

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

Etude et modélisation d'une installation photovoltaïque

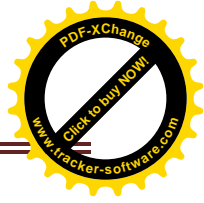
Préparé par :

*Aliou Doumbaye Maiga Moutari
 Issoufa Tahmodi Nouhan*

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mekroussi Said	MCB	UIK Tiaret	Président
Bouzouini Mohamed	MAA	UIK Tiaret	Examinateur
Moulgada Abdelmadjid	MCB	UIK Tiaret	Encadreur

PROMOTION 2017 / 2018



Dédicace

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL :

- ✓ À mes plus chers êtres qui puissent exister : mon Père et ma Mère qui se sont battus sans relâche pour moi, qui ont toujours été présent pour me consoler, me soutenir et me conseiller lorsque j'en ai le plus grand besoin et qui ont tout mis en œuvre afin que je réussisse sur cette demeure d'examen, qu'ALLAH les protèges.

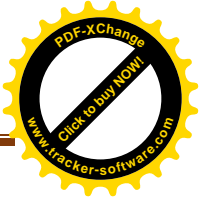
- ✓ À mon oncle :
 - Mr SALIFOU Ahadjira

- ✓ À mes grands parents

- ✓ À mes Frères, Sœurs et Cousins

- ✓ À mes amis

Issoufa Tahmodi Nouhan



Dédicace

Je dédie ce travail à mon défunt frère Mamane Sani Aliou Doumbaye Maiga

**A ma défunte grande mère Agaichatou Oumarou, puisse Dieu le tout puissant vous
accueille dans son vaste paradis éternel**

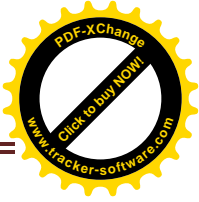
A mes parents

A mes frères et sœurs

À mes neveux Imrane et Abdourhamane

A mes ami(es) et connaissances mais aussi aux futures générations de la Mécanique

Aliou Doumbaye Maiga Moutari



Remerciements

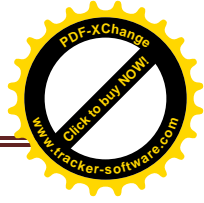
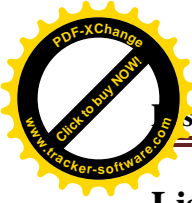
On remercie **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné l'opportunité, la santé, et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire dans les bonnes conditions.

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.



Liste des figures

Chapitre I

Figure I.01 : Conversion de l'énergie solaire.....	3
Figure I.02 : Principe de l'énergie solaire thermique.....	4
Figure I.03 : Capteur plan sans vitre.....	5
Figure I.04 : Capteur solaire avec vitrage.....	5
Figure I.05 : Capteur solaire à tubes sous vide.....	6
Figure I.06 : Principe de conversion du solaire thermodynamique.....	6
Figure I.07 : Concentrateur solaire cylindro-parabolique.....	6
Figure I.08 : Concentrateur parabolique.....	7
Figure I.09 : Concentrateur à tours.....	8
Figure I.10 : Principe de l'énergie hydraulique.....	10
Figure I.11 : Barrage poids.....	11
Figure I.12 : Barrage voute.....	12
Figure I.13 : Barrage a contrefort.....	12
Figure I.14 : Fonctionnement d'une éolienne.....	14
Figure I.15 : Eolienne de type aérogénérateur.....	14
Figure I.16 : Eolienne à axe horizontal.....	15
Figure I.17 : Eolienne de type Savonius.....	16
Figure I.18 : Différentes type de rotors.....	16
Figure I.19 : Eolienne de type voiture tournante.....	17
FigureI.20 : Bois.....	18
Figure I.21 : Processus d'obtention de biocarburant 1 ^{er} génération.....	19
Figure I.22 : Centrale géothermique.....	21
Figure I.23 : Exploitation géothermique à haute énergie.....	22
Figure I.24 : Exploitation géothermique à basse énergie.....	23
Figure I.25 : Pompe à chaleur système captage horizontal.....	24
Figure I.26 : Système de captage vertical.....	25
Figure I.27 : Pompage sur nappe phréatique.....	25

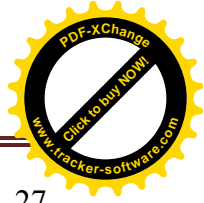


Figure I.28 : Système géothermique à forage.....27

Figure I.29 : Système à doublet géothermique.....28

Figure I.30 : Hydrolienne.....30

Figure I.31 : Pelamis.....30

Figure I.32 Principe de l'énergie thermique de la mer.....31

Figure I.33 : centrale de production d'énergie osmotique.....32

Chapitre II

Figure II.1 : Rayonnement global.....34

Figure II.2 : Représentation du mouvement de la terre autour du soleil.....35

Figure II.3 : Différentes positions du soleil.....37

Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'une photopile.....39

Figure II.5 : Evolution de la production mondiale des différentes technologies de cellules PV.....40

Figure II.6 : Répartition des matériaux sur le marché mondial du photovoltaïque.....40

Figure II.7 : photos de cellules monocristallin (a) et multi cristallin (b).....41

Figure II.8 : (a) cellule solaire OPV, (b) panneau photovoltaïque souple.....43

Figure II.9 : Schéma général d'une installation photovoltaïque.....44

Figure II.10 : Panneau solaire.....44

Figure II.11 : Boite de dérivation.....44

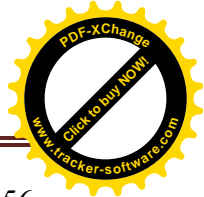
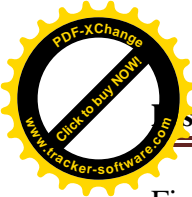
Figure II.12 : Schéma de principe d'un régulateur de charge.....46

Chapitre III

Figure III.01 : Interface du logiciel.....52

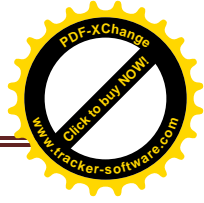
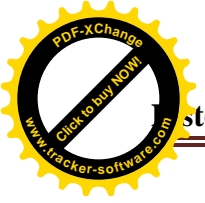
Figure III.02 : Coordonnée dans le logiciel PVsyst.....53

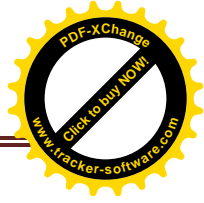
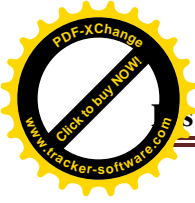
Figure III.03 : Trajectoire du soleil à la willaya de Tamanrasset.....53



Indes des figures

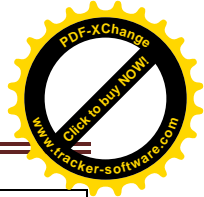
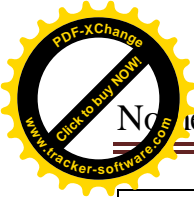
Figure III.04 : Besoin d'utilisateur.....	56
Figure III.05 : Disposition d'une installation autonome.....	57
Figure III.06 : Paramètres généraux de simulation.....	58
Figure III.07 : Paramètres du système.....	59
Figure III.08 : Principaux résultats.....	60
Figure III.10 : Energie incident de référence.....	61
Figure III.11 : Production normalisée.....	61
Figure III.12 : Facteur normalisé de production et de perte.....	62
Figure III.13 : Indice de performance et fraction solaire.....	63
Figure III.14 : Diagramme entrée et sortie journalier.....	64
Figure III.15 : Energie journalier à la sortie du champ.....	64
Figure III.16 : Distribution de l'irradiation incidente.....	65
Figure III.17 : Distribution de la puissance du champ.....	66
Figure III.19 : Comportement du module selon irradiation incidente.....	67
Figure III.20 : Comportement du module selon la température.....	67
Figure III.21 : Comportement du module selon la résistance en série.....	68
Figure III.22 : Comportement du module selon la résistance en parallèle.....	69



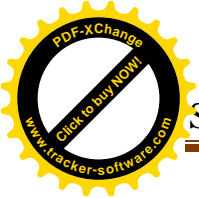


Liste des tableaux

Tableau I.01 : Caractéristiques des centrales thermodynamiques.....	9
Tableau II.01 : Valeurs de la bande interdite pour différents semi-conducteurs.....	39
Tableau III.01 : Coordonnées géographiques de la willaya de Tamanrasset.....	59
Tableau III.02 : Caractéristiques climatiques du site de Tamanrasset.....	54
Tableau III.04 : Bilan énergétique de la maison.....	55
Tableau III.06 : Choix des composants des PV disponibles.....	57

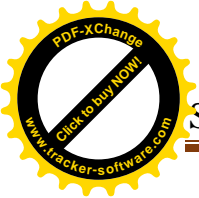


symbole	désignation	unité
P_h	Puissance hydraulique	W (Watt)
ρ	Masse volumique	Kg/m^3
g	Accélération	m/s^2
H	Hauteur de chute	m
Q	Débit volumique de l'eau	M^3/s
δ	La déclinaison	degré
γ	Angle d'inclinaison	degré
C^*	Constante solaire	w/m^2
S^*	Éclairement direct	w/m^2
D_h^*	Rayonnement diffuse	w/m^2
G_h^*	Éclairement global	w/m^2
a^*	Albédo	w/m^2
D^*	Éclairement diffus	w/m^2
I^*	Éclairement solaire	w/m^2
h	Hauteur du soleil	degré
n	Nombre de jour dans l'année	jours
TSV	Temps Solaire Vrai	heure
ω	Angle horaire	degré
σ	Taux d'isolation	
a	Azimute du soleil	degré
ψ	L'attitude du lieu	degré
FT	Facteur de transposition	
q	Charge de l'électron	C
E	Énergie	eV



Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I Généralités sur les énergies renouvelables	
Introduction.....	2
I.1 Energie solaire.....	2
I.1.1 Energie solaire photovoltaïque	3
I.1.1.1 Principe de fonctionnement.....	3
I.1.1.2 Composants d'un système photovoltaïque.....	4
I.1.2 Energie solaire thermique	4
I.1.2.1 Principe de fonctionnement.....	4
I.1.2.2 Principaux types de capteurs solaires thermiques	4
I.1.3 Energie solaire thermodynamique	6
I.1.3.1 Principe d'une chaîne de conversion / utilisation de l'énergie solaire : la technologie du solaire thermodynamique	6
I.1.3.2 Pourquoi concentrer le rayonnement solaire	7
I.1.3.2 Différents types de concentrateurs.....	7
I.1.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire	9
I.2 Energie hydraulique.....	10
I.2.1 Différents types d'aménagements hydrauliques.....	10
I.2.2 Barrages	11
I.2.2.1 Différents types.....	11
I.2.3 Turbines Hydrauliques.....	12
I.2.4 Avantages/Inconvénients de l'énergie hydraulique	13
I.3 Energie éolienne	13
I.3.1 Principe de fonctionnement.....	14
I.3.2 Description d'une éolienne	14
I.3.3 Différents types d'éolienne	15
I.3.3.1 Eolienne à axe horizontal	15
I.3.3.2 Eolienne à axe vertical	15
I.3.4 Avantages et inconvénients d'une énergie éolienne.....	17
I.4 Energie de la Biomasse.....	18
I.4.1 Différentes utilisations de la biomasse	18
I.4.1.1 Bois-énergie.....	18
I.4.1.2 Biogaz	18
I.4.1.3 Biocarburant	18
I.4.2 Avantages et inconvénients de la biomasse	19
I.5 Energie géothermique	20



Sommaire

I.5.1	Description des différents systèmes géothermie	21
I.5.1.1	Géothermie à haute énergie	21
I.5.1.2	Géothermie à moyenne énergie	22
I.5.1.3	Géothermie à basse énergie	23
I.5.2	Différentes techniques d'exploitation	23
I.5.2.1	Procédé de captage de pompe à chaleur.....	23
I.5.2.2	Géothermie des tunnels et des mines	25
I.5.2.3	Forage.....	26
I.5.2.4	Doublet géothermique	27
I.5.3	Avantages et inconvénients	28
I.6	Energie marine	29
I.6.1	Différentes sources d'énergie marine	29
I.6.1.1	Energie des marées	29
I.6.1.2	Energie des courants marins.....	29
I.6.1.3	Énergie des vagues.....	30
I.6.1.4	Energie thermique, née des différences de chaleur.....	31
I.6.1.5	Energie osmotique	31
I.6.2.	Avantages et inconvénients	32
Conclusion		

Chapitre II Etude d'une installation photovoltaïque

	Introduction	33
II.1	Energie solaire.....	33
II.1.1	Géométrie Terre-soleil	33
II.1.2	Constante solaire	33
II.1.3	Eclairement solaire.....	33
II.1.3.1	Eclairement direct.....	33
II.1.3.2	Eclairement diffus	34
II.1.3.3	Eclairement global.....	34
II.2	Principe de calcul de l'énergie solaire	34
II.2.1	Declinaison	34
II.2.2	Temps solaire vrai.....	35
II.2.3	Durée et taux d'insolation	35
II.2.4	Angle horaire	36
II.2.5	Position du soleil.....	36
II.3	Effet Photovoltaïque	37
II.3.1	Principe de l'effet photovoltaïque	37

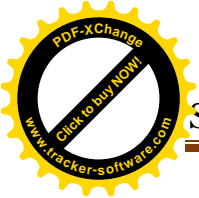


Sommaire

II.4	Technologie des cellules solaire.....	39
II.4.1	Filière silicium	40
II.4.1.1	Silicium monocristallin	41
II.4.1.2	Silicium multi cristallin	41
II.4.1.3	Silicium amorphe	42
II.4.2	Couches minces	42
II.4.2.1	Cellules organique et Plastique.....	42
II.5	Principaux composants d'un systeme PV.....	43
II.5.1	Modules	44
II.5.1.1	Types de panneaux	45
II.5.2	Système de stockage	45
II.5.3	Régulation.....	46
II.5.3.1	Rôle de la régulation	46
II.5.3.2	Principe de fonctionnement des regulateurs	46
II.5.4	Système de conversion	47
II.5.4.1	Convertisseur continu-continu.....	48
II.5.4.2	Convertisseur continu-alternatif	48
II.5.5	Charge	48
II.6	Installation du générateur PV.....	48
II.7	Comment augmenter les performances d'une installation PV	49
II.8	Avantages et Inconvénients d'une Installation PV.....	49
	Conclusion	50

Chapitre III Etude de Cas

	Introduction.....	51
III.1	Présentation du logiciel PVSYST	51
III.2	Site d'implantation	52
III.2.1	Données météorologiques	54
III.3	Différentes étapes pour dimensionner un système photovoltaïque.....	54
III.3.1	Besoins en electricité	56
III.3.2	Energie necessaire	56
III.3.3	Energie disponible dans la zone	57
III.3.4	Choix des composants	57
III.4	Résultats et Interpretations	61
III.4.1	Energie incidente de reference	61
III.4.2	Production normalisée	61
III.4.3	Farcteur normalisé de production et de perte	62
III.4.4	Indice de performance et fraction solaire.....	63



Sommaire

III.4.5	Diagramme entrée et sortie journalière	64
III.4.7	Distribustion annuelle de l'irradiation incident	65
III.4.8	Distribustion de la puissance du champs	66
III.4.9	Comportement du module selon l'irradiation incident.....	66
III.4.10	Comportement du module selon la temperature	67
III.4.11	Comportement du module selon la resistance en serie	68
III.4.12	Comportement du module selon la resistance en parallele	70
	Conclusion	70
	Conclusion générale	71



L'utilisation des énergies non renouvelables pour la production d'énergie utile pour nos industries, nos habitats, nos moyens de déplacements, bref nos besoins, conduit pour la plupart à l'émission des polluants qui sont aussi dangereux pour nous que pour notre environnement (réchauffement climatique, inondations, sécheresses...), et avec l'augmentation considérable de la population mondiale, la course aux armements, des pays en voie de développement qui cherchent à s'industrialiser..., la consommation de ces énergies ne cessent d'augmenter chaque année mais malheureusement ces ressources ne sont pas inépuisables. Les analyses les plus faibles, les prévisions les plus lucides n'hésitent pas à parler d'un tarissement inéluctable et d'une raréfaction, inexorable du pétrole, d'après les recherches de 'Pactes énergie' les ressources ou réserves énergétiques mondiale d'énergies non renouvelables (fossiles et uranium) sont estimées à environ 85 ans au rythme des productions actuelles, pétrole : 47 ans, gaz naturel : 64 ans, charbon : 156 ans, uranium : 50 – 80 ans. Ceci dit nous tendons donc vers l'inéluctable qui est la fin des ces ressources, force est de constater qu'aujourd'hui l'humanité ne peut rester sans énergie électrique et comme le dit l'historien Fernand Braudel «**l'avenir ne se prévoit pas, il se prépare**». Alors il nous faut trouver des échappatoires, des solutions pour diminuer notre dépendance vis à vis de ces source d'énergie et retarder le plus longtemps possible ce spectre qui hante l'humanité avec l'usage des énergies propres et inépuisable : il s'agit des énergies renouvelable.

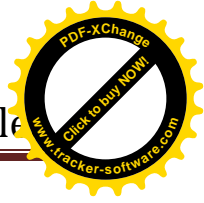
Ces énergies sont présentes partout sur terre et sont réparties en six grandes familles.

Ce mémoire a pour but de dimensionner une installation photovoltaïque autonome, il est réparti en trois chapitres :

Le premier chapitre porte sur les différents types d'énergies renouvelables et les techniques d'exploitations de ces énergies.

Le second chapitre est une étude détaillée d'une installation photovoltaïque.

Le troisième chapitre c'est une étude et dimensionnement d'une installation autonome pour une maison.



Introduction

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes :

Les énergies non renouvelables, qui sont d'origine fossile : le pétrole, le charbon, le gaz sont parmi les plus connues.

Les énergies renouvelables, dont les plus importantes sont : le solaire, l'éolien, et la géothermie. Elles trouvent leurs sources dans les différents flux énergétiques naturels incidents sur la terre, qui sont essentiellement

- ❖ Le rayonnement solaire, qui procure 99,97% de sa densité thermique.
- ❖ La chaleur interne terrestre, qui procure 0,03% de sa densité thermique.
- ❖ Les forces de gravitation.

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus éminente, elle est également à l'origine de la plupart des sources d'énergies utilisées par l'homme.

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est donc fondamentale.

Dans ce présent chapitre, on commence par une brève description des différentes énergies renouvelables en suite la description du soleil et un résumé sur les différentes centrales solaires.

I.1 Énergie solaire (voir figure I.1)

Ce terme désigne l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante et cette énergie est gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter. Les technologies sont réparties entre actives et passives. Les technologies actives transforment l'énergie solaire en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons, du chauffage, des concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines, et même des fours solaires. Les technologies passives consistent à bien orienter les bâtiments par rapport au soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles architecturaux qui permettent d'exploiter l'énergie solaire.

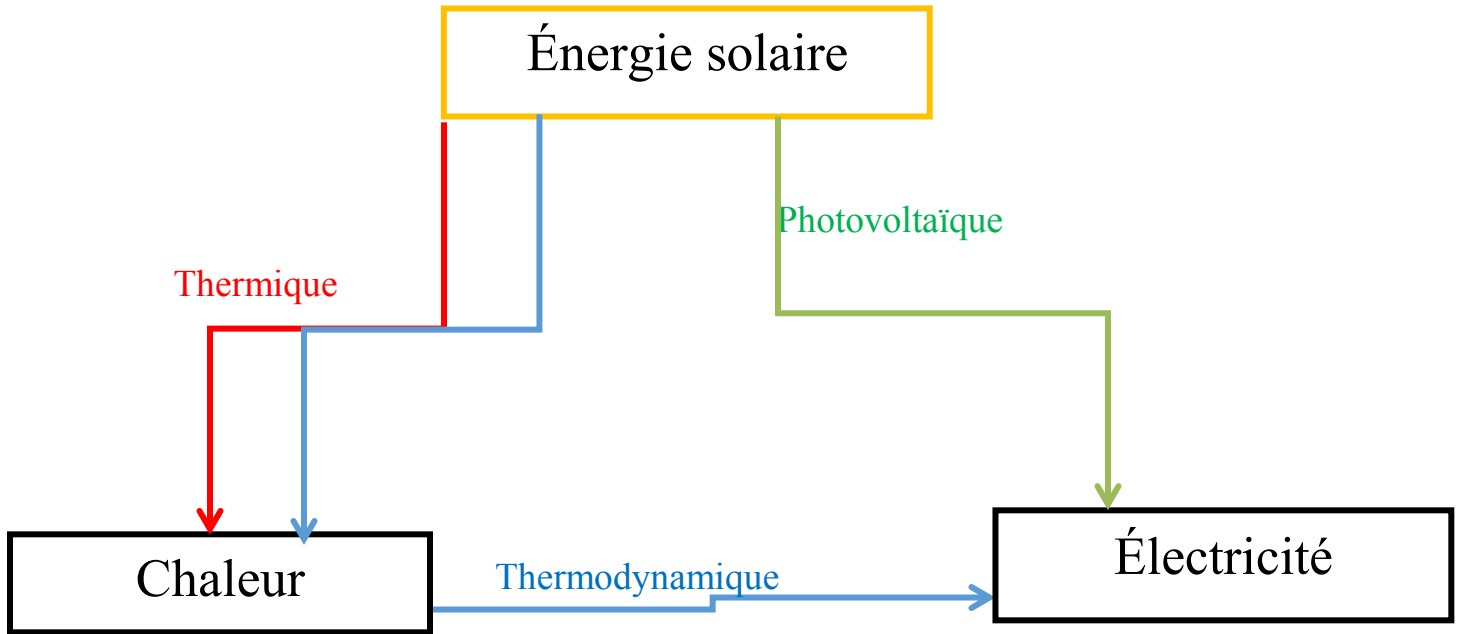


Figure I.01 : Conversion de l'énergie solaire

I.1.1 Énergie solaire photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » désigne le processus physique qui consiste à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique par le transfert de l'énergie des photons aux électrons d'un matériau. Le principe photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839 et expliqué par Albert Einstein en 1905 (c'est pour cette explication qu'il a reçu le prix Nobel de Physique en 1921).

Le préfixe Photo vient du grec « phos » qui signifie lumière. « Volt » vient du patronyme d'Alessandro Volta (1745-1827), physicien qui a contribué aux recherches sur l'électricité. Photovoltaïque (PV) signifie donc littéralement électricité lumineuse.

I.1.1.1 Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse (photons) des rayons solaires en électricité, par le biais du déplacement de charges électriques dans un matériau semi-conducteur (le silicium). Lorsque les photons heurtent une surface

mince de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique.

Le matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

Les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement.

I.1.1.2 Composants d'un système photovoltaïque

- Le module photovoltaïque
- Stockage
- Le régulateur des charges
- Convertisseur

I.1.2 Energie solaire thermique

Le solaire thermique actif permet de transmettre la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre de capteurs solaires.

Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage.

