



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences & Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

THÈME

MODÉLISATION ET OPTIMISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE D'UNE MOSQUÉE

Préparé par :

- BOUZID Hadjer
- BEKKOUCHE Abdelilah

Devant le Jury :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
KARAS Abdelkader	MCA	Président
MEKROUSSI Said	MCA	Examineur
KHALDI Sabrina	MAA	Examineur
MOULGADA Abdelmadjid	MCA	Encadreur

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Et nous voudrions dans un premier temps remercier, le directeur de mémoire Dr.Moulgada Abdelmadjid pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous adressons notre sincères remerciements à tous les jurys et les professeurs et surtout Dr.Kerras Abdelkader , et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé notre réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nous questions durant nos recherches.

A tous ces intervenants, nous présentons notre remerciements, notre respect et notre gratitude.

Dédicaces

A ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Particulièrement à mon père, pour le gout à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur, et qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, que dieu le garde et le protège.

Ma mère qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde.

A vous mes frères et mes sœurs, qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralité sur les énergies renouvelables

Figure I.01 : Conversion de l'énergie solaire.....	03
Figure I.02 : Principe de l'énergie solaire thermique.....	04
Figure I.03 : Capteur plan sans vitre.....	05
Figure I.04 : Capteur solaire avec vitrage.....	05
Figure I.05 : Capteur solaire à tubes sous vide.....	06
Figure I.06 : Principe de conversion du solaire thermodynamique.....	06
Figure I.07 : Concentrateur solaire cylindro-parabolique.....	07
Figure I.08 : Concentrateur parabolique.....	08
Figure I.09 : Concentrateur à tours.....	08
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 à contrefort.....	12
Figure I.14 : Fonctionnement d'une éolienne.....	14
Figure I.15 : d'une éolienne 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
Figure I.20 : Bois.....	20
Figure I.21 : Processus d'obtention de biocarburant 1er 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 : Energie solaire photovoltaïque	
Figure II.01 : Le rayonnement solaire.....	36
Figure II.02 : Schéma simplifié d'un système photovoltaïque.....	37
Figure II.03 : Principe de la conversion photovoltaïque.....	39
Figure II.04 : Génération de la paire électron-trou.....	39
Figure II.05 : La jonction PN.....	40
Figure II.06 : Eléments d'un système solaire photovoltaïque.....	41
Figure II.07 : Cellule photovoltaïque et panneau photovoltaïque.....	42
Figure II.08 : Régulateur série.....	45
Figure II.09 : Bloc de silicium Si.....	50
Figure II.10 : Wafers de silicium Si.....	50
Figure II.11 : Les modules photovoltaïques au silicium (Processus de fabrication).....	51
Figure II.12 : Les modules photovoltaïques amorphes.....	52
Figure II.13 : Le dopage de type p (positif).....	53
Figure II.14 : Configuration chimique d'un atome.....	56
Figure II.15 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	57
Figure II.16 : Système photovoltaïque à injection totale sans stockage.....	61
Figure II.17 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage.....	62
Figure II.18 : Système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage.....	63
Figure II.19 : Système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage.....	64
Figure II.20 : Exemples de centrales PV (a), (b), et (c).....	65
Figure II.21 : Principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil).....	66
Figure II.22 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage.....	67
Figure II.23 : Exemples de SHS : « Solar Home Systems » (a) et (b).....	68
Figure II.24 : Exemple de système hybride.....	69
Figure II.25 : Système hybride.....	70

Figure II.26 : Systèmes hybrides (a) et (b).....	70
Figure II.27 : installations sur site isolé.....	71
Figure II.28 : Modèles de PV.....	71
Figure II.29 : Différentes énergies électrique.....	72
Figure II.30 : Différentes toitures en PV.....	73
CHAPITRE III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque	
Figure III.1 : Schéma de principe d'installation de système autonome.....	75
Figure III.2 : Interface de logiciel PVSYST.....	78
Figure III.3 : Interface de création de la structure.....	78
Figure III.4 : Interface globale du PVsys pour simulation.....	79
Figure III.5 : Etapes de simulation avec PVSYST.....	79
Figure III.6 : Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret.....	80
Figure III.7 : Caractéristiques climatiques du site de Tiaret.....	81
Figure III.8 : Coordonnées géographiques du site de Tiaret.....	81
Figure III.9 : Trajectoire du soleil à Tiaret.....	82
Figure III.10 : Orientation et inclinaison du système PV.....	83
Figure III.11 : Schéma simplifié d'une installation PV autonome.....	83
Figure III.12 : Besoins d'utilisateur.....	84
Figure III.13 : Dimensionnement des batteries.....	84
Figure III.14 : Dimensionnement de module et régulateur.....	85
Figure III.15 : Paramètres de simulation de la Mosquée.....	86
Figure III.16 : Branchement de PPV pour mosquée.....	87
Figure III.17 : Dimensions et caractéristiques des PV.....	88
Figure III.18 : Comportement du module selon irradiation incidente.....	88
Figure III.19 : Comportement du module selon la température.....	89
Figure III.20 : Comportement du module selon la résistance en série.....	90
Figure III.21 : Comportement du module selon la résistance en parallèle.....	90
Figure III.22: Productions normalisées (par kWp installé).....	91
Figure III.23 : Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF).....	92
Figure III.24 : Branchement des batteries pour le Mosquée.....	93
Figure III.25 : Batterie de 150 Ah/12V.....	93

Liste des figures et tableaux

Figure III.26 : Régulateur de charge.....	94
Figure III.27 : Onduleur de 1000W.....	94
Figure III.28 : Différentes caractéristiques du régulateur.....	95
Figure III.29 : Diagramme d'entrée/sortie.....	95

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : Généralité sur les énergies renouvelables

Tableau I.01 : Caractéristiques des centrales thermodynamiques.....09

CHAPITRE III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque

Tableau III.01 : Besoins énergétiques journaliers pour la mosquée.....76.

h : la constante de Planck,

C : la vitesse de la lumière

λ : la longueur d'onde

I_{ph} : correspondant au courant photo généré.

R_s : La résistance série

R_p : La résistance

P : La puissance électrique, fournie par un générateur,

P_{lum} : La puissance lumineuse

E : l'éclairement de la cellule exprimé en $W.m^{-2}$

S : la surface de la cellule exprimée en m^2

η : Le rendement

P_{max} : la puissance électrique maximale générée par la cellule

U : tension électrique

I : intensité du courant électrique

E_{cj} : Energie totale consommée

P_{tot} : La puissance totale

N_{pv} : nombre des panneaux photovoltaïque

P en watt (**W**)

U en volt (**V**)

I en Ampère (**A**)

MPPT Maximum Power Point Tracking / Point de Puissance Maximale

R_{sh} : Résistance shunt

PWM Pluse width modulation/ Modulation en largeur d'impulsions

DC/AC Courant Continu/ Courant Alternatif

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 Les principaux types de capteurs solaires thermiques.....	4
a) Capteurs solaires sans vitrage.....	4
b) Capteurs solaires plans.....	5
c) Capteurs solaires à tubes sous vide.....	5
I.1.3 Energie solaire thermodynamique.....	6
I.1.3.1 Principe d'une chaîne de conversion / utilisation de l'énergie solaire :	6
I.1.3.2 Pourquoi concentrer le rayonnement solaire ?.....	7
I.1.3.3 Les différents types de concentrateurs	7
a) Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques.....	7
b) Les centrales à concentrateurs paraboliques.....	8
c) Les centrales à tours à récepteurs centrales.....	8
I.1.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	9
I.2 L'énergie hydraulique	10
I.2.1 Les différents types d'aménagements hydrauliques.....	11
I.2.2 Les Barrages.....	11
I.2.2.1 Les différents types :.....	11

1. Les barrages à poids.....	11
2. Les barrages-voûtes	11
3. Les barrages à contrefort.....	12
I.2.3 Les Turbines Hydrauliques.....	12
I.2.4 Avantages et inconvénients de l'énergie hydraulique.....	13
I.3 L'énergie éolienne.....	13
I.3.1 Principe de fonctionnement.....	14
I.3.2 Description d'une éolienne.....	14
I.3.3 Les différents types d'éolienne.....	15
I.3.3.1 L'éolienne à axe horizontal.....	15
I.3.3.2 L'éolienne à axe vertical.....	15
a. Type Savonius.....	15
b. Type Darrieus.....	16
c. Type à voile tournante.....	16
I.3.4 Avantages et inconvénients d'une énergie éolienne.....	17
I.4 Energie de la Biomasse.....	18
I.4.1 Les différentes utilisations de la biomasse	18
I.4.1.1 Le 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 L'énergie géothermique	20
I.5.1 Description des différents systèmes géothermie.....	21
I.5.1.1 La géothermie à haute énergie.....	21
I.5.1.2 La géothermie à moyenne énergie.....	22
I.5.1.3 La géothermie à basse énergie.....	23
I.5.2 Les différentes techniques d'exploitation.....	23
I.5.2.1 Le procédé de captage de pompe à chaleur.....	23
a) Le captage horizontal.....	23
b) Le captage vertical.....	24
c) Le pompage sur nappe phréatique.....	25

I.5.2.2	La géothermie des tunnels et des mines.....	25
I.5.2.3	Le forage.....	26
I.5.2.4	Doublet géothermique.....	27
I.5.3	Avantages et inconvénients.....	28
I.6	L'énergie marine.....	29
I.6.1	Les différentes sources d'énergie marine.....	29
I.6.1.1	L'énergie des marées.....	29
I.6.1.2	L'énergie des courants marins.....	29
I.6.1.3	Énergie des vagues.....	30
I.6.1.4	L'énergie thermique, née des différences de chaleur.....	31
I.6.1.5	L'énergie osmotique.....	31
I.6.2	Avantages et inconvénients.....	32
Conclusion.....		32

CHAPITRE II : Energie solaire photovoltaïque

Introduction		33
II.1	L'énergie solaire.....	34
II.2	Rayonnement solaire.....	36
II.2.1	Le rayonnement direct.....	36
II.2.2	Le rayonnement diffus.....	36
II.2.3	Le rayonnement réfléchi.....	36
II.3	Systèmes photovoltaïques.....	36
II.3.1	Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque.....	38
II.3.2	Principe de la conversion photovoltaïque.....	38
II.3.2.1	Formation de la jonction PN.....	39
II.4.	Composants des systèmes solaires photovoltaïques.....	40
II4.1.	Le Générateur photovoltaïque.....	41
II.4.1.1.	Bases du fonctionnement des panneaux photovoltaïques.....	41
II4.2.	La batterie.....	42
II.4.2.1.	Types de batteries.....	42
II.4.2.2.	Fonctionnement de la batterie.....	43

II.4.2.3 Paramètres de la batterie	43
II.4.3. Le régulateur de charge.....	44
II.4.3.1. Différentes types de régulateur	44
II.4.3.2 Paramètres qui définissent un régulateur	45
II.4.4 L'onduleur.....	46
II.4.4.1 Onduleurs DC/AC.....	46
II.4.4.2 Types d'onduleurs DC/AC	46
II.4.5 Capot avant.....	46
II.4.6 COUVERCLES ENCAPSULÉS.....	47
II.4.7 CADRE DE SUPPORT.....	47
II.4.8 Protection arrière d'un panneau photovoltaïque.....	47
II.4.9 Boîte de jonction électrique.....	48
II.5 Technologie des cellules photovoltaïques.....	48
II.5.1 Historique.....	48
II.5.1.1 Quelques dates.....	48
II.5.2 Cellule photovoltaïque.....	49
II.5.2.1 Le silicium.....	49
II.5.3 Les panneaux PV avec des cellules polycristallines.....	51
II.5.3.1 Les modules photovoltaïques amorphes.....	52
II.5.4 Le semi-conducteur.....	52
II.5.4.1 Deux types de dopage sont possibles.....	53
II.5.4.1.1 Le dopage de type n (négatif).....	53
II.5.4.1.2 Le dopage de type p (positif).....	53
II.5.5 Comparatif des différentes technologies.....	54
II.5.6 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	55
II.5.7 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	57
II.5.8 Rendement d'une cellule photovoltaïque.....	57
II.5.9 Comment augmenter le rendement des cellules solaires ?.....	58
II.5.10 Les différents types de pertes dans une cellule solaire.....	58
II.5.11 Avantages et inconvénients.....	59
II.6 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau.....	60

II.6.1. Systèmes PV raccordés au réseau avec injection totale.....	60
II.6.1.1 Injection totale sans stockage.....	60
II.6.1.2 Injection totale avec stockage.....	61
II.6.2 Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation.....	62
II.6.2.1 Autoconsommation sans stockage.....	62
II.6.2.2 Autoconsommation avec stockage.....	63
II.6.3. Applications.....	64
II.7 Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau.....	65
II.7.1 Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage.....	66
II.7.2 Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage.....	66
II.7.3 Applications.....	67
II.8 Systèmes photovoltaïques hybrides.....	68
II.8.1 Systèmes photovoltaïque hybrides avec stockage.....	68
II.8.2 Systèmes photovoltaïques hybrides sans stockage.....	69
II.9 Différentes installations photovoltaïques.....	70
II.9.1 Les installations sur site isolé	70
II.9.2 Les installations raccordées au réseau de distribution public.....	72
II.9.2.1 Solution avec injection totale.....	72
II.9.2.2 Solution avec injection de surplus.....	73
II.10 Avantages et inconvénient de l'énergie solaire.....	73
Conclusion.....	74

CHAPITRE III : Modélisation et optimisation d'un système photovoltaïque

Introduction.....	75
III.1-Système autonome.....	75
III.2.Présentation du projet.....	76
III.2.1.Energie totale consommée.....	76
III.2.2. La puissance totale.....	76
III.2.3. Dimensionnements d'un système PV par la méthode simplifiée.....	77
III.2.3.1 Calcul du nombre des panneaux photovoltaïque.....	77
III.2.3.2 Calcul du nombre des Batteries.....	77

III.3. Logiciel PVSYST.....	77
III.3.1. Conception et dimensionnement d'un système PV.....	80
III.3.2. Principaux résultats.....	80
III.3.2.1. Données de localisation du site.....	80
III.3.2.2. Données météorologiques du site.....	80
III.3.2.3. Coordonnées Géographiques.....	81
III.3.2.4. Trajectoire du soleil.....	82
III.3.2.5. Orientation des modules PV.....	82
III.3.2.6. Schéma de l'installation PV.....	83
III.4. Résultats et interprétations.....	83
III.4.1. Besoins électriques.....	83
III.4.2. Simulation des équipements énergétiques.....	84
III.4.2.1. Batteries.....	84
III.4.3. Rapport de simulation (Annexe).....	85
III.4.2.2. Modules photovoltaïques.....	86
III.4.2.2.1. Branchement de PPV pour la mosquée.....	86
III.4.2.1.1. Branchement des batteries pour mosquée.....	92
III.4.2.1.2. Régulateurs.....	93
III.4.2.1.3. Onduleurs.....	94
III.4.2.1.4. Caractéristiques d'onduleurs.....	94
Conclusion.....	96
Conclusion générale.....	97
Références bibliographiques	
Annexe	

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes.

Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.

Tous les jours, le soleil fournit de l'énergie à la Terre. Les électrotechniciens peuvent bénéficier de cette énergie grâce à une technologie appelée photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en électricité. Dans nos jours la solution photovoltaïque est la meilleure et elle est en cour de développement dans tout le monde entier.

Les systèmes photovoltaïques sont particulièrement bien adaptés à la production décentralisée d'électricité et les sites isolés : électrification rurale (pour les besoins domestiques et les besoins communautaires : centres de santé, écoles, etc.), pompage de l'eau, réfrigération, télécommunications, etc. Ils constituent donc une solution de choix pour les populations rurales qui ne pourront pas être reliées aux réseaux électriques conventionnels, même pour les villes on peut économiser la consommation d'énergie par l'utilisation des panneaux sur le toit ou sur les façades des bâtiments.

L'association de plusieurs cellules (PV) en séries/parallèles donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV), qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale, dépendant de niveau d'éclairement et de la température, ainsi que de vieillissement de l'ensemble de composants.

Bien que la cellule photovoltaïque soit connue depuis de nombreuses années comme source pouvant produire de l'énergie électrique allant de quelque milliwatts au mégawatt,

L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement.

L'exploitation directe de l'énergie solaire relève une technologie bien distincte c'est de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque.

Introduction générale

Elle provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'exécute par le biais d'une cellule dite cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au soleil. La tension générée par une cellule (PV) peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule

L'objet de ce travail est donc l'étude et la modélisation permettent de dimensionner un système photovoltaïque autonome qui est une mosquée située dans la wilaya de Tiaret dans un site isolé.

Notre travail se divise en trois chapitres. Après une brève introduction, le premier chapitre est une généralité sur les énergies renouvelables.

Ensuite dans le chapitre suivant, nous présentons des notions sur le système photovoltaïque, l'énergie solaire ainsi que le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque aussi le rendement.

Enfin Le chapitre trois est consacré à la modélisation d'un système photovoltaïque autonome avec batterie d'une mosquée (système isolé) par la simulation avec le logiciel PV système.

Nous finalisons notre travail par une conclusion générale illustrant les résultats trouvés.

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 Energie solaire

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.

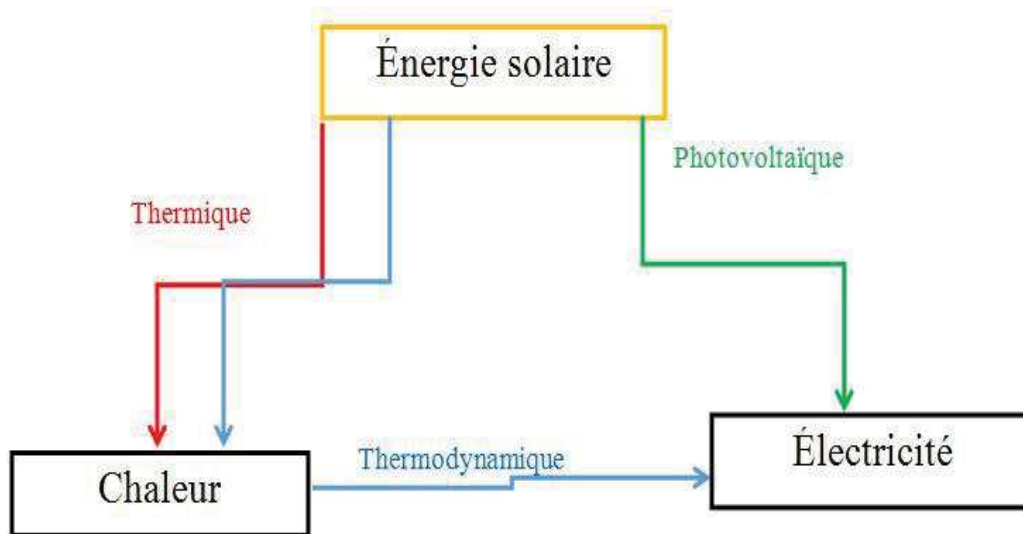


Figure I.1 : Conversion de l'énergie solaire [1]

I.1.1 Energie solaire photovoltaïque [1]

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. [2]

I.1.2.1 Principe de fonctionnement

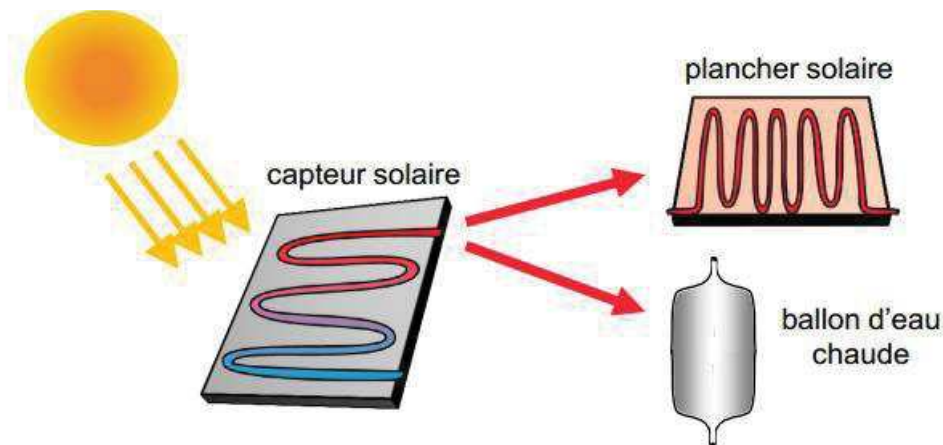


Figure I.2 : Principe de l'énergie solaire thermique [2]

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.03 : Capteur plan sans vitre [2]

- **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.

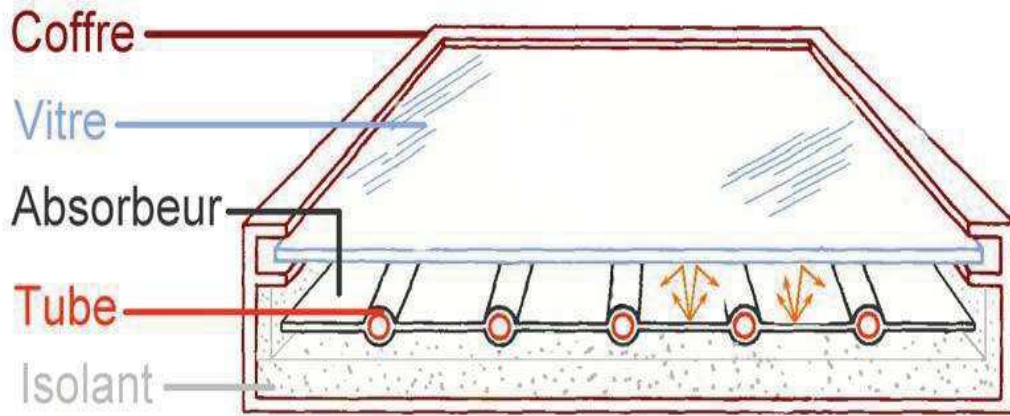


Figure I.4 : Capteur solaire avec vitrage [2]

- **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. [3]



Figure I.5 : Capteur solaire à tubes sous vide [3]

I.1.3 Energie 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

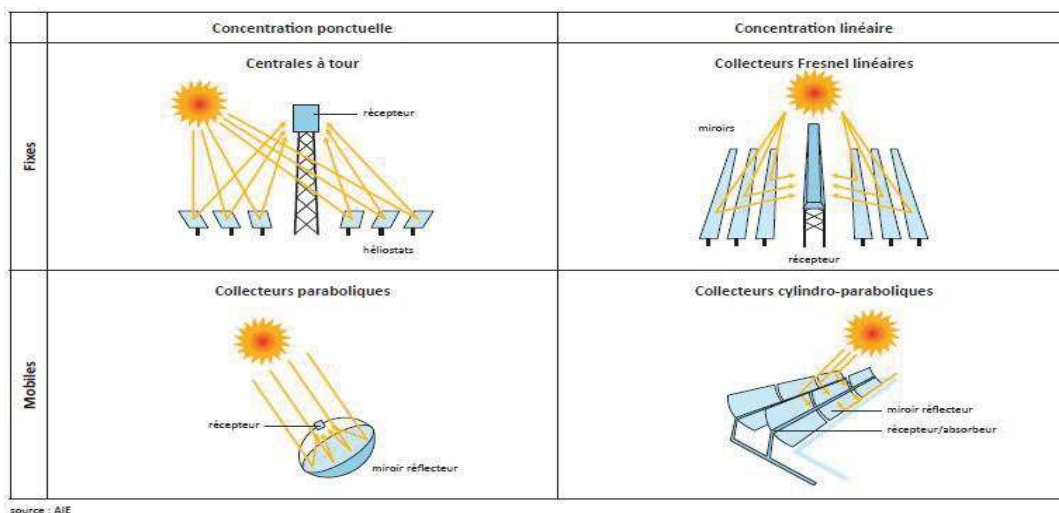


Figure I.6 : Principe de conversion de l'énergie solaire thermodynamique [4]

I.1.3.2 Pourquoi concentrer le rayonnement solaire ? [2]

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 désertique est d'environ 1000W/m^2 . lorsque le rayonnement solaire éclaire solide ou liquide, une fraction est réfléchie, 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.7 : Concentrateur solaire cylindro-parabolique [5]

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.

