

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE 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 de Raffinage.

Présenté par :

LAGGOUNE Mohamed laid

SERRAYE Meftah

Thème :

**Etude technico-économique d' une installation
photovoltaïque**

Soutenu publiquement :12/06/2022

Devant le jury composé de :

M^{me}. Bouziane Khadidja
Mr. Al-Ati Mokhtar
Mr. Akriche Ahmed

MA (B) Encadreur/rapporteur
MA(B) Président
MA (A) Examineur

UKM Ouargla
UKM Ouargla
UKM Ouargla

Année universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu le Miséricordieux.

Je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de faire cet humble travail et d'être entouré de tant de personnes qui m'ont aidé dans mon parcours universitaire. .

Je tiens tout particulièrement à remercier Mme Bouziane

Khadija pour avoir supervisé ce travail avec tant de compétence et d'enthousiasme, et pour sa disponibilité en cas de besoin.

Je remercie également les membres du jury, M. Mokhtar Lati et M. Akriche Ahmed, pour le bénéfice qu'ils ont apporté à notre travail en acceptant de l'étudier et de l'enrichir de leurs suggestions pour nous.

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

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à ma mère et mon père symboles d'affection et d'amour, qui ont sacrifié tout leur temps pour mon bonheur et ma réussite qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Ma très grande affection également à tous les membres de ma famille Mes oncles et Mes tentes Mes cousins et cousines qui m'ont soutenues durant toute la période de mes études. A tous mes amis et mes collègues et à tous ceux que J'aime.

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, Il est clair que l'analyse économique des solutions photovoltaïques prend de plus en plus d'importance, elle est indispensable pour prendre des décisions d'investissement en toute connaissance de cause pour pouvoir quantifier la rentabilité de l'électricité photovoltaïque.

Dans le cas de la mise en œuvre d'un projet photovoltaïque, d'une centrale photovoltaïque destinée principalement à l'alimentation énergétique, une estimation économique succincte peut être alors menée, après avoir préalablement effectué l'étude de faisabilité et de viabilité d'un tel ensemble adapté. Afin de valoriser nos résultats issus de l'étude effectuée au site d'Ouargla, il est indispensable de connaître certains coûts représentatifs de notre installation photovoltaïque.

Dans ce travail, on va réaliser une étude technico- économique pour un système PV appliquée à l'alimentation d'une unité industriel dans la région d'Ouargla, cas d'une station de pompage d'hydrocarbure HEH, les résultats obtenus sont étudié différent mode de fonctionnement.

Mots clés : Etude technico-économique, centrale PV, coût du cycle de vie, application software.

Abstract

Photovoltaic energy is a possibility of efficient and sustainable development. This is why scientific research is developing in the direction of generalizing, It is clear that the economic analysis of photovoltaic solutions is becoming increasingly important, it is essential to make informed investment decisions in order to be able to quantify the profitability of photovoltaic electricity.

In the case of the implementation of a photovoltaic project, the realization of a photovoltaic power station intended mainly for the energy supply of an isolated site, a brief economic estimate can then be carried out, after having previously carried out the feasibility and viability study of such a set adapted to rural areas. In order to enhance our results from the study carried out at the Ouargla site, it is essential to know certain representative costs of our photovoltaic installation, In this work, we will carry out a technical and economic study for a PV system applied to an isolated site in the region of Ouargla.

Keywords: Technico-economic study, PV plant, the Life Cycle Cost Analysis, Softwareapplication.

ملخص

الطاقة الكهروضوئية هي إمكانية التنمية الفعالة والمستدامة. وهذا هو سبب تطور البحث العلمي في اتجاه التعميم من الواضح أن التحليل الاقتصادي للحلول الكهروضوئية أصبح ذا أهمية متزايدة ، فمن الضروري اتخاذ قرارات استثمارية مستنيرة من أجل التمكن من تحديد ربحية الكهرباء الكهروضوئية.

في حالة تنفيذ مشروع الطاقة الكهروضوئية ، تحقيق محطة طاقة كهروضوئية مخصصة أساساً لتزويد الطاقة في موقع معزول ، يمكن بعد ذلك إجراء تقدير اقتصادي موجز ، بعد تنفيذ الجدوى والجدوى مسبقاً دراسة مثل هذه المجموعة تتكيف مع المناطق الريفية. من أجل تعزيز نتائج الدراسة التي تم إجراؤها في موقع ورقلة ، من الضروري معرفة بعض التكاليف التمثيلية لتركيبتنا الكهروضوئية ،

في هذا العمل ، سنقوم بإجراء دراسة فنية واقتصادية لنظام الكهروضوئية المطبق على موقع معزول في منطقة ورقلة.

الكلمات المفتاحية: دراسة فنية اقتصادية ، محطة كهروضوئية ، تكلفة دورة الحياة ، تطبيقات برمجية

Sommaire

N°	Titre	Page
	Introduction générale	1
	Chapitre 1: Synthèse bibliographique	
I-1	Introduction	2
I-2	L'énergie solaire :	2
I-3	Gisement solaire disponible à la surface de la terre	3
I-3-1	Gisement solaire	3
I-3-2	Rayonnement solaire	4
I-4	Les systèmes photovoltaïques	4
I-4-1	Type des systèmes PV	6
I-4-1-1	Les systèmes autonomes	7
I-4-1-2	Les systèmes PV hybrides	7
I-4-1-3	Les systèmes raccordés aux réseaux	8
I-4-2	Structure du système PV connecté au réseau	10
I-4-3	Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur PV	11
I-5	La conversion photovoltaïque	12
I-5-1	Définition	12
I-5-2	La cellule solaire	12
I-5-3	Les différents types de cellules solaires (cellules PV)	14
I-5-4	Principe de fonctionnement d'une cellule solaire PV [20]	15
I-6	Application des systèmes photovoltaïques	16
I-6-1	Installation photovoltaïque raccordée au réseau	19
I-6-1-1	Classification des centrales photovoltaïques connectées au réseau	20
I-6-1-2	Composition d'un système photovoltaïque raccordé réseau :	21

I-6-2	Installations autonomes :	22
I-7	Options de consommation de l'énergie photovoltaïque :	24
I-7-1	Exportation vers le réseau :	25
I-7-1-1	Installation PV raccordée au réseau avec injection totale de	25
I-7-2	L'autoconsommation	26
Chapitre 2: Modélisation et dimensionnement du système PV		
II-1-	Modélisation du système photovoltaïque	25
II-1-1	Modèle de Rayonnement solaire	25
II-1-1-1	Hypothèses simplificatrices	25
II-1-1-2	Modèle d'éclairement solaire sur un plan horizontal	25
II-1-1-3	Calcul du rayonnement solaire sur un plan fixe (inclinaison et orientation fixe) .	26
II-1-1-4	Calcul du rayonnement solaire sur des différents plans	26
II-1-1-5	Organigramme du modèle de rayonnement	26
II-1-2	Modèle du générateur photovoltaïque	29
II-1-2-1	Variation de la tension à circuit ouvert	30
II-1-2-2	Point de fonctionnement optimum, (V_m , I_m)	30
II-1-2-3	Rendement photovoltaïque	31
II-1-2-4	Rendement du système poursuit solaire	32
II-1-3	Modèle de la température	32
II-1-3-1	Température de jonction	32
II-1-3-2	Température ambiante	32
II-2	Présentation de l'unité industrielle:	33
II-2-1	Présentation du site	33
II-2—2	Historique de la base Haoud El Hamra	34
II-2-3	Puissance de pompe:	35
II-2-3-1	Pompes centrifuges:	35

II-3	Présentation de système photovoltaïque	37
II-3-1	Panneaux photovoltaïque	37
II-3-2	Système de regulation:	38
II-3-3	Système de conversion	39
II-3-4	Système de stockage	40
II-3-5	Système poursuite solaire	41
II-3-6	Charge:	42
	Estimation du coût d'installation PV	43
II-4		
	<i>Chapitre III: Résultats et discussion</i>	
III-1-	Méthodologie de travail	45
III-2-	Etude de système PV :	45
III-2-1-	Evolution de durée de jour	46
III-2-2-	Evolution du rayonnement	48
III-2-2-1-	Sur plan fixe	48
III-2-2-2-	Sur plan traqueur	50
III-2-3-	Evolution d'énergie PV produite	53
III-2-3-1-	Sur plan fixe	53
III-2-3-2	Sur plan traqueur	56
III-2-4-	Etude des caractéristique I-V des panneaux	59
III-3-	Résultats d'étude technico-économique	63
III-3-1-1-	Système a alimentation pour 24 heures (autonome)	63
III-3-1-2-	Système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement)	66
III-3-1-3-	Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ-champ Photovoltaïque)	68
III-3-2	Comparaison des résultats	69
	Conclusion générale	70

Listes des figures

N°	Titre de la figure	Page
I-1	principe du raccordement d'un module l'énergie <i>PV</i> au réseau électrique.	5
I-2	Système PV autonome avec batterie.	7
I-3	Système PV hybride.	8
I-4	Structure d'un système PV connecté au réseau.	9
I-5	Structure d'un système PV connecté au réseau.	10
I-6	Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module PV	11
I-7	Schéma simplifié illustratif d'une cellule solaire .	13
I-8	Principe de la conversion photovoltaïque.	15
I-9	Structure de la chaîne hybride (éolienne, photovoltaïque)	16
I-10	Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie	17
I-11	Représente un système PV connecté au réseau électrique	19
I-12	Les constituants d'un système PV	20
I-13	Système photovoltaïque directement relié au réseau	22
I-14	Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie	22
I-15	Schéma de principe de la configuration d'injection du surplus d'énergie	23
I-16	Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie	24
II-1	Organigramme de calcul du rayonnement solaire sur différents plans	29
II-2	Organigramme des caractéristique I-V du module PV.	31
II-3	Hauteur manométrique d'une pompe	36
II-4	Panneau solaire polycristallin	38
II-5	Régulateur MPPT Rosefinch	39

II-6	Onduleur 50 KW solar charger	31
II-7	Batterie de lithium	41
II-8	Système poursuite solaire mono axiale	42
III-1	Méthodologie du travail	44
III-2	Évolution de durée de jour au mois de Décembre	46
III-3	Évolution de durée de jour au mois de Juillet	46
III-4	Évolution annuel de durée de jour (2021)	46
III-5	Évolution de rayonnement au mois de Décembre	47
III-6	Évolution de rayonnement au mois de Juillet	48
III-7	Évolution de rayonnement pour l'année 2021	48
III-8	Évolution de rayonnement au mois de Décembre	49
III-9	Évolution de rayonnement au mois de Juillet	50
III-10	Évolution annuel de rayonnement (l'année 2021)	50
III-11	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre	51
III-12	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet	52
III-13	Évolution annuel de l'énergie PV produite	52
III-14	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre	54
III-15	Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet	54
III-16	Évolution annuel de l'énergie PV produite	55
III-17	Caractéristique I-V des panneaux PV utilisés	56
III-18	Evolution de caractéristique I-V avec l'éclairement solaire	57
III-19	Evolution de caractéristique I-V avec la température ambiante	57

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
	Chapitre II: Modélisation et dimensionnement du système PV	
II-1	Les données climatiques de site	33
II-2	Caractéristiques des panneaux solaires polycristallins	38
II-3	Caractéristiques des Régulateurs solaires MPPT	39
II-4	Caractéristiques des onduleurs solaires	40
II-5	Caractéristiques des batteries solaires	41
II-6	Caractéristiques de traqueur solaire	42
	<i>Chapitre III: Résultats et discussion</i>	
III-1	Coût du système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à inclinaison fixe	58
III-2	Coût du système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à traqueur	59
III-3	Coût du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement) sur plan à inclinaison fixe	59
III-4	Coût du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement) sur plan à traqueur	60
III-5	Coût du Système hybride à alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à inclinaison fixe	60
III-6	Coût du Système hybride à alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à traqueur	61

Liste des symboles

Symbole	Définition	Unité
Df	Rayonnement diffus plan incline	W/m ²
Dh	Rayonnement diffus plan horizontal	W/m ²
gJ	Durée de jour	Heure
Gf	Rayonnement global sur plan incliné	W/m ²
H	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
NOCT	Température nominale de fonctionnement de cellule solaire	°C
PV	Photovoltaïque	
Q	Charge de l'électron	1,6.10 ⁻¹⁹ C
R	Résistance	Ω
R_{pv}	Rendement photovoltaïque	
R_{tr}	Rendement du système poursuit solaire	
Rf	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 connections des cellules	Ω
S	Section du câble	mm ²
Sf	Rayonnement direct plan incline	W/m ²
SH	Rayonnement direct plan horizontal	W/m ²
Ta	Température ambiante	°C
Tc	Température de jonction	K
TL	Temps Légal	H
Tmax	Température maximale journalière	°C

T_{min}	Température minimale journalière	°C
T_{moy}	Température moyenne journalière	°C
TSC	Temps solaire au coucher du soleil	°
TSL	Temps solaire au lever du soleil	°
V	Tension à la borne de cellule	V
V_{coo}	Tension à circuit ouvert de référence	V
V_m	Point de tension à la puissance maximale	V
V_T	Tension thermique	V
ΔT	Variation de la température	°C
ΔU	Chute de tension	V
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
β_f	Inclinaison	°
Ψ	Angle d'azimute	°
α_f	Angle d'orientation	°
P	Albédo	
P_c	Résistivité	Ω.m
V_{co}	La tension de circuit ouvert	(V).
η_{PV}	rendement du système PV.	(%).
H_{gh}	rayonnement global horizontal, diffusé et direct	(Wh/m ²).
P_m	puissance maximale	
E	Eclairement	(W/m ²)
D_t	Diamètre de soleil	1.27.10 ⁻⁷ m
T_{SV}	Temps solaire vrai.	
I	l'angle optimale	
K	constante de Boltzmann	(1381X10 ⁻²³ J/K).
N	facteur de non idéalité de la jonction compris entre 1et 5 dans la pratique	
T	température effective de la cellule en kelvin	

V	la tension à la borne de cellule	
E	charge d'électron	($1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).
Im	point du courant à la puissance maximale.	
Tref	La température de référence	(298 °K).



***Introduction
générale***

Introduction générale

Ces dernières années, en raison de la prolifération et du développement généralisé des industries, la demande mondiale d'énergie a changé rapidement et les ressources énergétiques naturelles telles que l'uranium, le gaz naturel et le pétrole sont en déclin. Pour répondre à la demande énergétique, la recherche a conduit aux énergies renouvelables. L'une des sources d'énergie renouvelables pouvant répondre à la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, qui est propre, silencieuse, disponible et gratuite. Cela explique pourquoi son utilisation a connu une croissance importante dans le monde entier.

C'est une énergie électrique produite au moyen de panneaux solaires, dispositifs qui permettent de récupérer une partie de l'énergie du rayonnement solaire pour la convertir en énergie électrique ; c'est une énergie renouvelable, non toxique et silencieuse. L'électricité ainsi produite peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution.

Ce travail est une contribution à la recherche paramétrique du développement des systèmes photovoltaïques appliqués dans la région de Ouargla, nous avons d'abord étudié le contexte et les problématiques du solaire PV. Ceci est essentiel pour une compréhension complète du comportement des générateurs PV.

L'objectif de cette recherche est de modéliser le rayonnement solaire, les générateurs photovoltaïques et le stockage pour estimer le coût d'une installation photovoltaïque appliquée à une unité industrielle.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons appris la capacité des générateurs et du stockage d'énergie, ainsi que la sélection de modules PV et de batteries de la taille appropriée.

Le présent manuscrit constitue de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'énergie solaire. Nous présentons tout d'abord, un état de l'art l'énergie solaire photovoltaïque qui nous présentons les systèmes qui sont actuellement établis dans la pratique.
- Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés au dimensionnement et de conception d'installation photovoltaïque au sein de Ouargla (Haoud El Hamra), à savoir les différents éléments constituant le système PV (batterie, régulateur, onduleur...).
- Dans le troisième chapitre nous consacrons à l'étude par simulation numérique : nous présentons les résultats de modélisation sur l'outil MATLAB. Ensuite, nous représentons les résultats obtenus de l'installation PV, dernièrement fera l'objet de la rentabilité économique et de l'investissement par rapport au prix de la consommation électrique du réseau En finalisé ce travail par conclusion générale.



Chapitre I
Synthèse
bibliographique

Chapitre I: Synthèse bibliographique

1 Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie accessible à tous (industriels, collectivités et particuliers). Grâce à celle-ci, il est possible de produire trois types d'énergies : l'énergie calorifique avec les installations solaires thermiques (chauffe-eau solaire ou climatiseur solaire), l'énergie électrique avec les installations solaires photovoltaïques et le solaire à concentration thermodynamique . [1].

Comme pour toutes les applications de l'énergie solaire, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude des systèmes photovoltaïques. Par gisement solaire, on entend ici les différentes caractéristiques du rayonnement solaire, susceptibles d'influencer les performances d'un système en un lieu donné.[2]

I-2 L'énergie solaire :

Le soleil est une étoile formée de gaz extrêmement chauds, il est constitué de 75% d'hydrogène, 23% d'hélium et 2% d'autres molécules. Les atomes d'hydrogène sont transformés en hélium par une réaction de fusion thermonucléaire massive. La masse est alors transformée en énergies selon la formule d'Einstein ($E=mc^2$). Cette réaction maintient la surface du soleil à une température approximative de 5800 °K. L'énergie du soleil est transformée sous forme de rayonnement dans l'espace de manière uniforme et dans toutes les directions. Lorsqu'elle a parcouru 150 millions de kilomètres du soleil vers la terre, sa densité extraterrestre totale diminue à 1367 W/m². Cette valeur est connue sous le nom de constante solaire. En une heure, la terre reçoit suffisamment d'énergie du soleil ($1,2 \cdot 10^7$ W) pour combler ses besoins pour presque une année. Les panneaux photovoltaïques permettent de profiter de cette énergie gratuite en la transformant en énergie électrique [3.4].

L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

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 nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [5].

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-3 Gisement solaire disponible à la surface de la terre

Le soleil est une sphère gazeuse d'hélium et dihydrogène (80%H₂, 19%He et 1% autres éléments), sa densité moyenne est de 76000 Kg/m³ 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. 10⁹ ans, le diamètre du soleil atteint 1391000Km [6]. 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 8.10⁶ à 40.10⁶ K, et la pression un milliard d'atmosphère [5].

I-3-1Gisement solaire :

-Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement Solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire [7.8].

I-3-2Rayonnement solaire :

-Le rayonnement solaire est de nature électromagnétique, provenant essentiellement d'une série d'interactions composites émises par le soleil. Le rayonnement électro magnétiqueé mis a un double aspect ondulatoire et corpusculaire correspondant à deux champ, l'un électrique et l'autre magnétique, il se déplace dans le vide avec une vitesse de 299793Km/s.[6.9]

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-4 Les systèmes photovoltaïques

Dans des conditions d'ensoleillement standards (1000W/m^2 ; 25°C), la puissance maximale délivrée par une cellule en silicium de 150 cm^2 est d'environ $2,3\text{ Wc}$ 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 [Mondol et al. 2008]. 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 [31].

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.

