

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Énergétique

THÈME

**Effet de l'orientation des panneaux solaires sur la
performance d'une installation photovoltaïque.**

Préparé par :
Thabet Sara
Yahiaoui Amina

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Slimani Halim	MCB	UIK Tiaret	Président
Mekroussi Said	MCA	UIK Tiaret	Examinateur
MOULGADA Abdelmadjid	MCA	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2018/2019

Remerciements

On remercie Allah le tout puissant de nous avoir donné l'opportunité, la santé, et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire dans les bonnes conditions.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr MOULGADA Abdelmadjid. On le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements à Monsieur le Président de jury et Messieurs les membres de jury d'avoir accepté de nous faire l'honneur de juger ce travail.

Nos profonds remerciements s'adressent également à tous nos enseignants du département du génie mécanique pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles et pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

Nos remerciements vont également à l'endroit de tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur, une longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A ma grand-mère chérie "Aicha" qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui donner une longue vie et beaucoup de santé et de bonheur.

*A mes chères tantes "karima" et "kheira"
A mes petits frères "RAYANE" et "NOUR"*

A tout ma famille "Thabet" et "seghier" je vous adore trop, vous êtes super !!

À tous mes amis de toujours "Amina", "Souad", en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

A toute la promotion mécanique (énergétique) sans exception. A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

THABET SARA

Dédicace

Un mémoire n'est pas le fruit du seul travail de son auteur, mais le résultat de plusieurs et profondes collaborations.

Tout d'abord, Grace à Dieu tout Puissant et en signe de reconnaissance pour ma réussite et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail :

De ma profonde gratitude, à la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, cette source de tendresse, de patience et de générosité, Ma mère.

Mère, je t'exprime mon profond respect et j'espère que j'ai été à la hauteur. Ma joie est que tu sois fière de moi.

A mes très chers frères Baghdad, Youcef, Lakhder, Mohamed et mon petit cher Abdelrazak

A ma chère soeur : Halima

A mes très chères amies : Sara, Fatima

A toute la famille Yahiaoui et Laribi

A tous mes collègues de la promotion de 2ème année Master énergétique (génie Mécanique): 2018/2019.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

YAHIAOUI AMINA

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Les cinq familles d'énergie renouvelable	4
Figure I.2 : Principaux éléments d'une éolienne	5
Figure I.3 : Eoliennes à axe horizontal.....	5
Figure I.4 : éoliennes domestiques	6
Figure I.5 : Eoliennes à axe vertical.....	6
Figure I.6 : Les hydroliennes	7
Figure I.7 : Eoliennes de pompage	8
Figure I.8 : Principe de central hydraulique	9
Figure I.9 : Energie de biomasse	11
Figure I.10 :Principe de centrale biomasse	12
Figure I.11 :Centrale géothermique	13
Figure I.12 :Les différents types de la géothermie	14
Figure I.13 :Capteur horizontal	14
Figure I.14 :Capteur vertical	15
Figure I.15 :Nappe phréatique	15
Figure I.16 :Graphique de l'utilisation de l'énergie géothermique	16
Figure I.17 :Schéma présentatif d'un capteur solaire.....	17
Figure I.18 :Capteurs plan vitré	18
Figure I.19 :Capteur plan sans vitre	19
Figure I.20 : Capteur à tubes sous vide.....	19
Figure I.21 :Principe de fonctionnement de la solaire thermodynamique	20
Figure I.22 :Les capteurs cylindro-paraboliques.....	21
Figure I.23 :Centrale solaires à miroirs de Fresnel.....	22
Figure I.24 :Centrale à tour.....	22
Figure I.25 :centrale à capteurs paraboliques	23

Chapitre II

Figure II.1 : Puissance photovoltaïque installée dans le monde par année.....	28
Figure II.2 : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil.....	29
Figure II.3 : Les coordonnées géographiques.....	30
Figure II.4 : Les coordonnées horaires.....	30
Figure II.5 : l'azimut et la hauteur solaire.....	31
Figure II.6 : Spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil.....	32
Figure II.7 : Composants du rayonnement solaire.....	32
Figure II.8 : L'atlas mondial de l'irradiation solaire.....	33
Figure II.9 : Principe de l'énergie photovoltaïque.....	34
Figure II.10 : Les panneaux photovoltaïques.....	34
Figure II.11 : Construction interne de la cellule solaire.....	35
Figure II.12 : Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium.....	37
Figure II.13 : Principe de fonctionnement.....	37
Figure II.14 : Caractéristiques $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule PV.....	38
Figure II.15 : Caractéristiques $J-V$ et $P-V$ sous l'éclairement.....	38
Figure II.16 : Cellule monocristalline.....	39
Figure II.17 : Cellule polycristallin.....	39
Figure II.18 : Cellule amorphe.....	40

Liste des figures

Figure II.19 : Caractéristiques résultants d'un regroupement de N_s cellules en séries.....	42
Figure II.20 : Caractéristiques résultants d'un Regroupement de N_p cellules en parallèle....	42
Figure II.21 : Caractéristiques regroupement (série et parallèle).....	42
Figure II.22 : Installation sur site isolé.....	43
Figure II.23 : Exemples d'utilisation.....	43
Figure II.24 : Exemples d'utilisation.....	44
Figure II.25 : Les constituants d'un système PV.....	44
Figure II.26 : Les différentes couches et matériaux composants un module photovoltaïque	46
Figure II.27 : Panneau orientable.....	46
Figure II.28 : Panneau fixe.....	47
Figure II.29 : Panneau mobile.....	47
Figure II.30 : Modules souples pour toits plats.....	48
Figure II.31 : Batteries solaires.....	48
Figure II.32 : Les régulateurs solaires.....	49
Figure II.33 : Les types d'onduleur solaire.....	50
Figure II.34 : Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome.....	50
Figure II.35 : Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque(connecté au réseau).....	51
Figure II.36 : Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride).....	51
Figure II.37 : Inclinaison et orientation des panneaux.....	52
Figure II.38 : Représentativité des différents modes de dégradation.....	53
Figure II.39 : Les différents composants du module photovoltaïque soumis à ladégradation	53

Chapitre III

Figure III.1 : Structure de l'installation photovoltaïque autonome.....	57
Figure III.2 : Interface du logiciel.....	59
Figure III.3 : Coordonnées de la wilaya dans le logiciel PVsyst.....	60
Figure III.4 : Trajectoire du soleil à la willaya de Bechar.....	60
Figure III.5 : Orientation des modules.....	61
Figure III.6 : Besoins d'utilisateur.....	63
Figure III.7 : Configuration du système dans PVsyst.....	64
Figure III.8 : Schéma simplifié d'une installation PV isolé avec batterie.....	65
Figure III.9 : Profil de consommation adopté.....	65
Figure III.10 : Paramètres de simulation d'une installation PV.....	66
Figure III.11 : Paramètres du système.....	67
Figure III.12 : Principaux résultats.....	68
Figure III.13 : Production normalisée de la puissance.....	69
Figure III.14 : Indice de performance et fraction solaire.....	69
Figure III.15 : Diagramme des pertes sur une année.....	71
Figure III.16 : Facteur normalisé de production et de perte.....	72
Figure III.17 : Energie incidente de référence.....	72
Figure III.18 : Distribution annuelle de l'irradiation incidente.....	73
Figure III.19 : Distribution de la puissance du champ.....	73
Figure III.20 : Diagramme entrée et sortie journalière.....	74
Figure III.21 : Energie journalière à la sortie du champ.....	74
Figure III.22 : Comportement du module selon irradiation incidente.....	75
Figure III.23 : Comportement du module selon la température.....	76
Figure III.24 : Comportement du module selon la résistance en série.....	76

Liste des figures

Figure III.25 : Comportement du module selon la résistance en parallèle.....	77
Figure III.26 : Principaux résultats pour l'inclinaison 30°.....	78
Figure III.27 : Principaux résultats pour l'inclinaison 40°.....	79
Figure III.28 : Principaux résultats pour l'inclinaison 50°.....	80
Figure III.29 : Principaux résultats pour l'inclinaison 60°.....	81
Figure III.30 : Principaux résultats pour l'inclinaison 70°.....	82
Figure III.31 : Variation de l'énergie productible en fonction de l'inclinaison.....	83
Figure III.32 : Variation de l'énergie utilisée en fonction de l'inclinaison.....	84
Figure III.33 : Variation de l'énergie inutilisée en fonction de l'inclinaison.....	84
Figure III.34 : Variation de facteur de fraction en fonction de l'inclinaison.....	85
Figure III.35 : Variation de performance en fonction de l'inclinaison.....	85

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Rayonnement réfléchi	33
Tableau II.2 : Comparaison des différentes technologies d'une cellule	44
Tableau II.3 : Principaux modes de dégradation des modules PV en Silicium cristallin.....	54
Tableau III.1 : Coordonnées géographiques de la willaya de Bechar.....	59
Tableau III.2 : Caractéristiques climatiques du site de Bechar.....	61
Tableau III.3 : Besoins énergétiques.....	62
Tableau III.4 : Energie totale installé.....	62
Tableau III.5 : les composants de l'installation	64
Tableau III.6 : Tableau de Bilan et résultat principaux.....	70
Tableau III.7 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus	83

Nomenclature

Nomenclature

Indice	Mot clé	Unité
ER	Energies renouvelables	/
GES	Gaz à effet de serre	/
T	Température	K
PAC	Pompe à chaleur	/
PV	Photovoltaïque	/
c	Vitesse lumineuse	M/s
Ic	Rayonnement solaire	/
I ₀	Constante solaire	w/m ²
n _j	Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er Janvier	/
TSV	Le Temps Solaire Vrai	S
E _{ph}	Energie de photons	/
h	La constante de Planck	J.s
I _h	Le rayonnement direct horizontal	w/m ²
D _h	Le rayonnement diffus	w/m ²
Alb	L'albédo	w/m ²
ZCE	Zone de Charge d'Espace	/
I _{cc}	Courant de court-circuit	A
V _{co}	La tension de circuit ouvert	V
P _{in}	La puissance incidente (d'éclairement)	W
MPPT	Maximum power point tracking	/
EVA	Ethylène-acétate de vinyle	/
PR	Performance Ration	/

Sommaire

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Nomenclature	
Liste des figures, Images et tableaux	

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I Généralités sur les énergies renouvelables

Introduction	3
I.1 Définition de l'énergie renouvelable	3
I.2 Les différents types de l'énergie renouvelable	4
I.2.1 Energieéolienne.....	4
I.2.1.1. Définition	4
I.2.1.2. Principe de fonctionnement	4
I.2.1.3.Les différents types d'éoliennes	5
I.2.1.4.Les avantages et les inconvénients	8
I.2.2 L'Energie hydraulique	9
I.2.2.1. Définition	9
I.2.2.2. Principe de fonctionnement	9
I.2.2.3.Les types de l'énergie hydraulique.	10
I.2.2.4.Utilisation de l'énergie hydraulique.....	10
I.2.2.5Les avantages et les inconvénients.....	10
I.2.3La biomasse	11
I.2.3.1. Définition	11
I.2.3.2. Principe de fonctionnement	11
I.2.3.3.Les type de biomasse	12
I.2.3.4.Les avantages et les inconvénients	12
I.2.4Energie géothermique	13
I.2.4.1. Définition	13
I.2.4.2. Principe de fonctionnement	13
I.2.4.3. Différents types de gisements géothermiques	14
I.2.4.4. Les différents captages et source d'énergie	14
I.2.4.5.Utilisation de la géothermie.....	15
I.2.4.6.Les avantages et les inconvénients	16
I.2.5 Energie solaire	16
I.2.5.1. Définition	16
I.2.5.2. Principe de fonctionnement	16
I.2.5.3. Les type de l'énergie solaire	17
I.2.5.4 Les avantages et les inconvénients	24
I.3 Le développement des énergies renouvelables : emploi et métiers	25
I.4 Les énergies renouvelables dans le monde	25
I.5 La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables	25
I.6 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables.....	26
Conclusions	26

Sommaire

Chapitre II Etude descriptive sur les panneaux photovoltaïques

Introduction	27
II.1. Historique de l'énergie photovoltaïque	27
II.1.1. Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque	27
II.2. Notions sur la nature du rayonnement solaire	28
II.2.1. Le Soleil.....	28
II.2.2. La constante solaire	29
II.2.3.Aspects géométriques du rayonnement solaire	29
II.2.4.Mouvements de la terre	29
II.2.5.Les coordonnées célestes.....	29
II.2.5.1.Les coordonnées géographiques.....	29
II.2.5.2. Les coordonnées horaires	30
II.2.5.3. Les coordonnées horizontales.....	31
II.2.6. Le Temps Solaire Vrai.....	31
II.2.7. Le rayonnement solaire	32
II.2.7.1. Différents types de rayonnement solaire	32
II.3.L'énergie photovoltaïque.....	34
II.4. les panneaux photovoltaïques	34
II.5. Principe de la conversion photovoltaïque.....	35
II.6. La cellule photovoltaïque	35
II.6.1.Définition.....	35
II.6.2. Composition.....	35
II.6.3.Principe de fonctionnement	36
II.6.4.Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque	37
II.6.5. Les différentes technologies des cellules photovoltaïques	39
II.6.6. Comparatif des différentes technologies	41
II.6.7 Regroupement des cellules	42
II.7.Les différentes installations photovoltaïques	43
II.7.1. Les installations sur site isolé	43
II.7.2. Les installations raccordées au réseau de distribution public.....	43
II.8. Le système photovoltaïque	44
II.8.1. Le module photovoltaïque	45
II.8.2. Batterie solaire	48
II.8.3. Régulateur.....	49
II.8.4. Le convertisseur.....	49
II.8.5. La charge	50
II.9.Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque.....	50
II.9.1. Mode autonome	50
II.9.2. Mode connecté au réseau.....	51
II.9.3. Mode hybride.....	51
II.10.Orientation et inclinaison des panneaux photovoltaïques	52
II.11. Dégradation d'un module photovoltaïque	52
II.12. Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque.....	55
II.13. Avantages et inconvénients des énergies renouvelables	55
Conclusion.....	56

Sommaire

Chapitre III Simulation et interprétation

Introduction	57
III.1 Définition	57
III.2 Les Options de logiciel PVsyst	58
III.2.1 Pré dimensionnement	58
III.2.2 Conception du projet	58
III.3. Etude de système photovoltaïque	59
III.3.1 Identification du site géographique	59
III.3.2 Orientation et inclinaison des modules	61
III.3.3 Evaluation des besoins en électricité	62
III.3.4 Conception du système de l'installation	63
III.4. Résultats et discussions de la simulation numérique	65
III.4.1 Inclinaison 20	66
III.4.2 Inclinaison 30	78
III.4.3 Inclinaison 40	79
III.4.4 Inclinaison 50	80
III.4.5 Inclinaison 60	81
III.4.6 Inclinaison 70	82
III.5. Discussions de la simulation numérique	83
Conclusion	86
Conclusion générale	87

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie d'origine fossile a pris de l'ampleur. Compte tenu de l'épuisement de ces énergies usuelles conventionnelles et leur impact négatif sur l'homme et la nature, il devient impératif d'utiliser des énergies propres non polluantes et gratuites comme l'énergie solaire.

La consommation mondiale énergétique augmente malheureusement au détriment de l'environnement qui nous entoure, d'une part, et non renouvelable d'autre part. En effet, les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel, etc...) sont utilisées de manière abusive. Ces énergies sont polluantes et limitées. Aujourd'hui la communauté scientifique reconnaît la responsabilité de cette consommation sur le réchauffement climatique qui risque d'avoir des effets dramatiques sur les équilibres physiques, économiques sociaux et politiques de notre planète. Le recours à des énergies propres pour assurer la sécurité énergétique et le développement économique et social des populations devient incontournable. Les énergies renouvelables et spécialement le solaire devrait être la tendance en tenant compte de la sécurité de l'approvisionnement et de la protection de l'environnement, ce choix est motivé par le fait que la quantité d'énergie solaire reçue chaque jour par la planète est 5 fois supérieure à la totalité des consommations quotidiennes humaines (nucléaire, charbon, bois, fioul, gaz, hydraulique...).

L'énergie solaire est la plus dominante parmi les énergies renouvelables et aussi là plus facilement exploitable. De par la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à travers le monde, cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années. Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables représente un handicap face à l'expansion de son utilisation. L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répandre davantage dans le monde.

L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes l'une produit ces calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre, l'énergie solaire photovoltaïque qui produit de l'électricité et qui fera l'objet d'étude de ce mémoire.

Habituellement, la recherche et le développement photovoltaïque ont été axés sur l'analyse des rayonnements, les stratégies d'exploitation efficace, la conception et le dimensionnement de ces systèmes oubliant certains aspects critiques et les conditions externes qui peuvent affecter le fonctionnement du système du module photovoltaïque. Le vieillissement des cellules photovoltaïques et des modules est un processus qui évolue naturellement avec les

Introduction Générale

années de fonctionnement du module dans les conditions de terrain (le vent, la pluie, la neige, la chaleur, la lumière...) et qui par conséquent affecte le rendement du module.

Dans ce travail nous allons essayer de voir l'effet de l'orientation des panneaux solaires sur la performance d'une installation photovoltaïque autonome, il est réparti en trois chapitres :

Dans le premier chapitre porte sur des généralités sur les énergies renouvelables, et une petite description des différents types de centrales solaires.

Le second chapitre traite une étude descriptive sur les panneaux photovoltaïques, et quelques notions de base sur l'énergie solaire.

Le troisième chapitre est consacré à une simulation numérique par le logiciel PVsyst d'une installation autonome, dans notre cas, c'est une maison localisée dans la région sud d'Algérie (Bechar), pour pouvoir modéliser les panneaux photovoltaïques correspondantes.

Nous achevons notre travail par une conclusion générale de la simulation.

Chapitre I :

Généralités sur les énergies renouvelables

Introduction

Nous vivons dans une société de consommation dont nos besoins d'énergie augmentent car l'énergie, en général, est nécessaire à l'homme. Celui-ci en a besoin pour se chauffer, s'éclairer, se déplacer, se nourrir, se soigner, Mais cette énergie que nous utilisons n'est pas éternelle, et nos ressources sont en train de s'épuiser rapidement. C'est pour cela que l'on cherche constamment des énergies alternatives qui n'ont pas autant d'effet sur l'environnement, ce sont les énergies renouvelables. De façon prédominante, les ressources sur lesquelles se base la majeure partie des sociétés sont épuisables (charbon, pétrole, gaz naturel et uranium). Mais, au rythme auquel elles sont actuellement exploitées, les experts prévoient un épuisement des réserves de pétrole dans 45 ans, de gaz et d'uranium dans 65 ans et de charbon dans 200 ans. Ces énergies épuisables représentent un obstacle au développement durable : de par leur caractère épuisable limitant leur utilisation future mais aussi par le fait qu'elles ne respectent pas l'environnement. Par conséquent, ces limites, assez proches, doivent nous obliger à nous tourner vers d'autres façons de produire de l'énergie.

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre.

Dès lors, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables semble être une solution adéquate car, c'est surtout l'usage des énergies fossiles qui renforce le phénomène d'effet de serre et donc le réchauffement de la planète. Encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement.

I.1 Définition de l'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables (ER) utilisent des flux inépuisables d'énergies d'origine naturelle (soleil, vent, eau, croissance végétale...). Ces énergies de l'avenir ne couvrent pourtant que 22% de la consommation mondiale d'électricité avec l'importance de l'hydroélectricité qui représente les trois quarts de l'électricité issue des ER. [1]

Les principaux intérêts des énergies renouvelables sont leur non épuisement et leurs émissions très limitées de gaz à effet de serre (GES) comme en témoigne l'analyse du cycle de vie de leur exploitation. Évaluation des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie pour les grandes catégories de technologies de production d'électricité par :

- Hydraulique (Eau : turbines).
- Biomasse (bois CO_2 de combustion = CO_2 de la croissance des arbres: photosynthèse).
- Energie géothermique.
- Solaire (thermique et photovoltaïque).
- Eolienne (Vent).



Figure I-1 : les cinq familles d'énergie renouvelable [2]

I.2 Les différents types de l'énergie renouvelable

I.2.1.Énergie éolienne

I.2.1.1. Définition

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire : les rayons solaires absorbés dans l'atmosphère entraînent des différences de température et de pression. De ce fait les masses d'air se mettent en mouvement et accumulent de l'énergie cinétique. [3]

I.2.1.2. Principe de fonctionnement

Une éolienne est un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité. Elle est composée des principaux éléments suivants :

- 1. Un mât**, haut d'une centaine de mètres en moyenne, qui soutient la nacelle afin que celle-ci puisse capter des vents plus hauts donc plus forts.
- 2. Une nacelle**, située en haut de ce mât, qui abrite notamment la génératrice.
- 3. Le rotor**, auxquelles sont fixées les trois pales, entrent en mouvement rotatif grâce à l'intensité du vent et fait ainsi tourner un arbre mécanique. Le multiplicateur augmente la vitesse de celui-ci, cette énergie est enfin convertie en électricité par la génératrice.
- 4. Une éolienne** produit de l'électricité lorsque la vitesse du vent se situe entre 3 mètres par seconde (force suffisante pour entrainer la rotation des pales) et 25 mètres par seconde. Lorsque ce dernier seuil de vitesse est atteint, un dispositif présent dans la nacelle se met alors en marche, celui-ci actionne le frein du rotor ainsi qu'une modification de l'inclinaison des pales, ce qui conduit à un arrêt de la machine tant que le vent ne faiblit pas.

Actionnées par le vent, les pales fixées sur le rotor entraînent une génératrice électrique installée dans la nacelle. Le courant ainsi produit, d'une tension de 400 à 690 Volts est ensuite transporté par câble souterrain jusqu'au poste de livraison. Il y est élevé à une tension supérieure (20 000 V) afin d'être injecté sur le réseau national. [4]

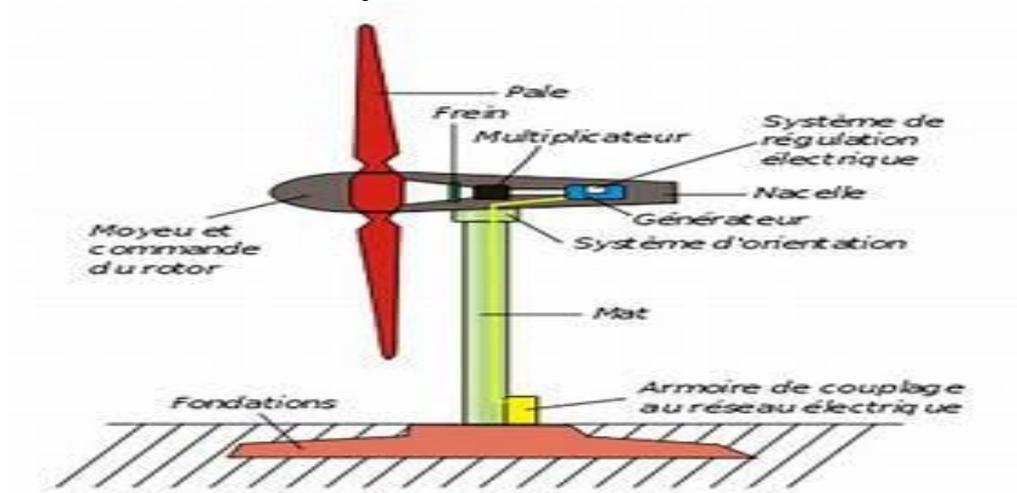


Figure I-2: Principaux éléments d'une éolienne

I.2.1.3. Les différents types d'éoliennes

On distingue les éoliennes on shore (terme américain signifiant sur le sol c'est-à-dire sur les continents), et les éoliennes off-shore (sur la mer). Ces dernières présentent des avantages au niveau des nuisances sonores puisqu'elles sont éloignées des habitations et au niveau des vents car les vents marins sont plus nombreux et plus forts que les vents continentaux. En revanche, elles sont beaucoup plus difficiles à installer et donc beaucoup plus coûteuses. [5]

1. Eoliennes à axe horizontal

Les éoliennes modernes classiques tripales : conception qui s'est imposée sur le marché mondial pour des raisons de stabilité de la structure. Il existe également des éoliennes bipales et des mono pales mais sont moins fiables.

La hauteur totale de ces éoliennes varie entre 25 et 180m pour une puissance qui va de 100 Kw à 5 MW. [5]



Figure I.3 : éoliennes à axe horizontal

2. Eoliennes domestiques

Leur taille n'excède pas les 12m et elles ont une puissance comprise entre 100W et 20Kw. Leur implantation en France est encore très faible, environ 600. (Beaucoup moins que dans certains autres pays européens). Les éoliennes horizontales ou domestiques peuvent être de type « aval » ou « amont ». Dans la majorité des cas, ce sont des éoliennes « amont », c'est-à-dire que le vent souffle directement sur les pâles de l'éolienne. Cela implique l'utilisation de pâles très rigides car elles sont très exposées au vent. La configuration « aval » est utilisée plus particulièrement pour les petites éoliennes qui sont munies de pâles plus fragiles. [5]



Figure I.4 : éoliennes domestiques

3. Eoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical sont plus onéreuses que les éoliennes à axe horizontal et de conception plus complexes mais s'adaptent plus facilement à des zones de vent irrégulier. Une éolienne à axe vertical est surtout utile dans les endroits où il n'y a pas beaucoup de place : en ville, Sur le toit d'un immeuble par exemple. Il existe deux modèles d'éoliennes à axe vertical (savonius et darrieus). [5]



Figure I.5: Eoliennes à axe vertical

4. Les hydroliennes

Les hydroliennes sont des éoliennes spécifiques qui fonctionnent sous l'eau en utilisant l'énergie des courants marins. Ce sont des éoliennes sous-marines ou aérogénérateurs marins.

Le développement des hydroliennes est très récent et déjà très prometteur. Si la fabrication des éoliennes terrestres est beaucoup moins complexe que celle des hydroliennes, ces dernières peuvent déployer une puissance beaucoup plus grande pour une taille beaucoup plus petite. Cela est dû au fait que l'énergie des courants marins est 800 fois supérieure à celle du vent. Les variations au sein des courants marins sont également beaucoup plus faibles que les variations du vent.

L'inconvénient majeur des hydroliennes est son impact sur l'environnement marin : si les hélices tournent assez lentement et créent moins de perturbations que les hélices d'un bateau, les hydroliennes créent cependant des zones de turbulence plus grandes empêchant le développement de la faune et de la flore marine sur de grands périmètres.

Les hydroliennes étant sous l'eau, l'érosion est très forte et pour l'instant la durée de vie des hydroliennes est assez limitée. L'installation d'hydroliennes notamment au niveau des courants de marée reste une voie très intéressante pour la production d'énergie nouvelle. [5]



Figure I.6: Les hydroliennes

5. Eoliennes de pompage

Créées dans les années 1930, les éoliennes « Oasis » ont pour fonction d'utiliser la force motrice du vent pour actionner une pompe à eau. Acquisées par milliers par les agriculteurs français, elles sont employées pour de nombreux usages :

- l'alimentation du bétail.
- l'irrigation des cultures maraîchères.
- la lutte contre les incendies (alimentation de réserves en eau).
- le drainage et l'assèchement de zones humides.
- l'oxygénation des étangs.
- la pisciculture. [5]



Figure I.7 : Eoliennes de pompage

I.2.1.4 Les avantages et les inconvénients

A/ Avantages

- L'énergie éolienne est renouvelable et « décarbonée » en phase d'exploitation.
- Le terrain où les éoliennes sont installées reste toujours exploitable pour les activités industrielle et agricole. L'installation peut être démantelée relativement facilement.
- Leur développement offshore présente un potentiel non négligeable.
- Implantées localement, les éoliennes peuvent permettre de répondre à des besoins électriques de masse tout comme à des besoins domestiques limités, selon leur taille.

B/ Inconvénients

- L'énergie éolienne dépend de la puissance et de la régularité du vent.
- C'est une source d'énergie intermittente.
- Les zones de développement sont limitées.
- Les éoliennes peuvent susciter des conflits d'usage d'ordre environnemental comme les nuisances visuelles et sonores.
- Il peut exister des conflits d'utilisation de l'espace terrestre ou marin avec les autres usagers (exemple : pêcheurs, plaisanciers).

I.2.2 L'Énergie hydraulique

I.2.2.1 Définition

- L'énergie hydraulique désigne l'énergie qui provient de la force des eaux (cours d'eau et océans). Les centrales hydroélectriques ou usines marémotrices transforment l'énergie de la gravité de l'eau en énergie électrique grâce au courant de l'eau passant dans les turbines.
- Exploiter l'énergie cinétique de l'eau est le procédé permettant d'obtenir de l'énergie hydraulique. Les barrages hydrauliques, les centrales marée-motrices utilisent une turbine, sur laquelle est fixé un alternateur produisant du courant, mise en mouvement par l'eau. [6]

I.2.2.2 Principe de fonctionnement

Le premier impératif est d'avoir de l'eau, beaucoup d'eau. Le rôle du barrage consistera à la retenir. Le barrage s'oppose à l'écoulement naturel de l'eau, sauf en cas de forts débits, qu'il laisse alors passer. De grandes quantités d'eau s'accumulent et forment un lac de retenue.

Lorsque l'eau est stockée, il suffit d'ouvrir des vannes pour amorcer le cycle de production d'électricité. L'eau s'engouffre alors dans une conduite forcée ou dans une galerie creusée dans la roche suivant l'installation, et se dirige vers la centrale hydraulique située en contrebas.

A la sortie de la conduite, la pression ou la vitesse (ou les deux en même temps) entraîne la rotation de la turbine.

La rotation de la turbine entraîne celle du rotor de l'alternateur.

Un transformateur élève alors la tension du courant produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à haute et très haute tension (**Figure I.8**)

L'eau turbinée qui a perdu son énergie s'échappe par le canal de fuite et rejoint la rivière. [4]

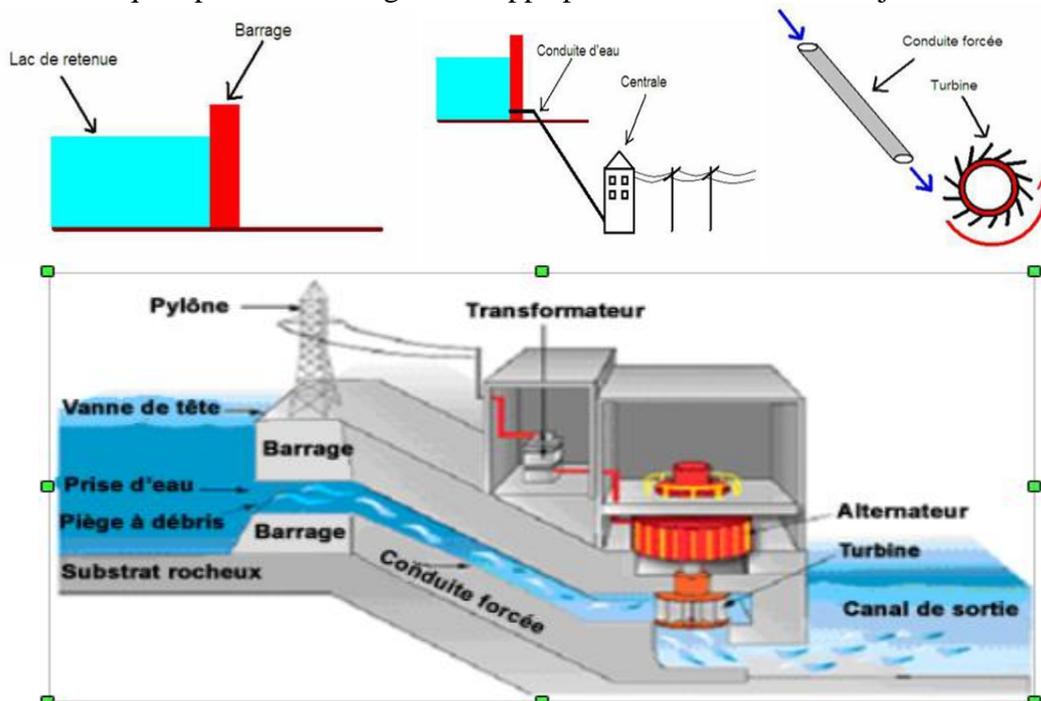


Figure I-8: Principe de central hydraulique [6]

I.2.2.3 Les types de l'énergie hydraulique

1. **Les barrages** : permettant de retenir des grandes quantités d'eau, qui par la suite est libérée, produisant ainsi de l'électricité grâce à des turbines.
2. **L'énergie marémotrice** : qui joue sur l'énergie potentielle des marées, une énergie liée aux différences de niveaux d'eau et aux courants que celles-ci induisent.
3. **L'énergie hydrolienne** : qui exploite les courants marins grâce à une turbine hydraulique (sous-marine ou à flots).
4. **L'énergie houlomotrice** : qui compte sur l'énergie cinétique des vagues et de la houle.
5. **L'énergie thermique** : qui peut être tirée de la différence de température entre les eaux profondes et les eaux de surface.
6. **L'énergie osmotique** : qui produit de l'électricité grâce à la différence de pression que génère la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce. [12]

I.2.2.4 Utilisation de l'énergie hydraulique

1- Utilisation direct

L'énergie hydraulique peut être convertie directement en énergie mécanique, par exemple en utilisant la force de l'eau d'un ruisseau pour faire tourner la roue d'un moulin à eau ou d'une noria mais aussi pour fabriquer de la pâte à papier.