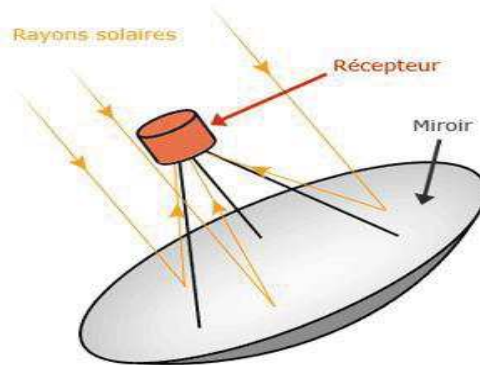


Figure I.8 : Concentrateur parabolique [5]

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.

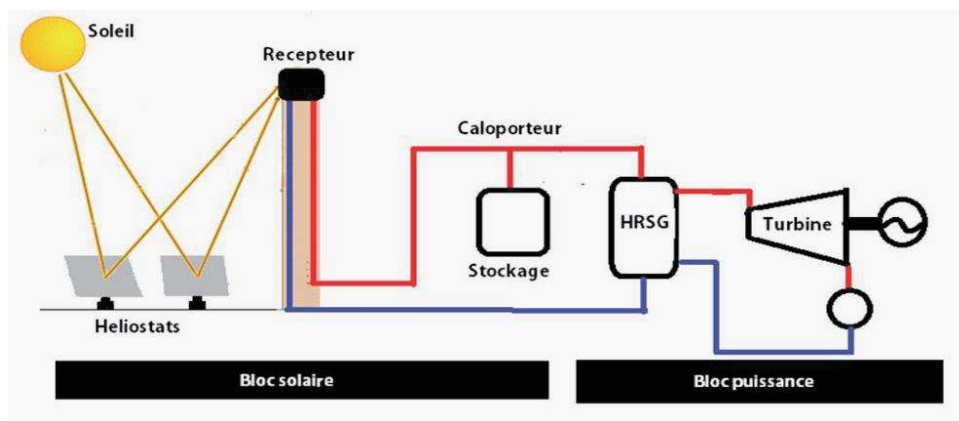


Figure I.9 : Concentrateur à tours [5]

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
Cout 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 [3]

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 L'énergie hydraulique [6]

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 : 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 :

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (I.1)$$

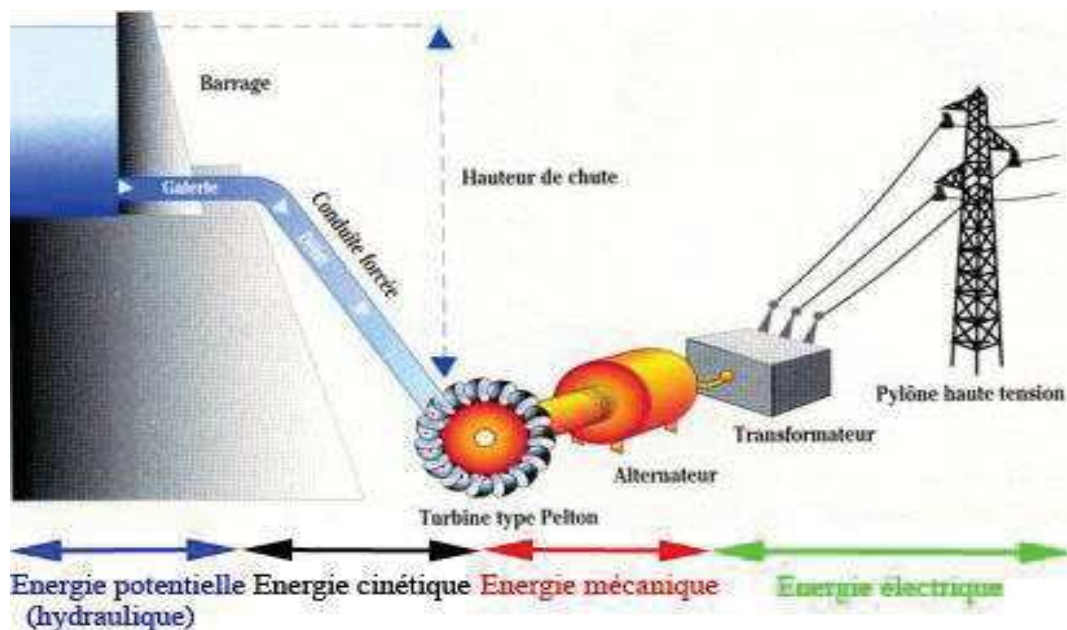


Figure I.10 : Principe de l'énergie hydraulique [6]

I.2.1 Les 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 Les 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 Les différents types :

1. Les 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. Les 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. Les 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 à contrefort

I.2.3 Les 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 trans-fère 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 et 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 L'énergie éolienne [7]

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

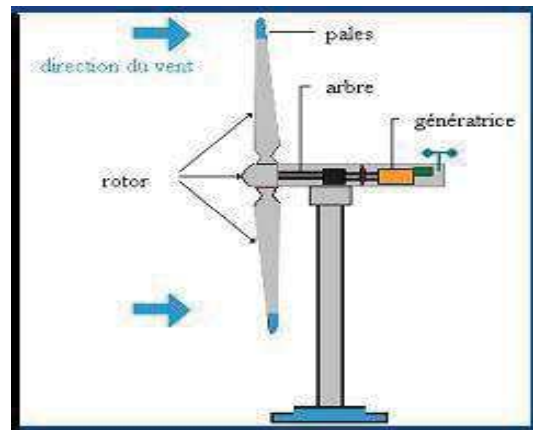


Figure I.14 : Fonctionnement d'une éolienne [7]

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

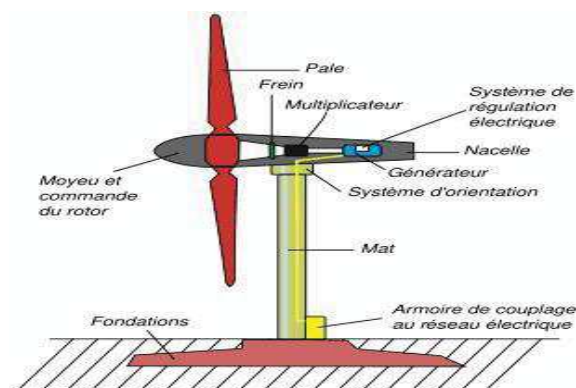


Figure I.15 : Eolienne de type aérogénérateur [7]

I.3.3 Les différents types d'éolienne

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

I.3.3.1 L'éolienne 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 [8]

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 [7]

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

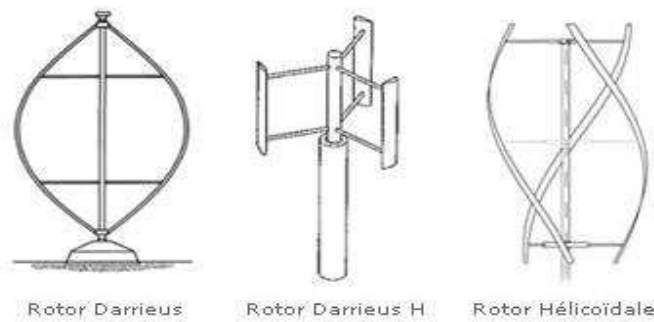


Figure I.18 : Différentes type rotors c [7].

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.

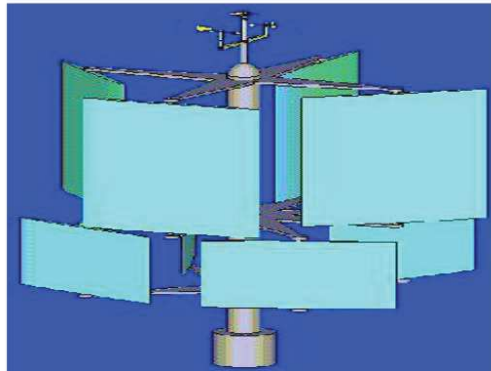


Figure I.19 : Eolienne de type voiture tournante [8]

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 Energie de la Biomasse [9]

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

I.4.1 Les 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 Le 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.

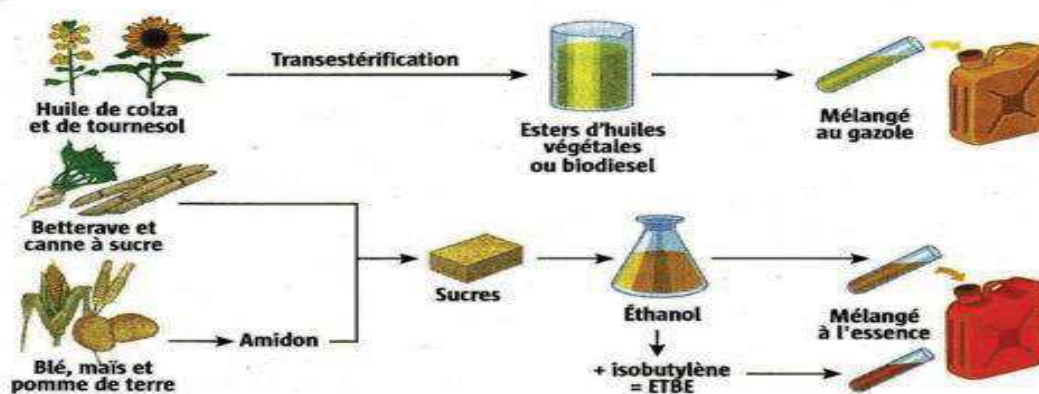
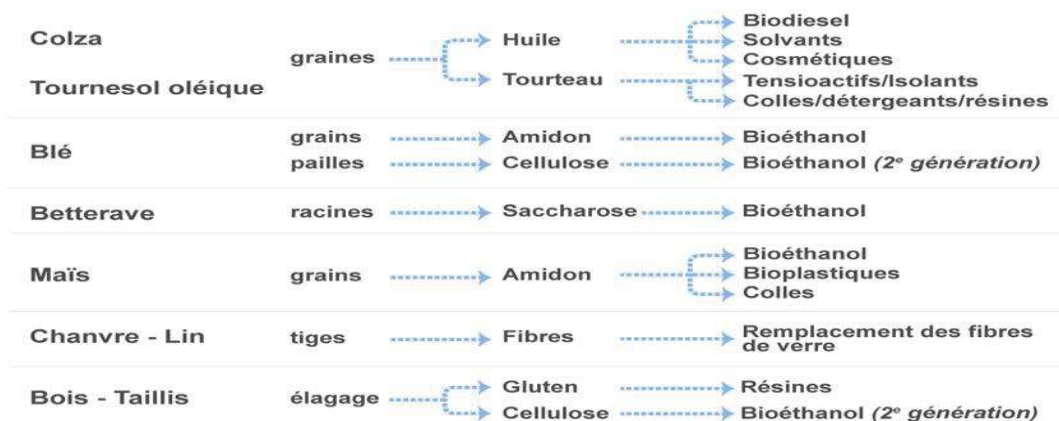


Figure I.21 : Processus d'obtention de biocarburant 1^{er} [9]

La biomasse peut être aussi utilisée pour d'autres applications



Valorisation de la biomasse sous d'autres formes

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 L'énergie 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. [10]

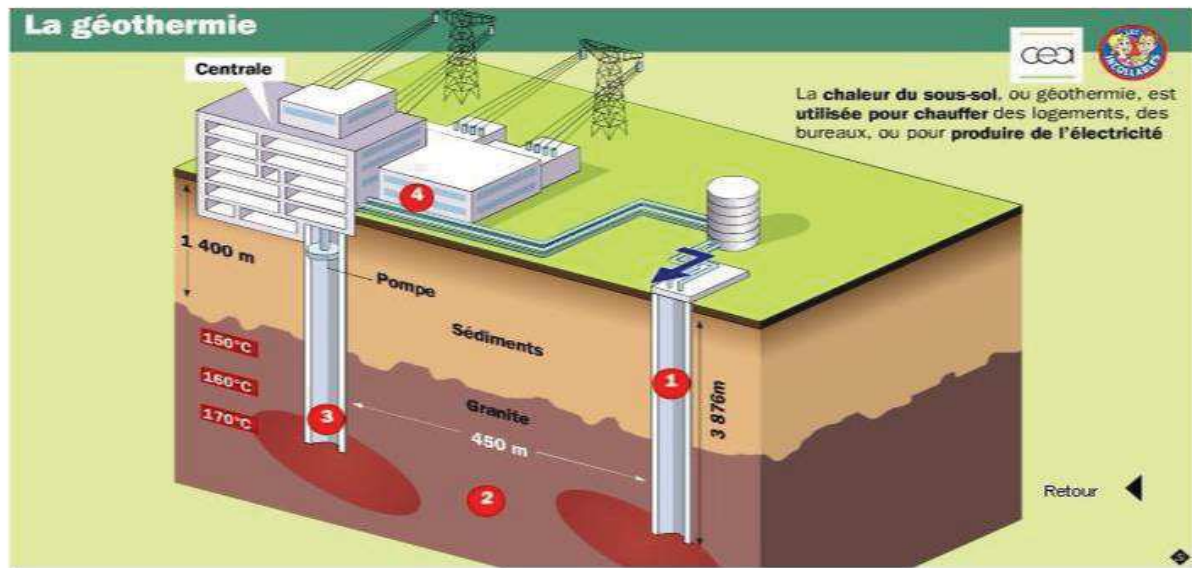


Figure I.22 : Centrale géothermique [10]

I.5.1 Description des différents systèmes géothermiques :

Il existe trois types de système géothermique :

I.5.1.1 La 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

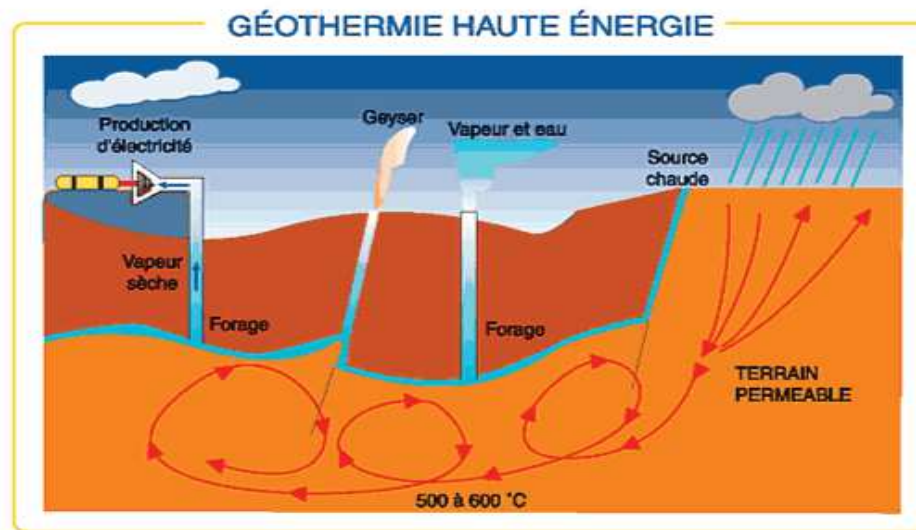


Figure I.23 : Exploitation géothermique à haute énergie

I.5.1.2 La 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 frigorigène 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 La 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.

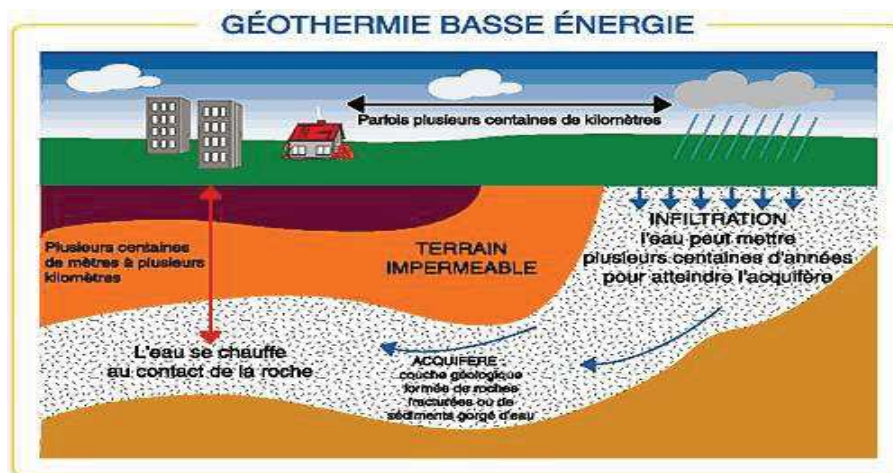


Figure I.24 : Exploitation géothermique à basse énergie [10]

I.5.2 Les différentes techniques d'exploitation

I.5.2.1 Le 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. [11]

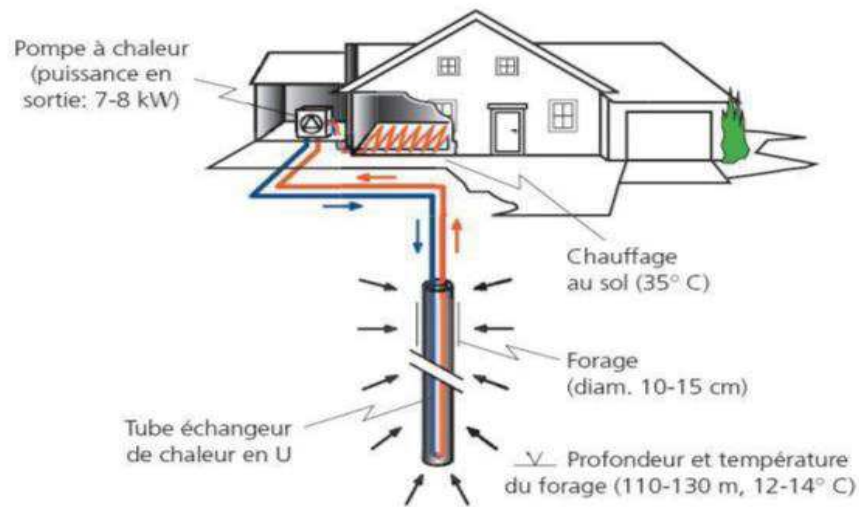


Figure I.25 : Pompe à chaleur système captage horizontal

➤ **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. [11]



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

Figure I.26 : Système de captage vertical[11]

➤ 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. [11]

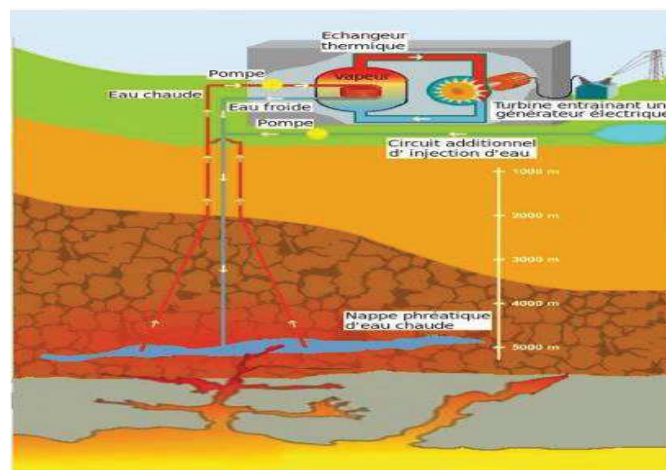


Figure I.27 : Pompage sur nappe phréatique [11]

I.5.2.2 La 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 [12].

I.5.2.3 Le 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.

- ✓ 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.

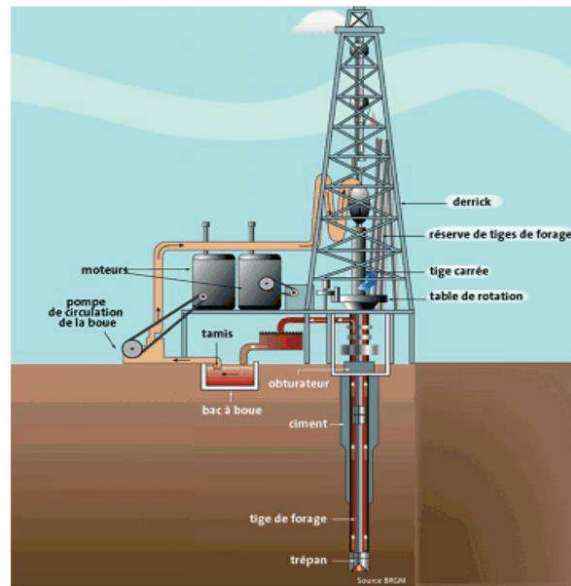


Figure I.28 : Système géothermique à forage [12]

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 thermale 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.