I.1.2.1 Principe de fonctionnement (voir figure I.02)

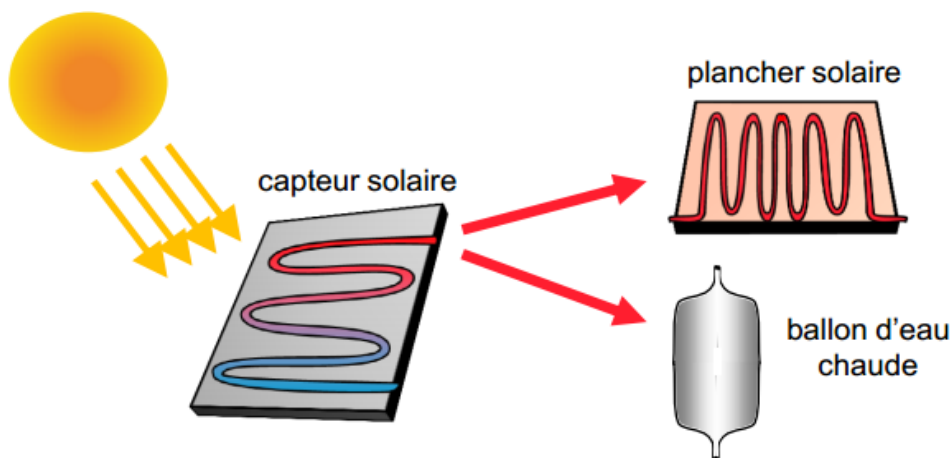


Figure I.02 : Principe de l'énergie solaire thermique

I.1.2.2 Les principaux types de capteurs solaires thermiques sont les suivants :

- **Capteurs solaires sans vitrage** : les plus simples, 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.04 : Capteur plan sans vitre

- **Capteurs solaires plans** : ils sont composés d'un vitrage qui laisse traverser le rayonnement solaire, d'un absorbeur en cuivre ou aluminium, d'un collecteur constitué de tubes en cuivre dans lequel circule le fluide.

Le tout est isolé thermiquement en face arrière. Ils sont principalement destinés à la production d'eau chaude sanitaire et au chauffage.

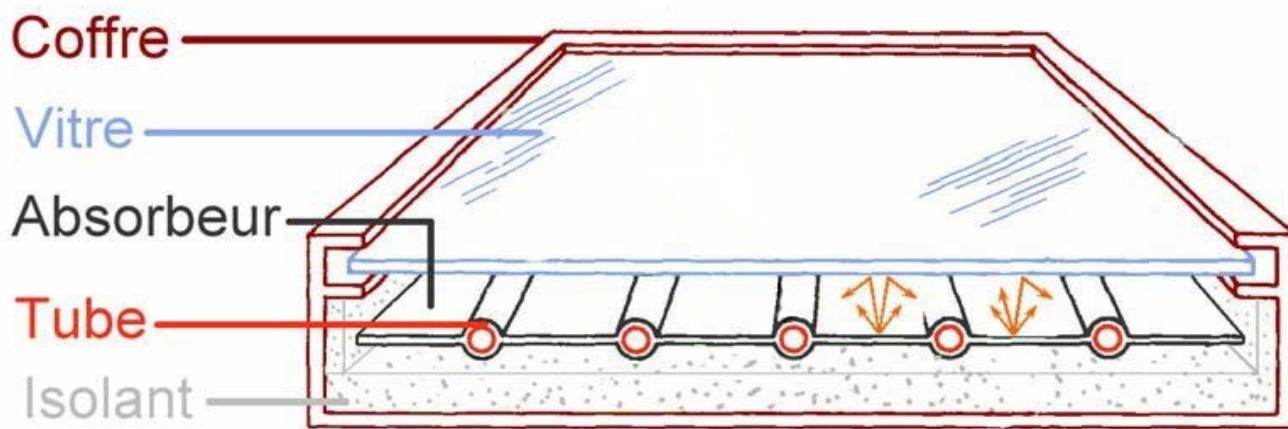


Figure I.04 : Capteur solaire avec vitrage

- **Capteurs solaires à tubes sous vide** : composés d'un ou plusieurs tubes en verre dans lesquels un vide est créé afin de limiter les pertes thermiques.



Figure I.05 : Capteur solaire à tubes sous vide

I.1.3 Énergie solaire thermodynamique

La chaleur produite va être convertie en énergie mécanique pour produire de l'électricité.

(À noter : température beaucoup plus élevée que dans les systèmes thermiques - entre 100 et 1 500 °C, contre 20 à 100°C pour le thermique)

I.1.3.1 Principe d'une chaîne de conversion / utilisation de l'énergie solaire : la technologie du solaire thermodynamique (voir figure I.06)

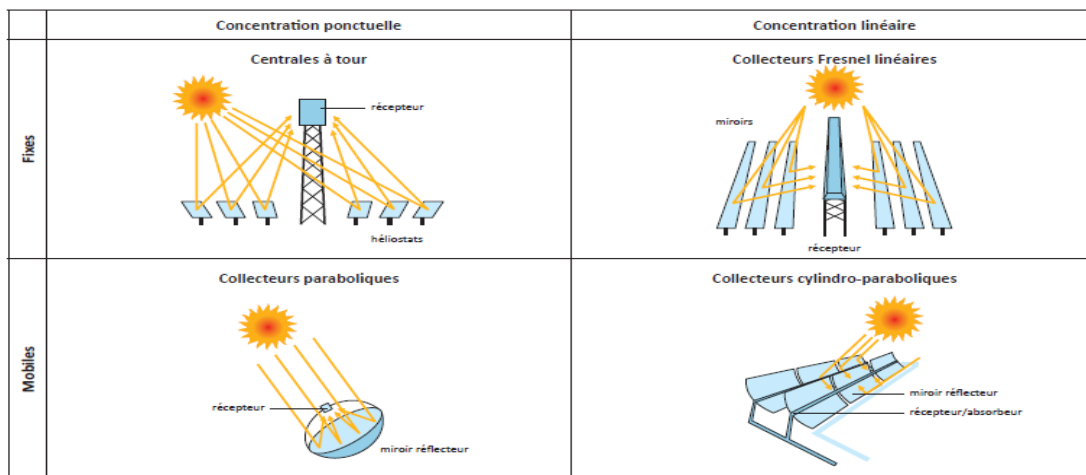


Figure I.06 : Principe de conversion du solaire thermodynamique

I.1.3.2 Pourquoi concentrer le rayonnement solaire ?

Le flux solaire intercepté par le disque terrestre considéré comme un corps noir est d'environ 1350W/m^2 en dehors de l'atmosphère (constante solaire). Le rayonnement solaire subit une atténuation lors de la traversée de l'atmosphère, par absorption et diffusion. Le flux solaire incident à la surface de la terre dans les régions désertiques est d'environ 1000W/m^2 . Lorsque le rayonnement solaire éclaire solide ou liquide, une fraction est réfléchi, une fraction est transmise par transparence et le reste est absorbé en surface.

Donc concentrer le rayonnement a pour effet d'augmenter la puissance solaire incident sans augmenter la surface de réception.

I.1.3.3 Les différents types de concentrateurs

On distingue trois grandes familles de centrale solaire concentration :

- Les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques
- Les centrales à tours à récepteurs centrales
- Les centrales paraboliques

a) Les 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.



Figure I.07 : Concentrateur solaire cylindro-parabolique

b) Les centrales à concentrateurs paraboliques

Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température.

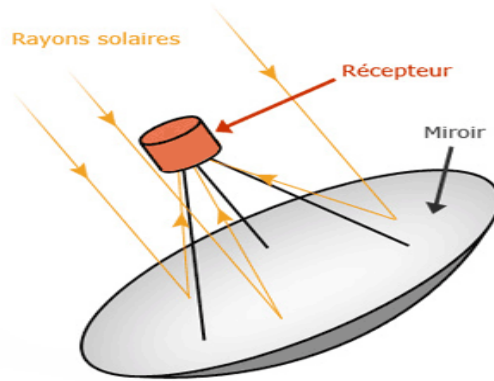


Figure I.08 : Concentrateur parabolique

c) Les centrales à tours à récepteurs centrales

Les centrales à tours sont constituées de deux blocs. Le bloc solaire utilise des miroirs pour concentrer le rayonnement solaire et produire ainsi de la chaleur. Le bloc puissance, similaire à un système conventionnel, est constitué d'une chaudière pour la génération de vapeur, d'une turbine entraînant un alternateur pour la production de l'électricité. Un fluide caloporteur permet le transfert de la chaleur du bloc solaire au bloc de puissance.

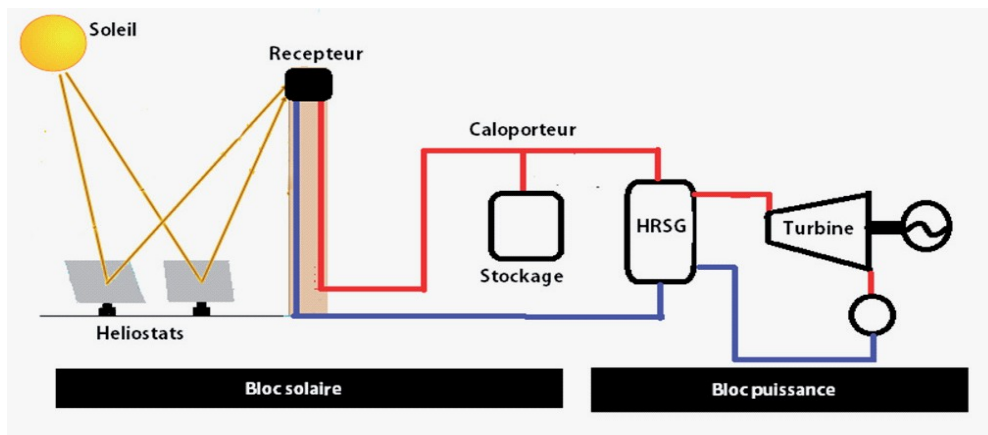


Figure I.09 : Concentrateur à tours

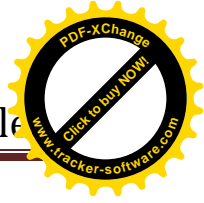


Tableau I.01 : Caractéristiques des centrales thermodynamiques

technologie	Cylindro-parabolique	tours	parabole
Rendement thermique nominal	70%	73%	75%
Puissance des installations	80-300MW _{th}	10-100MW _{th}	1-100 KW _{th}
Température de travail	270-450°C	450-1000°C	600-1200°C
Prix du champ solaire	210-250€/m ²	140-220€/m ²	~150€/m ²
Coût totale d'investissement	2.8-3.5€/W _e	3-4€/W _e	10-14€/W _e

I.1.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

Avantages

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage. L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes

Inconvénients

- Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.
- Un cycle de vie en question : la durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. Le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an. De plus, les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre, chrome, silicium, cadmium et tellure.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.

I.2 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages.

Principe (voir figure) : La conversion de l'énergie Hydraulique en énergie mécanique se fait par l'intermédiaire d'une turbine. Elle nécessite non seulement une certaine quantité d'eau mais également une différence d'altitude. Elle se base sur la transformation de l'énergie cinétique et potentielle contenue dans l'eau en énergies mécanique puis en énergie électrique. Elle n'est donc possible que dans les endroits qui présentent un débit suffisant et une dénivellation.

La puissance hydraulique disponible pour une installation est donnée par :

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H$$

I.01

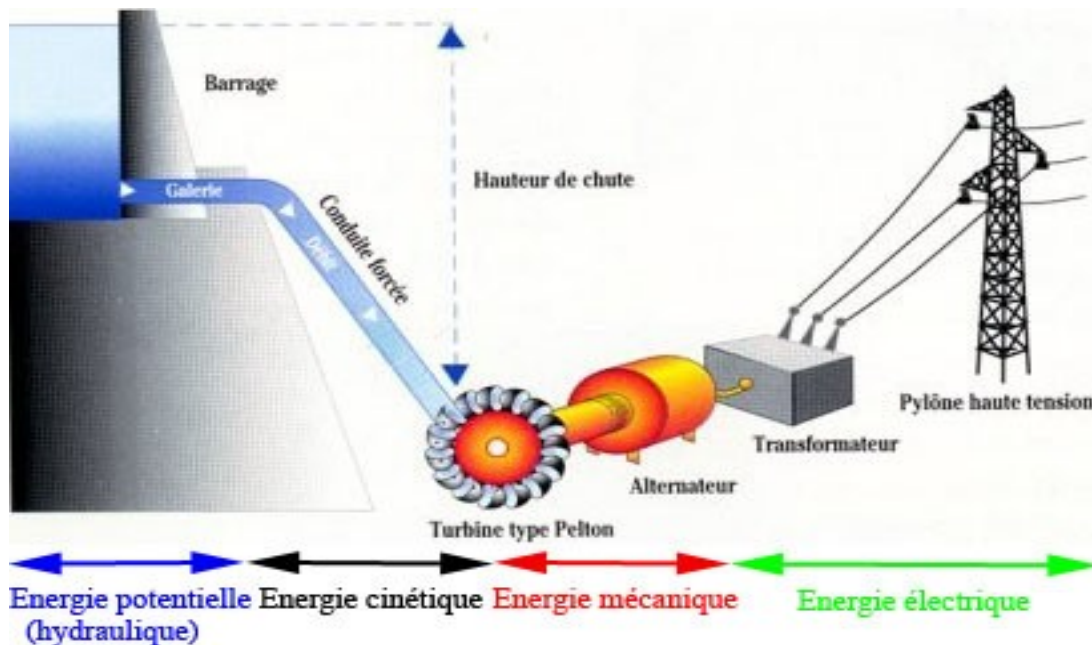


Figure I.10 : Principe de l'énergie hydraulique

I.2.1 Différents types d'aménagements hydrauliques

Un aménagement hydraulique se caractérise par deux aspects.

Le premier est la possibilité ou non de stocker un volume d'eau pour l'utiliser ultérieurement.

On parle de « centrale à accumulation » si oui si non on « parle de centrale au fil de l'eau ».
Le second critère est la hauteur de chute que l'on classe en trois catégories :

- ❖ L'aménagement haut chute pour des chutes supérieures à 250 m
- ❖ Les aménagements de moyenne chute, pour des hauteurs situées entre 25 et 250 m
- ❖ L'aménagement bas chute pour des chutes inférieures à 30 m.

I.2.2 Barrages

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à réguler le débit du cours d'eau et/ou à en stocker l'eau pour différents usages tels que : contrôle des crues, irrigation, industrie, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable, etc. ...

I.2.2.1 Différents types :

1. Barrages à poids

Construits d'abord en maçonnerie, puis en béton puis plus récemment en béton compacté au rouleau (BCR) qui permet d'importantes économies de temps et d'argent. Le rocher de fondation doit être de bonne qualité ;

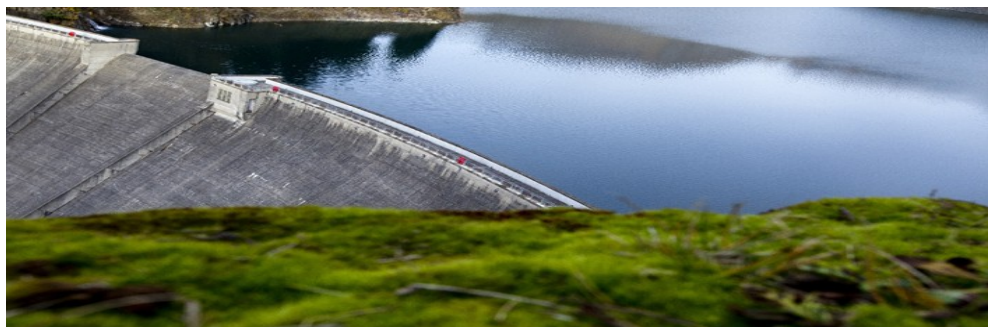


Figure I.11 : Barrage poids

2. Barrages-voûtes

Les barrages-voûtes sont aussi généralement en béton et construits de façon à former une courbe qui permettra de repousser la pression de l'eau sur les flancs. Ce type de barrage doit son nom aux voûtes construites dans les cathédrales. Ces barrages sont utilisés lorsque la topographie de la vallée permet de la fermer avec une forme courbe assez réduite comme on peut le voir sur la photo



Figure I.12 : Barrage voûte

3. Barrages à contrefort

Les barrages à contreforts sont constitués de plusieurs murs placés parallèlement, plus ou moins espacés et épais, et généralement de forme triangulaire : ce sont les contreforts du barrage. Ils possèdent aussi une bouchure entre les contreforts qui permet de transmettre à ceux-ci la poussée de l'eau. Cette bouchure est composée d'une dalle de béton, d'un élargissement du contrefort vers l'amont et d'une voûte de faible portée. Le nombre de contreforts peut varier de quelques-uns à une dizaine de contreforts selon l'ouvrage.

Ces barrages reportent la pression sur les fondations inférieures ainsi que sur les rives. Le terrain doit donc posséder une fondation rocheuse solide, de bonne qualité et être assez large.

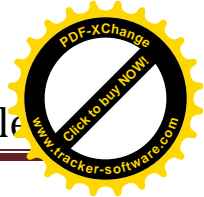
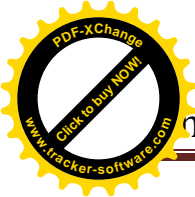


Figure I.13 : Barrage a contrefort

I.2.3 Turbines Hydrauliques

Il existe deux sortes de turbines :

Les turbines à action ont pour caractéristique d'avoir une pression d'entrée égale à la pression de sortie. Elles sont réparties en deux types : **Pelton et Cross flow**



Lorsque la pression à l'entrée de la roue est supérieure à la pression de sortie, on parle de turbines à réaction. Ce sont les turbines Francis et Kaplan. Grâce à une conception complexe, elles disposent de bons rendements. Une turbine à réaction est une turbine immergée qui utilise à la fois l'énergie résultante de l'eau (énergie cinétique) et celle provenant de la différence de pression. Elle travaille en trois étapes : On crée d'abord un grand tourbillon à l'entrée, grâce à ses aubes, la roue freine ce tourbillon et en transfère l'énergie à l'alternateur qui en fait de l'électricité. Par la suite, l'eau est retournée à la rivière le plus doucement possible.

I.2.4 Avantages/Inconvénients de l'énergie hydraulique

Avantages

- L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable.
- Sa production n'entraîne pas d'émissions de CO₂ et ne génère pas de déchets toxiques.
- On peut rapidement augmenter la puissance produite en cas de panne d'électricité.
- Plus de régularité pour produire de l'énergie (par rapport au vent par exemple)

Inconvénients

- La construction de barrages peut bouleverser certains écosystèmes.
- L'installation de centrales hydroélectriques peut contraindre certaines populations à migrer vers un autre lieu.
- Elle peut aussi réquisitionner des surfaces agricoles

I.3 Energie éolienne

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire, puisque ce sont les différences de températures et de pressions induites dans l'atmosphère par l'absorption du rayonnement solaire qui mettent les vents en mouvement.

L'utilisation du vent par l'homme ne date pas d'aujourd'hui, elle est très ancienne. De nos jours l'énergie mécanique du vent produit l'électricité. Le principe des éoliennes s'inspire de celui des moulins à vent et à eau autrefois utilisé pour moudre le grain ou pomper l'eau. L'éolien est l'une des énergies renouvelables les plus « prometteuses » à développer. Elle est intéressante d'un point de vue économique et environnemental. Pendant ces dernières années l'éolien c'est très fortement développé, dans le monde et plus particulièrement en Europe. Les avancements technologiques dans ce domaine, ne cessent de progresser.

I.3.1 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple : le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne

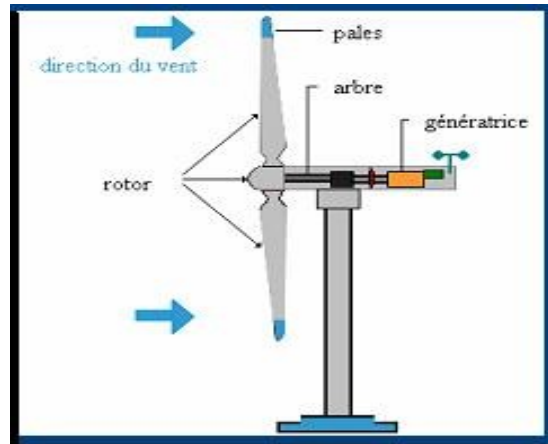


Figure I.14 : Fonctionnement d'une éolienne

I.3.2 Description d'une éolienne

Une éolienne est constituée de :

- le rotor, avec des pales montées sur un moyeu ;
- la transmission mécanique, qui transforme le mouvement de rotation du rotor en un mouvement utilisable par la charge ;
- une génératrice électrique, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique ;
- un système d'orientation, qui oriente la nacelle face au vent ;
- un système électrique, qui gère la connexion au réseau et le fonctionnement de l'éolienne

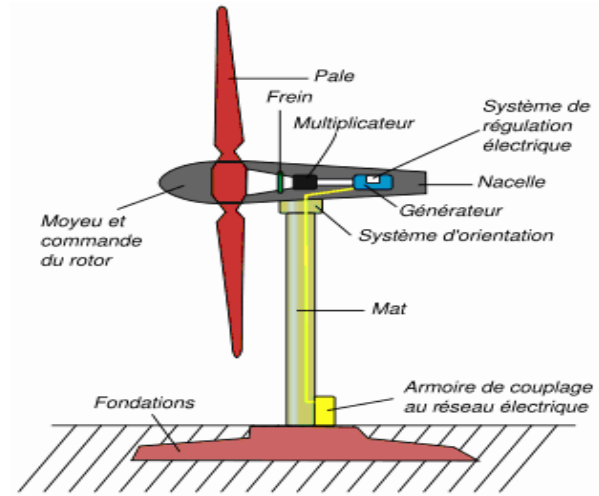


Figure I.15 : d'une éolienne de type aérogénérateur

I.3.3 Différents types d'éolienne

Ils existent deux principaux types d'éoliennes : à axe horizontal et à axe vertical

I.3.3.1 Eolienne à axe horizontal :

Elles sont souvent appelées "éolienne à hélices" et sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles s'orientent suivant la direction du vent et sont souvent constituées de trois pales. Ce sont celles les plus courantes. Elles sont implantées dans les zones rurales ou en mer car elles nécessitent de la place.

Dont nous pouvons citer :

L'éolienne domestique et l'éolienne offshore (marine)



Figure I.16 : Eolienne à axe horizontal

I.3.3.2 L'éolienne à axe vertical

a. Type Savonius

Constitué de demi-cylindres reliés à un axe vertical, ce type d'éolienne utilise la force de traînée du vent, sur le principe des moulins à vent. Son rendement est plus faible que celui des éoliennes qui utilisent la force de portance, mais ce type de machine permet d'exploiter des vitesses de vent plus faibles.

De faible encombrement et plus silencieuses que les autres éoliennes, les éoliennes de type Savonius sont idéales pour l'intégration en milieu urbain.



