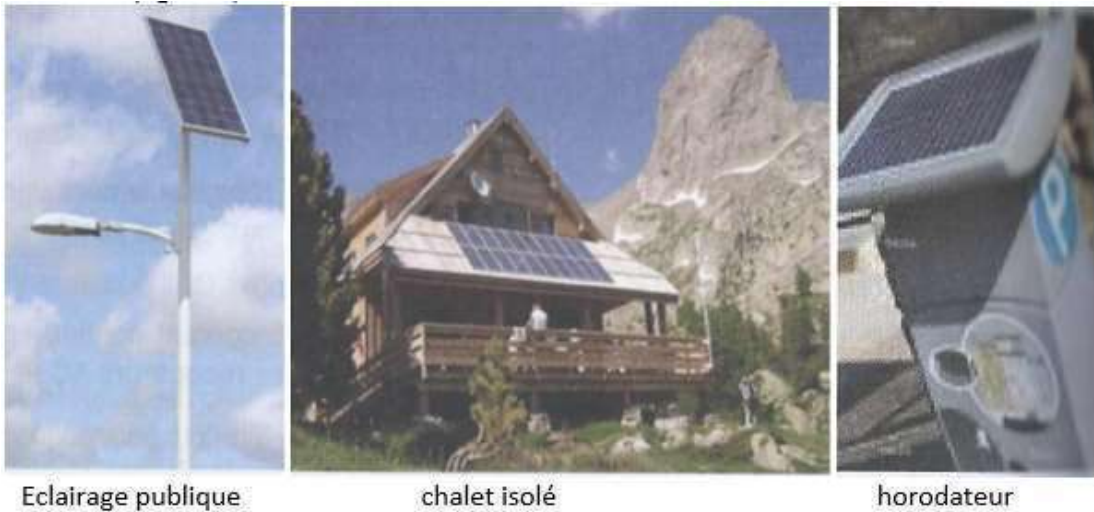


Figure (I.13): Exemple des installations photovoltaïques

4-1-2-Les installations raccordées au réseau de distribution public:

• **Solution avec injection totale:**

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),
- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :

- L'un pour la production,
- L'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé). (Voir figure (I.14)) [19]



Figure.(I.14): l'injection d'énergie dans les réseaux

En bleu : énergie électrique continue (DC).

En rouge : énergie électrique alternative (AC)



Figure. (I.15) Injection d'énergie

- **Solution avec injection de surplus:**

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point :

l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant (voir figure (I.16)).[19]



Figure.(I.16) : Injection énergie supplément dans le réseau

4-2- Technologie

4-2-1-Cellule photovoltaïque

C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité. La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques.

Chapitre 1: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V (voir figure (I.17)).[20]

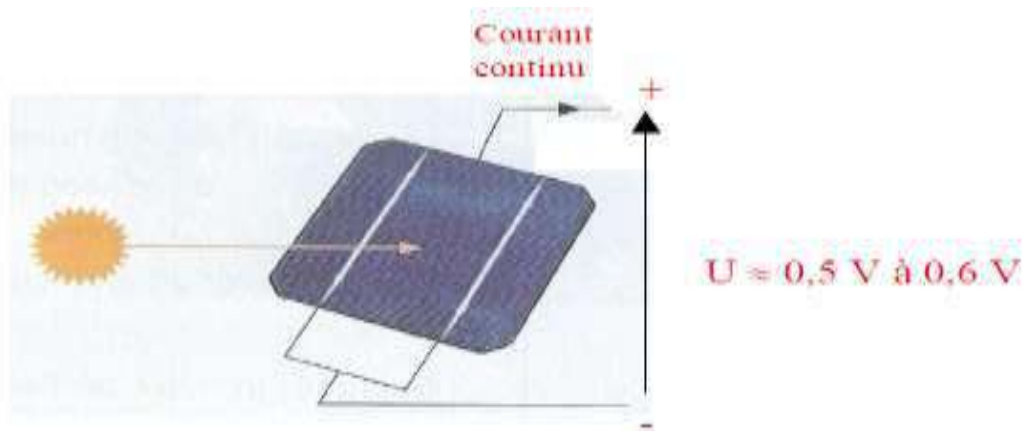


Figure. (I.17) : cellules solaires

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi conducteur):

- une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N). (Figure (I.18))

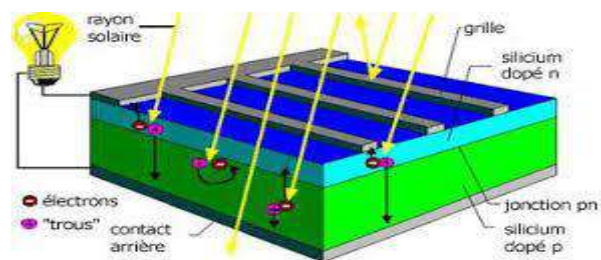


Figure. (I.18) : fabrication d'une cellule photovoltaïque

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque à la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium.

Chapitre 1: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé. [20]

4-3-Les différents types de cellules solaires

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quelque soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules [21]:

a. Les cellules monocristallines :

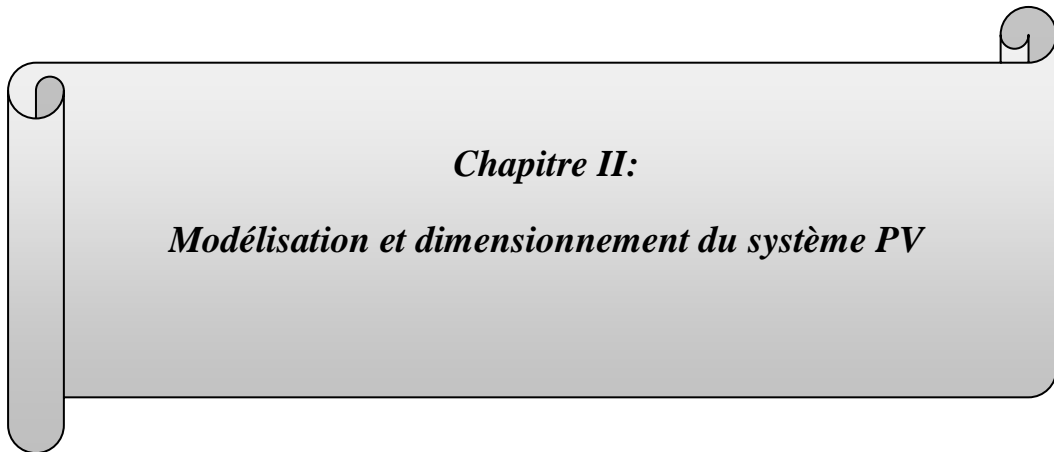
Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24% en laboratoire) Cependant, elles coûtent trop chers dues à leur fabrication complexe.

b. Les cellules poly cristallines :

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible (de 11% à 15% voir jusqu'à 19.8 en laboratoire).

c. Les cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'à 13% en laboratoire) , mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé . Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.



Chapitre II:

Modélisation et dimensionnement du système PV

II-1-Modélisation du système photovoltaïque

II-1-1-Modèle de Rayonnement solaire

II-1-1-1-Hypothèses simplificatrices

Pour simplifier la modélisation de notre problème nous avons supposé que la journée étudiée est caractérisée par :[22]

- Un jour clair
- Un ciel moyen

II-1-1-2-Modèle d'éclairement solaire sur un plan horizontal

Dans cette partie nous avons exploité le rayonnement solaire sur un plan horizontal pour différents temps (journalière, mensuel, et annuelle). Il existe plusieurs formules simplificatrices pour calculer ce dernier.

Dans notre travail on a utilisé la formule de *Perrin De Brichambaut* comme un modèle de simulation pour calculer le rayonnement solaire sur un plan horizontal. Cette dernière a défini le rayonnement global GH comme étant la somme des deux composants (directe et diffus) c'est-à-dire.[22]

$$GH=SH +dH \quad (II.1)$$

SH : le rayonnement direct est donnée par :

$$SH=A. \sin(\gamma) \exp \left[\frac{-1}{C. \sin(\gamma+2)} \right] \quad (II.2)$$

dH : le rayonnement diffus est donnée par :

$$dH=B.(\sin(\gamma))^{0.4} \quad (II.3)$$

A,B et C sont des constantes reliées à la nature de ciel.

Où : **A**=1300 **B**=87 **C**= 6 pour un ciel très claire.

A=1230 **B**=125 **C**= 4 pour un ciel moyen.

A=1200 **B**=187 **C**=2.5 pour un ciel pollué.

γ : la hauteur angulaire

II-1-1-3-Calcul du rayonnement solaire sur un plan fixe (inclinaison et orientation fixe) [22]

1) Le Rayonnement solaire direct Sf

$$Sf = \left(\frac{SH}{\sin(\gamma)}\right) \cdot (\cos(\gamma) \cdot \sin(\beta f) \cdot \cos(\Psi - \alpha f) + \sin(\gamma) \cos(\beta f)) \quad (\text{II.4})$$

Avec

βf : l'inclinaison

Ψ : l'angle d'azimute

αf : l'angle d'orientation

2) Le Rayonnement diffus Df

$$Df = \left(\frac{dH}{2}\right)(1 + \cos(\beta f)) \quad (\text{II.5})$$

3) Le Rayonnement réfléchi Rf

$$Rf = \left(\frac{GH}{2}\right)\rho \cdot (1 - \cos(\beta f)) \quad (\text{II.6})$$