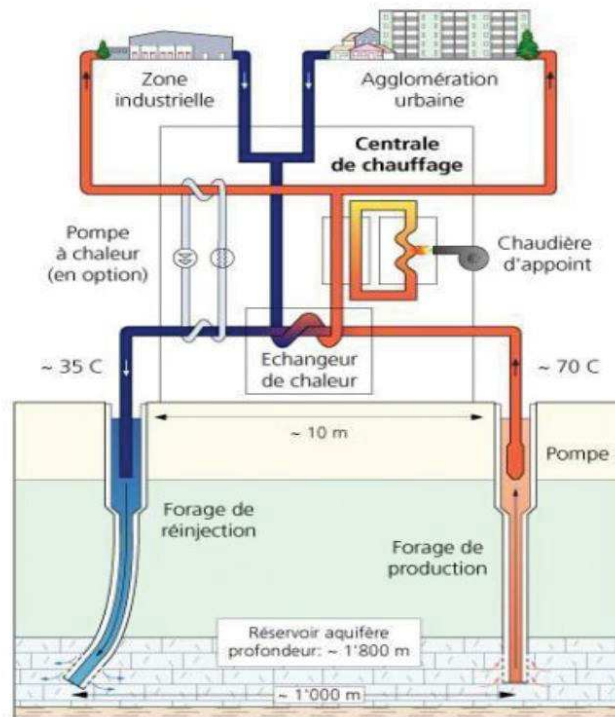


Figure I.29 : Système à doublet géothermique [12]

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 L'énergie 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 Les différentes sources d'énergie marine

I.6.1.1 L'énergie 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 L'énergie 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

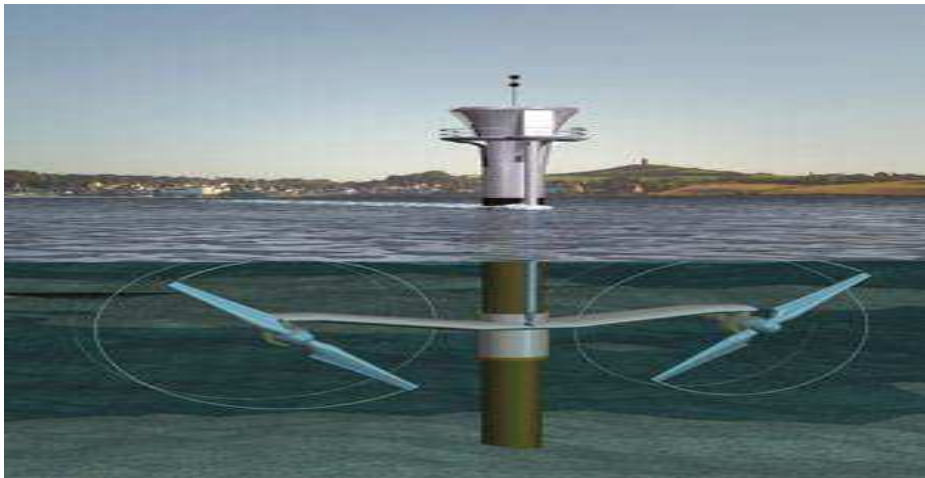


Figure I.30 : Hydrolienne

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 L'énergie 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.

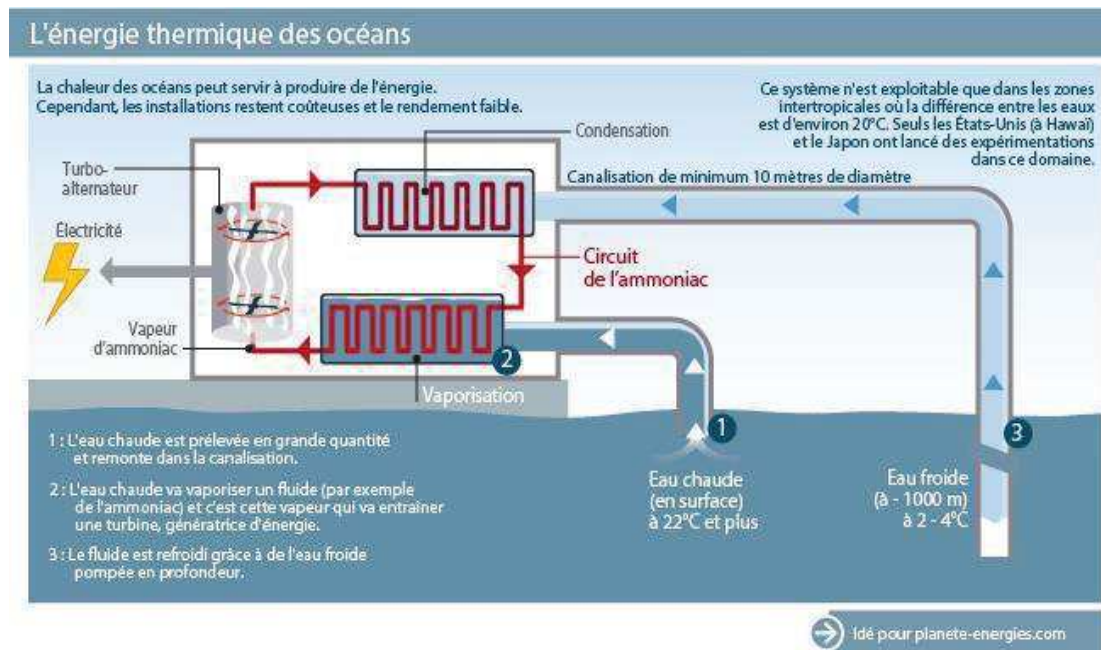


Figure I.32: Principe de l'énergie thermique de la mer

I.6.1.5 L'énergie 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.

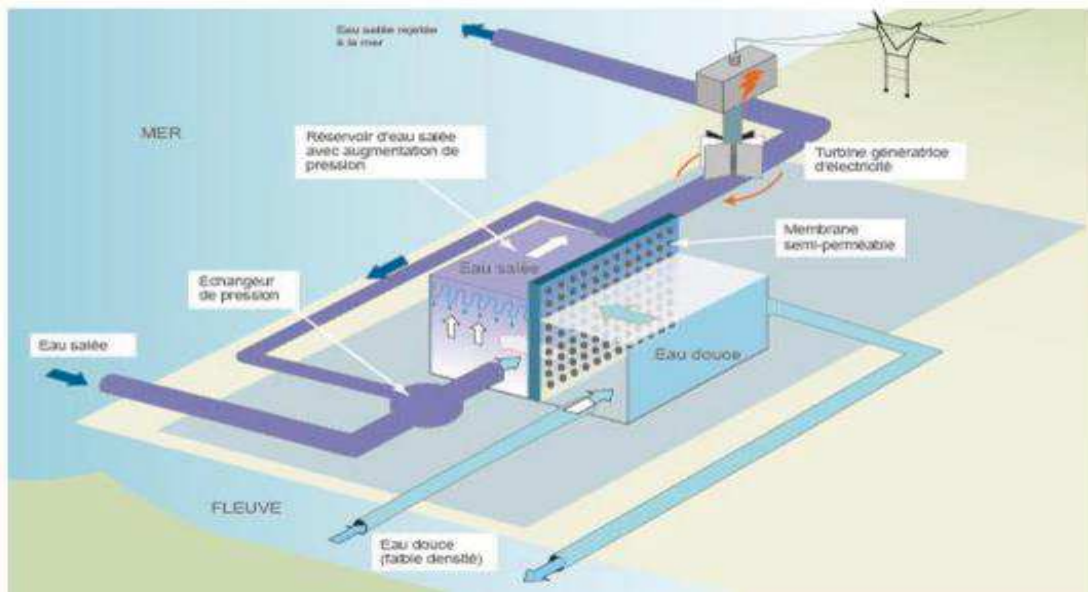


Figure I.33 : Centrale de production d'énergie osmotique

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

- ❖ 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

7. 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

Aujourd'hui on distingue plusieurs sources d'énergies renouvelables, l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire). L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre.[13]

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre.

Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés. La conversion photovoltaïque est l'un des modes les plus intéressants d'utilisation de l'énergie solaire. Elle permet d'obtenir de l'électricité de façon directe et autonome à l'aide d'un matériel fiable et de durée de vie relativement élevée, permettant une maintenance réduite.

Le but d'un système photovoltaïque (PV) est d'utiliser la conversion directe de l'énergie solaire par effet photovoltaïque pour subvenir aux besoins en énergie électrique de l'utilisation.

L'exploitation de l'énergie photovoltaïque offre un approvisionnement en énergie inépuisable mais surtout une énergie propre et non polluante, ce qui constitue un avantage certain. L'utilisation de l'énergie solaire pour l'alimentation en électricité reste toujours le souci quotidien des populations des régions rurales et sahariennes dans les mosquées dans les usines.

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable tant que le soleil brille encore, c'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement.

Sachant que le but essentiel de toutes les recherches est l'amélioration globale des performances des systèmes de conversion photovoltaïque (PV), lorsqu'un générateur photovoltaïque alimente une charge, quelle que soit sa nature, ceci n'implique pas forcément une mauvaise rentabilité du système global, mais l'équivalence entre le rendement admissible et le coût moyen d'exploitation détermine le degré d'efficacité d'utilisation de l'énergie solaire.

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

II.1 L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables (même si le Soleil disparaîtra un jour).

L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

La distance de la terre au soleil est environ 150 million de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300000 km/h [14] , les rayons du soleil mettent donc environ 8minute sa nous parvenir. La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. Sa valeur est communément a le à 1360 W/m². Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m² à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein à découvert en travaillant sur l'effet photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = (h * C) / \lambda \quad (II.1)$$

h : la constante de Planck,

C : la vitesse de la lumière.

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande. Une façon commode d'exprimer cette énergie est :

$$E = 1.26 \lambda \quad (II.2)$$

L'effet photovoltaïque : Le terme « photovoltaïque » vient du Grec et qui signifie Lumière, il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et du nom de famille du physicien italien (Alessandro Volta) qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "bombardés" par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce

bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être «arrachés» : Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons "arrachés" créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire. L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois, en 1839, par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux États-Unis, parvinrent à fabriquer la première cellule photovoltaïque, l'élément primaire d'un système photovoltaïque

II.2 Rayonnement solaire :

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre 150.10^6 Km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180.10^6 GW, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie. Cette quantité d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de 0.22 à $10 \mu\text{m}$, l'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit:

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4 \mu\text{m}$).
- 47 % dans la bande visibles (0.4 à $0.8 \mu\text{m}$).
- 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$).

Cette énergie est définie comme paramètre solaire qui a une valeur variable suivant la saison, l'heure, la localisation géographique du site, les conditions météorologiques (poussière, humidité,...etc.). Le soleil tire son énergie de réactions thermonucléaires se produisant dans son noyau. L'énergie émise par le soleil est sous forme d'ondes électromagnétiques dont l'ensemble forme le rayonnement solaire. En traversant l'atmosphère, le rayonnement va subir des transformations par absorption et par diffusion, on distingue pour cela.

II.2.1 Le rayonnement direct

Les rayons du soleil atteignent le sol sans subir de la modification (sans diffusion par l'atmosphère). Les rayons restent parallèles entre eux.

II.2.2 Le rayonnement diffus

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire rencontre des obstacles tels que les nuages, la poussière, etc. Ces obstacles ont pour effet de répartir un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux dans toutes les directions.

II.2.3 Le rayonnement réfléchi

C'est le résultat de la réflexion des rayons lumineux sur une surface réfléchissante par exemple : la neige ; cette réflexion dépend de l'albédo (pouvoir réfléchissant) de la surface concernée. Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions comme le montre la figure suivante [15]

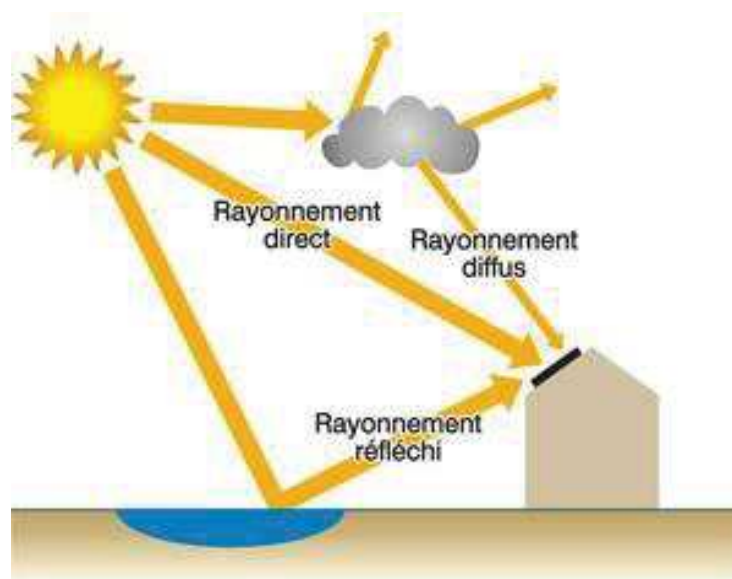


Figure II.01 : Le rayonnement solaire. [24]

II.3 Systèmes photovoltaïques

Le photovoltaïque est un processus de transformation des rayons du soleil en énergie électrique.

Le système est composé de plusieurs éléments afin de le faire fonctionner :

-panneaux constitués de cellules solaires à base de silicium : produisent un courant continu lorsqu'elles sont soumises à la lumière du soleil. Le silicium est présent au sein de ces cellules car c'est un matériau dit semi-conducteur.

-Les cellules solaires se déclinent sous différentes formes ce qui influe sur leur puissance :

- cellules monocristallines : ce sont les cellules qui offrent le meilleur rendement mais la fabrication du matériau est coûteuse
- cellules poly cristallines : le rendement est quelque peu inférieur à celui des cellules précédentes mais le coût de production est moins élevé. Ce bon rapport qualité / prix en fait donc le matériau le plus couramment utilisé dans les panneaux
- cellules amorphes : le prix de fabrication est très faible, le rendement est proportionnel à ce dernier.

-Un onduleur ou un micro-onduleur : pour transformer l'énergie captée par les modules en courant alternatif

-les câbles et un dispositif de protection de l'installation

-Un compteur électrique spécial permettant de comptabiliser l'électricité produite

Les panneaux sont disponibles entre 3 et 9 kWc et font généralement une taille d'un m². [15]

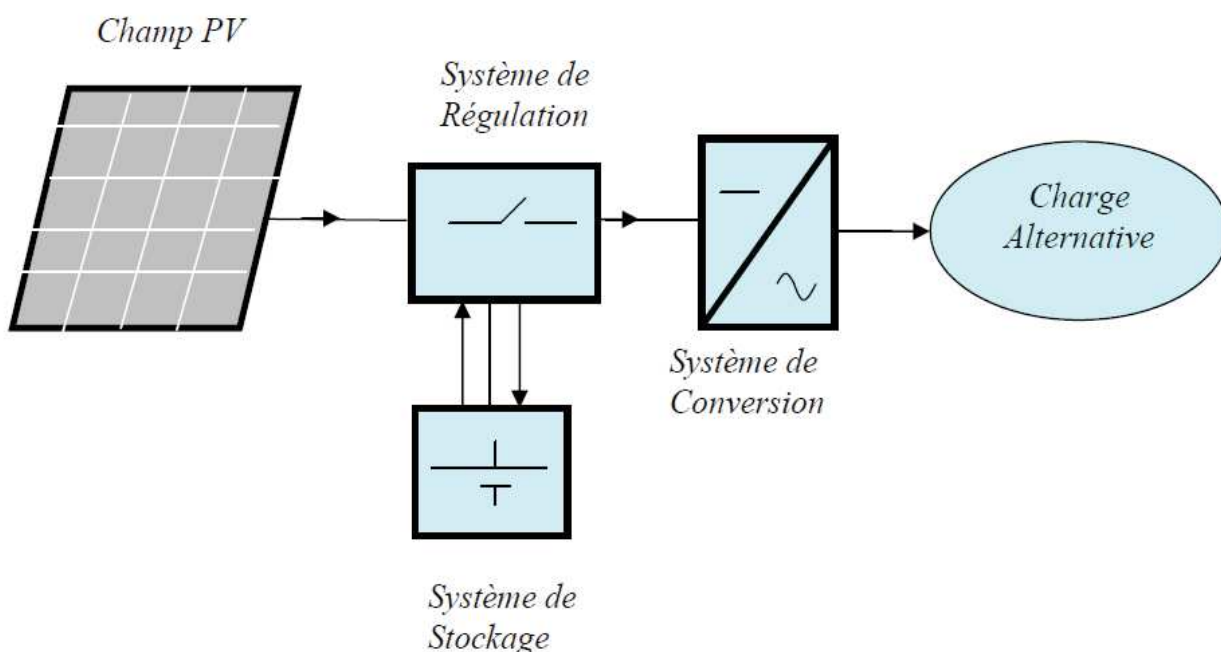


Figure II.02 : Schéma simplifié d'un système photovoltaïque [15]

II.3.1 Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque [15]

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau.

Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles.

Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles vous vous trouvez.

Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, etc.) d'un photon en électron.

Outre les avantages liés à l'absence de maintenance des systèmes photovoltaïques, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux. L'énergie solaire photovoltaïque est également appelée énergie photovoltaïque.

II.3.2 Principe de la conversion photovoltaïque [16]

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

négativement.

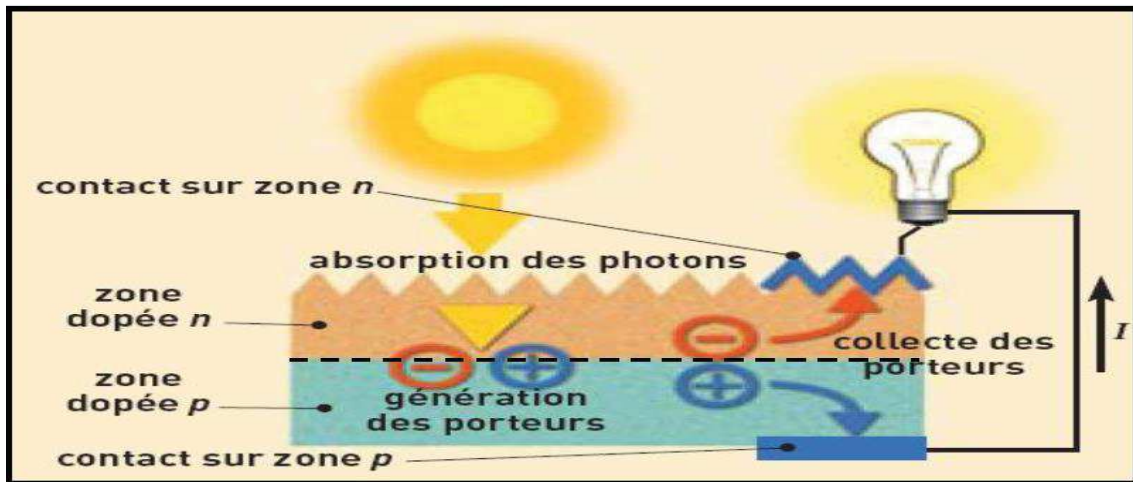


Figure II.03 : Principe de la conversion photovoltaïque [16]

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p . Une jonction (dite $p-n$) a été formée.

II.3.2.1 Formation de la jonction PN [17]

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres, figure II.04.

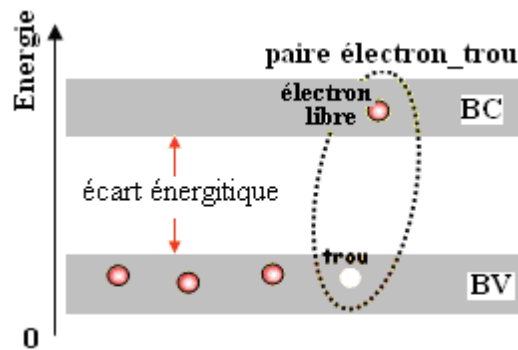


Figure II.04 : Génération de la paire électron-trou. [17]

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photogénérateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette

opération est possible par dopage du Silicium. Une jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode.

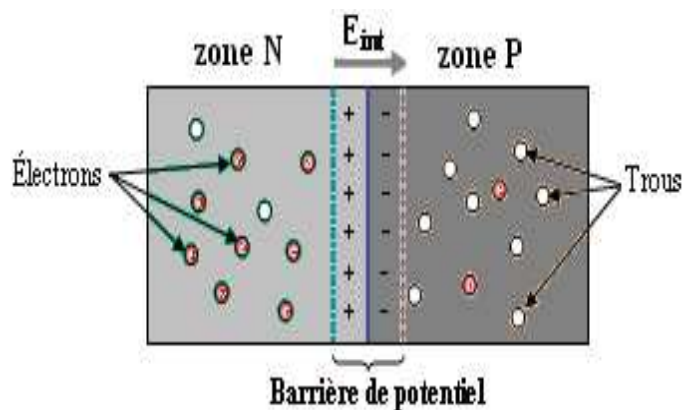


Figure II.05 : La jonction PN. [17]

II.4. Composants des systèmes solaires photovoltaïques [18]

Les éléments d'un système solaire photovoltaïque sont indiqués dans la Figure II.06 et énoncés ci-dessous

1. Générateur photovoltaïque
2. Batterie
3. Régulateur
4. Onduleur
5. Capot avant
6. Couvercles encapsulés
7. Cadre de support
8. Protection arrière
9. Boîte de jonction électrique

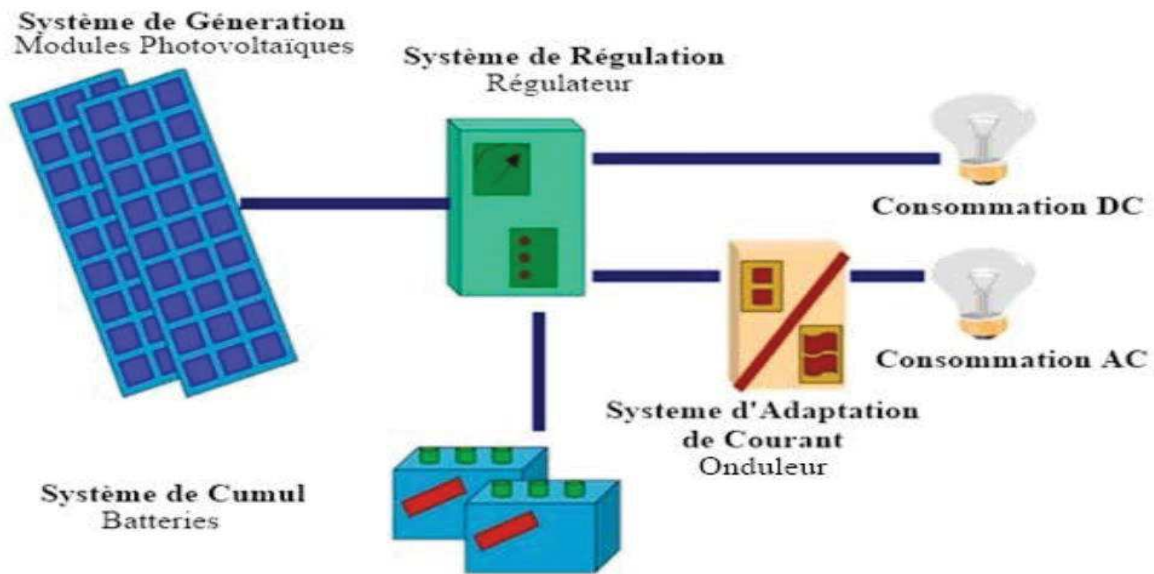


Figure II.06 : Eléments d'un système solaire photovoltaïque [18]

II.4.1. Le Générateur photovoltaïque

Le module photovoltaïque convertit directement la lumière du soleil en courant électrique continu par le biais des cellules solaire

II.4.1.1. Bases du fonctionnement des panneaux photovoltaïques

Le fonctionnement des panneaux photovoltaïques se base sur l'effet photovoltaïque. Quand l'ensemble photovoltaïque s'expose au rayonnement solaire, les photons contenus dans la lumière transmettent leur énergie aux électrons des matériaux semi-conducteurs. Ces électrons peuvent alors franchir la barrière de potentiel de l'union P-N et sortir du matériau semi-conducteur à travers un circuit extérieur, donnant lieu à un courant électrique. Le module le plus petit d'un matériau semi-conducteur avec une union P-N (et, par conséquent, avec la capacité de produire de l'électricité) est dénommé cellule photovoltaïque. Ces cellules photovoltaïques se combinent de manières spécifiques pour obtenir la puissance et la tension souhaitées. L'ensemble de cellules situé sur un support approprié et recouvert de matériaux qui le protègent d'une façon efficace contre les agents atmosphériques s'appelle panneau photovoltaïque.[18]

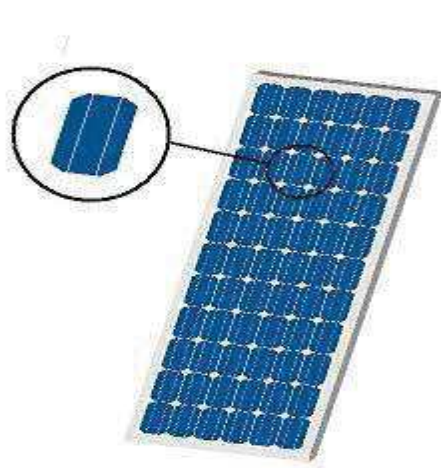


Figure II.07 : Cellule photovoltaïque et panneau photovoltaïque [18]

II.4.2. La batterie

La batterie a pour fonction le stockage d'une partie de l'énergie produite par les panneaux (c'est-à-dire, la portion d'énergie qui n'est pas immédiatement consommée) afin qu'elle soit disponible dans des périodes où le rayonnement solaire est faible ou inexistant. Le stockage se fait sous la forme d'énergie électrique à travers l'usage de batteries, normalement de plomb acide. Une batterie est composée par l'association en série de plusieurs « éléments » ou « cellules », chacun d'eux comprenant deux électrodes de plomb dans une dissolution électrolytique. Entre les deux électrodes, une différence de potentiel de près de deux volts est établie, et la valeur instantanée dépend de l'état de charge de la batterie. Les batteries les plus utilisées pour les applications photovoltaïques sont de 12 ou 24 volts de tension nominale.