Figure I.17 : Eolienne de type Savonius

b. Type Darrieus

À pales verticales, paraboliques ou hélicoïdales, les éoliennes de type Darrieus utilisent la force de portance du vent, comme les éoliennes classiques. Cependant, leur encombrement plus faible est un avantage en termes d'intégrations paysagère et architecturale

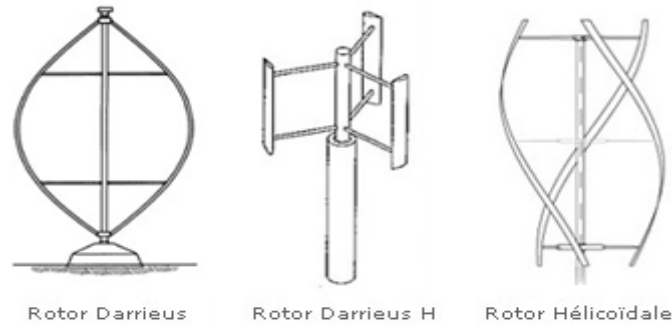


Figure I.18 : Différents type de rotors

c. Type à voilure tournante.

Les éoliennes à voilure tournante sont équipées de pales dont l'orientation dynamique permet de mieux exploiter l'énergie du vent, à la manière d'un navire à voile.

Ce mécanisme rend possible l'exploitation de vents plus puissants que ceux que peuvent exploiter les éoliennes classiques à trois pales. En outre, le bruit généré est fortement réduit par ce système.

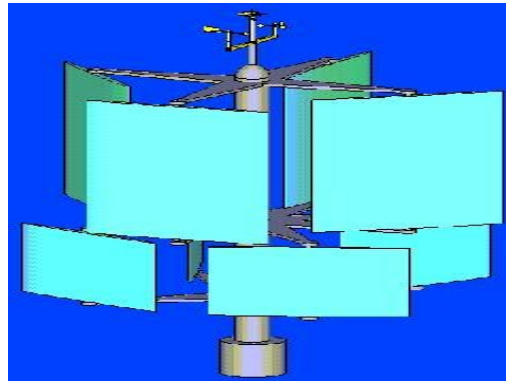


Figure I.19 : Eolienne de type voiture tournante

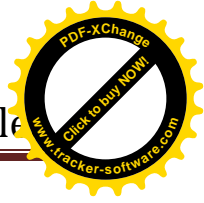
I.3.3 Avantages et inconvénients d'une énergie éolienne

Avantages

- ❖ Coût de production relativement faible (200.000 euros environ) par rapport à l'énergie produite ;
- ❖ La surface occupée au sol est peu importante ;
- ❖ L'énergie éolienne est une énergie propre (pas d'émissions de gaz, pas de particules) ;
- ❖ Surface immense disponible en mer où le vent est pratiquement constant.

Les inconvénients

- ❖ Le vent est une source intermittente, la production d'énergie est donc variable ;



- ❖ L'installation d'une éolienne nécessite différents critères (vents fréquents, surface suffisante, pas d'obstacles au vent, accès facile, proximité du réseau électrique, pas de contraintes environnementales tels que les monuments historiques, site éloigné des habitations, avoir les autorisations réglementaires) ;
- ❖ Même si la surface utilisée au sol est faible, il faut disposer de 10 Ha afin d'installer un site éolien qui soit significatif. En effet, l'écart réglementaire entre les éoliennes est de 200m minimum
- ❖ La pollution visuelle et sonore, et la perturbation des ondes électromagnétiques (télévision, radio, portable) sont des obstacles à l'installation chez les particuliers et cela oblige une installation des éoliennes éloignée des habitations ;
- ❖ Le coût de production alourdit tout de même le prix total de l'éolienne ;
- ❖ Bien que cette énergie soit propre, le coût énergétique de fabrication est très important ;

I.4 Énergie de la Biomasse

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques (d'origine végétale et animale) pouvant se transformer en énergie.

I.4.1 Différentes utilisations de la biomasse

Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées :

- ❖ Les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;
- ❖ Les liquides (ex : huiles végétales, bio-alcools) ;
- ❖ Les gazeux (ex : biogaz).

Les principales utilisations sont :

I.4.1.1 Bois-énergie

Est la plus ancienne et la plus simple des méthodes d'exploitation de la biomasse. Il s'agit tout simplement de la combustion de bois, de déchets agricoles, industriels et domestiques d'origine végétale. La chaleur ainsi produite dans des centrales ou par cogénération peut être utilisée pour la cuisson, le chauffage, la production d'eau chaude et la production d'électricité.



Figure I.20 : Bois

Grâce à de nouvelles technologies, la biomasse peut aussi prendre une forme gazeuse ou liquide, c'est ce que l'on nomme respectivement le biogaz et le biocarburant.

I.4.1.2 Biogaz

Le plus souvent situées dans des zones agricoles, les centrales de **biogaz** font fermenter le fumier et autres déchets issus de l'agriculture et obtiennent ainsi ces biogaz qui sont ensuite brûlés pour produire du chauffage et de l'électricité.

I.4.1.3 Biocarburant

Les biocarburants peuvent être de deux sortes : on parle de biocarburant essence et de biocarburant diesel. Le biocarburant essence est produit à partir d'éthanol obtenu à partir de la fermentation de plantes telles que la betterave, la canne à sucre, le maïs, la pomme de terre ou le blé. Le biocarburant diesel est lui fabriqué à partir de plantes comme les fleurs de colza ou de tournesol, le soja ou les cacahuètes. Il existe 3 générations de biocarburants :

1^{ère} génération : biocarburants créés à partir des graines ;

2^e génération : biocarburants créés à partir des résidus non alimentaires des cultures (paille, tiges, bois)

3^e génération : biocarburants créés à partir d'hydrogène produit par des micro-organismes ou à partir d'huile produite par des micro-algues.

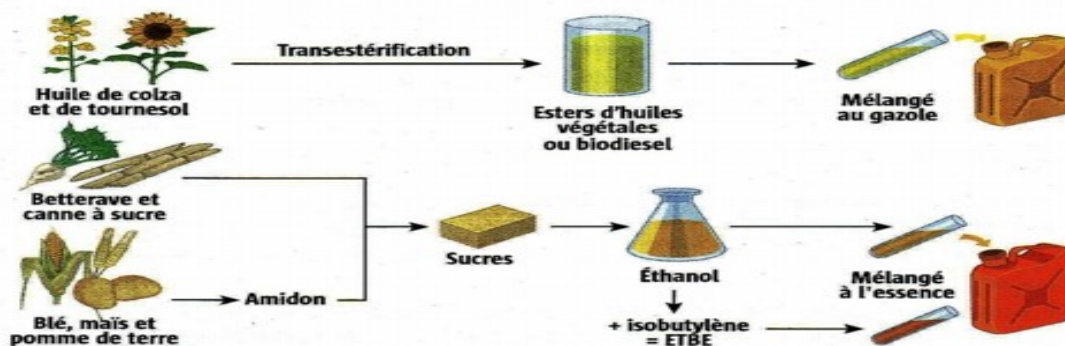
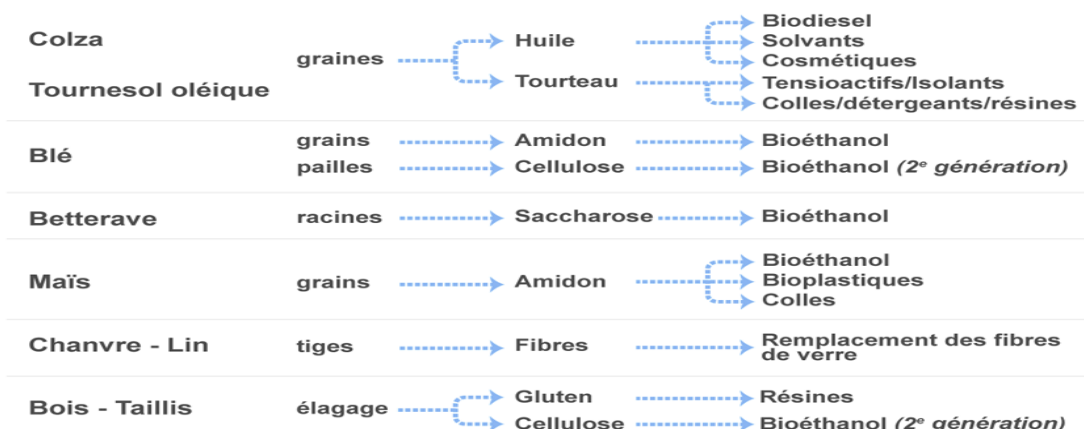


Figure I.21 : Processus d'obtention de biocarburant 1^{er} génération

La biomasse peut être aussi utilisée pour d'autres applications



Valorisation de la biomasse sous d'autre forme

I.4.2 Avantages et inconvénients de la biomasse

Les avantages

- C'est une matière première qui est renouvelable. Elle peut être produite indéfiniment en l'utilisant raisonnablement et de façon durable.
- Biodégradable rapidement
- Produits issus de la biomasse sont souvent non-toxiques.
- Elle dégage autant de CO₂ qu'elle n'en absorbe (les plantes absorbent du CO₂ lors de la photosynthèse)
- La biomasse est l'une des énergies renouvelables les plus rentables
- La biomasse est disponible partout
- La biomasse peut être transformée en différentes sources d'énergie.

Les inconvénients

- Leur rendement énergétique est assez faible.
- Pour produire de l'énergie biomasse il faut occuper des terres arables et donc baisser la production agricole.
- Dégage du CO₂
- Une surexploitation de la biomasse peut entraîner une déforestation importante et donc un danger pour l'environnement.
- Provoque la pollution des eaux et des sols
- Les coûts et les impacts du transport pour amener le bois là où la ressource manque.

I.5 Energie géothermique

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 et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches.

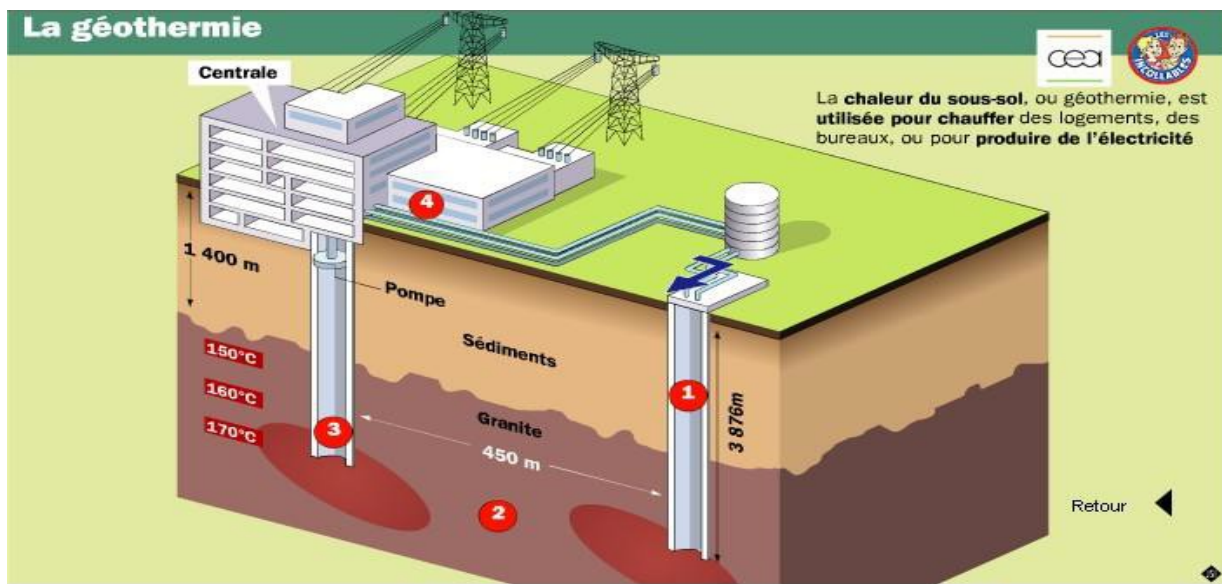


Figure I.22 : Centrale géothermique

I.5.1 Description des différents systèmes géothermie :

Il existe trois types de système géothermique :

I.5.1.1 Géothermie à haute énergie :

La géothermie haute énergie concerne des gisements de vapeur sèche ou humide (mélange entre eau et vapeur), pour des températures comprises entre 150°C et 350°C. Ces gisements se trouvent généralement à des profondeurs allant de 1 000m à 3 000m sous les zones de volcanisme, ou de limites de plaques.

Des gisements de vapeur sèche sont donc exploités où la vapeur ainsi puisée va passer directement dans des turbines pour produire de l'électricité. En cas de vapeur humide, l'eau va précédemment passer dans un système permettant de séparer l'eau à l'état liquide de l'eau à l'état vapeur qui peut ensuite circuler

dans les turbines. Cette vapeur peut ensuite être réinjectée, si l'installation le permet. Le Figure ci-dessous montre cette technique

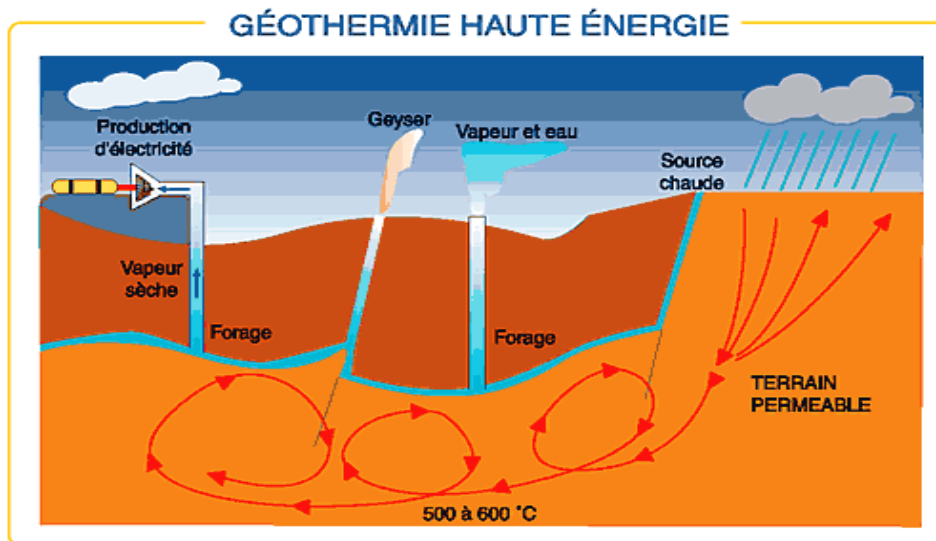


Figure I.23 : Exploitation géothermique à haute énergie

I.5.1.2 Géothermie à moyenne énergie :

La géothermie moyenne énergie concerne des gisements d'eau liquide dont la température se situe entre 90°C et 180°C. On trouve des gisements de ce type à moins de 1 000m de profondeur dans les zones volcaniques ou entre 2 000m et 4 000m de profondeur dans des zones à gradient géothermique (quasi-normal, généralement dans des bassins sédimentaires.)

Cette eau, n'étant pas assez chaude pour être vapeur, donc produire de l'électricité, et trop chaude pour chauffer (il est inutile de prélever une eau à 100°C pour chauffer à 30°C), on crée une dépression dans une enceinte fermée, afin que l'eau s'évapore et qu'on puisse la faire passer dans une turbine pour produire de l'électricité : c'est la technologie du cycle binaire. Cette technique a un gros inconvénient : le phénomène de cavitation peut se produire. En effet, en cas de décompression trop brusque, des bulles de vapeur peuvent se former dans l'eau (exactement comme lorsqu'on ouvre une bouteille d'eau gazeuse). Ces bulles d'eau peuvent imploser, augmentant ainsi brusquement la pression et la température au niveau de cette bulle. Ces augmentations peuvent provoquer des dégâts aux installations géothermiques. Pour éviter ce phénomène, l'eau est généralement remplacée, pour une eau à température inférieure à 140°C, par un fluide frigorigène, s'évaporant à moindre température, directement transformé en vapeur et par conséquent, la cavitation ne peut pas avoir lieu. Ce fluide passe ensuite dans des turbines pour produire de l'énergie. Pour ce type d'installation, il est évident que l'on n'injecte pas le fluide frigo-

frigène dans le sous-sol terrestre. Ce fluide circule dans un circuit fermé passant par un échangeur thermique. L'eau géothermale est puisée puis donne son énergie au fluide frigorigène avant d'être réinjectée (la réinjection est généralement effectuée pour ce type d'installation).

I.5.1.3 Géothermie à basse énergie :

La géothermie basse énergie concerne des gisements dont la température est comprise entre 30°C et 100°C. Ce type de gisements se trouve entre 1 000m et 2 500m de profondeur dans des bassins sédimentaires de grande dimension. Cette technique est illustrée par le Figure ci-dessous. L'eau géothermale est principalement utilisée pour le chauffage. Après extraction, elle cède son énergie, au moyen d'échangeurs thermiques à un circuit d'eau secondaire, puis est réinjectée (dans la majorité des cas). Ceci est dû au fait que l'eau extraite est généralement corrosive. L'eau circulant dans ce circuit secondaire est appelée eau géothermique (à la différence de l'eau extraite du sous-sol appelée eau géothermale ou fluide géothermal). Ceci est le cas général lorsque l'eau géothermale est assez pure pour circuler dans des radiateurs sans les corroder, elle ne passe pas par des échangeurs thermiques.

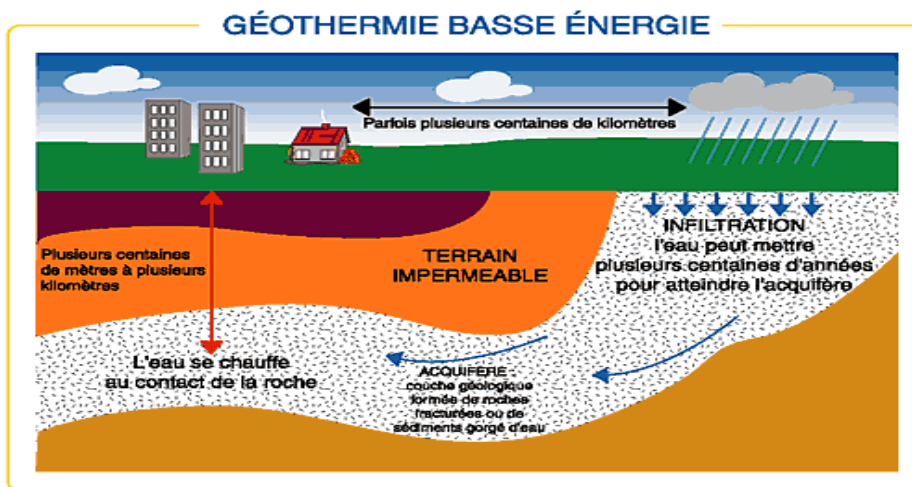


Figure I.24 : Exploitation géothermique à basse énergie

I.5.2 Différentes techniques d'exploitation

I.5.2.1 Procédé de captage de pompe à chaleur

➤ Le captage horizontal

Le procédé de captage le plus simple à mettre en œuvre et le moins cher est le captage horizontal. Des tuyaux de polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène sont enterrés horizontalement, de 60cm à 1,20m de profondeur avec un espacement entre les tuyaux de 40cm. Pour rappel, cette technique est

essentiellement utilisée chez les particuliers, donc cette installation se fait généralement dans les jardins des particuliers. Par conséquent, il est indispensable de ne pas planter d'arbres au-dessus des capteurs, pour éviter tout dégât à cause des racines. Il est nécessaire d'avoir 1,5 à 2 fois la surface à chauffer de surface extérieure pour que le chauffage soit efficace, auxquels il faut ajouter 25m² supplémentaires pour le chauffage de l'eau. Il faut donc un grand terrain. L'animation ci-dessous montre ce procédé de captage et la photo représente un capteur horizontal.

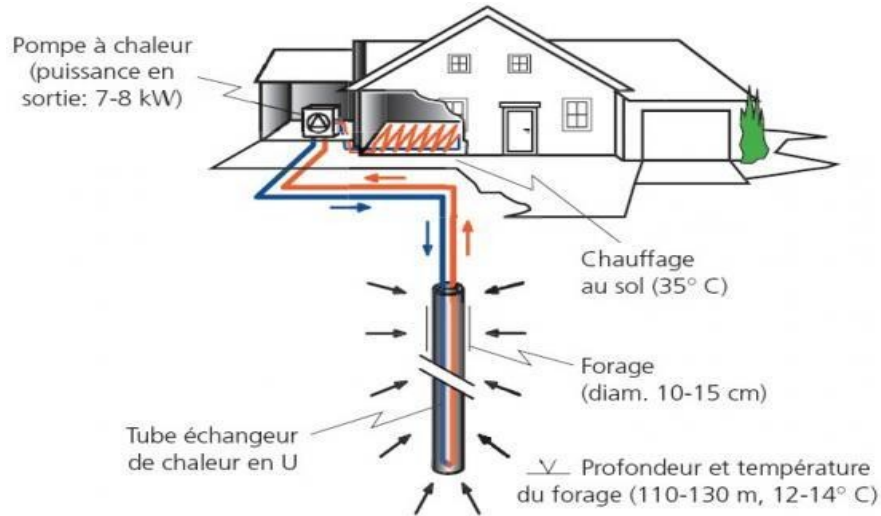


Figure I.25 : Pompe à chaleur système captage horizontal

➤ **Le captage vertical (ou plus communément sondes géothermiques)**

Si la surface est insuffisante, une autre solution existe : le captage vertical.

Deux sondes verticales sont enfouies profondément dans le sol (entre 70m et 100m de profondeur). Cette installation est plus chère, plus difficile à mettre en œuvre et a besoin d'une étude géologique du terrain pour pouvoir être mise en œuvre puisqu'il faut faire appel aux compétences d'un foreur professionnel et que l'on peut rencontrer toutes sortes de roches et de canalisations sur une profondeur aussi grande.



Chauffage d'une maison familiale avec une sonde géothermique couplée à une pompe à chaleur

Figure I.26 : Système de captage vertical

➤ **Le pompage sur nappe phréatique**

Encore un système de captage pour pompes à chaleur : le pompage sur nappe phréatique.

Si une nappe phréatique se trouve à faible profondeur, il est possible, avec l'accord des mêmes autorités de pomper de l'eau pour faire fonctionner les pompes à chaleur.

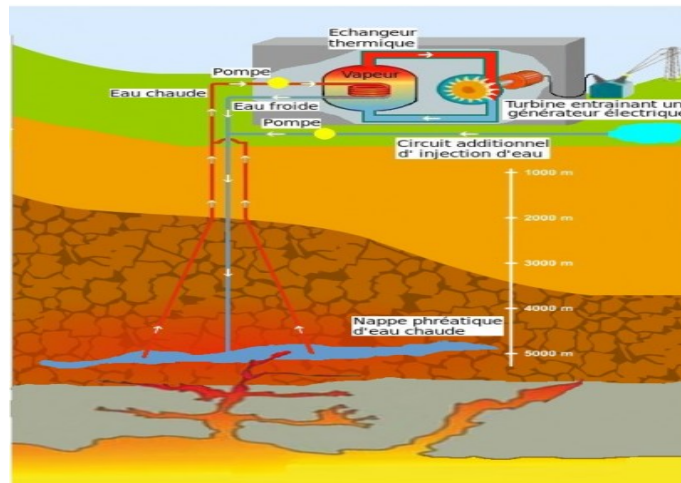
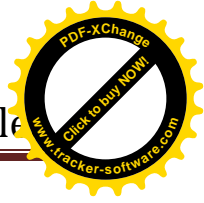


Figure I.27 : Pompage sur nappe phréatique



I.5.2.2 Géothermie des tunnels et des mines

Les tunnels drainent de l'eau, qui pour la plupart du temps, est évacuée par des tuyaux et rejetée dans les rivières ou autres. Cette eau atteint une température comprise entre 20 et 40°C ce qui est tout à fait exploitable du point de vue géothermique. Les débits des eaux extraites sont élevés entre 360 et 18 000 litre par minute, permettant ainsi d'envisager de chauffer des bâtiments par réseau de chaleur.