2- Utilisation indirecte

L'énergie hydraulique peut aussi être convertie en une autre énergie (historiquement mécanique mais depuis le début du XXe siècle plutôt électrique) :

- une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute.
- une centrale au fil de l'eau utilise l'énergie d'un cours d'eau.
- une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées.
- une hydrolienne utilise celle des courants marins.
- l'énergie des vagues peut aussi être exploitée.

I.2.2.5 Les avantages et les inconvénients

A/ Avantages

- C'est une énergie propre (renouvelable) sans émission de fumées et pollution.
- La gestion des cours d'eau permet le contrôle des crues :
 - en période de sécheresse, on lâche de l'eau ;
 - en période d'inondation, on retient le surplus d'eau
- Il existe également un apport économique : le tourisme grâce aux lacs et aux stations balnéaires

B/ Inconvénients

- Coût des aménagements
- Risques de rupture du barrage
- Perturbation de l'écosystème
- Exigences géologiques et géographiques - réservoir : zone large et dégagée
- barrage : zone étroite ; Modification de l'aspect naturel du site.

I.2.3 La biomasse

I.2.3.1 Définition

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Les principales formes de l'énergie de biomasse sont: les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de céréales, de sucre, d'oléagineux et d'huiles usagées) ; le chauffage domestique (alimenté au bois) ; et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux. [7]



Figure I-9 : Energie de biomasse.

I.2.3.2 Principe de fonctionnement

Une centrale biomasse produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

1. La combustion : La biomasse est brûlée dans une chambre de combustion.

2. La production de vapeur : En brûlant, la biomasse dégage de la chaleur qui va chauffer de l'eau dans une chaudière. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers des turbines.

3. La production d'électricité : La vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne et haute tension.

4. Le recyclage : À la sortie de la turbine, une partie de la vapeur est récupérée pour être utilisée pour le chauffage. C'est ce que l'on appelle la cogénération. Le reste de la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et ré-circule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle. [4]

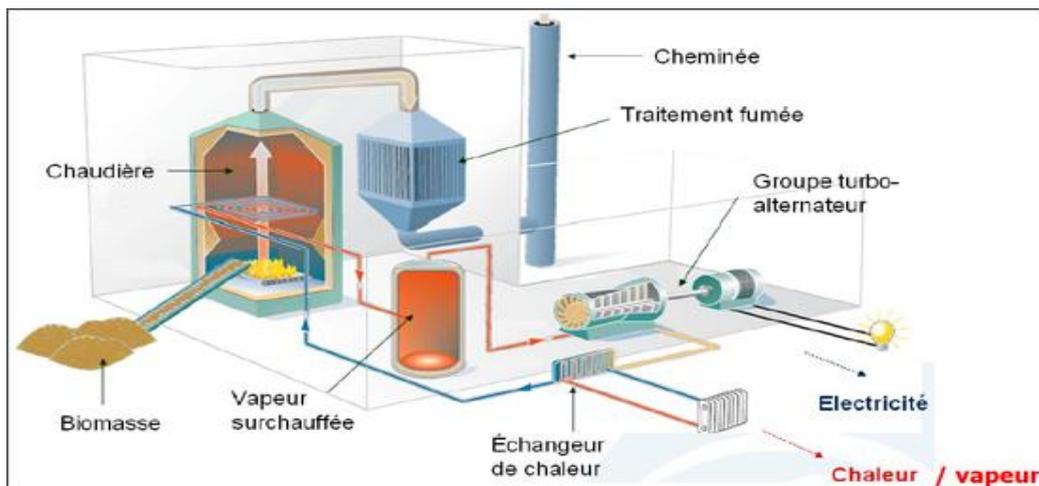


Figure I-10: Principe de centrale biomasse

I.2.3.3 Les types de biomasse

On distingue deux types de biomasse :

1-Biomasse sèche : Le bois de feu est la plus ancienne source d'énergie. Les divers déchets ligneux constituent la biomasse sèche et sont également appelés « bois énergie »

2-Biomasse humide : les déchets organiques d'origine agricole (fumiers, lisiers...), agroalimentaire ou urbaine (déchets verts, boues d'épuration, fraction fermentescible des ordures ménagères ...) constituent la biomasse « humide », qui peut être transformée en énergie ou en engrais/amendement [4]

I.2.3.4 Avantages et inconvénients de la biomasse

A/ Les avantages de la biomasse

- Le plus grand avantage de l'énergie de la biomasse, c'est qu'elle est **renouvelable**. Les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés.
- Un autre avantage majeur de la biomasse est qu'elle aide à la **gestion des déchets solides**. Chaque jour, des millions de tonnes de déchets solides sont produits, dont notamment les **déchets biodégradables**. Lorsque les déchets sont utilisés comme biomasse, on répond à deux demandes : la baisse de la pollution et l'augmentation des ressources énergétiques.

B/ Les inconvénients de la biomasse

- Par rapport aux **combustibles fossiles**, l'**énergie de la biomasse** est très chère. C'est avant tout dû au coût de la recherche. Avec le temps et les avancées techniques, L'énergie de la biomasse devrait être plus abordable.
- Ensuite, il est important de distinguer les différentes sources de biomasse. Certains procédés de combustion, notamment avec le bois sont de forts producteurs de CO₂, donc aussi nocifs que les **énergies fossiles**.
- Certaines sources, bien que dites « renouvelables » nécessitent une gestion raisonnée. C'est le cas des forêts. Une sur utilisation de la **biomasse ligneuse** augmenterait le phénomène de déforestation croissante et est considérablement nuisible pour l'équilibre environnemental naturel.

I.2.4. Energie géothermique

I.2.4.1 Définition

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer être froidir. [8]

I.2.4.2 Principe de fonctionnement

Le principe d'une centrale géothermique est d'extraire la chaleur contenue dans le sol, soit pour l'utiliser sous forme de chauffage (réseau de chaleur), soit pour la transformer en électricité, ou les deux à la fois, c'est dans ce cas de la cogénération.

En haute et très haute énergie, la vapeur jaillit avec assez de pression pour faire tourner une turbine, afin de produire l'électricité.

En moyenne énergie, la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire : on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la terre, que l'on chauffe avec l'eau géothermale. Ce fluide se charge en énergie thermique, entre en ébullition et se vaporise, faisant tourner une turbine dont le mouvement, transmis à l'alternateur, produit de l'électricité.

Une centrale géothermique est donc une centrale thermique. [4]

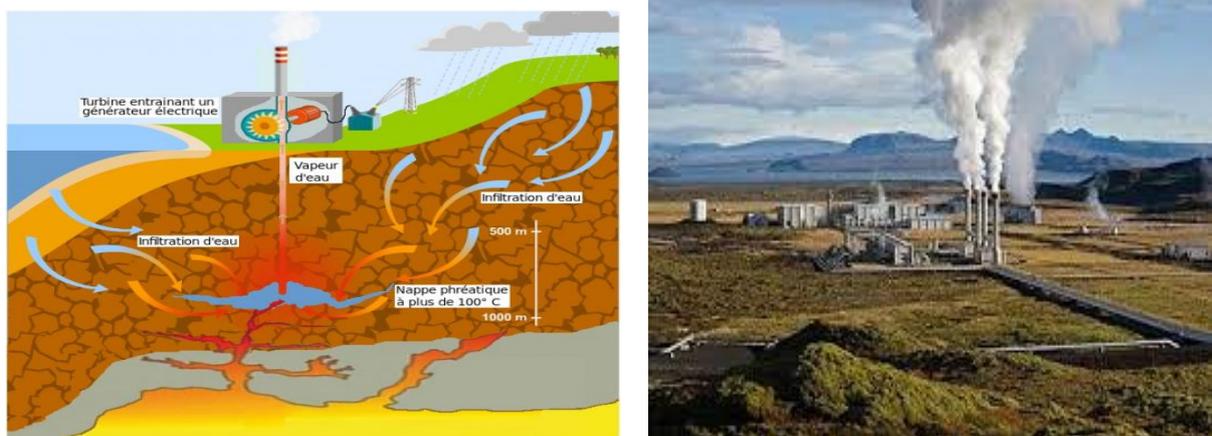


Figure I-11 : Centrale géothermique

I.2.4.3 Différents types de gisements géothermiques

Les gisements peuvent être classés selon plusieurs critères : Le contexte géologique, le niveau de température, le mode d'exploitation, le type d'utilisation. On retrouve la classification en fonction de la température :

- Géothermie haute énergie ($T > 150^{\circ}\text{C}$) :

A cette température, on peut transformer directement la vapeur en électricité.

- Géothermie moyenne énergie ($90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$) :

Elle permet de produire de l'électricité avec un fluide intermédiaire.

- Géothermie basse énergie ($30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$) :

Elle est utilisée pour fournir de la chaleur de manière directe aux bâtiments, serres...

- Géothermie très basse énergie ($T < 30^{\circ}\text{C}$) :

Elle est utilisée pour rafraîchir les bâtiments soit par puits Canadiens (ou puits provençal) ou par PAC géothermique. [9]

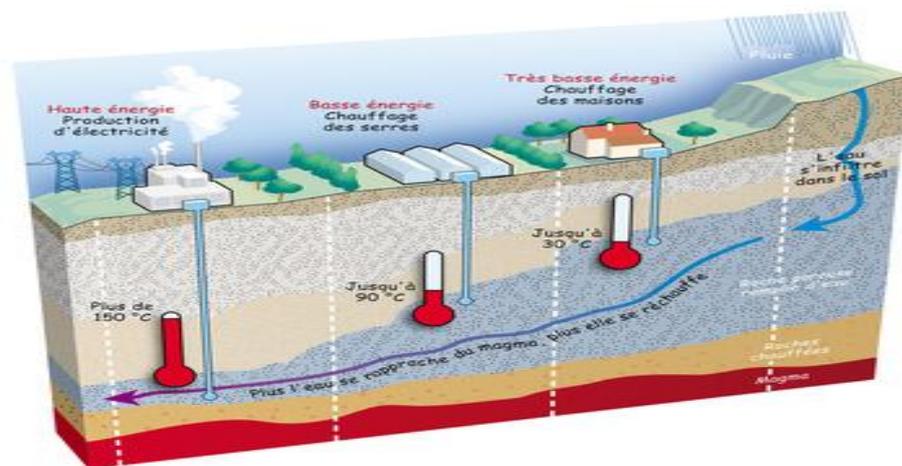


Figure I-12: Les différents types de la géothermie

I.2.4.4 Les différents captages et source d'énergie

A/ Les capteurs horizontaux :

Ce dispositif se sert de la chaleur de la terre proche. Ces capteurs sont installés entre 60 et 120 cm de profondeur sur une surface égale à 1,5 à 2 fois la surface à chauffer. Ils sont sous formes de tubes sous pression qui permettent de faire circuler le fluide frigorigène. L'installation a l'avantage de ne pas gêner l'exploitation du terrain. Il est donc possible de jardiner ou de planter des arbres. Ces derniers devront tout de même être plantés à une distance minimale de 2 mètres des tubes. [10]



Figure I-13 : Capteur horizontal

B/ Les capteurs verticaux :

Ce système collecte des calories en profondeur à l'aide d'une sonde géothermique. Les capteurs sont enterrés au moyen de forage entre 50 et 130 mètres de profondeur. L'avantage de cette profondeur c'est que la température est la même toute l'année. Il s'agit de tubes sous pression qui permettent le passage du liquide frigorigène. Etant donné que l'installation ne nécessite que peu de place, elle conviendra aux terrains ne pouvant accueillir de capteurs horizontaux. [10]

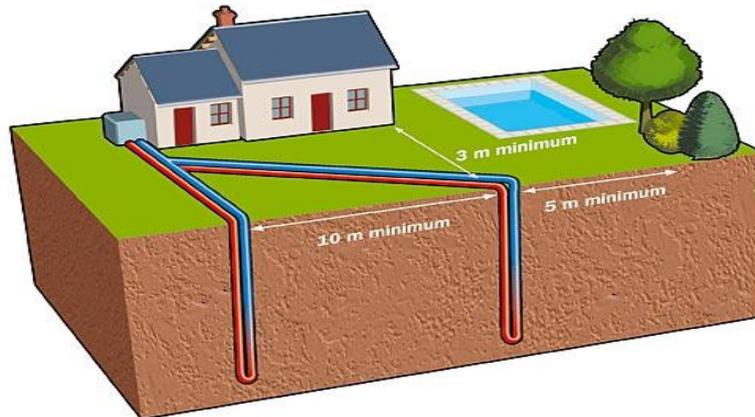


Figure I-14: Capteur vertical

C/ Sur nappe phréatique :

Ce procédé consiste à récupérer des calories venant de l'eau des nappes phréatiques à la température de 10°C. On atteint ces nappes par forage à plusieurs mètres de profondeur. Grâce à la pompe à chaleur on obtient de l'eau pouvant aller jusqu'à 60°C pour le chauffage et entre 15° à 30°C pour l'eau chaude. On peut également récupérer l'eau des lacs, des ruisseaux, etc... Cette technique est appropriée pour les terrains ne pouvant accueillir les deux autres procédés. [10]

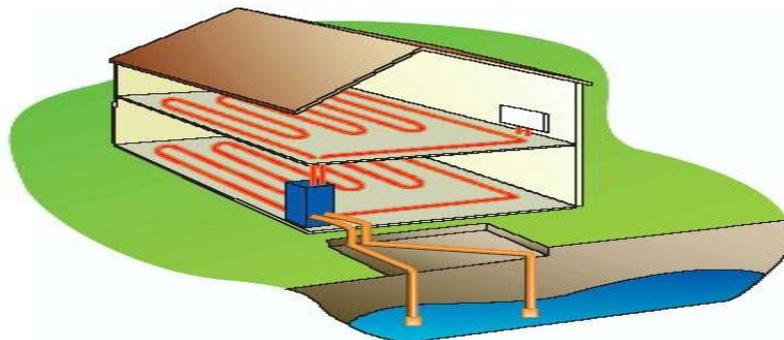


Figure I-15 : Nappe phréatique

I.2.4.5 Utilisation de la géothermie

La géothermie est une énergie qui ne se transporte pas ou très peu car le transport par canalisation coûte cher et les pertes sont très importantes. [11]

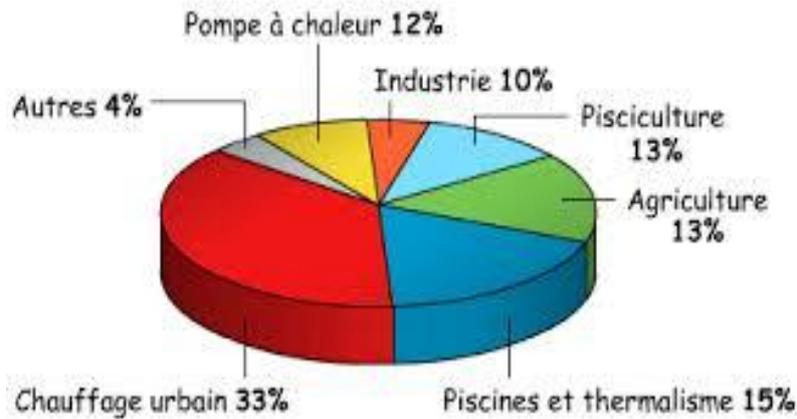


Figure I-16 : Graphique de l'utilisation de l'énergie géothermique [11]

I.2.4.6 Avantages et inconvénients de la géothermie

A/ Les avantages de l'énergie géothermique

- La géothermie de profondeur ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent).
- C'est une source d'énergie quasi-continue.
- Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 80 ans en moyenne).

B/ Les inconvénients de l'énergie géothermique

- Les sites de forages sont limités en fonction du type de roche (roche chaude facile à percer).
- Risque de rejets gazeux nocifs ou toxiques.
- Risque de réchauffement du site de forage.
- Certaines pratiques de forages augmentent les risques sismiques.
- Certaines technologies utilisent des produits chimiques à fort impact environnemental.

I.2.5. Energie solaire

I.2.5.1 Définition

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le soleil. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle de l'eau. Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est composé de photons, petites particules d'énergie élémentaires. [4]

I.2.5.2 Principe de fonctionnement

- **Les panneaux solaires :**

L'énergie solaire se nourrit des rayons du soleil, pour chauffer de l'air emprisonné entre deux plaques qui va chauffer de l'eau (**Figure I.17**), qui circule dans la maison. Cela sert aussi à chauffer un réservoir qui alimente la douche. [4]



Figure I-17: Schéma présentatif d'un capteur solaire

I.2.5.3 Les type de l'énergie solaire

L'énergie solaire est divisée en trois d'énergies : **l'énergie thermique, l'énergie thermodynamique et l'énergie photovoltaïque.**

A/ L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est dérivée du rayonnement du soleil qui augmente la température d'un corps exposé sous ce rayonnement. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et utilisée dans la vie quotidienne. L'énergie solaire est essentiellement utilisée pour le chauffage de l'eau, de l'air, ou d'un bâtiment tout entier.

Côté technique, deux méthodes sont appliquées pour transformer le rayonnement solaire en énergie thermique :

- soit en concentrant et en collectant la chaleur grâce à des panneaux noirs.
- soit en concentrant les rayons en un seul endroit.

Le principal intérêt de l'énergie solaire thermique, c'est sa simplicité : les panneaux destinés au chauffage sont simples, solides, résistants et durables. [12]

1. Les principaux types de capteurs solaires thermiques

Le rôle du capteur solaire, qu'on appelle aussi le panneau solaire, est de convertir la lumière du soleil en chaleur pour alimenter le chauffe-eau solaire.

Pour cela on utilise des panneaux traversés par un fluide : soit l'eau directement à chauffer (dans le cas des pays chauds hors gel), soit de l'eau additionnée d'un antigel qui servira de liquide caloporteur vers un ballon de stockage.

Il existe trois types de capteurs solaires thermiques :

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

➤ **Le capteur plan, vitré :** C'est le modèle le plus répandu.

Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur.

Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit.



Figure I-18: Capteurs plan vitré

- **Le capteur plan, non vitré :** Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage. qui atteignent les niveaux de températures les moins élevés, utilisés principalement pour le chauffage des piscines. Le chauffage. C'est l'une des premières utilisations faites du solaire thermique dans certains pays.



Figure I-19: Capteur plan sans vitre

- **Le capteur à tubes sous vide :** Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique. L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur. Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels.

Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer par des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150° C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation. La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain.

Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur. [13]



Figure I-20: Capteur à tubes sous vide

2. Les utilisations de l'énergie solaire thermique

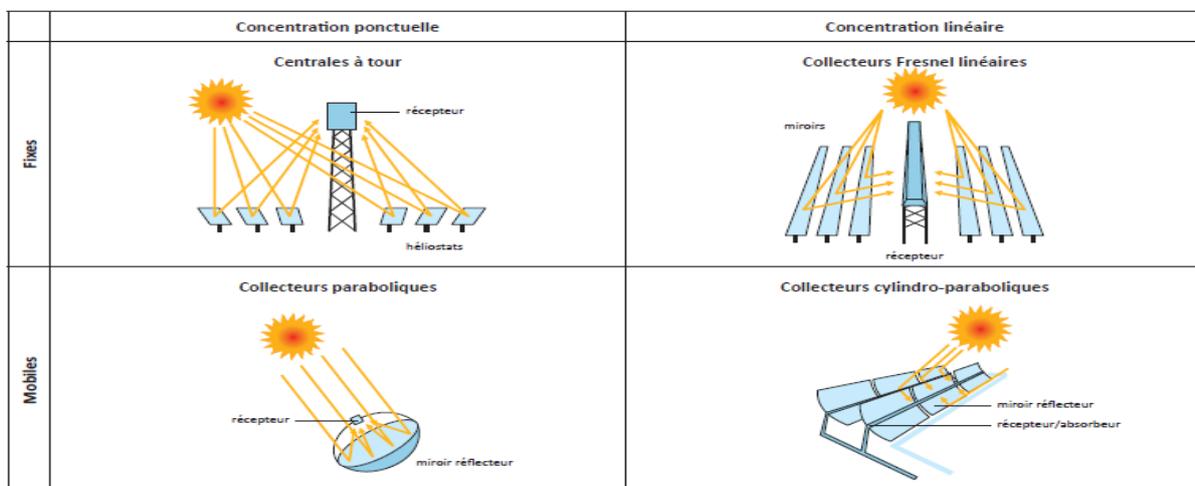
- Cette énergie couvre en moyenne 50 % des besoins en chauffe-eau et autre complément de chauffage en France. L'installation se fait souvent sur la toiture d'une maison indépendante ou d'un bâtiment tout entier. Il s'agit de capteurs vitrés dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement du soleil.
- L'énergie solaire thermique est aussi utilisée pour les machines frigorifiques comme le réfrigérateur à absorption de gaz, les camping-cars et les caravanes.
- D'autres utilisations de l'**énergie thermique** telle les sècheurs solaires et les cuisinières sont en vogue en Chine et en Inde [4]. On distingue plusieurs types de cuiseurs :
 - Le **cuiseur boîte** est composé d'un ou plusieurs panneaux solaires qui concentrent l'énergie sur une boîte vitrée.
 - Le **cuiseur à panneaux** est doté de plusieurs panneaux qui concentrent la chaleur sur une cloche en verre dans laquelle sont placés les aliments.
 - Le **système parabolique** qui est composé de disques concaves.

B/ les énergies solaires thermodynamiques

L'énergie solaire thermodynamique est l'un des modes de valorisation du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité ou alimenter en énergie des procédés industriels. [12]

1. Le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques

Les centrales solaires thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute température. Pour ce faire, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil afin de capter et de concentrer les rayonnements tout au long du cycle solaire quotidien. Le fluide produit de l'électricité par le biais de turbines à vapeur ou à gaz. [14]



source : AIE

Figure I-21: Principe de fonctionnement de la solaire thermodynamique

2. Les différents types de centrales thermodynamiques

a) Systèmes de concentration linéaire

Le rayonnement solaire est concentré sur un ou plusieurs tube(s) absorbeur(s) installé(s) le long de la ligne focale des miroirs. Ce tube contient un fluide caloporteur porté à une température de l'ordre de 250 à 500°C.

- **Centrales à capteurs cylindro-paraboliques :**

Ces centrales sont en réalité composées de longs miroirs d'une forme hémicylindriques (demi - cercle) alignés pareillement. Ces miroirs tournent autour d'un axe horizontal pour pouvoir suivre le soleil à chaque instant. Ces miroirs permettent de diriger les rayons du soleil vers un liquide appelé liquide caloporteur (liquide qui permet d'extraire la chaleur) qui sera ensuite chauffer d'où la nécessité du mouvement des panneaux au soleil. La température du fluide peut atteindre 500°C. Lorsque le liquide est bien chauffé, il va être transféré vers une centrale où le liquide sera mélangé avec de l'eau qui va au final se transformer en vapeur.

Cette vapeur va entraîner une turbine qui permettra de produire de l'électricité, de la même manière que la géothermie. Depuis peu, certaines centrales sont capables de tourner jour et nuit grâce aux importantes capacités de stockage de la chaleur mises en place. [6]



Figure I-22: les capteurs cylindro-paraboliques.

- **Centrales solaires à miroirs de Fresnel :**

Les centrales à miroir Fresnel sont basées sur le même principe que les centrales cylindro paraboliques. Cependant, au lieu d'utiliser des miroirs en forme de cylindre, on poserait des miroirs plans (plats) appelés " réflecteurs compacts linéaires ". Les rayons émis par le Soleil sont dirigés vers le tube horizontal où le liquide est placé. Ce tube est lui-même surmonté d'un miroir secondaire pour bien rediriger les rayons qui se seraient mal dirigés. On garderait donc le système de liquide et de turbine pour produire et créer de l'électricité.



Figure I-23: Centrale solaires à miroirs de Fresnel

b) Systèmes de concentration par foyer

Le rayonnement solaire est concentré environ 1 000 fois à destination d'un foyer unique de taille réduite. La température peut atteindre de 500 à 1 000°C.

- **Les centrales à tour :**

Les centrales solaires à tour sont constituées de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour solaire. Le facteur de concentration peut dépasser 1000, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 600 °C à 1000 °C. L'énergie concentrée sur le receveur est ensuite soit directement transférée au fluide thermodynamique (génération directe de vapeur entraînant une turbine ou chauffage d'air alimentant une turbine à gaz), soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire. Ce liquide caloporteur est ensuite envoyé dans une chaudière et la vapeur générée actionne des turbines. Dans tous les cas, les turbines entraînent des alternateurs produisant de l'électricité.



Figure I-24: Centrale à tour

- **Les centrales à capteurs paraboliques**

Ayant la même forme que les paraboles de réception satellite, les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil sur deux axes afin de réfléchir et de concentrer les rayons du soleil vers un point de convergence appelé foyer. Ce foyer est le récepteur du système. Il s'agit le plus souvent d'une enceinte fermée contenant du gaz qui est monté en température sous l'effet de la concentration. Cela entraîne un moteur Stirling qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique puis en électricité. Le rapport de concentration de ce système est souvent supérieur à 2000 et le récepteur peut atteindre une température de 1000 °C. Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Pour ce type de système, le stockage n'est pas possible. [6]



Figure I-25: Centrale à capteurs paraboliques

C/ les énergies solaires photovoltaïques

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique : une borne négative et une borne positive, la lumière met en mouvement des électrons pour créer un courant électrique continu. Cette source de lumière est naturelle (soleil) donc renouvelable [4].

1- Les utilisations de l'énergie solaire photovoltaïque

a. Les centrales électriques

En 2009, les principaux **parcs solaires** produisaient aux alentours de 60 MW. Par contre, cela nécessite de très grands espaces et un très grand nombre de **panneaux photovoltaïques** qui captent le rayonnement solaire et le transforment en électricité.

b. Pour les bâtiments

L'installation d'un système photovoltaïque se fait facilement pour les bâtiments. Le système peut être sur ou à proximité du bâtiment.

C'est un système attractif pour les particuliers désireux d'être autonomes énergétiquement ou isolés par rapport au réseau standard.

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

La plupart du temps, les panneaux sont directement montés sur le toit. Certains sont positionnés à proximité des constructions. De plus en plus, les bâtiments modernes ont des panneaux directement intégrés dans leurs structures.

c. Pour les transports

L'énergie photovoltaïque est rarement utilisée pour fournir la force motrice. Il existe bien quelques prototypes de voitures ou de bateaux qui se déplacent à l'énergie solaire, mais il n'existe pas encore de production en série. Par contre, l'énergie solaire est de plus en plus prisée pour les besoins auxiliaires dans les véhicules, comme par exemple dans les bateaux à voiles, où le système électrique interne est alimenté par l'énergie photovoltaïque.

d. Pour les dispositifs autonomes

Voici quelques exemples d'applications utilisant l'**énergie photovoltaïque** : les pompes à eau, les parcomètres, les téléphones d'urgence, les compacteurs à déchets, les panneaux de signalisation temporaires, etc.

e. Pour l'électrification rurale

Les pays en développement, où la plupart des villages se situent à plus de cinq kilomètres du réseau électrique, commencent à utiliser l'énergie photovoltaïque. Le plus souvent, ce sont des programmes financés par l'aide internationale ou par des organismes privés à vocation humanitaire. Ces initiatives sont encore rares.

f. Pour les satellites

Les études de conception de grandes installations solaires sur des satellites ont été menées depuis des décennies. L'idée a été proposée par Peter Glaser, puis Arthur D. Little Inc. La NASA a mené une longue série d'études techniques et de faisabilité économique dans les années 1970 et a ravivé l'intérêt dans les premières années du XXI^e siècle.

D'un point de vue économique, la question clé pour ces satellites semble être le coût de lancement. [4]

I.2.5.4 Les avantages et les inconvénients

A/ Les avantages de l'énergie solaire

- Offre illimitée de l'**énergie solaire** à utiliser. Cela signifie que notre dépendance aux combustibles fossiles peut être réduite.
- L'énergie solaire est une excellente **source d'énergie alternative**, car il n'y a pas de pollution générée pendant qu'elle est utilisée.
- Il n'y a pas de coûts liés à l'utilisation de l'énergie solaire autres que le coût de fabrication des composants, l'achat et l'installation du matériel. Après l'investissement initial, il n'y a pas de coûts supplémentaires associés à son utilisation.
- Les installations solaires sont facilement modulables. Il est assez facile d'augmenter ou de diminuer la taille de l'installation.
- Un **système électrique solaire** installé dans une maison pourrait potentiellement éliminer 18 tonnes d'émission de gaz à effet de serre dans l'environnement chaque année.
- L'utilisation d'**énergie solaire** est un processus silencieux. Pas de nuisance sonore.

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

- Une **installation solaire** peut s'implanter n'importe où dès qu'il y a un ensoleillement suffisant. C'est donc un réel avantage pour les endroits très isolés qui ont ainsi accès à l'électricité.

B/ Les inconvénients de l'énergie solaire

- Pour produire une très grande quantité d'énergie, cela nécessite une installation très importante et un espace suffisant pour installer les **panneaux photovoltaïques**. C'est donc une contrainte non négligeable pour les installations industrielles.
- Un **système solaire** coûte cher à son installation.
- Un **système solaire** nécessite un ensoleillement constant et intense surtout pour l'usage commercial. Beaucoup d'endroits dans le monde ne bénéficient pas d'ensoleillement suffisant pour assurer une rentabilité de l'installation.

I.3 Le développement des énergies renouvelables : emploi et métiers

La progression inéluctable des énergies renouvelables, favorisée par les enjeux climatiques et l'évolution des réglementations, offre des opportunités majeures et durables en termes de création d'emploi et de nouveaux métiers (recherche, ingénierie, fabrication, installation, entretien, exploitation...) [15].