La batterie a aussi ces deux importantes fonctions :

- Fournir une puissance instantanée supérieure à celle fournie par l'ensemble des panneaux et nécessaire pour la mise en place de quelques éléments.
- Déterminer la marge des tensions de travail de l'installation.

II.4.2.1. Types de batteries

Les batteries sont de plusieurs types, à savoir :

- Nickel-cadmium

-Plomb-acide

-Batterie d'automobile

Les batteries de Nickel-Cadmium sont les plus recommandées à cause de leur haute fiabilité et résistance, mais leur prix élevé fait pencher la balance en faveur des batteries de plomb-acide. Cependant, il y a quelques pays où ces batteries sont difficiles à trouver ou où leur prix peut être très haut (soient locales ou soient importées), et pour cette raison, les batteries utilisées sont celles offertes par le marché, notamment celles destinées au marché des automobiles. Pourtant, les batteries d'automobile ne sont pas très recommandées pour les applications photovoltaïques, car elles ont été désignées pour fournir une forte intensité pendant quelques secondes (démarrage), et pas pour fournir des courants bas de manière plus ou moins régulière. Cela réduit sa durée d'utilisation.

Note : Les batteries peuvent avoir une technologie à électrolyte liquide ou gel. Dans le cas des batteries à électrolyte gel, l'électrolyte se présente sous la forme d'un gel. Ce type de batterie a les avantages suivants : elle n'a besoin d'aucune maintenance et peut travailler dans un large éventail de températures (-15°C +55°C). Par contre, elles sont plus chères et se rechargent plus lentement.

II.4.2.2.Fonctionnement de la batterie

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

- **Surcharge** : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification)
- **Sur décharge** : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment.

C'est le régulateur qui doit prévenir l'entrée d'énergie au-dessus de la surcharge permise et aussi la consommation de plus d'énergie que celle prévue par la sur décharge.

II.4.2.3 Paramètres de la batterie :

- **Tension nominale** : Elle est normalement de 12 volts.

-
-
- **Capacité nominale** : Elle est la quantité maximale d'énergie qui peut être retirée de la batterie. Elle s'indique en ampères heure (Ah) ou en wattheures (Wh). Puisque la quantité d'énergie qui peut être retirée dépend aussi du temps nécessaire pour le processus d'extraction (plus le processus est long, plus d'énergie on pourra obtenir), la capacité est souvent indiquée en fonction du temps de décharge. Dans le cas des applications photovoltaïques, ce temps doit être égal ou supérieur à 100 heures.
 - **Profondeur maximale de décharge** : Elle est la valeur (indiquée en pourcentage) extraite d'une batterie totalement chargée dans une décharge. La profondeur est limitée par les régulateurs, qui sont habituellement calibrés pour qu'ils puissent permettre des profondeurs de décharge de la batterie d'environ 70 %. En fonction de la profondeur maximale de décharge permise, la batterie peut avoir plus ou moins de cycles de charge et décharge pendant toute sa durée d'utilisation. Le fabricant doit fournir des graphs où la relation entre la quantité de cycles et la durée de la batterie puisse être vue.
 - **Capacité utile ou disponible** : Elle est la capacité qui peut être véritablement utilisée. Elle est égale au produit de la capacité nominale et de la profondeur maximale de décharge celle-ci divisée par un.

II.4.3. Le régulateur de charge

Il implique une vigilance continue pour éviter les surcharges et les décharges profondes que la batterie peut produire.

Fonction : Protection de la batterie contre les situations extrêmes afin de ne pas l'endommager.

Fonctionnement : Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharges ou de décharges extrêmes.

II.4.3.1. Différentes types de régulateur :

- Régulateur parallèle : Il régularise la surcharge. Il est indiqué pour des petites installations solaires photovoltaïques.
- Régulateur série : Il régularise la surcharge et la décharge. Son interrupteur peut être électromécanique ou statique. Il peut incorporer des autres fonctions (alarme, interruption nocturne, etc.). La Figure II.8 présente l'image d'un régulateur série.

Les régulateurs utilisés sont de type série : ils déconnectent l'ensemble de panneaux de la batterie pour éviter la surcharge ; et les équipements de consommation pour éviter la sur décharge. Cette

déconnexion se fait à travers interrupteurs qui peuvent être des dispositifs électromécaniques (des relais, des contacteurs, etc.) ou des dispositifs d'état solide (un transistor bipolaire, etc.).

Afin de protéger la batterie de la surcharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie atteint sa tension d'arrêt de la charge, et se ferme de nouveau quand la batterie retourne à la tension de réinitialisation de charge. La tension d'arrêt de la charge est environ 2,45V par chaque élément de la batterie à 25°C.

En ce qui concerne la sur décharge, l'interrupteur s'ouvre quand la tension de la batterie est inférieure à la tension d'arrêt de la décharge, et se ferme quand la batterie retourne à la tension de réinitialisation de décharge. La tension d'arrêt de la décharge est environ 1,95V par chaque élément.



Figure II.08 : Régulateur série

II.4.3.2 Paramètres qui définissent un régulateur

- Tension de travail : 12, 24 ou 48 V
- Intensité maximale : Elle doit être supérieure au courant maximal du générateur photovoltaïque.

Le fabricant fournit aussi des autres données d'intérêt :

- Les valeurs de la tension d'arrêt de la charge (surcharge) et de la tension d'arrêt de la décharge (sur décharge).
- L'existence de compensation avec la température. Les tensions qui indiquent l'état de charge de la batterie changent avec la température, et c'est pour cette raison que quelques régulateurs mesurent la température et utilisent cette information pour corriger les tensions de surcharge.
- L'instrumentation de mesure et ses indicateurs : les régulateurs ont souvent un voltmètre qui mesure la tension de la batterie et un ampèremètre qui mesure le courant. La plupart d'eux

ont des indicateurs qui notifient certaines situations comme : le bas état de charge de la batterie, déconnexion des panneaux avec la batterie, etc.

II.4.4 L'onduleur

Les onduleurs sont des équipes qui transforment la tension continue fournie par les modules en une tension différente, soit continue d'une autre magnitude (onduleurs DC/DC) ou soit alternative (onduleurs DC/AC, qui sont les plus communs).

II.4.4.1 Onduleurs DC/AC

Les systèmes solaires produisent de l'énergie électrique en courant continu mais beaucoup d'électrodomestiques et de récepteurs fonctionnent avec le courant alternatif.

Dans les installations solaires photovoltaïques connectées au réseau électrique, l'onduleur doit non seulement transformer le courant continu du générateur photovoltaïque en courant continu du générateur photovoltaïque en courant alternatif, mais aussi réaliser des autres fonctions. Ses fonctions principales : inversion de modulation de l'onde alternative ; régulation de la valeur efficace de la tension de sortie.

Les onduleurs peuvent être en monophasé ou en triphasé, avec des valeurs différentes pour la tension d'entrée et avec une puissance qui peut aller jusqu'à des mégawatts.

II.4.4.2 Types d'onduleurs DC/AC :

- Onduleur à onde carrée : Pour les utilisations de base comme les TV et l'éclairage, et en général pour les charges résistives. Ils sont moins chers.
- Onduleur à onde sinusoïdale : Pour tout type d'application, en particulier pour les moteurs, Ils sont plus chers. [18]

II.4.5 Capot avant

Le capot avant du panneau photovoltaïque a une fonction principalement protectrice car il subit l'action des agents atmosphériques. Le verre trempé à faible teneur en fer est utilisé, car il a une bonne protection contre les chocs et est un très bon émetteur de rayonnement solaire.

Bien que la présence du couvercle soit nécessaire pour protéger les cellules photovoltaïques, en fonction de la qualité du verre de protection, il peut réduire les performances du panneau solaire.

II.4.6 COUVERCLES ENCAPSULÉS

Les couches encapsulées sont chargées de protéger les cellules solaires et leurs contacts. Les matériaux utilisés (éthyle-vinyle-acétyle ou EVA) assurent une excellente transmission au rayonnement solaire, ainsi qu'une dégradation nulle contre le rayonnement ultraviolet.

L'EVA est un copolymère thermoplastique d'éthylène et d'acétate de vinyle, qui agit comme un isolant thermique et transparent pour laisser passer la lumière du soleil vers les cellules photovoltaïques. Il assure la cohésion de l'ensemble de panneaux en remplissant le volume entre les capots avant et arrière, amortissant ainsi les vibrations et les chocs qui peuvent survenir.

Les problèmes les plus importants que présentent les copolymères tels que l'EVA sont leur plasticité excessive (lorsqu'ils sont étirés, ils ne retrouvent pas leur position d'origine), une grande adhérence à la poussière, ce qui provoque une diminution de la transmissives au rayonnement solaire et leur faible durée de vie, qui conditionne généralement la durée de vie utile de l'ensemble du module.

Les autres caractéristiques de ces copolymères sont :

- Bonne résistance aux intempéries et aux agents chimiques.
- Faible absorption d'eau
- Facile à ramasser
- Facile à couper
- Il est non toxique

II.4.7 CADRE DE SUPPORT

Le cadre de support est la partie qui donne une résistance mécanique à l'ensemble. Le cadre support d'un panneau solaire permet son insertion dans des structures qui regrouperont des modules.

Le cadre est généralement en aluminium, bien qu'il puisse également être en d'autres matériaux. Dans tous les cas, il est important qu'il soit construit avec un matériau résistant aux différentes conditions météorologiques.

II.4.8 Protection arrière d'un panneau photovoltaïque

Sa mission de protection ultérieure du panneau photovoltaïque consiste, fondamentalement, à protéger contre les agents atmosphériques, à exercer une barrière insurmontable contre l'humidité. Normalement, 24 matériaux acryliques, Tedlar ou EVA sont utilisés. Ils sont souvent de couleur

blanche car cela favorise les performances du panneau en raison de la réflexion qu'il produit dans les cellules.

El Tedlar, également connu sous le nom de PVF, polyvinyle fluorure ou $(CH_2CHF)_n$. Le tedlar ou PVF est un polymère thermoplastique, structurellement similaire au PVC (chlorure de polyvinyle). Il a une faible inflammabilité, une faible perméabilité à la vapeur et une excellente résistance à l'usure des conditions atmosphériques.

II.4.9 Boîte de jonction électrique

Deux câbles sortent du boîtier de connexion électrique, l'un positif et l'autre négatif. C'est l'endroit où la continuité se produit dans le circuit électrique.

Certains modules photovoltaïques ont une connexion à la terre, qui doit être utilisée dans les installations à haute puissance.

II.5 Technologie des cellules photovoltaïque

II.5.1 Historique [19]

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par Antoine Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'énergie photovoltaïque s'est développée dans les années 50 pour l'équipement de vaisseaux spatiaux et le premier a été lancé dans l'espace en 1958. C'était le seul procédé non-nucléaire d'alimenter des satellites en énergie. Les images satellites reçues par votre téléviseur ne vous parviennent que grâce à l'énergie photovoltaïque. Pendant les années 70 et 80, des efforts ont été faits pour réduire les coûts de sorte que l'énergie photovoltaïque soit également utilisable pour des applications terrestres. La croissance de l'industrie fut spectaculaire. Depuis le début des années 80, la quantité de modules photovoltaïques expédiés par an (mesurés en MW-Crêtes) a augmenté et le prix des modules (par Watt-Crête) diminuait au fur et à mesure que le nombre de modules fabriqués augmentait. Bien que le prix se soit quelque peu stabilisé, la quantité de modules photovoltaïques expédiés chaque année continue d'augmenter.

II.5.1.1 Quelques dates

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

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une découverte anecdotique.

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

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

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

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

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001

II.5.2 Cellule photovoltaïque [20]

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : sélénure de cuivre et d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellure de cadmium (CdTe), etc. Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté, prises en sandwich entre deux contacts métalliques, pour une épaisseur de l'ordre du millimètre. Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée

II.5.2.1 Le silicium

est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel. Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzeux (dioxyde de silicium). Celui-ci est chauffé dans un four électrique à une température de 1700 °C. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium.

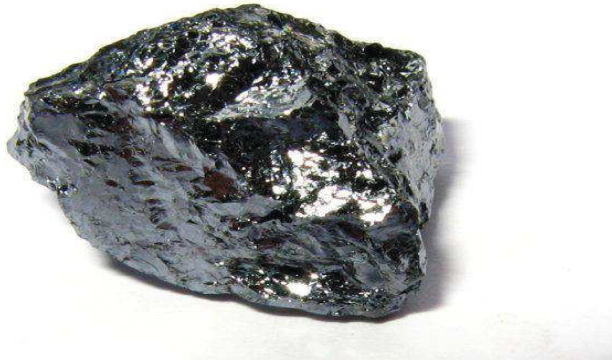


Figure II.09 : Bloc de silicium Si

Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement. Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide, puis coulé sous forme de lingot suivant le processus pour la cristallisation du silicium, et découpé sous forme de fines plaquettes (wafers). Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopants (P, As, Sb ou B) lors de l'étape de dopage, afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N. La diffusion d'éléments dopants (bore, phosphore) modifie l'équilibre électronique de ces plaquettes (wafers), ce qui les transforme en cellules sensibles à la lumière.



Figure II.10 : Wafers de silicium Si

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner pendant plus de deux ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.

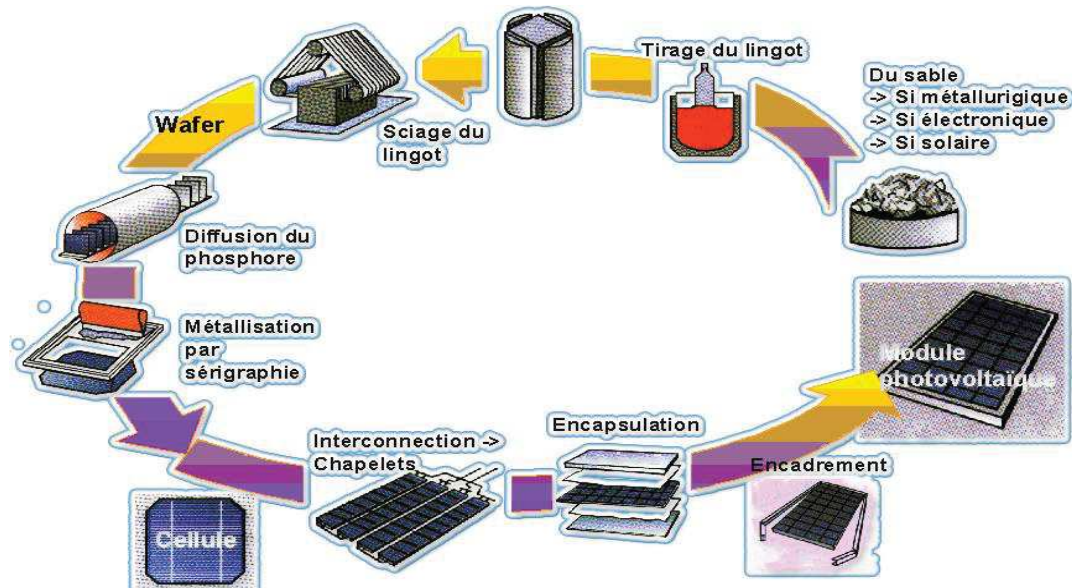


Figure II.11 : Les modules photovoltaïques au silicium (Processus de fabrication) [20]

Les cellules monocristallines et polycristallines sont fragiles. Elles sont donc placées entre deux plaques de verre (encapsulation) afin de former un module. Le matériau de base est le silicium qui est très abondant, mais la qualité nécessaire pour réaliser les cellules doit être d'une très grande pureté et son coût intervient de façon importante dans le coût de revient total. La pénurie actuelle (2006) de silicium de qualité, a créé une tension sur le marché et une augmentation du prix des cellules.

II.5.3 Les panneaux PV avec des cellules poly-cristallines

Les panneaux PV sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes).

Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure polycristalline. Durée de vie estimée : 30 ans. Un cristal est un solide avec des façades polygonales, plus ou moins brillant, à structure régulière et périodique, formée d'un empilement ordonné d'un grand nombre d'atomes, de molécules ou d'ions

II.5.3.1 Les modules photovoltaïques amorphes

Ces modules ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies poly-cristallines ou monocristallines. Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces à bas coût en utilisant peu de matière première.

Note : En chimie, un composé amorphe est un composé dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre à moyenne et grande distance, ce qui le distingue des composés cristallisés. Les verres sont des composés amorphes

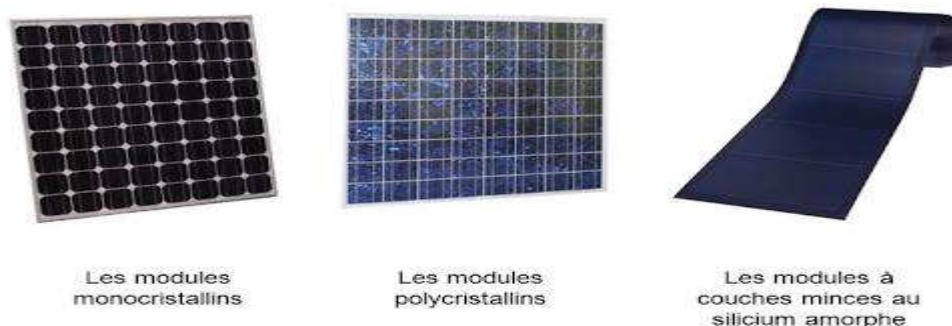


Figure II.12 : Les modules photovoltaïques amorphes[20]

II.5.4 Le semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux. Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semi-conducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimum pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). C'est l'énergie du "band gap" E_g , en électronvolts (eV). Cette valeur seuil est propre à chaque matériau semi-conducteur et va de 1,0 à 1,8 eV pour les applications photovoltaïques. Le spectre du rayonnement solaire est la distribution des photons en fonction de leur énergie (inversement proportionnelle à la longueur d'onde). Le rayonnement arrivant sur la cellule solaire sera en partie réfléchi, une autre partie sera absorbée et le reste passera au travers de l'épaisseur de la cellule.

Les photons absorbés dont l'énergie est supérieure à l'énergie du band gap vont libérer un électron négatif, laissant un "trou" positif derrière lui. Pour séparer cette paire de charges électriques de

signes opposés (positive et négative) et recueillir un courant électrique, il faut introduire un champ électrique E de part et d'autre de la cellule. La méthode utilisée pour créer ce champ est celle du "dopage" par des impuretés.

II.5.4.1 Deux types de dopage sont possibles [20]

Le dopage de type n (négatif) consiste à introduire dans la structure cristalline semi-conductrice des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire (charge négative), libre de se mouvoir dans le cristal. C'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si). Dans un matériau de type n, on augmente fortement la concentration en électrons libres.

II.5.4.2 Le dopage de type p (positif)

utilise des atomes dont l'insertion dans le réseau cristallin donnera un trou excédentaire. Le bore (B) est le dopant de type p le plus couramment utilisé pour le silicium.

Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type n et type p) de part et d'autre de la cellule, il en résulte, après recombinaison des charges libres (électrons et trous), un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs. Les charges électriques générées par l'absorption du rayonnement pourront contribuer au courant de la cellule photovoltaïque.

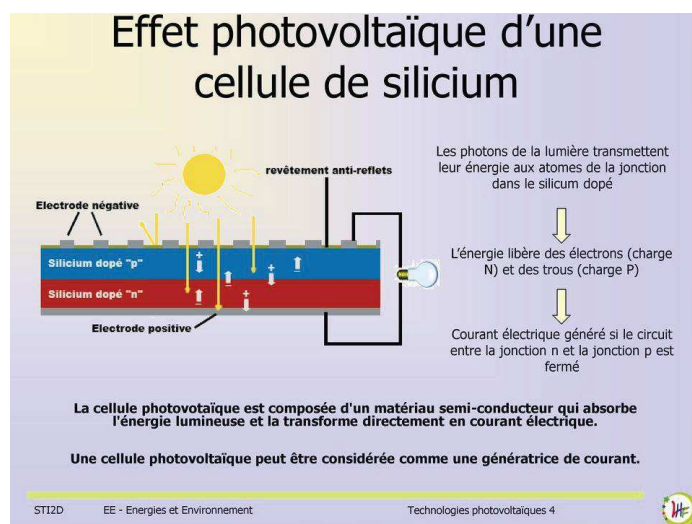


Figure II.13 : Le dopage de type p (positif) [20]

II.5.5 Comparatif des différentes technologies [20]

Matériau	Rendement	Longévité	caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Très performant * Stabilité de production d'W * Méthode de production coûteuse et laborieuse. 	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché mondial 	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	5 à 8% (13% en laboratoire)		<ul style="list-style-type: none"> * Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à 	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

			la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	
Composite mono cristallin(GaAs)	18 à 20% (27.5% en laboratoire)		* Lourd, fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite poly cristallin (CdS, CdTe, CuInGaSe2, etc.)	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

II.5.6 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La matière, qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse se compose de molécules qui sont des groupements d'atomes. Conventionnellement on représente l'atome comme constitué d'électrons gravitant autour d'un noyau, comme le feraient des satellites autour d'une planète. Le noyau est constitué de protons et de neutrons. La charge électrique du neutron est nulle. Le proton a une charge positive égale en valeur absolue à celle de l'électron qui lui, est négatif. A son état normal un atome est électriquement neutre, le nombre d'électrons étant égal au nombre de protons.