Cette partie de la géothermie est encore sous-exploitée

I.5.2.3 Forage

Un forage, c'est un « trou » fait dans le sol.

La technique du forage utilisée dépend de sa profondeur ainsi que de la nature des terrains (durs ou meubles, cavités souterraines ...). La technique de forage diffère selon l'énergie que l'on cherche à capter :

- Si elle est contenue dans le sol, on forera afin de former une sonde géothermique.
- Si c'est l'aquifère qui la contient, il faudra incorporer au forage une pompe pour faire remonter le fluide colporteur.

Deux principaux types de forage sont utilisés :

- ✓ Tout d'abord, le forage à marteau fond de trou (MFT) : il utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation. Celui-ci est actionné par de l'air comprimé, à haute pression (10-25 bars), ce qui permet la remontée des déblais de forage. Ce procédé est très efficace en terrains durs et homogènes jusqu'à 300 mètres et limite la pollution. Cependant, on ne peut l'utiliser avec des terrains non consolidés, comme par exemple le sable et l'argile.
- ✓ Ensuite, le "forage rotary" : Le principe est ici d'utiliser un outil qui détruit les roches sous l'effet du poids et de la rotation. Le poids est en fait assuré par un ensemble de tiges, lourdes et creuses, assemblées en un train qui chemine sous pression les boues de forage. Cela refroidit l'outil, et permet ainsi la remontée des déblais. Ensuite, on crée un tubage en coulant du ciment ainsi qu'une protection contre la corrosion qui sert également à la sauvegarde des nappes phréatiques et à leur isolation thermique.

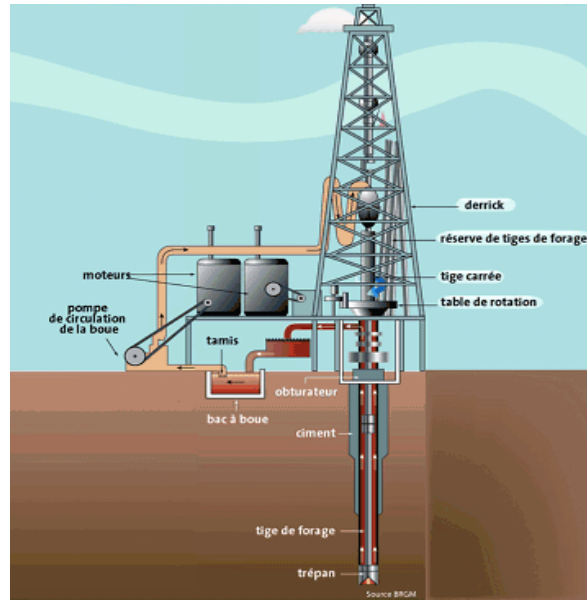


Figure I.28 : Système géothermique à forage

I.5.2.4 Doublet géothermique

En général le principe du « doublet géothermique » est retenu pour augmenter la durée de vie de l'exploitation de la nappe phréatique dans laquelle on puise l'eau chaude. Le principe est de faire deux forages : le premier pour puiser l'eau, le second pour la réinjecter dans la nappe. Un forage de production amène de l'eau thermique chaude à la surface au moyen d'une pompe immergée ; un échangeur de chaleur ainsi qu'une pompe à chaleur disposée en aval permettent d'obtenir la température de chauffage désirée. Le circuit de chauffage alimente le consommateur par une conduite de chauffage à distance. L'eau refroidie est restituée à l'aquifère par un forage d'injection.

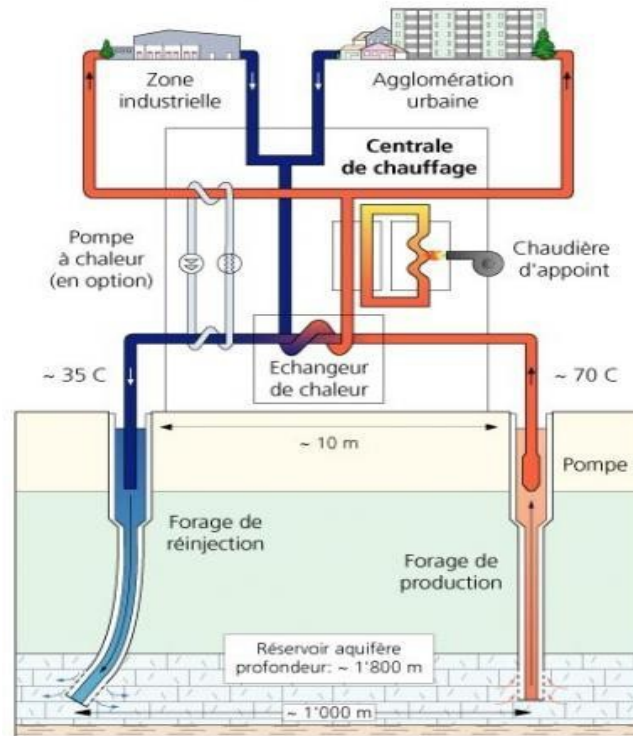


Figure I.29 : Système à doublet géothermique

I.5.3 Avantages et inconvénients

Avantages

- Une énergie propre

(Très peu de gaz à effet de serres émis).

- Une énergie renouvelable

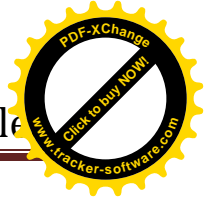
(Avec un dimensionnement adapté).

- Une énergie locale.
- Une énergie maîtrisée.
- Un prix de revient avantageux

(Un investissement couteux mais vite amorti).

Inconvénients

- Cout des installations élevées ;
- Difficulté d'accessibilité ;
- Il faut être prudent vis à vis du terrain pour le forage ;
- Dégagement des faibles vapeurs de soufre ;



- Elle n'est pas 100% renouvelable parce que elle nécessite un générateur donc de l'électricité

I.6 Energie marine

Les énergies marines dépendent des ressources naturelles des eaux de la mer et des océans. Elles permettent de produire de l'électricité grâce aux flux naturels d'énergie des courants et des marées, et à la matière marine, exploités dans différents types d'installations.

L'eau recouvre en grande partie notre planète, principalement à travers les mers et les océans. Elle constitue donc une source d'énergie importante, aujourd'hui encore peu exploitée.

Les énergies marines n'émettent aucun gaz à effet de serre et leur matière première est disponible dans de nombreux pays du monde.

I.6.1 Différentes sources d'énergie marine

I.6.1.1 Energie des marées

Dans une usine marémotrice, la force du flux et du reflux de la marée est utilisée pour produire de l'électricité en temps réel.

Le fonctionnement d'une usine marémotrice est un peu identique à celui d'une centrale hydroélectrique de basse chute :

- En montant et en descendant, la marée fait tourner des turbines.
- Les turbines font à leur tour fonctionné un alternateur qui 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 très haute et haute tension.

I.6.1.2 Energie des courants marins

L'énergie des courants marins est captée pour produire de l'électricité grâce à des hydroliennes, comme les éoliennes le font avec la force des vents.

Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne :

- La force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices.
- L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transmise à un alternateur.
- L'alternateur produit de l'énergie électrique, acheminée par des câbles sous-marins jusqu'au rivage.

Ce mode de production d'énergie possède de nombreux atouts :

- il est prévisible : les marées, donc le mouvement des courants, peuvent être calculées à l'avance
- il occupe peu d'espace : du fait de la densité de l'eau, les machines peuvent donc être plus compactes
- il possède un gros potentiel du fait des courants qui baignent les côtes de nombreux pays dans le monde

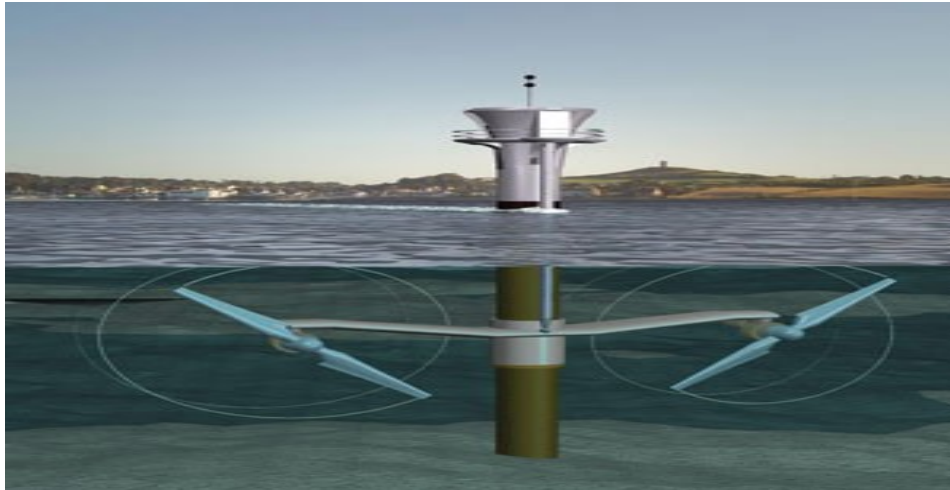


Figure I.30 : Hydrolienne

I.6.1.3 Énergie des vagues (houlomotrice)

Les vagues transportent de l'énergie cinétique : lorsqu'elles rencontrent un obstacle, comme une installation houlomotrice flottant à la surface de l'eau, elles lui cèdent une partie de cette énergie, transformable en électricité.



Figure I.31 : Pelamis

I.6.1.4 Energie thermique, née des différences de chaleur

La température de l'eau n'est pas la même à la surface qu'en profondeur. L'utilisation de générateurs thermoélectriques permet de transformer l'énergie thermique en énergie électrique.

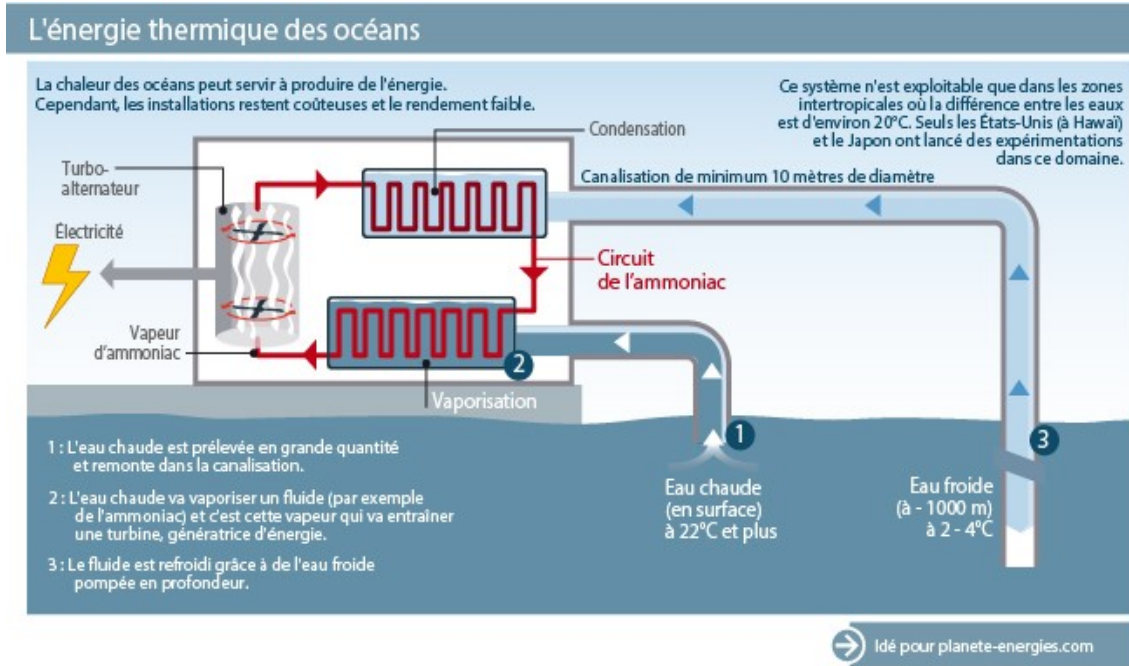


Figure I.32 Principe de l'énergie thermique de la mer

I.6.1.5 Energie osmotique

L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce, les deux natures d'eau étant séparées par une membrane semi-perméable. Elle consiste à utiliser une hauteur d'eau ou une pression créée par la migration de molécules d'eau à travers ladite membrane. La pression d'eau en résultant assure un débit qui peut alors être turbiné pour produire de l'électricité.

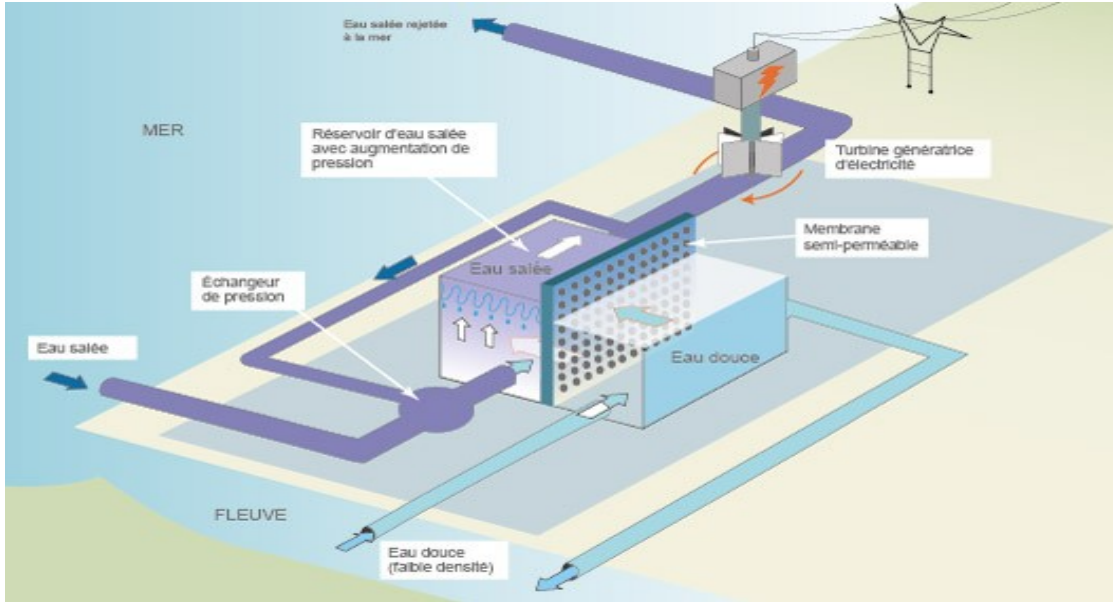


Figure I.33 : centrale de production d'énergie osmotique

I.6.2 Avantages et inconvénients

avantages

L'énergie marine, comme les autres énergies renouvelables, est une énergie respectueuse de l'environnement.

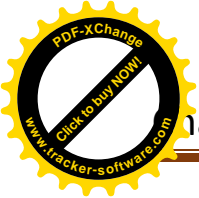
Les hydroliennes sont plus petites que les éoliennes et ne font pas de bruit

Inconvénients

- La corrosion des matériaux due à la salinité des eaux
- Coût très élevés des installations et de la maintenance
- Impact environnemental sur les paysages en milieu marin

Conclusion

Les énergies renouvelables sont une source d'énergie inépuisable, peu polluantes donc respectant la nature. Mais on rencontre 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.



Introduction

Une installation photovoltaïque est un équipement (ensemble d'éléments) qui permet de transformer directement l'énergie reçue du soleil en électricité (continu) à l'aide d'un module photovoltaïque, l'énergie produite peut-être stockée dans des batteries ou directement injecter dans le réseau électrique.

II.1 Energie solaire

II.1.1 Géométries Terre-soleil

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1 391 000 Km. Il est situé à une distance moyenne de 149 598 000 Km de la terre. Composé de matière gazeuse, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium, il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 10^7 K. [1]

II.1.2 Constante solaire

Une surface plane d'un mètre carré perpendiculaire au rayonnement solaire et située à la limite de l'atmosphère terrestre reçoit une puissance rayonnée fonction de la distance Soleil-Terre. Cette distance variant quelque peu au cours de l'année compte tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre, il est de même de la puissance reçue par la surface en question. Aussi appelle-t-on constante solaire, notée C^* , la valeur moyenne du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre. On a [2] :

$$C^* = 1353 \text{W/m}^2$$

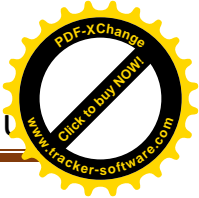
II.1.3 Eclairement solaire

L'éclairement correspond à la puissance solaire reçue par une surface plane élémentaire, appelée capteur. On distingue l'éclairement dû aux rayons solaire directs et celui dû au rayonnement solaire diffusé par le ciel ou réfléchi par une surface (sol, un mur...). Cet éclairement dépend de l'orientation de la surface par rapport au soleil et son unité est : W/m^2 .

II.1.3.1 Eclairement direct

Considérons un capteur élémentaire incliné d'un angle i par rapport à l'horizontal et orienté d'un angle γ par rapport au sud. L'éclairement direct S^* est la composante, normal au capteur, de l'éclairement solaire I^* . [2]

$$S^*(i, \gamma) = I^* \cdot [\sin(i) \cdot \cos(h) \cdot \cos(a - \gamma) + \cos(i) \cdot \sin(h)] \tag{II-1}$$



II.1.3.2 Eclairement diffus

Lorsque le capteur est horizontal (i=0), il reçoit le rayonnement diffusé par le ciel D_h^* .

S'il est incliné d'un angle i, il voit moins le ciel mais par contre reçoit du sol une fraction de la quantité $a^* \cdot G_h^*$ ou a^* est l'albédo¹ du sol pour le rayonnement solaire. [2]

$$D^*(i) = \left(\frac{1+\cos(i)}{2}\right) \cdot D_h^* + \left(\frac{1-\cos(i)}{2}\right) \cdot a^* \cdot G_h^* \tag{II-2}$$

II.1.3.3 Eclairement global

C'est la somme de l'éclairement direct et diffus.

$$G_h^* = S^* + D^* \tag{II-3}$$

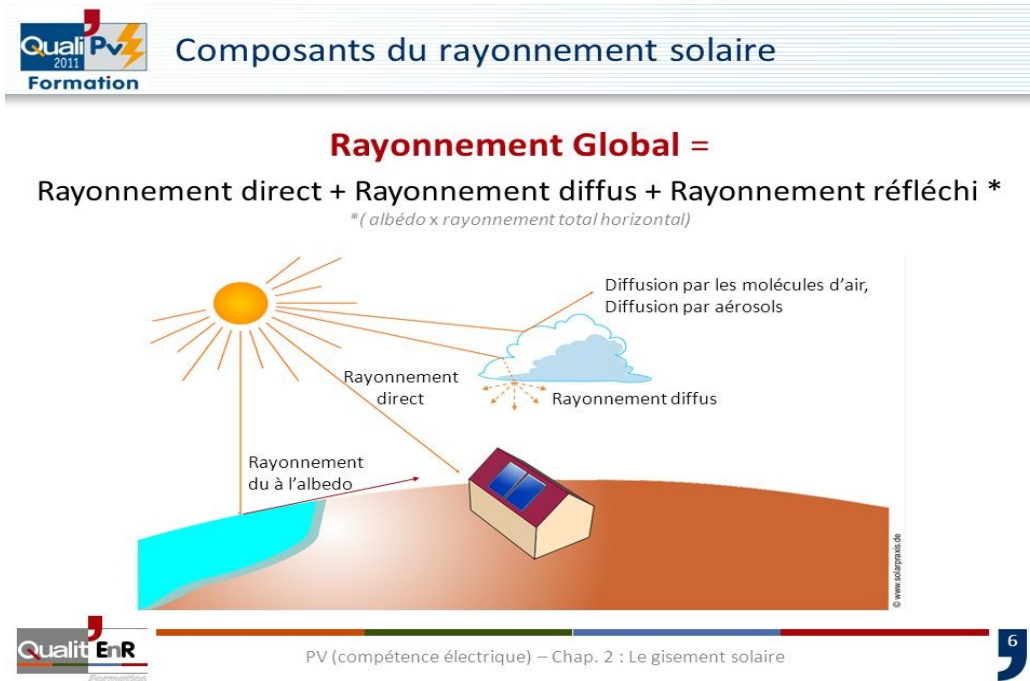


Figure II.1 : Rayonnement global

II.2 Principes de calcul de l'énergie solaire

II.2.1 Déclinaison

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés est donnée par l'équation de Cooper [3].

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \tag{II-4}$$

Où :

n est le numéro de jour dans l'année (c.-à-d. n = 1 pour le 1^{er} janvier, n = 32 pour le 1^{er} février... etc.).

La déclinaison varie entre -23.45° (le 21 décembre) et +23.45° (le 21 juin). (Voir Figure

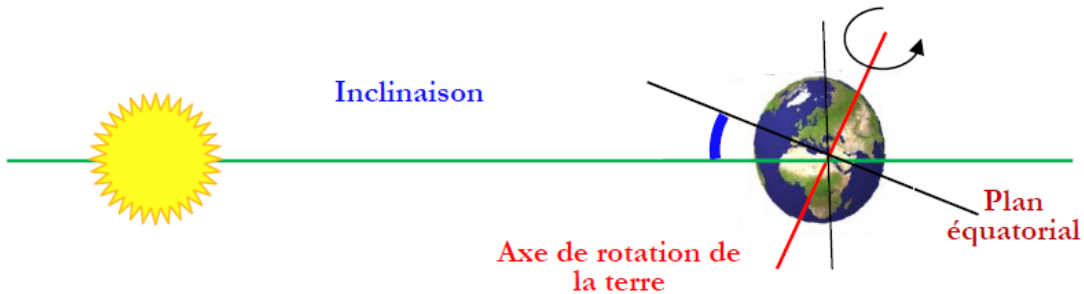


Figure II.2 : Représentation du mouvement de la terre autour du soleil [4].

II.2.2 Temps solaire vrai

Le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (direction Nord-Sud) a été nommé temps solaire vrai, on note **TSV**. Le temps solaire vrai est donc un temps local puisqu'il est lié directement à la rotation de la terre sur elle-même.

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \tag{II-5}$$

II.2.3 Durée et le taux d'insolation

Par ciel clair et pendant la durée de jour d'ensoleillement S_0 (de lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal. Mais la durée effective d'ensoleillement S d'une journée ordinaire est inférieure à cette durée maximale.