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

Chapitre I: Synthèse bibliographique

d'électricité au cours du temps. Le PR est calculé par le rapport entre le rendement mesuré et celui théorique. Son expression analytique est donnée par l'équation (1-1).

$$P_{AC} = PR \cdot \eta_{PV} \cdot x = \frac{Hgh}{\Delta t} \cdot S \quad (1-1)$$

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.

Dans le cas d'un site connecté au réseau, l'onduleur fait passer l'électricité photovoltaïque du site de production au réseau. En résumé, un onduleur n'ondule pas, il convertit.

La **figure (I-1)** détaille le principe d'utilisation d'une source renouvelable d'énergie de type solaire raccordée au réseau électrique.

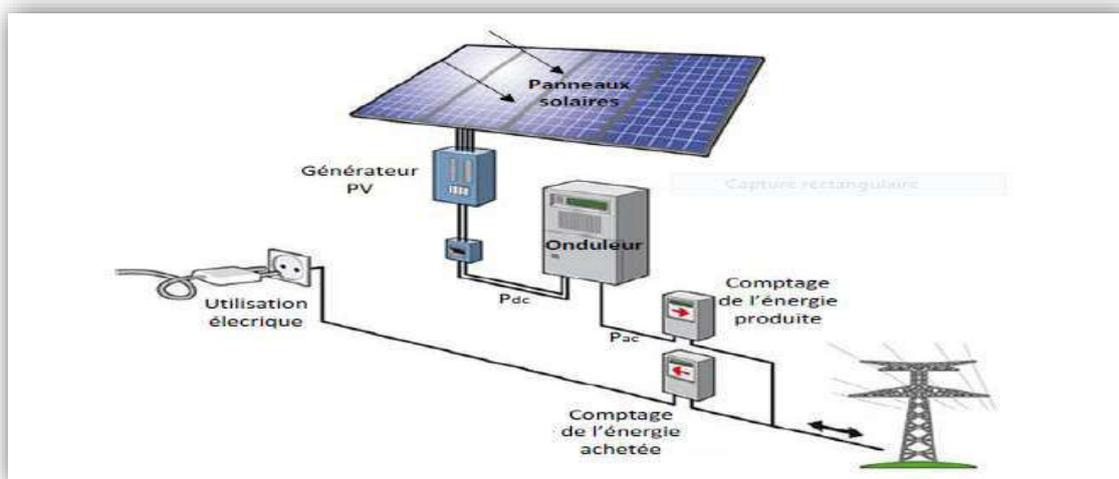


Figure (I-1): principe du raccordement d'un module l'énergie PV au réseau électrique

Chapitre I: Synthèse bibliographique

Dans les différentes sections de ce paragraphe que nous venons de voir, nous avons illustré les différentes grandeurs liées à l'utilisation de modules PV. Les différentes manipulations qui seront traitées ultérieurement nécessitent de posséder un certain nombre de données expérimentales, afin de paramétrer et tester les différents modèles de prévision objet de Cette thèse. Ainsi la section suivant détaille les bases de données, essentiellement météorologiques, utilisées dans cette étude.

I-4-1 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.

I-4-1-1 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-2)** [10].

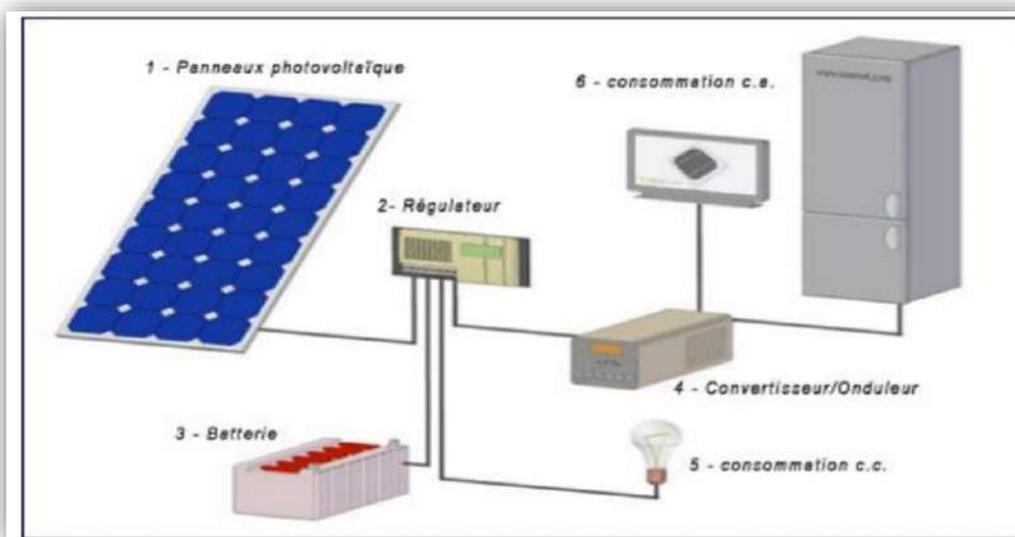


Figure (I-2): Système PV autonome avec batterie

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-4-1-2 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 batterie

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 [11].

Un système hybride est représenté par la **figure(I-3)**.

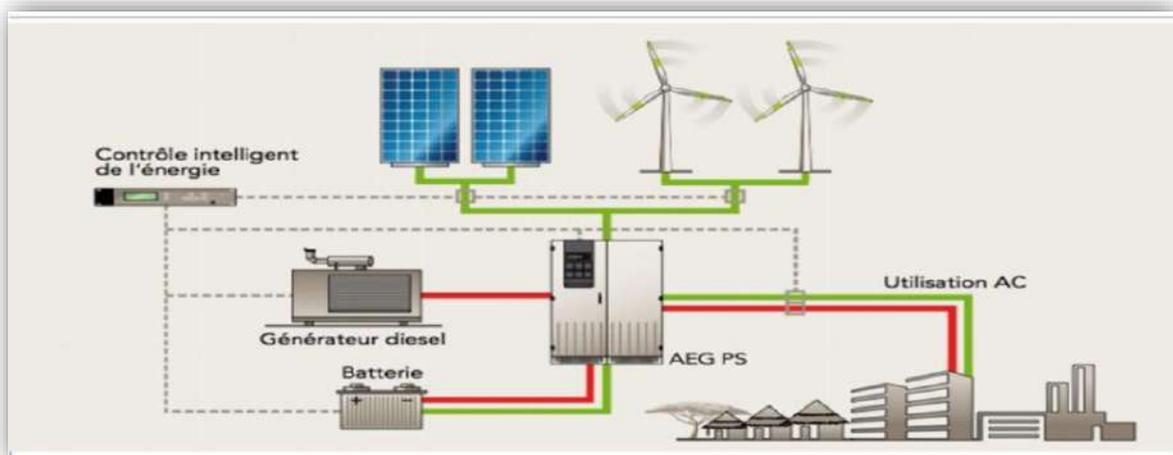


Figure (I.3) : Système PV hybride

I-4-1-3 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 P

V. 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.4)** [12].

Chapitre I: Synthèse bibliographique

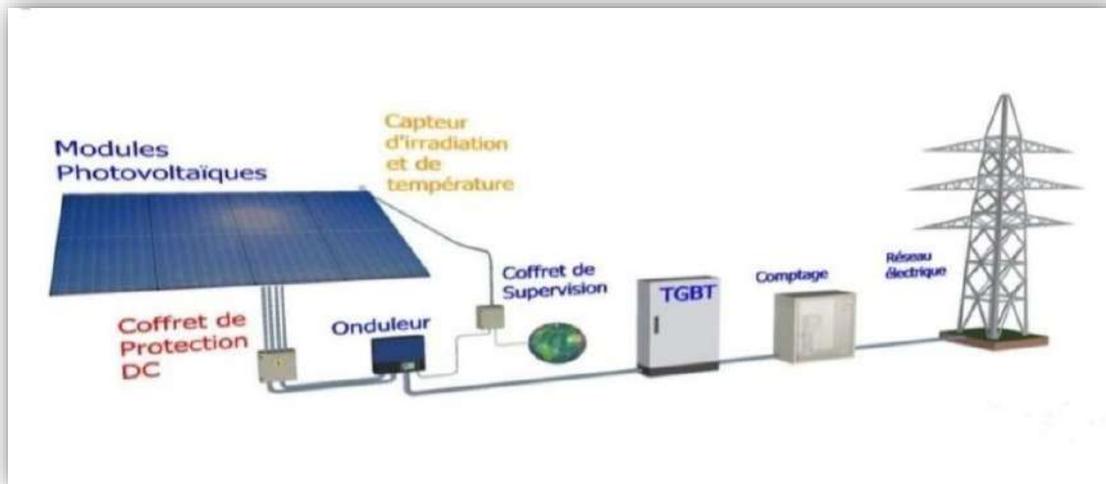


Figure (I-4) : Structure d'un système PV connecté au réseau.

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 [12]. Dans notre étude, on s'intéresse au fonctionnement d'un système PV connecté au réseau.

I-4-2 Structure du système PV connecté au réseau

Il existe essentiellement deux structures de chaîne de conversion PV connectée au réseau. Une structure où le générateur PV est connecté au réseau à travers un seul convertisseur DC/AC (onduleur) et une autre où le générateur PV est connecté au réseau à travers deux convertisseurs : un convertisseur DC/DC (hacheur) et un convertisseur DC/AC (onduleur) connectés entre eux par un bus continu intermédiaire. Mais dans les systèmes PV raccordés au réseau, la structure avec bus continu est la plus utilisée et la plus avantageuse par rapport à celle avec un seul convertisseur [13]. De ce fait, dans ce présent travail, nous adoptons la structure à bus continu intermédiaire. La **figure (I-5)** montre la structure du système PV connecté au réseau utilisée dans notre étude.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

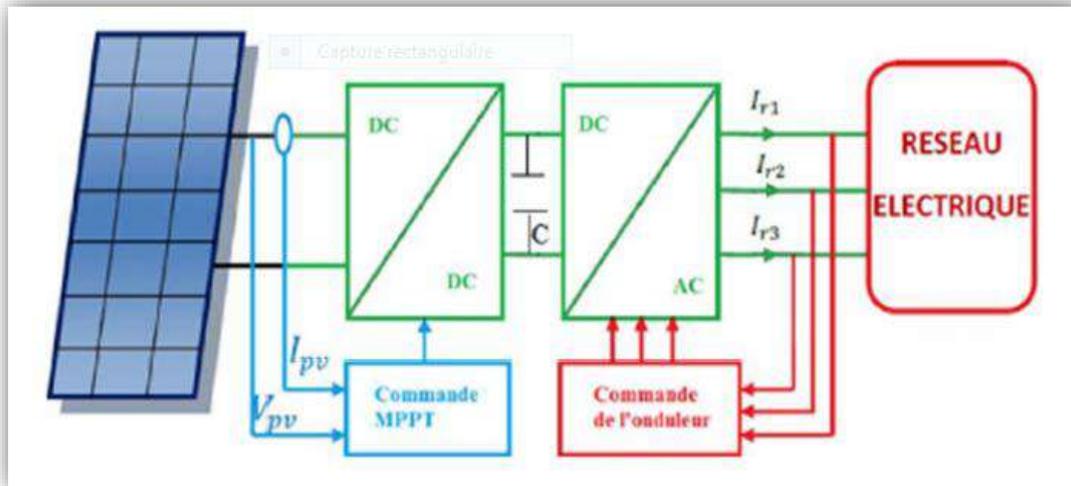


Figure (I-5): Structure d'un système PV connecté au réseau

En général, dans une telle structure de système PV, on utilise un convertisseur DC/DC qui est la partie essentielle dans la commande du générateur PV. Ce convertisseur a pour but de délivrer à sa sortie une tension continue supérieure à celle appliquée à son entrée (hacheur survolteur) avec un rendement élevé. Cette tension représente alors la tension du bus continu. En plus, le convertisseur DC/DC a pour objectif de faire fonctionner le GPV à sa puissance maximale par l'intermédiaire d'une commande MPPT qui a pour fonction de poursuivre le point de fonctionnement optimal du générateur PV. On adjoint un convertisseur DC/AC (Onduleur) qui servira à délivrer un courant alternatif qui sera injecté au réseau électrique, à partir de la tension continue donnée par le convertisseur DC/DC. L'onduleur est contrôlé pour produire le courant et transmettre le maximum de puissance de telle sorte que le courant du système PV introduit une faible déformation totale d'harmoniques et soit en phase avec la tension du réseau. Le but de l'utilisation d'un système PV connecté au réseau est de produire de la puissance alternative à partir d'une source renouvelable et propre afin d'alimenter directement toutes les charges électriques, ou d'injecter le surplus d'électricité (PV) dans le réseau.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-4-3 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-6)** 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.

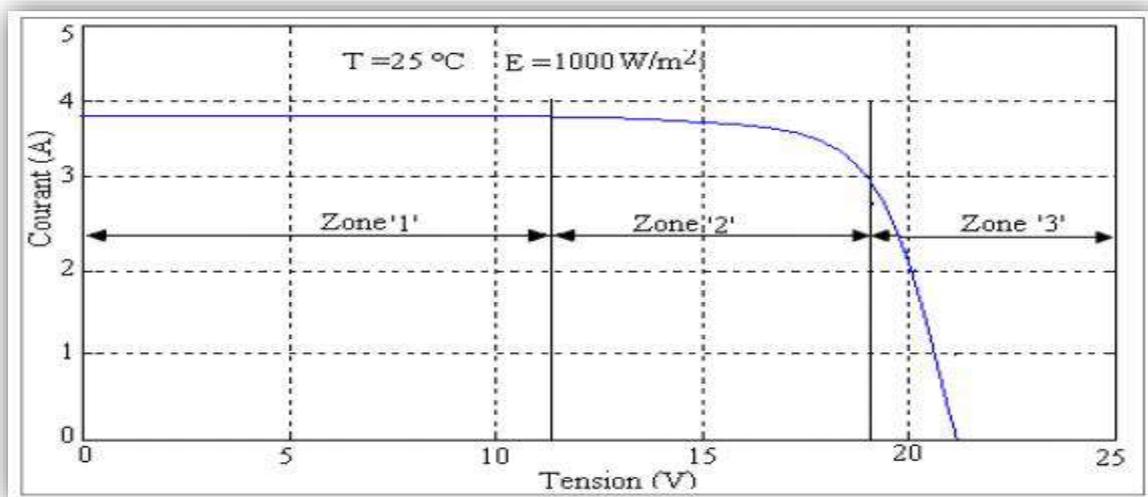


Figure (I-6) : Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-5 La conversion photovoltaïque

I-5-1 Définition

La conversion photovoltaïque est la transformation directe d'une énergie électromagnétique (rayonnement) en énergie électrique de type continu directement utilisable. L'élément de base dans cette conversion est la cellule solaire. [3]

I-5-2 La cellule solaire

La cellule solaire est un dispositif optoélectronique capable de capter et convertir directement l'énergie des rayons lumineux en électricité. Cette conversion est appelée la conversion photovoltaïque. Sa structure est illustrée dans la **figure (I-7)** ci-dessous. Elle montre un schéma simplifié d'une cellule solaire typique car l'architecture des dispositifs photovoltaïques modernes se révèle particulièrement complexe. [4]

La cellule photovoltaïque sera donc une plaquette du matériau semi-conducteur; où la jonction $P-N$ représente le cœur de la cellule photovoltaïque; elle représente le vrai générateur dans le dispositif.

Les contacts métalliques en face avant et en face arrière, constituent la structure de, cheminement permettant de récupérer les porteurs photo générés, pour ça; deux électrodes sont élaborées sur la plaquette du semi-conducteur, l'une qui recouvre la totalité de la face arrière pour assurer le contacte avec la zone p , et l'autre en forme de grille sur la face avant, la géométrie de cette grille étant un compromis entre une faible occultation du rayonnement et un bon contact électrique avec la zone n [3].

Chapitre I: Synthèse bibliographique

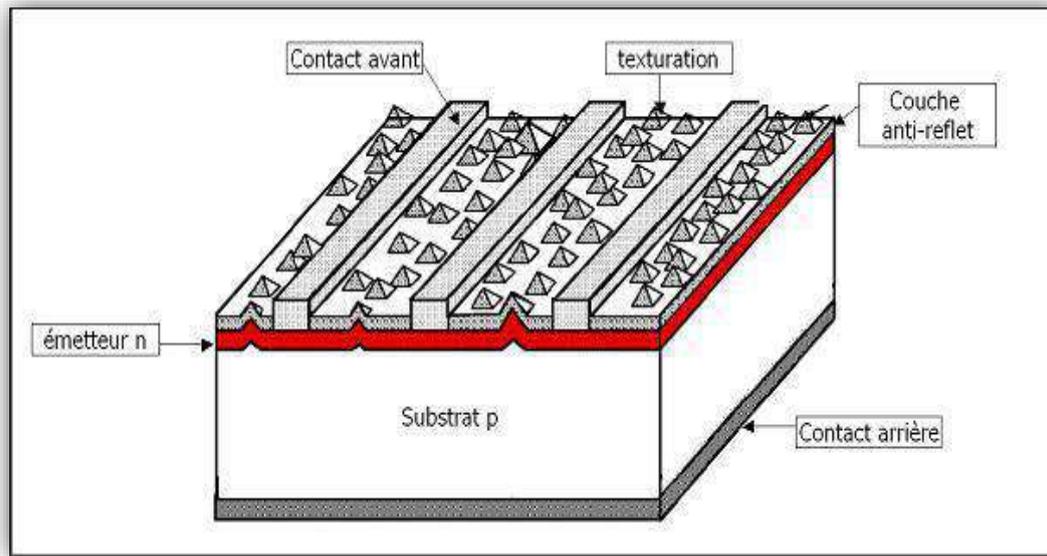


Figure (I-7) : Schéma simplifié illustratif d'une cellule solaire [15].

La quantité de photons pénétrant la cellule photovoltaïque dépendant fortement de la réflectivité (elle est définie comme le rapport entre le flux réfléchi et le flux incident [16]) de sa surface. La réflectivité caractérise la quantité de photons réfléchi par la surface, soit une perte de rayonnement incident. Afin de minimiser la réflexion de la lumière en surface, cette dernière est traitée pour forcer le rayonnement à pénétrer dans le semi-conducteur; couramment par une couche anti-réfléchissante (CAR) obtenue par dépôt d'une couche d'oxyde sur le semi-conducteur. L'effet d'interférence obtenu au sein de couche d'oxyde permet de piéger le rayonnement incident [3].

Pour optimiser les pertes dues à la réflexion, il existe une autre préparation de la surface réceptrice du semi-conducteur : la texturation; opération consiste à créer des pyramides de quelques microns de hauteur modifiant la planéité de la surface en introduisant un relief. Ce dernier, tout en augmentant la surface, induit des réflexions multiples sur les facettes le constituant, piégeant ainsi un maximum du rayonnement incident et limiter la réflectivité de la surface [3]. La texturation de surface peut se faire par [17] voie chimique, par voie mécanique, par gravure plasma ou par utilisation de silicium poreux.