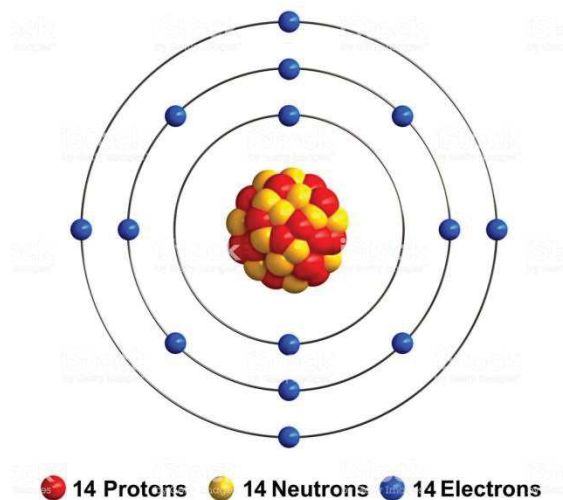


Figure II.14 : Configuration chimique d'un atome.

Les électrons, de charge négative, sont répartis par couches. Chaque couche ne peut comporter qu'un nombre limité d'électrons. Par exemple la couche K qui est la plus proche du noyau est saturée avec 2 électrons. C'est sur la couche la plus à l'extérieur (couche de valence) que les électrons ont le moins d'attraction avec le noyau, ce qui permet les liaisons avec les atomes voisins autorisant la cohésion de la matière. La couche de valence de la plupart des atomes n'est pas complète (sauf pour les gaz rares), elle peut ainsi accepter (provisoirement) des électrons, ou éventuellement en perdre. C'est le cas lors de l'ionisation d'un atome. La figure ci contre représente dans un plan les 14 électrons d'un atome de silicium gravitant autour du noyau composé de 14 protons et 14 neutrons. Les atomes sont susceptibles de se charger électriquement en gagnant ou en perdant un ou plusieurs électrons : on parle alors d'ions. Si un atome gagne un ou plusieurs électrons, la charge de l'atome devient négative (anion), et s'il en perd, la charge de l'atome devient positive (cation). Dans le cristal de silicium (un cristal est un solide formé d'atomes régulièrement disposés et fermement liés les uns aux autres), chaque atome est lié à 4 atomes voisins avec lesquels il partage les quatre électrons de sa couche M. La répartition étant régulière on peut considérer qu'un atome est au centre d'un tétraèdre et que ses 4 voisins sont placés au sommet de ce tétraèdre.

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.

II.5.7 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

L'analogie entre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque sous éclairement et celui d'un générateur de courant produisant un courant I_{ph} auquel se soustrait le courant de la polarisation de la diode en polarisation directe, n'est qu'une représentation simplifiée du fonctionnement de la cellule.

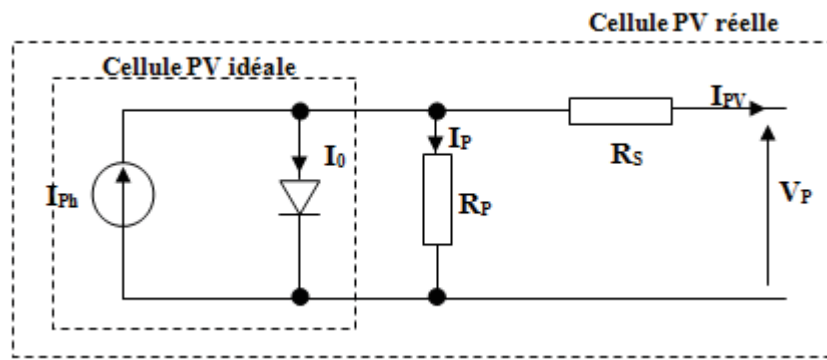


Figure II.15 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. [24]

Les différents paramètres de ce modèle sont :

- Le générateur de courant : il délivre le courant I_{ph} correspondant au courant photo généré.
- La résistance série R_s : elle prend en compte la résistivité propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule. Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule.
- La résistance R_p : également connue sous le nom de court-circuit, elle peut être due à un court-circuit sur les bords de la cellule. On l'appelle aussi résistance de fuite.
- La diode : modélise la diffusion des porteurs dans la base de l'émetteur

II.5.8 Rendement d'une cellule photovoltaïque [21]

La puissance électrique P , fournie par un générateur, vaut $P_{\text{éle}} = U \cdot I$,

avec P en watt (W), U en volt (V) et I en ampère (A)

La puissance lumineuse $P_{lum}=E*S$

avec E qui représente l'éclairement de la cellule exprimé en $W.m^{-2}$

S, la surface de la cellule exprimée en m^2

L'éclairement est mesuré avec un luxmètre. On admet qu'un éclairement de 100 lux correspond à $1 W.m^{-2}$

Le rendement η d'une cellule photovoltaïque est le quotient de la puissance électrique maximale générée par la cellule P_{max} par la puissance lumineuse P_{lum} qu'elle reçoit :

$$\eta = P_{MAX} / P_{LUM}$$

II.5.9 Comment augmenter le rendement des cellules solaires ?

Pour augmenter le rendement des cellules solaires on peut :

- Améliorer l'interaction avec la lumière.
- Augmenter l'absorption. Go
- Réduire la réflexion. Go
- Concentrer la lumière.
- Transformer et mieux adapter le spectre solaire
- Par up-conversion pour les photons proches infrarouges.
- Par down-conversion pour les photons ultra-violets.

II.5.10 Les différents types de pertes dans une cellule solaire

Le rendement d'une cellule solaire est limité par différents types des pertes peuvent être classée selon les pertes intrinsèques et extrinsèques ou selon les pertes optiques et électriques.

Et il y a plusieurs sources de pertes :

- Perte par réflexion.
- Perte thermodynamique.
- Perte par recombinaison.
- Perte par résistance électrique.
- Les pertes extrinsèques :

Ce sont les pertes qu'on peut éliminer. Il s'agit notamment des pertes due a la réflexion, l'ombrage du au contact, la résistance série, la collecte incomplète des porteurs photo générés, l'absorption dans la couche fenêtre et la recombinaison non radiative.

- Les pertes intrinsèques :

Ce type de pertes est dû au deux raisons suivantes :

- ✓ l'incapacité de la cellule solaire mono jonction à répondre efficacement à toute les longueurs d'onde du spectre solaire. la cellule solaire devient transparente pour les photons dont leurs énergie est inférieure à l'énergie de la bande interdite du semi-conducteur.

D'autre part, si les photons ont une énergie supérieure à la bande interdite le supplément d'énergie est dissipé sous forme de chaleur.

- ✓ Le deuxième type est dû à la recombinaison radiative dans la cellule.

II.5.11 Avantages et inconvénients [21]

II.5.11.1 Avantages

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

- D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliWatt au MégaWatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

II.5.11.2 Inconvénients

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients...

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.

-
-
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
 - Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
 - Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.

II.6 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau[22]

Les systèmes PV raccordés au réseau sont avant tout des équipements de production destinés à produire de l'énergie électrique d'origine photovoltaïque qui va être injectée sur un réseau électrique alimenté par d'autres sources de production, à partir de machines tournantes de puissance beaucoup plus importante. On peut considérer deux architectures électriques de raccordement, selon que l'énergie produite est consommée sur le site de production (autoconsommation) ou non (injection totale).

II.6.1. Systèmes PV raccordés au réseau avec injection totale

Ils peuvent être conçus sans ou avec stockage.

II.6.1.1 Injection totale sans stockage

Le principe de fonctionnement de ces systèmes est le suivant (Figure II. 16). Un générateur photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé, via un onduleur PV, en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public de distribution. L'énergie produite est intégralement injectée sur le réseau public de distribution afin d'être valorisée dans les meilleures conditions économiques pour le producteur. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur PV s'arrête de fonctionner.

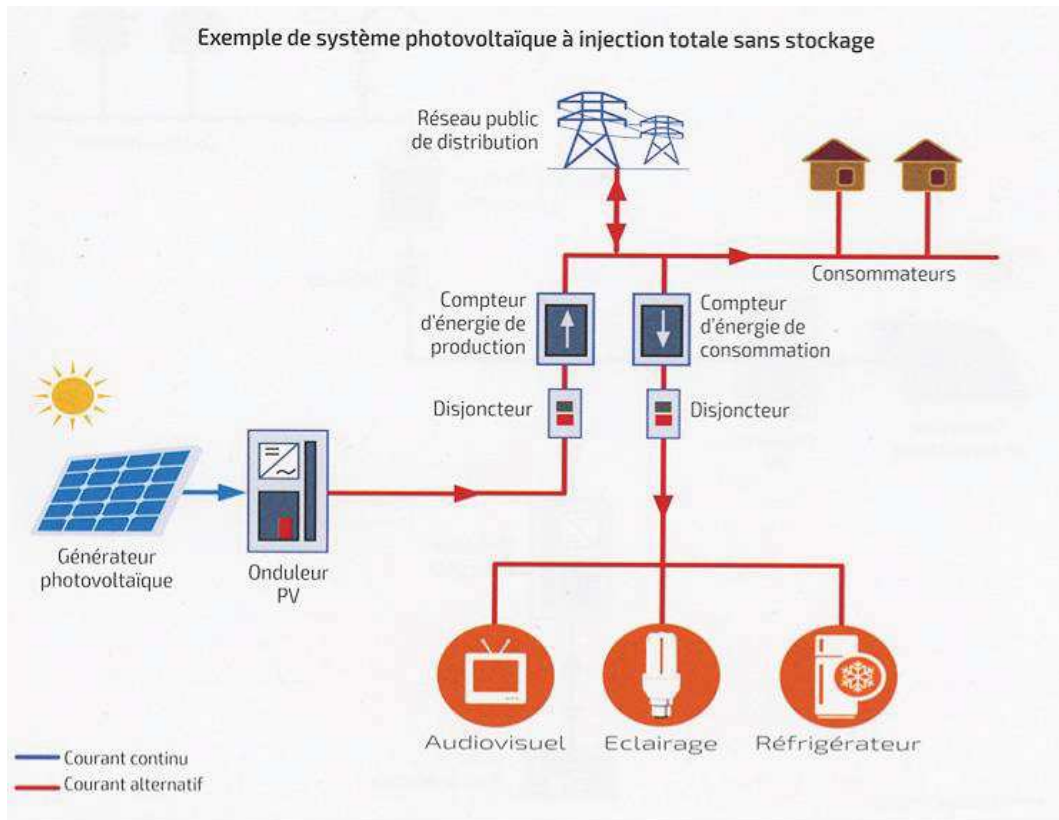


Figure II. 16 : Système photovoltaïque à injection totale sans stockage. [22]

II.6.1.2 Injection totale avec stockage

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (Figure II. 17). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.

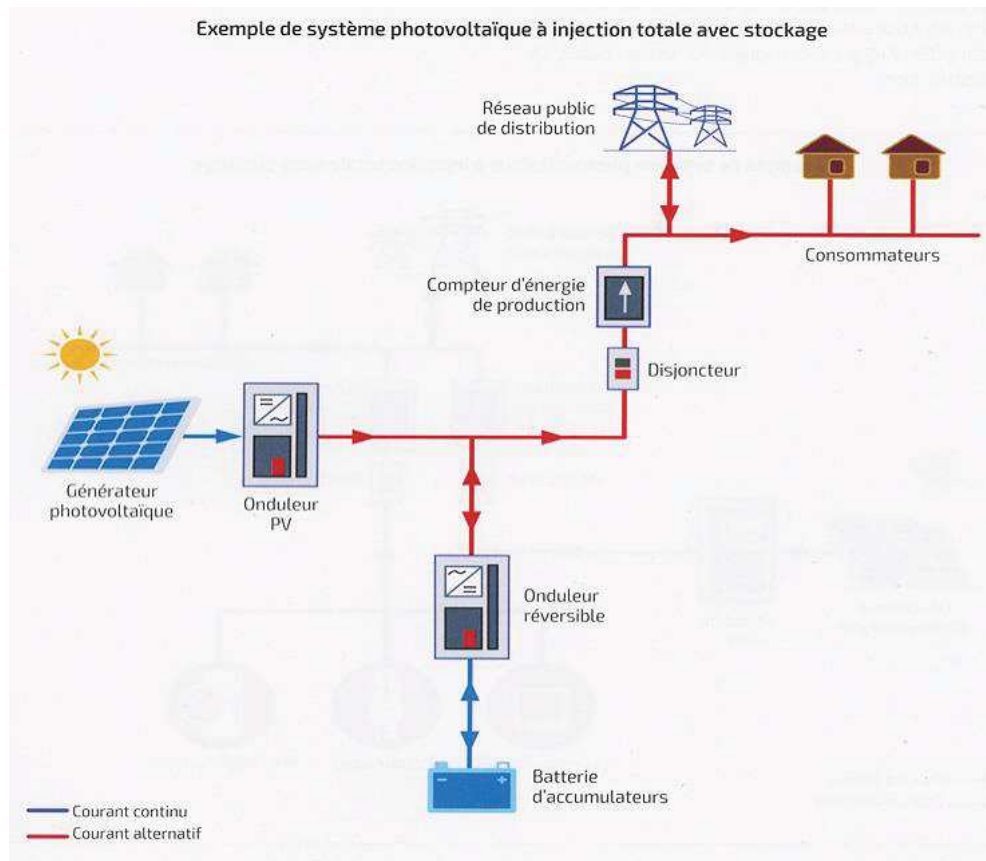


Figure II. 17 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage [22]

II.6.2 Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation

En autoconsommation, deux configurations sont possibles.

II.6.2.1 Autoconsommation sans stockage

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure II. 18). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produit est injecté dans le réseau public de distribution.

En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur photovoltaïque s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés.

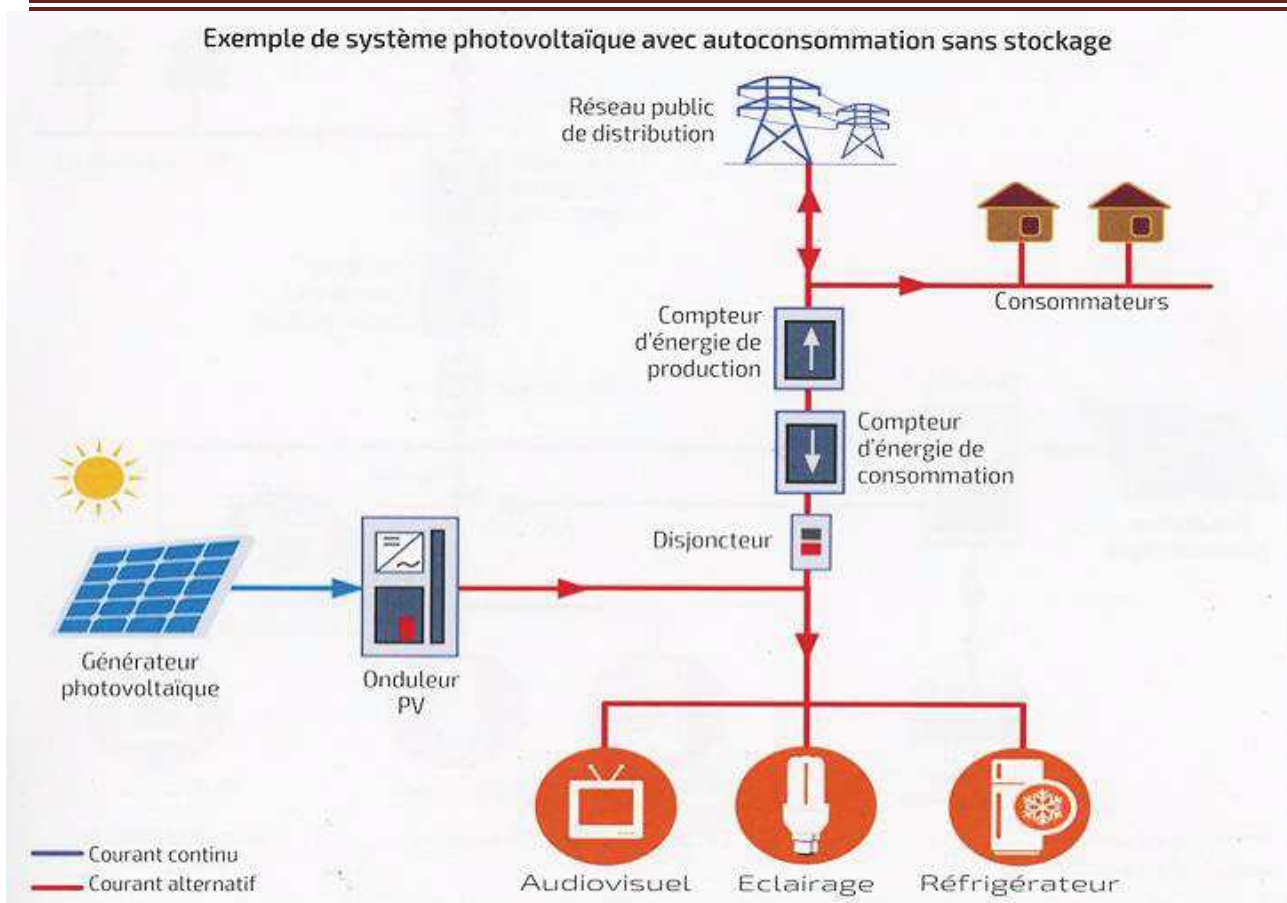


Figure 18 : Système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage [22]

L'intérêt d'un tel système est le suivant :

- Pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué.
- Pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles).

II.6.2.2 Autoconsommation avec stockage

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale (Figure II. 19). Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas de s'affranchir totalement du réseau électrique.

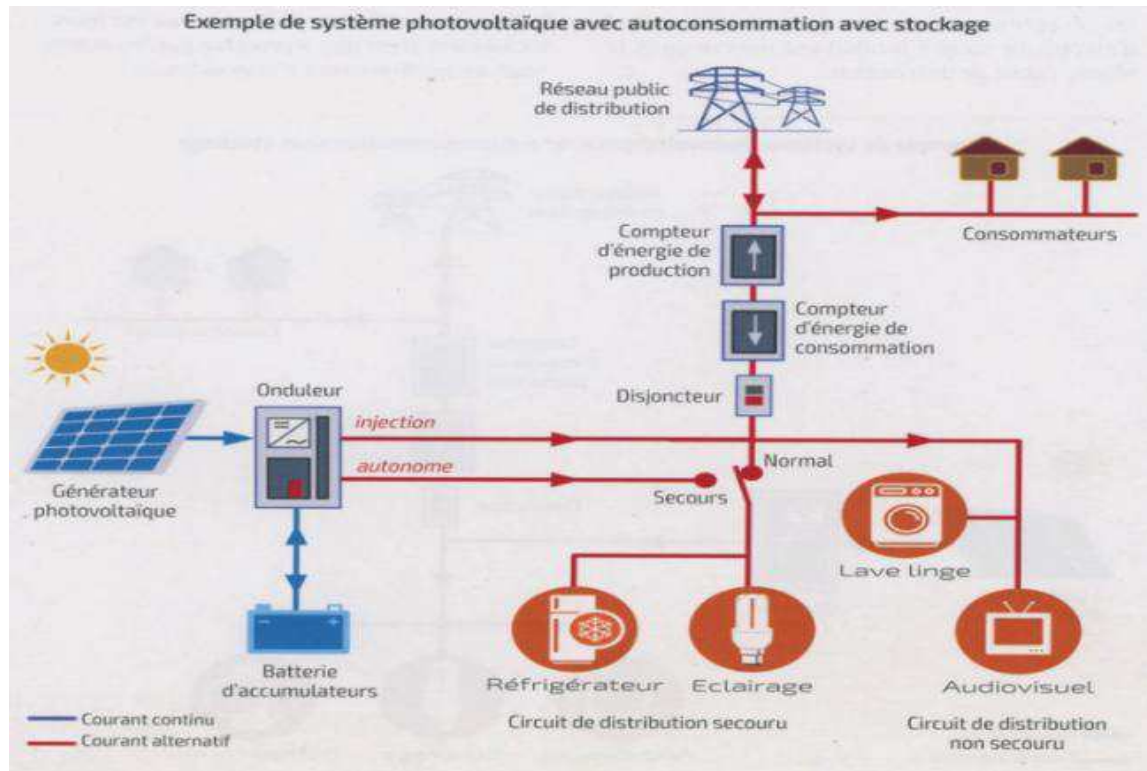


Figure II.19 : Système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage [22]

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent, mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement, d'entretien, de renouvellement, de recyclage, entre autres.

II.6.3. Applications

On retrouve les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau aussi bien au sol que sur des bâtiments d'habitation, tertiaires, agricoles et industriels. Les centrales de production électrique à base de générateurs photovoltaïques de grande puissance (de quelques MWe à quelques centaines de MWe) sont destinées à être raccordées directement sur le réseau public de distribution en Haute Tension A (HTA), ou sur le réseau de transport en Haute Tension B (HTB).

Ces systèmes (Figure II. 20) comportent de nombreux points forts :

- renforcement de la puissance électrique nationale installée.

- soutien et service au réseau (fourniture de puissance active et réactive, contribution au plan de tension).
- production d'électricité renouvelable à un coût compétitif par rapport aux solutions à base d'énergies fossiles et sans dégagement de gaz à effet de serre.
- sécurité d'approvisionnement compte tenu de la disponibilité de la ressource locale de l'énergie solaire.
- systèmes de production simples et rapides à mettre en œuvre et nécessitant une faible maintenance.
- systèmes fiables, matures avec une durée de vie supérieure à vingt---cinq ans.
- création d'emplois pour l'ingénierie, l'installation, le suivi et la maintenance.

En revanche, ils ont aussi quelques points faibles :

- nécessité d'un réseau fiable et stable pouvant supporter le raccordement de la centrale.
- nécessité d'effectuer une étude spécifique du réseau local avant tout raccordement.
- intermittence et variabilité de l'énergie solaire, d'où la nécessité d'un réseau sous tension en permanence alimenté par d'autres sources.