I.4 Les énergies renouvelables dans le monde

En 2014, les énergies renouvelables couvraient 19,2 % de la consommation d'énergie mondiale. La part des énergies renouvelables en 2015 a marqué une forte croissance pour la production d'électricité (23,7 %). Cet essor s'appuie principalement sur l'éolien et le solaire photovoltaïque (75 % de la progression globale). [15]

I.5 La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables :

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre selon le protocole de Kyoto ; rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, un fait qui interpelle plus fort que jamais le développement des énergies renouvelables. On dit que la source d'énergie est renouvelable si le fait de faire la consommer n'influence jamais sur sa quantité, ni faire limiter son utilisation au future. Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années.

D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier. Les études ont été élaborées pour faire de cet outil non polluons l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur celle de minimiser les effets négatives de ressources classiques de production de l'énergie. L'Algérie est parmi les pays qui ont appelés à diversifier ses ressources économiques voir énergétiques de manière à limiter sa dépendance au pétrole et au gaz. Selon monsieur Brahim Zitouni directeur de la société émiratie de la biotechnologie, selon lui, les projets de type "Desertec" dont le pays à la juste volonté de se doter propose en filigrane de faire basculer graduellement le système énergétique algérien, en particulier dans sa dimension de production électrique vers l'énergie solaire. [15]

I.6 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables

A/ Les avantages de l'énergie renouvelable

- Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée.
- Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps.
- Pas d'émission de CO₂. Pour la plus part des méthodes.
- Coût au kWh fixe, faible et stable.
- L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

B/ Les inconvénients de l'énergie renouvelable

- Investissement important.
- L'installation doit s'intégrer dans l'environnement.
- Variabilité de la production de l'éolien qui dépend d'un vent aléatoire.
- Projets de longue durée.
- Le stockage de l'électricité.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce présent chapitre : les cinq familles d'énergie renouvelable dont on peut tirer La conclusion suivante :

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre.

L'utilisation des sources d'énergies renouvelables semble être une solution adéquate car, c'est surtout l'usage des énergies fossiles qui renforce le phénomène d'effet de serre et donc le réchauffement de la planète. Encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement.

CHAPITRE II :

Etude descriptive sur les panneaux photovoltaïques

Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. [16]

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une énergie verte inépuisable qui présente une source d'énergie alternative qui peut être utilisée par l'humanité. Cette énergie est de plus en plus appliquée dans différents domaines allant des installations résidentielles et commerciales jusqu'aux systèmes spatiaux, en raison de nombreux avantages tels que l'absence de pollution, elle est sans bruit, facile à installer, est nécessite une courte période de construction.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque.

II.1. Historique de l'énergie photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil. [17]

II.1.1. Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque

1839 : le physicien français Edmonde Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1954 : trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : une cellule avec un rendement de 9% est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : la première maison alimentée par énergie photovoltaïque est construite à l'Université de Delaware.

La première cellule photovoltaïque a été développée aux Etats-Unis en **1954** par les chercheurs des laboratoires, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être

augmentée en ajoutant des « impuretés ». C'est une technique appelée le « dopage » qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. .

1975, les pompages solaires se sont développés, en particulier pour le Sahel. A partir de 1980, des maisons photovoltaïques et des électrifications rurales ont été faites, en Polynésie, au Kenya, en Inde, en République Dominicaine, etc.

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

1995 : des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés au Japon et en Allemagne, et se généralisent.

2001 : les projections sont assez optimistes pour les années à venir. [18]

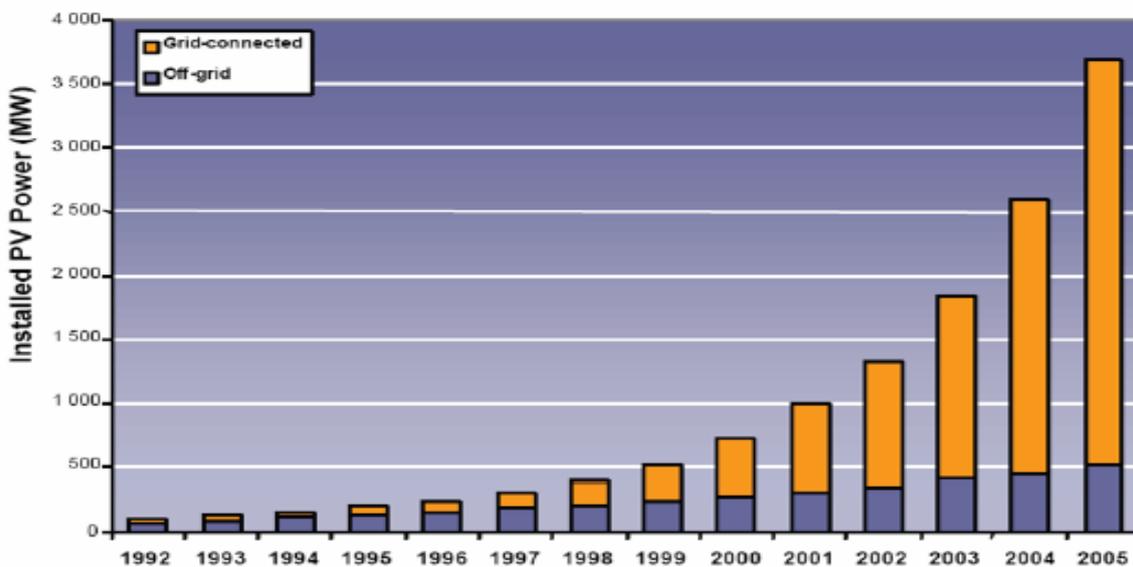


Figure II.1 : Puissance photovoltaïque installée dans le monde par année. [19]

II.2. Notions sur la nature du rayonnement solaire

II.2.1. Le Soleil

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres, elle a une forme sphérique de diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg, sa lumière met environ 8 minutes pour parvenir à la terre. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent, dont la température atteint $20 \cdot 10^6$ degrés, qui décroît vers l'extérieure jusqu'à un palier d'environ 5800° k à la surface du soleil. Elles transforment à chaque seconde $564 \cdot 10^6$ tonnes d'hydrogène en $560 \cdot 10^6$ tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de $36 \cdot 10^{22}$ KW. La terre étant à une distance de $150 \cdot 10^6$ km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1,8 \cdot 10^{14}$ KW. [20]

II.2.2. La constante solaire

La valeur du rayonnement solaire " I_c ", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne " I_0 " appelée constante solaire est de l'ordre de 1353 W.m^{-2} . [21] En première approximation, on peut calculer la valeur de " I_c " en fonction du numéro du jour de l'année " n_j " par la relation suivante :

$$I_c = I_0 [1 + 0.033 \times \cos (0.984 \times n_j)] \quad (\text{II.1})$$

II.2.3.Aspects géométriques du rayonnement solaire

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.

II.2.4.Mouvements de la terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7 \%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,106 \text{ km}$.

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison de l'ordre de $23^\circ 27'$. [6]

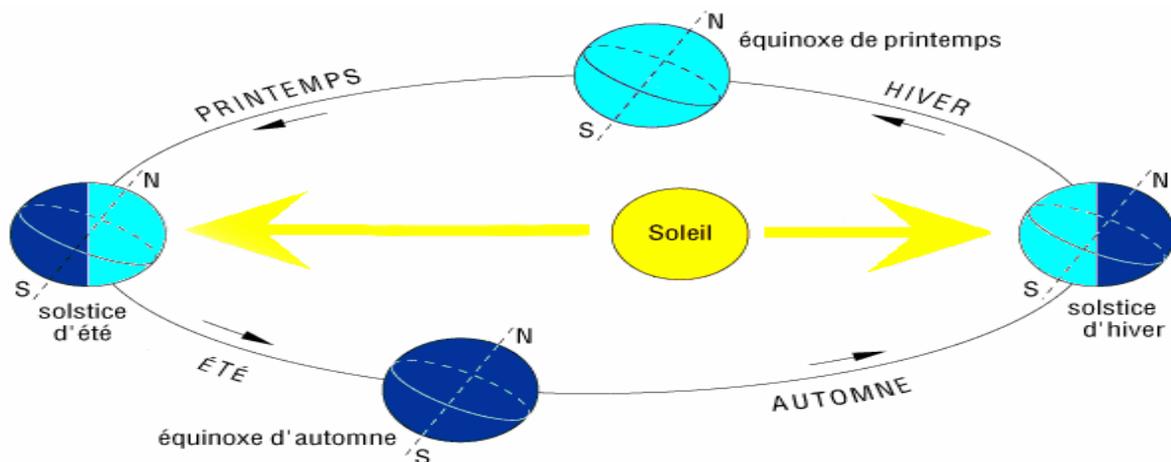


Figure II.2 : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

II.2.5.Les coordonnées célestes

II.2.5.1.Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

- La longitude (L)

Est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180° (vers l'ouest) et $+180^\circ$ (vers l'est). Comme la terre met 24 heures

pour faire un tour sur elle-même (360°), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente 4 minutes [22].

- La latitude (Φ)

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud. [23]

- L'altitude (Z)

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre. [22]

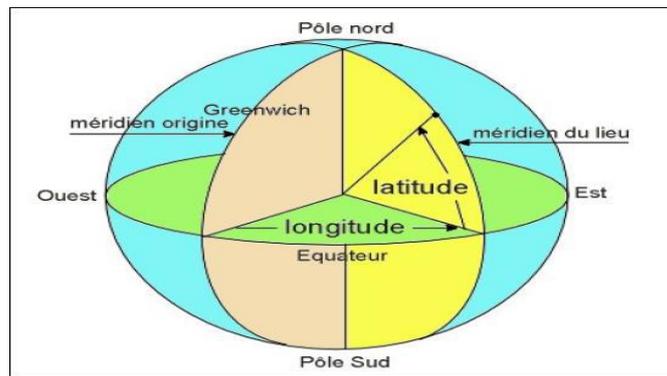


Figure II.3: Les coordonnées géographiques [6]

II.2.5.2. Les coordonnées horaires

Le système de coordonnées horaires est un système de coordonnées célestes intermédiaire entre le système de coordonnées horizontales et le système de coordonnées équatoriales. [24]

a) La déclinaison 'δ' est un angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes, ($- 23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$). Comme la relation suivante montre :

$$\delta = 23,45^\circ \sin (360/365 \times (nj + 284)) \tag{II-2}$$

b) L'angle horaire 'ω' est l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) il définit le vrai temps solaire :

$$\omega = 15(TSV - 12) \tag{II-3}$$

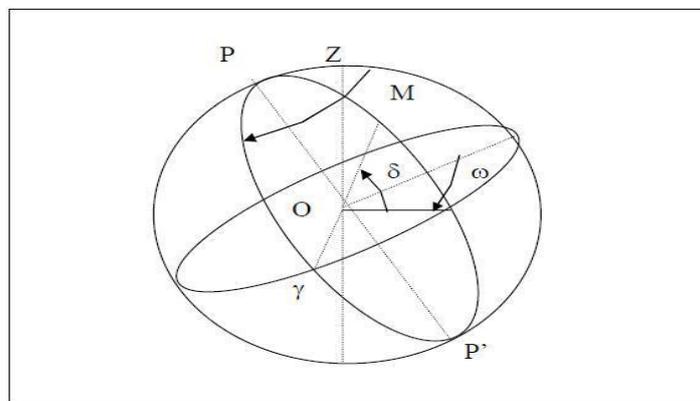


Figure II.4 : Les coordonnées horaires

II.2.5.3. Les coordonnées horizontales

Le système de coordonnées horizontales, également appelé système local ou système de coordonnées alt-azimutales, est un système de coordonnées célestes utilisé en astronomie par un observateur au sol. Le système sépare le ciel en deux hémisphères ; l'un situé au-dessus de l'observateur et l'autre situé au-dessous, caché par le sol. Le grand cercle séparant les deux hémisphères situe le plan horizontal, à partir duquel est établie une altitude et un azimut, qui constituent les deux principales coordonnées de ce système, le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de ces deux angles :

- a) **L'angle de la hauteur du soleil 'h'** est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal varie de 0° à 90° vers le zénith et de 0° vers -90° vers le nadir. L'angle de la hauteur solaire est donné par :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (\text{II-4})$$

- b) **L'azimut 'α'** est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et la direction sud. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(\alpha) = \cos(\delta) \cos(\omega) / \cos(h) \quad (\text{II-5})$$

L'azimut solaire est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'azimut géographique, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation. La distance zénithale est l'angle entre la direction du soleil et la verticale du lieu (zénith). L'angle z est complémentaire de l'angle de la hauteur du soleil h :

$$z = (\pi / 2) - h \quad (\text{II-6})$$

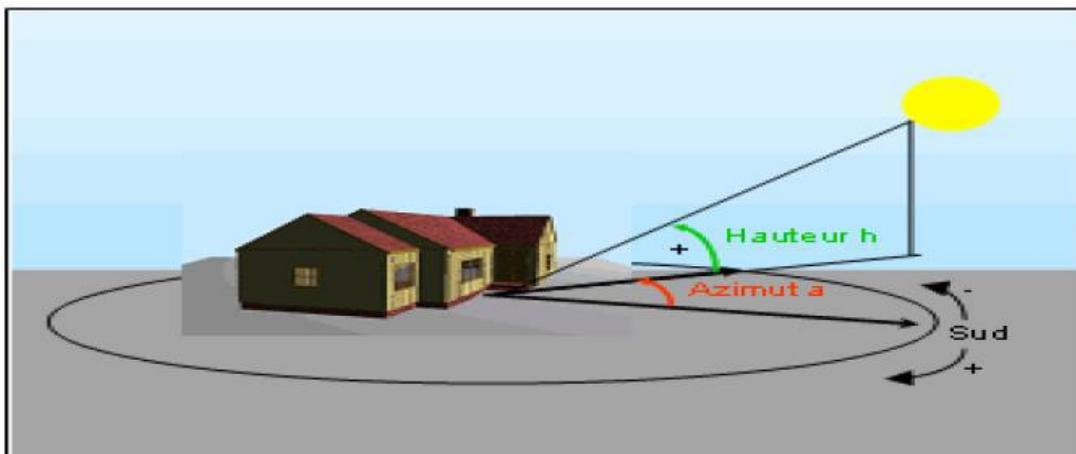


Figure II.5: l'azimut et la hauteur solaire [6]

II.2.6. Le Temps Solaire Vrai

Pour les applications de l'énergie solaire, il faut faire intervenir le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil. Il est donné sous la forme suivante :

$$\text{TSV} = 12 + (\omega / 15) \quad (\text{II-7})$$

II.2.7. Le rayonnement solaire

Le soleil est constitué principalement de gaz, dont la fusion continue produit une quantité d'énergie phénoménale. La fusion des atomes d'hydrogène en atomes d'hélium permet en effet d'atteindre des températures de l'ordre de 20 millions de degrés Kelvin. Cette énergie se traduit par l'émission d'un rayonnement composé de longueurs d'ondes.

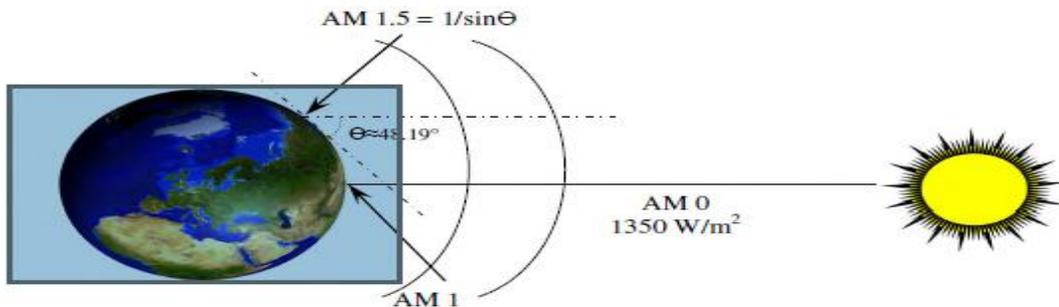


Figure II.6: Spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant chacun une énergie E_{ph} qui répond elle-même à la relation suivante :

$$E_{ph} = h (c / \lambda) \quad (II-8)$$

Dans laquelle : λ représente la longueur d'onde, h la constante de Planck et c la vitesse de la lumière. La distribution des radiations lumineuses émises par le soleil est déterminée par la température de la surface de ce dernier, à savoir 5800 K environ.

Les matériaux photovoltaïques réagissent différemment selon la longueur d'onde de la lumière à laquelle ils sont soumis. La connaissance de la distribution en longueur d'onde de l'énergie solaire s'avère donc primordiale. [25]

II.2.7.1. Différents types de rayonnement solaire

Par ensoleillement, nous faisons référence à l'intégrale de l'irradiance solaire sur une période donnée [kWh/m²]. Par conséquent, le rayonnement tombant sur une surface horizontale est constitué d'un rayonnement direct, associé à l'irradiance directe sur la surface, d'un rayonnement diffus qui frappe la surface depuis l'ensemble du ciel et non depuis une partie spécifique de celui-ci et d'un rayonnement réfléchi sur une surface donnée par le sol et l'environnement. En hiver, le ciel est couvert et le composant diffus est donc supérieur au composant direct. [16]

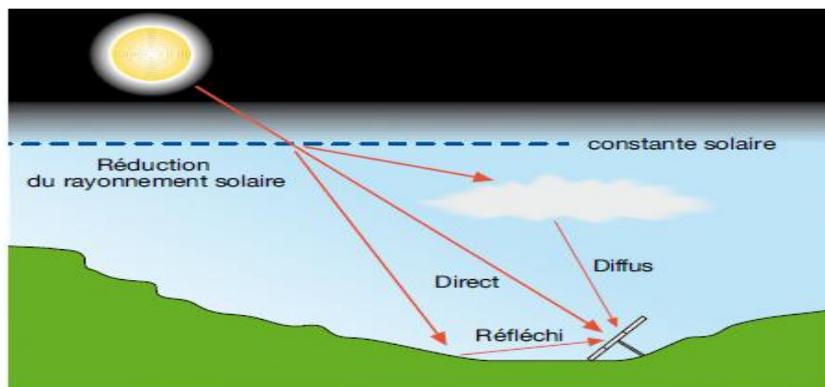


Figure II.7 : Composants du rayonnement solaire

a) Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un pyréliomètre.

Si **I** est le rayonnement direct.

Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement s'écrit :

$$I_h = I \sin h \tag{II.9}$$

b) Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus (**D_h**) est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions, Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil. [16]

c) L'albédo ou réfléchi

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

$$\text{L'albédo Alb} = \frac{\text{énergieréfléchi}}{\text{énergieréçue}}$$

Il y a quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol :

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0,03 à 0,1
Forêt	0,05 à 0,2
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Pierres et rochers	0,15 à 0,25
Champs et prairies	0,1 à 0,3
Sol nu	0,15 à 0,4
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Neige fraîche	0,8 à 0,95

Tableau II.1 : Rayonnement réfléchi [16]

d) Rayonnement global

Le rayonnement global est le rayonnement émis par le soleil incident sur un plan donné, et c'est la somme du rayonnement direct et diffus, il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran. [16]

Dans le cas d'une surface horizontale, le rayonnement global s'écrit:

$$G = I \cdot \sin h + D_h \tag{II-10}$$

h: hauteur angulaire.

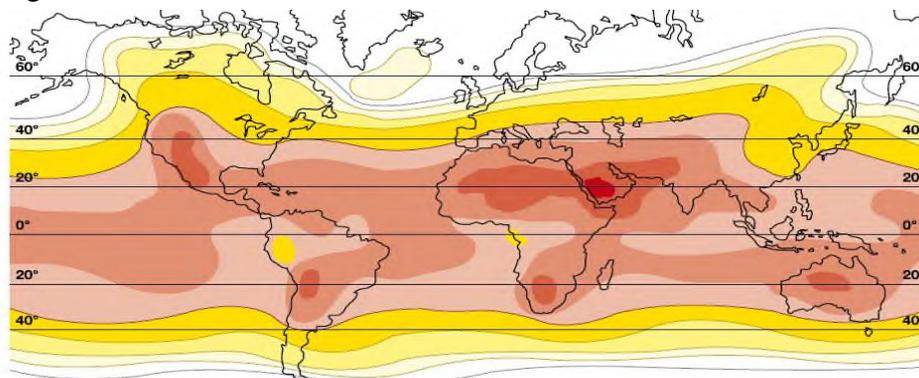


Figure II.8 : L'atlas mondial de l'irradiation solaire

II.3.L'énergie photovoltaïque

Résulte de la transformation direct de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologique et industriel en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice no toxique.

En effet le mot<photovoltaïque> vient du grec <photo> qui signifie lumière et de<voltaïque> qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro volta [1754-1827] qui a beaucoup contribue a la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque que signifie littérairement la <lumière électricité>. [7]

Principe de l'énergie photovoltaïque : transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'un panneau photovoltaïque. [26]

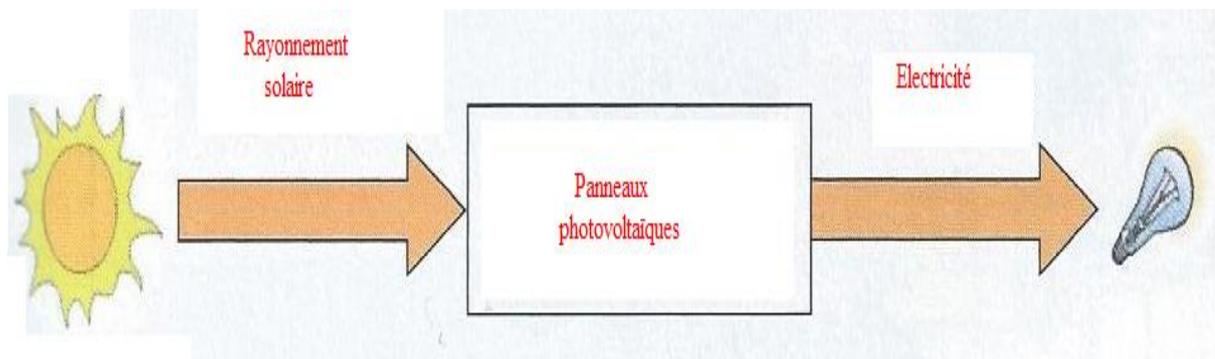


Figure II.9 : Principe de l'énergie photovoltaïque. [26]

II.4. les panneaux photovoltaïques

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 convertis en électricité.



Figure II.10 : Les panneaux photovoltaïques

II.5. Principe de la conversion photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation direct d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photon (PV).

La clé pour produire un courant électrique utile est d'arriver à extraire les électrons libres. Un procédé pour faire clés d'introduire dans le matériau semi-conducteur des éléments chimique qui contribuent à produire un excès d'électrons et de trous. Ces éléments, qui altèrent notablement les propriétés intrinsèques du semi-conducteur, s'appellent les dopants et le matériau est dit dope lorsque le processus d'incorporation au semi-conducteur est achevé.

Un dopant approprié pour le silicium est le bore. La structure créée s'appelle un semi-conducteur de type p (positif).

Un autre dopant possible pour le silicium est le phosphore. Le semi-conducteur est dit de type N (négative).

Si les photons de la lumière incidente communiquent de l'énergie aux électrons du semi-conducteur, quelques électrons peuvent traverser la barrière de potentiel. En étant expulsés hors du semi-conducteur dans un circuit extérieur, ceci génère un courant électrique. Les électrons, après avoir parcouru le circuit externe, retournent dans le semi-conducteur par la face opposée.

Le matériau semi-conducteur ne stocke donc pas d'énergie électrique mais la génère, transformant l'énergie incidente. [7]

II.6. la cellule photovoltaïque

II.6.1. Définition

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond a la création de paires électron/trous dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules générées dans le dispositif. [27]

II.6.2. Composition

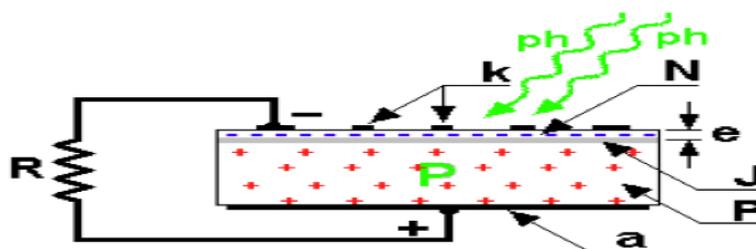


Figure II.11: Construction interne de la cellule solaire. [28]

N : Couche supérieure, composée de silicium dopé par un élément contenant plus d'électrons que le silicium.

Elle contient donc plus d'électrons qu'une couche de silicium pur.

Cette couche appelée semi-conducteur de type N.

P : Couche inférieure composée de silicium dopé par un élément contenant moins d'électrons que lui. Contient donc moins d'électrons qu'une couche de silicium pur. Couche appelée semi-conducteur de type P.

J : jonction entre les zones N et P. Au milieu de ces deux matériaux, il va se former une zone neutre, appelée Zone de Charge d'Espace (ZCE). Cette zone étant neutre, aucun courant ne peut la traverser.

K : la zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode (électrode de sortie du courant).

a: plaque métallique recouvrant la face du **crystal** (qui appartient aux cristaux: variété de verre pur, limpide et très résistant. Ici, le silicium), qui sert d'anode (électrode d'entrée du courant).

e: épaisseur de N (égale à quelques millièmes de mm).

R : résistance de charge.

ph: photons : particule élémentaire de la lumière

La lumière est une onde électromagnétique de fréquence ν et un faisceau de particules appelées photons transportant l'énergie E telle que :

$$E = h.\nu \quad (\text{II.11})$$

Où - h est la constante de Planck $h = 6,63.10^{-34}$ J.s

- ν est la fréquence de l'onde électromagnétique associée au photon

II.6.3.Principe de fonctionnement

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V_{oc}). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{cc}). [29]

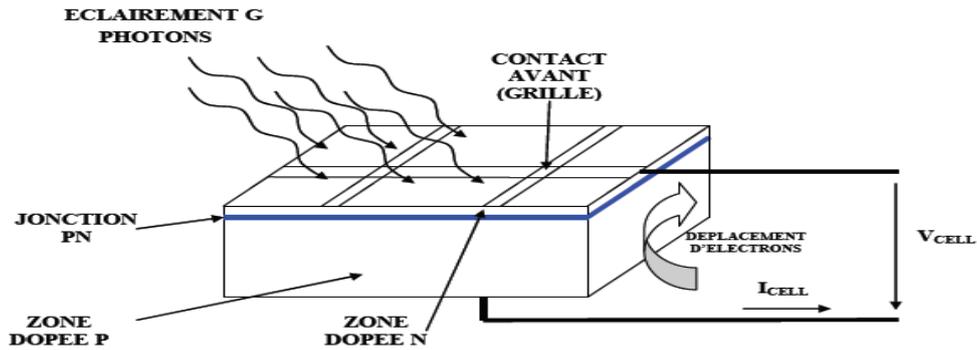


Figure II.12: Structure d'une cellule photovoltaïque au silicium

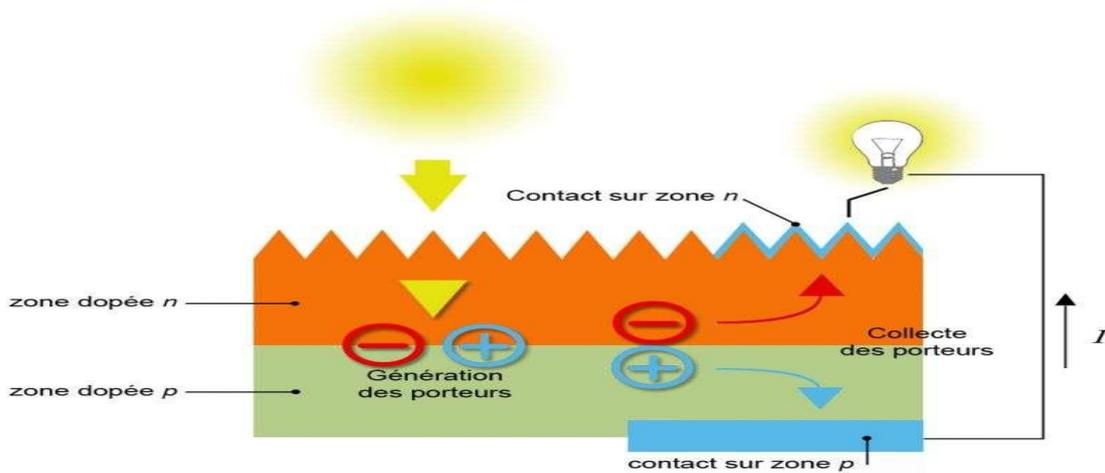


Figure II.13: Principe de fonctionnement [19]

II.6.4. Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque [27]

Le courant délivré sur une charge par une cellule PV éclairée s'écrit :

$$I(v) = I_{ph} - I_{obs}(v) \quad (II.12)$$

Avec : I_{ph} : densité de courant photo-généré et I_{obs} : densité de courant d'obscurité.

Pour une cellule photovoltaïque idéale, l'équation (II.12) peut être sous la forme suivante :

$$I(v) = I_{ph} - I_s(e^{(qv/kT)} - 1) \quad (II.13)$$

Avec : I_s : le courant de saturation de la diode, q : charge élémentaire, k : constante de Boltzmann et T : la température.

Ainsi, dans une cellule photovoltaïque, deux courants s'opposent : le courant d'éclairage et un courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant. La caractéristique d'une cellule sous obscurité est indiquée à celle d'une diode. Sous éclairage, la caractéristique a l'allure présentée sur (la figure II.14).

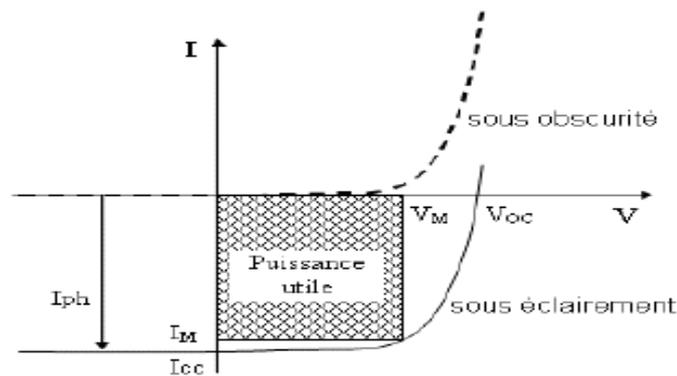


Figure II.14 : Caractéristiques $I=f(V)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule PV

a) la tension de circuit ouvert [30]

C'est la tension pour laquelle la diode à l'obscurité ($I = 0$) fournit un courant égal au courant de court circuit I_{cc} . Elle est obtenue à partir de l'équation :

$$V_{co} = (KT/q) \ln((I_{cc} / I_0) + 1) \quad (II.14)$$

b) le courant de court-circuit

Si on court-circuite une cellule photovoltaïque on obtient une tension nulle ($V=0$) et un courant qui s'appelle le courant de court-circuit I_{cc} .

c) la puissance maximale

La puissance électrique produite par une diode sous éclairement est égale au produit de l'intensité délivrée et de la tension à ses bornes. Il faut ainsi adapter la charge aux bornes du dispositif afin de la faire fonctionner au point de puissance maximale $P_{max}(V_{max}, I_{max})$. [31]

P_{max} : c'est la puissance maximum qui peut produire par une cellule photovoltaïque.
 J : la densité de courant.