Avec ρ : l'albédo

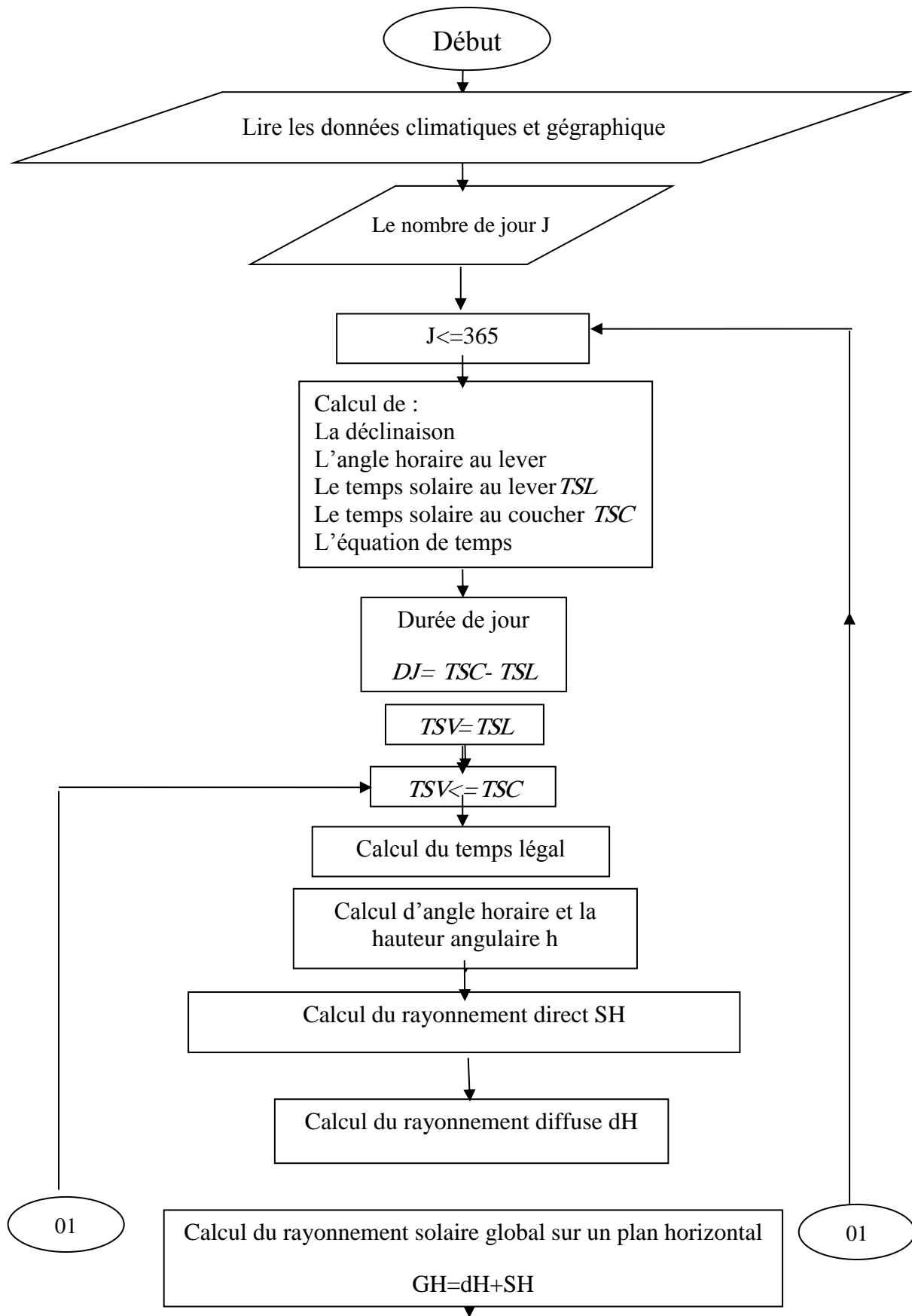
4) Le Rayonnement global Gf

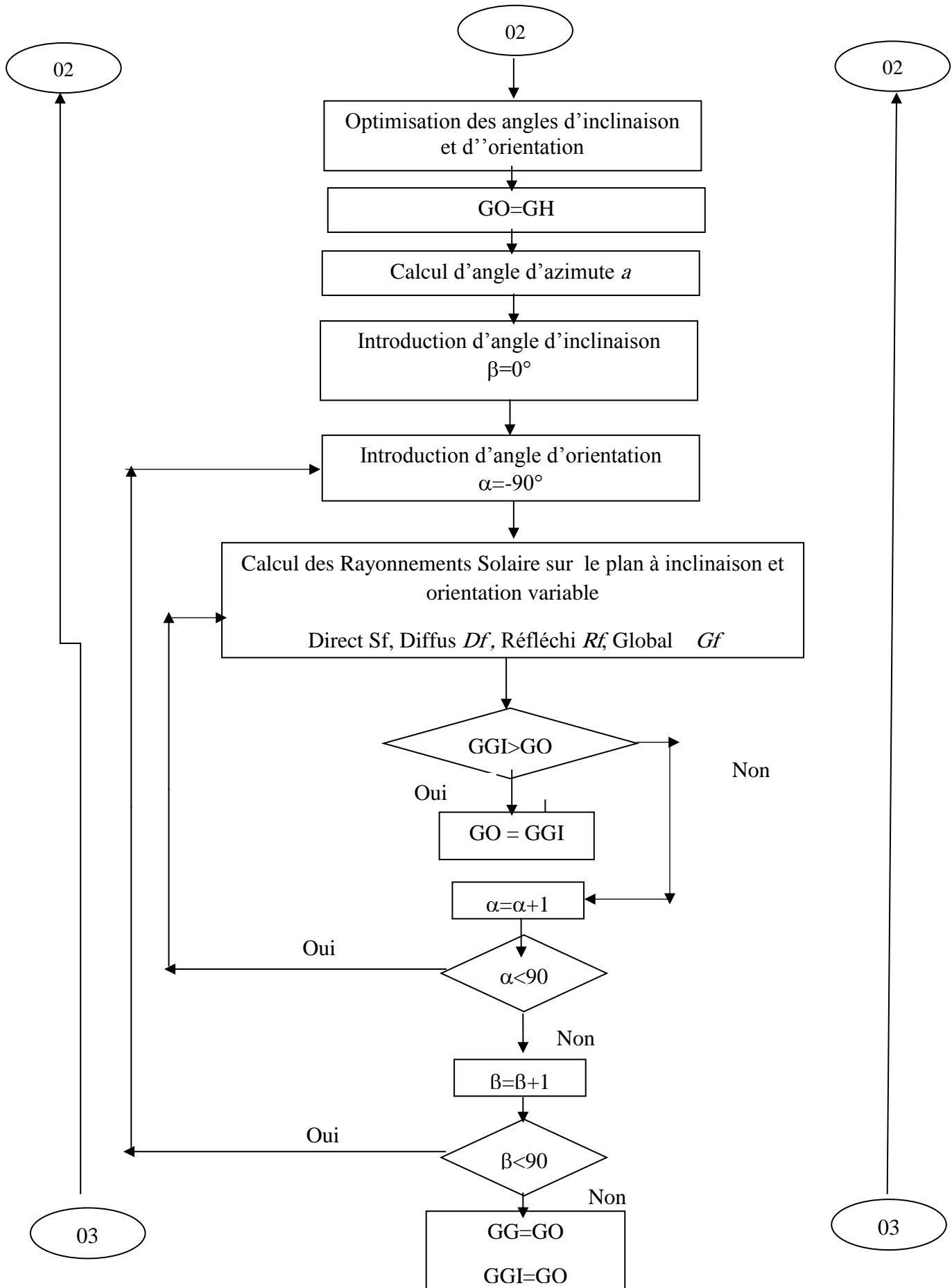
$$Gf = Sf + Df + Rf \quad (\text{II.7})$$

II-1-1-4-Calcul du rayonnement solaire sur des différents plans

Comme nous l'avons présentée précédemment, le calcul du rayonnement solaire sur un plan poursuite solaire (tracking) suit les même étapes de calcul du rayonnement solaire sur plan fixe avec une variation de l'inclinaison dans l'intervalle [0 :90], et l'orientation dans l'intervalle [-90 :+90], le pas de variation les deux angles est égale 1 ($\Delta i=1$).[22]

II-1-1-5-Organigramme du modèle de rayonnement





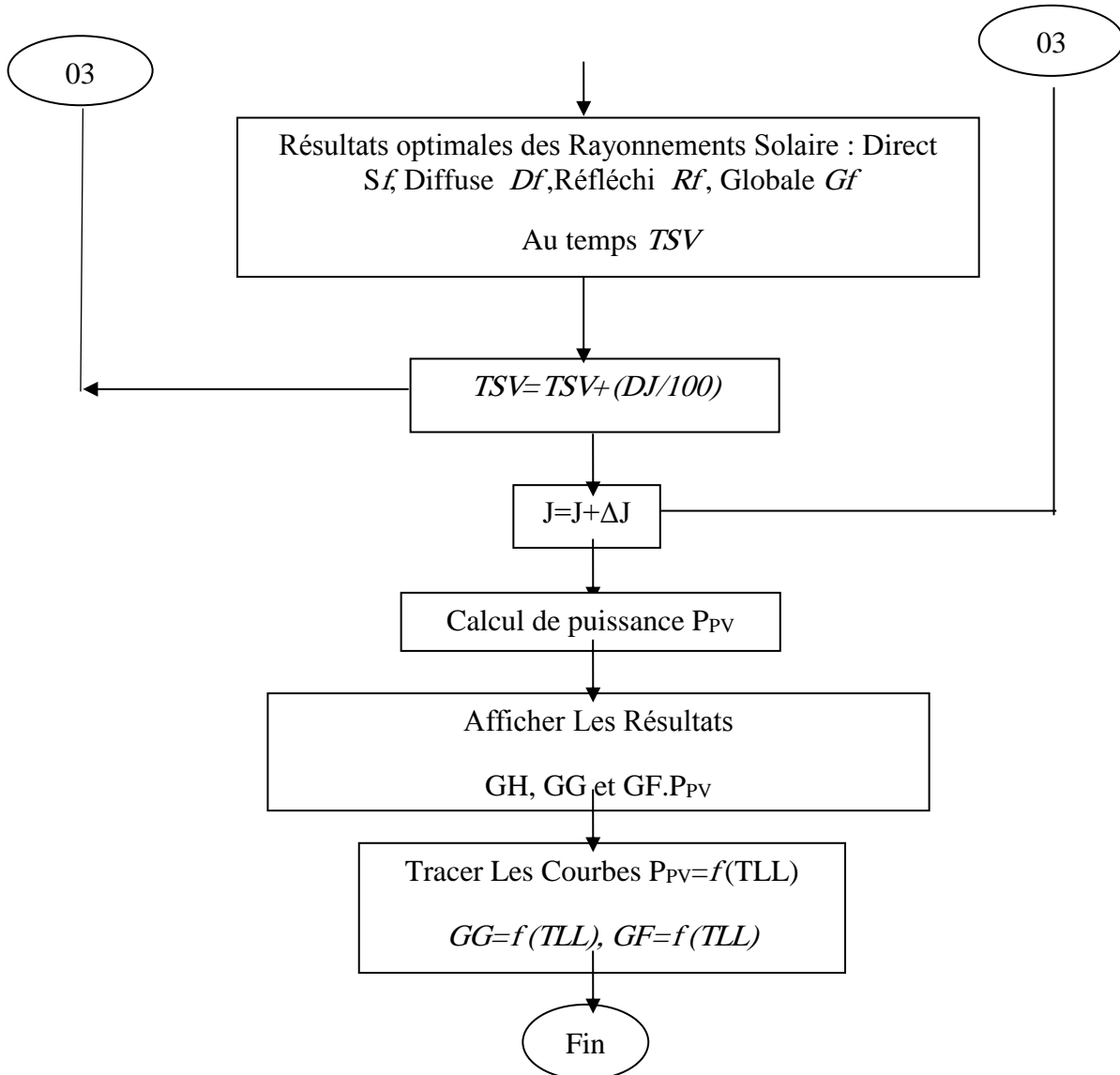


Figure (II-1)- Organigramme de calcul du rayonnement solaire sur différents plans.[22]

II-1-2-Modèle du générateur photovoltaïque

Plusieurs modèles mathématiques sont utilisés pour simuler le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque. Ces modèles se différencient par la méthode de calcul et le nombre des paramètres intervenants dans la caractéristique courant - tension. Dans notre cas, nous avons choisi un modèle simple nécessitant que les paramètres donnés par le fabricant.[22]

$$I = I_{Ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + I.R_s}{nVT}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (II.8)$$

Ou

- n :facteur de non idéalité de la jonction compris entre 1et 5 dans la pratique.

- T : température effective de la cellule en kelvin.
- V : tension à la borne de cellule.
- I_0 : courant de saturation inverse d'une diode.
- $VT = \frac{KT}{e}$: tension thermique.

Notons que le terme $\frac{V + R_s I}{R_p}$ est négligeable

II-1-2-1-Variation de la tension à circuit ouvert [22]

La variation de la tension de circuit ouvert dépend de la température du module et de l'éclairement, elle est donnée par l'équation suivant:

$$V_{CO} = V_{CO0} + \beta \cdot \Delta T + \alpha (G - G_0) \quad (\text{II.9})$$

Avec

- V_{CO0} : tension à circuit ouvert de référence (V).
- α : coefficient de variation de courant à circuit ouvert en fonction de la température ($A/^\circ C$).
- β : coefficient de variation de la tension de court-circuit en fonction de la température ($V/^\circ C$).
- ΔT : variation de la température ($^\circ C$).

II-1-2-2- Point de fonctionnement optimum, (V_m, I_m)

La puissance maximale est calculée au moyen de l'équation suivante : [22]

$$P_m = I_m \cdot V_m \quad (\text{II.10})$$

- I_m : point du courant à la puissance maximale
- V_m : point de tension à la puissance maximale

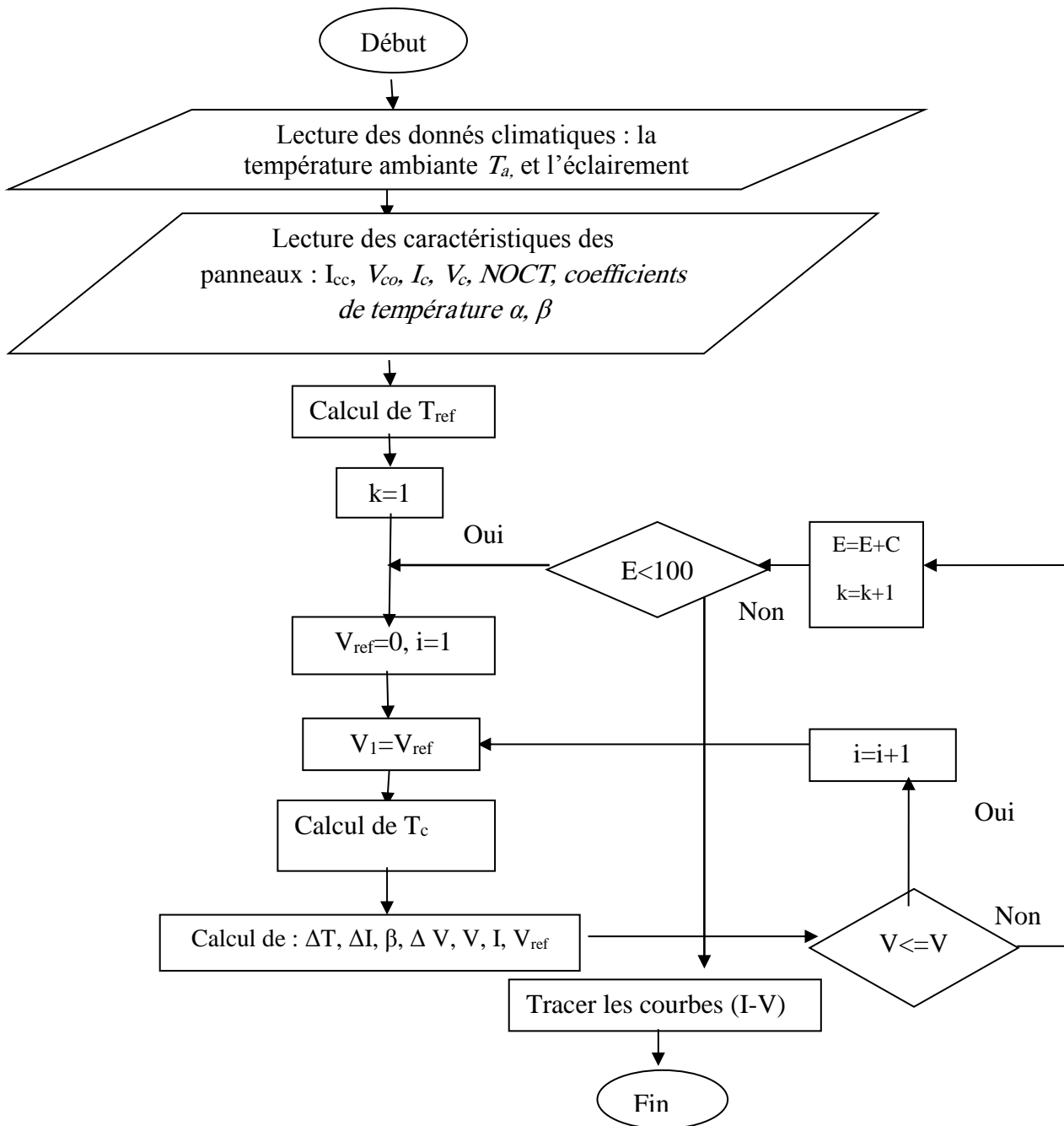


Figure (II-2)- Organigramme des caractéristique I-V du module PV.[22]

II-1-2-3-Rendement photovoltaïque

C'est le rapport de la puissance photovoltaïque sur la puissance du rayonnement solaire [22]

$$R_{PV} = \frac{V \cdot I}{E \cdot S_p} \quad (II.11)$$

II-1-2-4- Rendement du système poursuit solaire

C'est le rapport de la différence entre la puissance d'un système poursuite (tracking) et fixe sur la puissance d'un système fixe [22].

$$R_{Tr} = \frac{P_m(\text{tracking}) - P_m(\text{fixe})}{P_m(\text{fixe})} \quad (\text{II.12})$$

II-1-3-Modèle de la température

II-1-3-1-Température de jonction

La température de la jonction T_c de la cellule est donnée par la relation suivant [22]

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} E_G \quad (\text{II.13})$$

Avec

- **NOCT**: température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (Nominal Operating celle température).
- **Ta** : température ambiante.

II-1-3-2-Température ambiante

Le modèle de la température ambiante est représenté grâce aux données de température maximale et minimale de la journée.

Nous avons supposé que la température maximale se produit toujours deux heures après midi et la température minimale quand il commence à faire jour (levé de soleil). Entre ces deux points extrêmes, une fonction a été utilisée pour caractériser la variation de cette température.

Le profil journalier de température ambiante est déterminé à partir des températures minimale et maximale de la journée, cette température s'exprime à une heure TL de la journée par l'équation suivante [22] :

$$T_a = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \cos\left(\frac{14 - TL}{14 - TL_L} \pi\right) + T_{moy} \quad (\text{II.14})$$

Avec

- T_{LL} : heure du lever de soleil
- T_{moy} : température moyenne journalière
- T_{max} : température maximale journalière
- T_{min} : température minimale journalière

II-2- Présentation de l'unité industrielle:

II-2-1-Présentation du site

Le site de Haoud El Hamra (HEH), représente l'une des structures essentielles de Sonatrach TRC. Il s'agit en fait du carrefour assurant l'acheminement des hydrocarbures liquides du Sud de l'Algérie vers les ports et les raffineries du Nord.