Les centrales photovoltaïques avec stockage se retrouvent essentiellement dans des territoires avec un réseau électrique de faible puissance (non interconnecté) et pour lequel le stockage permet de lisser les pointes de production ou de consommation.



(a)



(b)



(c)

Figure II.20 : Exemples de centrales PV (a), (b), et (c)

II.7 Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau

Parmi les systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau, on peut distinguer les systèmes autonomes fonctionnant sans autre source d'énergie que le photovoltaïque et les systèmes hybrides

faisant appel à une ou plusieurs sources d'énergie complémentaires, d'origine renouvelable ou non du type éolien, hydraulique, groupe électrogène ou autres. Ces systèmes non raccordés au réseau sont conçus pour apporter avant tout un service aux utilisateurs. C'est pour cela que la notion de système photovoltaïque évoque l'ensemble des composants : production, stockage, gestion, conversion, distribution et utilisation. On peut distinguer les systèmes fonctionnant sans stockage (au fil du soleil) et les systèmes avec stockage par accumulateurs.

II.7.1 Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage

Ils fonctionnent de la façon suivante (Figure II. 21). En journée, le générateur photovoltaïque alimente l'utilisation directement ou via un convertisseur Courant Continu/Courant Continu (CC/CC) ou Courant Continu/Courant Alternatif (CC/AC). La puissance délivrée à l'utilisation est fonction de l'ensoleillement. Durant la nuit, l'utilisation n'est plus alimentée et donc est à l'arrêt. Les principales applications photovoltaïques fonctionnant au fil du soleil sont les suivantes : le pompage, la ventilation, la production de froid, le dessalement d'eau de mer, entre autres.

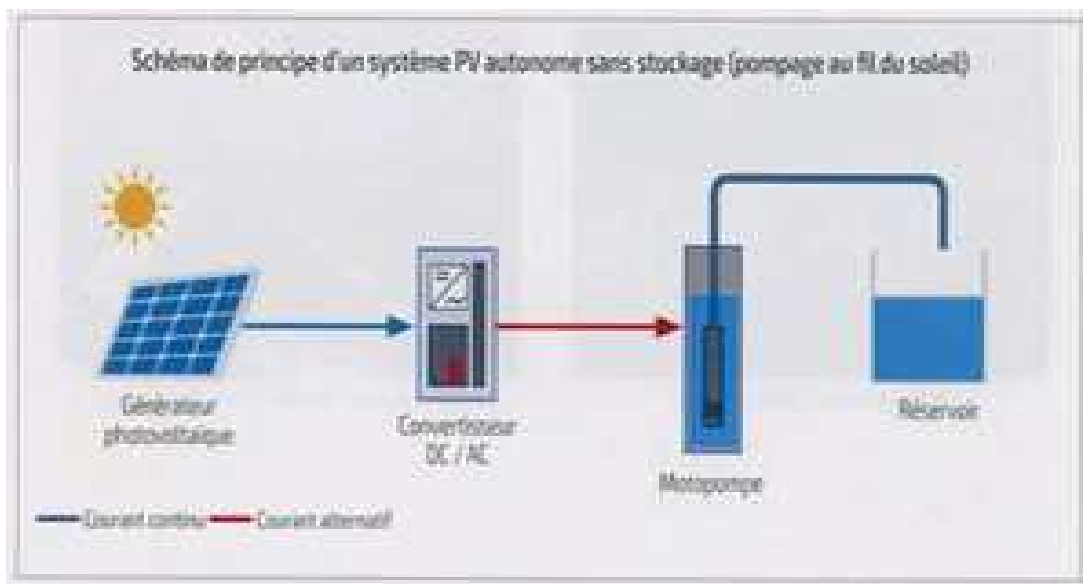


Figure II.21 : Principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil)

II.7.2 Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage

Leur principe de fonctionnement est le suivant. En journée, le générateur photovoltaïque alimente les récepteurs courant continus en fonctionnement et charge la batterie de stockage. Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit et par mauvais temps, les récepteurs sont alimentés par la batterie. Un limiteur de décharge protège la

batterie en cas de décharge profonde. En présence de récepteurs fonctionnant en alternatif, un onduleur autonome convertit la tension continue en tension alternative, permettant ainsi leur alimentation.

II.7.3 Applications

On peut distinguer les systèmes photovoltaïques autonomes selon leur puissance et leurs applications (Figure II. 22 et 23) :

alimentation autonome de produits grand public (lampes solaires ou bornes de jardin) par générateur photovoltaïque de faible puissance,

électrification de bâtiments (de quelques centaines de watts à quelques kW) : résidence secondaire, écoles et centres de santé dans les pays en développement par kits photovoltaïques (*Solar Home Systèmes --- SHS*),

Alimentation d'applications professionnelles (de quelques dizaines de watts à quelques kW): signalisation, protection cathodique, télécom...

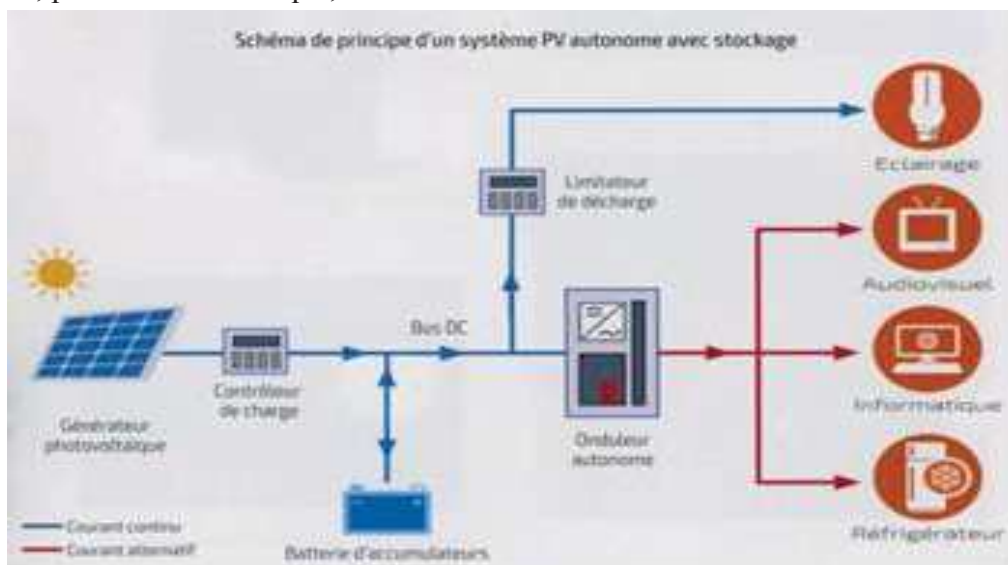


Figure II.22 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage [22]



(a)



(b)

Figure II.23 : Exemples de SHS : « Solar Home Systems » (a) et (b)

II.8 Systèmes photovoltaïques hybrides

On peut considérer deux architectures électriques de systèmes hybrides selon la présence ou non de stockage :

- des systèmes photovoltaïques avec accumulateurs couplés avec une source d'énergie renouvelable (éolien, micro hydraulique...) et/ou un groupe électrogène,
- des systèmes photovoltaïques sans accumulateurs couplés avec des groupes électrogènes.

II.8.1 Systèmes photovoltaïque hybrides avec stockage

En journée, le générateur photovoltaïque charge la batterie et alimente simultanément l'onduleur, qui convertit la tension continue en tension alternative et permet l'alimentation des récepteurs fonctionnant en alternatif (Figure II. 24). Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit, l'onduleur est alimenté par la batterie de stockage. En cas d'insuffisance d'ensoleillement ou de plus forte consommation des récepteurs, un groupe électrogène de secours ou d'appoint permet l'alimentation directe des récepteurs et la recharge de la batterie pour assurer la continuité de service.

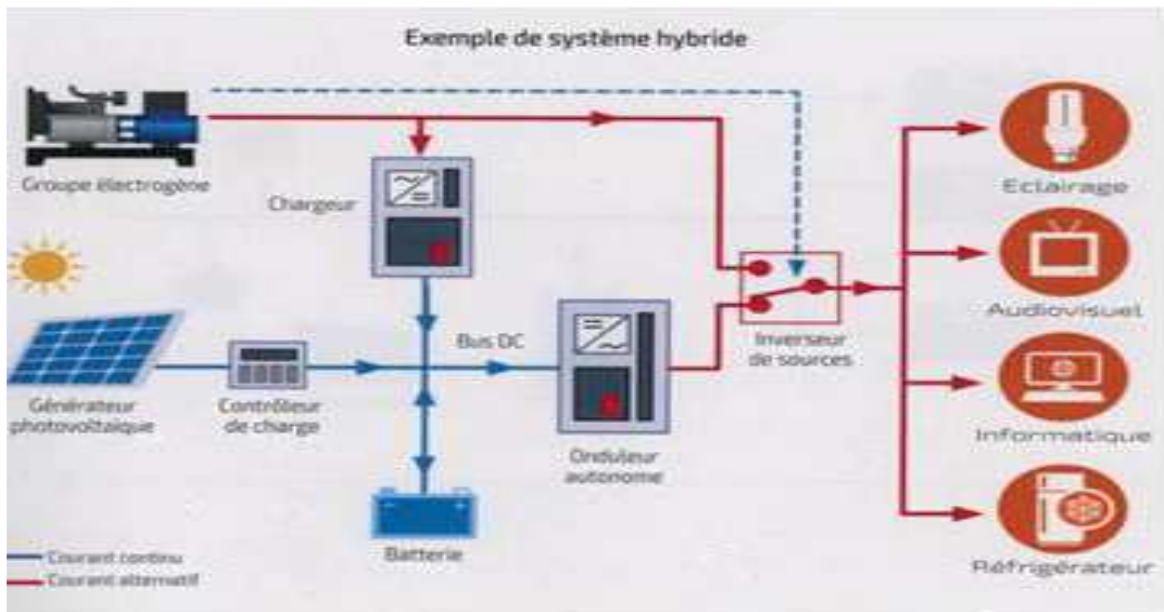


Figure II. 24 : Exemple de système hybride

II.8.2 Systèmes photovoltaïques hybrides sans stockage

Les groupes électrogènes alimentent en permanence un réseau électrique de distribution. Le générateur PV injecte sur le réseau une puissance variable en fonction de l'ensoleillement. Toute l'énergie délivrée par le générateur PV n'est pas à fournir par les groupes électrogènes et réduit de fait la consommation de carburant et les coûts d'exploitation (Figures II. 25 et 26).

Les systèmes hybrides avec stockage (de quelques kW à quelques centaines de kW) sont très utilisés notamment pour l'alimentation d'habitations individuelles, de refuges de montagne, des relais de télécommunications de forte puissance, pour l'électrification villageoise. Les systèmes hybrides sans stockage (de quelques dizaines de kW à quelques MW) sont essentiellement utilisés pour l'électrification de gros villages et pour l'alimentation électrique de mines d'extraction de matières premières nécessitant une puissance élevée.

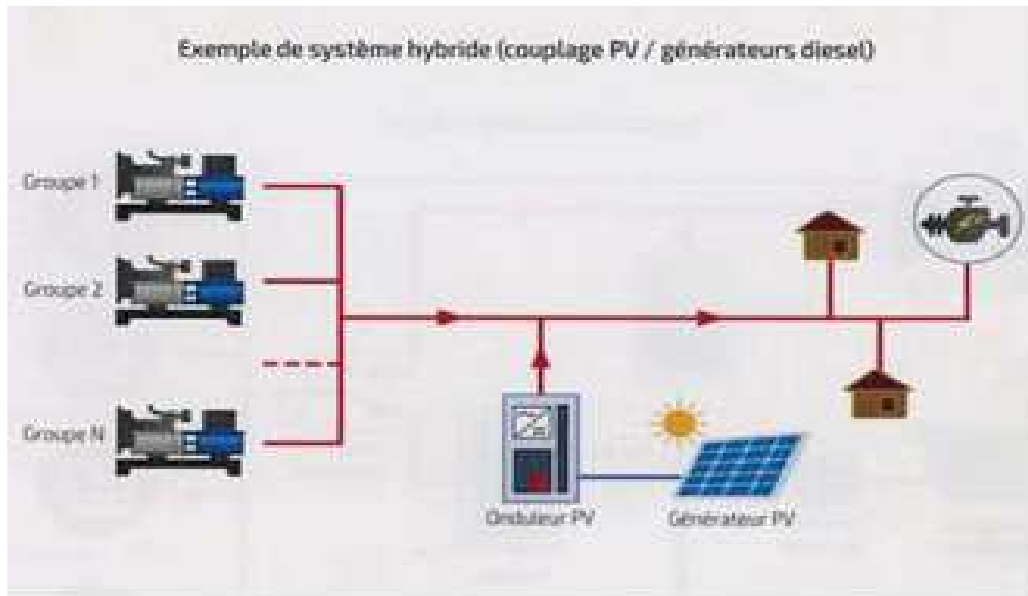


Figure II.25 : Système hybride



(a)



(b)

Figure II.26 : Systèmes hybrides (a) et (b)

II.9 Différentes installations photovoltaïques [23]

II.9.1 Les installations sur site isolé

- Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau.
- L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins.
- Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

- L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.
- Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.

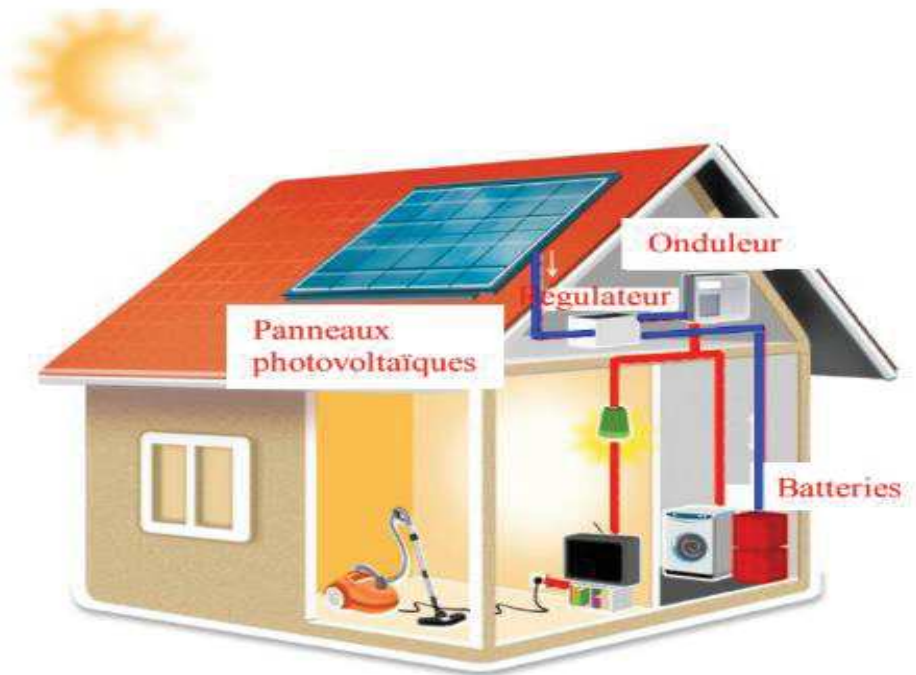


Figure II.27 : installations sur site isolé[23]

Exemples d'utilisation :



Eclairage public



Chalet isolé



Horodateur

Figure II.28 : Modèles de PV.

II.9.2 Les installations raccordées au réseau de distribution public :
II.9.2.1 Solution avec injection totale :

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

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),
- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :
 - ✓ l'un pour la production,
 - ✓ l'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).



Figure II.29 : Différentes énergies électrique [23]

En bleu : énergie électrique continue (DC).

En rouge : énergie électrique alternative (AC).

II.9.2.2 Solution avec injection de surplus

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau.

Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire.

Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant.

Exemples d'utilisation :



Toit solaire particulier



Abri solaire de parking

Figure II.30 : Différentes toitures en PV.

II.10 Avantages et inconvénient de l'énergie solaire

II.10.1 Avantages

- Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- Génère l'énergie requise.
- Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

II.10.2 Inconvénients

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque et son rendement ; ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques. Et enfin on a présenté Les installations raccordées au réseau de distribution public et Avantages et inconvénient de l'énergie solaire.

Introduction

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation de systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève [25]. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet.

PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [26].

III.1-Système autonome

Comme illustré sur la figure (III.1) en site isolé, le champ photovoltaïque (Panneaux solaires) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique).

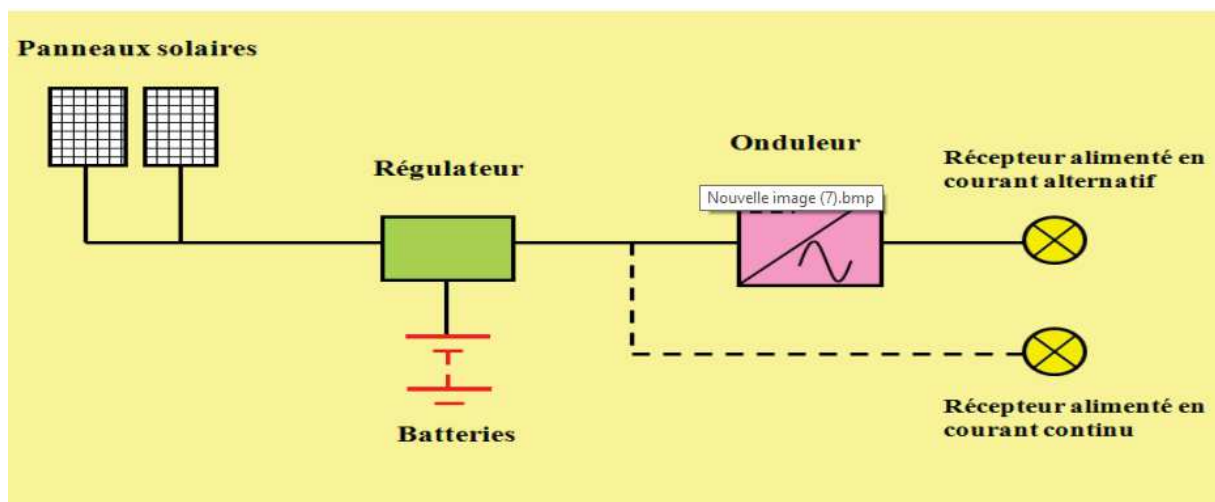


Figure III.1 : Schéma de principe d'installation de système autonome [26].

Un système de régulation et une batterie permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil.

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique.

Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les

décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie.

On peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu et alternatif.

Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur.

On peut citer quelques exemples de systèmes autonomes, comme les balises en mer, les lampadaires urbains, le pompage solaire et les maisons en sites isolés [27].

III.2.Présentation du projet.

Pour modéliser une installation photovoltaïque d'une structure quelconque, on doit faire une estimation adéquate des besoins de la consommation journalière de cette structure, dans notre cas, c'est une mosquée de 400 m², c'est-à-dire de 30m de long et 15m de largeur, située dans la wilaya de Tiaret.

III.2.1.Energie totale consommée

$$E_{cj} = \sum E_j = 41762 \text{ Wh/j} \quad (\text{III.1})$$

III.2.2. La puissance totale

On a résumé les besoins énergétiques de notre mosquée dans le tableau suivant :

Equipements	Puissance unitaire (W)	Temps de fonctionnement (heure)	Nombre	Puissance (W)	Consommation journalière (Wh/j)
Lampes	10	5	12	120	600
Prise	100	5	5	500	2500
Moteur électrique	500	4	1	500	2000
Frigo	33.29	24	2	66.58	1598
Amplificateur	60	2	1	60	120
Ventilateur	100	24	12	1200	28800
Climatiseur	1000	3	2	2000	6000
				P_{tot}= 4446.58	E_{cj}= 41762

Tableau III.01 : Besoins énergétiques journaliers pour la mosquée

Puissance totale =Lampes (10W×12) + Prise (100W×5) + Moteur électrique (500W×1) + Frigo (33.29W×2) +Amplificateur (60W×1) + Ventilation (100W×12) + Climatiseur (1000W×2)

→ $P_{tot} : (120 \text{ W} + 500 \text{ W} + 500 \text{ W} + 66.58 \text{ W} + 60 \text{ W} + 1200 \text{ W} + 2000 \text{ W}) = 4446.58 \text{ W}$.

III.2.3. Dimensionnements d'un système PV par la méthode simplifiée

III.2.3.1 Calcul du nombre des panneaux photovoltaïque

$$N_{pv} = \frac{Ecj}{P_{ppv}} \quad (\text{III.2})$$

III.2.3.2 Calcul du nombre des Batteries

$$N_{batterie} = \frac{Pg}{P_{batterie}} \quad (\text{III.3})$$

III.3. Logiciel PVSYST

Le logiciel PVsyst permet de :

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

On lance le logiciel PVSYSY, l'interface suivante s'affiche :



Figure III.2 : Interface de logiciel PVSYSY

Pour la conception du projet, on a considéré notre structure d'un système isolé d'où nous sommes menés à la deuxième fenêtre du logiciel pour permettre localiser notre site et la météo correspondantes pour notre structure qui fait partie de la wilaya de Tiaret.

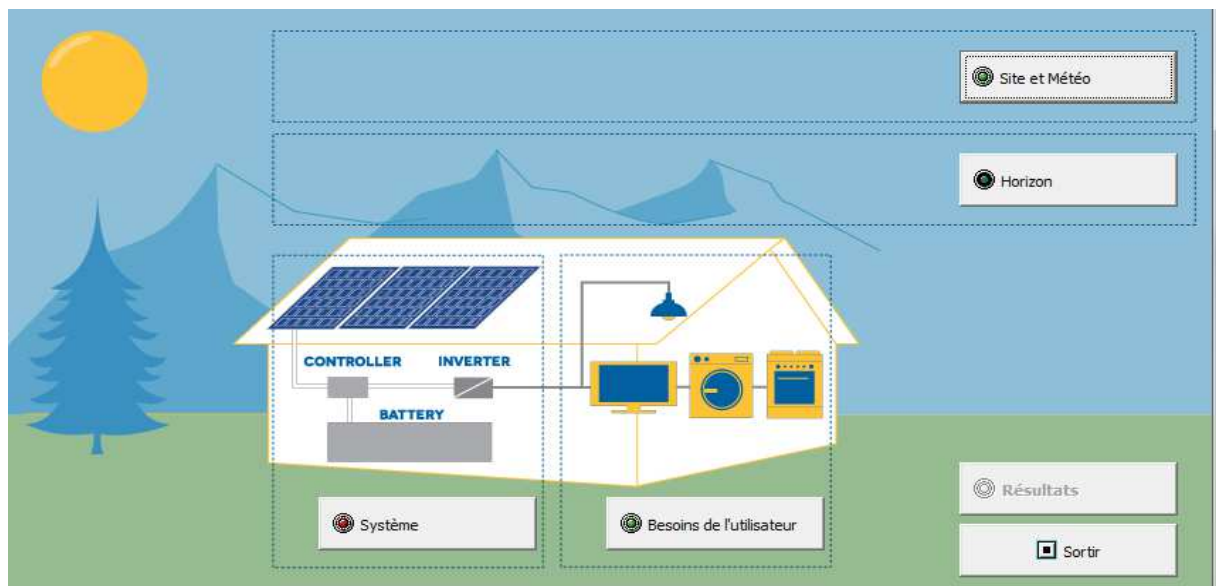


Figure III.3 : Interface de création de la structure.