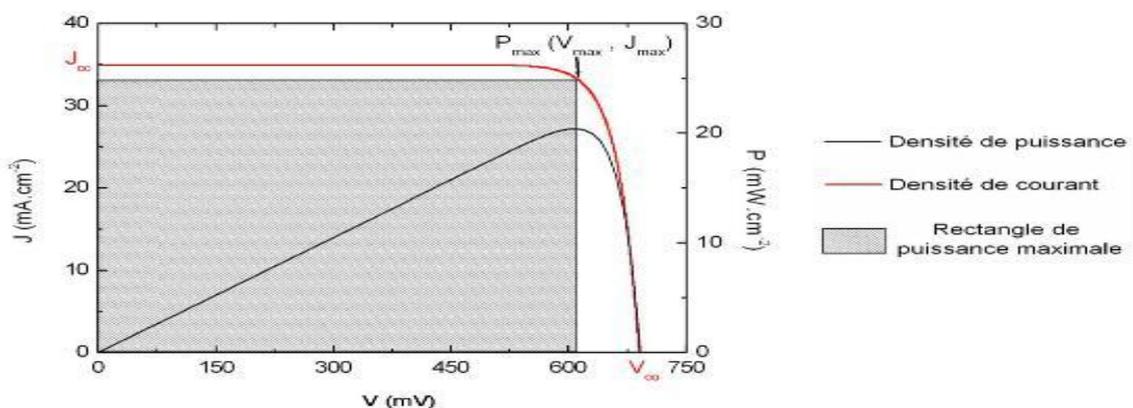


Figure II.15: Caractéristiques J-V et P-V sous l'éclairement [31]

d) le facteur de forme FF [30]

Il définit l'efficacité de la cellule solaire, il est obtenu comme suit :

$$FF = V_{\max} I_{\max} / V_{CO}I_{CC} \quad (II.15)$$

e) le rendement de conversion

On appelle rendement de conversion η le rapport de la puissance fournit par la cellule sur la puissance incidente (d'éclairement). [31] Il exprime selon l'équation suivante :

$$\eta = FF. (V_{CO}I_{CC} / P_{in}) = P_{\max}/P_{in} \quad (II.16)$$

Ou P_{in} : est la puissance incidente (d'éclairement).

II.6.5. Les différentes technologies des cellules photovoltaïques

a) Silicium monocristallin

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les cellules commerciales bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin» implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes. [16]



Figure II.16: Cellule monocristalline

b) Silicium poly cristallin

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14 %. [16]



Figure II.17: Cellule polycristallin

c) Silicium amorphe (a-si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière. [16]

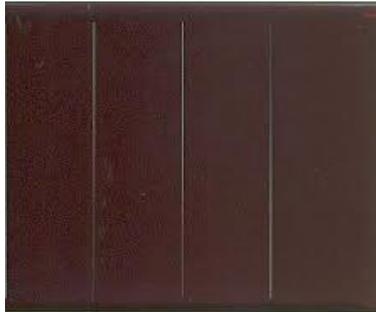


Figure II.18: Cellule amorphe

d) Cellule Tandem

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbantes dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines. [21]

e) Cellule multi-jonction

Des cellules ayant une grande efficacité ont été développées pour des applications spatiales. Les cellules multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces.

Chaque type de semi-conducteur est caractérisé par une longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il est incapable de convertir le photon en énergie électrique. D'un autre côté, en deçà de cette longueur d'onde, le surplus d'énergie véhiculé par le photon est perdu. D'où l'intérêt de choisir des matériaux avec des longueurs aussi proches les unes des autres que possible, de manière à ce qu'une majorité du spectre solaire soit absorbé, ce qui génère un maximum d'électricité à partir du flux solaire. [21]

II.6.6. Comparatif des différentes technologies

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients pour les technologies les plus utilisées d'une cellule photovoltaïque :

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Très bon rendement : 14 à 20 %. <input type="checkbox"/> Durée de vie : importante (30 ans) <input type="checkbox"/> Coût de fabrication : élevé. <input type="checkbox"/> Puissance : 100 à 150 Wc/m². 7 m²/kWc. <input type="checkbox"/> Rendement faible sous un faible éclairement. <input type="checkbox"/> perte de rendement avec l'élévation de la température. <input type="checkbox"/> Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal <input type="checkbox"/> .Couleur bleue uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Bon rendement : 11 à 15 %. <input type="checkbox"/> Durée de vie : importante (30 ans) <input type="checkbox"/> Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins <input type="checkbox"/> Puissance : 100Wc/m². 8 m²/kWc. <input type="checkbox"/> Rendement faible sous un faible éclairement. <input type="checkbox"/> perte de rendement avec l'élévation de la température. <input type="checkbox"/> Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. <input type="checkbox"/> Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rendement faible : 5 à 9 %. <input type="checkbox"/> Durée de vie : assez importante (20 ans) <input type="checkbox"/> Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies <input type="checkbox"/> Puissance : 50Wc/m². 16 m²/kWc. <input type="checkbox"/> Fonctionnement correct avec un éclairement faible. <input type="checkbox"/> Peu sensible aux températures élevées. <input type="checkbox"/> Utilisables en panneaux souples. <input type="checkbox"/> Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium.
Part de marché	43 %	47 %	10 %

Tableau II.2 : Comparaison des différentes technologies d'une cellule [16]

II.6.7 Regroupement des cellules

a) Regroupement en série

Les cellules photovoltaïques peuvent se connecter en série. La tension de toutes les cellules s'ajoute et le courant est le même que celui d'une seule cellule. [26]

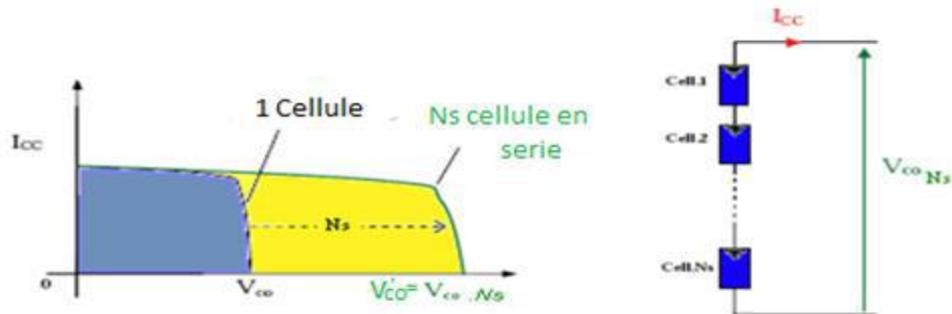


Figure II.19: Caractéristiques résultants d'un regroupement de N_s cellules en série

b) Regroupement en parallèle

Lorsque les cellules sont connectées en parallèles, ce sont les courants qui s'ajoutent et la tension qui restera constante. [26]

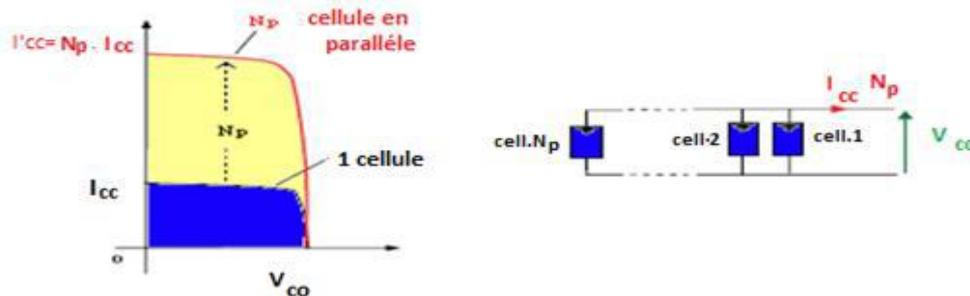


Figure II.20 : Caractéristiques résultants d'un Regroupement de N_p cellules en parallèle

c) Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. [26]

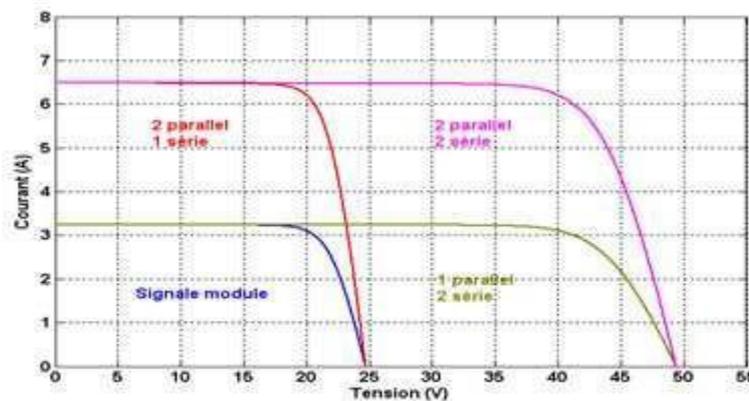


Figure II.21 : Caractéristiques regroupement (série et parallèle).

II.7. Les différentes installations photovoltaïques

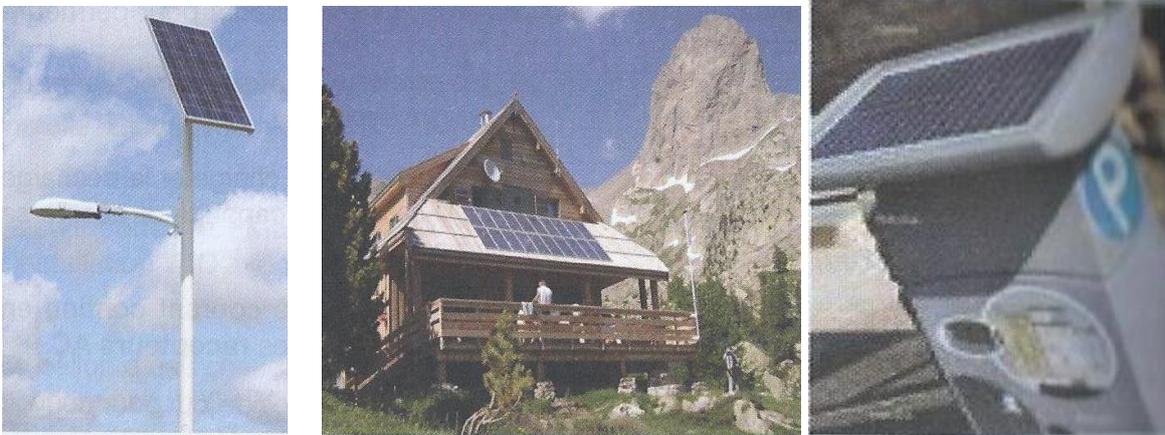
II.7.1. Les installations sur site isolé

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins. [32]



Figure II.22: Installation sur site isolé [32]

Exemples d'utilisation



Eclairage public Chalet isolé Horodateur

Figure II.23 : Exemples d'utilisation

II.7.2. Les installations raccordées au réseau de distribution public

A) Solution avec injection totale

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution. Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),

- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :

- l'un pour la production.
- l'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).

B) Solution avec injection de surplus

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant. [32]

Exemples d'utilisation



Toit solaire particulier

Abri solaire de parking

Figure II.24 : Exemples d'utilisation

II.8. Le système photovoltaïque

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, les batteries, régulateurs, convertisseurs et la charge, ils sont montrés par la (figure II.25) [24]

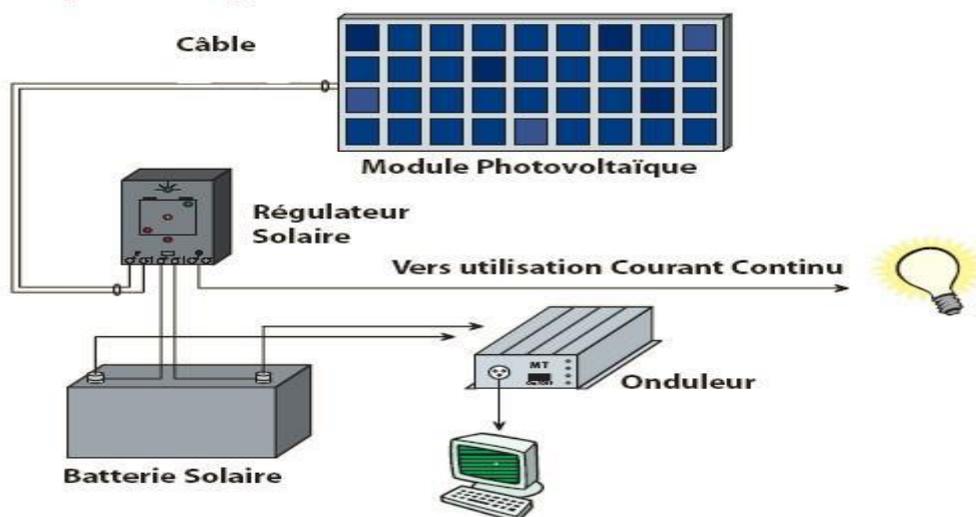


Figure II.25 : Les constituants d'un système PV [34]

II.8.1. Le module photovoltaïque

Le module photovoltaïque est un ensemble de photopiles assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. En effet, il consiste en un lot de cellules photovoltaïques connectées entre elles, puis enrobées dans une résine transparente, souvent l'EVA.

La face arrière des cellules est recouverte d'un film multicouche recouvert de teldar et d'aluminium. La face avant est quant à elle recouverte d'un verre. Les connexions de sortie de la face arrière des cellules sont isolées électriquement par un film de polymère transparent, nommé Mylar. Cet assemblage est effectué à vide. [29]

• Le verre

Il s'agit d'un verre trempé de 4 mm d'épaisseur. On qualifie ce verre de "verre solaire".

Cela signifie que le verre a une faible teneur en fer. Ceci permet une meilleure transmission optique. En générale, la transmission optique du verre d'un module photovoltaïque est de l'ordre de 95 % dans la gamme utile du spectre solaire (380 nm à 1 200 nm).

La face extérieure du verre, traitée à l'acide fluosilicique (H_2SiF_6), est recouverte de nanopores qui piègent la lumière incidente et réduisent la réflexion en surface à une valeur inférieure à 8 % dans la gamme 380 nm à 1 200 nm. En face intérieure, le verre est micro structure, augmentant ainsi le rendement par éclairage diffus. [33]

• Polymère encapsulant

Différents matériaux sont utilisés pour l'encapsulation des modules photovoltaïques.

L'EVA est actuellement la plus utilisée dans l'industrie, c'est une résine transparente enrobant les cellules photovoltaïques. Chimiquement, elle est formée de chaînes de copolymère d'éthylène et de vinyle d'acétate.

Ce produit est utilisé car il présente de grandes propriétés adhésives, diélectrique (c'est-à-dire qu'il ne peut pas conduire le courant), thermique et d'étanchéité (il dispose d'un très faible taux d'absorption d'eau). Bien entendu, l'EVA présente aussi une excellente transmission optique (supérieure à 90% selon le type d'EVA) dans la gamme utile du spectre solaire (380nm à 1 200 nm). [33]

• Le Mylar

Le mylar, utilisé pour isoler électriquement les connexions de sortie de la face arrière des cellules, est un film polymère transparent.

Chimiquement, il est composé de polyéthylène, téréphtalique et de constant diélectrique très élevée lui permettant d'être un très bon isolant électrique. [33]

• Le Teldar

Le TEDLAR est un polymère fluoré, son rôle majeur dans un module photovoltaïque, est la protection de surface.

En effet, le TEDLAR résiste particulièrement bien aux agressions extérieures (UV, variations de température, atmosphères corrosives, ...), à l'abrasion ainsi qu'aux produits chimiques. [33]

• Cadre en Aluminium

Le cadre en aluminium se justifie par la haute résistance de celui-ci à l'humidité ainsi qu'aux chocs mécaniques.

Le cadre en aluminium peut être anodisé. L'anodisation est un traitement de surface qui permet de protéger ou de décorer une pièce en aluminium par oxydation anodique (couche électriquement isolante de 5 à 50 micromètres). Elle octroie aux matériaux une meilleure résistance à l'usure, à la corrosion et à la chaleur. [33]

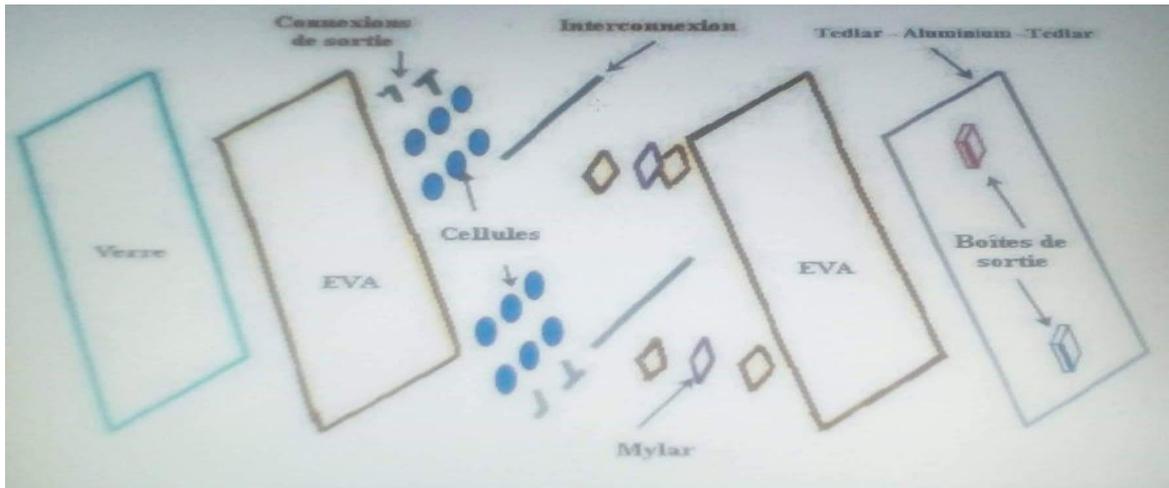


Figure II.26 : Les différentes couches et matériaux composants un module photovoltaïque.

II.8.1.1 les types de panneaux photovoltaïques

a) Panneaux orientables

Les panneaux orientables peuvent être changés de position en fonction du mois de l'année et de la hauteur du soleil. Ainsi, le soleil étant plus haut en été qu'en hiver, il vaudra mieux augmenter l'inclinaison en hiver et la diminuer en été.

Peux onéreux et faciles à poser, les panneaux fixes sont surtout conseillés pour les toits plats et pour les installations au sol. Cependant, si l'utilisation de blocs de béton ou de graviers est nécessaire pour assurer le maintien des panneaux, il faudra contrôler au préalable la solidité de la toiture. En outre, il faudra veiller à ce qu'il y ait un écartement suffisant entre les panneaux solaires afin d'éviter qu'ils ne se fassent de l'ombre et diminuent leur rendement. [35]



Figure II.27: Panneau orientable

b) Panneaux fixes : en surimposition ou en intégration

Comme leur nom l'indique, les panneaux solaires fixes restent dans la même position durant toute l'année. La meilleure inclinaison est de 35°C en plein sud. Avec un système d'une puissance « normale » d'1 kWc, vous produirez alors environ 850 kWh par an. S'il vous est impossible d'installer vos panneaux en plein sud, sachez que vous pouvez obtenir un

Chapitre II : Etude descriptive sur les panneaux photovoltaïques.

rendement presque optimal au sud-est et au sud-ouest en gardant une inclinaison comprise entre 15 et 50°C.

On installe généralement ce type de panneaux solaires en surimposition, c'est-à-dire sur une toiture existante. Si vous construisez ou vous rénovez totalement votre toiture, sachez qu'il existe des panneaux solaires fixes à intégrer à la toiture, ce qui offre un meilleur rendu esthétique et permet de réaliser des économies sur les matériaux de toiture. L'inconvénient réside dans la difficulté de ventiler les panneaux solaires par l'arrière. [35]



Figure II.28: Panneau fixe

c) Panneaux mobiles ou suiveurs solaires

Les panneaux mobiles changent automatiquement leur inclinaison et leur rotation en fonction du soleil. Si ce type d'installation est plus onéreux et plus difficile à installer sur la toiture, il permet cependant d'augmenter la rentabilité de la production d'électricité de 25%. Ainsi, tandis qu'un système fixe en Wallonie produit en moyenne 867 kWh/kWc, le suiveur solaire peut produire jusqu'à 1093 kWh/kWc. [35]



Figure II.29: Panneaux mobiles

d) Module souples pour toits plats

Il existe également un type de panneaux solaires pouvant être installés à plat sur une toiture, tout en bénéficiant d'une productivité de 90%. Légers et flexibles, ces panneaux solaires s'adaptent à tous les toits, même les moins solides tels que les bâtiments industriels. L'installation est très facile, les panneaux pouvant même être parfois collés à même le toit. La

seule condition est que le toit bénéficie d'une pente minimale de 3%, afin d'évacuer les eaux de pluie et éviter leur stagnation. [35]



Figure II.30: Modules souples pour toits plats

II.8.2. Batterie solaire

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie de 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.

II.8.2.1 les type des batteries solaires

- ❖ **Batterie étanche** : c'est une batterie fermée, étanche, sèche, sans maintenance ni entretien, à installer à l'abri de la chaleur et l'humidité, à ne pas stocker plus de 4 à 5 mois, très chère, durée de vie de 17 à 10 ans.
- ❖ **Batterie stationnaire solaire** : c'est une batterie ouverte (humide), avec entretien (l'ajout de l'acide chlorhydrique ou l'eau distillée chaque 6 mois), prix moins chère, Durée de vie 10 à 15 ans.
- ❖ **Batterie à gel** : c'est une batterie ouverte destiné à zones froides (neige, verglas ...), avec entretien (l'ajout de l'antigel mono-propylène glycol chaque 6 mois), prix moyen, durée de vie 15 ans. [24]



Figure II.31: Batteries solaires [26]

II.8.3. Régulateur (contrôleur de charge)

Les régulateurs sont mis en place dans les soucis d'assurer une longévité de système de stockage. Donc de minimiser le cout 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 ou 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 y a des régulateurs ont des afficheurs permet de monter l'état de batterie et la tension des panneaux PV .Le régulateur 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. [36]

II.8.3.1 Les différentes technologies pour les régulateurs

Il existe 3 grandes sortes de régulateurs :

- ❖ **Le régulateur shunt** : il court-circuite les panneaux en cas de surcharge de la batterie et convient aux petites installations
- ❖ **Le régulateur série** : il ouvre le circuit en cas de surcharge et est adapté aux Installations photovoltaïques de grande taille
- ❖ **Le régulateur MPPT** (Maximum Power Point Tracking, soit recherche du point de puissance maximum) : cette technologie récente permet d'accroître la rentabilité du photovoltaïque en produisant 15% à 30% d'énergie. L'intérêt de ce régulateur tient Également dans le fait qu'il prolonge davantage la durée de vie de la batterie. [26]



Figure II.32: Les régulateurs solaires. [26]

II.8.4. Le convertisseur d'énergie (onduleur)

Il est chargé de convertir le courant continue 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 : Voltage de branchement en volt et la puissance nominale à développer en watt. [24]

II.8.4.1 Type d'onduleur solaire

On peut distinguer deux types d'onduleurs utilisés dans les énergies renouvelables, onduleurs autonomes et les onduleurs connectés au réseau, Il existe aussi les onduleurs hybrides ou intelligents

- ❖ **Onduleurs autonomes** : il fournit une tension alternative à partir d'une source continue (batterie ou panneau) (**Figure II.33**) (a).
- ❖ **Onduleurs non autonomes (connecté au réseau)** : Il doit être connecté au réseau et la source continue pour délivrer une tension alternative et possibilité de l'injecter au réseau électrique. (**Figure II.33**) (b).
- ❖ **Onduleurs hybrides ou intelligents** (onduleur solaire) : est une nouvelle génération dédiée aux applications d'énergie renouvelable pour l'autoconsommation et en particulier pour les panneaux solaires photovoltaïques (onduleur solaire). L'énergie des panneaux solaires photovoltaïques est active seulement pendant la journée et essentiellement lorsque le Soleil est au zénith, Ce type est conseillé pour le pompage. (**Figure II.33**) (c). [26]

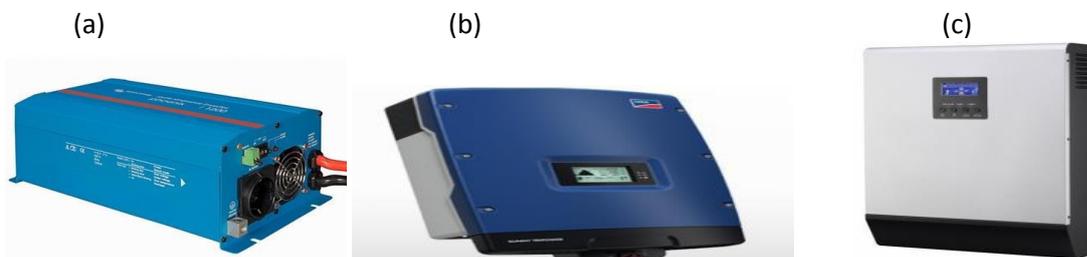


Figure II.33 : Les types d'onduleur solaire [26]

II.8.5. 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. [24]

II.9. Modes d'exploitation d'un système photovoltaïque

On distingue trois modes d'exploitation d'un système PV : autonome, connecté au réseau et hybride.

II.9.1. Mode autonome

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des récepteurs. Ce mode est adopté lorsque le réseau n'est pas disponible ou lorsque le fonctionnement des récepteurs dépend uniquement du fil de soleil (pompage, éclairage, climatisation, chauffage, etc.). La figure suivante explique ce mode. [26]

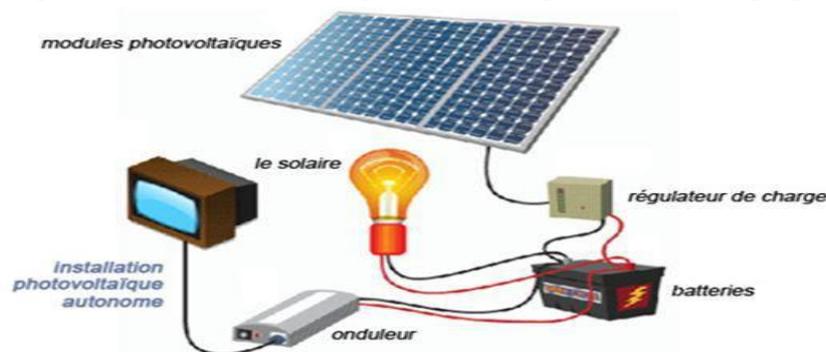


Figure II.34: Schéma d'un système photovoltaïque en mode autonome.

II.9.2. Mode connecté au réseau

Dans ce mode, le panneau PV est connecté au réseau électrique. Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) comme le montre la figure suivante. [26]

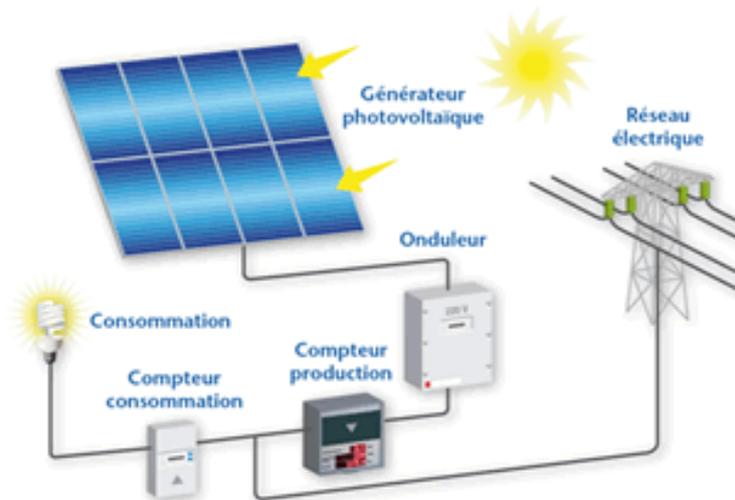


Figure II.35 : Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (connecté au réseau).

II.9.3. Mode hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les piles à combustibles, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes...etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau. Il existe plusieurs configurations de ces systèmes :

PV/thermique, PV/batterie, PV/piles à combustibles, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène.

Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau. Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes (figure ci-dessous). [26]

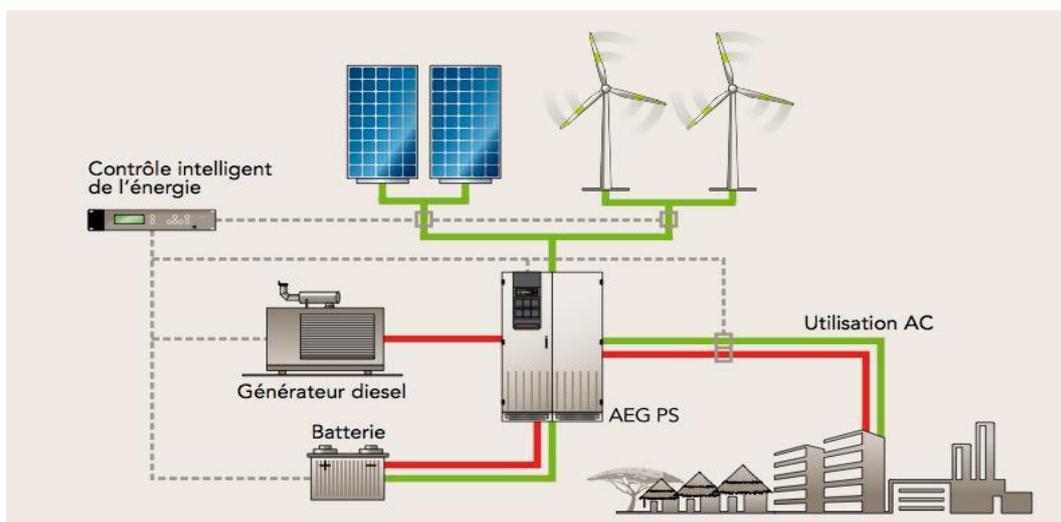


Figure II.36: Mode d'exploitation d'un système photovoltaïque (hybride).

II.10. Orientation et inclinaison des panneaux photovoltaïques

1. L'inclinaison des panneaux

Un panneau solaire capte le maximum d'énergie lumineuse quand il est perpendiculaire aux rayons du soleil, or l'angle d'incidence de ces rayons varie au cours de la journée et au cours des saisons (le soleil est bas sur l'horizon pendant l'hiver et haut dans le ciel en été). [37]

2. L'orientation des panneaux

L'orientation des modules photovoltaïques a un effet très important au niveau de la production tel que l'orientation pleine sud est la meilleure pour produire le maximum d'électricité. [37]

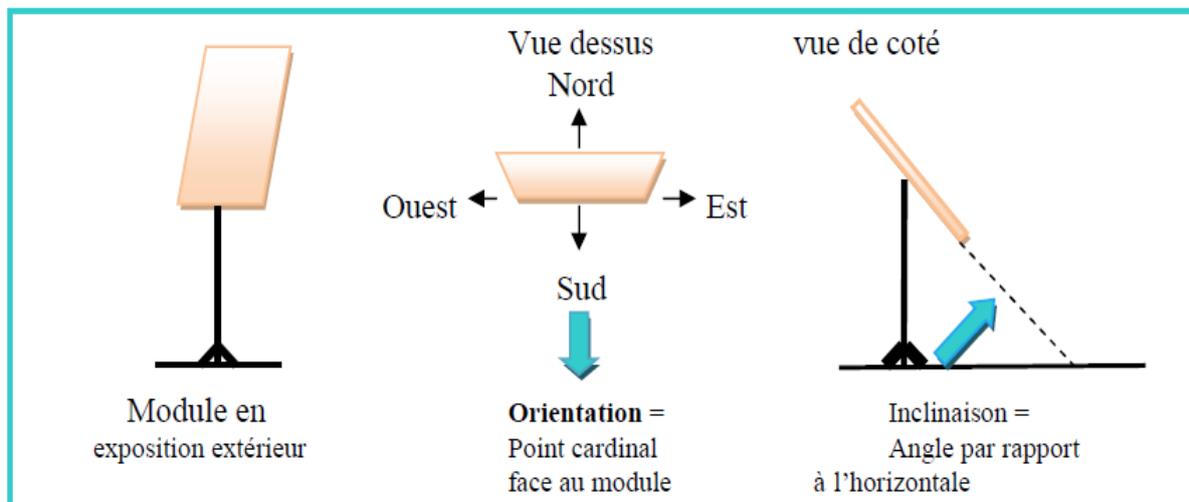


Figure. II.37: Inclinaison et orientation des panneaux. [38]

II.11. Dégradation d'un module photovoltaïque

La dégradation traduit la détérioration progressive des caractéristiques d'un composant ou d'un système qui peut altérer son aptitude à fonctionner dans les limites des critères d'acceptabilité et qui est engendrée par les conditions de service. Le module photovoltaïque dégradé peut ne jamais perdre sa fonction principale qui consiste à générer de l'électricité à partir de l'ensoleillement, même si son utilisation n'est plus optimale.