La quantité de photons pénétrant la cellule photovoltaïque dépendant fortement de la réflectivité (elle est définie comme le rapport entre le flux réfléchi et le flux incident [16]) de sa surface. La réflectivité caractérise la quantité de photons réfléchi par la surface, soit une perte de rayonnement incident. Afin de minimiser la réflexion de la lumière en surface, cette dernière est traitée pour forcer le rayonnement à pénétrer dans le semi-conducteur;

Chapitre I: Synthèse bibliographique

couramment par une couche anti-réfléchissante (*CAR*) obtenue par dépôt d'une couche d'oxyde sur le semi-conducteur. L'effet d'interférence obtenu au sein de couche d'oxyde permet de piéger le rayonnement incident [3].

Pour optimiser les pertes dues à la réflexion, il existe une autre préparation de la surface réceptrice du semi-conducteur : la texturation; opération consiste à créer des pyramides de quelques microns de hauteur modifiant la planéité de la surface en introduisant un relief. Ce dernier, tout en augmentant la surface, induit des réflexions multiples sur les facettes le constituant, piégeant ainsi un maximum du rayonnement incident et limiter la réflectivité de la surface [3]. La texturation de surface peut se faire par [17] voie chimique, par voie mécanique, par gravure plasma ou par utilisation de silicium poreux¹.

I-5-3 Les différents types de cellules solaires (cellules PV)

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a 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 [18]:

a. Les cellules monocristallines :

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'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'à19.8 en laboratoire).

c. Les cellules amorphes :

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

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairnement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I-5-4 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire PV [19]

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

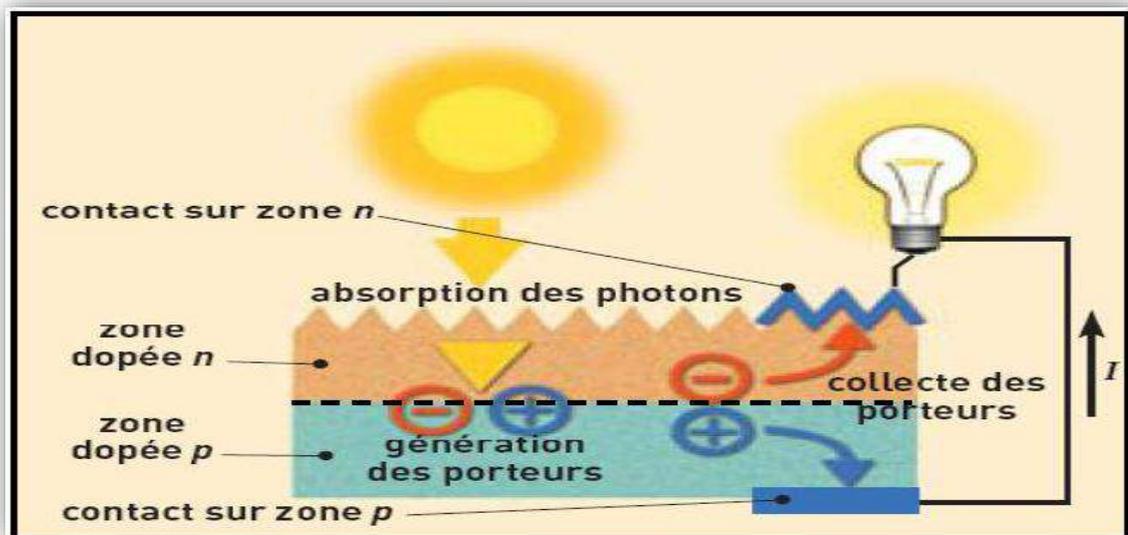


Figure (I-8) : Principe de la conversion photovoltaïque.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p *via* la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule voir **figure (I-8)**.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.6 Application des systèmes photovoltaïques :

- *Electrification hybride (photovoltaïque-éolienne) :*

Ce système hybride de production d'énergie électrique est celui qui combine et exploite deux sources d'énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne) pour la production de l'énergie, comme représenté sur la figure (I.9).

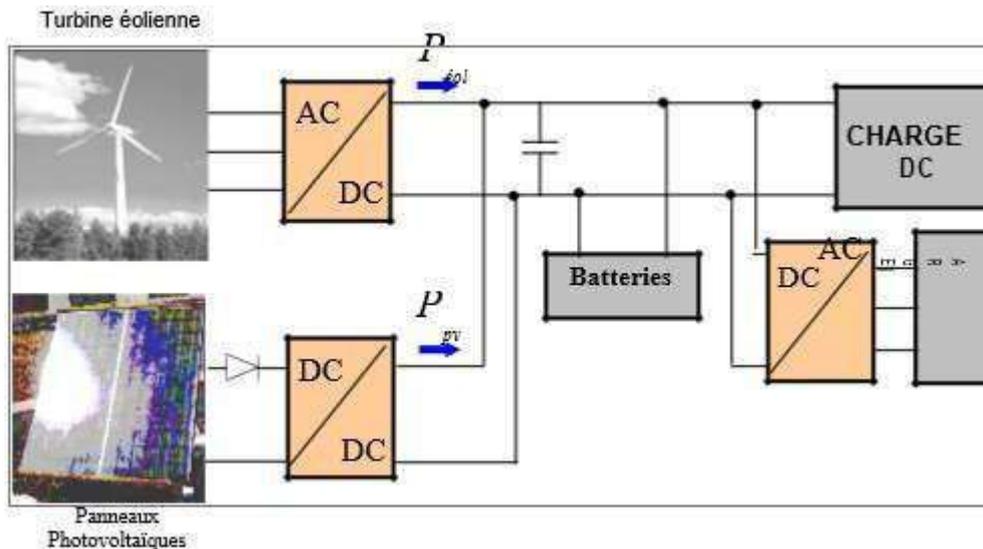


Figure (I.9) : Structure de la chaîne hybride (éolienne, photovoltaïque).

Le système hybride comprend, un sous-système photovoltaïque avec un convertisseur DC/DC qui permet de rattraper à chaque fois le point de puissance maximale. Une turbine éolienne qui assure la conversion de l'énergie du vent en électricité. Les deux

Chapitre I: Synthèse bibliographique

sources d'énergie sont reliées à un bus continu. Le stockage est assuré par des batteries. La charge à alimenter peut-être continu ou alternative branchée à travers un onduleur.

- **Le pompage photovoltaïque:**

Pour être ramenées en surface, les eaux souterraines ont besoin d'être pompées. Par conséquent, la nécessité d'une pompe et donc d'une source fiable d'énergie comme le photovoltaïque s'impose.

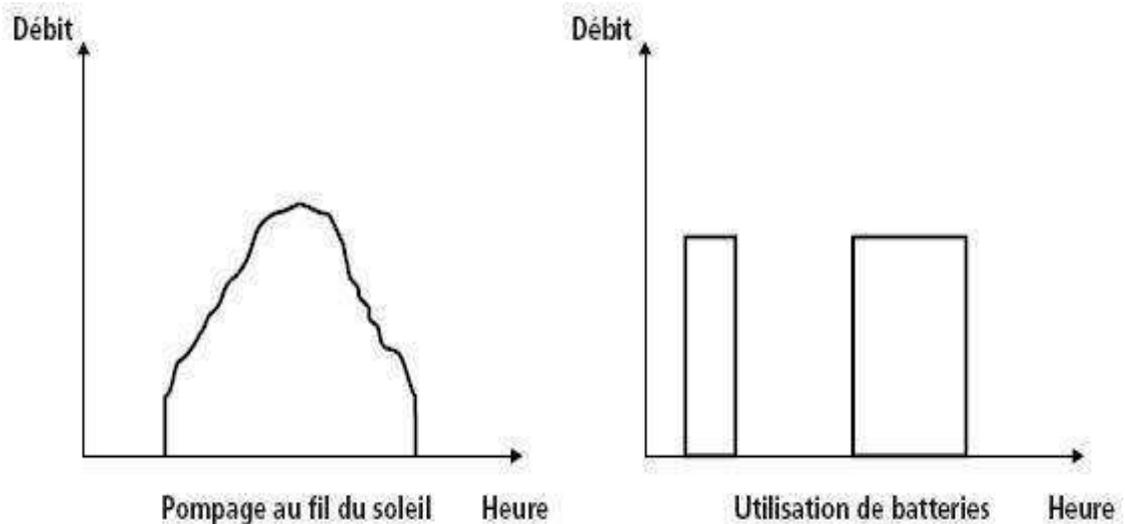


Figure (I.10) : Caractéristiques du débit pour le pompage au fil du soleil et avec batterie.

- **Le pompage au fil du soleil :**

Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin.

- Permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable.
- Moins coûteux qu'un système avec batterie.

- **Le pompage avec batterie :**

permet de s'affranchir des aléas du soleil et des problèmes d'adaptation entre générateur photovoltaïque et motopompe.

- Le débit de pompage peut se faire à la demande, lorsque les utilisateurs en ont besoin, ou permettre un pompage régulier durant toute la journée.
- L'utilisation d'un réservoir de stockage pour l'eau sera nécessaire afin de pouvoir fournir à la demande d'eau.
- L'utilisation de batteries comporte davantage de composants qui influent sur la

Chapitre I: Synthèse bibliographique

fiabilité et le coût global du système.

- **Le chauffe-eau solaire :**

Produire de l'eau chaude, chaque jour, grâce à l'action de la lumière du soleil et la stocker pour la journée et la nuit dans un réservoir étanche et isolé (le ballon), c'est le principe fondamental du chauffe-eau solaire. Pour cela on utilise des panneaux sur lesquels, la source primaire d'énergie, le soleil, va rayonner et faire élever la température du liquide qui circule dans ce qu'on appelle, l'absorbeur. Lorsque le fluide est plus chaud que l'eau stockée dans le ballon, le fluide va se mettre à circuler et ainsi transmettre l'énergie emmagasinée.

- **La climatisation solaire :**

La climatisation solaire désigne l'ensemble des moyens de production de froid en utilisant comme ressource énergétique primaire l'énergie solaire afin de refroidir un bâtiment. La climatisation s'effectue soit en récupérant l'énergie électrique produite par les panneaux photovoltaïques soit la chaleur solaire récupérée grâce à des capteurs solaires thermiques,

- ***Dessalement de l'eau de mer :***

Une des solutions pour pallier le manque d'eau potable sont les stations de dessalement. C'est un processus qui permet de supprimer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour le rendre potable.

I.6.1 Installation photovoltaïque raccordée au réseau :

Un système photovoltaïque connecté au réseau, est un système raccordé directement au réseau électrique à l'aide de convertisseurs. Ce type de système offre beaucoup de facilités pour le (producteur/consommateur) puisque c'est le réseau qui se charge du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

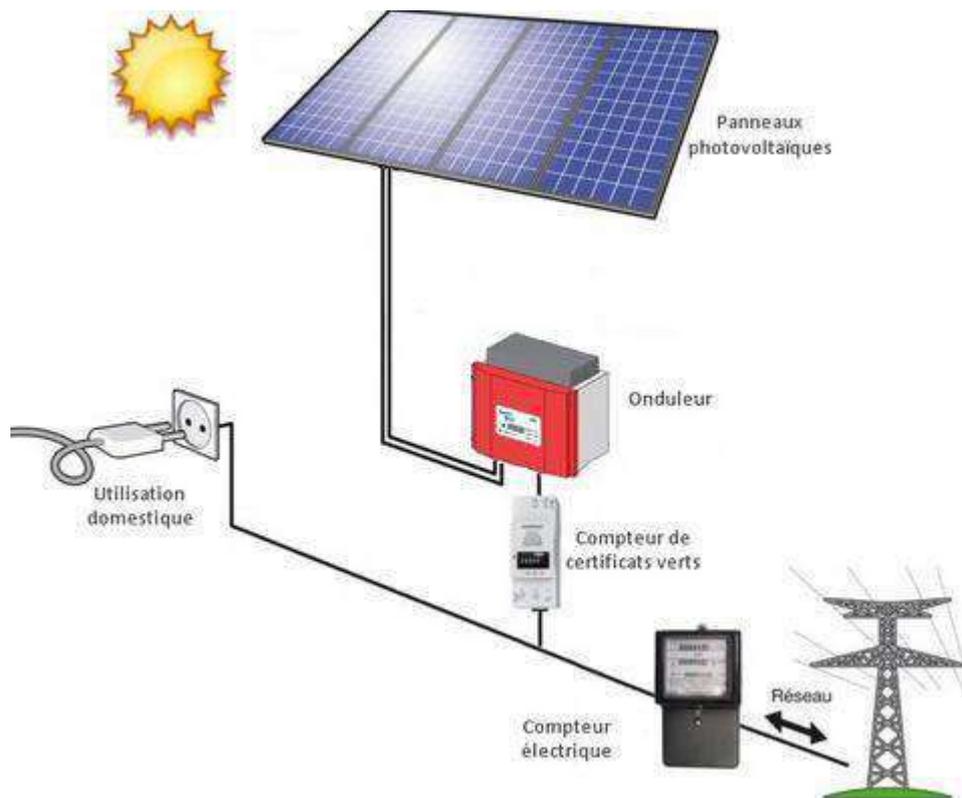


Figure (I.11) : représente un système PV connecté au réseau électrique.

I.6.1.1 Classification des centrales photovoltaïques connectées au réseau :

Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante :

a. Centrales de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW) :

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings, ... Elles se connectent au réseau basse tension [18].

b. Centrales de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW) :

Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille [13].

c. Centrales de grande taille (P_w500 KW) :

Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non [13].

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.6.1.2 Composition d'un système photovoltaïque raccordé réseau :

Un système PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : le générateur PV, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge.

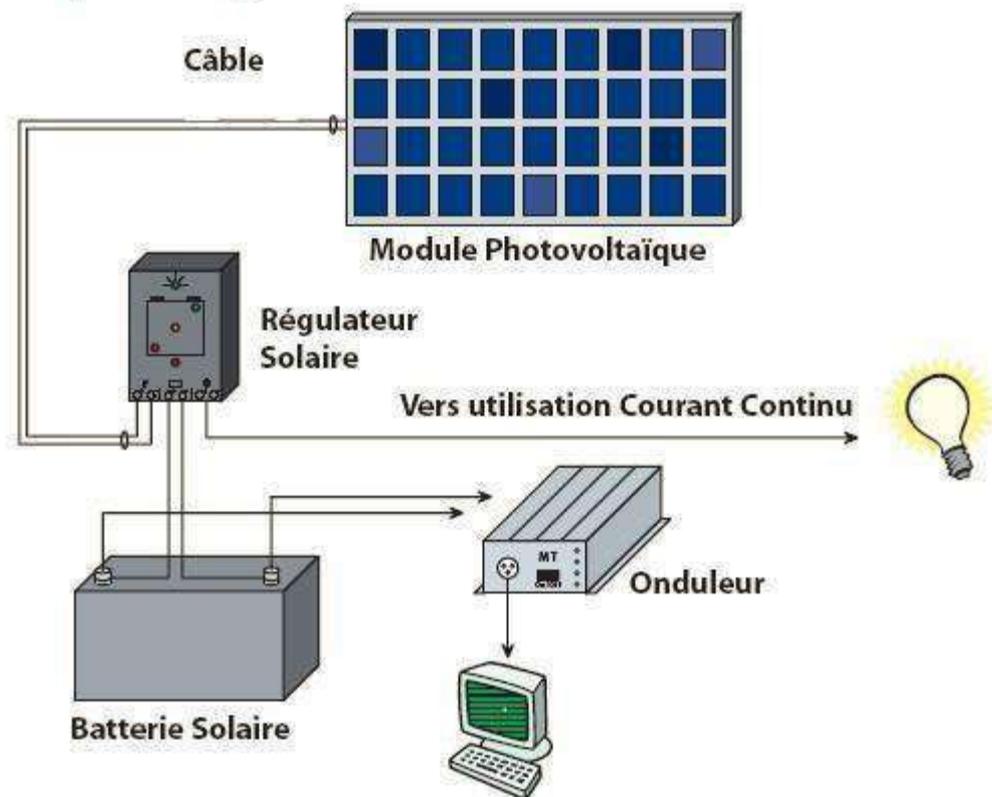


Figure (I.12) : Les constituants d'un système PV.

1. panneau PV :

L'ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles constitue le module ou le panneau

PV, ce dernier est chargé de capter les rayons solaires et les convertir en électricité.

2. La batterie solaire :

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie du système, sa durée de vie est définie par nombre de cycle (charge-décharge), elle se caractérise par :

-Ampérage en Ampère heure (Ah).

-Voltage en Volt.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

3. Le régulateur (contrôleur de charge) :

Les régulateurs sont mis en place dans le souci d'assurer une longévité de système de stockage, donc de minimiser le coût d'installation.

En effet, un régulateur est chargé de :

- Contrôler la surcharge et la décharge de la batterie.
- Assurer l'optimisation du système du point de vue énergétique où il constitue un nœud de transfert d'énergie entre le module, le stockage et l'utilisation.

Pour fonctionner, un régulateur a besoin d'un indicateur qui l'informe sur l'état de charge des batteries. Il doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils : un seuil haut et un autre bas. Le choix des seuils dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation. Un régulateur est défini par : Ampérage en Ampère et Voltage en Volt. [15]

4. Le convertisseur d'énergie (onduleur) :

Il est chargé de convertir le courant continu développé par le solaire, vers un courant alternatif, et de voltage de branchement (12 V, 24 V...48V) vers 220 V, il est défini par : le voltage de branchement en volt et la puissance nominale à développer en watt.

5. La charge :

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative.

I.6.2. Installations autonomes :

Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. Ils sont indépendants du réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité.

Les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique

la plus économique. On peut classer ces systèmes en deux catégories :

Chapitre I: Synthèse bibliographique

- *Systèmes avec accumulateurs :*

L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. Le schéma synoptique de la figure suivante décrit ce système.

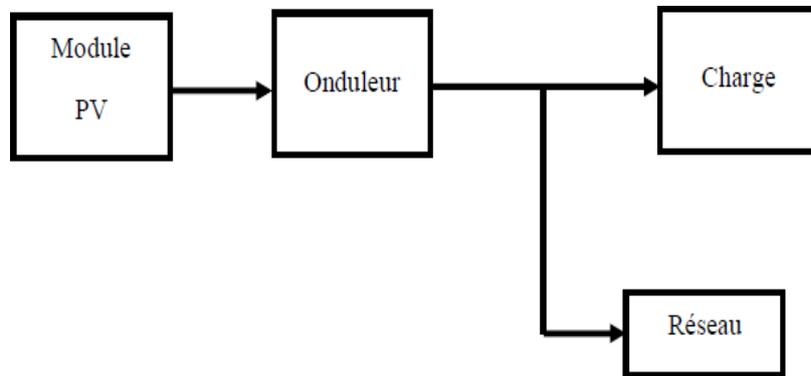


Figure (I.13) : Système photovoltaïque directement relié au réseau.

L'absence des batteries est un point positif, car celle-ci augmente le coût de système photovoltaïque. En plus elle doit être entretenue et changée après quelques années.

- *Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie :*

Le système peut fournir de l'énergie au réseau et prélever l'énergie d'appoint nécessaire au réseau. Le schéma d'un système PV relié au réseau avec batterie est le suivant.