Le taux d'insolation est donné par l'expression

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \tag{II-6}$$

La durée maximale S_0 est calculée par l'expression suivante :

$$S_0 = \left(\frac{2}{15}\right) \cos^{-1}(-\tan \psi \cdot \tan \delta) \tag{II-7}$$

Avec :

δ : La déclinaison

ψ : L'attitude du lieu



II.2.4 Angle horaire (ω)

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local.

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures).

II.2.5 Position du soleil

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

- La hauteur de soleil (h) : angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal. Cette angle s'annule au lever et au coucher du soleil et prend sa valeur maximale au midi solaire.

(h) peut être déduite par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\psi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \tag{II-8}$$

L'angle horaire ω_0 au lever de soleil s'obtient en écrivant $\sin(h)=0$.

$$\cos \omega_s = -\tan(\psi) \cdot \tan(\delta) \tag{II-9}$$

Où (δ) la déclinaison et (ψ) la latitude du lieu.

Azimut du soleil (a) : Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud.

Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)} \tag{II-10}$$

Ces deux angles sont représentés sur la figure

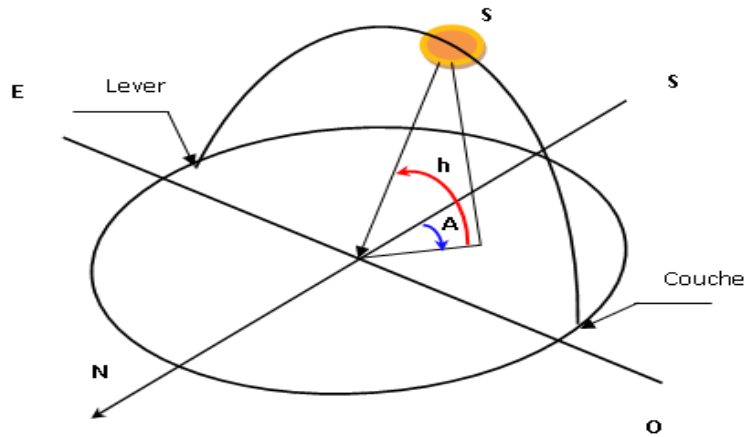


Figure II.3 : Différentes positions du soleil

II.3 Effet photovoltaïque

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de la lumière en électricité. [5]

II.3.1 Principe de l'effet photovoltaïque

Une photopile est constituée d'un matériau absorbant l'énergie des photons et la transformant en énergie électrique.

Dans le schéma simple d'un matériau à deux niveaux d'énergie, un électron possédant l'énergie E_1 appartient à la bande de valence et se trouve lié à l'atome. S'il reçoit une énergie (sous forme d'un photon par exemple) qui lui permet d'atteindre le niveau E_2 , énergie correspondant à la bande de conduction, il devient libre et peut alors participer à un courant électrique. Cette énergie, nécessaire pour que l'électron devienne libre, est notée E_g . On la donne le plus souvent en électron volt (eV). On a :

$$E_g = E_2 - E_1 \tag{II-11}$$

On appelle largeur de *bande interdite* cet écart énergétique entre la bande de valence et la bande de conduction. La tension de sortie du générateur élémentaire est donnée par E_g/q ou q est la charge de l'électron.

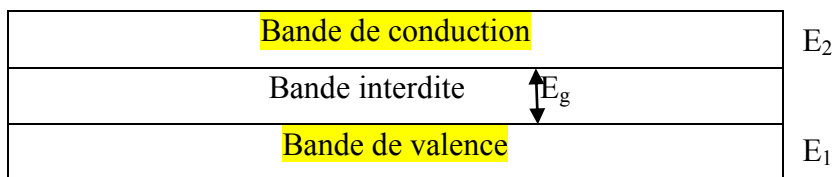
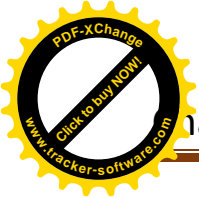


Figure II.04 : Caractéristiques des trois bandes d'un matériau semi-conducteur.



Si on choisit un matériau ayant une largeur de bande interdite étroite, cela favorisera le déplacement des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction mais alors la tension aux bornes de la cellule élémentaire sera faible. C'est le cas des matériaux.

Si par contre on choisit un matériau ayant une largeur de bande de valence interdite élevée, les électrons auront du mal à se libérer de la bande de valence et aucun courant n'apparaîtra. C'est le cas des isolants électriques ($E_g > 5 \text{ eV}$). Le cas des semi-conducteurs est un compris qui permet d'obtenir un courant sous une tension acceptable.

Tableau II.01 : Valeurs de la bande interdite pour différents semi-conducteurs.

Matériau	$E_g \text{ eV}$
Germanium Ge	0,67
Silicium Si	1,11
Arséniure de gallium GaAs	1,35
Sulfure de cadmium CdS	2,40

Mais pour qu'un électron libéré par l'absorption d'un photon participe à un courant utile, faut-il encore le *canaliser*, le collecter ; c'est le rôle de la dissymétrie électrique que l'on obtient par création d'une jonction entre deux semi-conducteurs dopés différemment.

Ainsi du silicium tétravalent dopé par du phosphore pentavalent fournit un matériau du type N dans lequel des électrons restent libres. Ce même silicium dopé avec du bore trivalent donnera un matériau de type P dans lequel apparaîtra une lacune d'électrons. Le contact entre ces deux types de silicium fournit une jonction où règne un champ électrique E qui oriente sélectivement les porteurs positifs et négatifs. Ceux-ci donnent alors naissance à un courant.

Un photon, de longueur d'onde λ , possède une énergie E_λ telle que :

$$E_\lambda = \frac{h.c}{\lambda} \tag{II-12}$$

Avec h constante de Planck ($h=6,626.10^{-34} \text{ J.s}$)

Et c vitesse de la lumière ($c=299\ 792\ 458 \text{ m/s}$).

Si cette énergie est inférieure à l'énergie E_g de la bande interdite, il ne produira pas de paire électron-trou. On peut donc définir une longueur d'onde de coupure λ_c donnée par l'égalité suivante :

$$\lambda_c = \frac{h.c}{E_g} \tag{II-13}$$

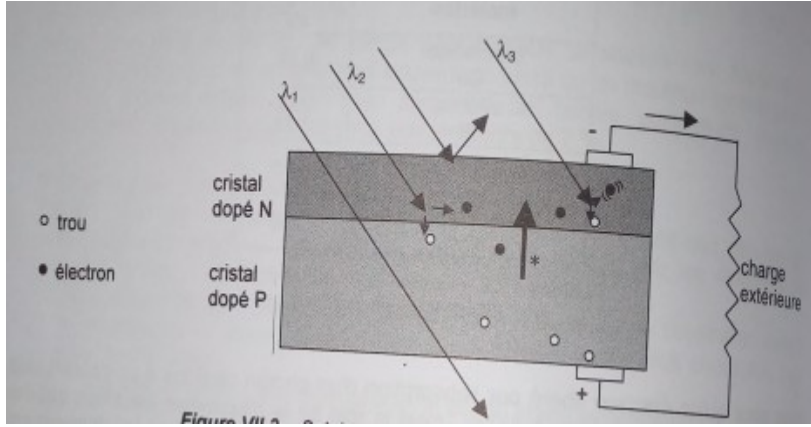


Figure II.4 : Principe de fonctionnement d'une photopile

Les photons dont la longueur d'onde λ_2 est égale à la longueur d'onde de coupure λ_c créent une paire électron-trou qui diffusera vers la zone de charge d'espace (jonction) ou le champ électrique séparera les charges. Les photons de grande longueur d'onde $\lambda_1 > \lambda_c$ traverse la photopile sans effet photovoltaïque tandis que les photons de coute longueur d'onde $\lambda_3 < \lambda_c$ créent une paire électron-trou le surplus d'énergie étant transformé en chaleur.

Cette longueur d'onde se trouve dans le proche infrarouge. Les parties visibles et ultraviolettes du spectre solaire participent à la création d'un photocourant, ce qui ne pas le cas de la plus grande partie de l'infrarouge.

II.4 Technologies des cellules solaires

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. En réalité, il existe aujourd'hui deux principales filières technologies : le silicium cristallin et les couches minces. Ces filières se partagent le marché comme l'indique la figure II.5

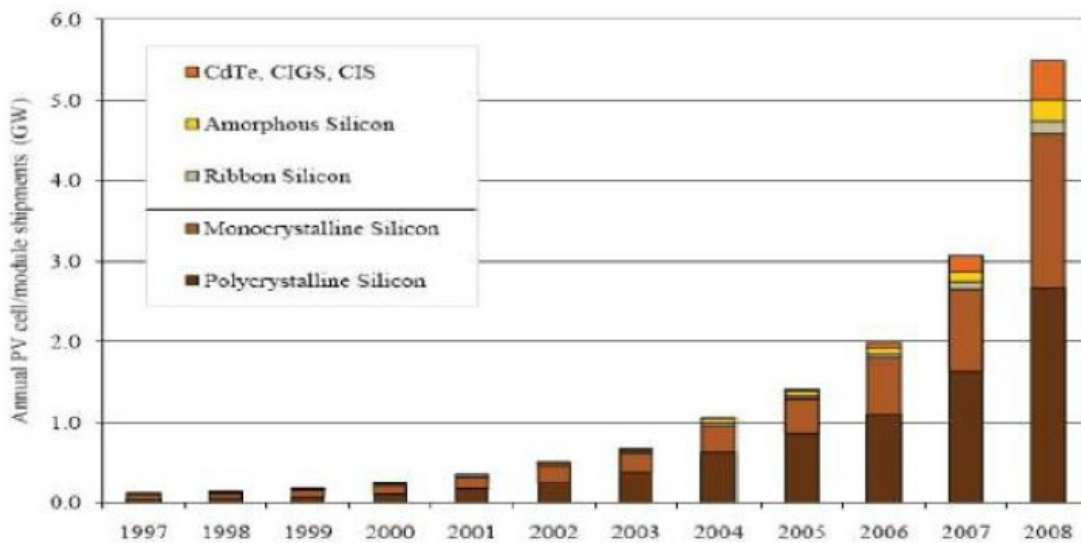
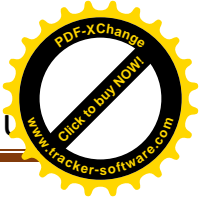


Figure II.5 : Evolution de la production mondiale des différentes technologies de cellules PV

Ces technologies coexistent sur le marché dans des proportions équivalentes depuis de nombreuses années malgré leurs prix. L'augmentation du rendement focalise particulièrement l'intérêt des chercheurs.

II.4.1 Filière silicium :

L'un des éléments les plus abondants sur Terre, ayant une stabilité parfaite et ne possédant aucune toxicité, le silicium représente près de 90 % du marché mondial et permet d'atteindre les meilleurs rendements commerciaux.

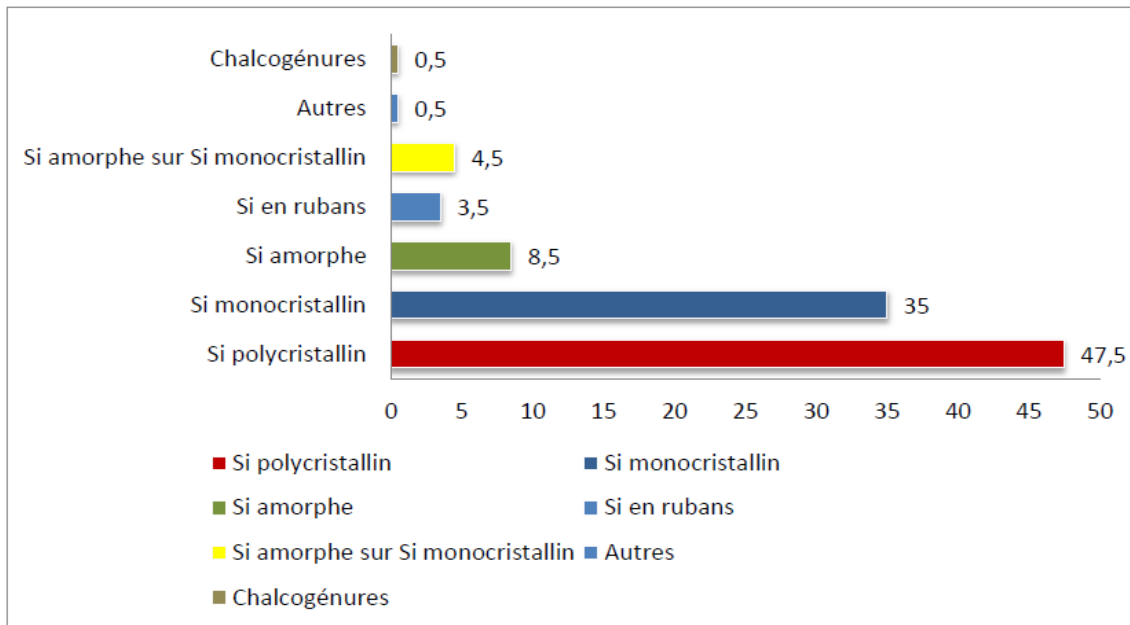


Figure II.6 : Répartition des matériaux sur le marché mondial du photovoltaïque

Cette filière comporte trois catégories : le silicium monocristallin, le silicium poly cristallin et le silicium amorphe. [6]

II.4.1.1 Silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en générale d'un bleu uniforme, intense et brillant. Elles sont utilisées, mais ne sont pas majoritaires sur le marché de l'énergie photovoltaïque.

Le rendement du silicium monocristallin est plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son cout élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multi cristallin [7].

II.4.1.2 Silicium multi cristallin

Le silicium multi cristallin (poly cristallin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisé (figure II.7). A elle seule elle représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par couplage de cristaux de silicium, ce qui rend sa structure hétérogène, son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin, il est compris entre 10 et 14% selon les fabricants. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, le coût de production sont donc plus faibles [7].



(a)

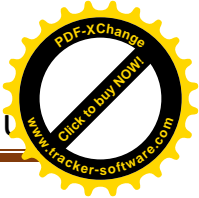


(b)

Figure II.7 : photos de cellules monocristallin (a) et multi cristallin (b)

II.4.1.3 Silicium amorphe

Le silicium intégré dans les cellules a-Si n'a pas fait l'objet d'une cristallisation. Ses atomes sont donc agencés sans réelle organisation, ce qui leur permet de mieux capter la lumière (par rapport au



silicium cristallin). Problème : les charges générées ont plus de difficultés pour se déplacer à cause de la désorganisation de la matière, ce qui se traduit par un mauvais coefficient de conversion. Par conséquent, leur rendement est faible.

La désorganisation atomique a d'autre conséquence : les électrons de valence des atomes de Si ne forment pas toujours des liaisons covalentes au sein du semi-conducteur. Il apparaît alors des liaisons pendantes qui peuvent agir sur les propriétés électroniques du matériau. Pour limiter ce phénomène, les couches de silicium régulièrement passivées de l'hydrogène (a-Si:H).des atomes d'hydrogène établissent des liaisons avec les électrons laissé libre resté libres, et réduisant ainsi le nombre de liaison pendantes.

II.4.2 Couches minces

D'autres familles de matériaux trouvent également leur place dans les technologies en couches minces exploitées à l'échelle industrielle du fait qu'elles possèdent de bons rendements qui peuvent atteindre 19%, le tellure de cadmium (CdTe) dont l'allemand First Solar est le leader mondial, le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) et de gallium (CIGS) qui partagent des qualités optiques procurant une très bonne absorption de la lumière, même en faible quantité [8].

II.4.2.1 Cellules organiques et plastiques :

La filière photovoltaïque organique (OPV), pour Organic Photovoltaics, sur couches minces utilise comme semi-conducteurs non plus du silicium, du CIGS ou du CdTe (utilisés encore pour la fabrication des cellules souples) mais des polymères transparents ou une macromolécule organique, comme un colorant organique. Présentant un coefficient d'absorption très élevé, les composants organiques peuvent être étendus sur de très faibles épaisseurs et des supports flexibles [3]. Le dépôt du polymère sur la cellule est réalisé soit par la voie des cellules dites « humides » soit par la voie des cellules polymères organiques dites cellules « plastiques ». La technologie relève à présent deux défis principaux : l'augmentation du rendement des cellules et l'allongement de leur durée de vie (environ 1000 heures) mais sans oublier qu'elle a un coût de fabrication plus économique car la matière première est-elle même bon marché et les quantités utilisées sont très faibles (rapport 1/1000 par rapport au silicium cristallin).

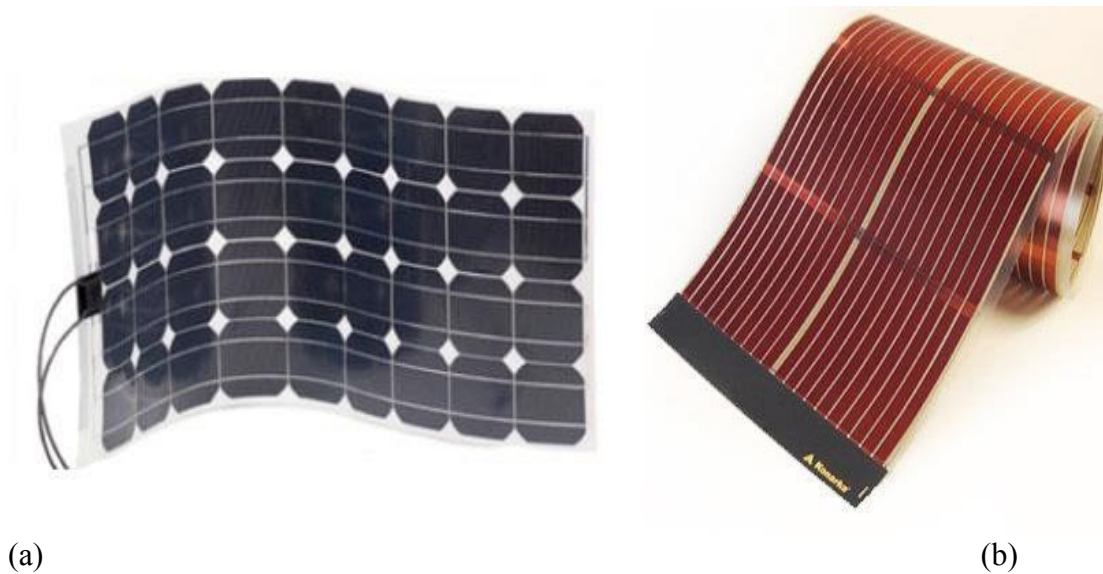


Figure II.8 : (a) cellule solaire OPV, (b) panneau photovoltaïque souple.

II.5 Principaux composants d'un système PV (voir figure II.9)

L'ensemble des cellules photovoltaïques reliées entre elles, constitue le module photovoltaïque. Plusieurs modules sont groupés pour former un système (ou une centrale) photovoltaïque qui comprend d'autres composants comme le régulateur, l'onduleur et la batterie pour un site isolé (autonome).

Afin de bien comprendre le fonctionnement d'un système photovoltaïque, il est utile d'en analyser les principaux composants (figure II.9). Les informations présentées ne se veulent pas exhaustives mais doivent permettre de comprendre le rôle et l'utilité de chacun des composants, ainsi que leur emplacement respectif

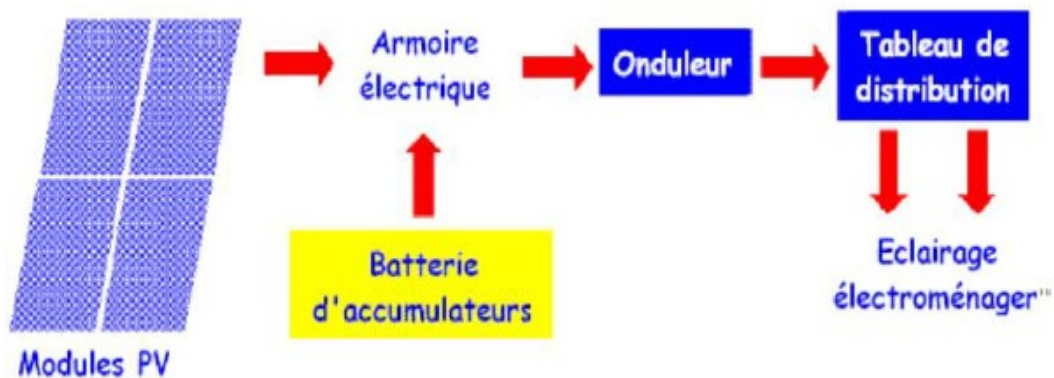


Figure II.9 : Schéma général d'une installation photovoltaïque

II.5.1 Module (capteurs)

Le champ solaire se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise (Figure II.10). Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



Figure II.10 : Panneau solaire [9]

Pour chaque champ on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, comme l'illustre la Figure II.11, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



Figure II.11 : Boîte de dérivation.



II.5.1.1 Types de panneaux [10]

a) Panneaux photovoltaïques orientables

Avec des panneaux orientables, on peut modifier l'inclinaison tous les mois, mais par facilité, on peut également choisir une inclinaison pour l'été, une autre pour l'hiver. On utilise généralement ce genre de structure pour des applications au sol ou sur des toits plats.

Pour ces systèmes à inclinaison variable, il existe un angle d'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, qui permet de maximiser la production d'électricité mensuelle.

b) Panneaux photovoltaïques fixes

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison de 25° dans notre cas. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie (ce qu'on appelle le Facteur de transposition qui tient compte de l'orientation et de l'inclinaison FT).

c) Panneaux photovoltaïques mobiles ou suiveur solaire

L'objectif du système de panneaux mobiles est de pouvoir suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté : une rotation horizontale pour régler l'azimut et une rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet aux panneaux photovoltaïques de suivre continuellement la position du soleil pour assurer une production électrique maximum. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes, d'environ 25%.

II.5.2 Système de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales [11] :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

On distingue trois types d'accumulateur ou batteries :

- les batteries au plomb
- les batteries au Nickel
- les batteries au lithium

II.5.3 Régulateur

II.5.3.1 Rôle de la régulation dans les systèmes photovoltaïques

Le régulateur assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation.