La Direction Régionale Haoud El-Hamra se situe à 66 km au sud-est du chef-lieu de la Wilaya d'Ouargla, 26 km au nord de Hassi Messaoud. Elle couvre une superficie de 3.5 km² Environ. La superficie construite s'évalue à environ 6,5 hectares. Sa position géographique lui confère un climat saharien désertique et aride caractérisé par un hiver doux avec une très faible pluviométrie et un été sec et très chaud avec une température maximale extrême de 51°C et une température minimale extrême relevée pendant l'année de 0°C. Le site d'HEH est organisé sous la forme de plusieurs parcs de stockage et de pompage. Les lettres de désignation des installations (ex : oléoduc / pipeline) font référence aux lieux d'origine ou de destination des produits : K (Skikda) ; Z (Arzew) ; B (Bejaïa). Il est important de noter que Haoud El-Hamra n'est pas seulement un site de la branche TRC, mais toute une région, englobant d'autres sites, notamment celui de Hassi R'mel[23]



Figure (II-3)- Haoud El-Hamra en 1959

Données climatique de site

		Mensuel °C	Journalière °C	
T _{max}	Mois de Décembre	18	6	10 Décembre 2021
T _{min}		11	19	
T _{max}	Mois de Juillet	42	48	17 Juillet 2021
T _{min}		30	31	

Tableau (II-1) : Les données climatique de site[24]

II-2--2-Historique de la base Haoud El Hamra

- 1956 : Découverte du gisement de pétrole brute de Hassi-Messaoud. Une première canalisation de diamètre de 6" et d'une longueur de 170 Km dénommée «Baby-Pipe», a été construite pour relier Hassi-Messaoud à Touggourt. De là, le pétrole brut était acheminé par wagons-citernes jusqu'au port de Skikda pour son exportation.
- 1958 : Le site de Haoud El-Hamra a été choisi pour la réalisation du premier oléoduc dénommé OB1 d'un diamètre de 24'' et d'une longueur de 668 Km pour relier le centre de stockage de Haoud El-Hamra au port pétrolier de Bejaïa. Il a été mis en service en 1959.
- 1961 : Réalisation du deuxième oléoduc d'un diamètre de 24'' et d'une longueur de 775 Km pour relier le centre de stockage d'In-Aménas au port pétrolier de La Skhira en Tunisie et du premier gazoduc d'un diamètre de 24'' et d'une longueur de 509 Km pour relier le champ gazier de Hassi R'mel à Arzew.
- 1965 : Sonatrach a réalisé son premier oléoduc d'un diamètre de 28'' et d'une longueur de 801 Km pour relier Haoud El-Hamra au port d'Arzew. Il a été mis en service en 1966. Depuis cette date le parc de Haoud El Hamra n'a pas arrêté de s'agrandir comme l'attestent les réalisations suivantes :
- 1972 : Réalisation du parc de stockage OK1
- 1973 : Réalisation de la station 12'' LN21 / SP1
- 1994 : Réalisation de la station GPL / LR1
- 1996 : Réalisation du centre de distribution des hydrocarbures liquides CDHL
- 2003 : Réalisation de la station de pompage SP1 /OZ2
- 2007 : Réalisation de la station de pompage SP1 /NH 1
- 2009 : Réalisation de la station de pompage SP1 /NK1

- 2011 : construction de six nouveaux bacs de stockages.[23]

II-2-3-Puissance de pompe:

Le type de pompes utilisés est pompes centrifuges 1216LPLD19, c'est des pompes monocellulaires munies d'une roue à double entrée de 16" et 12" diamètre de refoulement et d'un corps à plan de joint axial monté entre deux paliers.[25]

Le rendement de la pompe est de 85.4% dans les conditions nominales ($Q=2200\text{m}^3/\text{h}$ et $H=274\text{m}$).

Nombre des stations.

- SP1 à Haoud el hamra PK=0 , Alt = 150.34m
- SP1 bis à Djamaa PK=189.83km, Alt = 83m
- SP2 à Biskra PK=350.48km , Alt = 217.10 m
- SP3 à Msila PK= 486.24km ,Alt= 465.2 m
- SPD à Beni mensour PK=573.42, Alt =356.00m.

II-2-3-1- Pompes centrifuges:

Une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à communiquer au liquide pompé une énergie suffisante pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique comportant en général une hauteur géométrique d'élévation de niveau (Z), [26] une augmentation de pression (P) et toujours des pertes de charges. Figure (II-4)[27]



Figure (II-4)-Pompe centrifuge

A. Caractéristiques générales :

Débit :

Le débit Q fourni par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps. Il s'exprime en mètres cubes par seconde (m^3/s) ou plus pratiquement en (m^3/h).

La hauteur manométrique:

Considérons une pompe A refoulant un liquide de poids volumique ω avec un débit Q à une hauteur H_g à l'aide d'une canalisation de longueur L et de diamètre D . L'écoulement considéré va provoquer le long de la canalisation une perte de charge ΔH_T résultant des frottements le long de la canalisation et des pertes de charge locales (coudes, robinets-vannes, crépine, clapets, etc ..)[26]

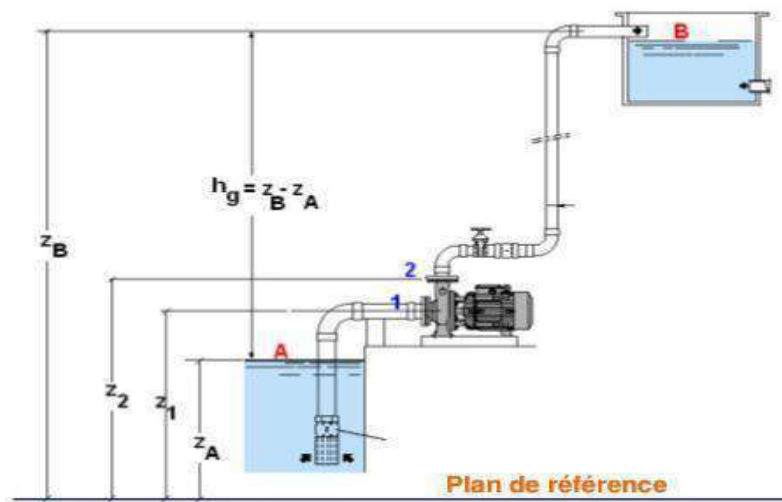


Figure (II-5)- Hauteur manométrique d'une pompe

B. Rendement de la pompe :

Le rendement (η) d'une pompe se calcule comme le rapport de la puissance utile P (puissance hydraulique) et la puissance absorbée P_a (Puissance fournie sur l'axe de la pompe).

Puissance utile de la pompe (Puissance hydraulique fournie) P_u :

Elle correspond au travail à effectuer pour élever, par unité de temps, un volume de liquide de masse volumique ρ à la hauteur H_{mt} :

$$P = \rho \cdot G \cdot Q \cdot H_{mt} \cdot \eta \text{ (en W)} \tag{II.15}$$

Donc le Rendement η d'une pompe est : [26]

$$\eta = \frac{\rho g Q H_{mt}}{P_a} \tag{II.16}$$

C. Avantages et Inconvénients des pompes centrifuges:

- **Avantages** : Les pompes centrifuges sont les plus utilisées et elles couvrent environ 80% des pompes utilisées et présentent les avantages suivants : [28]
 - Machine de construction simple et nécessite peu d'entretien
 - Prix d'achat modéré, cout de maintenance faible
 - Bon rendement (70% à 80%)
 - Adaptées à toute sorte de liquide
 - Vitesse de rotation allant de 750 à 3000trs/min, facilement entrainé par un moteur électrique.
 - les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides

- **Inconvénients** : Elles présentent aussi certains inconvénients[28] :
 - Impossible de pomper les liquides trop visqueux (les roues tournent sans entrainés le liquides)
 - Ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe pour les liquides « susceptibles » (liquides alimentaires tels que le vin, le lait et la bière).
 - utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.
 - Production d'une pression différentielle faible (0,5 à 10bars)
 - La pompe ne s'amorce pas d'elle-même
 - Utilisation comme pompe doseuse : la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

II-3-Présentation de système photovoltaïque

II-3-1- Panneaux photovoltaïque

Les panneaux solaires étudiés dans notre installation PV est connue sous le nom (ASUNERGE Officiel Store) dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau[29]



Figure (II-6)- Panneau solaire polycristallin

Tableau (II-2)-Caractéristiques des panneaux solaires polycristallin

Paramètres	Valeurs
Puissance Crete P_c [W]	100
Max power voltage	16V
Max power current	6,25A
Open circuit voltage	19,2V
Short circuit current	6,68A
Solarcell size	125*125mm
Dimension	1050*530*2,5mm
Weight	1,9kg(+0,1kg)
Cable	0,9m 2,5mm ²
Operating temperature	-20C -65C
Prix	78,18€

II-3-2-Système de régulation:

Le système de régulation employé dans notre étude est constitué des régulateurs de type : régulateur de charge MPPT. Ce régulateur contrôle le courant et la tension à la sortie des panneaux. La technologie MPPT offre une très haute performance. Il calcule en temps réel les points de puissance optimal pour délivrer toute la puissance aux batteries. De plus, le régulateur MPPT permet une utilisation totale de la tension des panneaux [22]. Le régulateur solaire MPPT est idéal pour de grosse installation solaire afin de bénéficier d'un rendement optimal. Les

régulateurs solaires utilisé dans l'installation PV est de séries Rosefinch (RF384-100) et qui possèdent les caractéristiques présentées au tableau [30]:



Figure (II-7)-Régulateur MPPT Rosefinch.

Tableau (II-3)- Caractéristiques des Régulateurs solaires MPPT

Paramètres	Valeur
Puissance maximale des panneaux [W]	45000
Tension en Circuit Ouvert des panneaux Solaire [V]	800
Tension Nominale du Système (Batterie) [V]	384
Courant de Charge Maximale de la Batterie [A]	100
Efficacité de Conversion	99,00 %
Dimensions (H/L/P)(mm)	530x410x162 mm
Poids(Kg)	17,50Kg
Prix	1280€

II-3-3- Système de conversion

Le système de conversion est composé des onduleurs permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir du courant continu produit par les panneaux solaires. [22]

L'onduleur solaire ci-dessous utilisé dans l'installation PV est de type 50 KW solaire charger inventer (NDC384-50KVA). Il possède les caractéristiques présentées dans le tableau (II-4) [31].



Figure (II-8)- Onduleur 50 KW solaire charger

Tableau (II-4)- Caractéristiques des onduleurs solaires.

Paramètres	Valeur
Puissance maximale des panneaux[KW]	50
Tension DC maximale[V]	800
Courant DC Maximale[A]	130
Puissance AC Maximum[Hz]	40
Plage de fréquence[Hz]	49,98-60,03
Fréquence	50, 60
Efficacité	90,00 %
Dimensions(H/L/P)[mm]	1500x1400x650
Poids[Kg]	510
Prix	11400€

II-3-4-Système de stockage

Le système de stockage est formé des batteries de lithium-ion (figure II-6), les principaux avantages de ce type sont :

- Une énergie massique élevée (deux à cinq fois plus que le nickel-hydrure métallique par exemple) ;
- Absence d'effet mémoire ;
- Autodécharge relativement faible par rapport à d'autres accumulateurs.

Les batteries utilisés dans l'installation PV est de type Batterie Lithium (figure II-9) dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau (II-5) [29].



Figure (II-9)- Batterie de lithium

Tableau(II-5)- Caractéristiques des batteries solaires

Paramètres	Valeur
Tension nominale(V)	48
Capacité nominale(Ah)	40
Dimensions(mm)	525*230*220parbatterie
Poids(Kg)	23.5
Tension de fin(V)	40
Tension de Protection maximale(V)	58.4
Courant de charge instantané(A)	>80
Courante de charge continu(A)	>40
Température de charge	0°C-45°C
Température de fonctionnement	-20°C~60°C
Certification	CE ROHS MSDS UN38.3
Prix	764,21€

II-3-5-Système poursuite solaire

Le système de poursuite solaire utilisé est de la marque XMKSENG de système de suivi Horizontal à double Portrait plat à axe unique; ses caractéristiques sont présentées dans le tableau (II-5) [29].



Figure (II-10)- Système poursuite solaire mono axiale

Tableau(II-6)-Caractéristiques de traqueur solaire

Système de suivi solaire à deux axes			
Taille du Module:	≤ 2131*1052 millimètres	Numéro de Module	45-60unités
Portée de support	60 m ²	Mode de contrôle	Boucle fermée contrôle de temps
Précision de suivi	≤ 1 °	Alimentation	DC:24V
Puissance d'entraînement	150W	Mode d'alimentation	Source d'alimentation autonome ou externe
Gamme de suivi	0 ° ~ 60 °	Consommationquotidienned'énergie	≤ 0.85kWh
Épaisseurgalvanisée	65um	Fondation	Fondation en béton/pieu en spirale/pieu en acier
Conception mécanique Vie	> 25 ans	Température de fonctionnement	Normal-30 °C ~ + 70 °C personnalisable-50 °C ~ + 85 °C

II-3-6-Charge:

La charge est la partie consommable du système photovoltaïque, ses besoins, et ses équipements avaient un rôle important dans le dimensionnement du système photovoltaïque. Dans notre étude, la charge est la station de pompage HEH[22]

II-4-Dimensionnement du couple générateur / stockage:

II-4-1- Dimensionnement du générateur

La technique de simulation des systèmes photovoltaïques permet de déterminer la relation existante entre le champ photovoltaïque, la batterie de stockage et la charge ainsi que l'apport énergétique. Cette simulation utilise des données d'irradiation journalières pour estimer l'énergie journalière fournie par le champ PV ainsi que l'énergie qui doit être stockée dans des batteries.

Pour dimensionner le générateur PV, deux paramètres sont pris en compte, la consommation moyenne journalière et l'irradiation incidente moyenne journalière reçue sur le plan des modules. Il est donc nécessaire de fixer l'inclinaison du générateur.

L'énergie fournie par un module est proportionnelle à l'irradiation (Exemple : 4000 Wh/m² correspond à 4 heures multiplier par 1000 W/m², dite heures équivalente à un éclairage standard).

Le calcul est effectué sur le mois le plus défavorable. On détermine alors l'énergie fournie par un module dans les conditions de l'éclairage et de la température choisie selon le site de l'installation.[22]

Les conditions standards sont : $GCS = 1000 \text{ W/m}^2$, $TCS = 25^\circ\text{C}$.

L'énergie fournie par un module a l'expression suivante :

$$E_{\text{mod}} = P_{\text{m}}' \frac{IRR}{G_{\text{cs}}} FCG \quad (\text{II.17})$$

Où:

E_{mod} : Energie journalière fournie par le module (kWh).

P_m' : Puissance du module dans les conditions désirées (W).

IRR : Irradiation moyenne journalière annuelle minimale (kWh/m²) (Touggourt :4566Wh/m², Ouargla :47569Wh/m²).

FCG : Facteur de correction globale, contenant les divers rendements ainsi qu'un coefficient de sécurité (%).