Cependant, l'état dégradé du module photovoltaïque peut s'avérer problématique lorsque la dégradation dépasse un seuil critique. Selon Wohlgemuth, les constructeurs considèrent que le module PV est dégradé lorsque sa puissance atteint un niveau en dessous de 80% de sa valeur initiale [33].

La performance des modules photovoltaïques peut être dégradée à cause de plusieurs facteurs tels que : la température, l'humidité, l'irradiation, la poussière et les chocs mécaniques. Chacun de ces différents facteurs cités peut induire un ou plusieurs types de dégradation telles que : la décoloration, la délamination, la corrosion, et les casses et fissures de cellules.

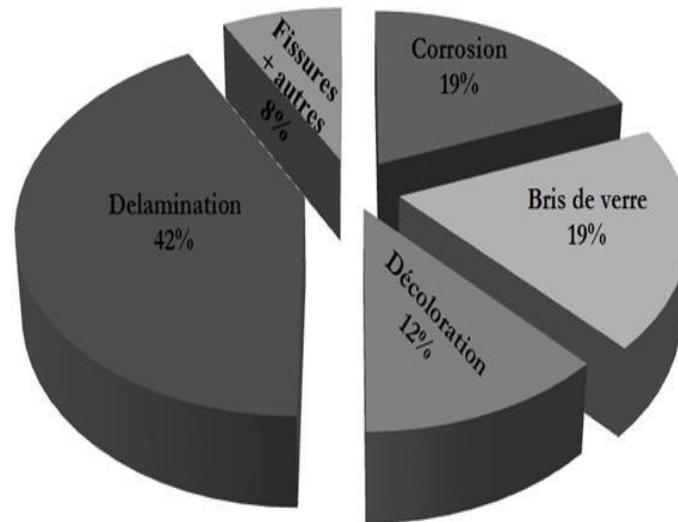


Figure II.42 : Représentativité des différents modes de dégradation. [33]

II.11.1. Les principaux modes de dégradation des modules photovoltaïques

La dégradation du module photovoltaïque peut affecter les différentes parties de celui-ci comme le montre la (Figure II.43). Ces différentes parties sont : le verre, les interconnexions entre les cellules, le matériau encapsulant qui est généralement en Ethylène-acétate de vinyle (EVA), le film polymère de protection qui est généralement en Tedlar et les colles qui assurent l'adhérence entre les différents composants du module. [40]

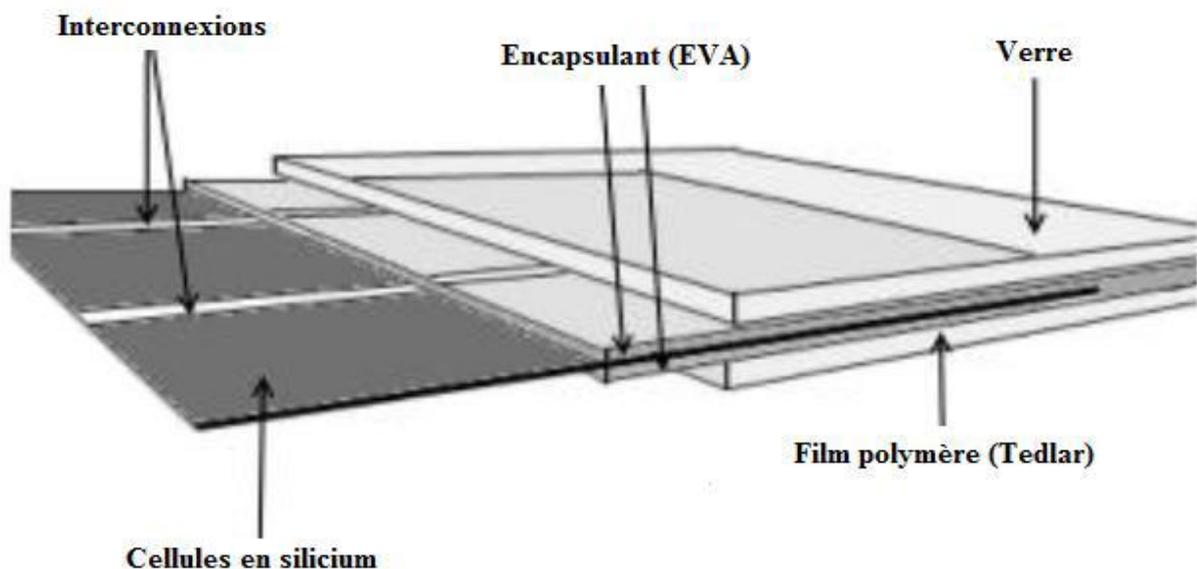


Figure II.43: Les différents composants du module photovoltaïque soumis à la dégradation.

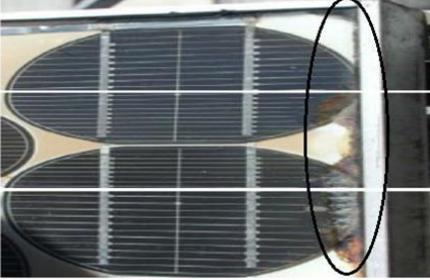
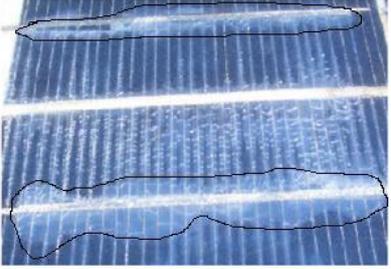
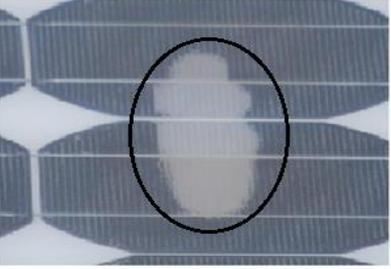
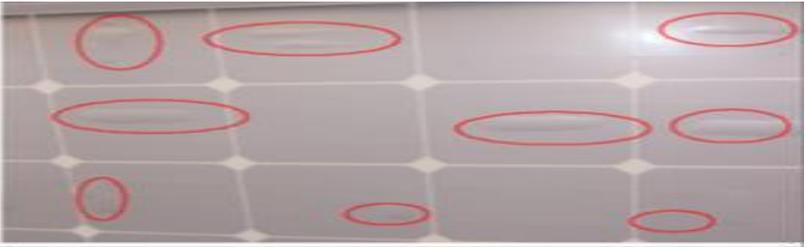
Types dégradation	Module PV en silicium cristallin	
La corrosion	 <p>a- corrosion de la bordure</p>	 <p>b- corrosion de la boîte de jonction</p>
La délamination		
La décoloration		
Les fissures et bris de verre		
Les points chauds Hot-spots		
Les bulles		

Tableau II.3 : Principaux modes de dégradation des modules PV en Silicium cristallin.

II.12. Domaines d'application de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est exploitée dans une large gamme d'applications :

- Électrification rurale (éclairage, réfrigération...).
- Télécommunications (relais hertzien, relais T.V., relais radiotéléphone...).
- Pompage.
- signalisation (routière, aérienne, maritime...), détection.
- Protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme...).
- Stations de mesures (stations automatiques météorologiques, mesures de débit, de Niveau, comptage de trafic), ...etc. [26]

II.13. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

A) les Avantages

Les avantages de l'électricité solaire photovoltaïque sont multiples :

- La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains pour sa petite relative taille, et son opération silencieuse.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- Modulaires, ses composants se prêtent à une utilisation innovante et esthétique en matière d'intégration architecturale (implantés sur ou en éléments de toiture ou de façade, sous forme de brise-soleil, en verrière...)
- L'électricité solaire photovoltaïque a pour qualité sa fiabilité, la durée de vie des capteurs supérieure à 25 ans, son autonomie, son faible impact sur l'environnement.
- Technologie encore émergente, son coût lui permet d'être souvent compétitive par rapport aux solutions classiques dans les sites éloignés du réseau électrique ne demandant pas de très grosse quantité d'électricité fournie, ou dans des sites urbains lorsqu'elle évite des coûts de raccordement au réseau électrique public.
- Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible, car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.

B) les Inconvénients

- Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable.
- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques et des capteurs est élevé.
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Le rendement électrique diminue avec le temps (20 % de moins au bout de 20 ans).
- Pollution à la fabrication.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés des informations concernant l'énergie solaire et la technique de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique par la cellule photovoltaïque. Nous avons présenté les différents types de système photovoltaïque et le principe de fonctionnement.

L'énergie photovoltaïque qui est considérée une des énergies renouvelables qui peut couvrir la demande mondiale de l'énergie pour aussi longtemps.

Dans les zones isolées, cette énergie photovoltaïque est toujours très utile et très souples à l'utilisation surtout pour les nomades et les régions rurales.

Chapitre III :

Simulation et interprétation

Introduction

Plusieurs paramètres tels que la météo, la situation géographique, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, ont une influence directe sur la productivité des panneaux photovoltaïques.

Les objectifs de la simulation d'un système PV sont, d'une part, de fournir une estimation de l'énergie produite et sa distribution dans le temps et, d'autre part de quantifier les effets perturbateurs de manière à identifier les points faibles et optimiser l'ensemble de l'installation.

Dans PVSYS, l'étude d'une installation donnée est effectuée dans le cadre d'un projet, qui fixe les données du site et de la météo. Pour un projet donné, l'opérateur peut définir diverses variantes de chaque groupe de paramètres et exécuter la simulation pour toute combinaison désirée.

Dans ce chapitre nous allons essayer de dimensionner une installation photovoltaïque autonome dans la willaya de Bechar pour une maison à l'aide du logiciel PVsyst et chaque fois on change l'inclinaison et par la suite nous interpréterons les résultats obtenus.

La structure principale de l'installation photovoltaïque autonome est donnée par la figure suivante :

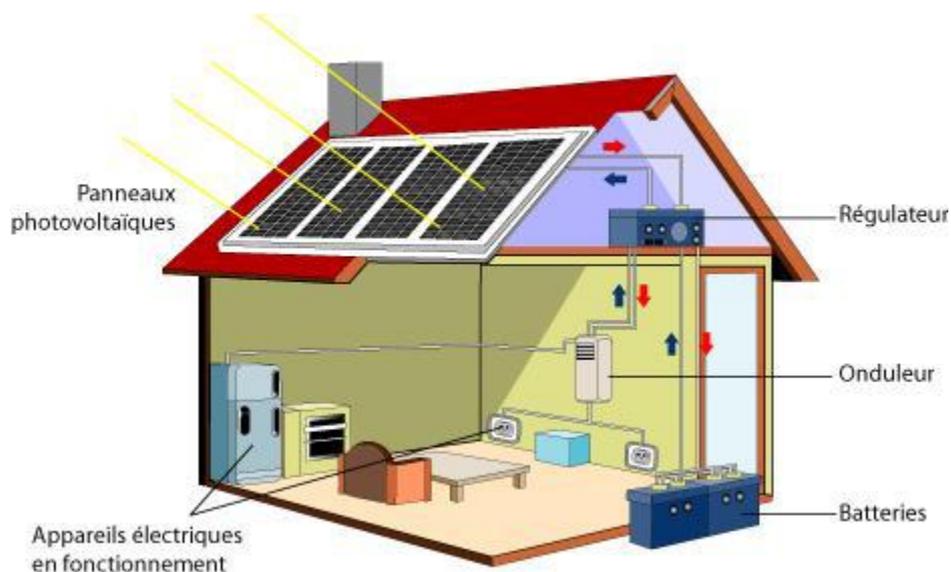


Fig.III.1 : Structure de l'installation photovoltaïque autonome [10].

III.1 Définition

PVsyst est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

Le logiciel PVsyst permet de :

- ✓ Pré-dimensionnement de l'installation.
- ✓ Estimation rapide de la production pour une première étude de vos installations
- ✓ Conception de projet
- ✓ Etude détaillée, dimensionnement et simulation horaire, résultats dans un rapport complet imprimable.
- ✓ Données météo (importation de diverses sources, génération synthétique,...).
- ✓ Base de données de composante (module PV, onduleur, batteries, pompes, etc.)
- ✓ outils didactiques, (géométrie solaire, optimisation de l'orientation, comportement électrique de champs PV avec ombrage).
- ✓ analyse de données réelles mesurées (avancé). [10]

III.2 Les Options de logiciel PVsyst

Deux options caractérisent le logiciel PVsyst :

III.2.1 Pré dimensionnement

Le logiciel PVsyst permet le pré dimensionnement d'un projet, en quelques clics, sans composant réels, première évaluation des dimensions du système et de son composant le pré dimensionnement concerne trois systèmes :

- ✓ Couplé au réseau
- ✓ Isolé avec batteries
- ✓ Pompage

III.2.2 Conception du projet

Conception et dimensionnement final du projet dans cette étude est assurée par le PVsyst qui a pour rôle de faire:

- ✓ Etude et analyse détaillés d'un projet
- ✓ Calcul de la production à partir de simulations détaillées en valeur horaires.
- ✓ Différentes variantes peuvent être simulées et comparées
- ✓ Masques lointains, et outil 3D pour les ombrages d'objets proches
- ✓ Analyse détaillée des pertes du système
- ✓ Evaluation économique, selon les composants réels.

Conception et dimensionnement final du projet concerne quatre systèmes :

- ✓ Couplé au réseau.
- ✓ Isolé avec batteries.

- ✓ Pompage.
- ✓ réseau cc.

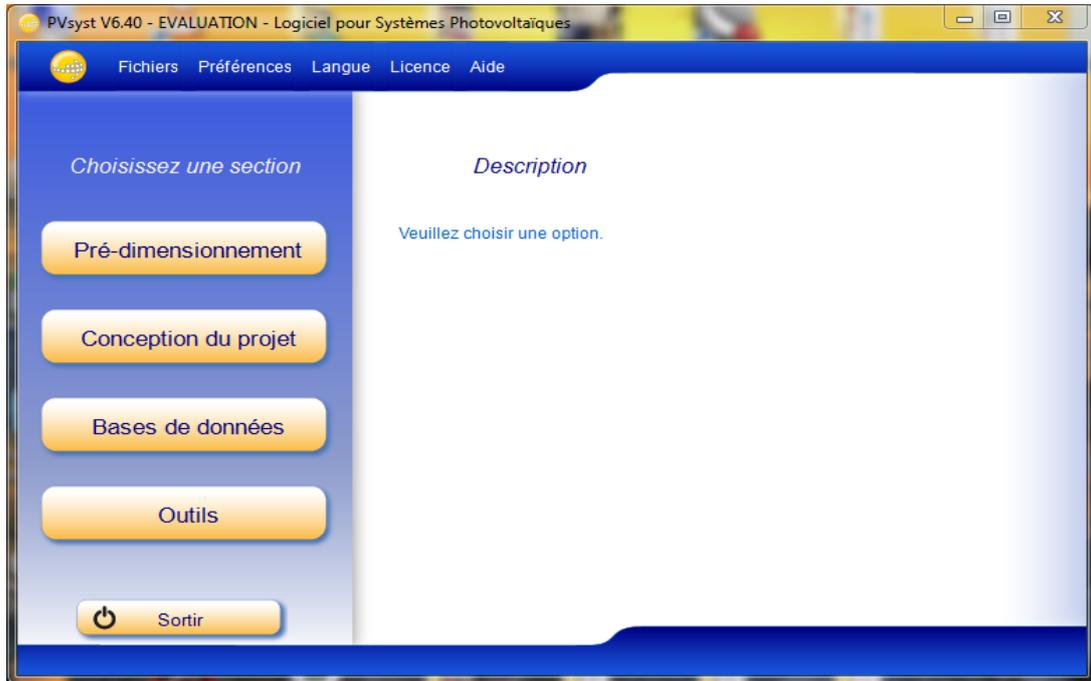


Figure III.2 : Interface du logiciel

III.3. Etude de système photovoltaïque

On donne la localisation géographique de l'installation, puis on injecte nos données concernant l'installation, telles que le nombre de lampes à utiliser, ainsi tous les équipements nécessaires (ventilateurs, machine à laver, TV...etc.) ; ensuite, ce logiciel nous permet après une simulation correspondante de nous donner : le dimensionnement de notre installation à savoir le nombre des plaques PV, le nombre de batteries et leur emplacement (en série ou en parallèle) ...etc. avec d'autres résultats détaillés de cette simulation.

III.3.1 Identification du site géographique

Pour la simulation de notre projet de la centrale photovoltaïque, nous avons choisi le site de Bechar où les données géographiques et météorologiques sont incluses dans le logiciel PVSYST.

Tableau III.01 : Coordonnées géographiques de la willaya de Bechar

Caractéristiques Site	Latitude [°]	Longitude [°]	Altitude [m]
Bechar	31.37 Nord	2.13 Ouest	780

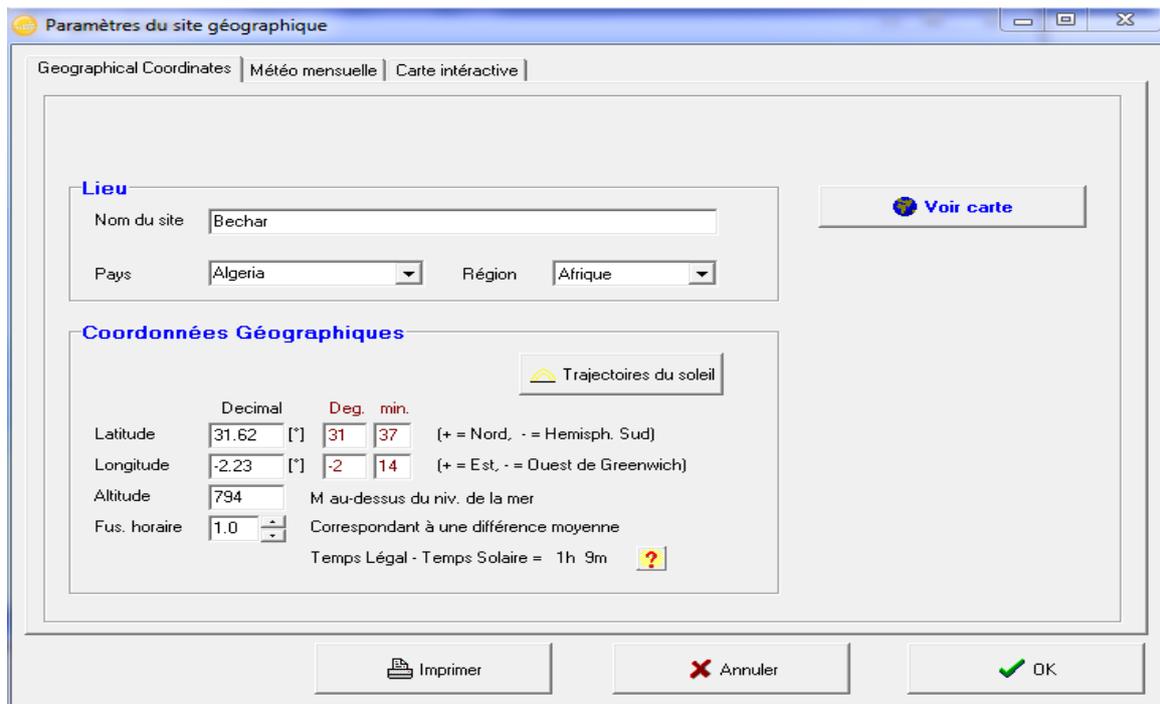


Figure III.3 : Coordonnées de la wilaya de Béchar dans le logiciel PVsyst

❖ Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire. La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS (angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu) et son Azimut AZ (angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est).

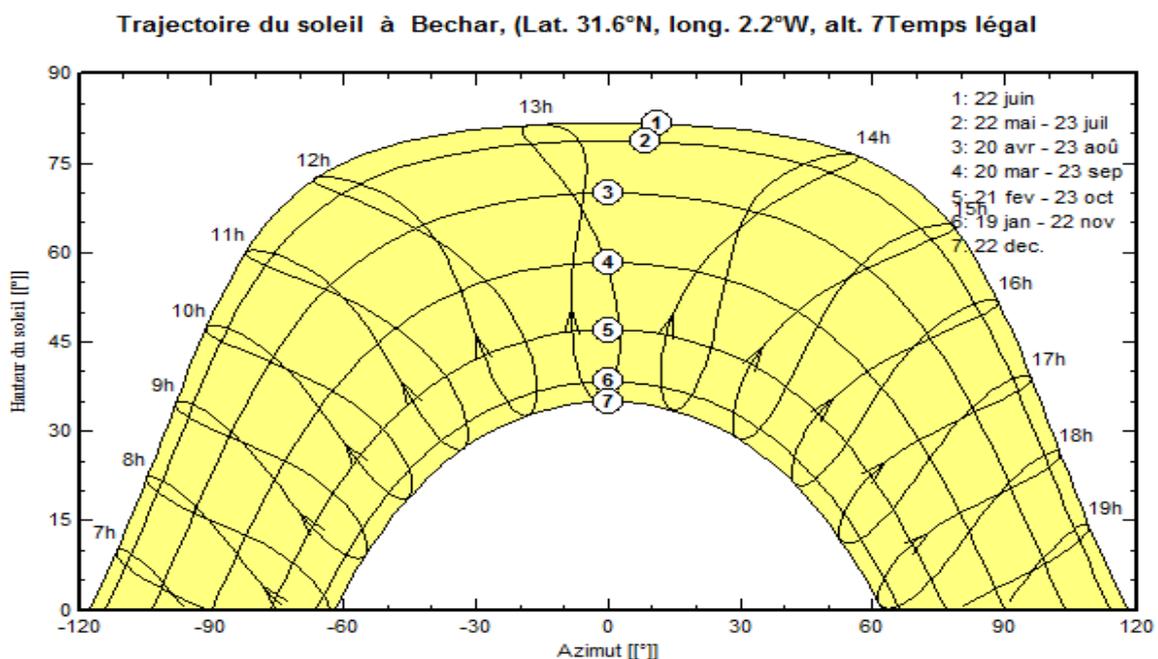
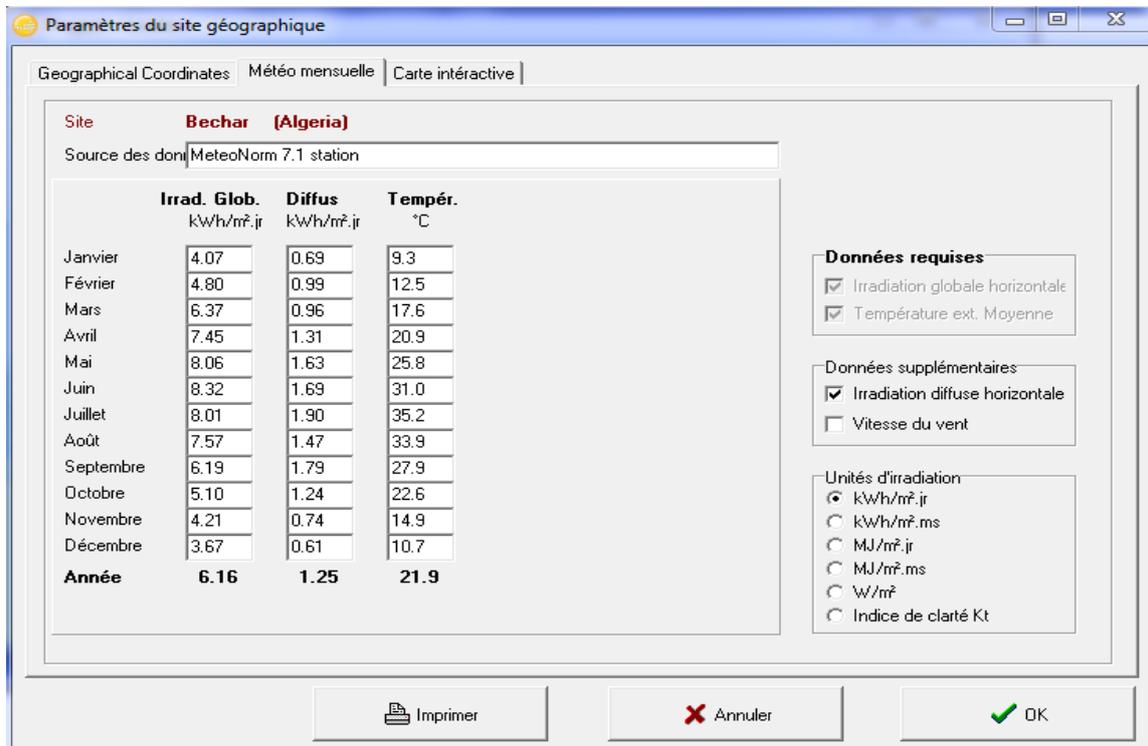


Figure III.4 : Trajectoire du soleil à la willaya de Bechar

❖ Données météorologiques

Tableau III.02 : Caractéristiques climatiques du site de Bechar



III.3.2 Orientation et inclinaison des modules

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Pour la simulation en technologie de silicium poly cristallin, nous avons choisi un plan incliné fixe de plusieurs inclinaisons (20°, 30°, 40°, 50° et 60°, 70°) par rapport à l'horizontale.

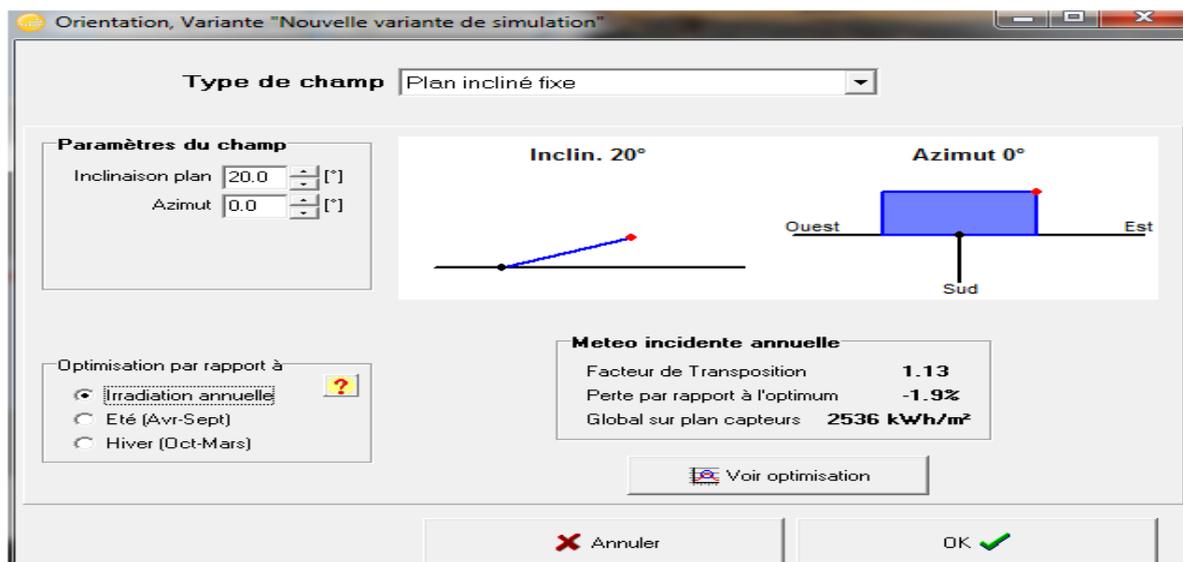


Figure III.5 : Orientation des modules

III.3.3 Evaluation des besoins en électricité

Il s'agit ici des besoins en énergie pour une maison (F4 100 m² de surface) : de trois chambres, un salon, une cuisine, une douche et une toilette, on doit connaître tous les équipements utilisés, leurs puissances et leurs durées d'utilisation par jour, pour pouvoir déterminer l'énergie nécessaire journalière pour la maison (notre cas d'étude).

Tableau III.3 : Besoins énergétiques.

	Désignation	Nb	P. Unitaire (W)
1	Lampes	9	20
2	TV démo	1	100
3	Pc	1	80
4	Réfrigérateur	1	110
5	Ventilateur	2	80
6	Pompe à eau	1	300
7	Machine à laver	1	450
8	Mixeur multifonction	1	100
9	Chargeur de téléphone	6	10

- Une fois on a déterminé la puissance de chaque élément on doit connaître la durée de fonctionnement de chacun afin de calculer la puissance totale de chaque élément par jour, pour pouvoir déterminer l'énergie nécessaire journalière pour la maison.

Tableau III.4 : Energie totale installé.

N°	Type d'appareil	Nb	P. Unitaire (W)	Temps d'utilisation (h /jour)	Puissance Totale (W)	Energie .T.Journalière (Wh)
1	Lampes	9	20	8	180	1440
2	TV démo	1	100	6	100	600
3	Pc	1	80	6	80	480
4	Réfrigérateur	1	110	12	110	1320
5	Ventilateur	2	80	8	160	1280
6	Pompe a eau	1	300	2	300	600
7	Machine à laver	1	450	2	450	900
8	Mixeur multifonction	1	100	0.25	100	25
9	Chargeur de téléphone	6	10	4	60	240
				/	1540	6885

Daily use of Energy, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
9	Lamps (LED or fluo)	20 W/lamp	8.0 h/day	OK	1440 Wh
2	TV / PC / Mobile	90 W/app.	6.0 h/day	OK	1080 Wh
1	pompe à eau	300 W/app.	2.0 h/day	OK	600 Wh
1	Frigo / Congélateur	1.32 kWh/day	12.0 h/day	OK	1320 Wh
1	Dish- & Cloth-washers	450.0 W aver.	2.0 h/day	OK	900 Wh
2	ventilateur	80 W/app.	8.0 h/day	OK	1280 Wh
6	chargeur de téléphone	10 W/app.	4.0 h/day	OK	240 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh
Total daily energy					6884 Wh/day
Total monthly energy					206.5 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by

Year Seasons Months

Week-end or Weekly use

Use only during

days in a week

Figure III. 6 : Besoins d'utilisateur

Dans notre cas :

- ❖ L'énergie totale installée est égale à 6884 Wh
- ❖ La puissance totale installée est égale à 206.5 KWh

III.3.4 Conception du système de l'installation

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple.

- Choisir la batterie dans la base de données interne
- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible
- Choisir les modules PV dans la base de données interne
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne

PVsyst propose une configuration de système, qui de réaliser une simulation/évaluation.