II.5.3.2 Principe de fonctionnement des régulateurs

Toute la régulation se fait grâce à la mesure de la tension aux bornes de la batterie. Une batterie déchargée possède une tension faible (autour de 11,4 V pour une batterie de 12 V), alors qu'une batterie chargée possède une tension forte (autour de 13,2 V). Le régulateur de charge doit donc avoir une lecture précise de la tension aux bornes de la batterie, afin de savoir si elle se trouve dans une période de fin de charge ou en fin de décharge. C'est pour cela que l'on place toujours le régulateur à proximité des batteries, pour éviter les chutes de tension dues à la distance et pour pouvoir prendre en compte la température environnante

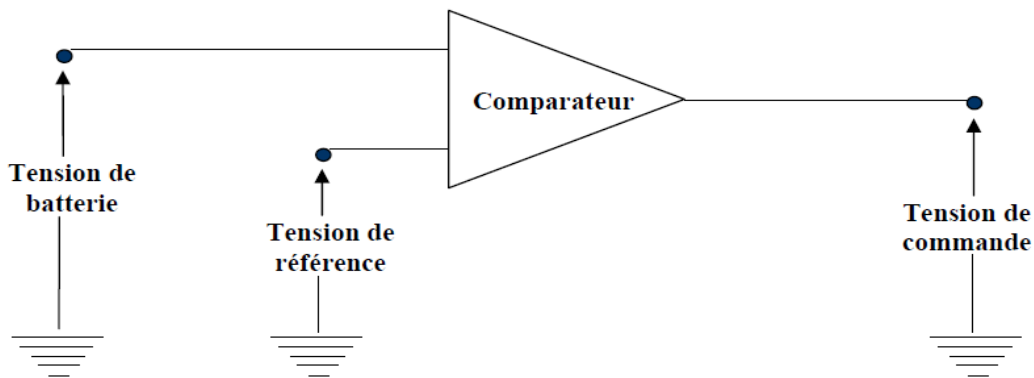
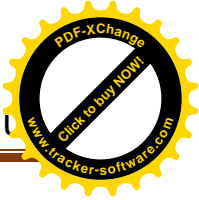


Figure II.12 : Schéma de principe d'un régulateur de charge

a) Les régulateurs de charge parallèle (shunt)

Le régulateur shunt est bien adapté aux petits systèmes. En fin de charge, il court-circuite le module (il "shunte" le module) afin que la batterie ne reçoive plus de courant et ne soit pas en surcharge. Le courant excédentaire est ainsi dirigé vers une résistance qui dissipe l'énergie produite sous forme de chaleur. [12]

**b) Le régulateur de charge série**

Contrairement au régulateur shunt qui dérive le courant vers une résistance, le régulateur série stoppe la circulation du courant en ouvrant le circuit électrique. Les modules restent sous tension, mais les batteries sont à l'abri de la surcharge. Il s'agit également d'une technologie ancienne peu performante. Elle ne permet pas non plus de recharger les batteries au-delà de 70% de leur capacité. [12]

c) Régulateur PWM

Le régulateur PWM (Pulse With Modulation) ou MLI (Modulation en largeur d'impulsion) est un régulateur de génération plus récente qui a permis d'améliorer la recharge des batteries en passant de 70% (avec les anciens régulateurs de type shunt et série) à 100% de leur capacité. [12]

d) Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Régulateur MPPT ou un tracker MPPT est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire.

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Ceci permet de garantir une récupération maximum d'énergie, quelque soient la température et l'ensoleillement. Ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension. Un premier circuit ajuste la demande au point de puissance maximale de l'ensemble des panneaux et le deuxième circuit transforme le courant et la tension pour les adapter au type de batterie. [12]

II.5.4 Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif). L'onduleur est généralement associé à un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil.

II.5.4.1 Le convertisseur continu -continu

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal.



Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point Tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%. Ce système présente deux inconvénients pour un système PV de faible puissance :

- Prix élevé ;
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.

II.5.4.2 Convertisseur continu- alternatif (onduleur)

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. C'est un appareil électronique de haute technologie conçu pour répondre à toutes les exigences du réseau, comme la qualité, la sécurité et la fiabilité, et pour permettre un contrôle parfait du fonctionnement.

II.5.5 Charge

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système, pouvant être de type continu comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, ou de type alternatif dans les cas d'usage domestique (maison solaire), ce cas nécessite un onduleur.

II.6 Installation du générateur PV

Orientation et inclinaison du générateur PV

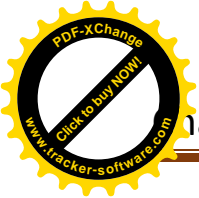
Il est important que les modules soient orientés plein sud pour capter l'énergie quotidienne maximale, quelle que soit la saison. Pour cela, le sud magnétique peut être déterminé à l'aide d'une boussole.

L'inclinaison est le second paramètre important. Elle est principalement choisie en fonction du profil de consommation tout au long de l'année.

Une inclinaison faible par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'été.

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été.

Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été [14]



II.7 Comment augmenter les performances d'une installation photovoltaïque ?

Les performances des panneaux solaires dépendent avant tout du type de cellules photovoltaïques utilisées, ainsi que de la marque. Mais vous pouvez augmenter leur rendement grâce à trois éléments :

- L'orientation des panneaux ;
- La suppression des zones ombragées ;
- L'installation d'équipements spécifiques

II.8 Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque

Avantages

L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville

L'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite

Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût

La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voire de générer des revenus

Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes

L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire

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

Inconvénients

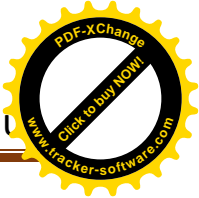
Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé

Le rendement réel de conversion d'un module est faible

Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente

Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante

Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans). [15]

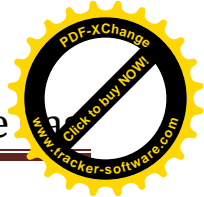
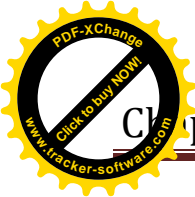


Conclusion

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.

Aussi pour capté le maximum d'énergie les générateurs doivent être orientés plein sud, l'inclinaison par rapport à l'horizontale est aussi un facteur très important, elle varie selon les saisons et le moment de la journée.

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



Introduction

Pour la réalisation d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement reste une étape indispensable.

Dimensionner un système PV c'est déterminer en fonction de sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne PV, à savoir, la taille du générateur, la capacité de stockage, voire même l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation.

Dans ce chapitre nous allons essayer de dimensionner une installation photovoltaïque autonome dans la willaya de Tamanrasset pour une maison à l'aide du logiciel PVsyst et par la suite nous interpréteront les résultats obtenus.

III.1 Présentation du logiciel PVSYST

PV SYST est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir de diverse informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète.

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement, le premier est une application de pré-dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible au néophyte et le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètres ; de plus, il est basé sur du matériel concret pour ces calculs, contrairement au premier mode qui effectue des calculs pour un cas très général.

Pour chacun des deux modes, le principe est le même : 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.

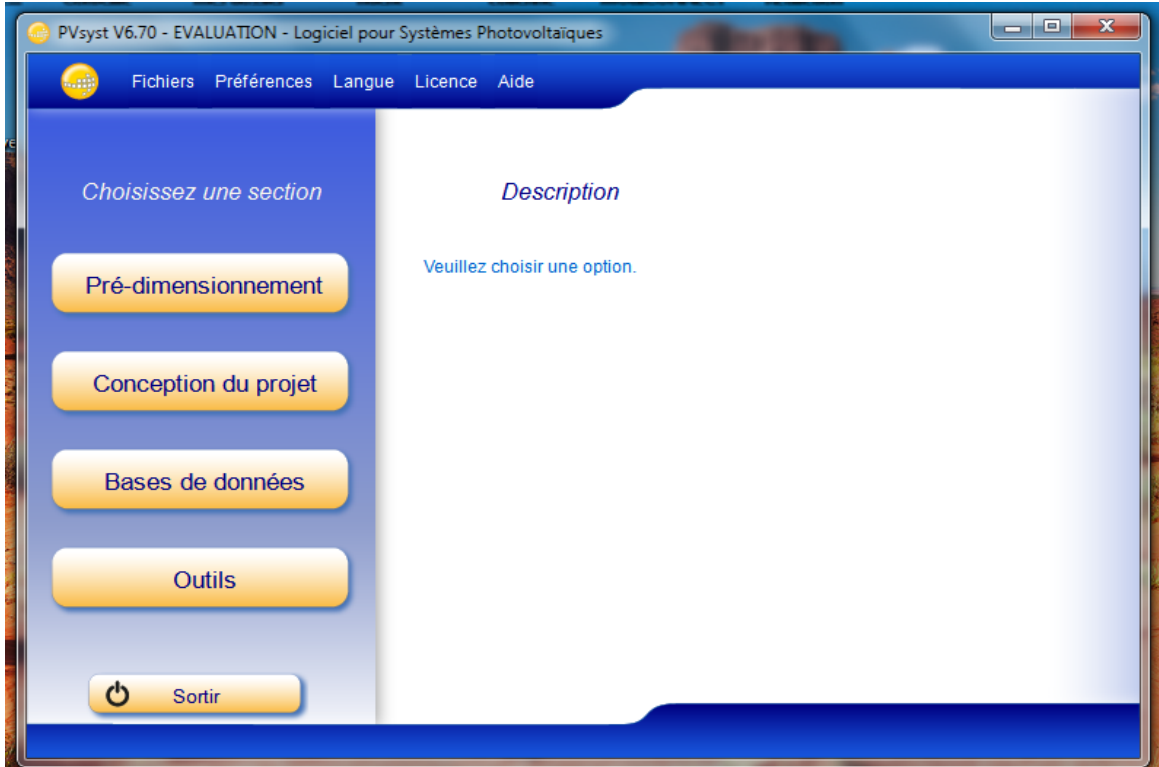


Figure III.01 : Interface du logiciel

III.2 Site d'implantation(voir tableau III.01)

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

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

Caractéristiques Site	Latitude [°]	Longitude [°]	Altitude [m]
Tamanrasset	22.47 Nord	5.31 Est	1 400

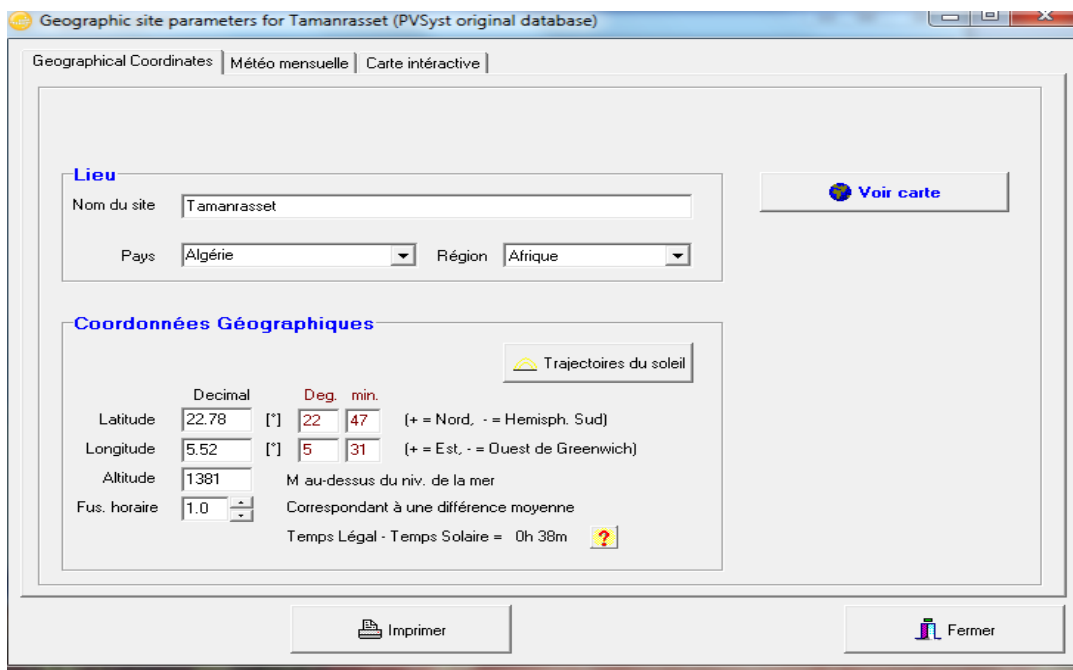


Figure III.02 : Coordonnées de la wilaya dans le logiciel PVsyst

❖ 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).

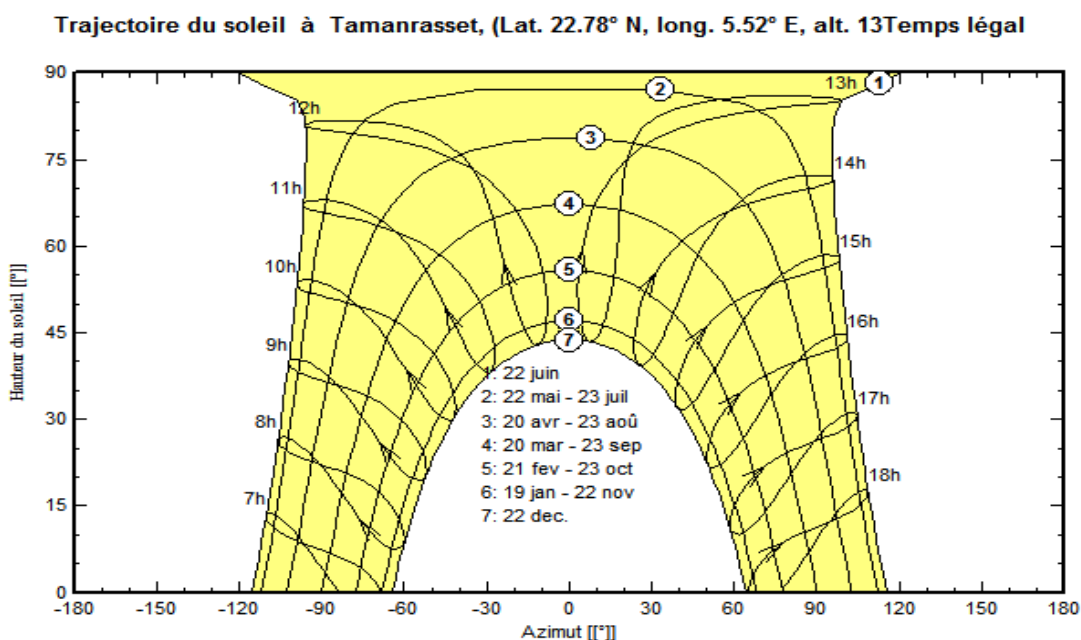


Figure III.03 : Trajectoire du soleil à la willaya de Tamanrasset

III.2.1 Données météorologiques

Tableau III.02 : Caractéristiques climatiques du site de Tamanrasset.

Geographic site parameters for Tamanrasset (PVSyst original database)

Geographical Coordinates | Météo mensuelle | Carte interactive

Site: **Tamanrasset (Algérie)**

Source des données: MétéoNorm 7.1 station

	Irrad. Glob. kWh/m ² .jr	Diffus kWh/m ² .jr	Tempér. °C
Janvier	5.08	0.97	13.0
Février	5.97	1.16	15.5
Mars	7.15	1.13	19.6
Avril	7.66	1.70	23.9
Mai	7.71	1.80	27.8
Juin	7.39	1.96	29.1
Juillet	7.74	1.86	30.1
Août	7.09	2.00	29.4
Septembre	6.59	1.82	27.6
Octobre	5.89	1.53	23.8
Novembre	5.28	1.12	17.9
Décembre	4.75	1.08	14.8
Année	6.53	1.51	22.7

Données requises

- Irradiation globale horizontale
- Température ext. Moyenne

Données supplémentaires

- Irradiation diffuse horizontale
- Vitesse du vent

Unités d'irradiation

- kWh/m².jr
- kWh/m².ms
- MJ/m².jr
- MJ/m².ms
- W/m²
- Indice de clarté Kt

III.3 Différentes étapes pour dimensionner un système photovoltaïque :

- Evaluer les besoins en électricité
- Calculer l'énergie solaire nécessaire
- Détermination de l'énergie disponible dans la zone
- Choix des composants

III.3.1 Besoins en électricité (voir tableau III.04)

il s'agit ici des besoins en énergie pour une maison de deux 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.04 : Bilan énergétique de la maison

Appareils	nombre	Puissance Unitaire W	Fréquence	Puissance W	Energie Wh
Petites lampes	5	20	8h/j	100	800
Grandes lampes	2	36	10h/j	72	720
Lampes WC	1	40	2h/j	40	80
Lampes douche	1	40	1h/j	40	40
Lampe cuisine	1	20	6h/j	20	120
Lampe couloir	1	20	8h/j	20	160
Machine à laver	1	610	0.5h/j	610	305
Télévision	1	40	12h/j	40	480
Décodeur	1	20	12h/j	20	240
Réfrigérateur	1	110	12h/j	110	1320
PC portable	1	30	4h/j	30	120
Ventilateurs	4	60	9h/j	240	2160
Chargeur téléphone	3	5	8h/j	15	120
			Total	1357	6665

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
7	Lampes (fluo)	20 W/lamp	8.0 h/day	OK	1120 Wh
3	TV / PC / Décodeur	35 W/app.	8.5 h/day	OK	893 Wh
4	Ventilateurs	60 W/app.	9.0 h/day	OK	2160 Wh
2	Frigo / Machine à laver	0.81 kWh/day	12.0 h/day	OK	1620 Wh
2	grandes lampes	36.0 W aver.	9.0 h/day	OK	648 Wh
2	lampes douches	40 W/app.	1.5 h/day	OK	120 Wh
3	chargeurs telephones	5 W/app.	7.0 h/day	OK	105 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh
Total daily energy					6690 Wh/day
Total monthly energy					200.7 kWh/month

? Appliances info

Consumption definition by

Year ?

Seasons

Months

Week-end or Weekly use

Use only during

days in a week

Figure III.04 : Besoins d'utilisateur

III.3.2 Energie nécessaire

Il s'agit ici de calculer l'énergie à produire pour assurer un bon fonctionnement de l'installation

III.3.3 Energie disponible dans la zone(voir tableau III.05)

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh
Janvier	157.5	210.1	245.0
Février	167.2	202.8	231.0
Mars	221.5	241.3	268.6
Avril	229.9	222.9	244.1
Mai	239.0	209.1	227.6
Juin	221.8	185.9	202.7
Juillet	239.8	205.8	221.9
Août	219.8	204.2	219.6
Septembre	197.7	204.1	220.7
Octobre	182.7	212.6	234.7
Novembre	158.4	204.2	231.1
Décembre	147.1	197.9	227.4
Année	2382.4	2500.9	2774.3

Tableau III.05 : Irradiation globale horizontale (GlobHor)

GlobHor : Irradiation globale horizontale

GlobEff : Global "effectif", correspondant pour IAM (Incidence Angle Modifié) Et ombrages

E Avail : Energie solaire disponible dans la zone

III.3.4 Choix des composants (voir tableau III.06)

Il s'agit ici de choisir les composants de notre installation en fonction des moyens disponibles.

nom	caractéristiques	puissance
Module PV	Silicium polycristallins	258 Wc, 72 cells
batterie	Acide plomb,S	12V/160Ah
Régulateur/convertisseur	Contrôleur universel avec convertisseur MPPT	1140 W

Tableau III.06 : Choix des composants des PV disponibles.

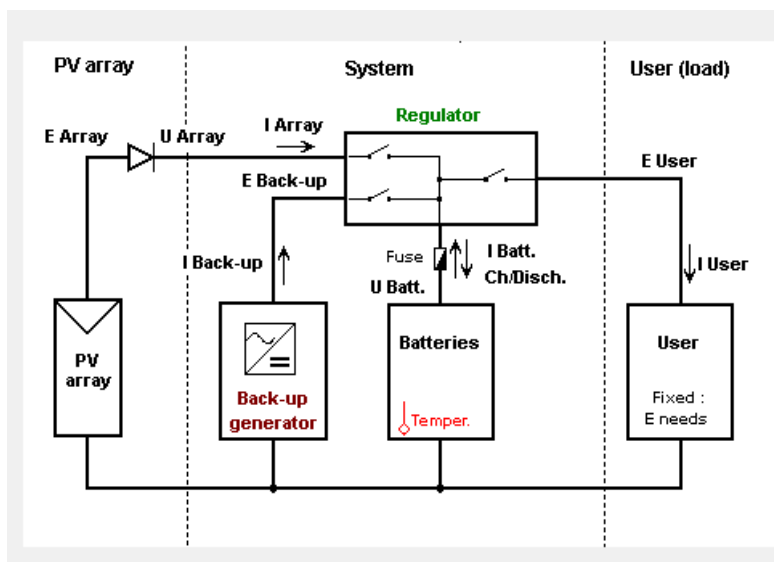
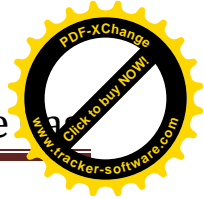
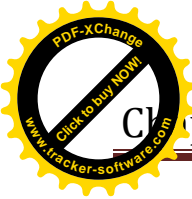


Figure III.05 : Disposition d'une installation autonome

III.4 Résultats et interprétations

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 , et après simulation, nous aboutissons aux résultats suivants obtenus ci- dessous.