Chapitre 2:Modélisation et dimensionnement du système PV

Le nombre total des modules NM constituant le générateur PV est donné par l'expression suivante (Charge à courant continu):

$$\mathbf{NM} = \frac{\mathbf{ECH}}{\mathbf{EmodRR}} \quad \mathbf{(II.18)}$$

ECH : Energie journalière consommée par la charge (kWh)

RR : Rendement du régulateur (%)

La puissance du générateur est égale à :

$$\mathbf{PG} = \mathbf{NM Pm'} \quad \mathbf{(II.19)}$$

II-4-1-1- Calcul de nombre de modules en série

Le nombre de modules disposés en série NMS est le rapport entre la tension du régulateur utilisé TFR et la tension maximale du module Vmax :[22]

$$\mathbf{NMS} = \mathbf{TFR / Vmax} \quad \mathbf{(II.20)}$$

II-4-1-2- Calcul de nombre de branches en parallèle

On déduit le nombre de branches en parallèle comme suit :[22]

$$\mathbf{NBP} = \mathbf{NM / NMS} \quad \mathbf{(II.21)}$$

Dans le cas où la charge serait alimentée avec un courant alternatif sorti d'un onduleur, le nombre total de modules prend une nouvelle valeur :[22]

$$\mathbf{NMA} = \mathbf{NM / Rond} \quad \mathbf{(II.22)}$$

Rond : Rendement de l'onduleur (%)

On déduit la nouvelle valeur du nombre de branches parallèles comme suit :

$$\mathbf{NBPA = NMA / NMS} \quad \mathbf{(II.23)}$$

II-4-2-Dimensionnement du stockage

La détermination du parc batterie est réalisée à partir de la prise en compte d'un certain nombre de jours d'autonomie à assurer à production nulle. Ce nombre de jours varie suivant les applications et la situation géographique.[22]

Il est de plus possible d'apporter les corrections suivantes :

- Correction due à la profondeur de décharge limitée entre 0.8 selon le constructeur.
- Correction due au rendement énergétique de la batterie (~ 80 %).

La capacité du stockage (Wh) est égale à :

$$\mathbf{CSto = \frac{ECH .AUT}{PD .Rbat}} \quad \mathbf{(II.24)}$$

AUT : Autonomie en jours

PD : Profondeur de décharge (%)

Rbat : Rendement de la batterie (%)

La capacité de stockage en Ampère heure (Ah) CAh, est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{CAh = CSto / TFR} \quad \mathbf{(II.25)}$$

II-4-2-1- Calcul de nombre d'éléments en série

Nombre d'éléments en série est égal à :[22]

$$\mathbf{Nes = TFR / Te} \quad \mathbf{(II.26)}$$

Te : Tension de l'élément batterie (V), donnée par le constructeur.

TFR : Tension de fonctionnement du régulateur (V).

II-4-2-2- Calcul de nombre de branches en parallèle

Nombre de branches d'éléments en parallèle est égal à :[22]

$$\mathbf{Nbp = CAh / Ce} \quad \mathbf{(II.27)}$$

Ce : Capacité d'un élément batterie (Ah), donnée par le constructeur.

Le nombre total d'éléments batterie est décrit par la relation suivante :

$$N_e = N_{es} \cdot N_{bp} \quad (\text{II.28})$$

II-5-Méthodologie de travail

Avant de réaliser une installation photovoltaïque, il faut tout d'abord dimensionner le système PV. Dans notre étude dont la méthodologie est présentée dans la figure III-1, le dimensionnement est effectué à trois niveaux :

- 1) Calcul d'énergie consommée par la station de pompage HEH
- 2) Modélisation des rayonnements solaire et les modules PV, ainsi l'estimation d'énergie produite par module
- 3) Dimensionnement du matériel

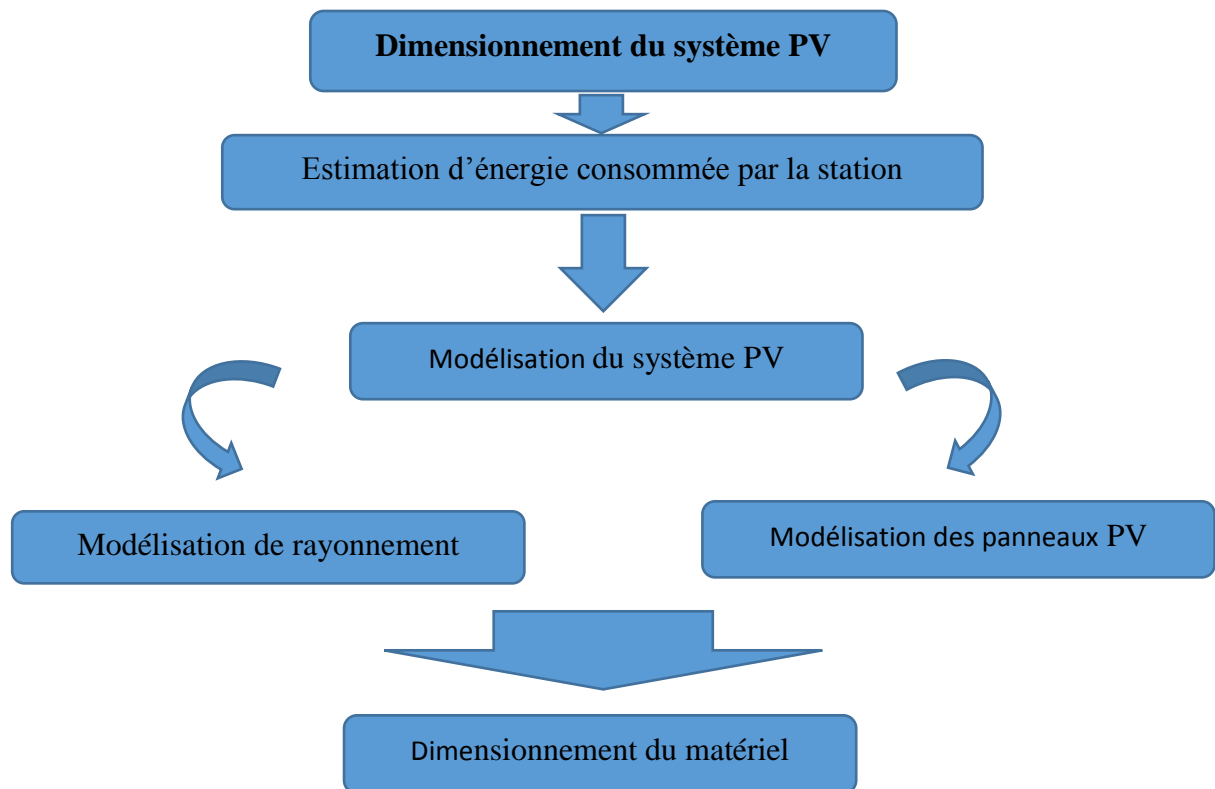
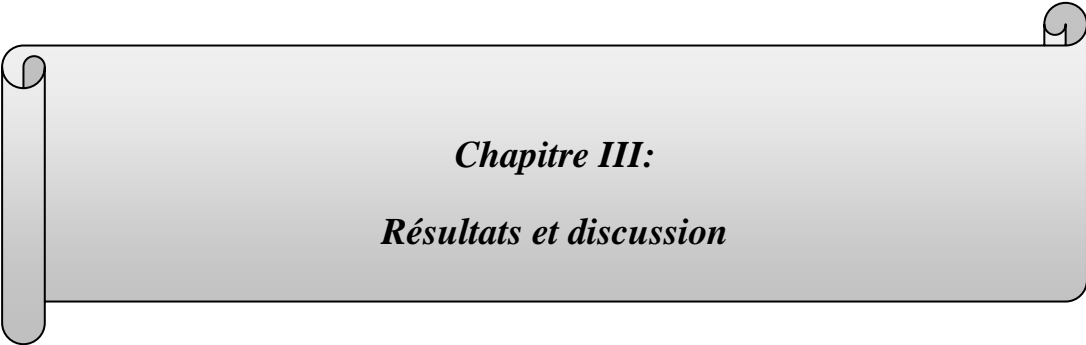


Figure (II-12)- Méthodologie du travail



Chapitre III:
Résultats et discussion

III-1- Etude de système PV :

La modélisation du système PV est effectuée pour deux plans :

- Pour un plan a inclinaison fixe à 31°
- Pour plan du système de poursuite solaire (traqueur)

Les résultats de modélisations obtenues sont :

- Mensuels : Décembre et Juillet
- Annuel : l'année 2021

III-1-1- Evolution de durée de jour

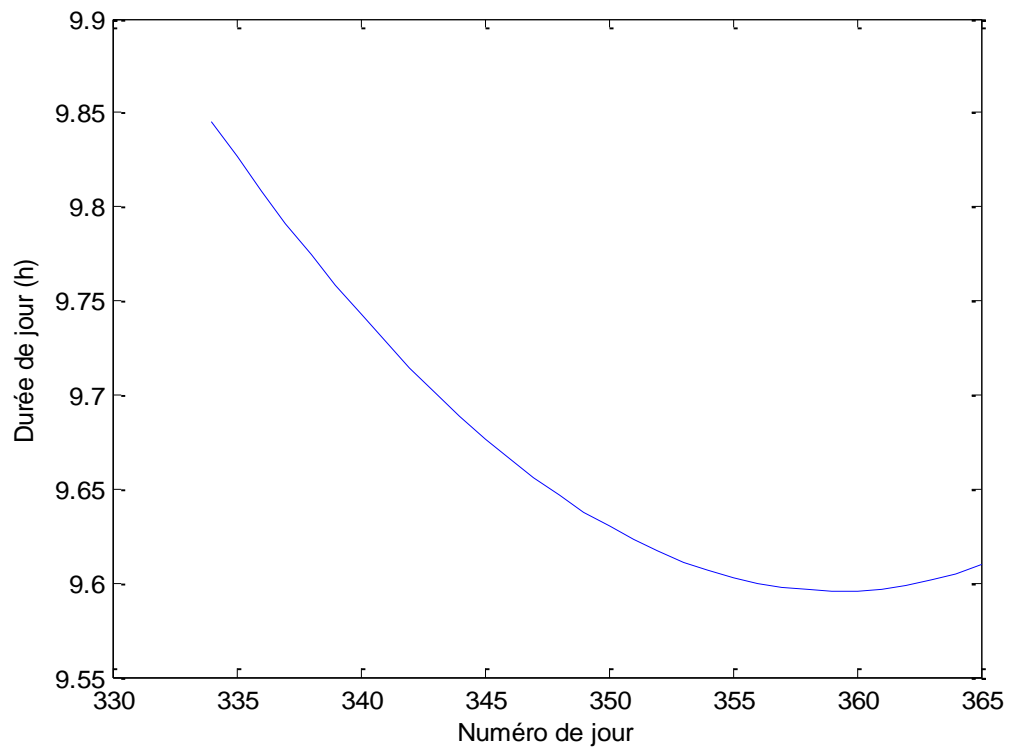


Figure (III-1)- Évolution de durée de jour au mois de Décembre

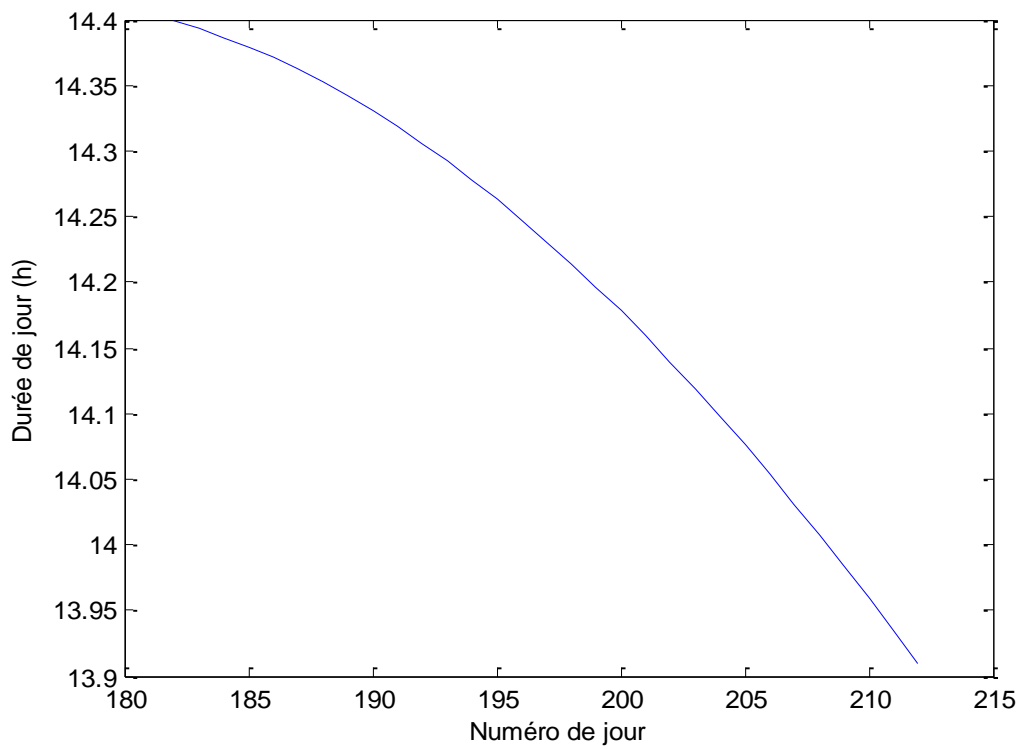


Figure (III-2)- Évolution de durée de jour au mois de Juillet

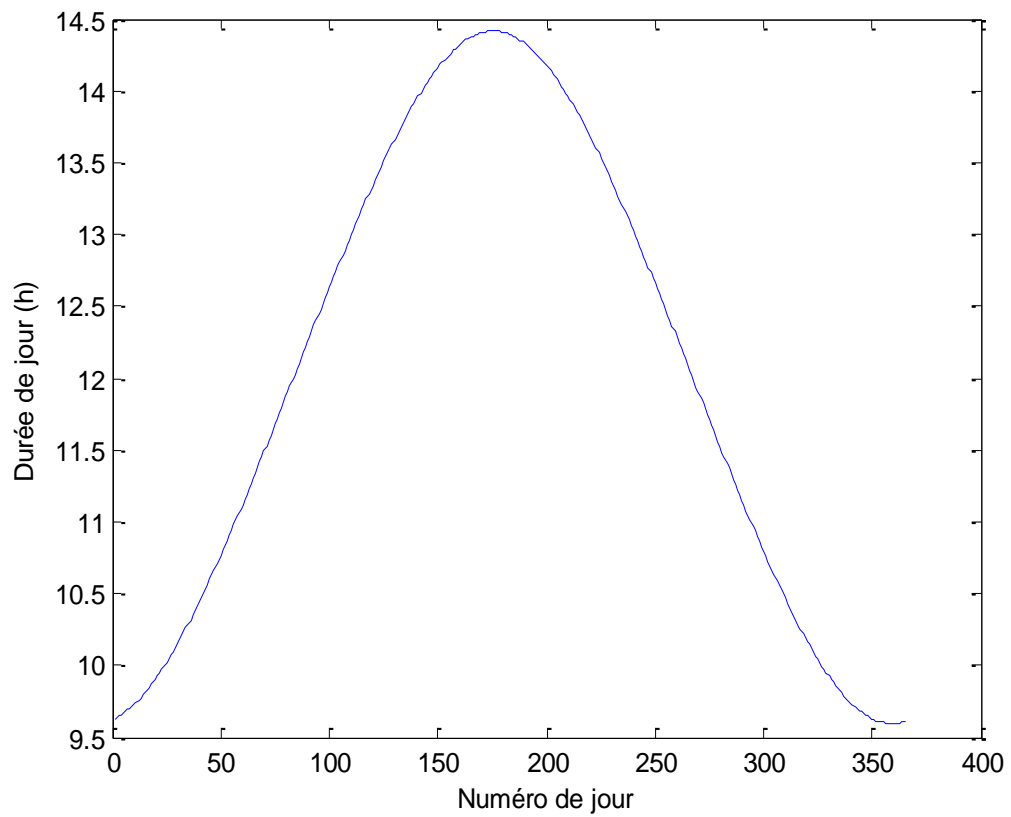


Figure (III-3)- Évolution annuel de durée de jour (2021)

Les figures (III-1), (III-2) et (III-3) représentent l'évolution de la durée de jour en fonction du numéro de jour pour :les deux mois (décembre et juillet), et pour l'année 2021.