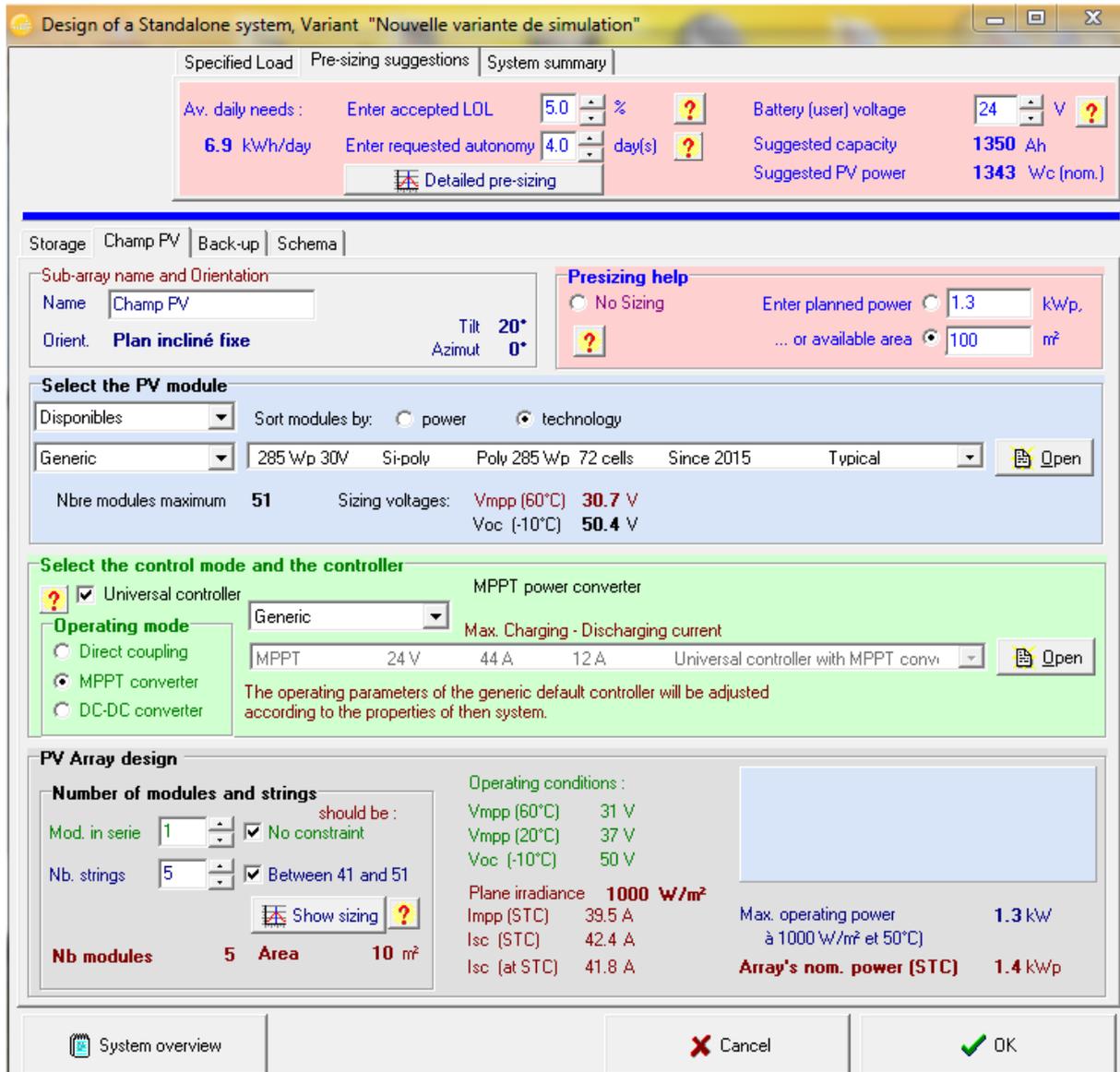


Figure III.7 : Configuration du système dans PVsyst

Tableau III.05: les différents composants de l'installation

Nom	Caractéristiques	Puissance
Module PV	Silicium poly cristallins	285 Wp, 72 cells
Batterie	Acide plomb	12V/160Ah
Régulateur/convertisseur	Contrôleur universel avec convertisseur MPPT	1140 W

La figure représente le schéma de l'installation PV isolé avec batterie prise en compte dans la simulation

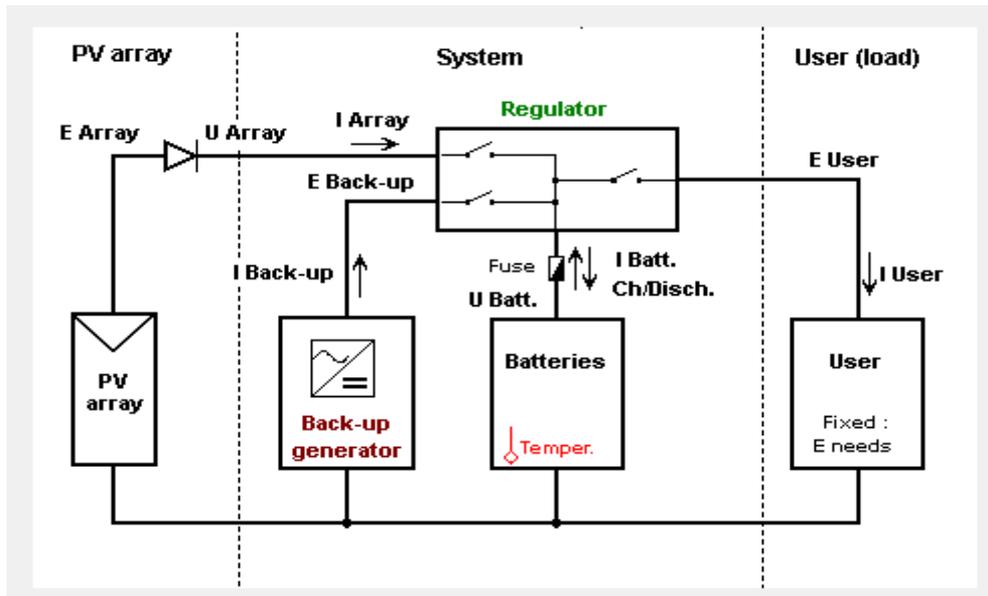


Figure III.8 : Schéma simplifié d'une installation PV isolée avec batterie

III.4. Résultats et discussions de la simulation numérique

Après avoir injecter nos données dans le logiciel de calcul , et après avoir s'assurer de tous les paramètres mis en œuvre de notre installation photovoltaïque pour une surface de 100 m², et après simulation, nous aboutissons aux résultats suivants obtenus ci- dessous.

- Le profil de consommation adopté dans cette étude est celui représenté à la figure suivante.
- . Cette distribution énergétique horaire est considérée identique pour tous les jours de l'année.

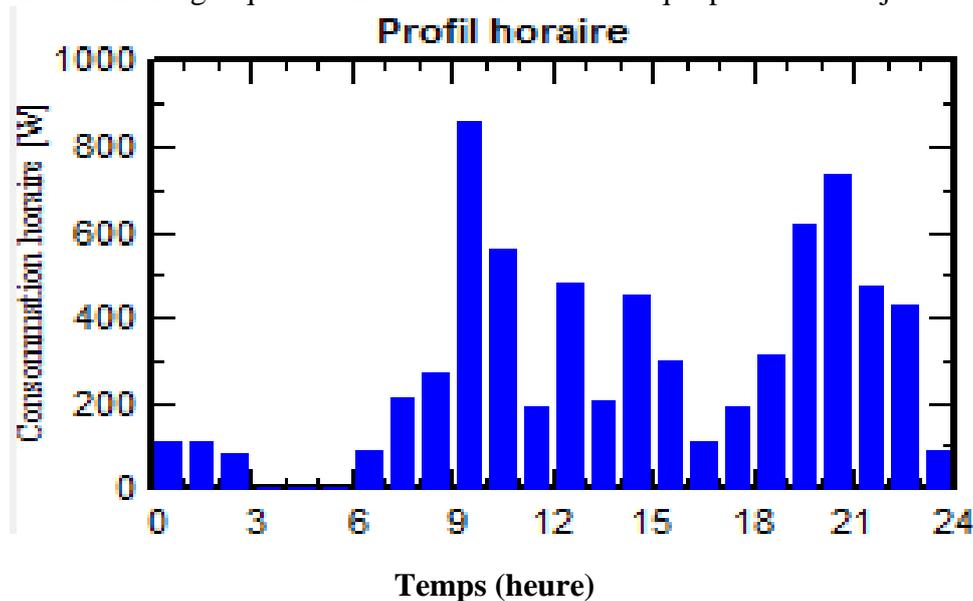


Figure III.9 : Profil de consommation adoptée

La demande en charge de l'habitation est faible dans l'intervalle de [1-6h] et [16-18h], ainsi elle est très importante dans l'intervalle de [9h-12h] et [18-23h].

III.4.1 Inclinaison 20°

a) Les paramètres de dimensionnement du champ PV pour une surface limitée de 100m² sont résumés dans la figure ci-dessous.

PVSYST V6.40		08/04/19		Page 1/4	
Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation					
Projet :		Projet PV isolé avec batteries at Bechar			
Site géographique		Bechar		Pays Algeria	
Situation		Latitude 31.6°N		Longitude 2.2°W	
Temps défini comme		Temps légal Fus. horaire TU+1		Altitude 794 m	
Données météo:		Bechar		Synthétique - MeteoNorm 7.1	
Variante de simulation :		Nouvelle variante de simulation			
		Date de la simulation 08/04/19 à 00h12			
Paramètres de simulation					
Orientation plan capteurs		Inclinaison 20°		Azimut 0°	
Modèles utilisés		Transposition Perez		Diffus Erbs, Meteonorm	
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Poly 285 Wp 72 cells			
Original PVsyst database		Si-poly		Modèle Generic	
Nombre de modules PV		En série		En parallèle	
Nombre total de modules PV		Nbre modules		Puissance unitaire	
Puissance globale du champ		Nominale (STC)		Aux cond. de fonct.	
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp		I mpp	
Surface totale		Surface modules		Surface cellule	
		5		285 Wc	
		1425 Wc		1276 Wc (50°C)	
		32 V		39 A	
		9.7 m ²		8.7 m ²	
Facteurs de perte du champ PV					
Fact. de pertes thermiques		Uc (const) 20.0 W/m ² K		Uv (vent) 0.0 W/m ² K / m/s	
Perte ohmique de câblage		Rés. globale champ 14 mOhm		Frac. pertes 1.5 % aux STC	
Perte diode série		Chute de tension 0.7 V		Frac. pertes 1.9 % aux STC	
Perte de qualité module				Frac. pertes -0.8 %	
Perte de "mismatch" modules				Frac. pertes 1.0 % au MPP	
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Param. bo 0.05	
Paramètres du système		Type de système Système isolé avec batteries			
Batterie		Modèle Solar 12V / 160 Ah			
Caractéristiques du banc de batteries		Fabricant Generic		Capacité nominale 1280 Ah	
		Tension 24 V		2 en série x 8 en parallèle	
		Nombre d'unités		Température Fixée (20°C)	
Controller		Modèle Universal controller with MPPT converter			
Convertisseur		Technologie MPPT converter		Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.	
Efficacité maxi et EURO		97.0/95.0 %			
Battery management control		Treshold commands as		SOC calculation	
		Charge		SOC = 0.90/0.75 i.e. approx. 27.4/25.1 V	
		Décharge		SOC = 0.20/0.45 i.e. approx. 23.5/24.4 V	
Besoins de l'utilisateur :		Consomm. domestique moyenne			
		Constants sur l'année 6.9 kWh/Jour			

Figure III.10 : Paramètres de simulation d'une installation PV.

PVSYST V6.40				08/04/19	Page 2/4
Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur					
Projet :	Projet PV isolé avec batteries at Bechar				
Variante de simulation :	Nouvelle variante de simulation				
Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries			
Orientation plan capteurs	inclinaison	20°	azimut	0°	
Modules PV	Modèle	Poly 285 Wp 72 cells	Pnom	285 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	5	Pnom total	1425 Wc	
Batterie	Modèle	Solar 12V / 160 Ah	Technologie	cellée, Gel	
batteries	Nombre d'unités	16	Tension / Capacité	24 V / 1280 Ah	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année		global 2513 kWh/an	
Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 6.9 kWh/jr					
Valeurs annuelles					
	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie	
Lamps (LED or fluo)	9	20 W/lampe	8 h/jour	1440 Wh/jour	
TV / PC / Mobile	2	90 W/app	6 h/jour	1080 Wh/jour	
pompe a eau	1	300 W/app	2 h/jour	600 Wh/jour	
Frigo / Congélateur	1		12 Wh/jour	1320 Wh/jour	
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/jour	900 Wh/jour	
ventilateur	2	80 W tot	8 h/jour	1280 Wh/jour	
chargeur	6	10 W tot	4 h/jour	240 Wh/jour	
Consomm. de veille			24 h/jour	24 Wh/jour	
Energie journalière totale				6884 Wh/jour	

Figure III.11 : Paramètres du système

Comme illustré sur la figure (III.11), le champ PV sera constitué :

- ❖ De 5 modules PV (technologie poly cristallin) répartis sur une surface totale brute de 9.7 m² et de 8.7 m² de surface effective ou surface cellule avec une puissance globale de 1425Wc, comme suit :
 - Cinq (05) modules en parallèle.
- ❖ Seize (16) batteries de 12v dont deux(02) en séries et Huit (08) en parallèles et d'une capacité de 1280Ah.
- ❖ Un régulateur.

b) Principaux résultats

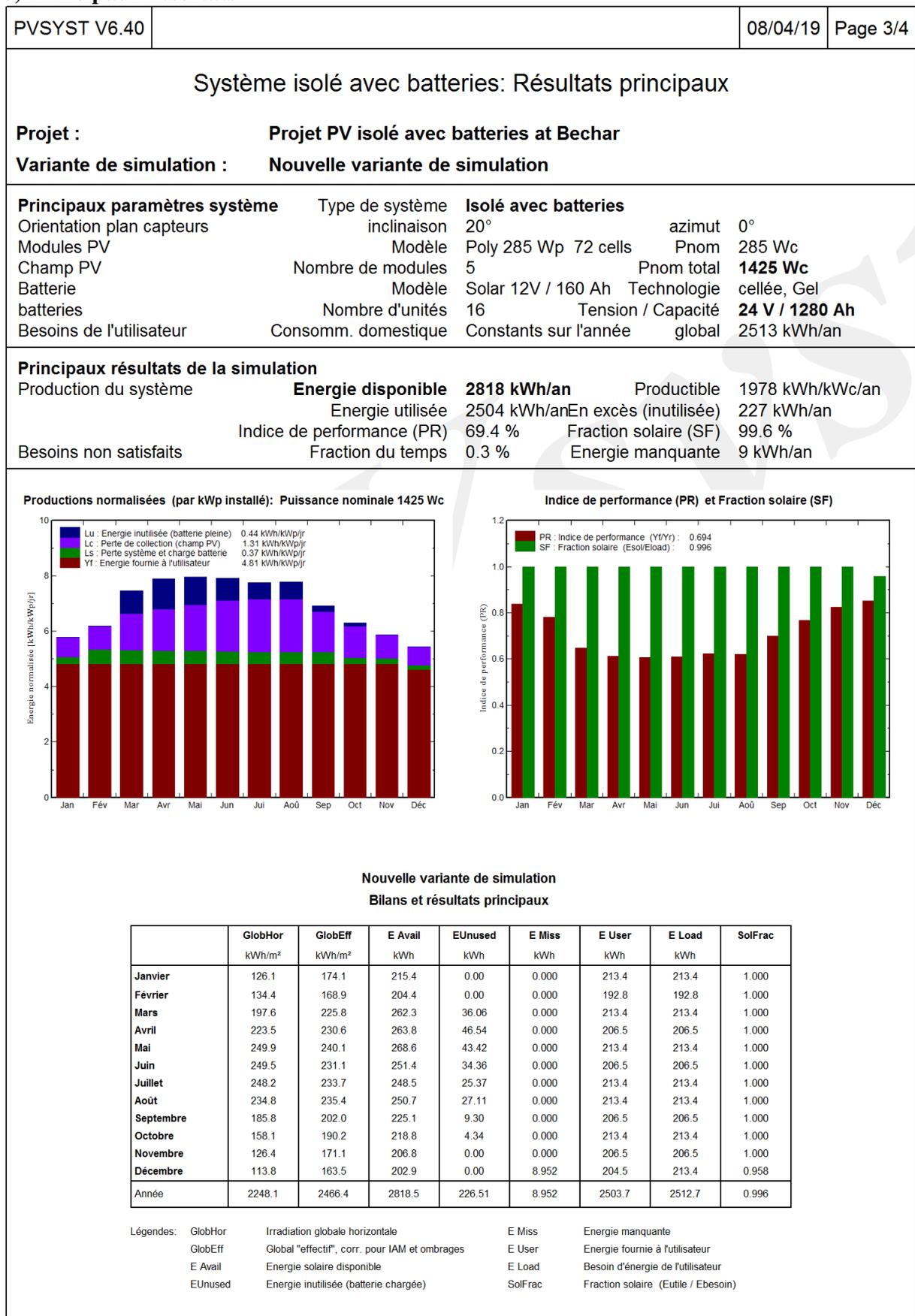


Figure III.12 : Principaux résultats

➤ **Energie produite**

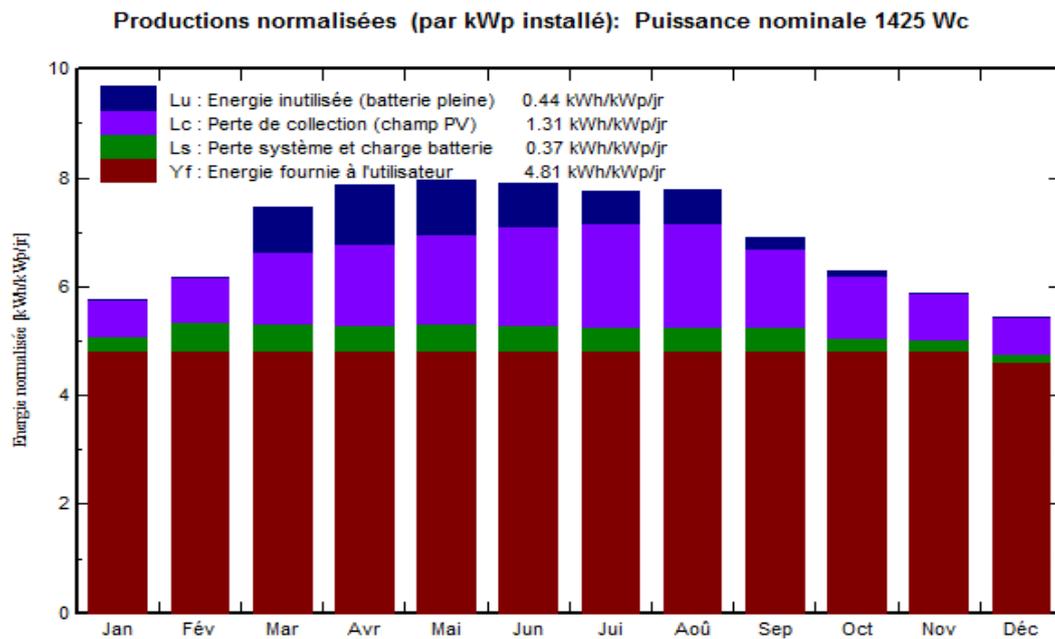


Figure III.13 : Production normalisée de la puissance

Le diagramme montre l'énergie produite par l'installation photovoltaïque donnée par le logiciel PVsyst durant une année. Sur cette figure on remarquera que l'énergie produite reste constante et les pertes de champs PV est maximale durant la période d'été (juin –Aout).L'énergie inutilisée est minimale durant le mois de Décembre et le mois de janvier.

➤ **Indice de performance et fraction solaire**

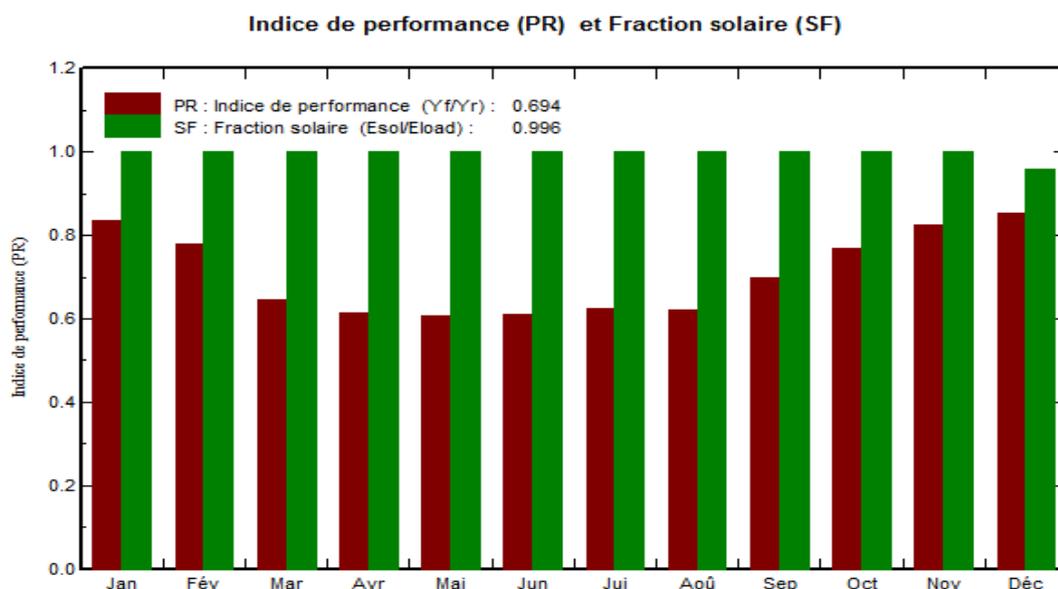


Figure III.14 : Indice de performance et fraction solaire

Le diagramme représente l'indice de performance (**Performance Ration**) est le rendement de globale du système défini par le rapport de rendement réel du système par le rendement nominale du système tel que :

$$PR = \frac{\text{rendemenet réel du système}}{\text{rendemenet nominale du système}}$$

Dans ce cas l'indice de performance est : 69.4%

La valeur typique est de 0,65 à 0,9 Alors Le système qui a été installé fonctionne très bien.

Autrement les pertes dans le système peuvent être données par la relation

Suivant : $\eta = 1-PR$. Les pertes de cette système est : 30.6%

η : les pertes dans le système peut sont aux (câblage, diodes, Mis marche, etc.),

Généralement < 25%

➤ Bilan énergétique

Tableau III.6 : Tableau de Bilan et résultat principaux.

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	E Unused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Jan	162.1	174.1	215.4	0	0	213.4	213.4	1
Fev	134.4	168.9	204.4	0	0	192.8	192.8	1
Mar	197.7	225.8	202.3	36.06	0	213.4	213.4	1
Avr	223.5	230.6	263.8	46.54	0	206.5	206.5	1
Mai	249.9	240.1	268.6	43.4	0	213.4	213.4	1
Jui	249.5	231.1	251.54	34.36	0	206.5	206.5	1
Juil	248.2	233.7	248.5	25.37	0	213.4	213.4	1
Aou	234.8	235.4	250.7	27.11	0	213.4	213.4	1
Sep	105.8	202	225.1	9.30	0	206.5	206.5	1
Oct	158.1	190.2	218.8	4.34	0	213.4	213.4	1
Nov	126.4	171.1	206.8	0	0	206.5	206.5	1
Dec	113.8	163.5	202.9	0	8.952	204.5	213.4	0.958
Année	2248.1	2406.4	2818.5	220.51	8.952	2503.7	2512.7	0.996

Légende

GlobHor : Irradiation globale horizontal : Une combinaison du rayonnement diffuse global et du rayonnement direct global pour une surface horizontale.

GlobEf : Global "effectif":Le rayonnement restant après les pertes détaillées précédemment, multiplié par la surface PV (la surface du module).

E Avail : Energie solaire disponible

E Miss : Energie manquante,

E User : Energie fournie à l'utilisateur

E Load : Besoin d'énergie de l'utilisateur.

E Unused : Energie inutilisée (batterie chargée)

SolFrac : fraction solaire (E utile/ E besoin)

➤ **Diagramme des pertes sur une année**

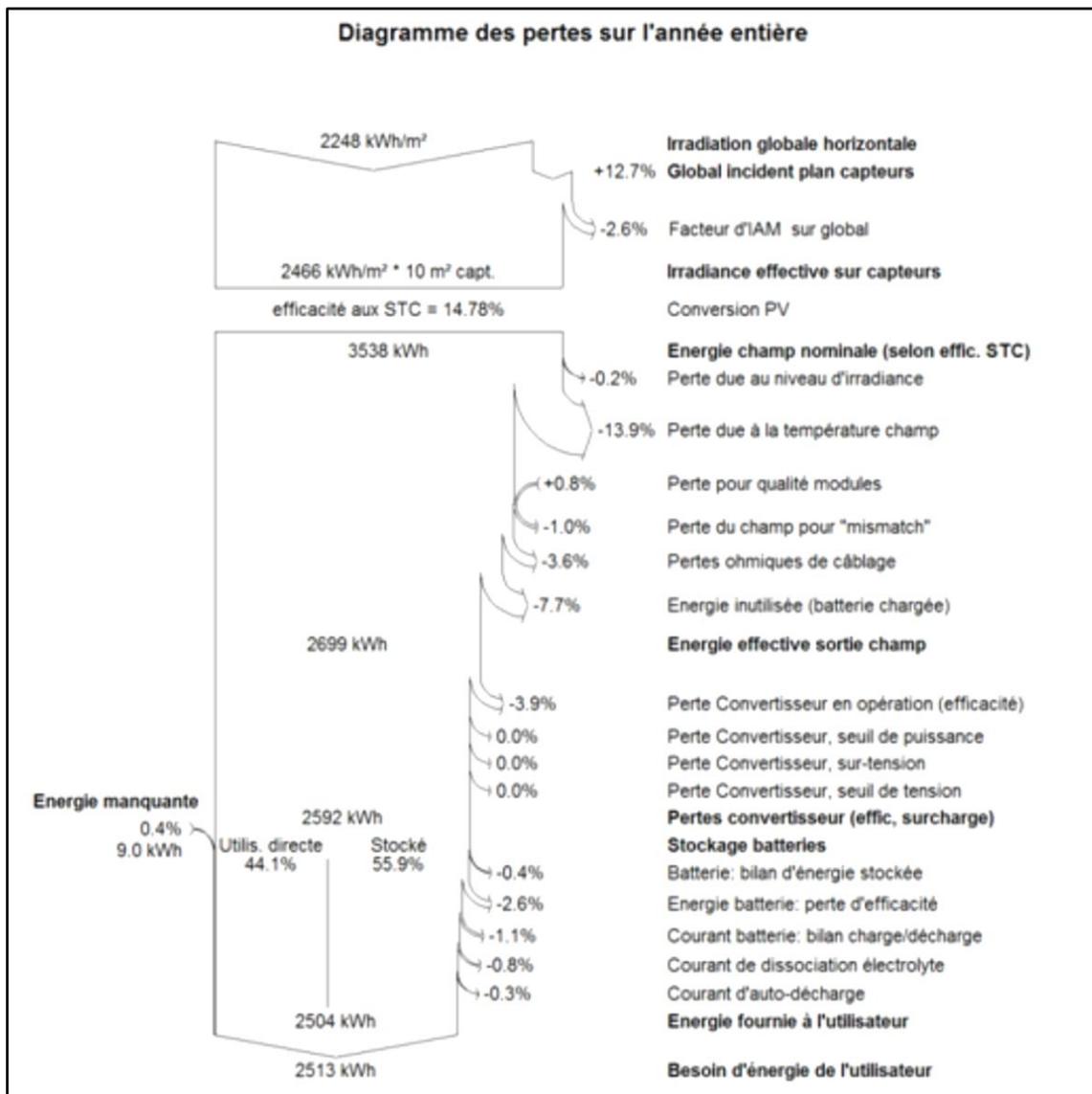


Figure III.15: Diagramme des pertes sur une année.

Le diagramme résume les pertes influençant la production du système PV à savoir : les pertes ohmiques du câblage, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules....etc. Parmi celles-ci, nous remarquons que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur. En effet, l'énergie produite par le champ estimé à 2699 KWh est réduite 2513 KWh à la sortie de l'onduleur.

➤ **Facteur normalisé de production et de perte**

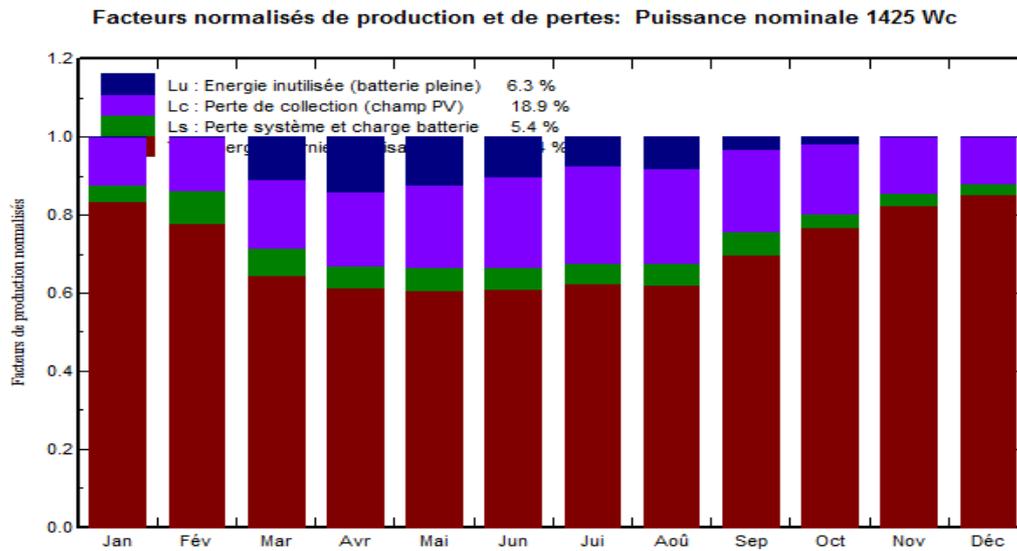


Figure III.16 : Facteur normalisé de production et de perte

Le diagramme présente la production d'énergie le long de l'année avec les pertes, on voit que les pertes les plus importantes sont les pertes de collection du champ PV d'où l'importance de bien choisir ses PV et de bien les orientés.

- Pour une étude plus complète, d'autre résultats concernant l'énergie incidente de référence sur le plan des panneaux, la distribution de l'irradiation incidente, distribution de la puissance du champ et le diagramme journalier d'Entrée/Sortie sont représenté respectivement.

➤ **Energie incidente de référence sur le plan des panneaux**

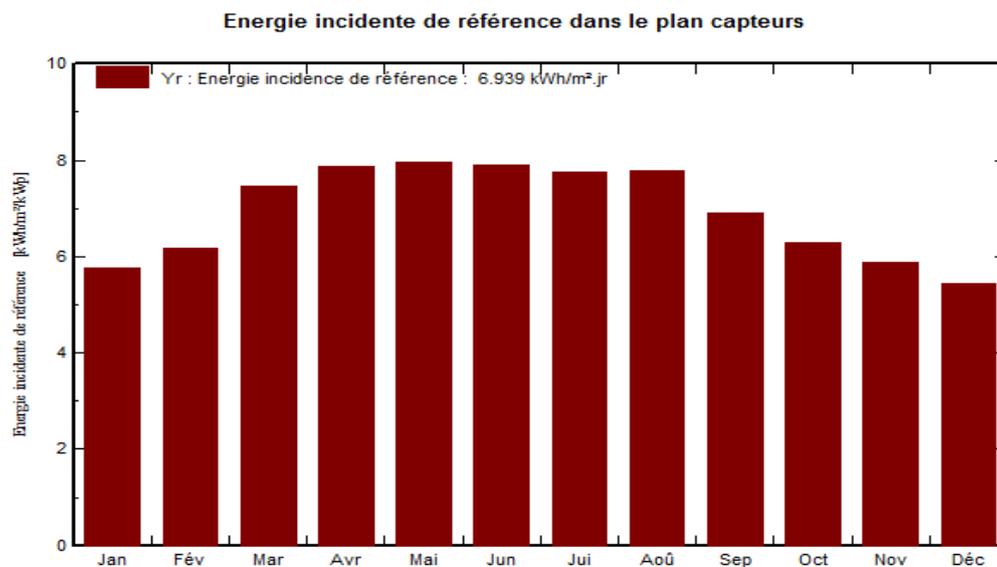


Figure III.17 : Energie incidente de référence

L'énergie journalière incidente sur le plan des panneaux est 6.939KWh/m² jour (figure III.17) pour un fonctionnement en mode normal.