PVSYST V6.70		22/05/18	Page 1/4
Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation			
Projet :	projet Tamanrasset		
Site géographique	Tamanrasset	Pays	Algeria
Situation	Latitude 22.78° N	Longitude	5.52° E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	1381 m
	Albédo 0.20		
Données météo:	Tamanrasset	MeteoNorm 7.1 station - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
	Date de la simulation	22/05/18 à 01h36	
Paramètres de simulation	Type de système	Stand-alone system	
Orientation plan capteurs	Inclinaison	25°	Azimut 0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-poly	Modèle	Poly 285 Wp 72 cells
Original PVsyst database		Fabricant	Generic
Nombre de modules PV		En série	1 modules
Nombre total de modules PV		Nbre modules	5
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	1425 Wc
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	32 V
Surface totale		Surface modules	9.7 m²
		En parallèle	5 chaînes
		Puissance unitaire	285 Wc
		Aux cond. de fonct.	1276 Wc (50°C)
		I mpp	39 A
		Surface cellule	8.7 m²
Facteurs de perte du champ PV			
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent) 0.0 W/m²K / 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
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes 0.10 %
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
		Fabricant	Generic
Caractéristiques du banc de batteries		Tension	24 V
		Nombre d'unités	2 en série x 7 en parallèle
		Température	Fixée (20°C)
Régulateur		Modèle	Universal controller with MPPT converter
		Technologie	MPPT converter
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO		Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Seuils de régulation batterie	Seuils de commande selon	SOC calculation	
	Charge	SOC = 0.90 / 0.75	i.e. approx. 26.1 / 24.8 V
	Décharge	SOC = 0.20 / 0.45	i.e. approx. 23.3 / 24.1 V
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique	Constants sur l'année	
	moyenne	6.7 kWh/Jour	

PVsyst Evaluation mode

Figure III.06 : Paramètres généraux de simulation

PVSYST V6.70		22/05/18	Page 2/4
Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur			
Projet : projet Tamanrasset			
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	inclinaison	25°	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 Pb-acide, scellée, Gel
Batteries	Nombre d'unités	14	Tension / Capacité 24 V / 1120 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 2442 kWh/an
Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 6.7 kWh/jr			
Valeurs annuelles			
	Nombre	Puissance	Utilisation
Lampes (fluo)	7	20 W/lampe	8 h/jour
TV / PC / Décodeur	3	35 W/app	9 h/jour
Ventilateurs	4	60 W/app	9 h/jour
Frigo / Machine à laver	2		12 Wh/jour
grandes lampes	2		9 Wh/jour
lampes douches	2	40 W tot	2 h/jour
chargeurs telephones	3	5 W tot	7 h/jour
Consomm. de veille			24 h/jour
Energie journalière totale			6690 Wh/jour

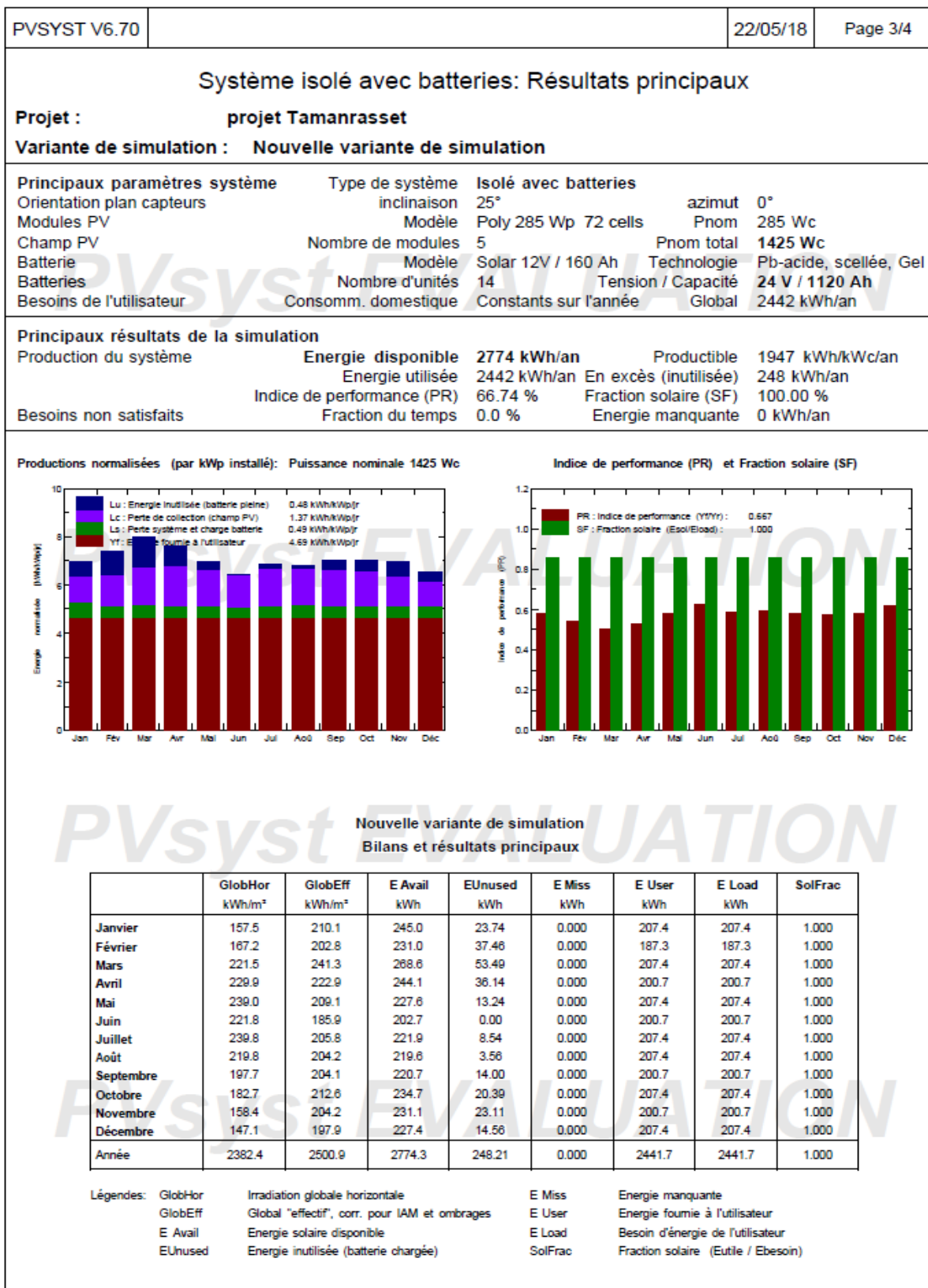
Figure III.07 : Paramètres du système

Après une simulation adéquate par notre logiciel PVSYST, et après avoir injecter tous les paramètres de la zone en étude et avec nos données compatibles avec notre cas à étudier qui est une maison composée par les équipements cités ci-dessus afin de modéliser notre installation photovoltaïque, nous obtenons les résultats suivants :

Notre installation PV est composée par :

- ❖ Cinq (05) modules de PV placés en parallèle de 9.7m² en surface totale brute et de 8.7 m²de surface effective ou surface cellule avec une puissance globale de 1425Wc.
- ❖ De quatorze(14) batteries de 12v dont 7 en séries et 2 en parallèles et d'une capacité de 1120Ah.
- ❖ Un régulateur.

L'inclinaison idéale des cellules est de 25°.



PVsyst Evaluation mode

Figure III.08 : Principaux résultats

III.4.1 Energie incidente de référence

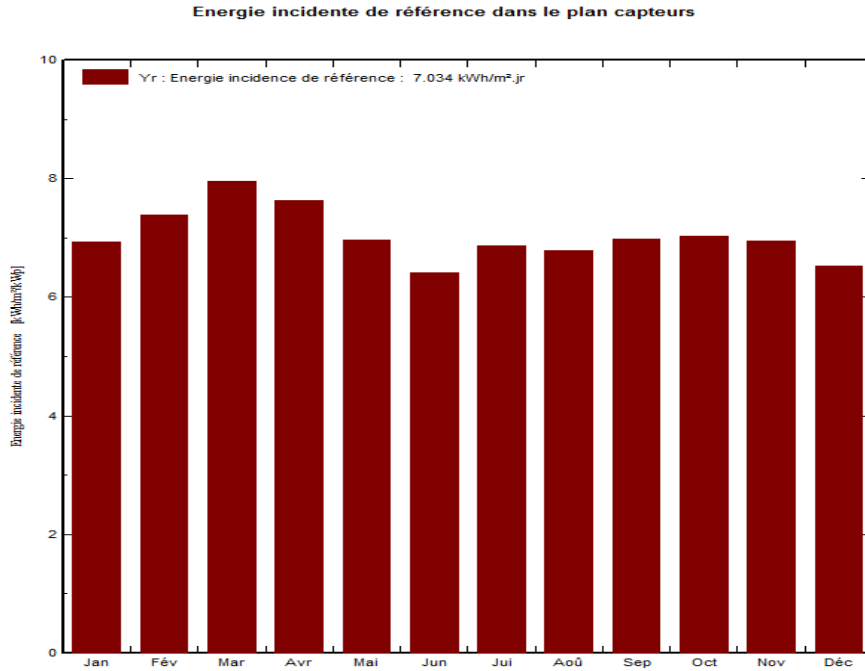


Figure III.09 : Energie incidente de référence

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

III.4.2 Production normalisée

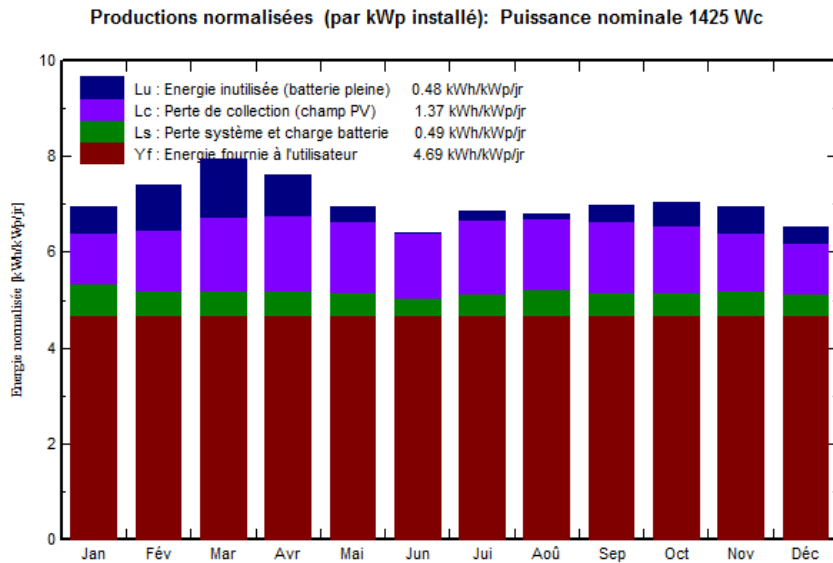
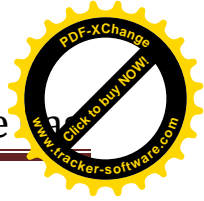


Figure III.11 : Production normalisée de la puissance



III.4.3 Facteur normalisé de production et de perte

Facteurs normalisés de production et de pertes: Puissance nominale 1425 Wc

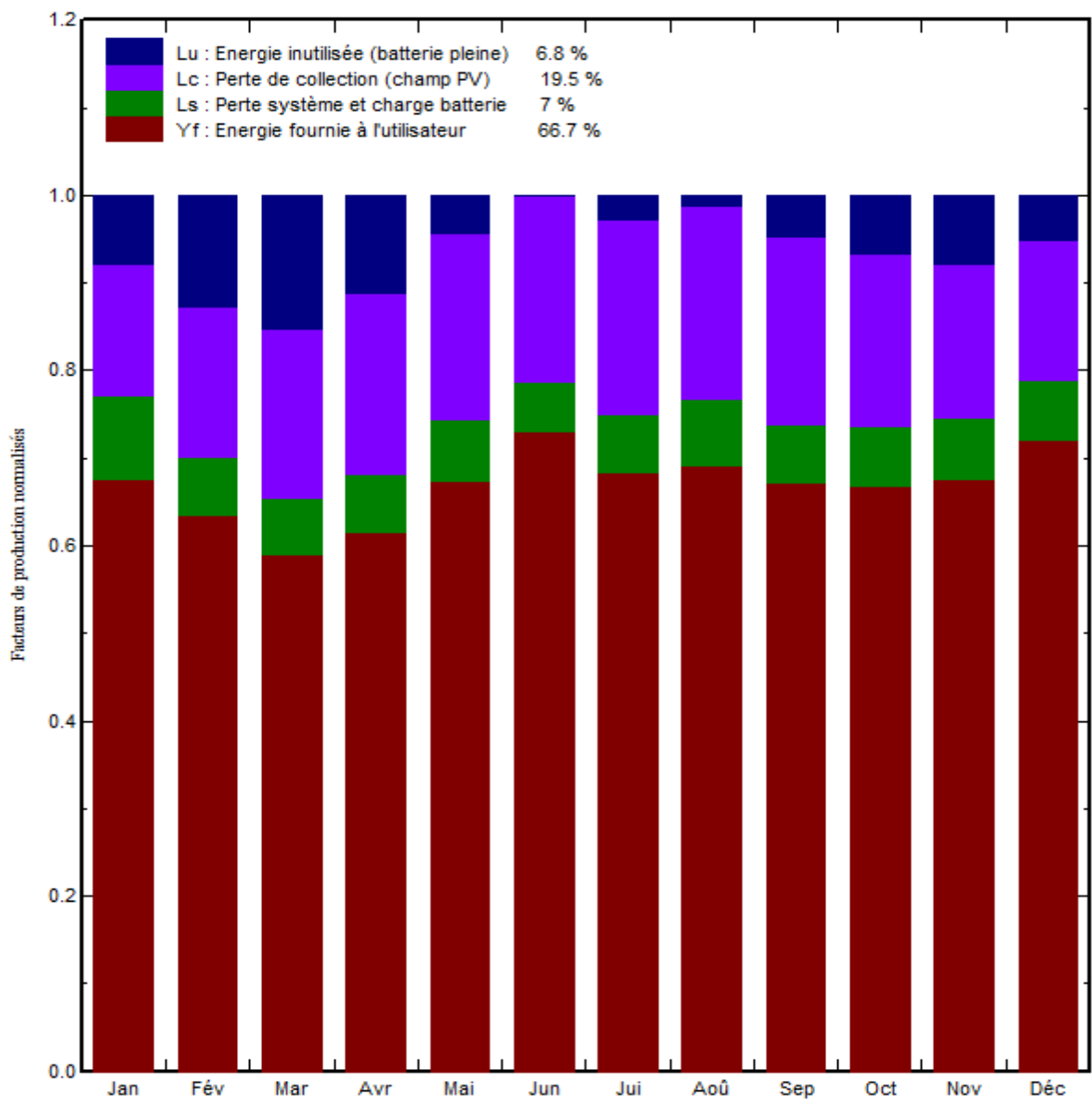


Figure III.12 : Facteur normalisé de production et de perte

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.

III.4.4 Indice de performance et fraction solaire

Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)

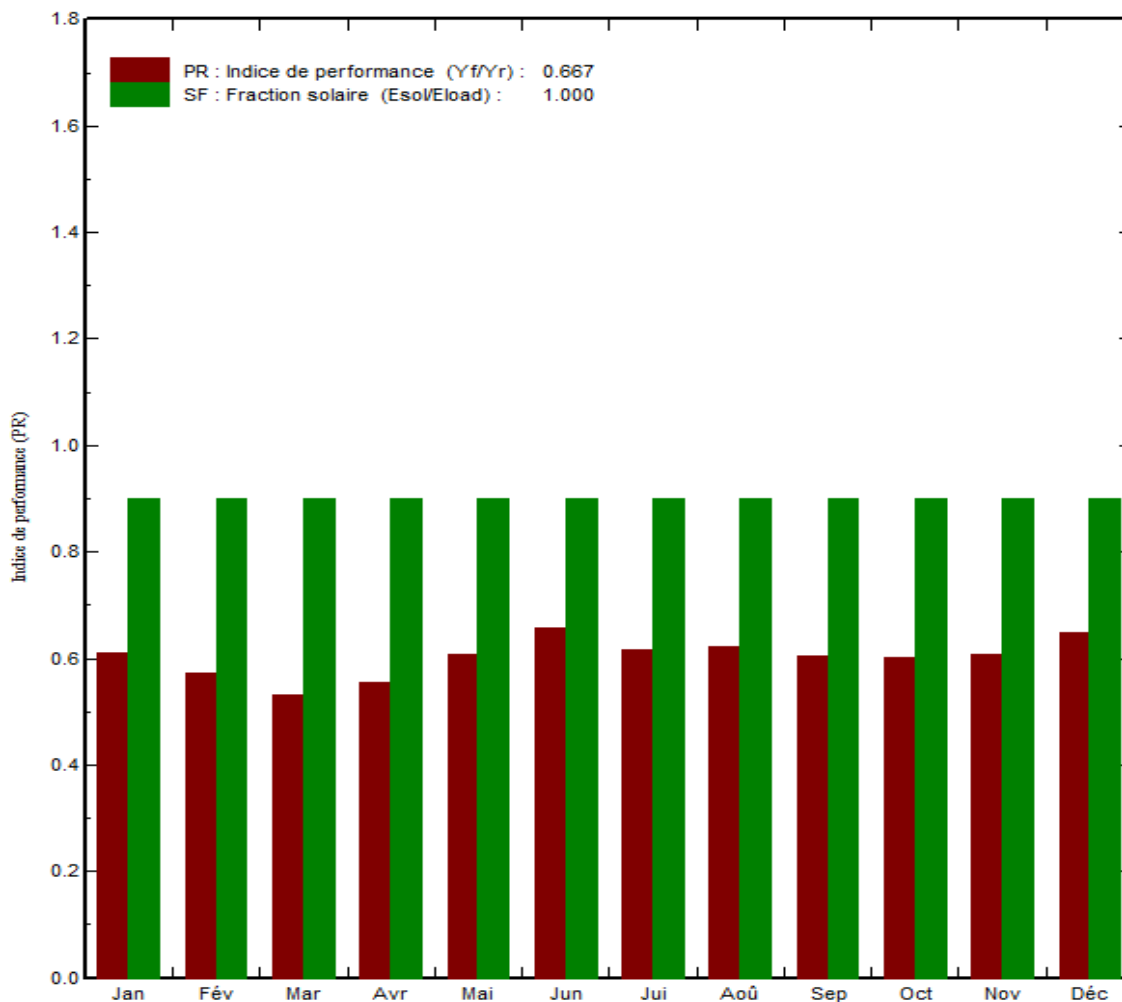


Figure III.13 : Indice de performance et fraction solaire

Le diagramme représente l'indice de performance qui est défini par le rapport de la production du système par l'énergie incidente de référence, autrement dit, il représente l'efficacité globale du système par rapport à ce qu'on pourrait en attendre selon la puissance installée et peut atteindre 80% dans les meilleures installations PV.



III.4.5 Diagramme entrée et sortie journalière

Diagramme d'entrée/sortie journalier

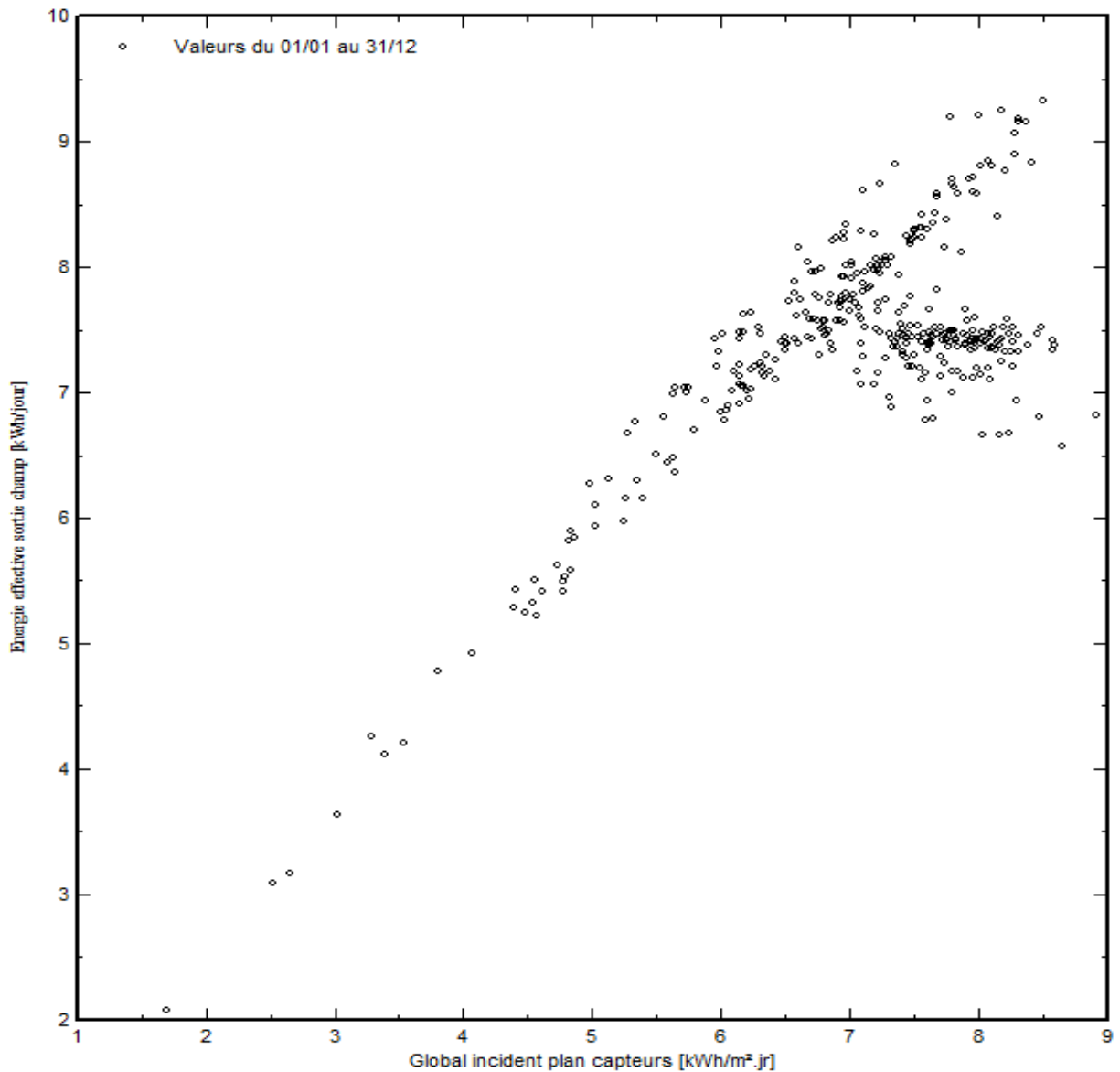


Figure III.14 : Diagramme entrée et sortie journalière

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.

III.4.6 Energie journalière à la sortie du champ

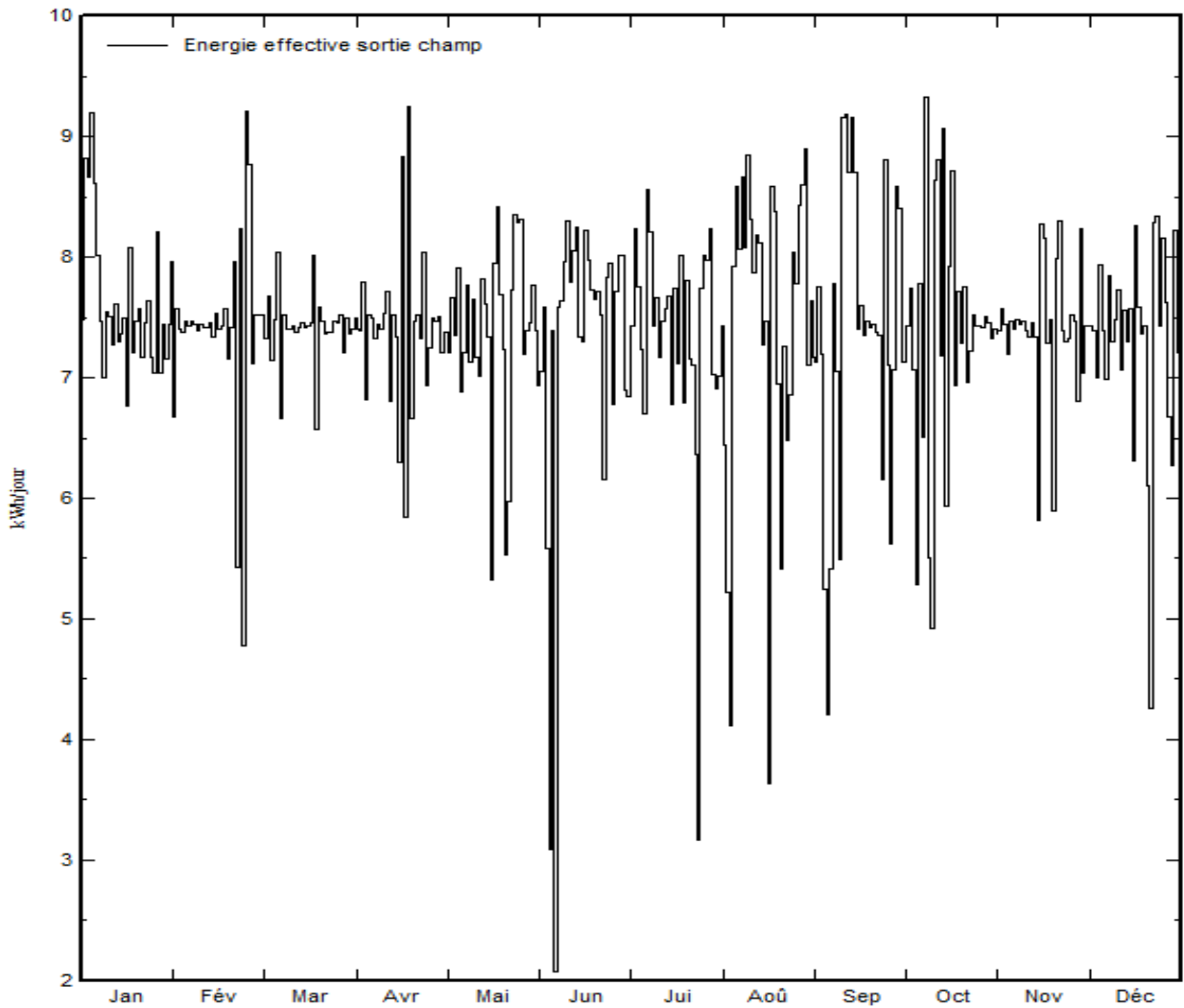


Figure III.15 : Energie journalière à la sortie du champ

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,...