On a constaté une diminution de durée de jour au mois de décembre et juillet, et une augmentation de cette dernière au premiers 6 mois d'année, ce différence de résultats justifier par le mouvement de la terre au tour de soleil, ce créer les quatre saisons.

La durée de jour la plus longue de l'année est 14.4165 heures pour la journée N° 175 (Solstice d'été).

III-1-2- Evolution du rayonnement

III-1-2-1- Sur plan fixe

Les figures (III-4), (III-5) et (III-6) représentent l'évolution de rayonnement en fonction du numéro de jour sur plan a inclinaison fixe à 31° , pour :les deux mois (décembre et juillet), et pour l'année 2021.

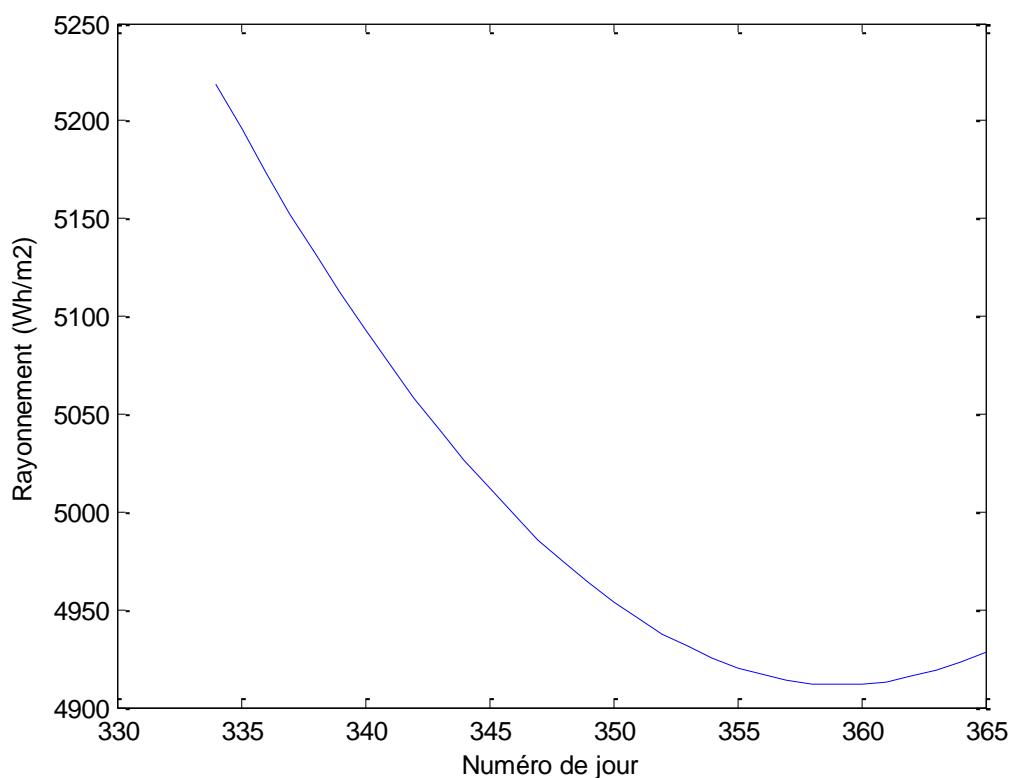


Figure (III-4)- Évolution de rayonnement au mois de Décembre

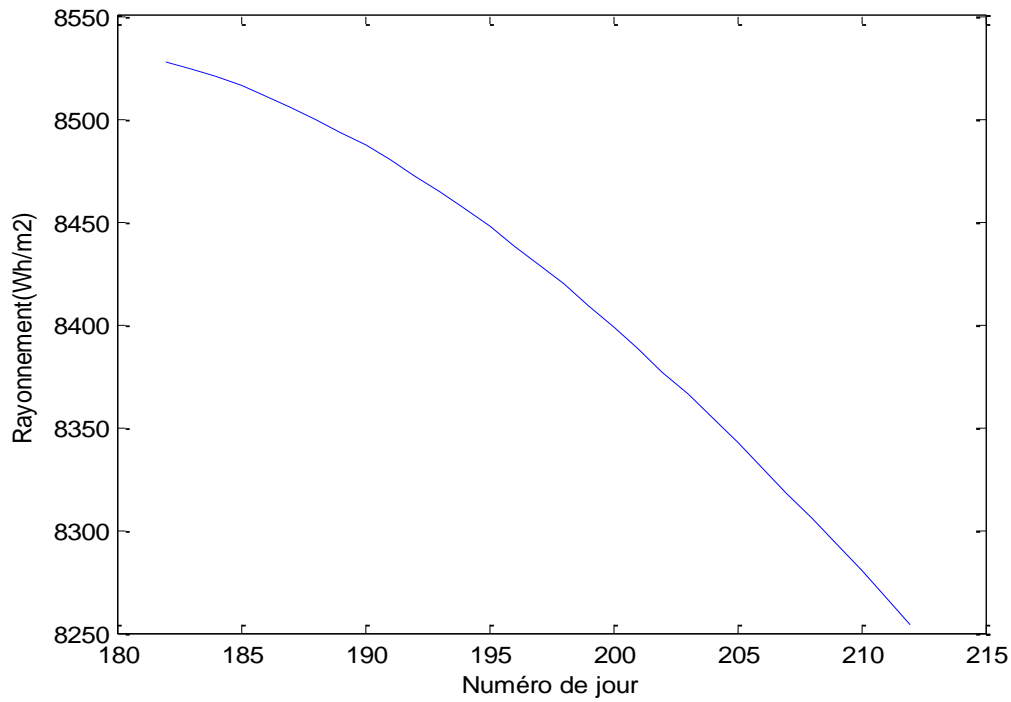


Figure (III-5)- Évolution de rayonnement au mois de Juillet

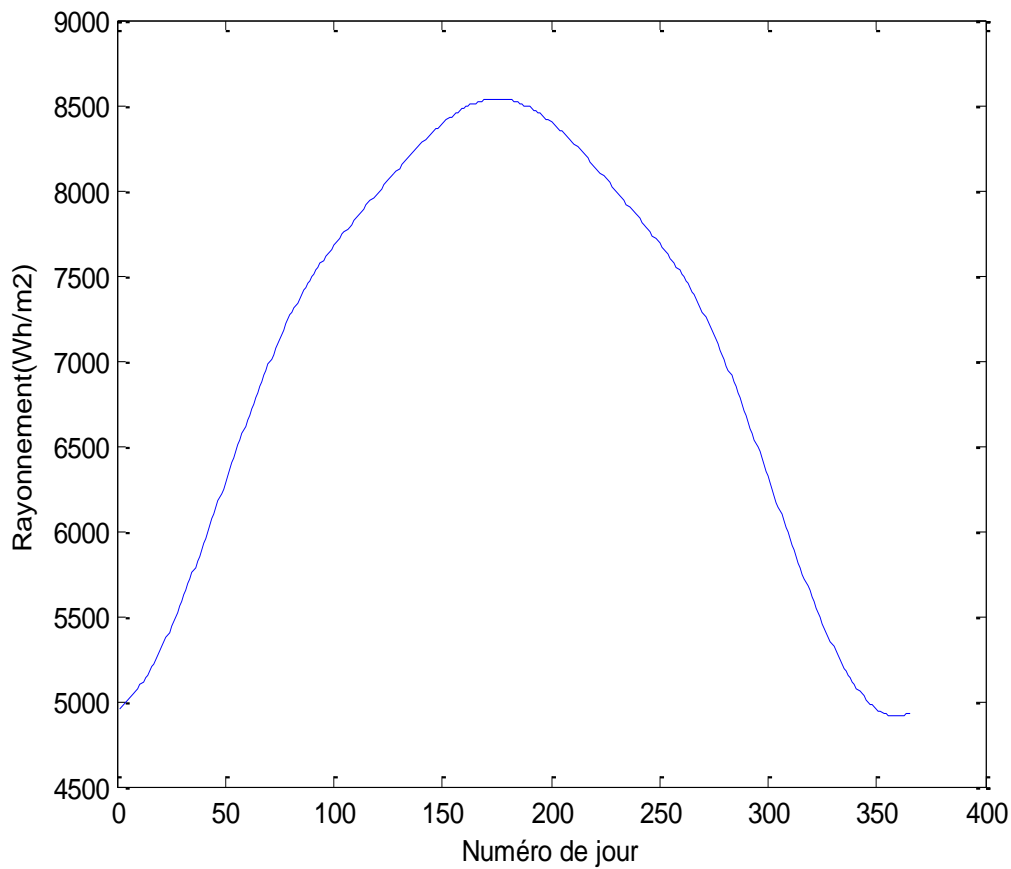


Figure (III-6)- Évolution de rayonnement pour l'année 2021

On a constaté une diminution de rayonnement au mois de décembre et juillet, et une augmentation de ce dernier au premiers 6 mois d'année, ce différence de résultats justifier par l'augmentation de durée de jour.

L'Irradiation minimal annuel de plan fixe est $4928,5 \text{Wh/m}^2$ à 31 décembre

III-1-2-2- Sur plan traqueur

Les figures (III-7), (III-8) et (III-9) représentent l'évolution de rayonnement en fonction du numéro de jour sur plan a traqueur, pour :les deux mois (décembre et juillet), et pour l'année 2021.