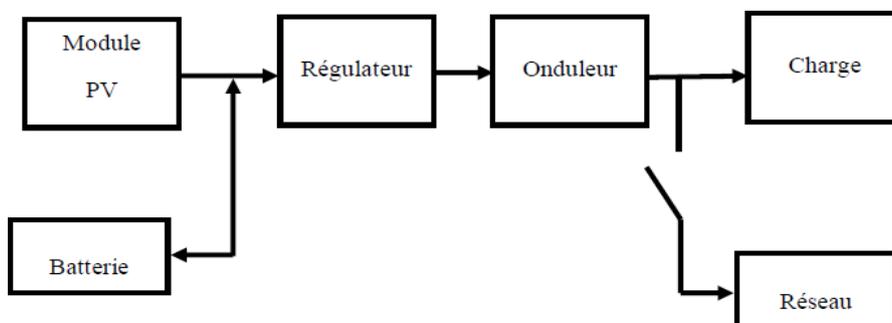


Figure (I.14) : Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie.

L'énergie est fournie par le module PV à la charge, l'excédent est stocké dans les

Chapitre I: Synthèse bibliographique

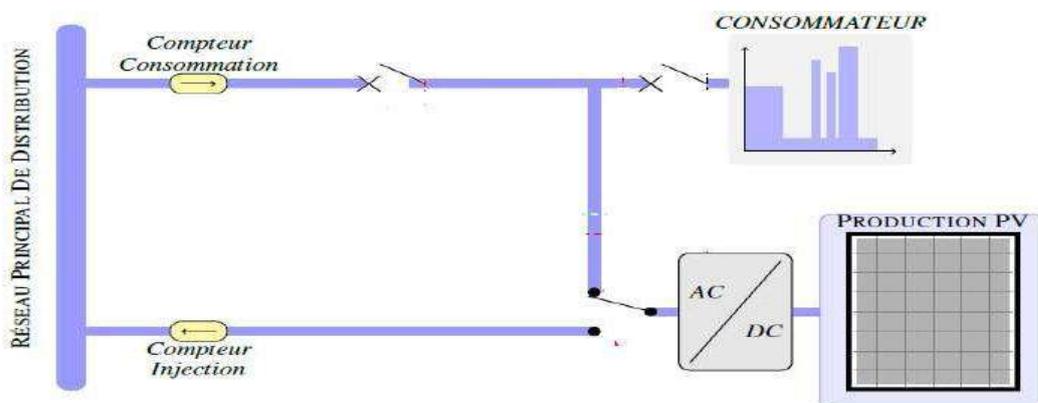
batteries, dans le cas de décharge ou de surcharge de la batterie, on utilisera le réseau pour prélever ou délivrer l'énergie. [20]

I.7.Options de consommation de l'énergie photovoltaïque :

I.7.1.Exportation vers le réseau :

Une partie de la production est injectée au réseau lorsque la production dépasse la consommation, le client soutire aussi du réseau le manque. Cette installation est équipée de deux compteurs, l'un mesurant l'énergie soutirée du réseau lorsque la consommation excède la production (compteur de consommation), l'autre mesurant l'énergie injectée dans le réseau

(compteur d'injection). Ce principe exclut le compteur réversible comme est indiqué sur la figure (I.15).



Figure(I.15) : Schéma de principe de la configuration d'injection du surplus d'énergie.

I.7.1.1.Installation PV raccordée au réseau avec injection totale de l'énergie produite :

Le générateur de production d'origine photovoltaïque est raccordé au réseau par l'intermédiaire d'un point de livraison distinct du point de livraison utilisé pour les besoins de soutirage du producteur. Comparé à l'achat des excédents, ce type de raccordement conduit le plus souvent à des modifications plus importantes de l'installation par le gestionnaire du réseau. Le producteur injecte au réseau la totalité

Chapitre I: Synthèse bibliographique

l'énergie produite et soutirer du réseau la totalité d'énergie nécessaire à sa consommation. La séparation entre les deux points de livraison consommation et injection (production) conduit donc à étoiler le branchement en deux parties, avec cependant une seule liaison au réseau BT. Le branchement production comporte deux compteurs montés en tête bêche (production et consommation des dispositifs de la chaîne PV), voir figure (I.16).

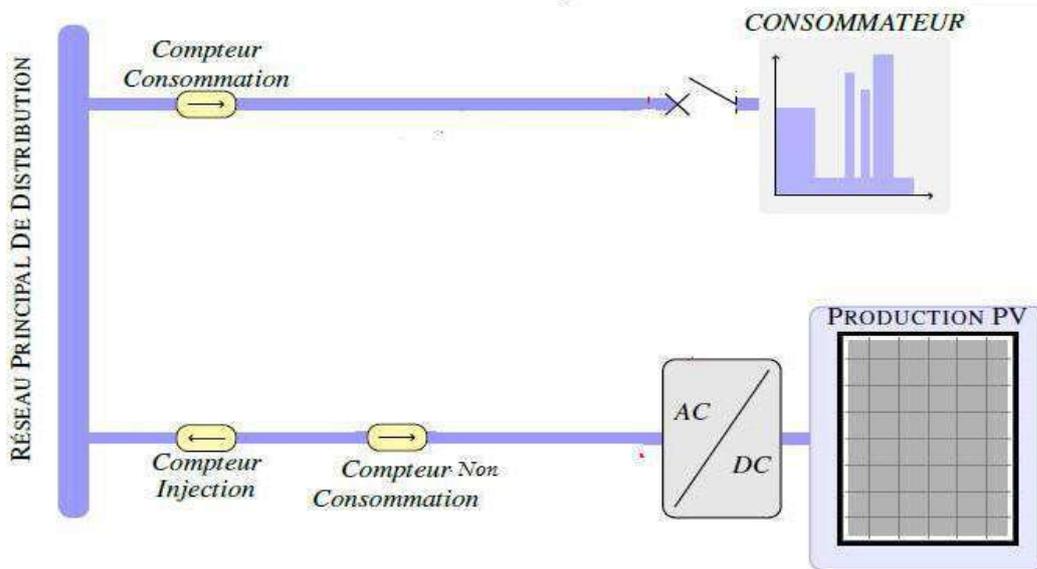
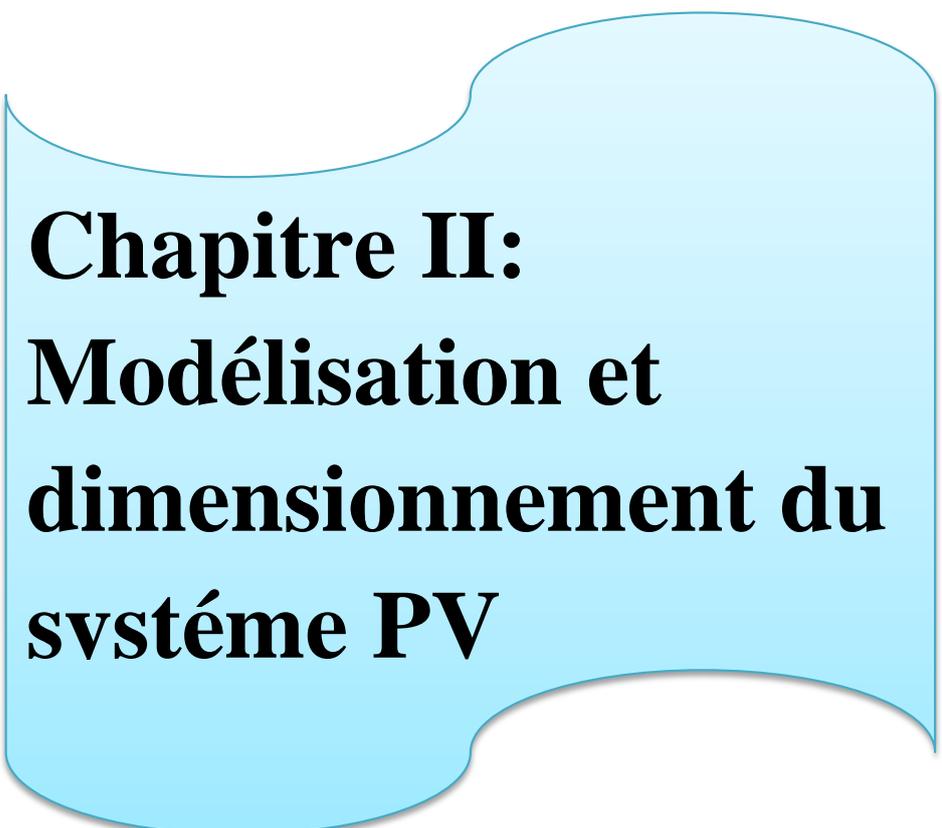


Figure (I.16) : Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie.

I.7.2.L'autoconsommation :

Consommation locale de l'électricité photovoltaïque produite d'un point de vue physique, l'autoconsommation ne présente aucune différence avec la revente totale. Les centrales sont dans les deux cas raccordées au réseau public et l'électricité prend toujours le chemin le plus court. L'autoconsommation existe uniquement à travers le point de raccordement de cette centrale et son positionnement par rapport aux compteurs. Dans le cadre de l'autoconsommation, la centrale est raccordée sur le réseau côté propriétaire, donc enaval du compteur de consommation. La production est donc assimilée à une charge négative et vient diminuer la demande de puissance au réseau public. En ce sens cette technique permet de diminuer la consommation en provenance du réseau public et donc les factures associées. [21]

A light blue, irregularly shaped graphic element with rounded corners and a wavy top and bottom edge, serving as a background for the chapter title.

**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 du notre problème nous avons supposé que la journée étudié est caractérisés par :

- 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 S_f

$$S_f = \left(\frac{SH}{\sin(\gamma)} \right) \cdot (\cos(\gamma) \cdot \sin(\beta_f) \cdot \cos(\Psi - \alpha_f) + \sin(\gamma) \cos(\beta_f)) \quad (\text{II.4})$$

Avec

β_f : l'inclinaison

Ψ : l'angle d'azimute

α_f : l'angle d'orientation

2) Le Rayonnement diffus D_f

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

3) Le Rayonnement réfléchi R_f

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

Avec ρ : l'albédo

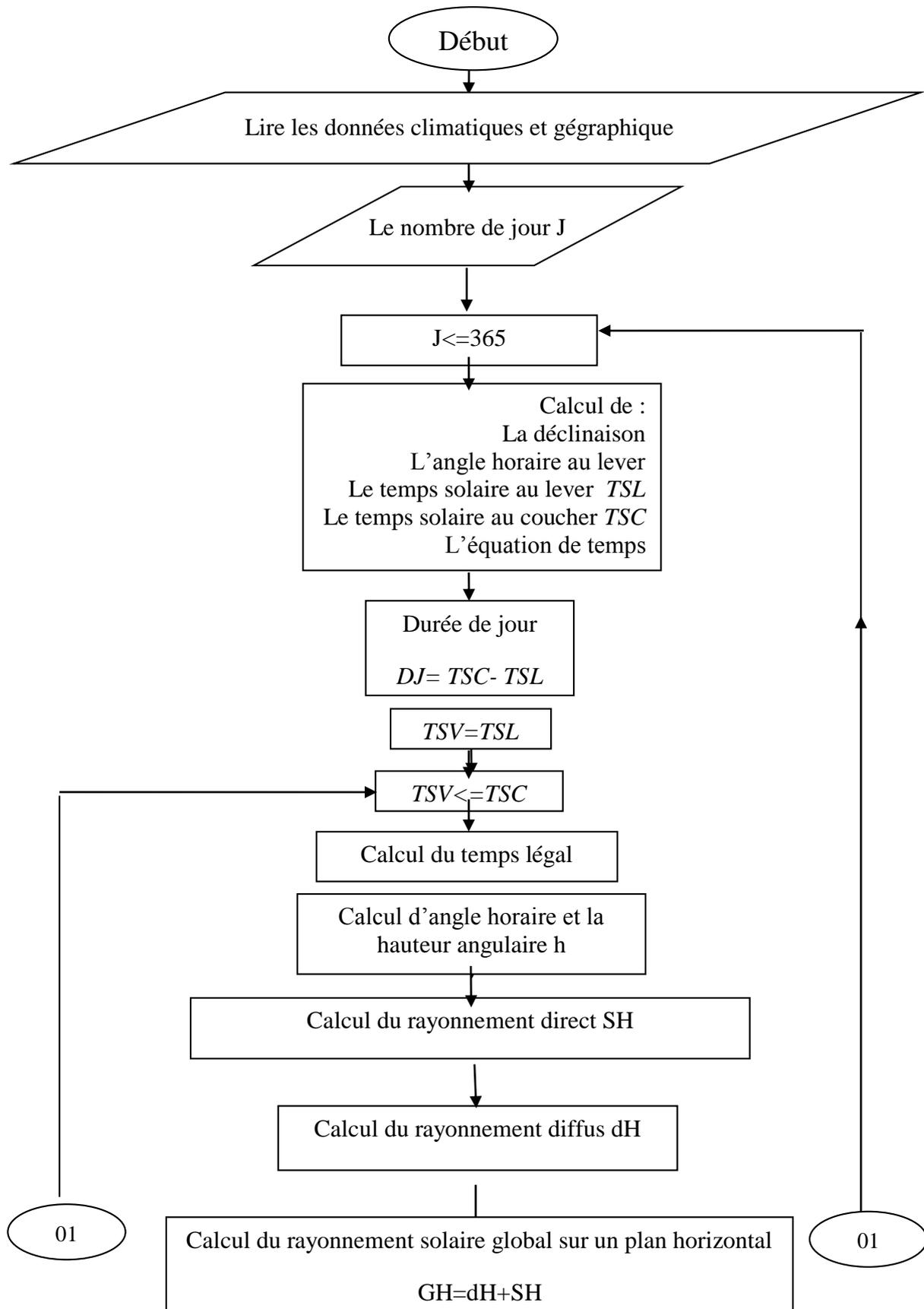
4) Le Rayonnement global G_f

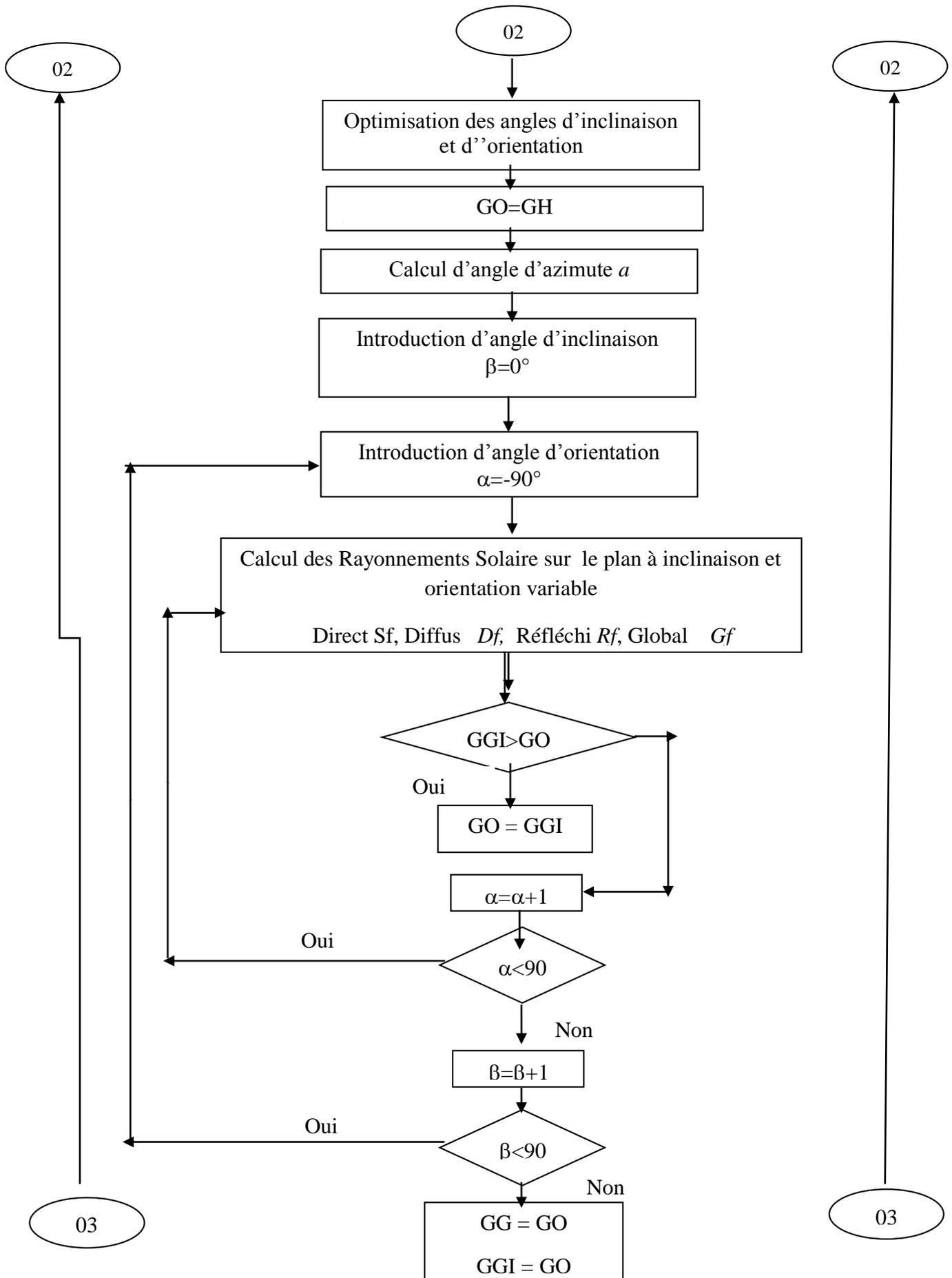
$$G_f = S_f + D_f + R_f \quad (\text{II.7})$$

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 ($\Delta i=1$).