Après cela, la prochaine fenêtre s'ouvrira

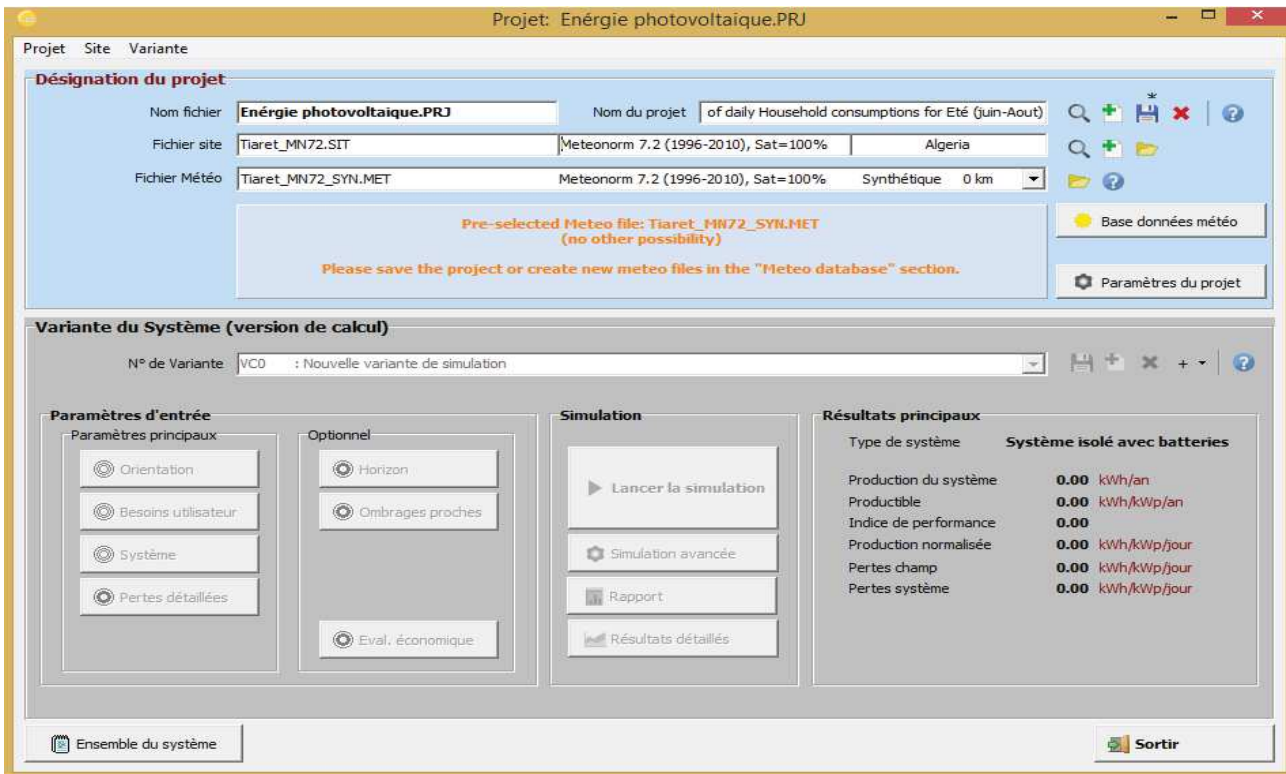


Figure III.4 : Interface globale du PVsyst pour simulation.

La simulation à base du logiciel PVSYST suit l'organigramme suivant

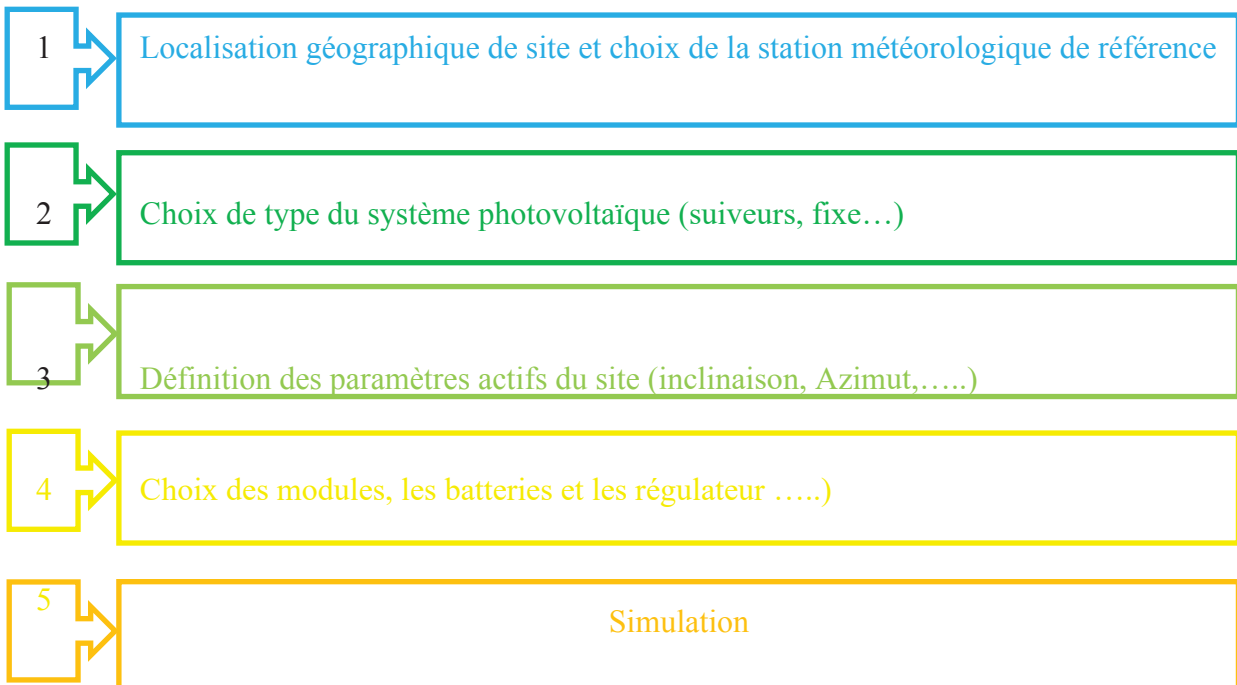


Figure III.5 : Etapes de simulation avec PVSYST

III.3.1. Conception et dimensionnement d'un système PV

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

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

III.3.2. Principaux résultats

III.3.2.1 Données de localisation du site :

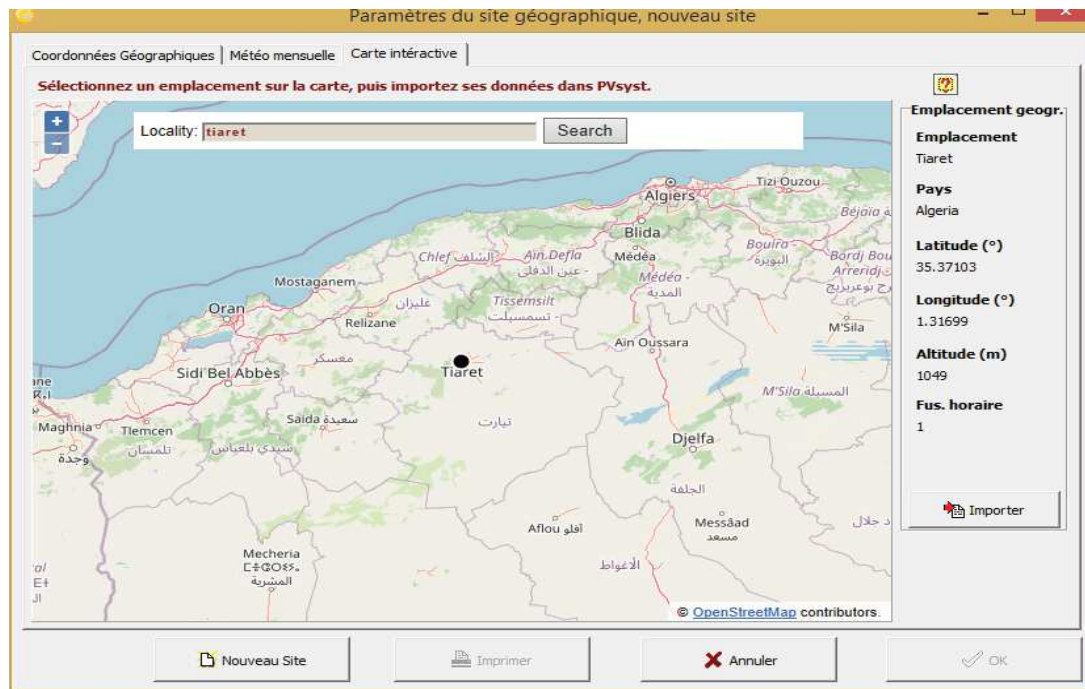


Figure III.6 : Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret.

III.3.2.2. Données météorologiques du site: Après avoir localisé le site, on clique sur le bouton « importer » pour importer les données météorologiques du site dans PVSYST, ces données mensuelles représentent l'irradiation, la température, vitesse du vent, humidité ... etc.

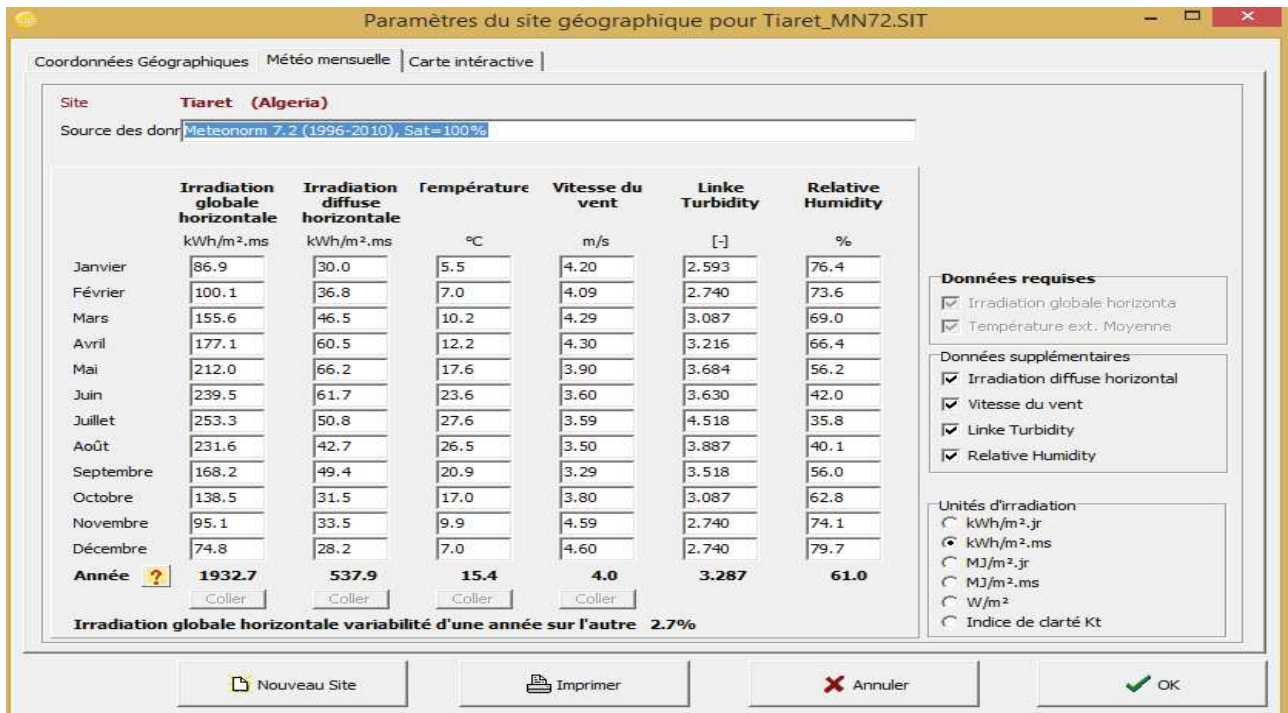


Figure III.7 : Caractéristiques climatiques du site de Tiaret

III.3.2.3. Coordonnées Géographiques : La connaissance du Coordonnées Géographique est nécessaire pour connaître Latitude, Longitude et l'Altitude de cette position de la wilaya de Tiaret.

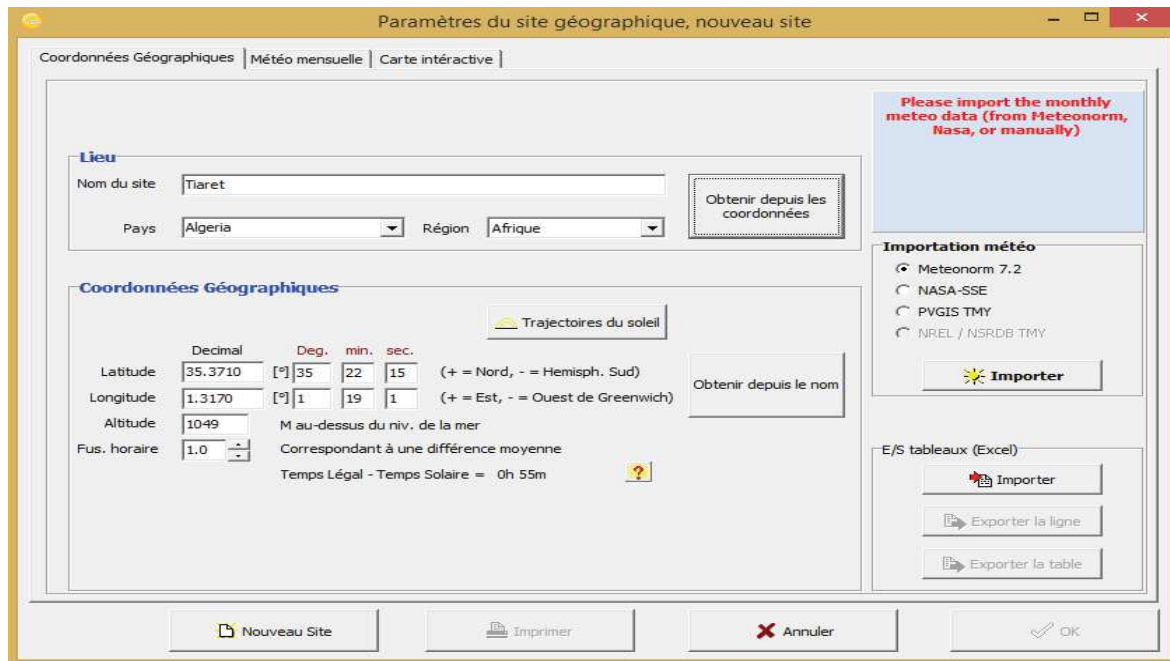


Figure III.8 : Coordonnées géographiques du site de Tiaret

III.3.2.4. 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).

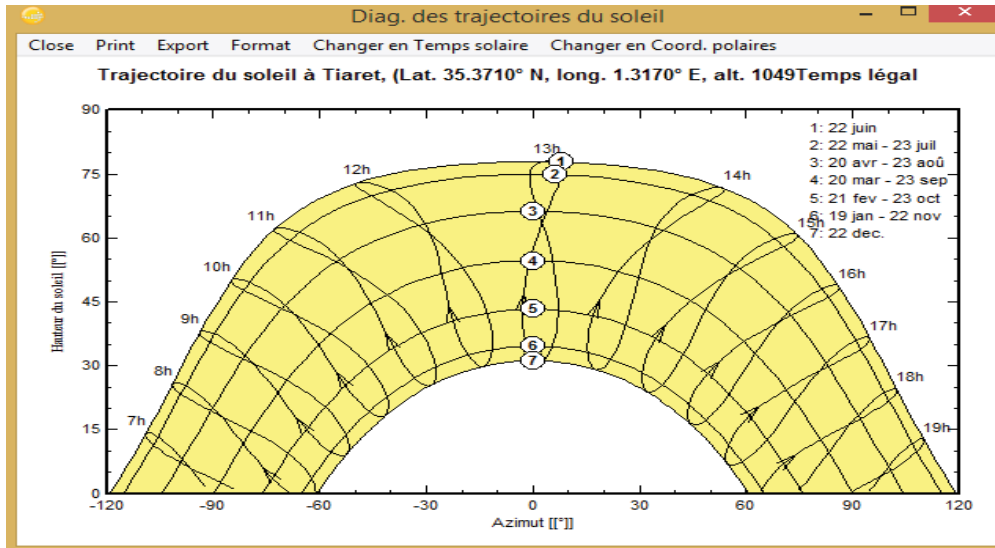


Figure III.9 : Trajectoire du soleil à Tiaret

III.3.2.5. Orientation des modules PV

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

Nous avons choisi un plan Incliné fixe par rapport à l'horizontale comme illustre la figure (III.10) c'est l'inclinaison optimale donnée par le logiciel PVSYST.

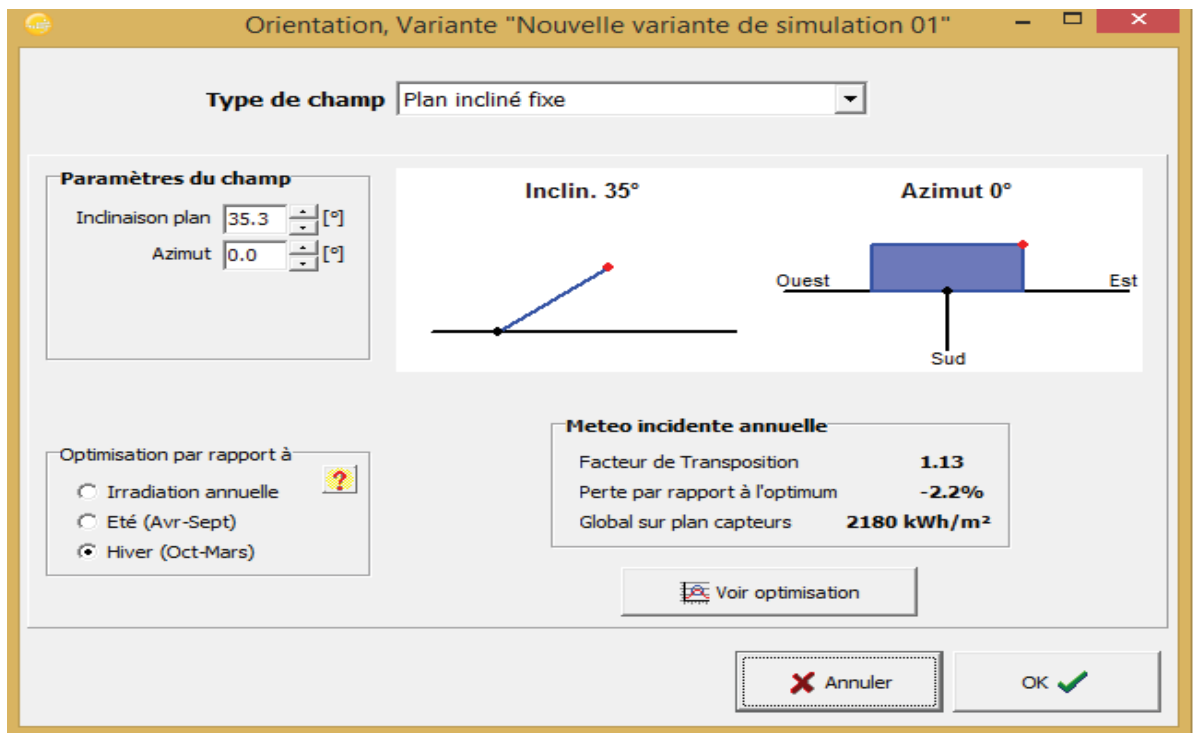


Figure III.10 : Orientation et inclinaison du système PV

III.3.2.6. Schéma de l'installation PV

La figure (III.11) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation.

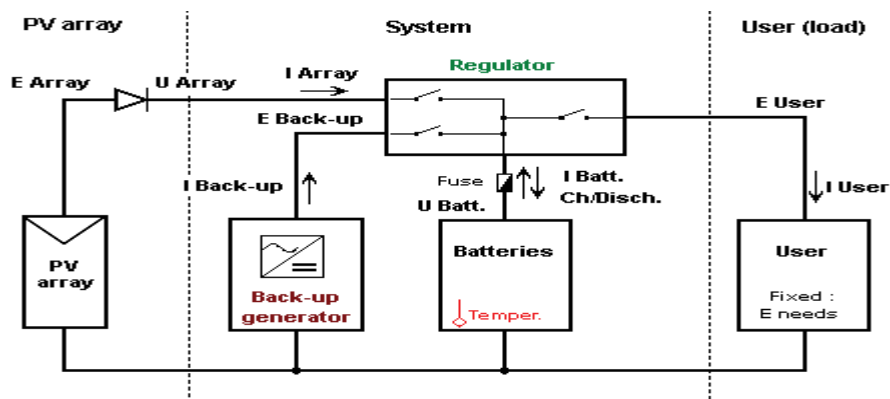


Figure III.11 : Schéma simplifié d'une installation PV autonome.