On remarque que l'énergie incidente est maximale dans le mois de Mai dont il y'a donc plus d'énergie dans ce mois parmi tous les autres mois de l'année.

➤ **Distribution annuelle de l'irradiation incidente**

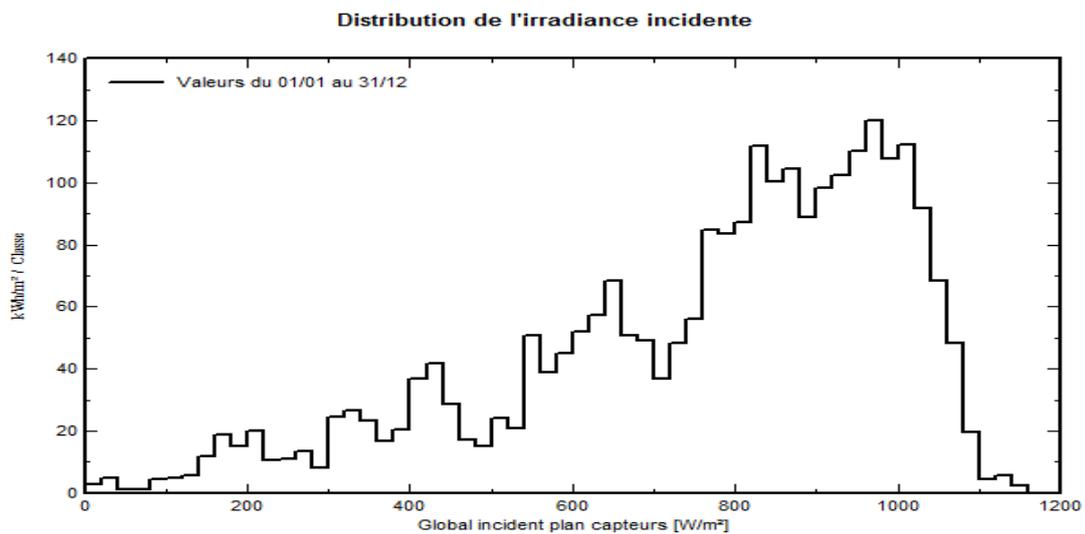


Figure III.18 : Distribution annuelle de l'irradiation incidente

La distribution du rayonnement incident évolue progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne l'irradiation maximum c'est-à-dire 1200 w/m² qui correspond à son pic maximal de l'irradiation puis elle décroît progressivement.

➤ **Distribution de la puissance du champ**

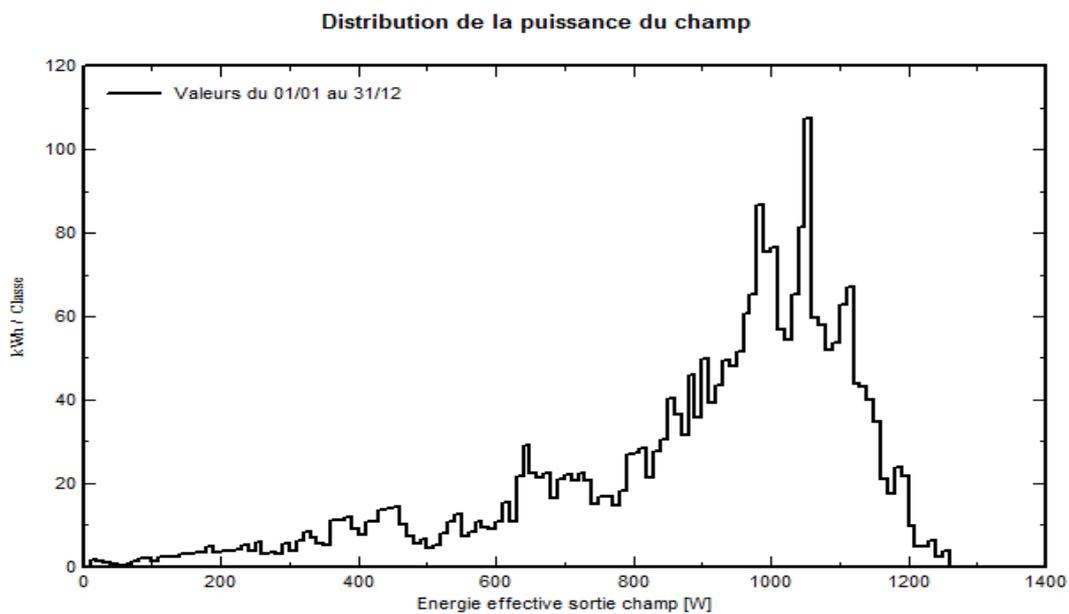


Figure III.19: Distribution de la puissance du champ

En comparant les deux figures (Figure III.19 et 20), nous remarquons que la distribution de la puissance en sortie du champ PV varie suivant la même tendance que la distribution du rayonnement incident, à une échelle différente.

➤ **Diagramme entrée et sortie journalière**

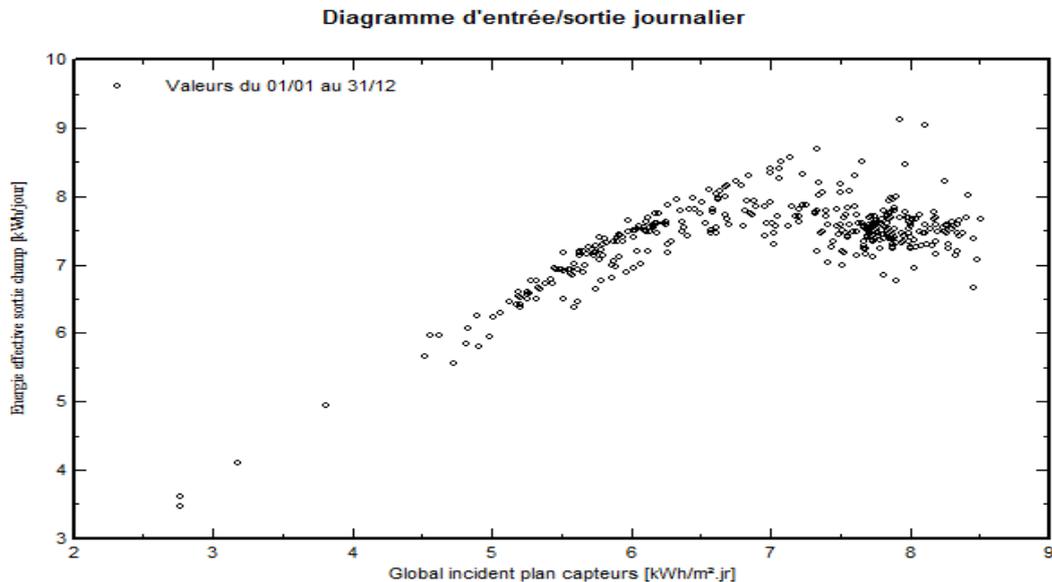


Figure III.20 : Diagramme entrée et sortie journalière

On remarque que lorsque le rayonnement incident global augmente dans le plan capteur, l'énergie effective en sortie du champ augmente aussi, donc il y'a une certaine compatibilité entre l'entrée et la sortie de l'énergie.

➤ **Energie journalière à la sortie du champ**

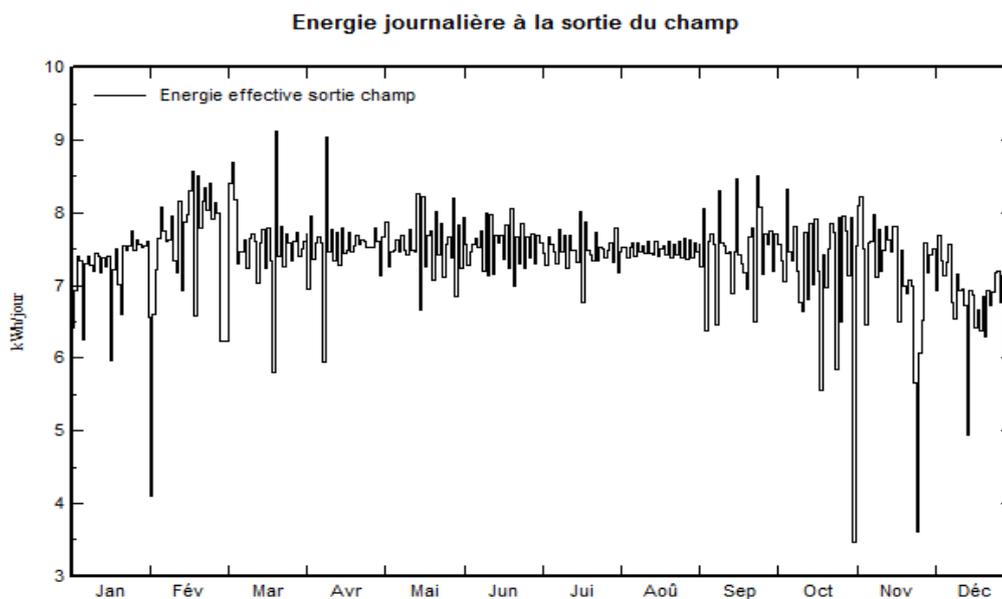


Figure III.21 : Energie journalière à la sortie du champ.

La variation de l'énergie journalière à la sortie du champ dépend du rayonnement solaire, il obéit à un phénomène assez complexe et aléatoire. Le flux lumineux reçu au niveau du sol à un instant donné dépend d'un grand nombre de paramètres tels que les gaz présents dans l'atmosphère, les nuages, l'albédo, la température ambiante, le vent, l'humidité relative,...

c) Caractéristiques du module PV

1-L'irradiation incidente [w /m²]

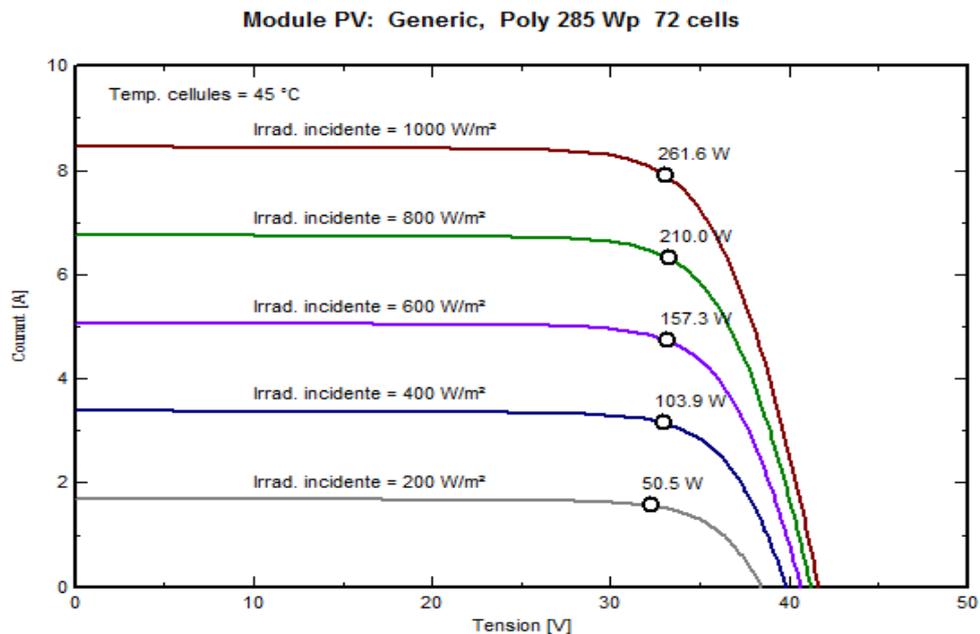


Figure III.22 : Comportement du module selon irradiation incidente

Quand l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque croît, les courbes I-V (Intensité du courant en fonction de la tension) se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante ; les points de puissance maximale sont marqués par un rond la figure, donc l'irradiation incidente influence sur le comportement du module

2-La température

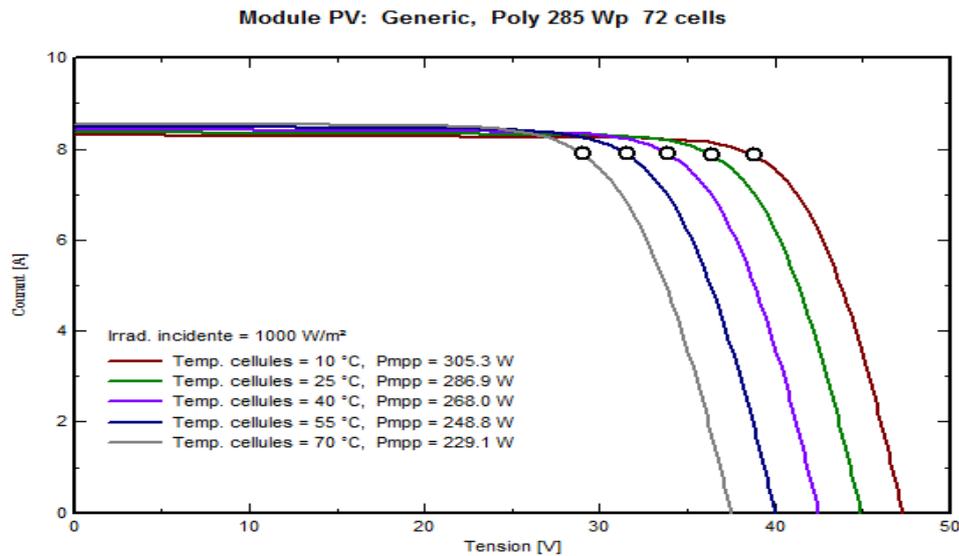


Figure III.23 : Comportement du module selon la température.

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules PV. La figure(III.23) décrit le comportement du module sous un éclairage fixe, et à des températures comprises entre 0°C et 70°C. Nous remarquons que le courant augmente avec la température ; par contre la tension de circuit ouvert diminue. Ceci entraîne une diminution de la puissance maximale disponible.

3-La résistance en série

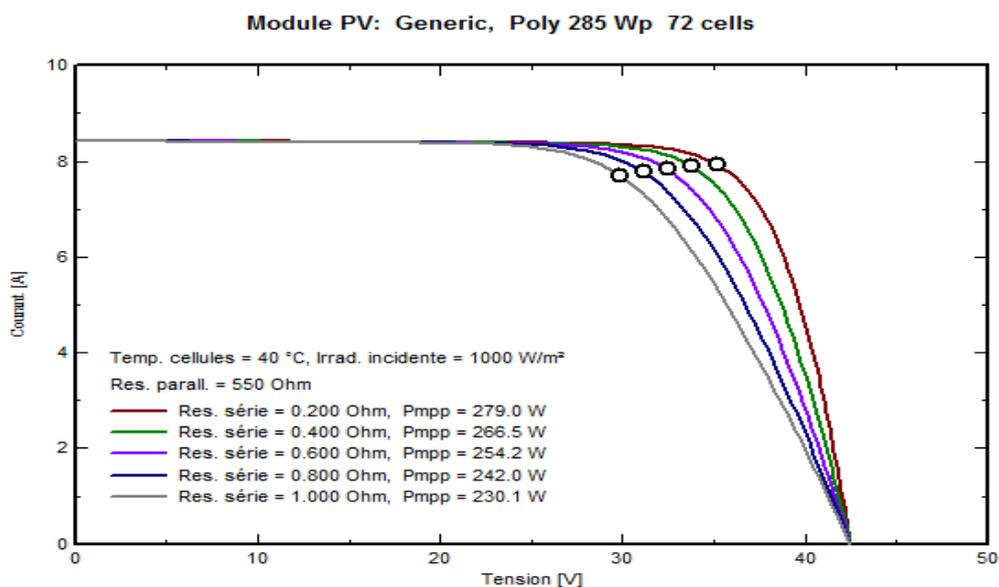


Figure III.24 : Comportement du module selon la résistance en série.

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont d'autant plus dégradées que R_s est grande ou que R_{sh} est faible. Cette figure montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique I-V. Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la courbe $I = f(V)$ dans la zone où le panneau fonctionne comme source de tension, à droite du point de puissance maximum (même sur la figure). La chute de tension correspondante est liée au courant généré par le panneau.

4-La résistance en parallèle :

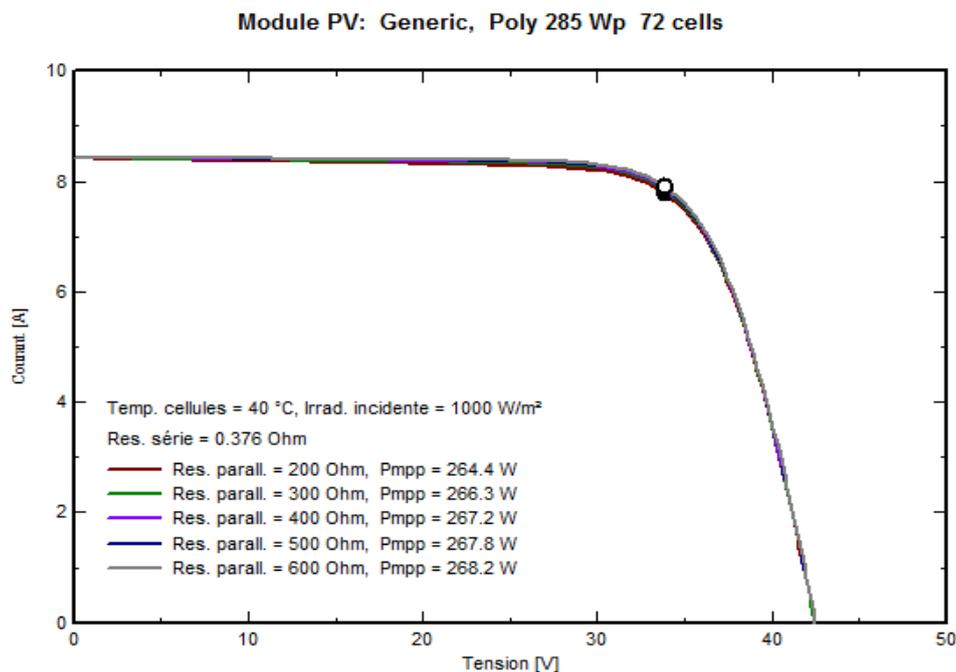


Figure III.25 : Comportement du module selon la résistance en parallèle.

Cette figure montre que cette influence se traduit par une augmentation de la pente de la courbe I-V du panneau dans la zone correspondante à un fonctionnement comme une source de courant. Ceci provient du fait qu'il faut soustraire du photo-courant, outre le courant direct de diode, un courant supplémentaire variant linéairement avec la tension développée.

III.4.2 Inclinaison 30°

La figure suivante contient des graphes qu'interprètent l'indice de performance, l'énergie produite et un tableau résume les bilans et les résultats principaux.

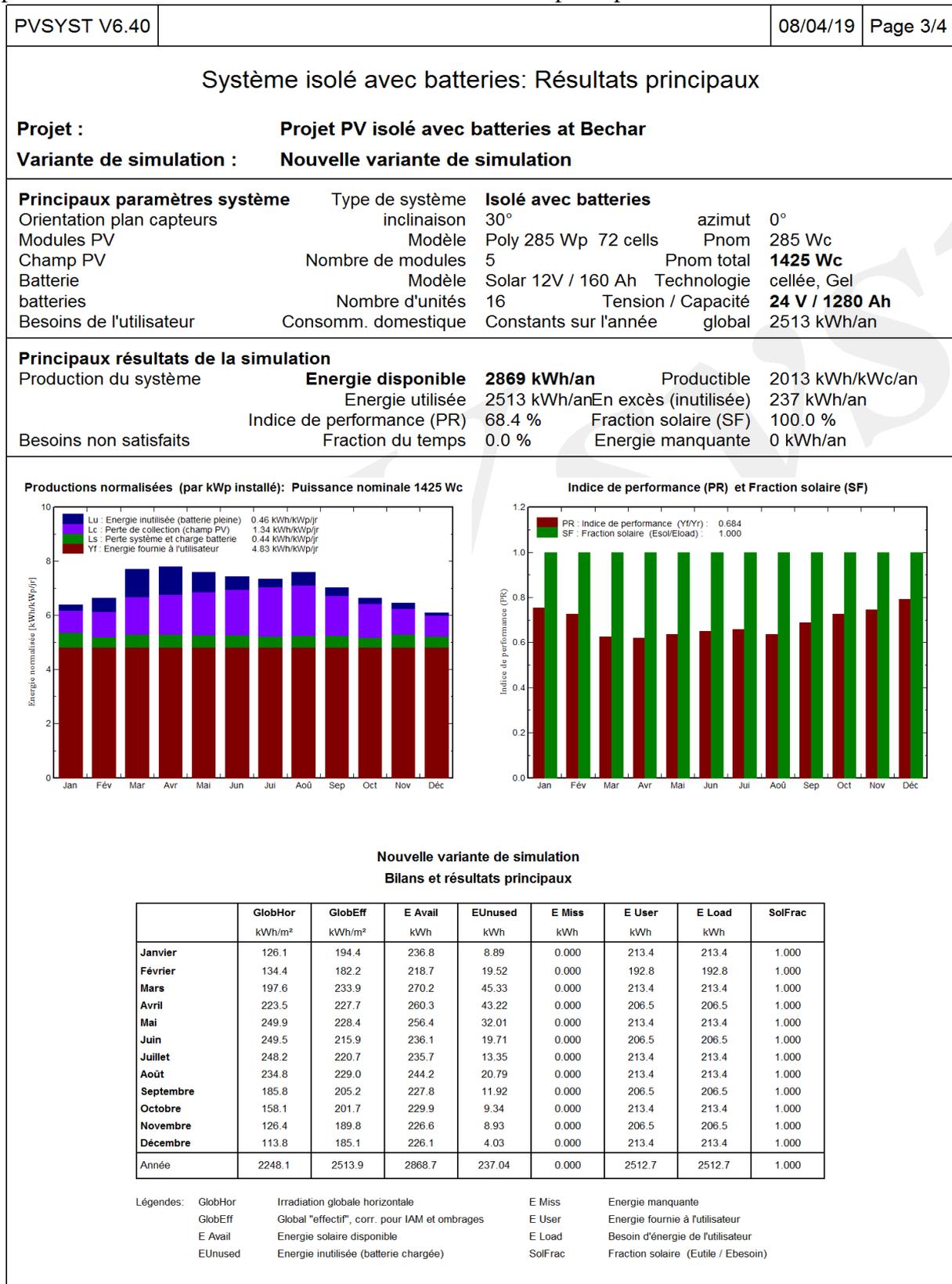


Figure III.26 : Principaux résultats pour l'inclinaison 30°

III.4.3 Inclinaison 40°

On choisit une inclinaison de 40° et la figure suivante résume tous les principaux résultats.

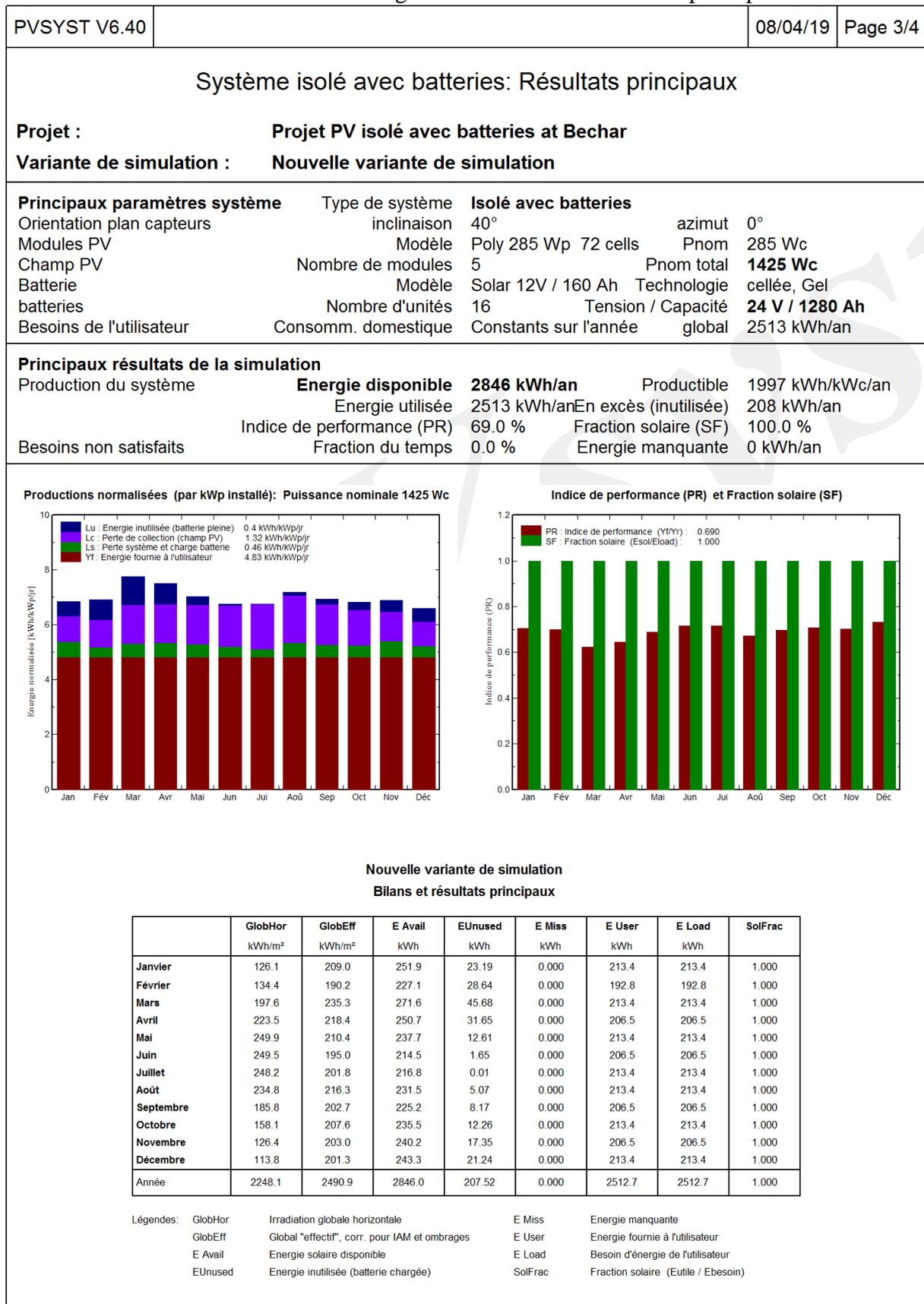


Figure III.27 : Principaux résultats pour l'inclinaison 40°.

III.4.4 Inclinaison 50°

On choisit une inclinaison de 50° et la figure suivante résume tous les principaux résultats

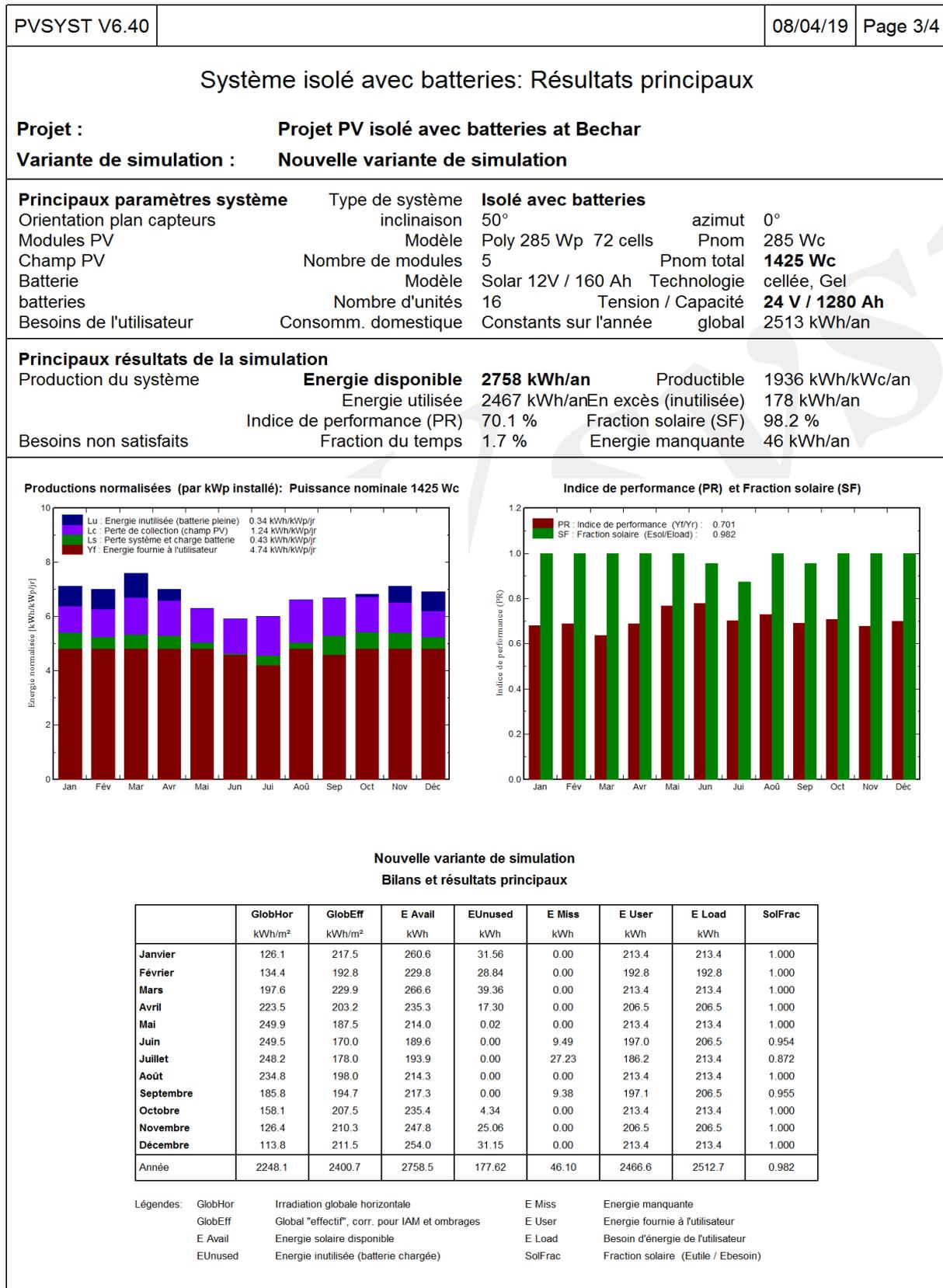


Figure III.28 : Principaux résultats pour l'inclinaison 50°.