III.4.7 Distribution annuelle de l'irradiation incidente

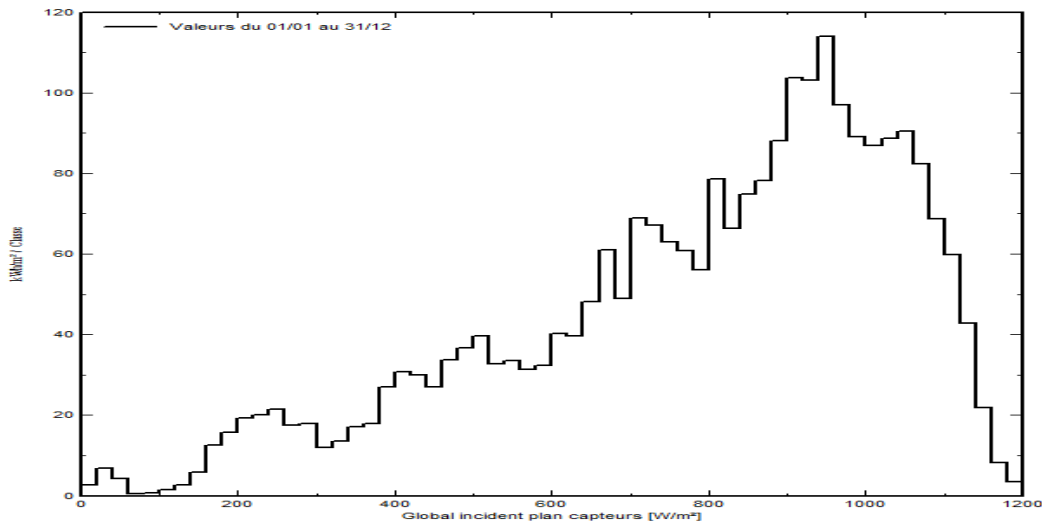


Figure III.16 : Distribution annuelle de l'irradiation incidente

La distribution du rayonnement incident évolue progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne l'irradiation maximum c'est-à-dire 1000 w/m² qui correspond à son pic maximal de l'irradiation puis elle décroît progressivement.

III.4.8 Distribution de la puissance du champ

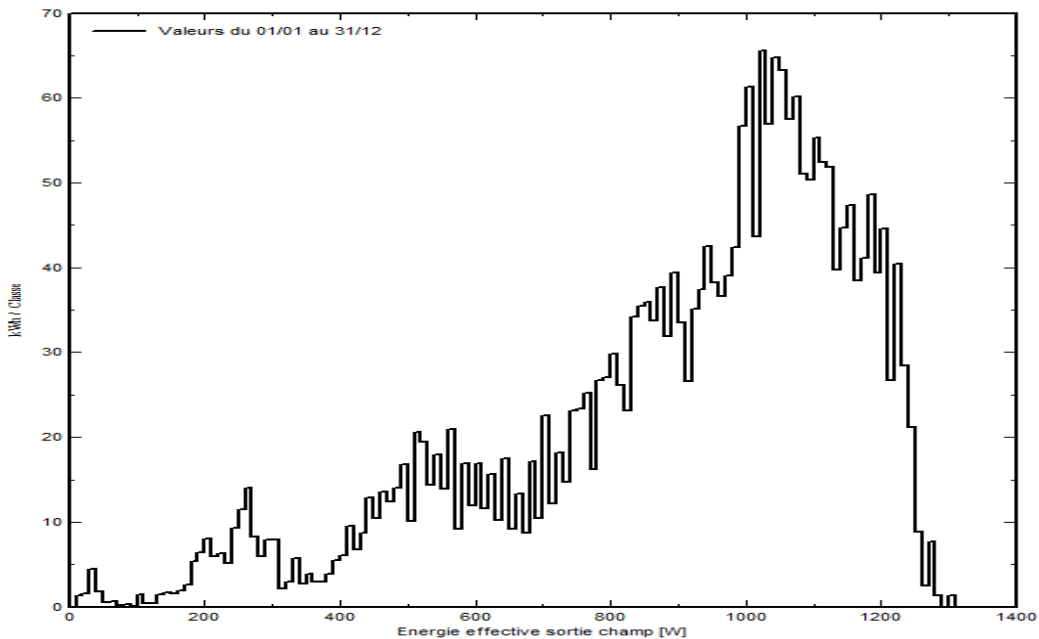


Figure III.17 : Distribution de la puissance du champ

En comparant les deux figures (**Figure III.16 et 17**), 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.

III.4.9 Comportement du module selon irradiation incidente [w /m²]

Module PV: Generic, Poly 285 Wp 72 cells

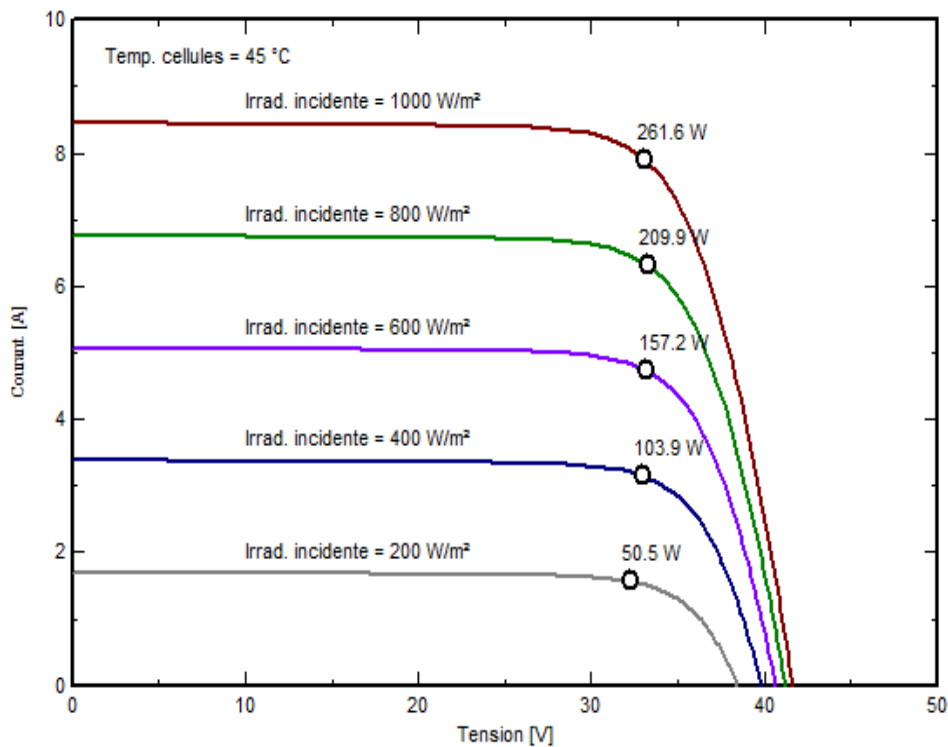


Figure III.18 : Comportement du module selon irradiation incidente

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.

III.4.10 Comportement du module selon la température

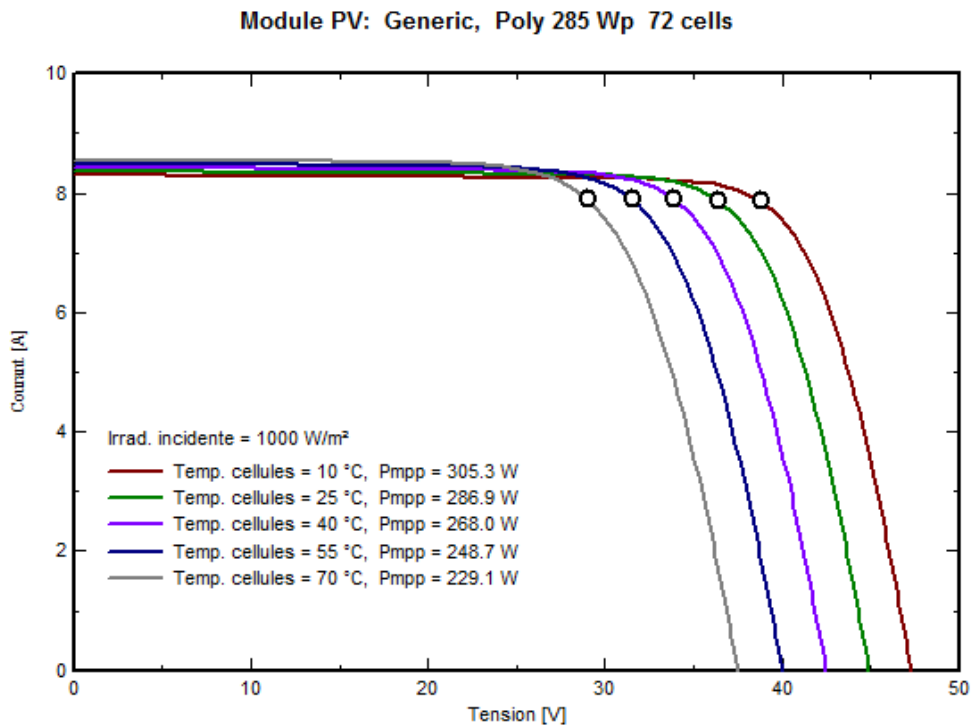


Figure III.19 : Comportement du module selon la température

La figure montre que le courant augmente très rapidement lorsque la température s'élève et engendre une décroissance moins prononcée de la tension de circuit ouvert, ce qui fait une baisse relative de la puissance disponible, donc nous pouvons conclure que l'effet le plus important pour la conception des panneaux et des systèmes est la température.

III.4.11 Comportement du module selon la résistance en série

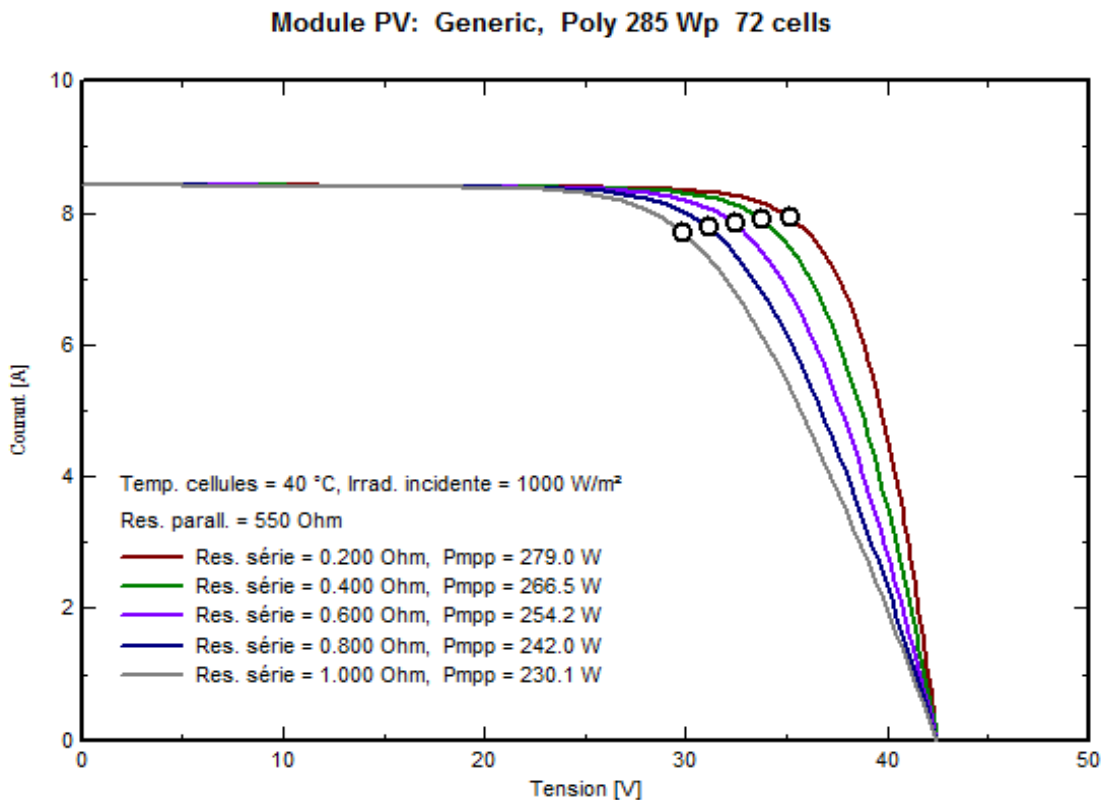


Figure III.20 : Comportement du module selon la résistance en série

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont d'autant plus dégradées que R_s est grande ou que R_{sh} est faible. La figure III.21 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.

III.4.12 Comportement du module selon la résistance en parallèle

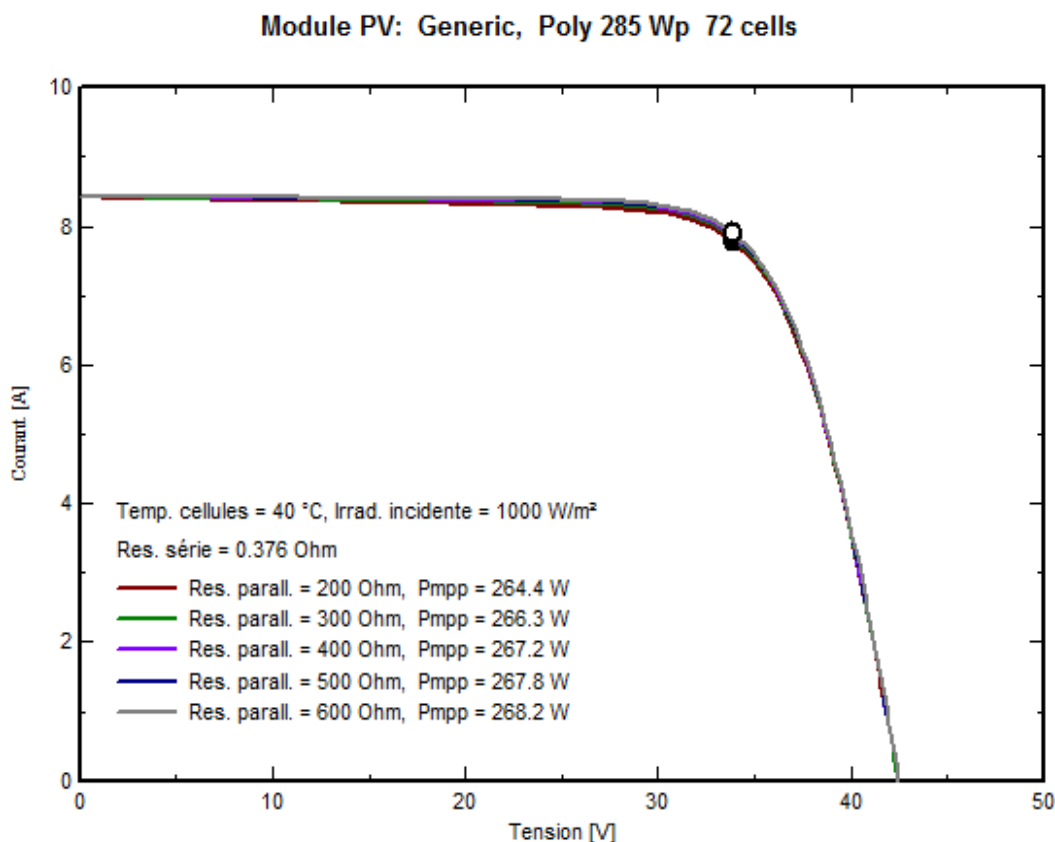


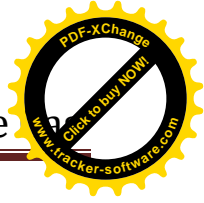
Figure III.21 : Comportement du module selon la résistance en parallèle

La résistance shunt est liée directement au processus de fabrication, et son influence ne se fait sentir que pour de très faibles valeurs du courant. La figure III.21 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.

Conclusion

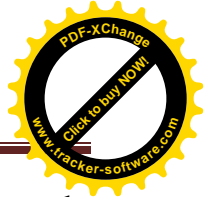
Le dimensionnement d’une installation photovoltaïque se fait en quatre parties :

- 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 calculer la puissance maximale.
- La quatrième et la dernière étape consiste à choisir les composants de l'installation.

Aussi pour capter le maximum d'énergie, les panneaux doivent être orientés en plain sud et à un certain angle bien précis (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.



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.

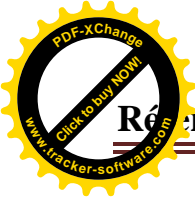
Elle est fiable d'une part de l'absence d'organes tournants mais présente certains inconvénients : elle occupe beaucoup d'espaces, aussi son coût d'investissement élevé et son rendement aussi malheureusement médiocre.

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

- 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 calculer la puissance maximale.
- La quatrième et la dernière étape consiste à choisir les composants de l'installation.

Aussi pour capter le maximum d'énergie, les panneaux doivent être orientés en plain sud et à un certain angle bien précis (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.



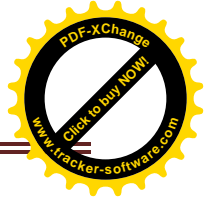
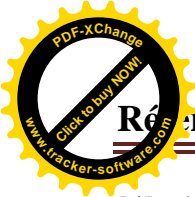
Référence Bibliographique

Chapitre I

- [1] Le fil info énergie connaissance des énergies renouvelables
- [2] ecoSource.info/Portail des énergies renouvelables et de l'écoconstruction
- [3] Le fil info énergie connaissance des énergies renouvelables ET SOLUTIONS TECHNIQUES – Mai 2012
- [4] mémoire de magistère, **Kalla Fayçal**, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire : Etude et modélisation d'un capteur solaire, **UNIVERSITE DE BATNA**
- [5] <http://kaplanoupelton.e-monsite.com/blog/l-histoire-de-la-centrale-hydroelectrique.html>
- [6] L'énergie hydraulique Roger Ginocchio Volume 1 édition Eyrolles
- [7] <http://kaplanoupelton.e-monsite.com/blog/l-histoire-de-la-centrale-hydroelectrique.htm>
- [8] <http://energiesdemain.e-monsite.com>
- [9] http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/tour/wres/index.htm (cours complet sur l'énergie éolienne – windpower.org)
- [10] <http://www.canwea.ca/> (association canadienne de l'énergie éolienne)
- [11] <http://www.energies-renouvelables.org> (baromètre européen de la filière éolienne)
- [12] OROGO (<https://origo.energy/2017/05/30/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-la-biomasse/>)
- [13] Connaissance des énergies, énergie de la biomasse
- [14] http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp
- [15] LES ENERGIES RENOUVELABLES Dr Marwan JARKAS
- [16] <http://geothermie-tpe-nds.e-monsite.com>
- [17] [Planète-energies.com](http://Planete-energies.com)
- [18] Nouvelles technologies de l'énergie, les énergies renouvelables Jean-Claude Sabonnadière
- [19] <http://www.explorateurs-energie.com/index.php/les-energies/marines>
- [20] Intelligence Energie, Europe

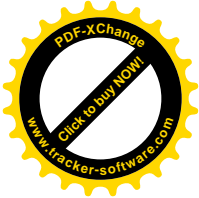
Chapitre II

- [1] Energie solaire photovoltaïque, Anne Labrouret, Michel Viloz Edition le MONITEUR.
- [2] Energie solaire calcul et optimisation Jacques BERNARD édition ellipses
- [3] M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaire Tome 1' Tome 2, Algérie 1986.



Référence Bibliographique

- [4] A. VIAL, Étude des lignes de déclinaison d'un cadran solaire horizontal 2006, site internet "kaekoda.free.fr/bup/bup1".
- [5] www2.cnrs.fr/presse/communiqu/371.htm consulté le 26/03/2018.
- Le journal Communication de presse centre national de la recherche scientifique
- [6] S. VIGHETTE, « Système photovoltaïque raccordés au réseau : choix et dimensionnement des étages de conversion », Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, septembre 2010.
- [7] K. Helali, « modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », mémoire de magister, UMMTO, 2012
- [8] « L'énergie solaire », La Recherche | novembre 2012 • n° 469.
- [9] C. Bernard, J. Chauvin, D. Lebrun, J.F Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger », L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL.2006.
- [10] www.dmseducation.com
- [11] N. Achaïbou, A. Malek, N. Bacha, « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV », Revue des Energies Renouvelables, N. spécial (CHEMSS), pp 61-66, 2000.
- [12] AMARA Karima, « Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension », MEMOIRE DE MAGISTER
- [13] « Les caractéristiques électriques des cellules et des modules photovoltaïques »
<http://www.energieplus-lesite.be>.
- [14] K. BOUZIDI, Etude comparatives des méthodes d'extraction des paramètres des cellules solaires, Mémoire de magister, département de physique, faculté des sciences, université de Sétif (Algérie), 2007.
- [15] Mémoire de magister option physique énergétique, thème de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque, présenté par Smaïl SEMAOUI, UNIVERSITE DE OUARGLA



Résumé

Ce mémoire de fin de cycle traite du thème Etude et Modélisation d'une Installation Photovoltaïque, Il a été réalisé en trois grands chapitres.

Le premier chapitre concerne des généralités sur les énergies renouvelables : les différents types, les technologies utilisées pour exploiter ces énergies, leurs avantages et inconvénients....

Le second chapitre est l'étude d'une installation photovoltaïque (autonome) : Rappel de quelques notions importantes, principe de calcul de l'énergie solaire, les différents composants d'une installation photovoltaïque, leurs fonctions et emplacement, installation du générateur PV ou module PV...

Enfin le dernier chapitre est une étude de cas de dimensionnement pour une maison autonome dans la wilaya de Tamanrasset avec le logiciel PVSYS il comprend : l'évaluation des besoins de la maison, calcul de l'énergie disponibles dans la zone, choix des composants de l'installation, la simulation, résultats, interprétations et une conclusion.

Abstract

This end-of-cycle dissertation deals with the theme Study and Modeling of a Photovoltaic Installation. It was realized in three main chapters.

The first chapter concerns a generality on renewable energies: the different types, the technologies used to exploit these energies their advantages and disadvantages....

The second chapter is the study of a photovoltaic installation (autonomous): Reminder of some important notions, principle of calculation of the solar energy, the various components of a photovoltaic installation, their functions and location, installation of the PV generator or PV module...

Finally the last chapter is a sizing case study for an autonomous house in the wilaya of Tamanrasset with PVSYS software it includes: the evaluation of the needs of the house, calculation of the energy available in the area, choice of components of installation, simulation, results, interpretations and a conclusion