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





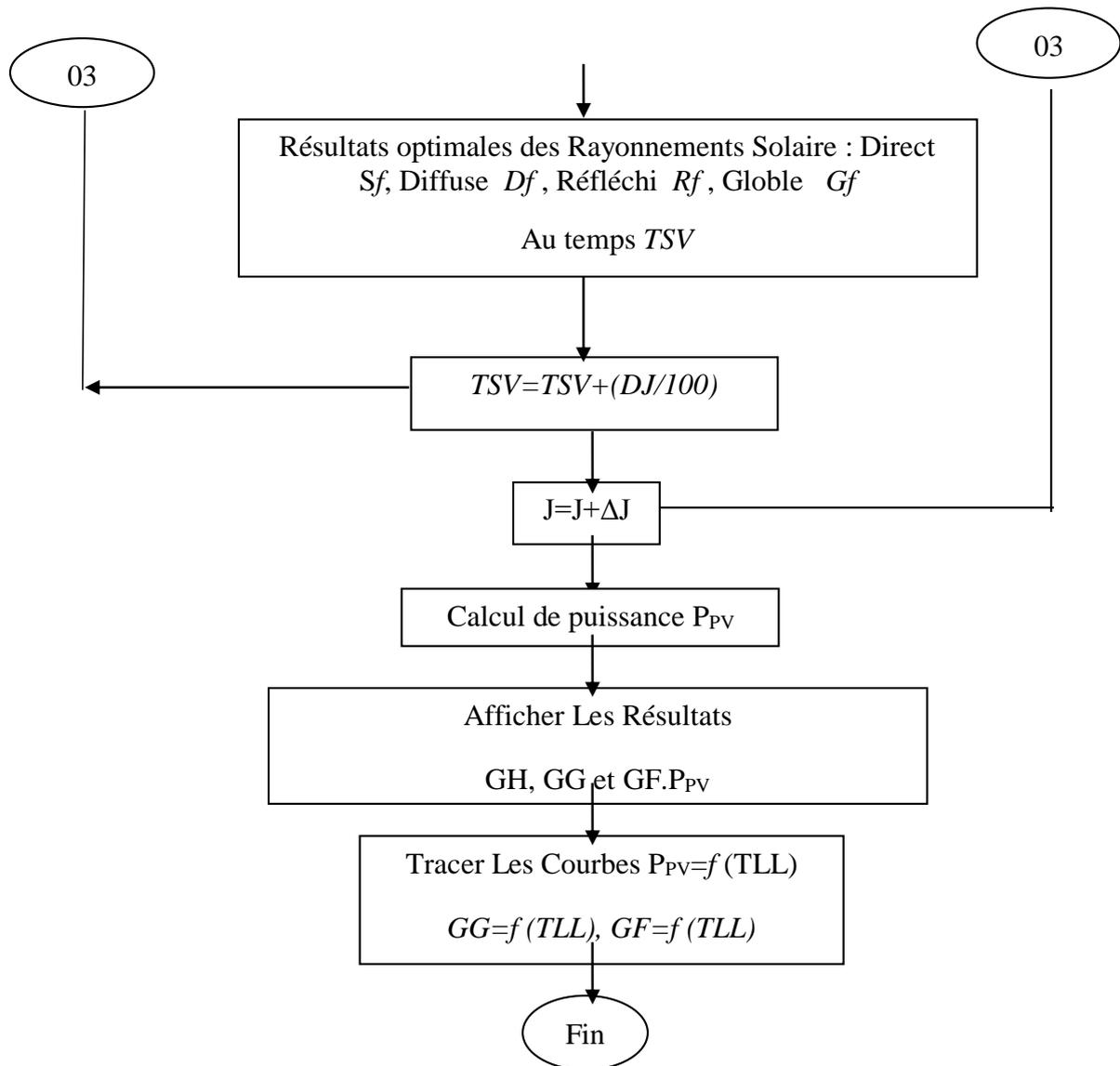


Figure (II-1)- Organigramme de calcul du rayonnement solaire sur différents plans.

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]

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

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.
- $V_T = \frac{KT}{e}$: 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

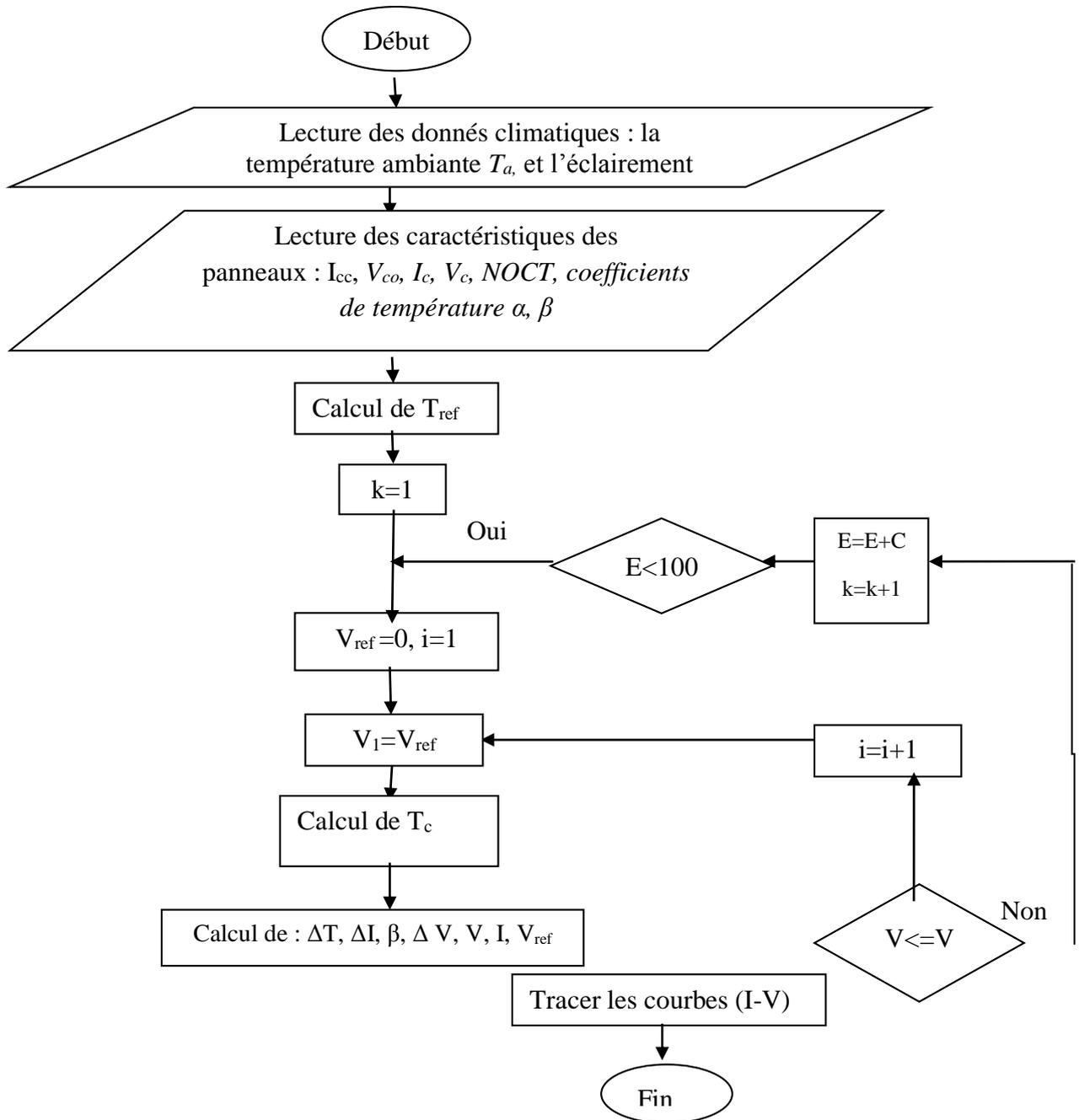


Figure (II-2)- Organigramme des caractéristique I-V du module PV.

II-1-2-3-Rendement photovoltaïque

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

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

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

- TL_L : 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]

Données climatique de site

		Mensuel °C	Journalière °C	
T _{max}	Mois de Décember	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.

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. [25]

- **SP1** à Haoud elhamra 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), une augmentation de pression (P) et toujours des pertes de charges. [26]

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 Hg 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]

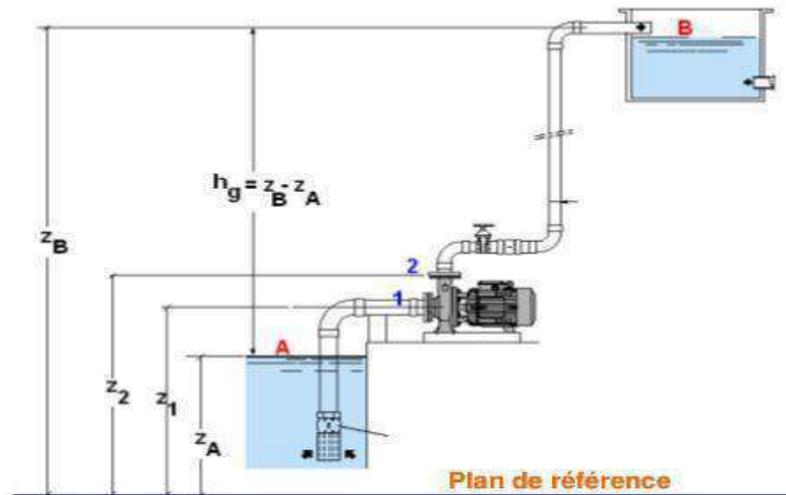


Figure (II-3)- Hauteur manométrique d'une pompe

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} :

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

Donc le Rendement η d'une pompe est :

$$\eta = \frac{\rho g Q H_{mt}}{P_a} \quad \text{II-16}$$

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 :

- 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 entraîné par un moteur électrique.

- les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides

 - **Inconvénients** : Elles présentent aussi certains inconvénients :
 - Impossible de pomper les liquides trop visqueux (les roues tournent sans entraîner les 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.
- [27]

II-3- Présentation de système photovoltaïque

II-3-1- Panneaux photovoltaïque

Les panneaux solaires étudiés dans notre installation PV est connue sous le nom dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau

(ASUNERGE Officiel Store) [28]



Figure (II-4)- Panneau solaire polycristallin

Tableau (II-2)-Caractéristiques des panneaux solaires polycristallin[28]

Paramètres	Valeurs
Puissance Crête P_c [W]	100
Tension d'alimentation maximale	16V
Courant de puissance maximum	6,25A
Tension en circuit ouvert	19,2V
Courant de court-circuit	6,68A
Taille de la cellule solaire	125*125mm
Dimension	1050*530*2,5mm
Lester	1,9kg (+-0,1kg)
Câble	0,9m 2,5mm ²
Température de fonctionnement	-20C -65C
Prix	78,18€=12508,80DA

II-3-2- Système de regulation: [29]

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 utilisés dans l'installation PV est de série Rosefinch (RF384-100) et qui possèdent les caractéristiques présentées au tableau:



Figure (II-5)-Régulateur MPPT Rosefinch

Tableau (II-3)- Caractéristiques des Régulateurs solaires MPPT [29]

Paramètres	Valeur
Puissance maximale des panneaux [W]	45000
Tension en Circuit Ouvert des panneaux Solaires [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€=204800DA

II-3-3- Système de conversion[30]

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.

L'onduleur solaire ci-dessous utilisé dans l'installation PV est de type 50 KW solar charger inverter (NDC384-50KVA). Il possède les caractéristiques présentées dans le tableau (II-4) [22]



Figure (II-6)- Onduleur 50 KW solar charger

Tableau (II-4)- Caractéristiques des onduleurs solaires [30]

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€=1824000DA

II-3-4- Système de stockage [28]

Le système de stockage est formé des batteries de lithium-ion (figure II-4), 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 ;

Chapitre II: Modélisation et dimensionnement du système PV

- Autodécharge relativement faible par rapport à d'autres accumulateurs.

Les batteries utilisés dans l'installation PV est de type Batterie Lithium (figure II-7) dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau (II-5) [22]

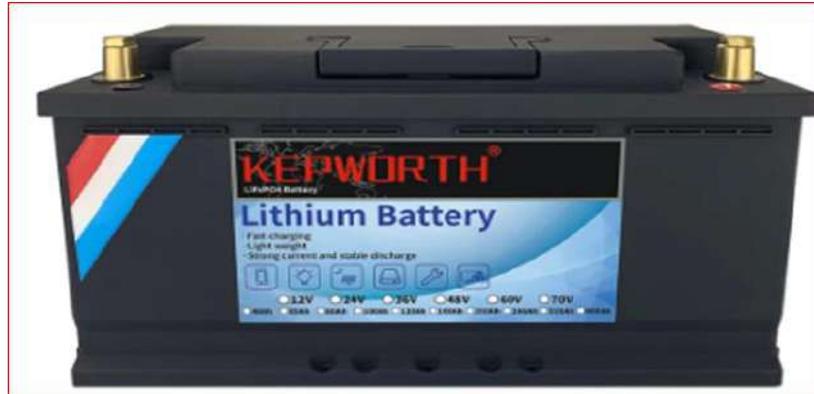


Figure (II-7)- Batterie de lithium

Tableau (II-5)- Caractéristiques des batteries solaires [28]

Paramètres	Valeur
Tension nominale(V)	4
Capacité nominale(Ah)	40
Dimensions(mm)	525*230*220 par batterie
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€=122273,60DA

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) [22].



Figure (II-8)- Système poursuite solaire mono axiale

Tableau (II-6)- Caractéristiques de traqueur solaire [28]

Système de suivi solaire à deux axes			
Taille du Module:	$\leq 2131*1052$ millimètres	Numéro de Module	45-60 unités
Portée de support	60 m ²	Mode de contrôle	Boucle fermée contrôle de temps
Précision de suivi	$\leq 1^\circ$	Alimentation	DC:24V
Puissance d'entraînement	150W	Mode d'alimentation	Source d'alimentation autonome ou externe
Gamme de suivi	$0^\circ \sim 60^\circ$	Consommation quotidienne d'énergie	$\leq 0.85\text{kWh}$
Épaisseur galvanisée	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-Estimation du coût d'installation PV

Chapitre II: Modélisation et dimensionnement du système PV

Le coût d'une installation photovoltaïque n'est pas le même selon que vous choisissiez une puissance de 3 kWc, 6 kWc ou encore plus. En effet, le prix d'une installation photovoltaïque est influencé par différents facteurs dont la puissance que vous choisissez. Le deuxième facteur déterminant pour établir une estimation du coût de votre installation photovoltaïque est le mode de pose de vos panneaux solaires. Il existe plusieurs possibilités :

- la surimposition : la solution aujourd'hui la plus répandue, car la moins onéreuse, et la plus facile à mettre en œuvre. Ici, les panneaux sont simplement posés sur la toiture. En surimposition, le coût moyen de l'installation de panneaux solaires photovoltaïques est compris entre 2 200 et 2 800 € par kWc (matériel + pose + démarches administratives) ;

- **l'intégration au bâti** : l'intégration au bâti n'est quasiment plus pratiquée, car plus chère, et moins sûre quant à l'intégrité de la toiture. En moyenne, il faut compter entre 2 700 et 3 500 € par kWc (matériel + pose + démarches administratives) ;
- **l'installation au sol** : vous pouvez en effet installer des panneaux solaires au sol si votre toiture n'est pas appropriée. Le coût est logiquement moins important qu'une installation sur toiture, car elle nécessite moins de main d'œuvre.

Les autres facteurs qui influent sur le coût de votre installation de panneaux solaires sont les suivants :

- le type de panneau solaire utilisé : selon que vous choisissez des panneaux polycristallins ou monocristallins, le prix n'est pas le même ;
- le coût des annexes : Onduleurs, Régulateur, câbles...etc. Ainsi l'installation de système de stockage s'il existe.
- le mode de consommation
- les coûts liés au raccordement au réseau public d'électricité, qui varient principalement en fonction des travaux à entreprendre.
- Coût de la main d'œuvre et de maintenance



Chapitre III:
Résultats et discussion

III-1-Méthodologie de travail

Avant de réaliser une installation photovoltaïque, il faut tout d'abord estimer le coût du système PV. Dans notre étude dont la méthodologie est présentée dans la figure III-1, l'étude technico économique est effectuée 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) Prendre les résultats de dimensionnement et Fait le choix de matériels
- 4) Estimer le coût

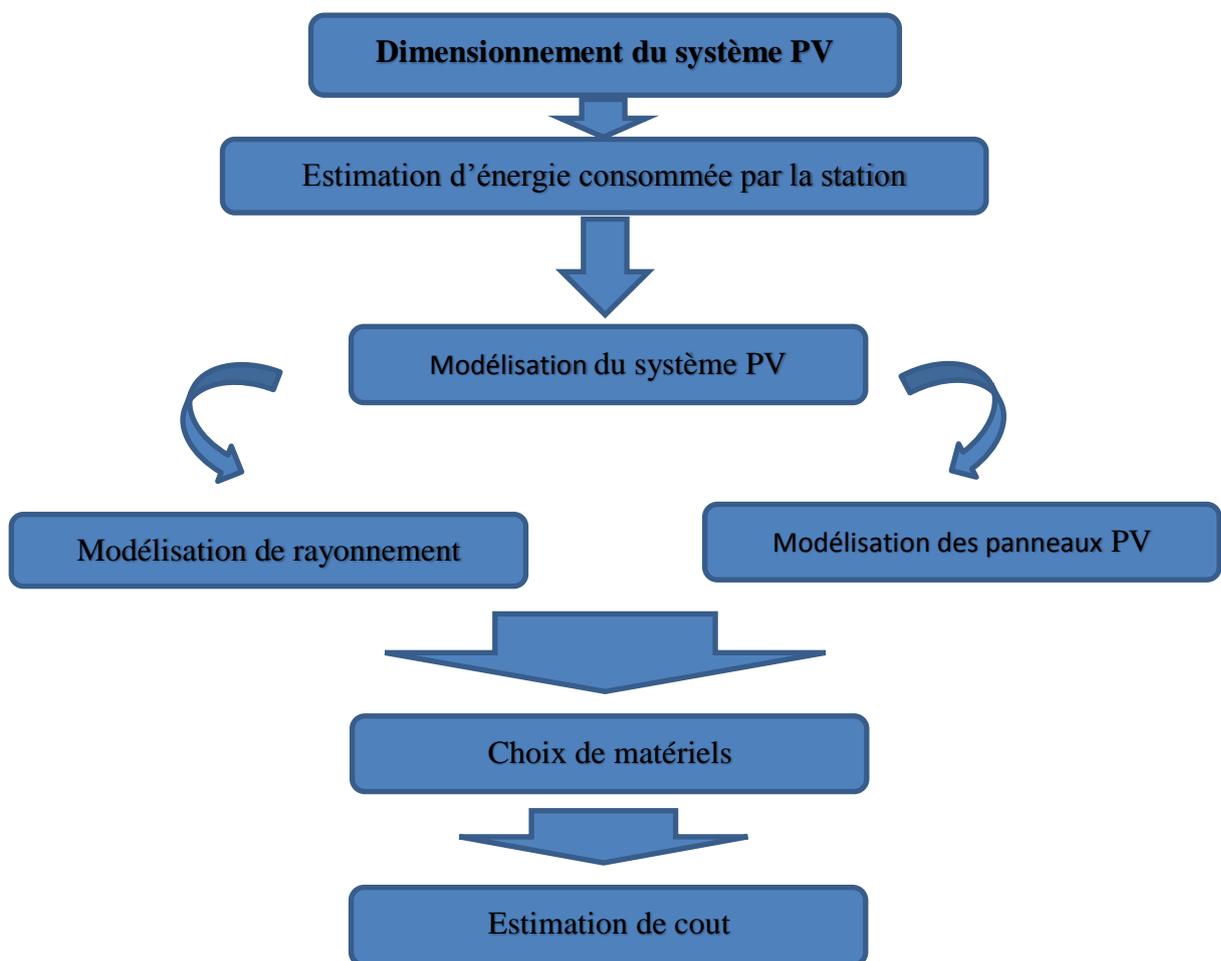


Figure (III-1)- Méthodologie du travail

III-2- Etude de système PV :

La modélisation du système PV est effectuée pour deux plans :