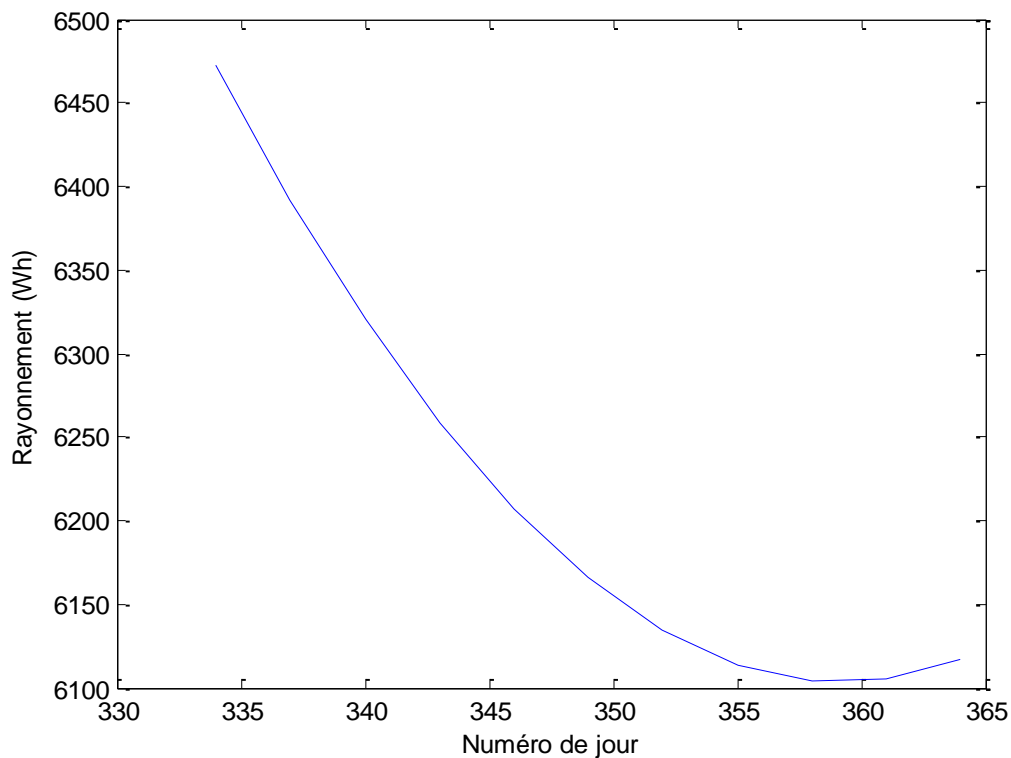


Figure (III-7)- Évolution de rayonnement au mois de Décembre

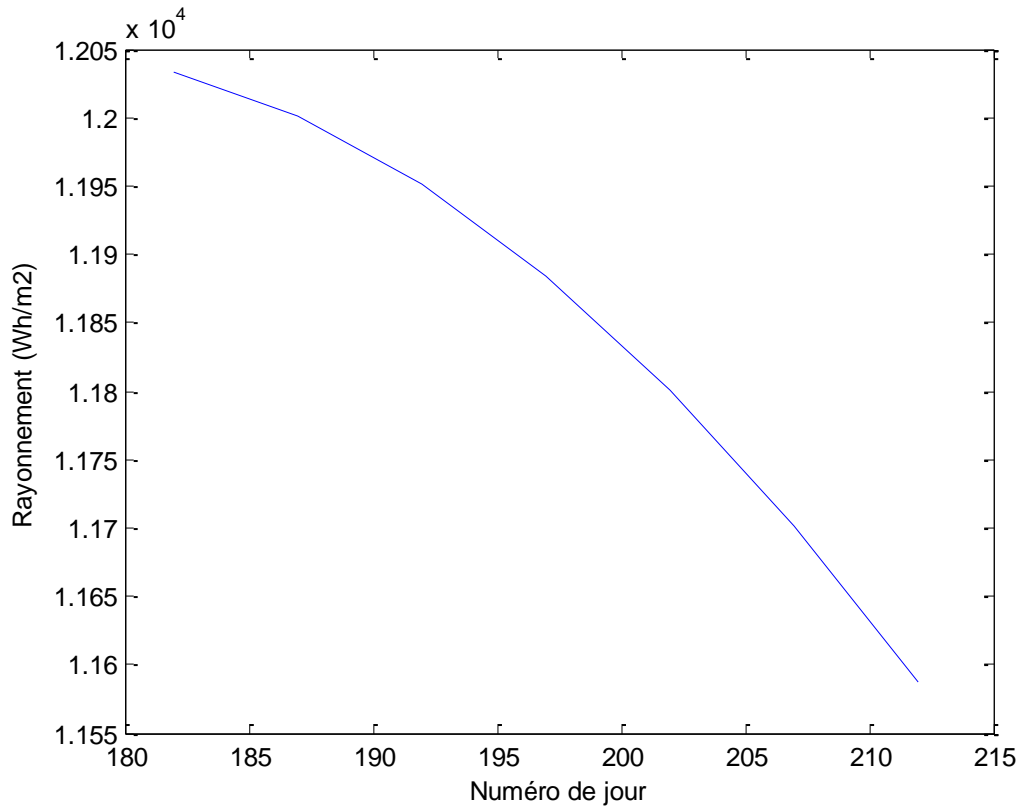


Figure (III-8)- Évolution de rayonnement au mois de Juillet

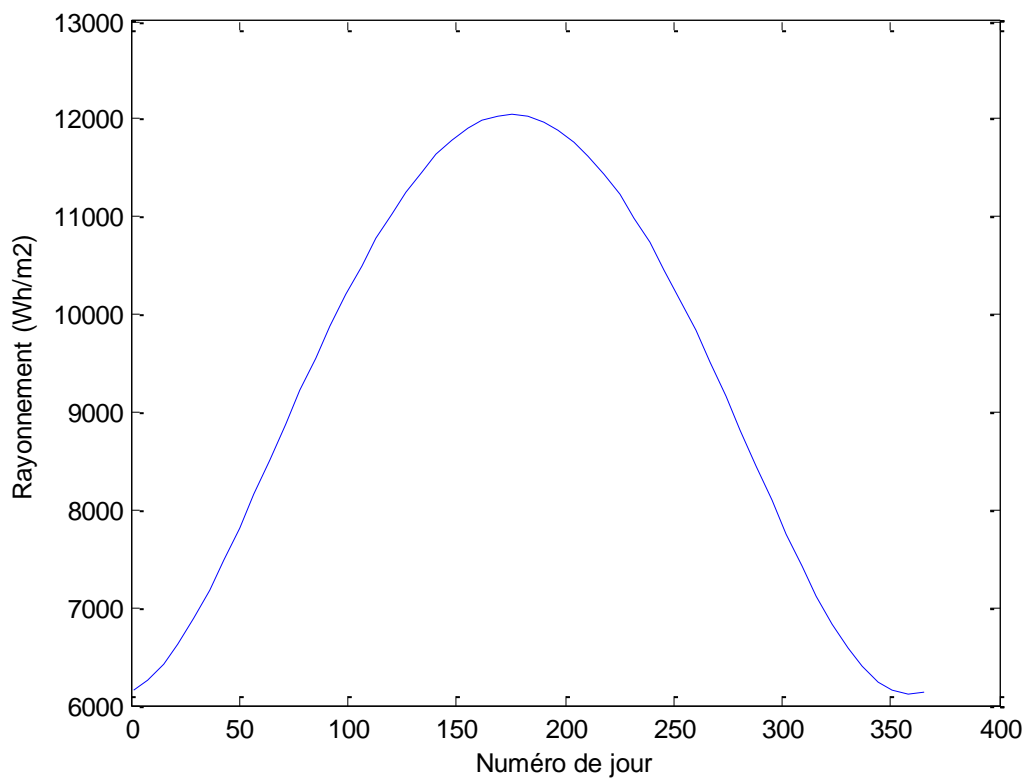


Figure (III-9)- Évolution annuel de rayonnement (l'année 2021)

Nous remarquons un écart important de rayonnement, comparant au plan fixe à 31°, cette différence de résultats justifié par l'optimisation des angles d'orientation et d'inclinaison par le système de poursuite solaire.

L'irradiation minimale annuelle de ce plan est 6124Wh/m² à 31 décembre.

III-1-3- Evolution d'énergie PV produite

III-1-3-1- Sur plan fixe

Les figures (III-10), (III-11) et (III-12) représentent l'évolution de l'énergie PV produite en fonction du numéro de jour sur plan fixe, pour :les deux mois (décembre et juillet), et pour l'année 2021.

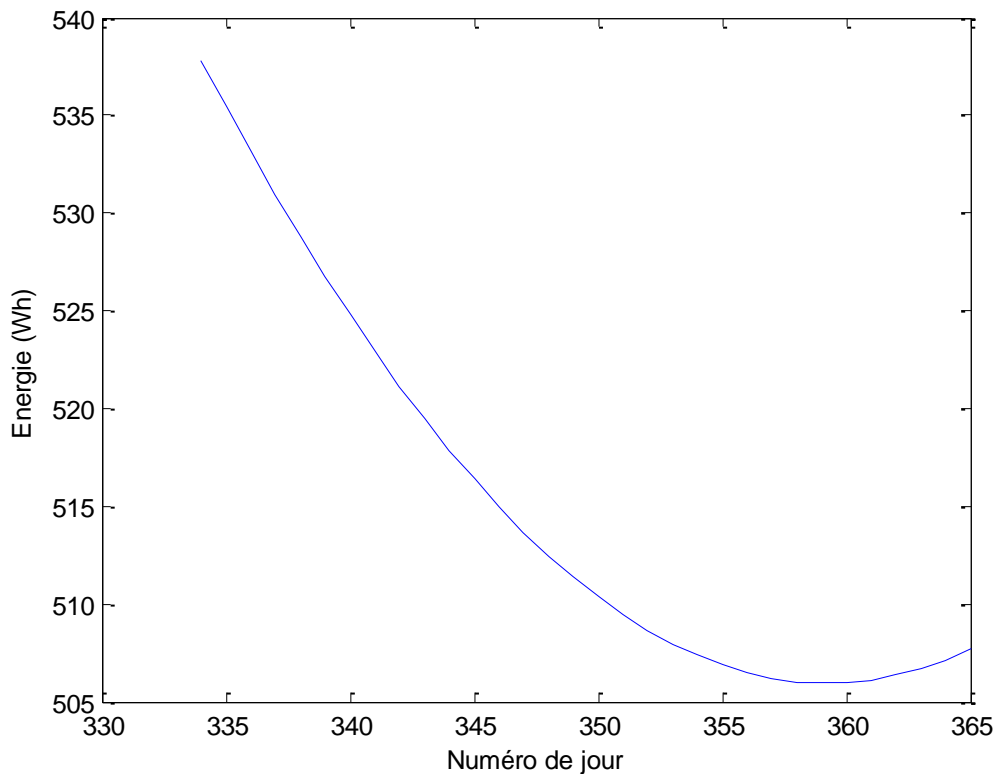


Figure (III-10)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre

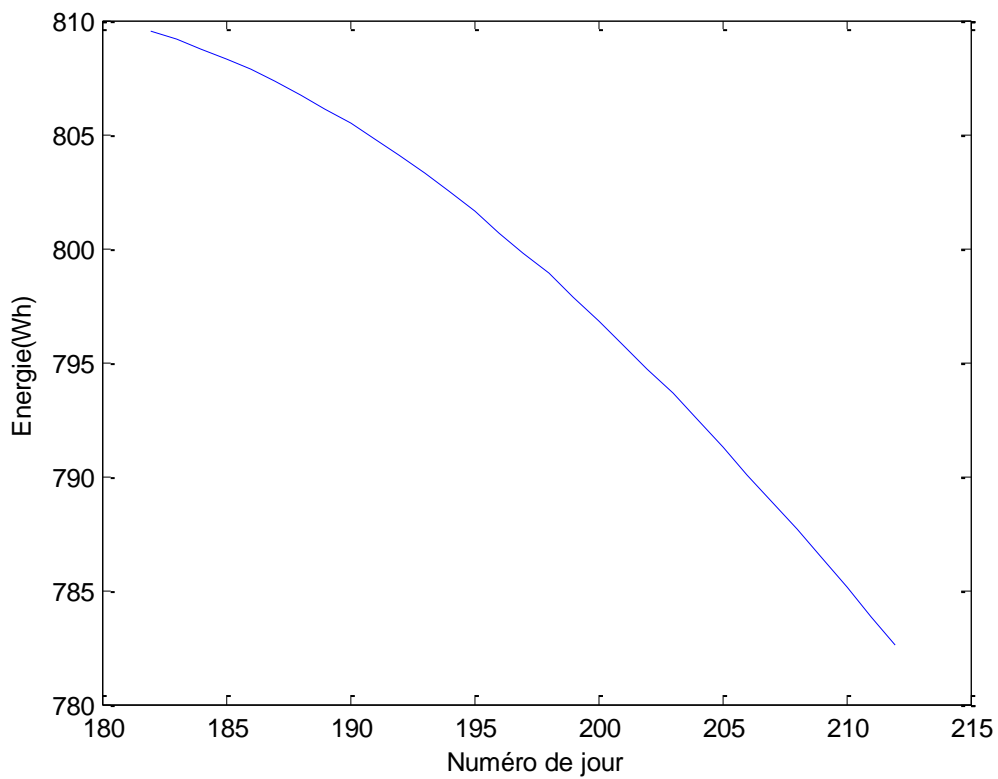


Figure (III-11)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet

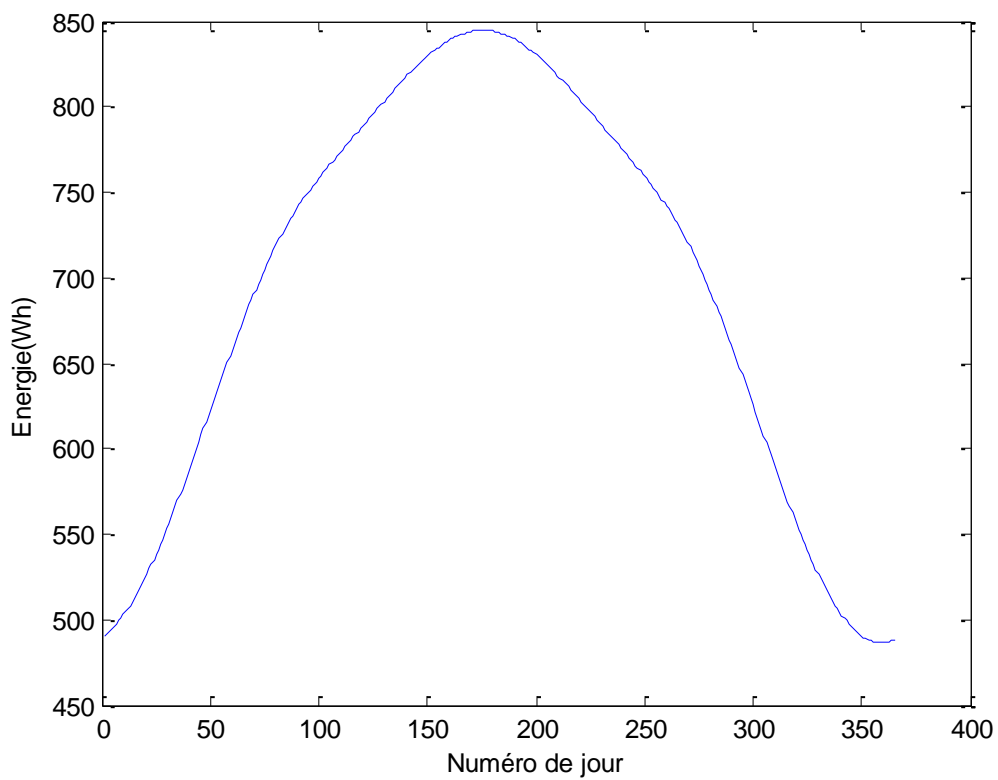


Figure (III-12)- Évolution annuel de l'énergie PV produite

On a observé une diminution de l'énergie produite au mois de décembre et juillet, et une augmentation de cette dernière au premiers 6 mois d'année, ce différence de résultats justifier par l'évolution des rayonnements solaires.

Pour un seul panneau :

- L'Énergie total du mois de décembre est 15,960 KWh avec un rendement de 0,1666
- L'Énergie total du mois de juillet est 23,956 KWh avec un rendement de 0,1534
- L'Énergie produite annuellement 253,01 KWh avec un rendement annuel de 0,1599

III-1-3-2- Sur plan traqueur

Les figures (III-13), (III-14) et (III-15) représentent l'évolution de l'énergie PV produite en fonction du numéro de jour sur plan traqueur, pour :les deux mois (décembre et juillet), et pour l'année 2021.