III.4.5 Inclinaison 60°

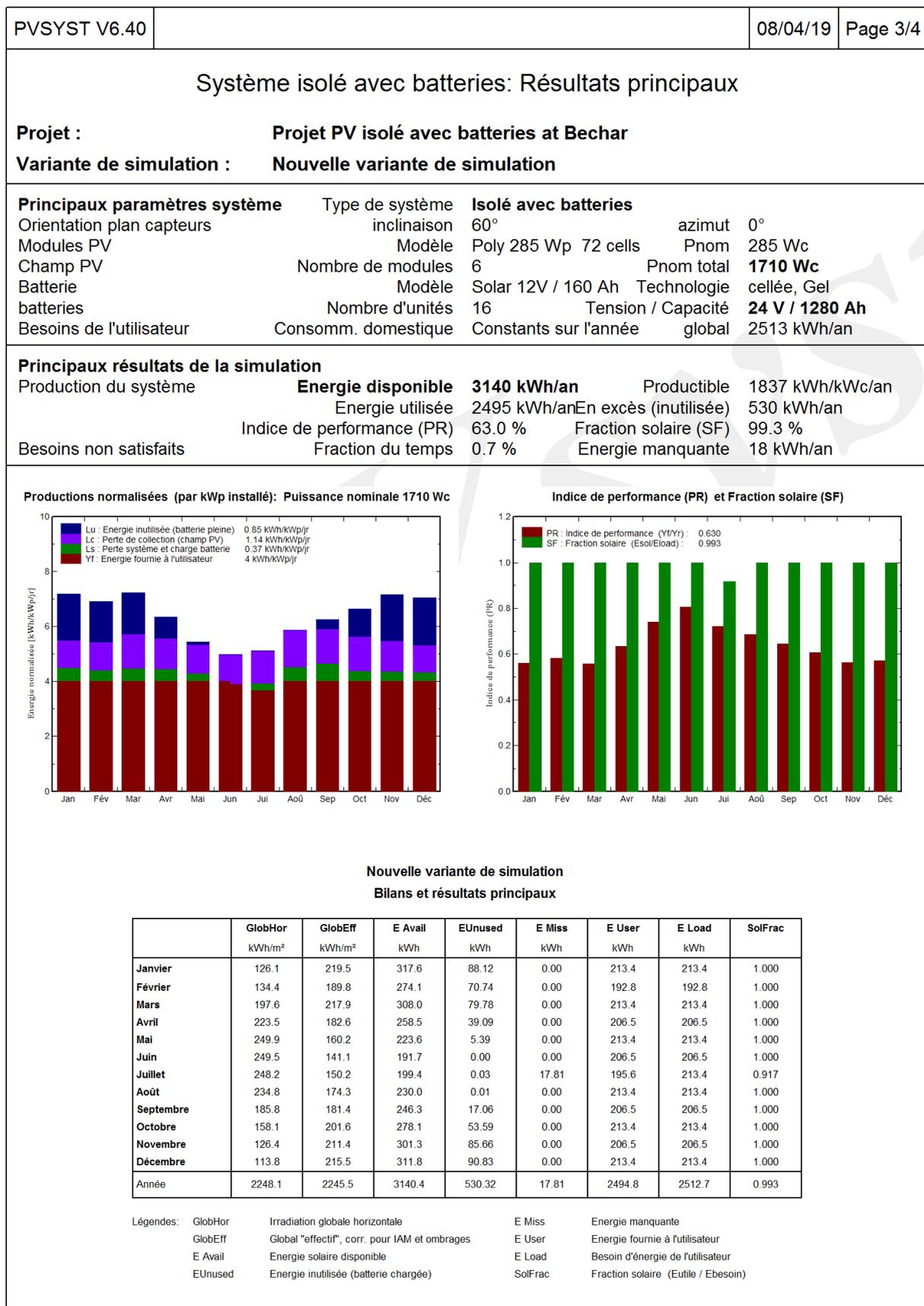


Figure III.29 : Principaux résultats pour l'inclinaison 60°

III.4.6 Inclinasion 70°

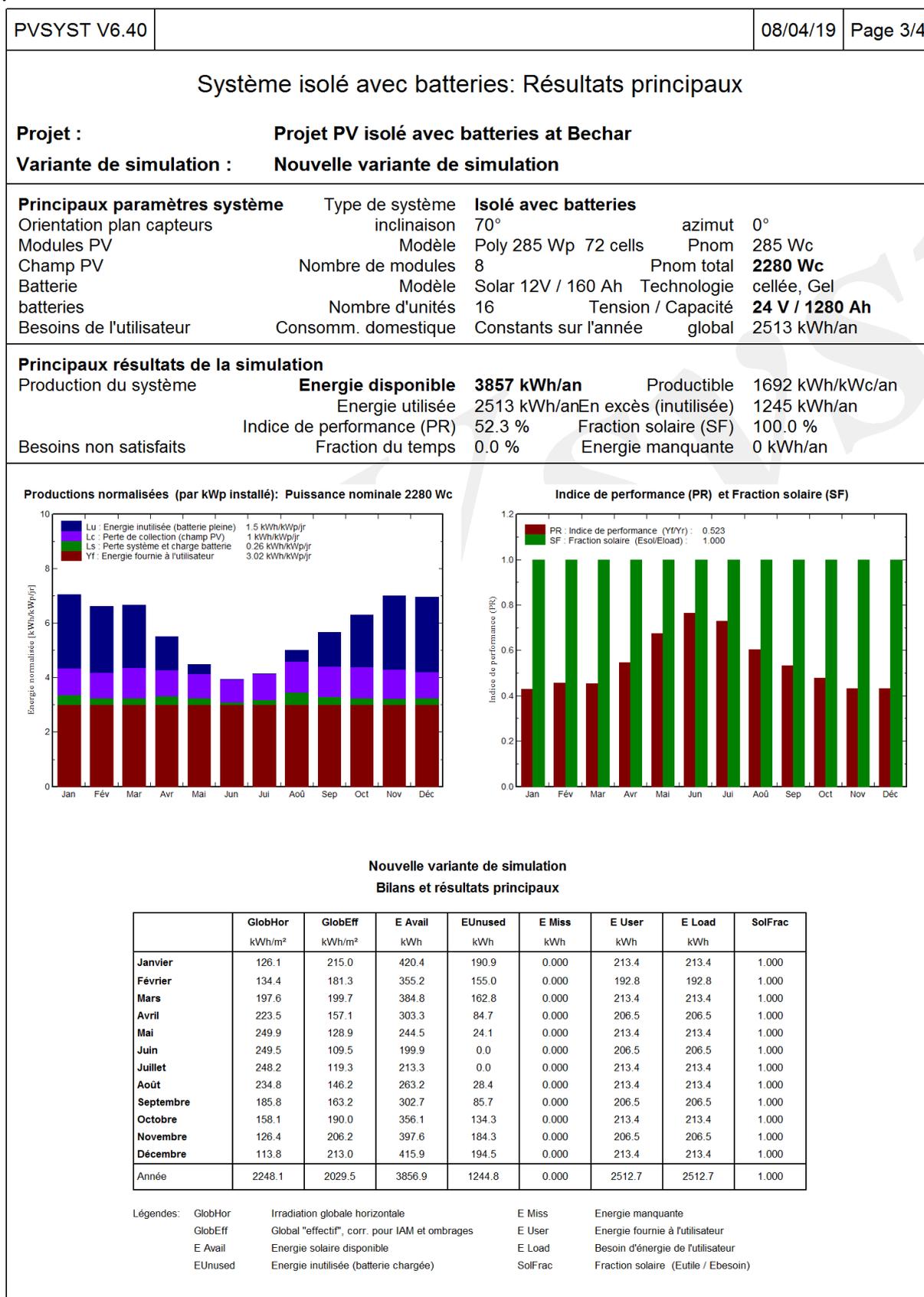


Figure III.30 : Principaux résultats pour l'inclinasion 70°.

III.5. Discussions de la simulation numérique

Tableau III.7: Tableau récapitulatif des résultats obtenus

Inclinaison	Energie Productible [kwh/kwc/an]	Energie Utilisée [kwh/an]	Energie inutilisée [kwh/an]	Facteur de fraction %	Performance %
20	1978	2504	227	99.6	69.4
30	2013	2513	237	100	68.4
40	1997	2513	208	100	69
50	1936	2467	178	98.2	70.1
60	1837	2495	530	99.3	63
70	1692	2513	1245	100	52.3

➤ Variation de l'énergie productible

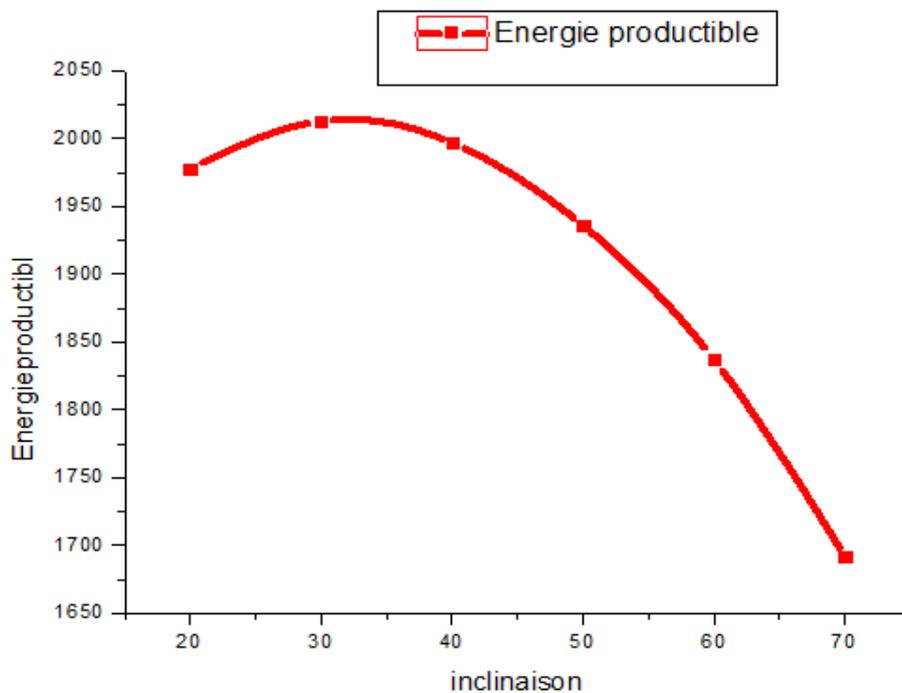


Figure III.31 : Variation de l'énergie productible en fonction de l'inclinaison.

Pour la variation de l'énergie productible en fonction de l'inclinaison des panneaux photovoltaïques atteint sa valeur maximale pour une inclinaison de 30°, puis commence à décroître au-delà de cette inclinaison, d'où cette énergie productible est optimale pour cette inclinaison.

➤ Variation de l'énergie utilisée

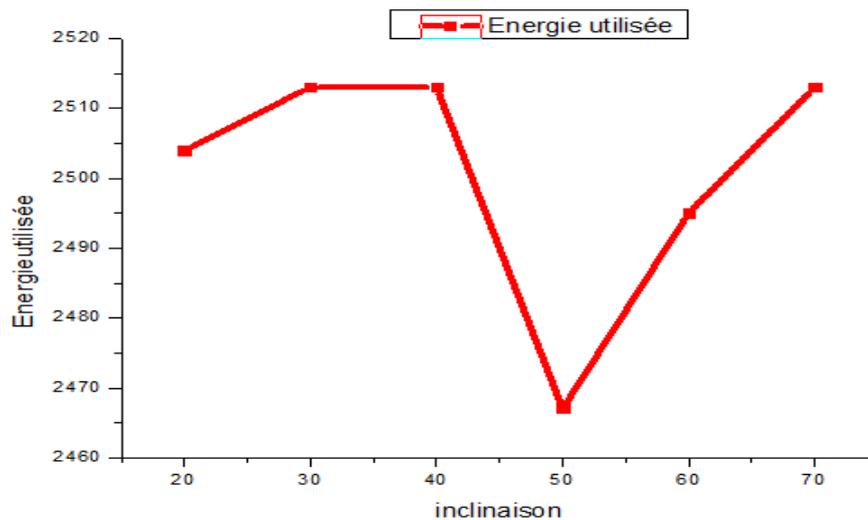


Figure III.32 : Variation de l'énergie utilisée en fonction de l'inclinaison.

Pour la variation de l'énergie utilisée en fonction de l'inclinaison des panneaux connaissent une simple variation au niveau des orientations 20°, 30° et 40°, puis à l'orientation de 50°, et 60°, cette énergie utilisée atteint ses valeurs minimales, et enfin, au niveau de l'orientation à 70° cette énergie rejoint sa valeur primordiale.

➤ Variation de l'énergie inutilisée

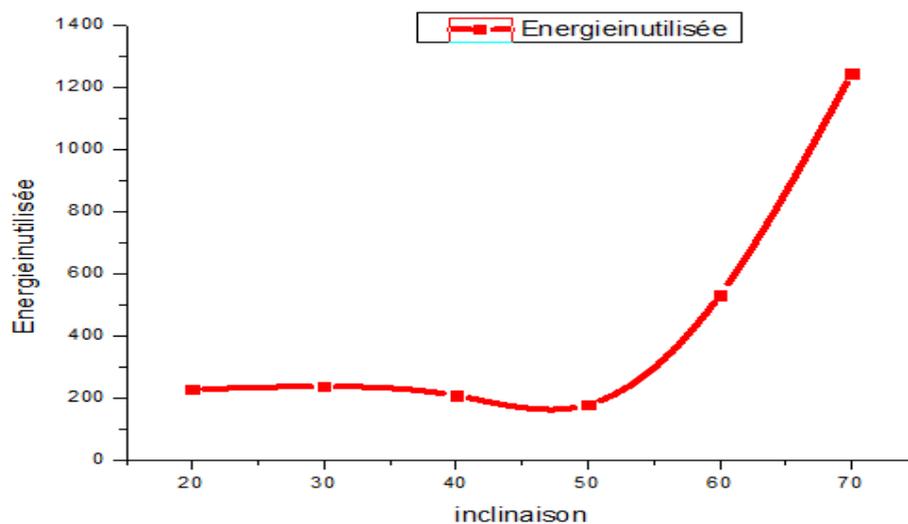


Figure III.33 : Variation de l'énergie inutilisée en fonction de l'inclinaison.

Cette figure nous montre que cette énergie inutilisée est stationnaire pour les quatre inclinaisons telles que (20°,30°, 40° et 50°), et au-delà de ces inclinaisons, cette énergie connaît un accroissement crucial qui atteint jusqu'à 1245kwh/an pour l'inclinaison de 70°.

➤ **Variation de Facteur de fraction**

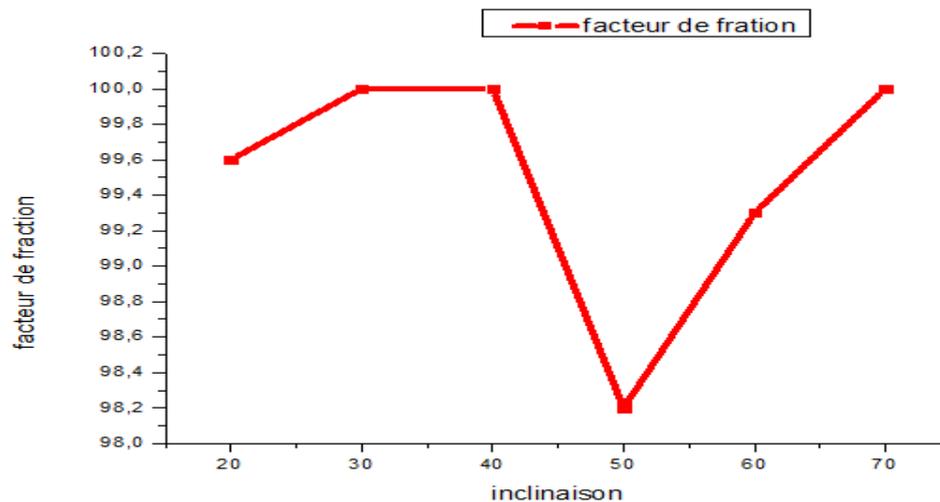


Figure III.34 : Variation de facteur de fraction en fonction de l'inclinaison.

Pour la variation du facteur de fraction varie entre 99.6à 100 pour les trois premières orientations et celle de l'orientation de 70°, et connaît une chute très remarquable pour l'orientation de 50°, cela est dû aux conditions climatiques de la région de Bechar, c'est-à-dire les différentes caractéristiques des radiations et facteurs solaires de la région.

➤ **Variation de la performance :**

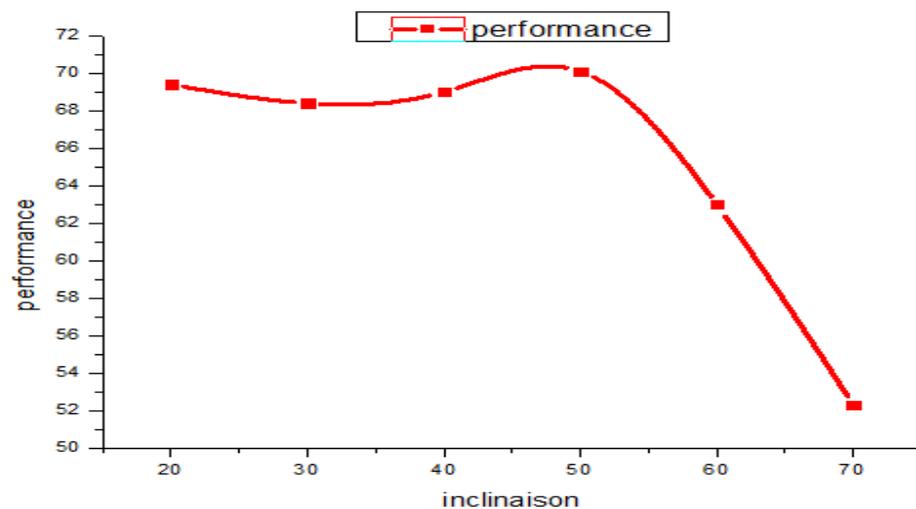


Figure III.35 : Variation de la performance en fonction de l'inclinaison

La figure III.35 illustre la variation de la performance en fonction de l'inclinaison des panneaux pour différents angles, qui représente une légère variation de son intensité pour les quatre premières inclinaisons, puis commence à s'affaiblir pour les autres orientations telles que 60 et 70°, cela est dû à l'effet des radiations solaires sur ces panneaux.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait le dimensionnement d'une installation PV sur le logiciel PVSYST.

Ce dimensionnement se fait en quatre étapes :

- La première étape consiste à évaluer les besoins journaliers de l'utilisateur
- La deuxième étape consiste à calculer l'énergie à produire
- La troisième étape évalue l'énergie disponible dans la zone d'implantation de l'installation et calcule la puissance maximale.
- La quatrième et la dernière étape consiste à choisir les composants de l'installation.

A la base des résultats de simulation, nous pouvons conclure que :

Pour avoir le maximum d'énergie (performance), les panneaux doivent être orientés en plein sud et à un certain angle bien précis à 30° (par rapport à l'horizontal) qui dépend de la zone, de la saison et du moment de la journée. Pour diminuer les pertes dues à l'élévation de température, les panneaux doivent être installés de façon à être bien aérés, il en est de même pour le pack des batteries de les isoler de vue pour éviter tout contact avec ces équipements électriques pour pouvoir créer un champ de sécurité total de cette installation technico-économique à l'individu et à l'environnement.

Conclusion générale

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies inépuisables, peu polluantes donc respectant la nature, mais on récence aussi quelques inconvénients à leur exploitation, dont nous pouvons citer entre autres la nécessité d'un investissement initial assez conséquent pour des rendements qui peuvent être souvent médiocre en fonction de la zone d'installation, de la saison voire des aléas climatiques.

Une installation photovoltaïque est le moyen idéal pour produire de l'électricité dans les sites isolés (absence de réseau électrique), son implantation dans une zone nécessite certaines conditions : une demande faible, absence de réseau électrique et l'ensoleillement de la zone.

Elle est fiable d'une part de l'absence d'organes tournants mais présente certains inconvénients : elle occupe beaucoup d'espaces, aussi son coût d'investissement élevé et son rendement aussi malheureusement médiocre.

L'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles.

Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué une étude par simulation numérique de l'installation PV.

La méthode utilisée pour l'estimation du couple générateur / batterie est simple, basée sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide d'un logiciel PVsyst 6.4 qui répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleures perspectives.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque se fait en quatre étapes:

- La première étape consiste à évaluer les besoins journaliers de l'utilisateur
- La deuxième étape consiste à calculer l'énergie à produire
- La troisième étape évalue l'énergie disponible dans la zone d'implantation de l'installation et calcule la puissance maximale.
- La quatrième et la dernière étape consiste à choisir les composants de l'installation.

A la base des résultats de simulation, nous pouvons conclure que :

Pour avoir le maximum d'énergie, les panneaux doivent être orientés en plein sud et à un certain angle bien précis à 30° (par rapport à l'horizontal) qui dépend de la zone, de la saison et du moment de la journée. Pour diminuer les pertes dues à l'élévation de température, les panneaux doivent être installés de façon à être bien aérés, il en est de même pour le pack des batteries de les isoler de vue pour éviter tout contact avec ces équipements électriques pour

Conclusion générale

pouvoir créer un champs de sécurité total de cette installation technico-économique à l'individu et à l'environnement.

Conclusion générale

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies inépuisables, peu polluantes donc respectant la nature, mais on récence aussi quelques inconvénients à leur exploitation, dont nous pouvons citer entre autres la nécessité d'un investissement initial assez conséquent pour des rendements qui peuvent être souvent médiocre en fonction de la zone d'installation, de la saison voire des aléas climatiques.

Une installation photovoltaïque est le moyen idéal pour produire de l'électricité dans les sites isolés (absence de réseau électrique), son implantation dans une zone nécessite certaines conditions : une demande faible, absence de réseau électrique et l'ensoleillement de la zone.

Elle est fiable d'une part de l'absence d'organes tournants mais présente certains inconvénients : elle occupe beaucoup d'espaces, aussi son coût d'investissement élevé et son rendement aussi malheureusement médiocre.

L'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles.

Dans le cadre de ce travail, nous avons appliqué une étude par simulation numérique de l'installation PV.

La méthode utilisée pour l'estimation du couple générateur / batterie est simple, basée sur le profil de consommation et l'apport énergétique du lieu. La mise en œuvre de cette méthode a été effectuée à l'aide d'un logiciel PVsyst 6.4 qui répond correctement aux choix des composants constituant notre installation, plusieurs résultats sont obtenus avec meilleures perspectives.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque se fait en quatre étapes:

- La première étape consiste à évaluer les besoins journaliers de l'utilisateur
- La deuxième étape consiste à calculer l'énergie à produire
- La troisième étape évalue l'énergie disponible dans la zone d'implantation de l'installation et calcule la puissance maximale.
- La quatrième et la dernière étape consiste à choisir les composants de l'installation.

A la base des résultats de simulation, nous pouvons conclure que :

Pour avoir le maximum d'énergie, les panneaux doivent être orientés en plein sud et à un certain angle bien précis à 30° (par rapport à l'horizontal) qui dépend de la zone, de la saison et du moment de la journée. Pour diminuer les pertes dues à l'élévation de température, les panneaux doivent être installés de façon à être bien aéré, il en est de même pour le pack des batteries de les isoler de vue pour éviter tout contact avec ces équipements électriques pour

Conclusion générale

pouvoir créer un champs de sécurité total de cette installation technico-économique à l'individu et à l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

Référence Bibliographique

- [1] : M. SADI, Z.EL AMINE HAMLAT, "L'impact Des Energies Renouvelables Sur Le Réseau Electrique Ouest Algérien 220 KV ". "Master système énergétique génie électrique ". Université Tahar Moulay de Saïda, 2014.
- [2] : <http://www.inti.be/ecotopie/solvolt.html> : extraits du guide des énergies Renouvelables. Consulté le 15/02/2019 à 23 :00
- [3] : http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/tour/wres/index.htm (Cours complet sur l'énergie éolienne – windpower.org) consulté le 15/02/2019 à 01 :15
- [4] : B. ISSAM, "L'Utilisation de l'énergie thermique pour le chauffage domestique ". "Mémoire de Master en Energétique et environnement ". Université Badji Mokhtar, 2017
- [5] : <https://www.comptoireolien.fr/les-differents-types-d-eoliennes/index.html> : Consulté le 04/02/2019 à 16 :00
- [6] : M. SALEH HAGGAR, A. DJEDDAH, "Détermination du rendement instantané d'un capteur solaire a eau ", "Master Mécanique Energétique ". Université Ibn.Khaldoun de Tيارت ,2018
- [7] : A. Ali El Habib, M. Daoudi, " Dimensionnement d'une installation photovoltaïque", "Actionneur et contrôle industriel ".Université Tahar Moulay de Saïda ".2016
- [8] : http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp consulté le 17/02/2019 à 19 :30
- [9] : M. SEMMACHE, " Etude des transferts de chaleur dans un échangeur enterré air/sol ", "Master Systèmes énergétique et développement durable ".Université de Biskra ".2017
- [10] : <http://www.la-geothermie.net/le-chauffage-geothermique/les-differents-captages.html> (Les différents captages) Consulté le 04/02/2019 à 18 :00
- [11] :<http://energie-geothermique.e-monsite.com/pages/utilisation-de-la-geothermie.html> Consulté le 15/02/2019 à 09 :45
- [12] : H .Atmania , "La stratégie d'implantation des énergies renouvelable en Algérie ", "Mémoire de Magister en Management ". Université d'Oran-2-Mohamed ben Ahmed.2015
- [13] : www.lepanneausolaire.net/les-differents-types-captages.php consulté le 1/03/2019 à 19 :30
- [14] : AIE. [En ligne]. 2010. [Consulté le 10/03/2019]. Disponible sur : www.enr.fr/.../2010171642fichesolairethermodynamiqueintegralemai210.pdf
- [15] : <https://e-rse.net/definitions/energies-renouvelables-definition/#gs.SI.sMC7bx> : Consulté le 11/02/2019 à 16 :30
- [16] : B. LOUZAZNA, S.MADI, "Etude et caractérisation d'un panneau photovoltaïque type Condor", "Master en Electrotechnique ". Université A.MIRA de Bejaïa.2015

Référence Bibliographique

- [17] : Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07
- [18] : Y. Fouad, " Etude des nouvelles générations de cellules photovoltaïques ", " Mémoire de Magister Physique". Université Mohamed Boudiaf(USTO.MB) Oran.2011
- [19] : B. Zerguinel, "Modalisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque ", "Magister en électrotechnique réseaux électrique". Université Badji Mokhtar Annaba .2010
- [20] : Energie solaire photovoltaïque, Anne Labrouret, Michel Viloz Edition le MONITEUR.
- [21] : Jacques .BERNARD Energie solaire calcul et optimisation édition ellipses .2004
- [22] : M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [23] : I, Zeghib. "Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique", "thèse de magistère". Université de Constantine. (2005)
- [24] : H. GUEDAOURIA, " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar", " Master en Energie renouvelable" Université Tahri Mohammed Bechar.2017
- [25] : C. Alonso, «Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie, thèse de doctorat, université Paul Sabatier – Toulouse III, 2003
- [26] : A. MERABET, "Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation ", " Mémoire de master", Université Mohamed Khider de Biskra.2018
- [27] : N. Oleksy , «simulation, fabrication et analyse de cellule photovoltaïque a contact arrière interdigités ». Thèse doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon.2005
- [28] : A. BOUAYED, " Commande a deux axes d'un panneau photovoltaïque ", " Mémoire de master en Electrotechnique ". Université Abou Bekr Belkaid TLEMEN. 2014
- [29] : F. Antony, C. Durschner, K. Remmers, "Le photovoltaïque pour tous ", conception et réalisation d'installations, éditions Moniteur .Paris 2010.
- [30] : W.C. Benmoussa, S. Amara et A. Zerga, « Etude comparative des modèles de la caractéristique courant-tension d'une cellule solaire au silicium monocristallin ». Revue des Energies Renouvelables .Tlemcen (2007).
- [31] : T. Desruse, « développement de cellules photovoltaïques a hétérojonctions silicium contact et en face arrière ». Thèse doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Lyon.2009
- [32] : Energie solaire photovoltaïque, Jean Caillaud, lycee des métiers "de l'énergi, de la métallurgie et de la vente ".

Référence Bibliographique

[33] : A. Halouane, «Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque», Mémoire de master en Génie Mécanique, Université M'Hamed Bougara Boumerdes .2017.

[34] : <http://panneausolaire.free.fr/installation.php> Consulté le 22/03/2019 à 23 :30.

[35] : <https://www.facq.be/fr/blog/panneux-fixes-orientables-ou-mobiles-des-panneaux-solaires-pour-tous-les-toits> : Consulté le 23/03/2019 à 18:20.

[36] : B. Tebboub, «Etude des systèmes photovoltaïques à double et triple jonction», "mémoire magister", université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2015).

[37] : I.Ramzi, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau », Licence professionnelle « technologie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique ».2015.

[38] : B. Abdelbacet, S. Benyoucef, " étude technico économique d'un Système photovoltaïque en site isole Par pvsyst ", université Mohamed Boudiaf - m'sila, 2017.

[39] : Z. Assia, C. Rachid, " étude de l'influence des différents paramètres sur un module photovoltaïque ", Université des frères Mentouri de Constantine, 2015.

[40] : A. NDIAYE , « Etude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance», Thèse de doctorat , Université cheikh Anta Diop de Dakar.2013.

Résumé

Résumé

L'application de l'énergie photovoltaïque (PV) est d'une première vision, une économie d'énergie, vue l'utilisation d'une source gratuite « le soleil » mais il reste à avoir une meilleure liaison entre la partie production et la partie consommation. Pour cette raison, l'objectif de notre travail est de calculer de dimensionnement d'une installation photovoltaïque. On prend en considération dans un premier temps la variété des équipements solaires intervenant dans cette installation telle que les panneaux solaires, les régulateurs, les onduleurs, et les batteries pour ces zones. On se propose d'alimenter une habitation dans un site isolé dans la willaya de Bechar. Pour pouvoir connaître l'inclinaison la plus performante et la plus efficace des panneaux photovoltaïques de notre maison, on est tenté de faire varier plusieurs inclinaisons de nos panneaux et en conclure l'orientation la plus idéale relativement aux autres orientations, pour cela, on va simuler notre modèle par notre code PVsyst.

Abstract

The application of photovoltaic energy (PV) is of a first vision, a saving of energy, seen the use of a free source "the sun" but it remains to have a better connection between the production part and the consumption part. For this reason, the aim of our work is to calculate the sizing of a photovoltaic system. Firstly, the variety of solar equipment involved in this installation such as solar panels, regulators, inverters and batteries for these areas is taken into consideration. It is proposed to feed a dwelling in an isolated site in Bechar. To be able to know the most efficient and effective slope of the photovoltaic panels of our house, we are tempted to vary several inclinations of our panels and to conclude the ideal orientation relative to the other orientations, so, we simulated our model by our PVsyst code.

ملخص

تطبيق الطاقة الضوئية (PV) هو رؤية أولية، توفير للطاقة، وشهد استخدام مصدر حر "الشمس" ولكن يبقى أن يكون هناك اتصال أفضل بين جزء الإنتاج و الجزء الاستهلاك. لهذا السبب، فإن هدف عملنا هو حساب التحجيم من نظام الضوئية. أولاً ، يتم أخذ مجموعة متنوعة من المعدات الشمسية المشاركة في هذا التثبيت ، مثل الألواح الشمسية والمنظمين والعاكسين والبطاريات لهذه المناطق في الاعتبار. يقترح إطعام مسكن في موقع معزول في ولاية بشار. لكي نكون قادرين على معرفة المنحدر الأكثر كفاءة وفعالية للوحات الكهروضوئية في منزلنا ، فإننا نميل إلى تغيير العديد من الميول لألواحنا ولإنهاء الاتجاه الأكثر مثالية بالنسبة للتوجهات الأخرى ، لذلك ، نذهب محاكاة نموذجنا من خلال رمز PVsyst لدينا