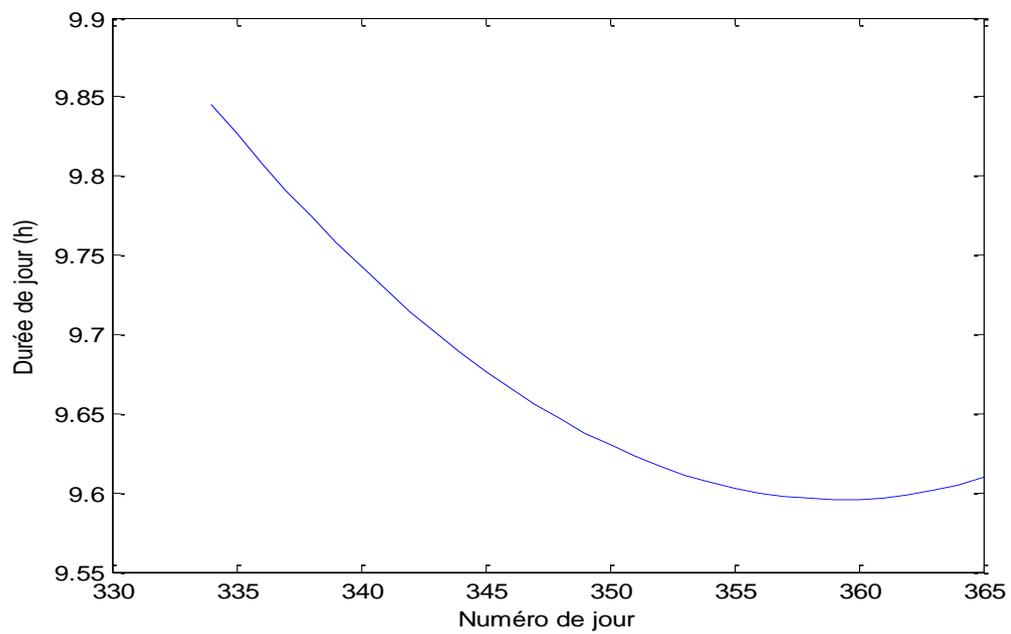
- Pour un plan a inclinaison fixe à 31°
- Pour plan du système de poursuite solaire (traqueur)

Les résultats de modélisations obtenues sont :

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

III-2-1- Evolution de durée de jour

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



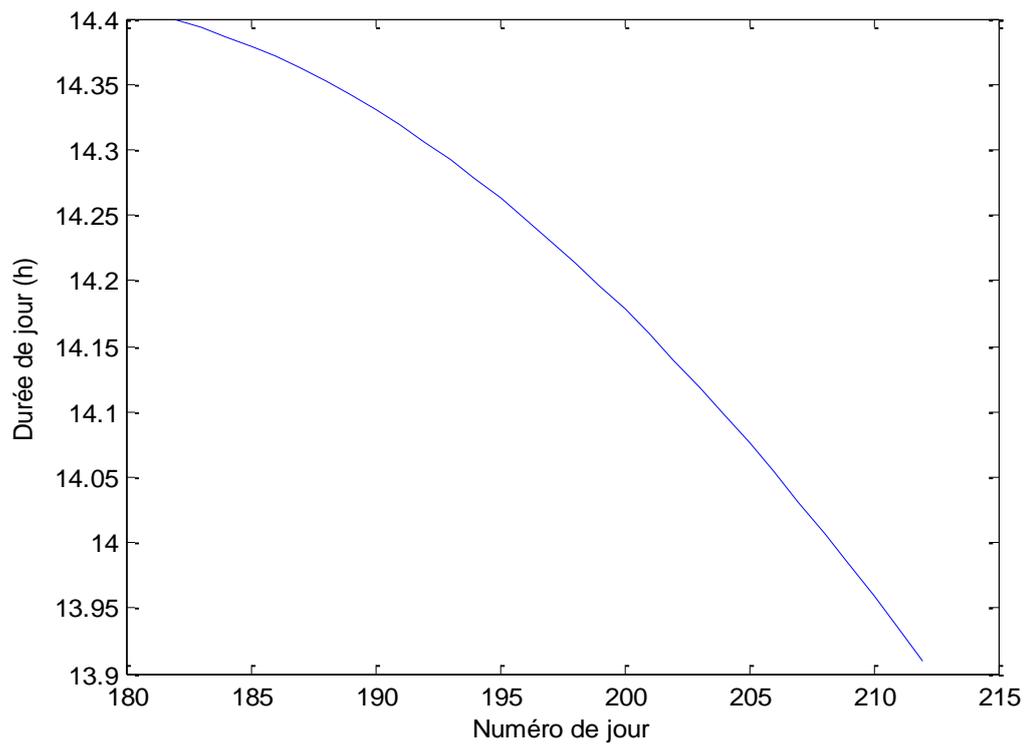


Figure (III-3)- Évolution de durée de jour au mois de Juillet

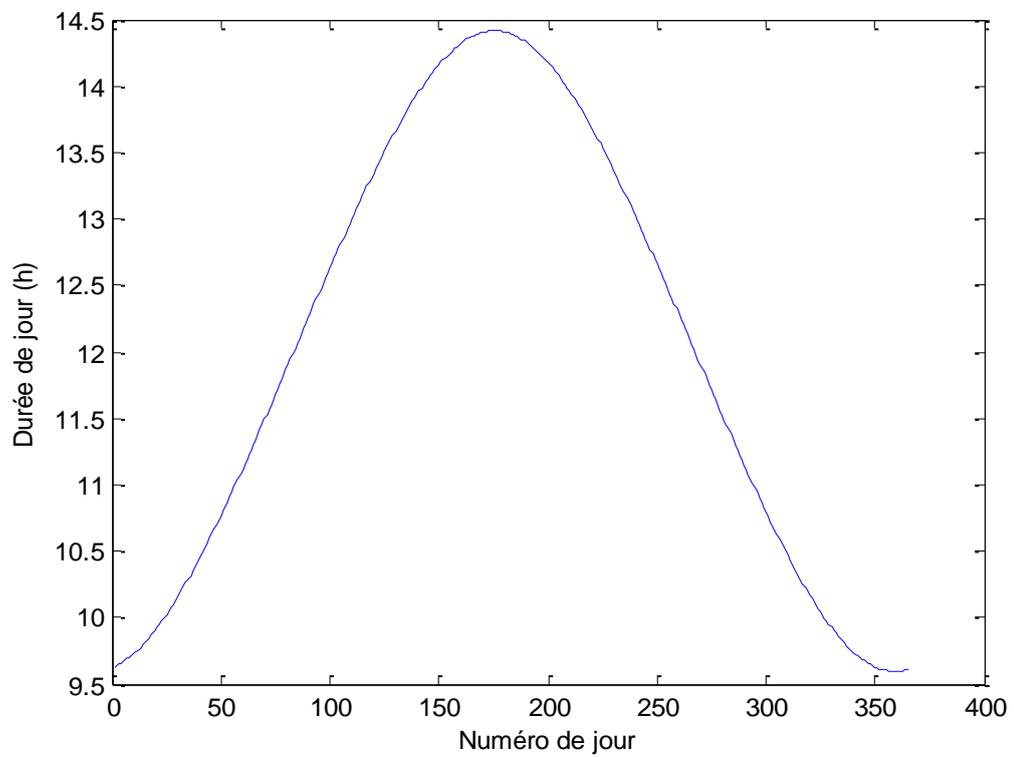


Figure (III-4)- Évolution annuel de durée de jour (2021)

Les figures (III-2), (III-3) et (III-4) 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-2-2- Evolution du rayonnement

III-2-2-1- Sur plan fixe

Les figures (III-5), (III-6) et (III-7) 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.

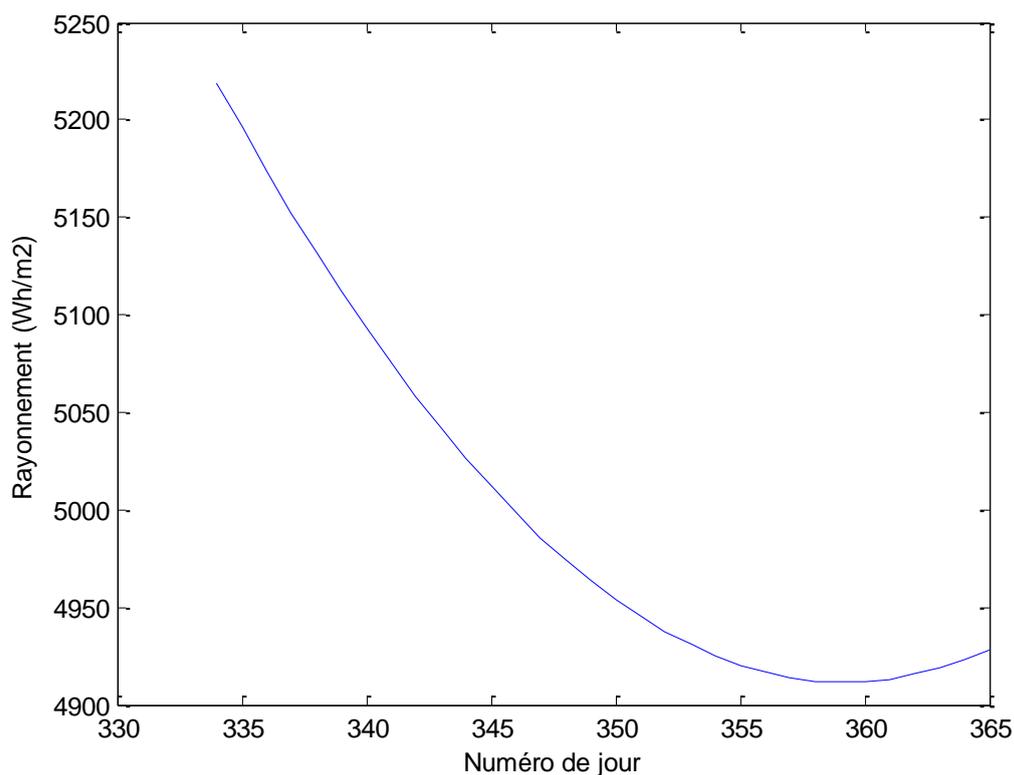


Figure (III-5)- Évolution de rayonnement au mois de Décembre

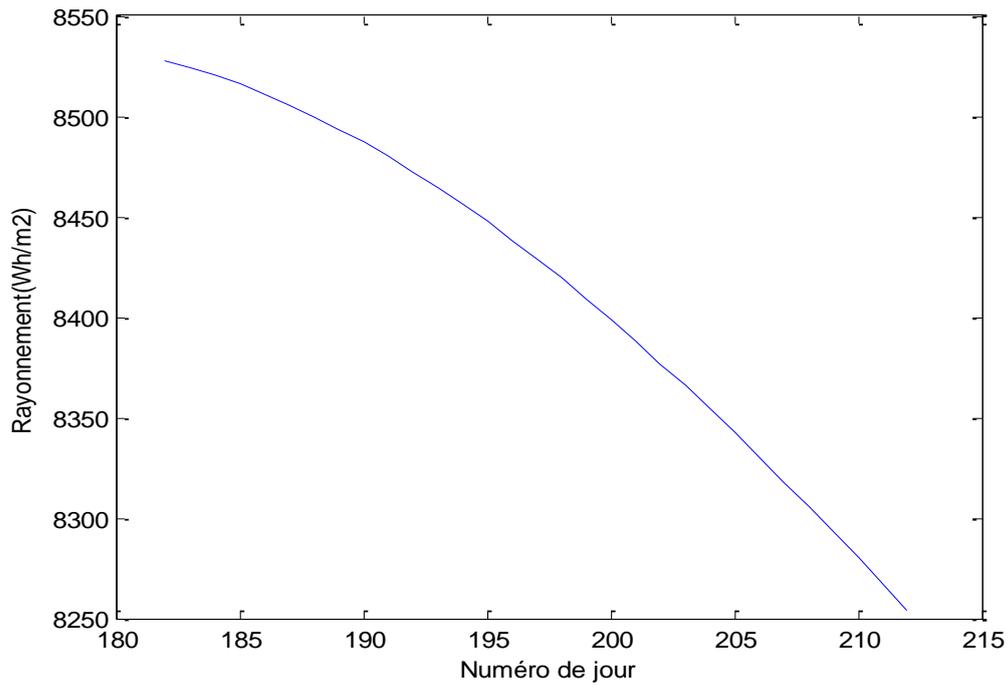


Figure (III-6)- Évolution de rayonnement au mois de Juillet

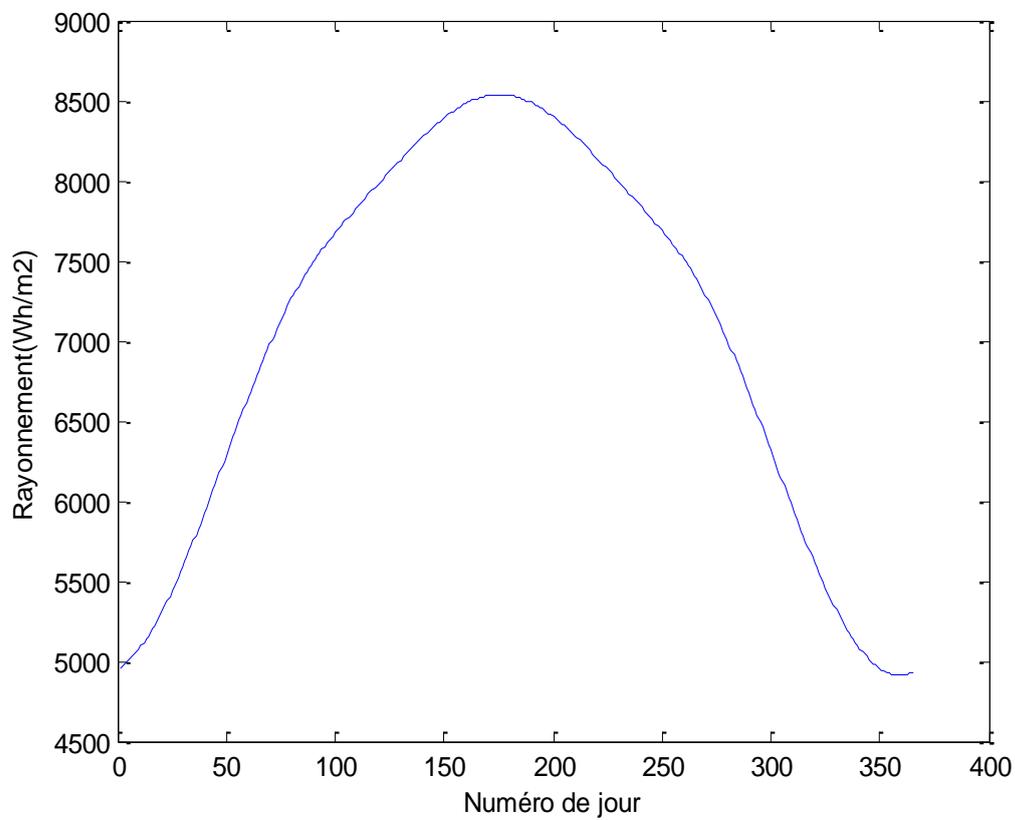


Figure (III-7)- Évolution de rayonnement pour l'année 2021

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

II-2-2-1- Sur plan traqueur

Les figures (III-8), (III-9) et (III-10) 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.