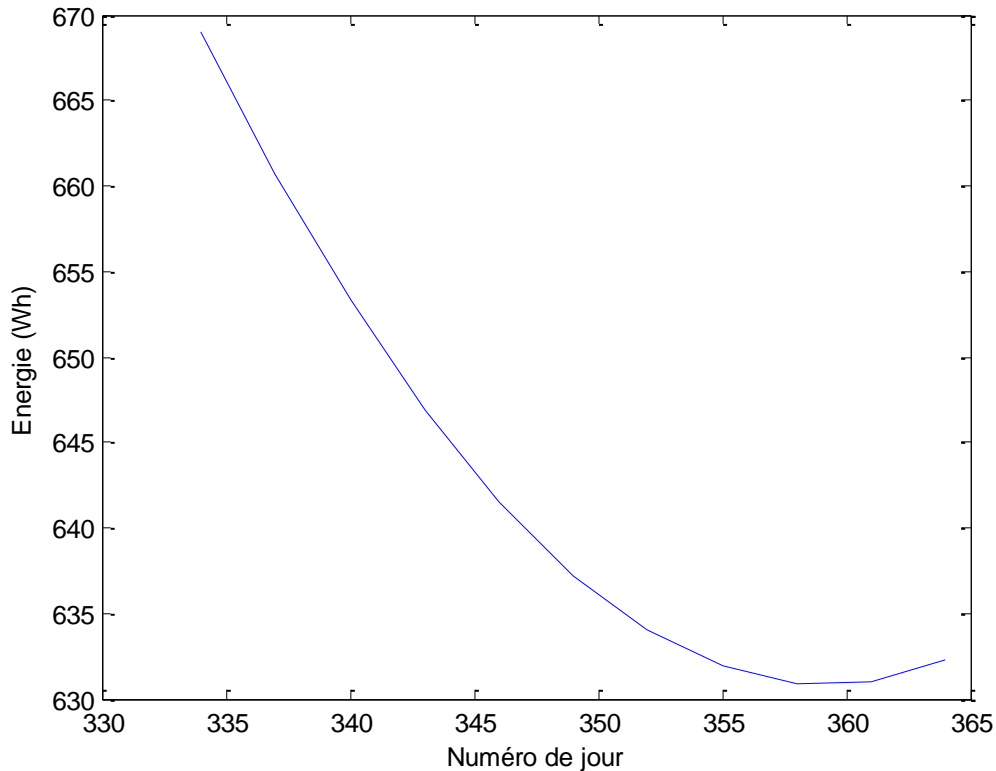


Figure (III-13)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre

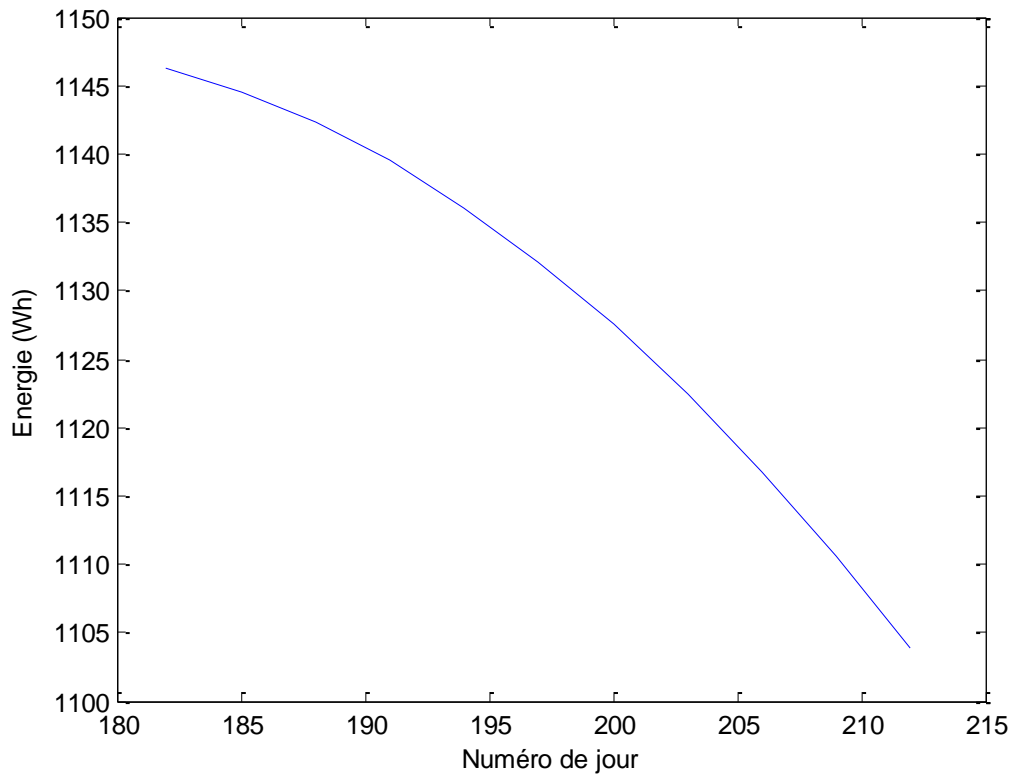


Figure (III-14)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet

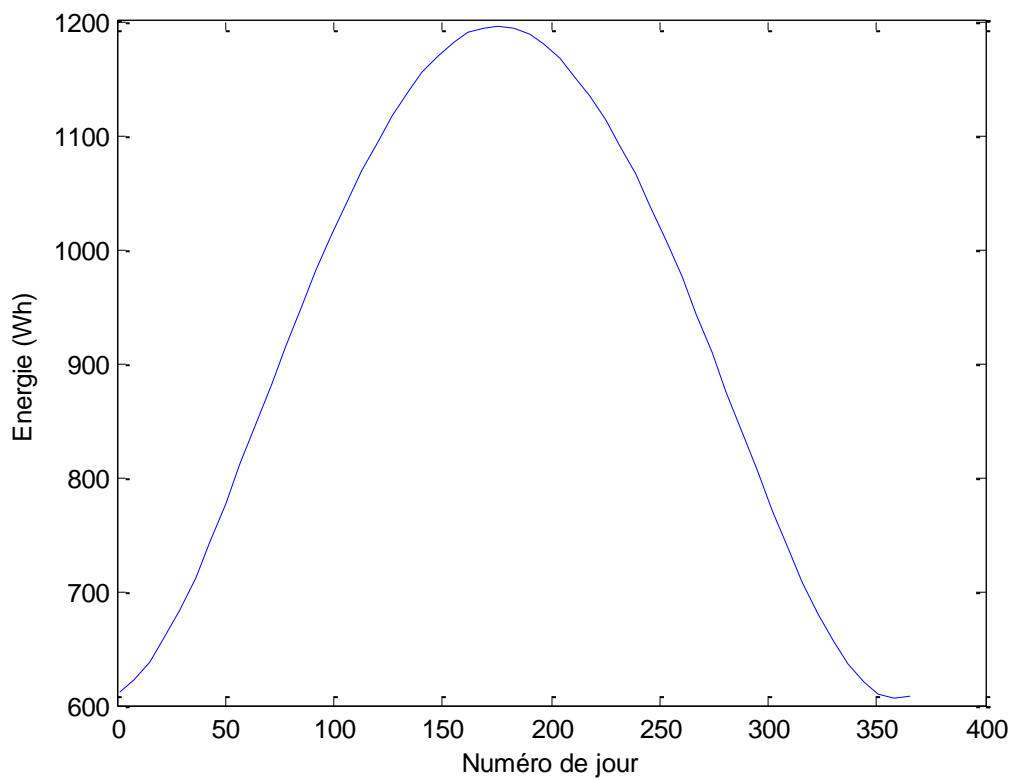


Figure (III-15)- Évolution annuel de l'énergie PV produite

Le système de poursuite solaire prend une différence d'énergie PV produite justifié par l'évolution de rayonnement solaire.

Pour un seul panneau :

- L'Energie total du mois de décembre est 19,254 KWh avec un rendement de 0.1671
- L'Energie total du mois de juillet est 33,891 KWh avec un rendement de 0.1541
- L'Energie produite annuellement 336,66 KWh avec un rendement annuel de 0.1606

III-1-4- Etude des caractéristique I-V des panneaux

Les figures (III-16), (III-17) et (III-18) représentent l'évolution des caractéristiques I-V des panneaux utilisés avec : conditions standards (25°C , $1000\text{W}/\text{m}^2$), l'évolution d'éclairement solaire, et l'évolution de températures

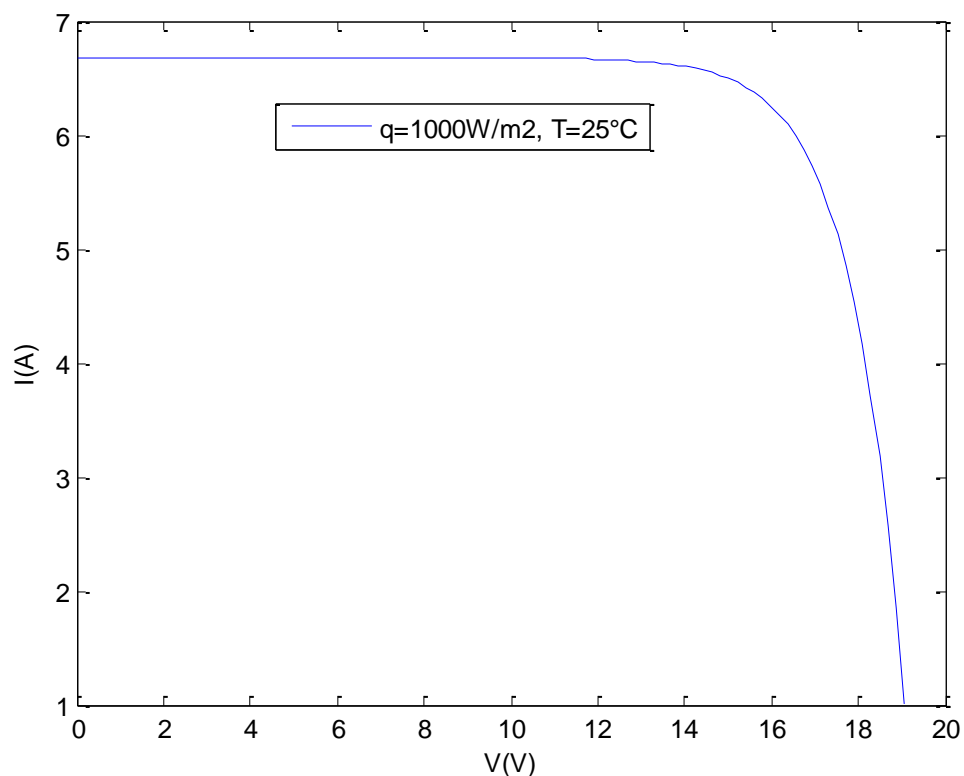


Figure (III-16)- Caractéristique I-V des panneaux PV utilisés

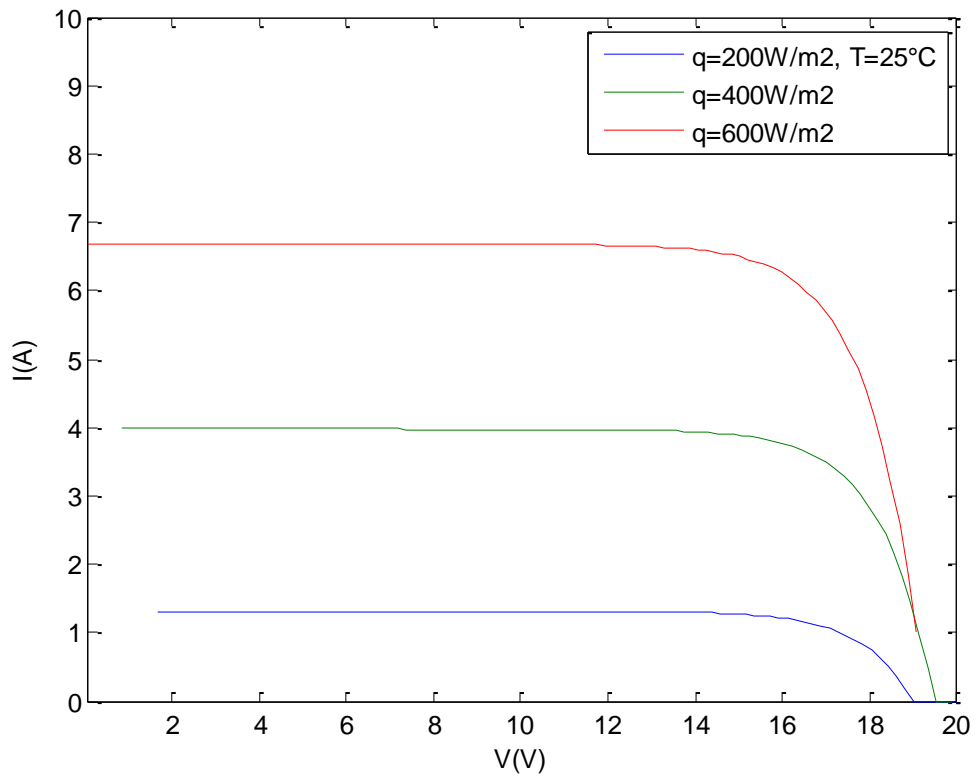


Figure (III-17)- Evolution de caractéristique I-V avec l'éclairement solaire

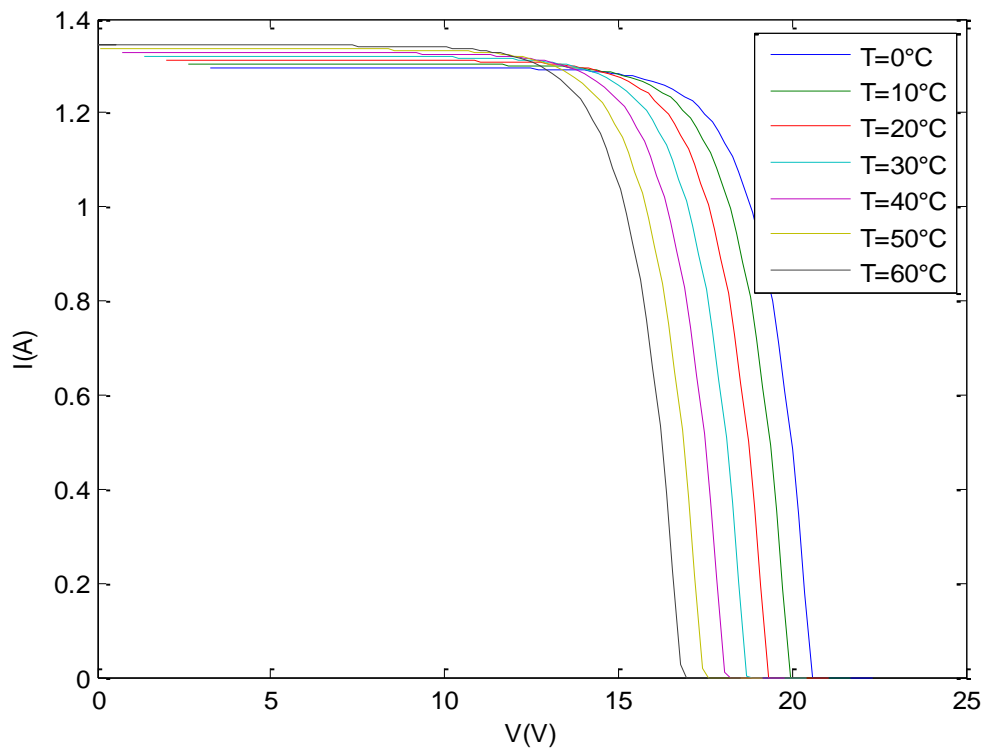


Figure (III-18)- Evolution de caractéristique I-V avec la température ambiante

Dans la figure (III-16), Pour les faibles tensions, la courbe représentant le courant est quasi constante jusqu'à une valeur de tension de 19V .La valeur du courant dans cette zone est désignée par le courant de court-circuit I_{cc} . Au de-là de cette valeur de la tension, le courant commence à diminuer, jusqu'à une valeur maximale de tension 16 V. Cette zone est appelée la zone de fonctionnement. Après cette zone, la baisse de courant continue jusqu'à annulation, point correspondant à la tension maximale celle qui nommée par la tension de circuit ouvert V_{co} .

Dans la figure (III-17), Nous remarquons sur ces figures l'augmentation du courant I et de la tension V , cette évolution engendre une élévation de courant de court circuit et la tension de circuit ouvert. On peut déduire à partir ces résultats l'augmentation de la puissance maximale de fonctionnement, ce qui montre l'importance de l'utilisation de système PV dans les zones bien irradié.