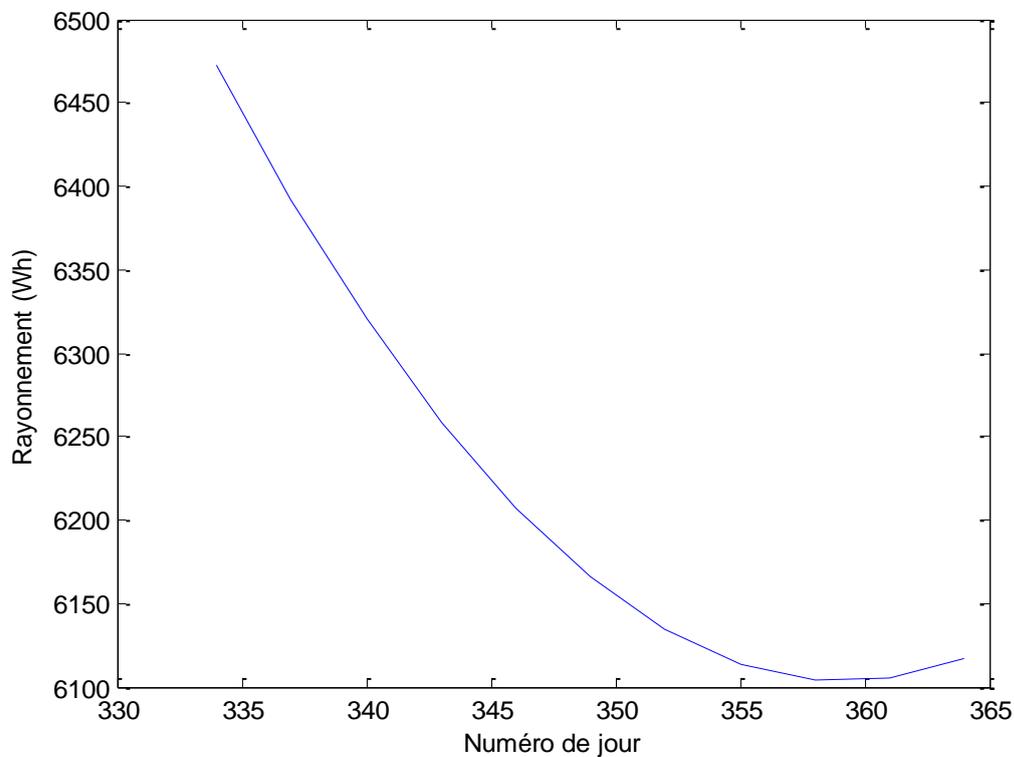


Figure (III-8)- Évolution de rayonnement au mois de Décembre

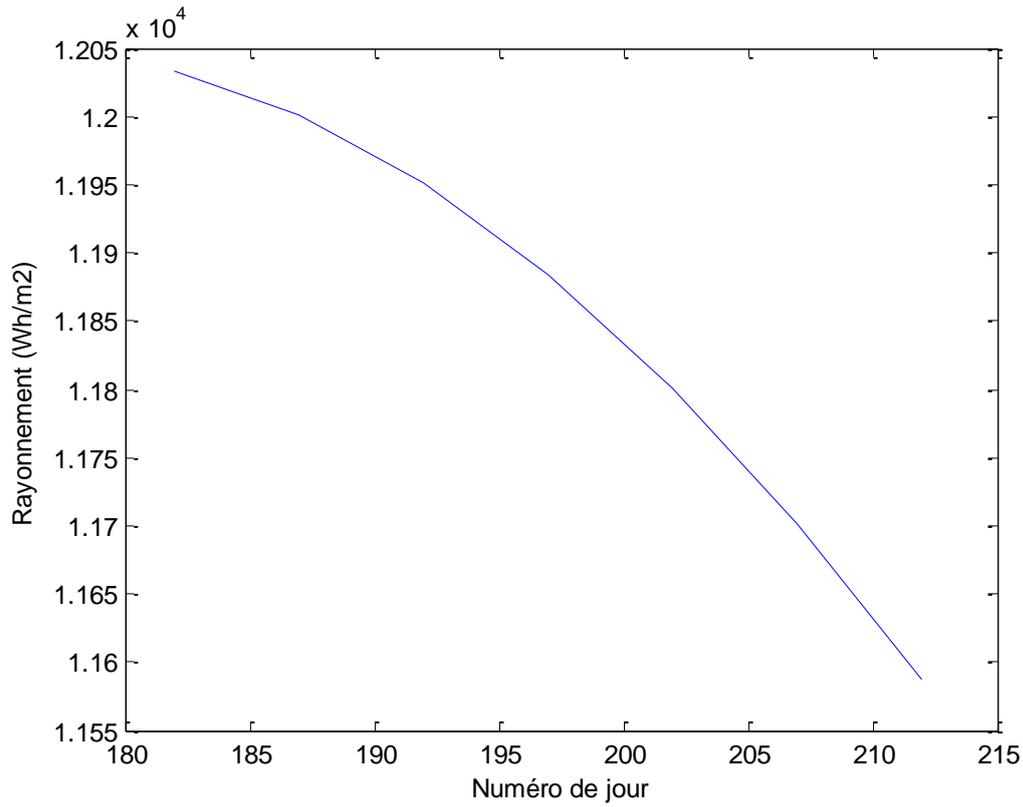


Figure (III-9)- Évolution de rayonnement au mois de Juillet

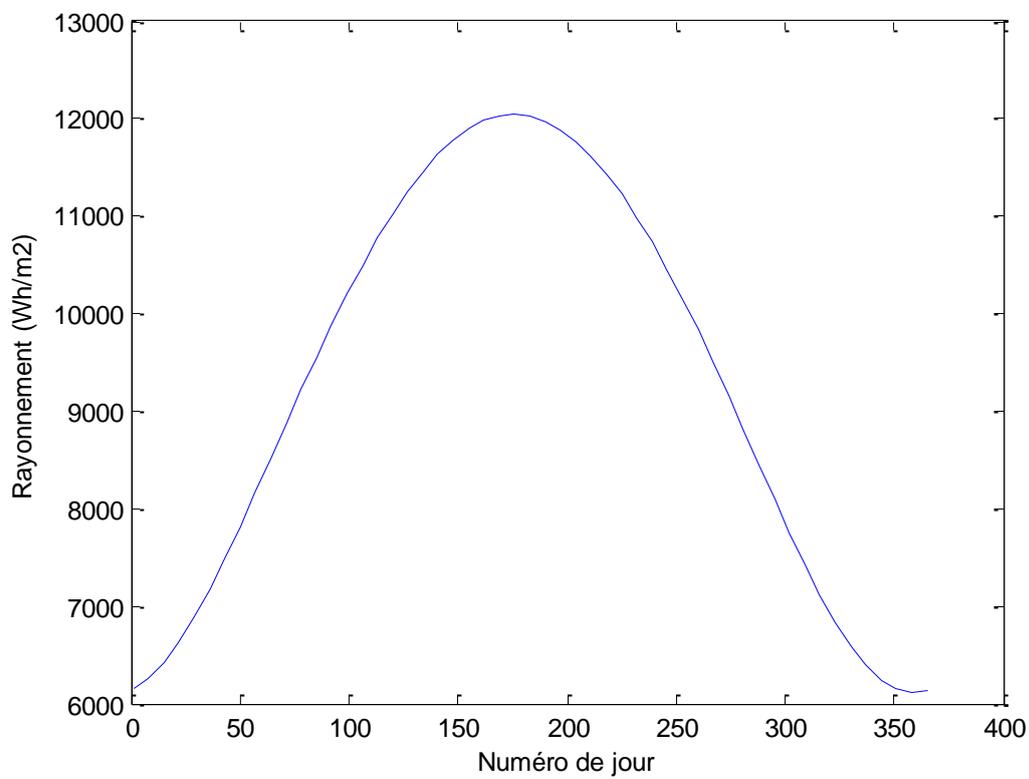


Figure (III-10)- Évolution annuel de rayonnement (l'année 2021)

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-2-3- Evolution d'énergie PV produite

III-2-3-1- Sur plan fixe

Les figures (III-11), (III-12) et (III-13) 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.

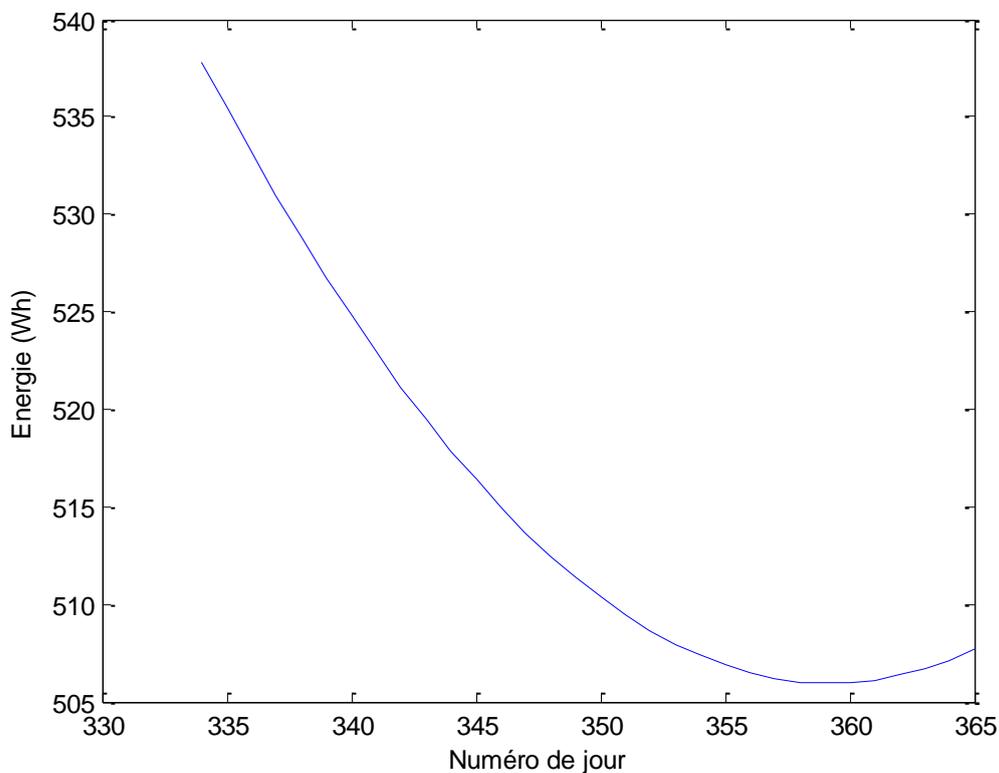


Figure (III-11)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre

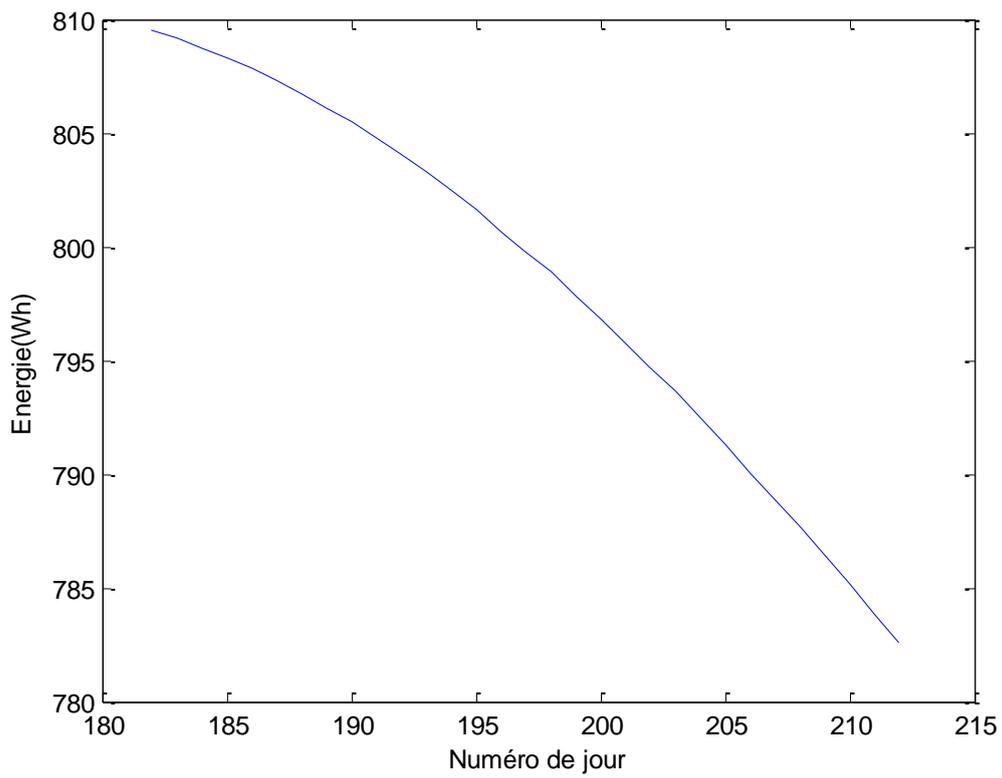


Figure (III-12)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet

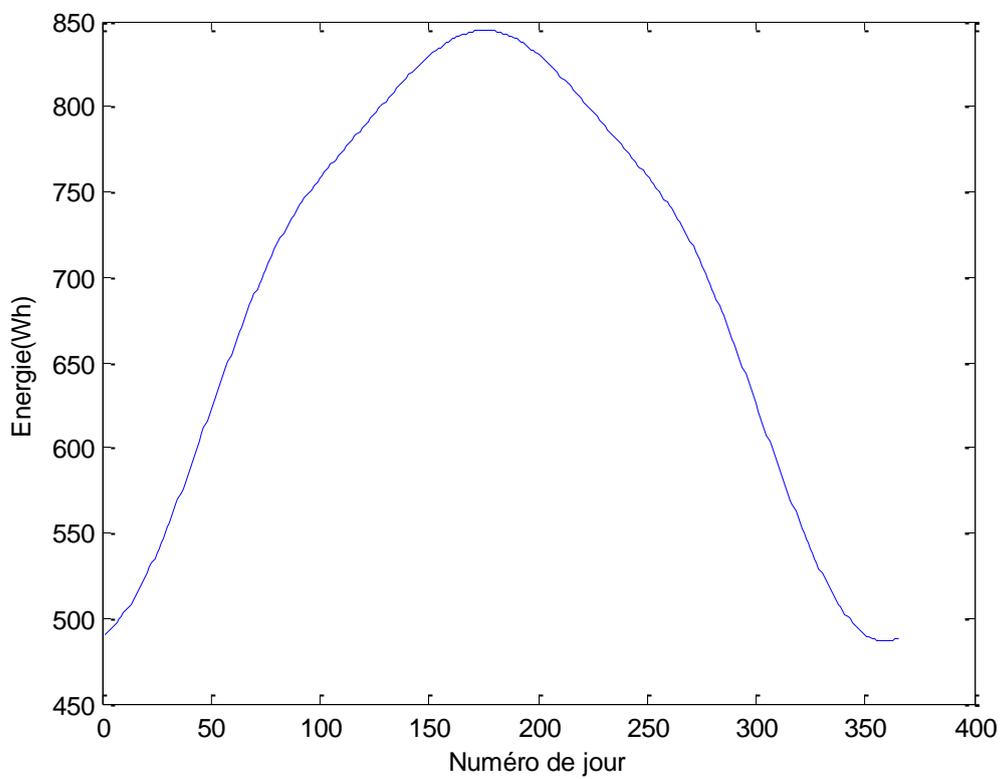


Figure (III-13)- Évolution annuel de l'énergie PV produite

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

III-2-3-1- Sur plan traqueur

Les figures (III-14), (III-15) et (III-16) 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.

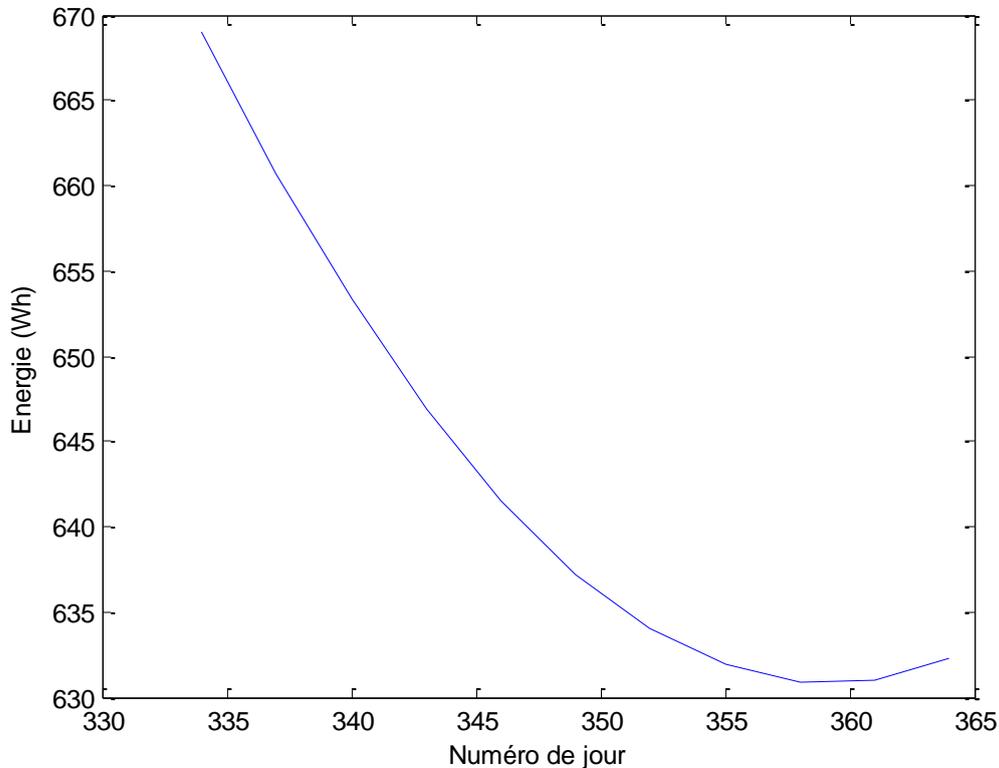


Figure (III-14)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Décembre

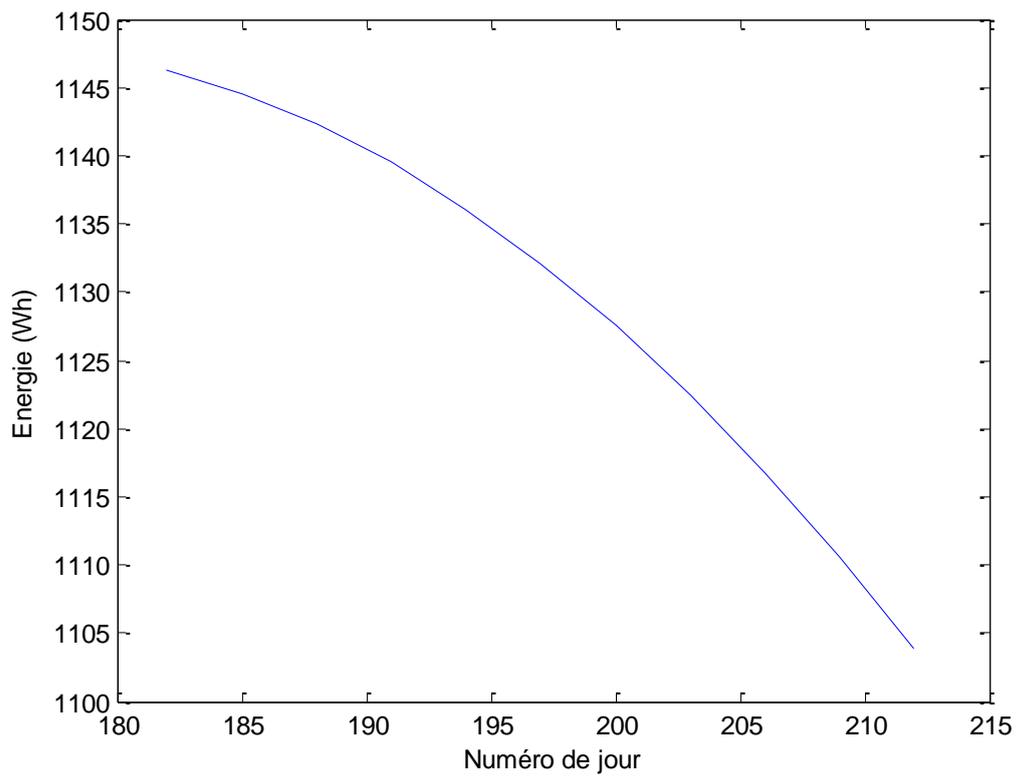


Figure (III-15)- Évolution de l'énergie PV produite au mois de Juillet

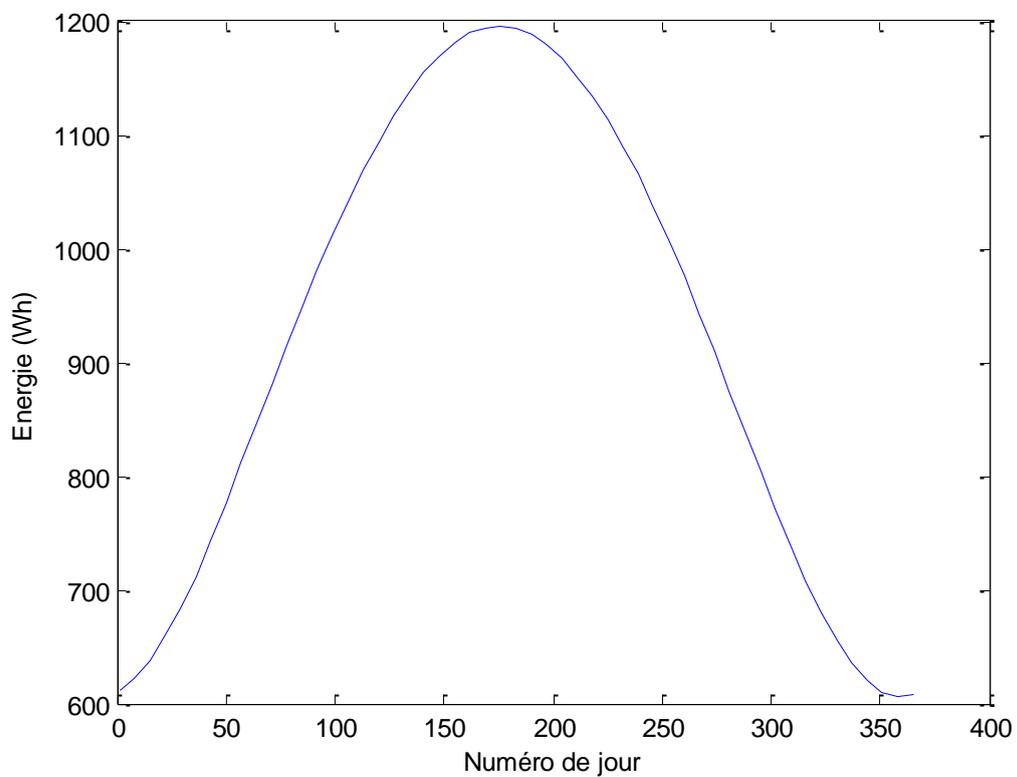


Figure (III-16)- Évolution annuel de l'énergie PV produite

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-2-4- Etude des caractéristique I-V des panneaux

Les figures (III-17), (III-18) et (III-19) 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

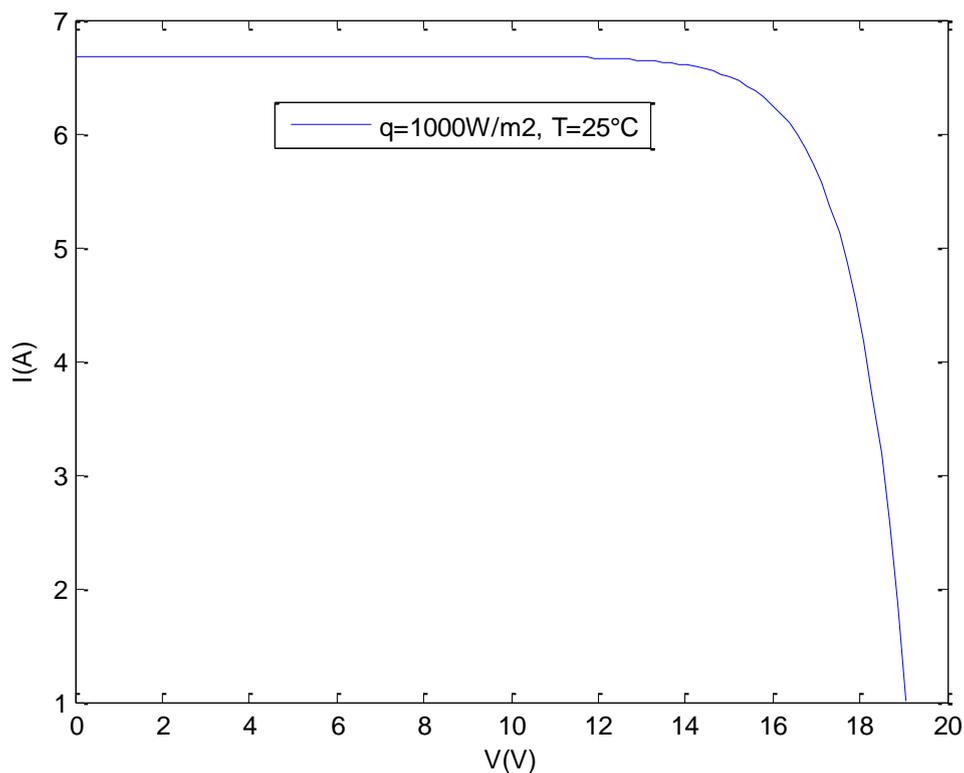


Figure (III-17)- Caractéristique I-V des panneaux PV utilisés

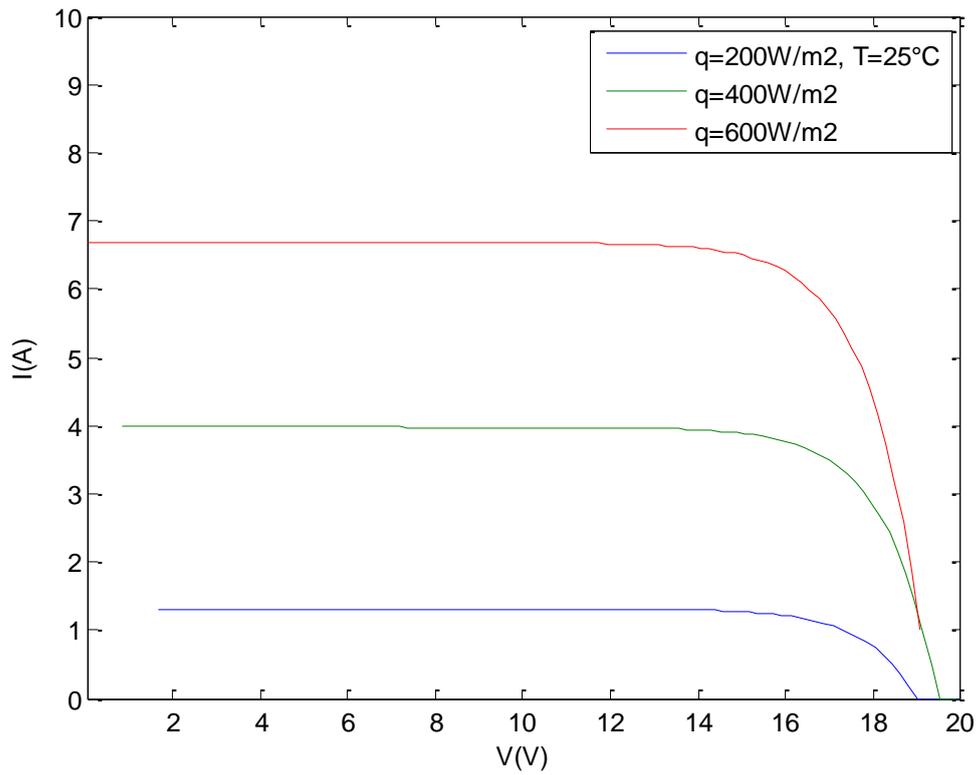


Figure (III-18)- Evolution de caractéristique I-V avec l'éclairement solaire a $T=25^\circ\text{C}$

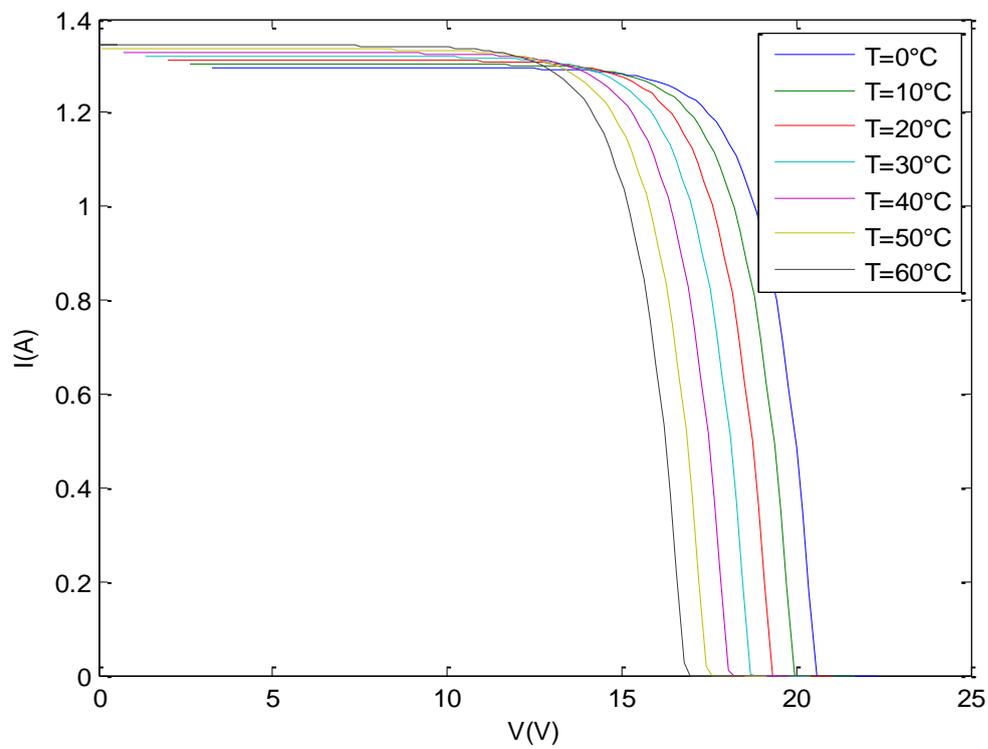


Figure (III-19)- Evolution de caractéristique I-V avec la température ambiante

Dans la figure (III-17), 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-18), 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-19), 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-3-Résultats d'étude technico-économique

La consommation électrique de la station est calculée comme suit :

$$Ech = P \cdot NH$$

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

NH : nombre des heures de fonctionnements

Cette considération est très élevé 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.

Les résultats de dimensionnement ramené est pour deux situations :

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

Les systèmes étudiés est trois pour chaque situation :

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

L'estimation de coût s'est effectué selon les différentes étapes écrient au chapitre 2, ainsi que selon les prix des modules PV, le régulateur et l'onduleur mentionnés au même chapitre.

Les résultats de dimensionnement 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° .
- $I_{RR} = 6124 \text{ Wh/m}^2$ pour plan avec traqueur.

III-3-1-1- Système a alimentation pour 24 heures (autonome)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III-1)- Coût du système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à inclinaison fixe

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181 €	136800	10695024€
Batterie	764,21€	304	232319,84 €	92416	70625231,36€
Régulateur	1 280 €	304	1280 €	304	389120€
Onduleur	11 400 €	1	11400 €	304	3465600€
Totale			280180,84 €		85174975,36€
Prix de w ou kwh	6,226 €/w				
Energie produit /an	28 035, 53208 KWh				

Tableau (III-2)- Coût du système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à traqueur

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181€	103500	8091630 €
Batterie	764,21€	384	293456,64€	88320	67495027,2 €
Régulateur	1 280 €	1	1280€	230	294400 €
Onduleur	11 400 €	1	11400€	230	2622000 €
Traqueur	850,99 €	18	15317,82€	4140	3523098,6 €
Totale			356635.46€		82026155,8 €
Prix de w ou kwh	7,925 €/w				
Energie produit /an	28 223, 8911 KWh				

III-3-1-2- Système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III-3)- Coût du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement) sur plan à inclinaison fixe

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181€	62100	4854978 €
Régulateur	1 280 €	1	1280€	138	176640 €
Onduleur	11 400 €	1	11400€	138	1573200 €
Traqueur	850,99 €	18	15317,82€	2484	2113859,16 €
Totale			63178,82€		8718677,16 €
Prix de w ou kwh	1,404€/W				
Energie produit /an	20 906 ,586 KWh				

Tableau (III-4)- Coût du système a alimentation uniquement journalière (pendant l'ensoleillement) sur plan à traqueur

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181 €	40950	3201471€
Régulateur	1 280 €	1	1280 €	91	116480 €
Onduleur	11 400 €	1	11400 €	91	1037400 €
Totale			€47861		4355351 €
Temps	14,41 h				
Prix de w ou kwh	1,063€/W				
Energie produit /an	10 360, 7595 KWh				

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

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III-5)- Coût du Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à inclinaison fixe

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181 €	81900	6402942€
Régulateur	1 280 €	1	1280 €	182	232960 €
Onduleur	11 400 €	1	11400 €	182	2074800€
Totale			€47861		€8710702
Temps	14,41 h				
Prix de w ou kwh	1,063 €/w				
Energie produit /an	20 721 ,519 KWh				

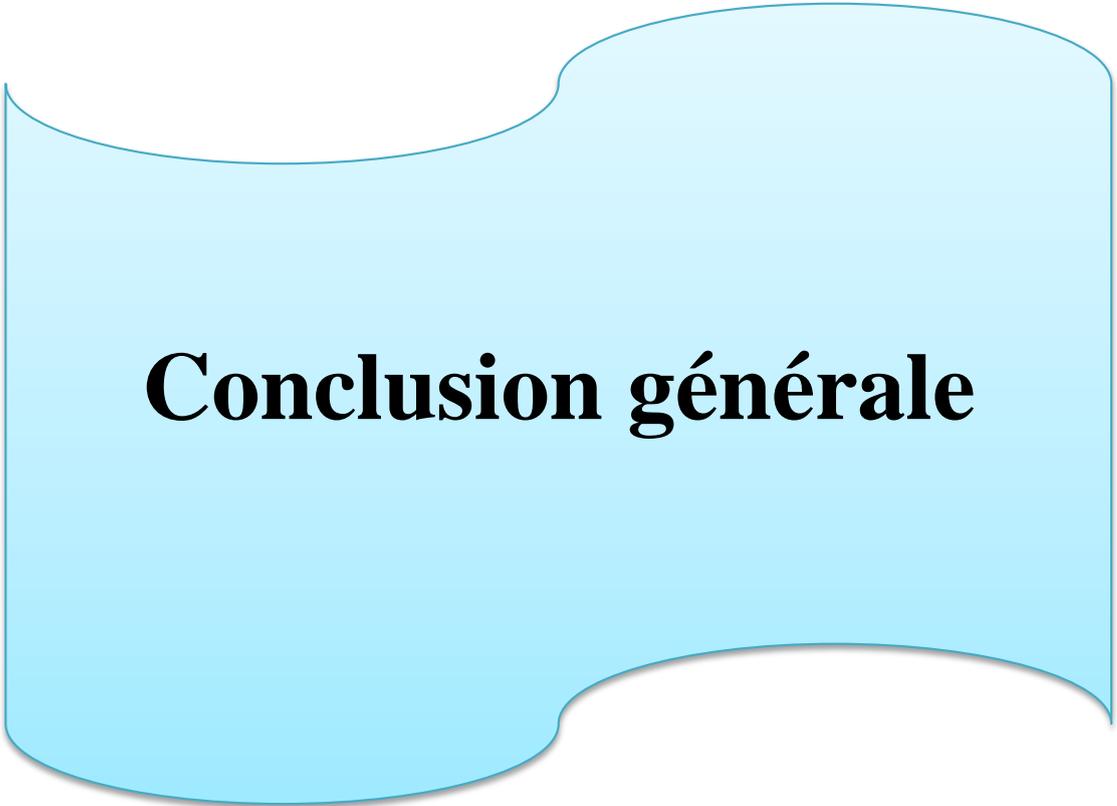
Tableau (III-6)- Coût du Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à traqueur

Matériels	Prix	Unite	Prix d'unité	Nombre	Prix
Panneau solaire	78,18 €	450	35181 €	31050	2427489 €
Régulateur	1 280 €	1	1280 €	69	88320 €
Onduleur	11 400 €	1	11400 €	69	786600 €
Traqueur	850,99 €	18	15317,82 €	1242	1056929.58 €
Totale			63178,82 €		4359338.58 €
Prix de w ou kwh	1,404€/W				
Energie produit /an	10 453, 293 KWh				

III-3-2- 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 et coût d'installation



Conclusion générale

Conclusion général

Au but de faire une étude technico-économique, on fait une modélisation du système PV appliqué à la région d'étude (Région de transport HEH). Dans ce modélisation ont étudié deux cas:

- Cas: plan à inclinaison fixe a 31°
- Cas: utilisation du système de poursuite solaire

Après la modélisation du système, le travail consacré à estimer le cout des systèmes pour différentes installations, basé sur les résultats de dimensionnements de nos collègues,

Les trois modes de fonctionnement dimensionnés sont:

1. Système autonome
2. Système alimenté pendant la journée
3. Système hybride (réseau sonalgaz- champ PV)

Ces trois modes appliquée pour ces deux plans (fixe et traqueur)

Les résultats d'étude obtenues est comme suit:

- système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à inclinaison fixe : 6,226€/W et 28035,53208 KWh
- système a alimentation pour 24 heures (autonome) sur plan à traqueur : 7,925€/W et 28223,8911KWh
- système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement) sur plan à inclinaison : 1,404€/W et 20906,586KWh
- système a alimentation uniquement journalière (pendant l'enseillement) sur plan à traqueur : 1,063€/W et 10360,7595KWh
- Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à inclinaison fixe : 1,063€/W et 20721,519KWh
- Système hybride a alimentation journalière (Réseau SONALGAZ- champ Photovoltaïque) sur plan à traqueur : 1,404€/W et 10453,293KWh

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

- d- Le système autonome est déconseillé à cause du besoin de grande espace pour l'installation PV, ainsi le coût élevé.
- e- Le système hybride est le meilleur comme installation moins chère

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 et coût d'installation

Références bibliographiques

- [1] Laronde Rémi « Essais Accélérés de Dégradation de Modules photovoltaïques ». Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2009.
- [2] CHERIFI OUSSAMA et MADACHE HAMZA'' Etude technico-économique d'un installation photovoltaïque pour une carrière'' Mémoire de Master UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2013
- [3] B. Equer, Energie solaire photovoltaïque (volume1 : physique et technologie de la conversion photovoltaïque), 1 ère édition, ELLIPES, Paris, 1993.
- [4] S. M. Sze, K. N. Kwok, Physics of Semiconductor Devices,3rd edition, WILEY INTERSCIENCE, New Jersey, 2
- [5] 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.
- [6]: M. Salmi « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications ", Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas de SETIF, 012. pages26/10-13
- [7]: M.SALMI, "Le gisement solaire", Polycopie de cours, Université Mohamed Boudiaf – M'SILA, page 6.
- [8]M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987M.
- [9]Y. N'goran, Contribution à la modélisation du gisemen solaire. Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (2005)
- [10] T. Ben Aoum, S.Mouissi, «Etude d'un système couplant générateur photovoltaïque et une charge électrolytique», Mémoire Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2015.
- [11] K. Ouabdelkader, H. Mersl, « Modélisation et contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau », Mémoire Master , Université Abderrahmane Mira, Bejaia 2015.
- [12] S. Bellakehal, « Conception et commande des machines amants a permanents dédiées aux énergies renouvelables », Thèse doctorat, Université de Constantine, 2010.

- [13] M. Khaerchi «Types d'onduleurs dans une centrale photovoltaïque connectée au réseau », journée nationale du solaire photovoltaïque DZPV . Alger, 2014.
- [14] I.Bendjamaa "Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque " Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [15]: GOAR Noureddine, MAHMOUDI Abdelkader, " Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque ", Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi, Juin 2017
- [16] A. Labouret, M. Viloz, Energie solaire photovoltaïque, 3 ème édition, DUNOD, Paris,2006.
- [17] S. Quoizola, Epitaxie en phase vapeur de silicium sur silicium mesoporeux pour reportsur substrats économiques et application photovoltaïque bas coût, Thèse de doctorat, , Lyon, 2003.
- [18] 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.
- [19]. BELAID LALOUNI Sofia , « Cours Energie Solaire Photovoltaïque », Université A.MIRA de BEJAIA le 2014/2015
- [20]: GUEDAOURIA H., " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar ", Mémoire de Master, Université Tahri Mohammed Bechar, 2017.
- [21]: H.Yotto « Etude et conception d'une mini centrale PV » mémoire fin d'études Master 2IE Bénin 2011
- [22]Bouziane Khadidja(CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DES PROCESSUS DE PRODUCTION ENERGETIQUE PHOTOVOLTAÏQUE (APPLICATION AUX PROCEDES D'EPURATION DESEAUX DANS LES ZONES RURALES)Université KASDI-MERBAH Ouargla Faculté des sciences appliquées Département de Génie des Procèdes: 29/09/2021
- [23] Présentation de la Région Transport ,Haoud EL Hamra, Ouargla le 03/02/2018
- [24]<http://www.accuweather.com/ar/dz/ouargla25/05/2022>
- [25]région station Haoud el hamra2022.
- [26]<http://www.accuweather.com/ar/dz/ouargla>

- [27]<http://www.univ-oep.dz/fssa/wp-content/upload/de-pompage-la-suite.pdf>
- [28]www.aliexpress.com
- [29]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 . 25/05/2022
- [30]www.pylontech.com.cn, 25/05/2022
- [31][www. Wald 2007.com](http://www.Wald2007.com)