Dans la figure (III-18), Nous remarquons sur cette figure l'augmentation du courant I et la réduction de la tension, cette évolution apparait clairement dans le cas des modules PV ou le courant de court circuit augmente, et la tension de circuit ouvert diminue, cette diminution de tension et augmentation de courant sont représentés industriellement par des coefficients appelées :Coefficient de température à I_{CC} , et Coefficient de température à V_{OC} . Il est impératif de noter que cet effet de température engendre un déplacement de la zone de fonctionnement photovoltaïque.

III-2-Résultats de dimensionnement

III-2-1-Dimensionnement de couple Générateur-stockage

La consommation électrique de la station est calculée comme suit :

$$E_{ch} = P \cdot NH \quad (III-1)$$

Ou

P : Puissance de la pompe calculé comme nous avons indiqué au chapitre 2,

NH : nombre des heures de fonctionnements

Cette considération est très élevée et à cause du manque des matériels à puissance très élevés, nous avons devisé l'énergie consommée journalière aux centaines unités ; pour réaliser le dimensionnement d'une unité d'une charge compris entre 94 et 120 KWh/ jour.

Le dimensionnement est calculé pour deux situations :

- sur plan à inclinaison fixe 31°
- sur un plan avec traqueur

Les systèmes dimensionnés est trois pour chaque situation :

- 1) système a alimentation pour 24 heures (autonome)
- 2) système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement)
- 3) système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ-Photovoltaïque)

Le dimensionnement s'est effectué selon les différentes étapes écrient au chapitre 2, ainsi que selon les caractéristiques des modules PV, le régulateur et l'onduleur mentionnés au même chapitre.

Les calculs effectués pour une irradiation moyenne journalière annuelle minimale déduire à partir un programme appliquée à l'outil informatique Matlab :

- $I_{RR} = 4928,5 \text{ Wh/m}^2$ pour plan à inclinaison fixe à 31° .
- $IRR = 6124 \text{ Wh/m}^2$ pour plan avec traqueur

III-2-1-1- système a alimentation pour 24 heures (autonome)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau (III-1)- Dimensionnement du système a alimentation pour 24 heures (autonome)

Système	Inclinaison fixe à 31°	Traqueur
IRR (Irradiation moyenne journalière annuelle minimale)	4928,5wh/m ²	6820 wh/m ²
E_{mod}(Energie produite par module)	335,2115wh	443,3 wh
E_{charge} (Energie consommé par jour)	28617,242kwh	
E_{charge} (par unité)	94,135kwh	124,42kwh
N_{module}	439	439
N_{serie}(modules)	50	
N^{bre} chaines parallèles (modules)	9	
C_{sto} (Capacité du stockage)	581,08 kwh	768,02 kwh
CAh (Capacité de stockage en Ampère heure)	726,35 Ah	960 Ah
N_{serie} batteries	16	
N^{bre} chaines batteries	19	24
N^{bre} Total de batterie	304	384
Puissance produit	13680000 w	10350000 w
N^{bre} unités	304	230
Énergie produit/an	28 035, 53208 KWh	28 223, 8911 KWh

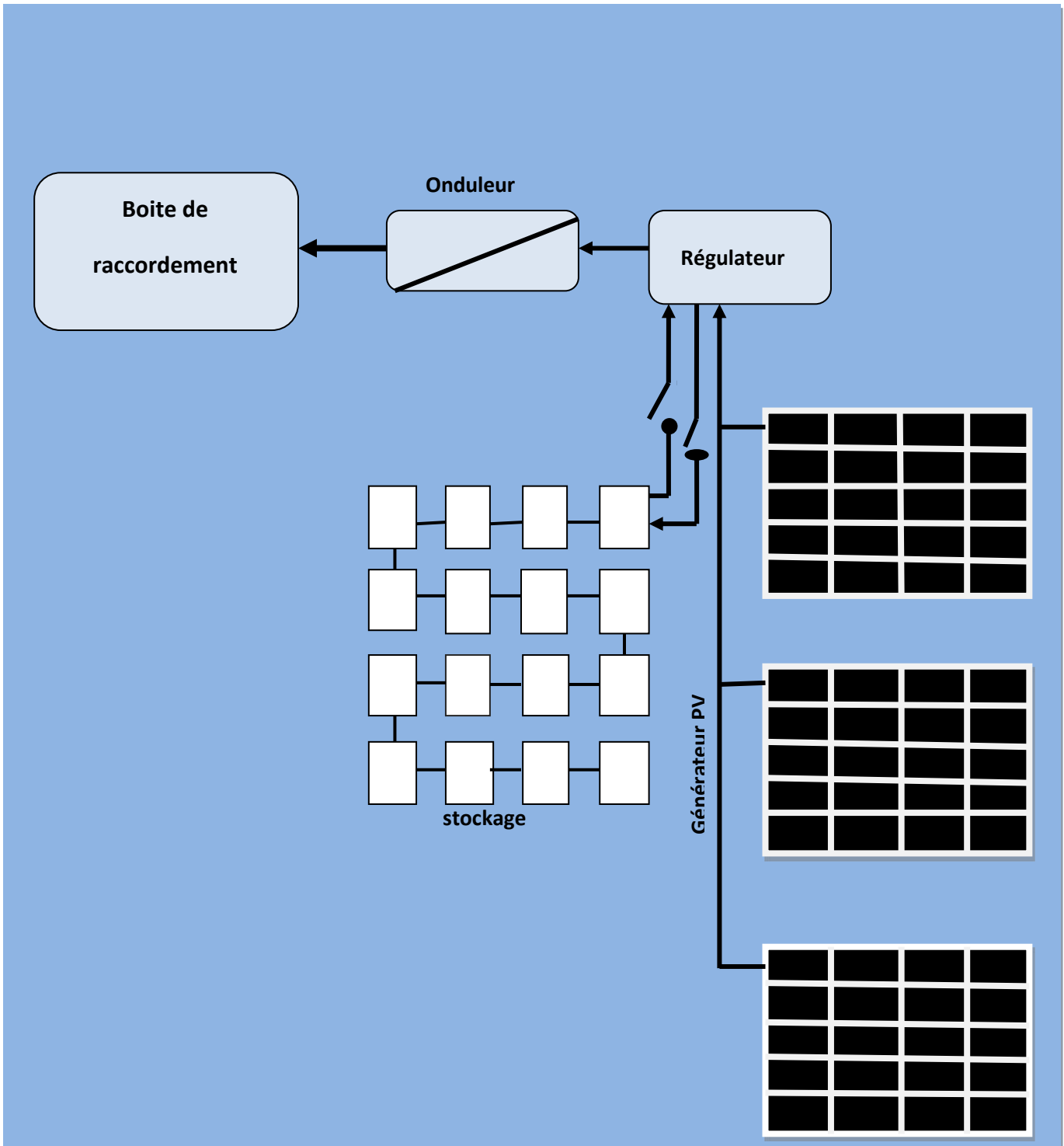


Figure (III-19)- Schéma de l'installation électrique pour plan horizontal de système PV

III-2-1-2- Système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Système	Inclinaison fixe à 31°	traqueur
Temps	14,41h	
IRR (Irradiation moyenne journalière annuelle minimale)	4928,5wh/m ²	6820 wh/m ²
E_{mod}(Energie produite par module)	335,2115wh	443,3wh
E_{charge}(Energie consommé par jour)	17182,26kwh	
E_{charge} (par unité)	94,40kwh	124,5kwh
N_{module}	440	439
N_{serie}(modules)	50	
N^{bre} chaines parallèles (modules)	9	
Puissance produit	8190000 w	6210000 w
N^{bre} unités	182	138
Énergie produit/an	20 721 ,519 KWh	20 906 ,586 KWh

Tableau (III-2)- Dimensionnement du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement)

III-2-1-3- Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Système	Inclinaison fixe à 31°	traqueur
Temps	14,41h	
IRR (Irradiation moyenne journalière annuelle minimale)	4928,5wh/m ²	6820 wh/m ²
E_{mod} (Energie produite par module)	335,2115wh	443,3wh
E_{charge} (Energie consommé par jour)	8591,31wh	
E_{charge} (par unité)	94,40kwh	124,5kwh
N_{module}	440	439
N_{serie}(modules)	50	
N^{bre} chaines parallèles (modules)	9	
Puissance produit	4095000 w	3105000 w
N^{bre} unités	91	69
Énergie produit/an	10 360, 7595KWh	10 453, 293KWh

Tableau (III-3)- Dimensionnement du Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque)

III-2-2- Comparaison des résultats

Selon les résultats obtenus des trois systèmes étudiés, et d'après la charge élevée de station de pompage HEH, on peut déduire :

- a) Le système autonome est déconseillé à cause du besoin de grande espace pour l'installation PV, ainsi le coût élevé.
- b) Le système hybride est le meilleur comme installation moins chère
- c) Comparant les deux plans (traqueur et fixe), le système de poursuite solaire présente une augmentation plus de 30% d'énergie, avec une réduction aux matériels



*CONCLUSION
GÉNÉRALE*

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles de l'énergie renouvelable, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque présente donc un intérêt particulier pour les pays en voie de développement : elle est susceptible d'améliorer très rapidement et moyennant un coût optimal les conditions de vie et de productivité des habitations géographiquement dispersées.

Notre travail a été mené de la façon suivante :

Présentation modélisations de système photovoltaïque est effectuée pour deux plans

- Pour un plan a inclinaison fixe à 31°
- Pour plan du système de poursuite solaire (traqueur)

Les systèmes dimensionnés est trois pour chaque situation :

- 1) système a alimentation pour 24 heures (autonome)
- 2) système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement)
- 3) système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ-Photovoltaïque) les résultats obtenues pour les trois modes de fonctionnement des systèmes sont comme suit:

1. pour système autonome:

- un plan a inclinaison fixe à 31° dans un Nombre unité : 304
- un plan du système de poursuite solaire (traqueur) dans un Nombre unité : 230

2. pour système a alimentation uniquement journalière:

- un plan a inclinaison fixe à 31° dans un Nombre unité : 182
- un plan du système de poursuite solaire (traqueur) dans un Nombre unité : 138

3. pour système hybride:

- un plan a inclinaison fixe à 31° dans un Nombre unité : 91
- un plan du système de poursuite solaire (traqueur) dans un Nombre unité : 69

D'après ces résultats; on peut déduire que l'énergie produit /pour un plan traqueur plus important que l'énergie produit /pour un plan a inclinaison fixe à 31° dans les trois systèmes à cause de la grande charge consommé par la station, le système hybride reste le meilleur dans l'alimentation solaire

Références bibliographiques

- [1] Cabal. Cédric « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [2] M.N.Mchalikh et CH.Hmada'' Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau '' Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [3] L'énergie solaire, thèse de magister, Bc.Monika Kokrdova
- [4] Bouden Abdelmalek, Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque, Université Mentouri Constantine, 2008.
- [5] Bendjellouli Zakaria, contribution à la modélisation d'une cellule solaire, Université de Bechar, 2009.
- [6] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Centre universitaire de Bechar, 2008.
- [7] Ch.P.De, Brichabaut, Ch.Yauge « le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique », Technique et documentation Lavoisier 1982
- [8] M.F.Shraif « Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ». Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002
- [9] T. Ben Aoum, S.Mouissi, « Etude d'un système couplant générateur photovoltaïque et une charge électrolytique », Mémoire Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2015
- [10] K. Ouabdelkader, H. Mersl, « Modélisation et contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau », Mémoire Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia 2015.
- [11] S. Bellakehal, « Conception et commande des machines amants a permanents dédiées aux énergies renouvelables », Thèse doctorat, Université de Constantine, 2010.
- [12] **B.Equer** « Le Pompage Photovoltaïque Manuel de cours », énergie solaire photovoltaïque ellipses 1993
- [13] **Y. Bakelli** « Etude et dimensionnement d'un convertisseur statique pour la connexion d'un générateur photovoltaïque » mémoire de magister, Université de Boumerdes 2005
- [14] I. Bendjamaa '' Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque '' Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012

- [15]Bouderhem Brahim,Salhi Younes, « Conception et Réalisation d'un Hacheur Boost MPPT à Base d'une Carte ARDUINO Application PV », Mémoire de Magister, Université Kasdi Marbach Ouargla le 2017.
- [16]Meddour Youcef, « Etude de raccordement d'un système photovoltaïques au réseau électrique », Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah–Ouargla, Le 2015.
- [17]**B.Azoui**, «Concept and realisation of a three phase Brushless DC Motor (BLDCM) for solar application », Thesis of doctorat of science, University of Batna 2002.
- [18]Mémoire sur la Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance Énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie http://bu.univ-chlef.dz/doc_num.php?explnum_id=445 24/04/2022
- [19]<https://www.vattenfall.fr/le-mag-energie/electricite/toutes-les-techniques-pour-produire-de-l-electricite> 25/04/2022
- [20]Ministry of energy <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=potentiels> 02/05/2022
- [21]M.L.Louazane ‘‘Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla ‘‘Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna 16/06/2008.
- [22]Bouziane Khadidja, contribution à l'optimisation des processus de production energetique photovoltaïque (application aux procedes d'epuration des eaux dans les zones rurales), Doctorat, Université KASDI-MERBAH Ouargla, 29/09/2021
- [23]S. AOUANA, R. BENAICHA Projet professionnel de fin de formation Ingénieur spécialisé, Thème «Optimisation de l'ouvrage OK1 par le changement du régime de pompage 2700 au lieu de 2400 et 3300 m3/h» Institut Algérien de pétrole (IAP), 2017.
- [24]<https://www.accuweather.com/ar/dz/ouargla>18/05/2022.
- [25]Région station de pompage haoud el hamra10/05/2022.
- [26]<http://www.univ-ueb.dz/fssa/wp-content/uploads/2020/03/Chapitre-1-Pompes-et-Station-de-Pompage-la-suite.pdf> 20/05/2022.
- [27]HAMAMMED.MOHAMMEDYAHIA,MADONICHOUKRI « Etude de système de refoulement TFNA_DZIOUA », Université AboubakrBelkayid,Tlemcen.
- [28]<https://fsv.univ-bba.dz/wp-content/uploads/2020/09/R%C3%A9sum%C3%A9-M1-Am%C3%A9nagement-HydroAgricole-Pompe-et-Station-de-pompage-.pdf> 23/05/2022.
- [29]<https://best.aliexpress.com> 02/06/2022.

[30]https://fr.ensolar.com/pv/inverterdatasheet/8236?utm_source=ENF&utm_medium=inverter_list&utm_campaign=enquiry_product_directory&utm_content=21305&_ga=2.97845151.1270026895.1605135429-1818671555.1559765968 28/05/2022.

[31]www.pylontech.com.cn, 28/05/2022.