III.4. Résultats et interprétations

III.4.1. Besoins électriques

La figure (III.12) montre les besoins d'utilisateur de la mosquée par le PVSYST :

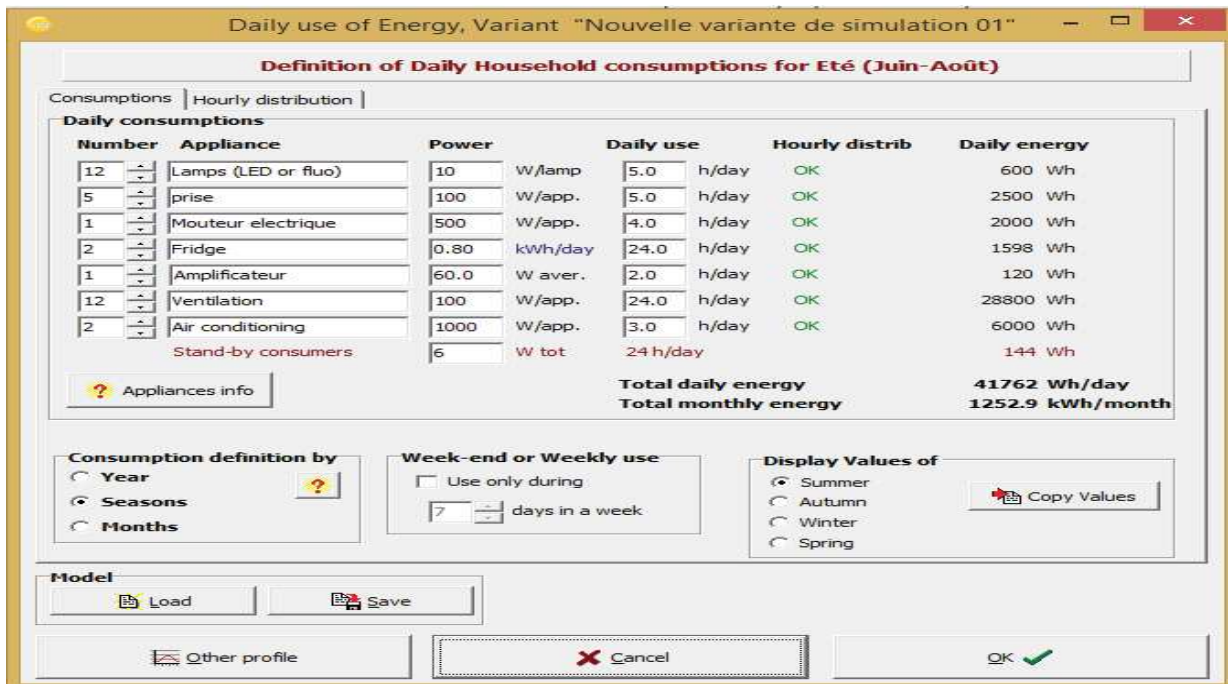


Figure III.12 : Besoins d'utilisateur

III.4.2. Simulation des équipements énergétiques

III.4.2.1. Batteries

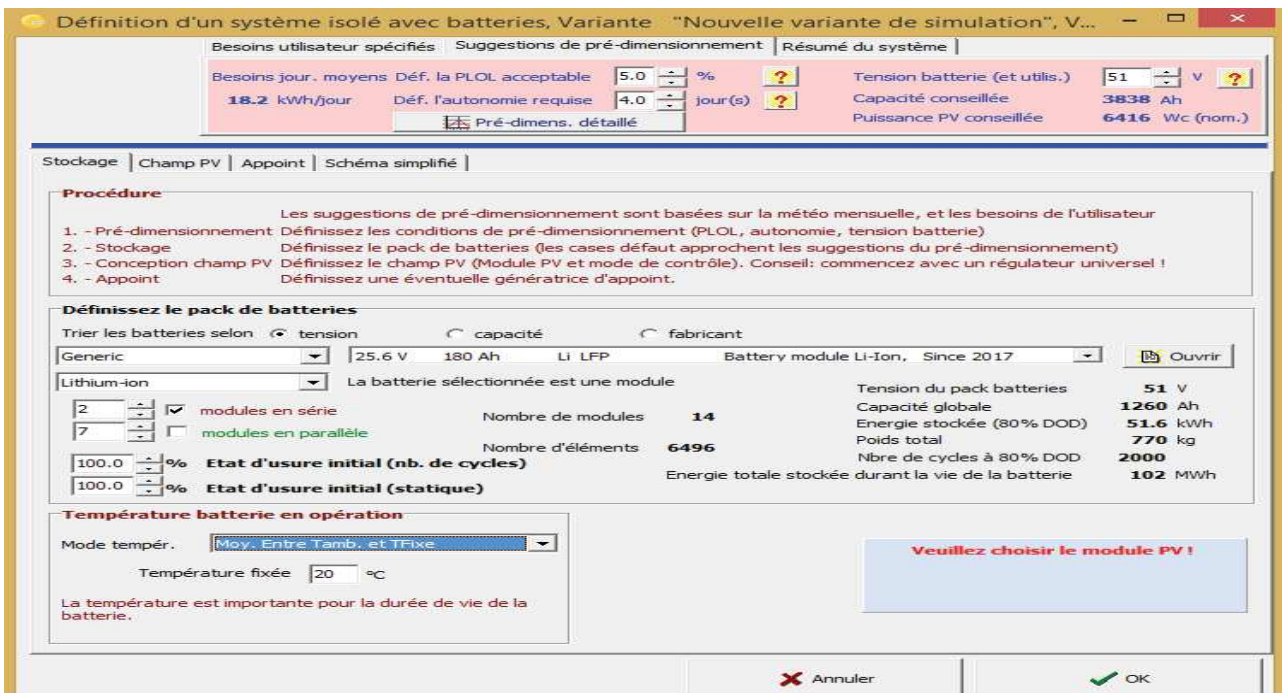


Figure III.13 : Dimensionnement des batteries.

On choisit un régulateur MPPT 1000W/51V/161A.

Besoins utilisateur spécifiés | Suggestions de pré-dimensionnement | Résumé du système

Besoins jour. moyens Déf. la PLOL acceptable: 5.0 %
 18.2 kWh/jour Déf. l'autonomie requise: 4.0 jour(s)

Tension batterie (et utilis.): 51 V
 Capacité conseillée: 3838 Ah
 Puissance PV conseillée: 6416 Wc (nom.)

Stockage | **Champ PV** | Appoint | Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ
 Nom: Champ PV
 Orient.: Plan incliné fixe
 Inclinaison: 35°
 Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée: 7.6 kWp
 ou surface disponible: 100 m2

Sélection du module PV
 Disponibles: Generic
 Tri modules par: Puissance
 300 Wp 27V Si-mono Mono 300 Wp 60 cells Since 2020 Typical

Modules nécessaires approx.: 61
 Dimens. des tensions: Vmpp (60°C): 26.7 V
 Voc (-10°C): 42.9 V

Choisissez le mode de régulation, et le régulateur
 Régulateur universel
 Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération: Convertisseur MPPT
 Courants max. de charge - décharge: MPPT 1000 W 51 V 161 A 87 A
 Universal controller with MPPT conve

Conception champ PV
 Nombre de modules et chaînes: Mod. en série: 1, Nb. chaînes: 25
 Conditions de fonctionnement: Irradiance plan: 1000 W/m2
 Impp (STC): 237 A, Isc (STC): 251 A, Isc (at STC): 248 A
 Puiss. max. en fonctionnement à 1000 W/m² et 50°C: 6.7 kW
 Puiss. nom. champ (STC): 7.5 kWp

Annuler OK

Figure III.14 : Dimensionnement de module et régulateur

Le choix des batteries, des modules photovoltaïques et des régulateurs ainsi le convertisseur de puissance sera mis en place selon la puissance, les différentes caractéristiques de la structure et de sa localisation, avant toute simulation pour pouvoir prévoir une simulation adéquate et concluante.

III.4.3. Rapport de simulation (Annexe)

Après la simulation par le PVSYS 6.87 de la consommation de la mosquée, on obtient un rapport des résultats (voir la figure (III.15) date 01/06/2020 mentionnée en haut de cette fenêtre.

PVSYST V6.87		01/06/20		Page 1/3	
Système isolé: Paramètres de simulation					
Projet : Definition of daily Household consumptions for Eté (juin-Aout)					
Site géographique		Tiaret		Pays Algeria	
Situation		Latitude 35.37° N		Longitude 1 32° E	
Temps défini comme		Temps légal Fus. horaire TU+1		Altitude 1049 m	
Données météo:		Tiaret		Meteonorm 7.2 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation 01					
Date de la simulation 01/06/20 à 19h41					
Paramètres de simulation		Type de système Isolé avec batteries et génératrice			
Orientation plan capteurs		Inclinaison 35°		Azimut 0°	
Modèles utilisés		Transposition Perez		Diffus Perez, Meteonorm	
Besoins de l'utilisateur :		Consomm. domestique moyenne		Modulation saisonnière 18.3 kWh/Jour	
Caractéristiques du champ de capteurs					
Module PV		Si-mono		Modèle Mono 300 Wp 60 cells	
Base de données PVsyst originale		Fabricant		Generic	
Nombre de modules PV		En série		1 modules En parallèle 25 chaînes	
Nombre total de modules PV		Nbre modules		25 Puissance unitaire 300 Wc	
Puissance globale du champ		Nominale (STC)		7.50 kWc Aux cond. de fonct. 6.66 kWc (50°C)	
Paramètres du système					
Batterie		Type de système Système isolé avec batteries et génératrice			
Caractéristiques du banc de batteries		Modèle		Battery module Li-Ion, 26V 180 Ah	
		Fabricant		Generic	
		Nombre d'unités		2 en série x 7 en parallèle	
		Tension		51 V Capacité nominale 1260 Ah	
		Décharge: min. SOC		10.0 % Energie stockée 56.7 kWh	
		Température		Moyenne entre fixée (20°C) et extérieure	
Régulateur		Modèle Universal controller with MPPT converter			
Convertisseur		Technologie		MPPT converter Coeff. de temp. -5.0 mV/C/elem.	
Efficacité maxi et EURO		97.0 / 95.0 %			
Seuils de régulation batterie		Seuils de commande selon SOC calculation			
		Charge SOC = 0.96 / 0.80			
		Décharge SOC = 0.10 / 0.35			
		Commande génératrice d'appoint SOC = 0.15/0.45			
génératrice d'appoint		Modèle 1.5 kW			
		Fabricant Back-up generator			
		Puissance nominale 1.5 kW			
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 2.0 mOhm		Frac. pertes 1.5 % aux STC	
Perte diode série		Chute de tension 0.7 V		Frac. pertes 2.2 % 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 %			

Figure III.15 : Paramètres de simulation de la Mosquée

III.4.2.2. Modules photovoltaïques

III.4.2.2.1. Branchement de PPV pour la mosquée

D’après le rapport de la simulation et d’après les résultats, on a conclu que notre modélisation par le logiciel PVsyst a abouti à :

25 modules photovoltaïques en parallèle d'une puissance unitaire de 300wc et de puissance globale nominale de 7.5 KWc aux conditions de fonctionnement de 6.66 KWc à 50°C avec une surface totale des modules de 40.7m², soit 35.5 m² surface cellules .

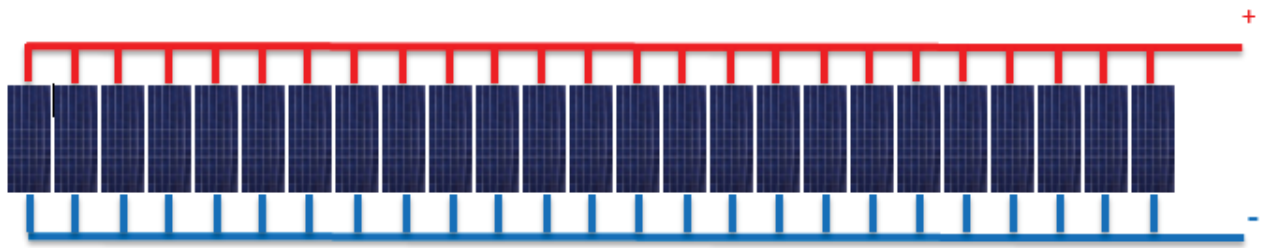


Figure III.16 : Branchement de PPV pour mosquée.

Les modules sont un assemblage de photopile (ou cellule) montée en série, afin d'obtenir la tension désirée (12V, 24V...).la cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion du rayonnement. Plusieurs cellules sont associées dans un module qui est la plus petite surface de capacité transformable, montrable et démonstrable sur un site. Les modules sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins. Les cellules photovoltaïques sont réalisées principalement par le silicium cristallin, qui est utilisé sous forme monocristalline ou multi-cristalline en plaquette ou en ruban ou encore en couches semi-minces sur substrat selon les technologies récentes. Les modules sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue. On protège chaque cellule PV contre l'échauffement en lui montant une diode dite « diode by-pass » en parallèle qui court-circuite. Aussi on évite qu'un module PV soit récepteur en mettant en série à chaque branche une diode dite « diode anti retour »de chute de tension négligeable.

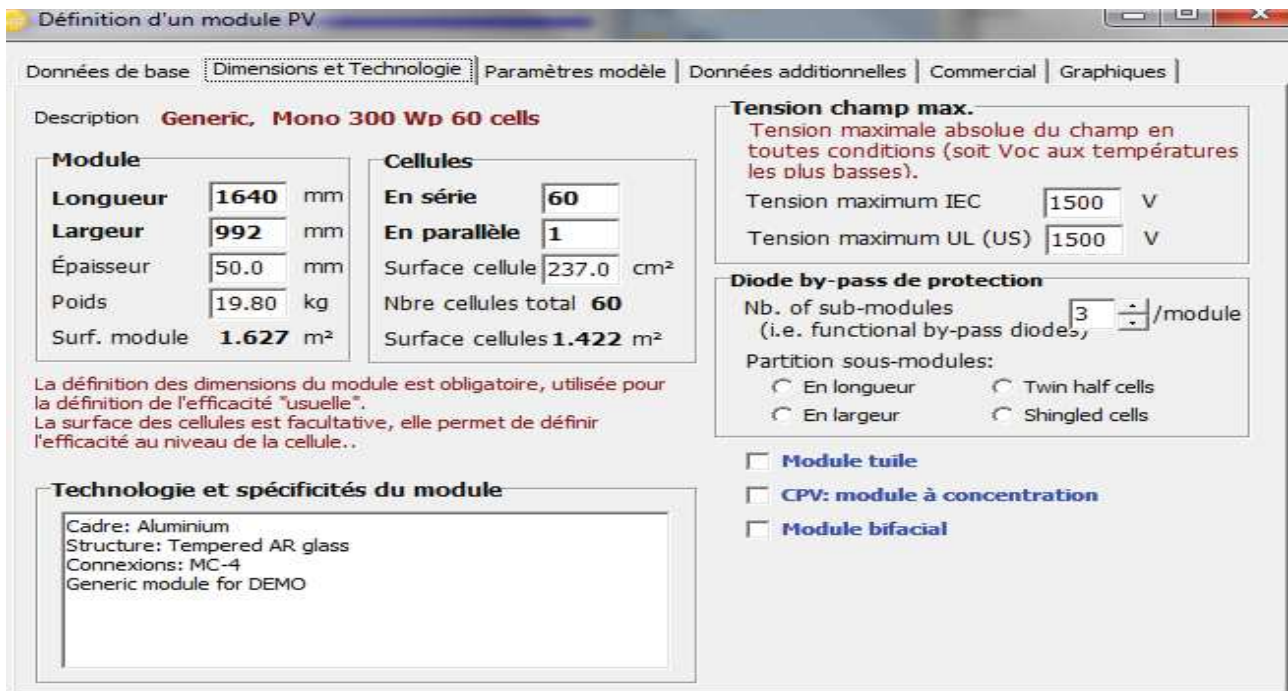


Figure III.17 : Dimensions et caractéristiques des PV.

On a utilisé des PV de 1640mm de longueur, de 992mm de largeur et de 50mm d'épaisseur, avec un poids de 19.8kg.

Comportement du module selon irradiation incidente [w /m²]

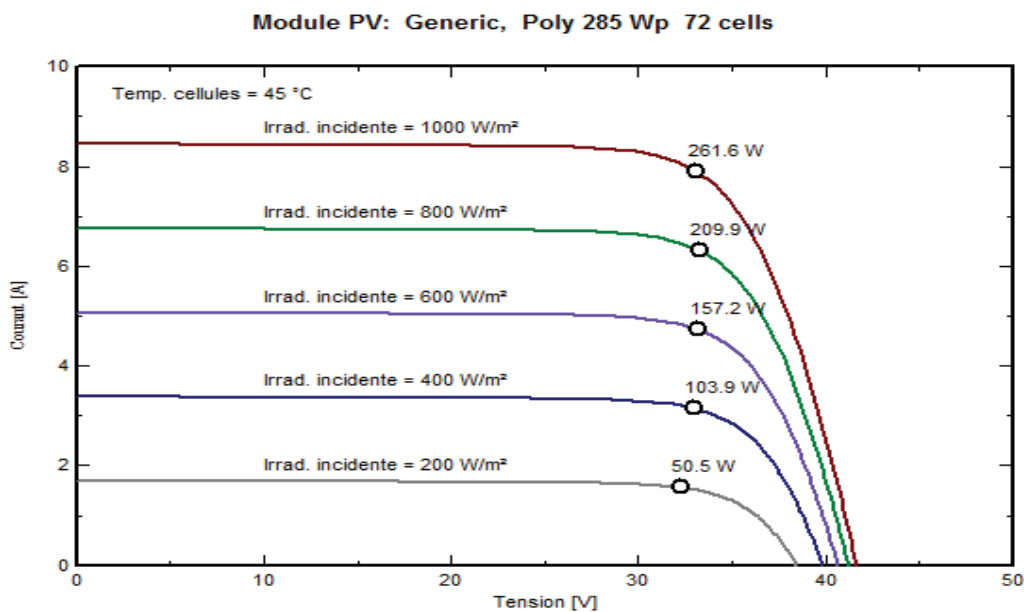


Figure III.18 : Comportement du module selon irradiation incidente

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.

Comportement du module selon la température

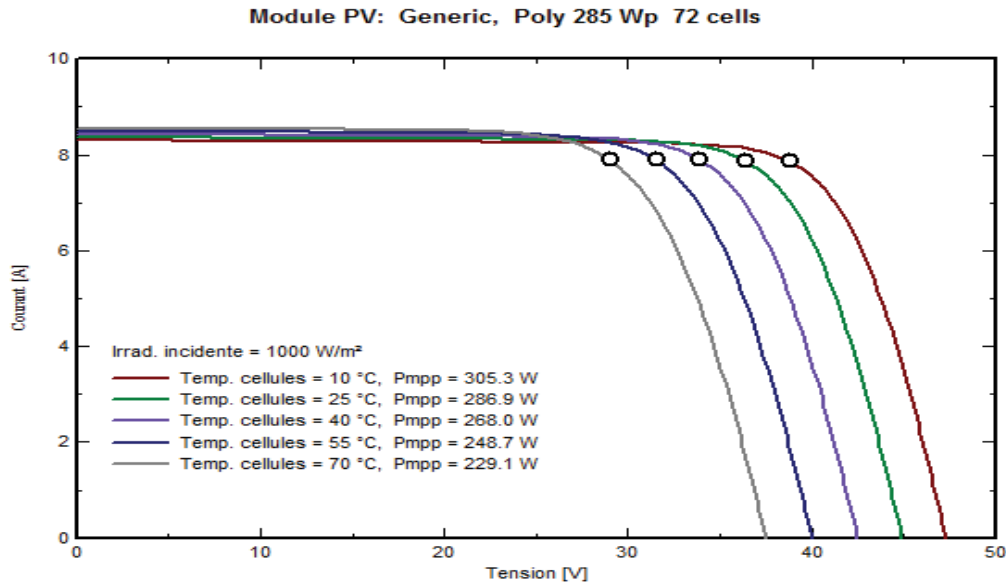


Figure III.19 : Comportement du module selon la température

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.

Comportement du module selon la résistance en série

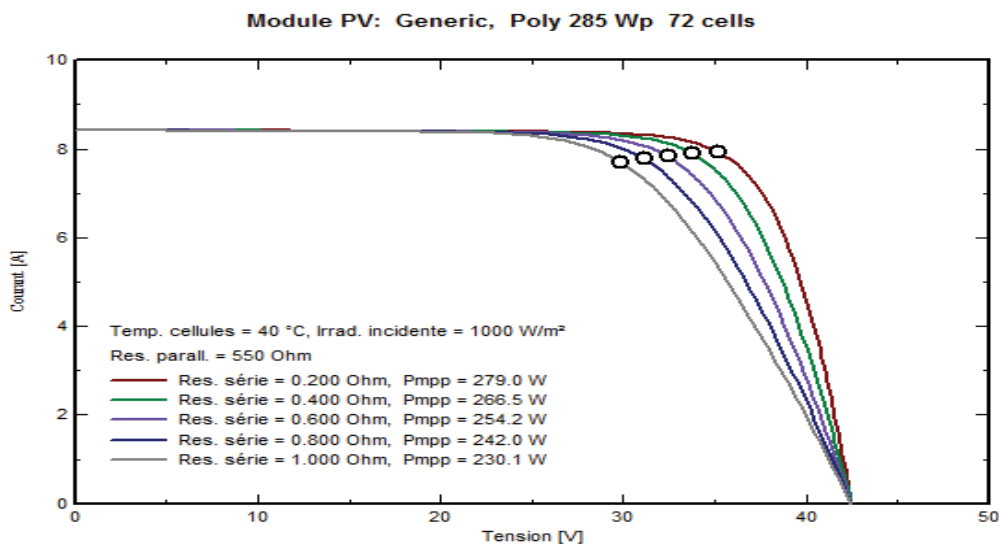


Figure III.20 : Comportement du module selon la résistance en série

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.20 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.

Comportement du module selon la résistance en parallèle

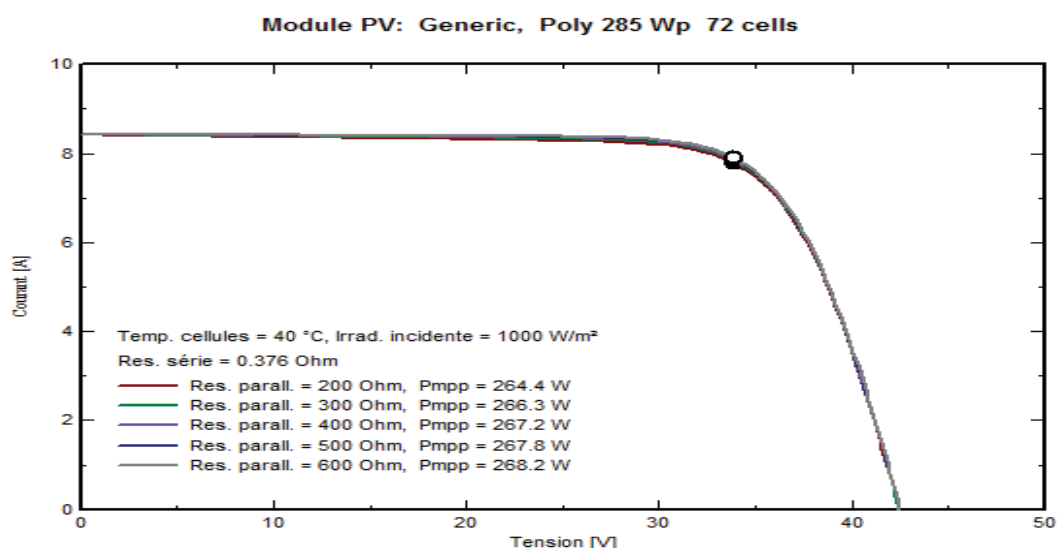


Figure III.21 : Comportement du module selon la résistance en parallèle

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 photocourant, outre le courant direct de diode, un courant supplémentaire variant linéairement avec la tension développée.

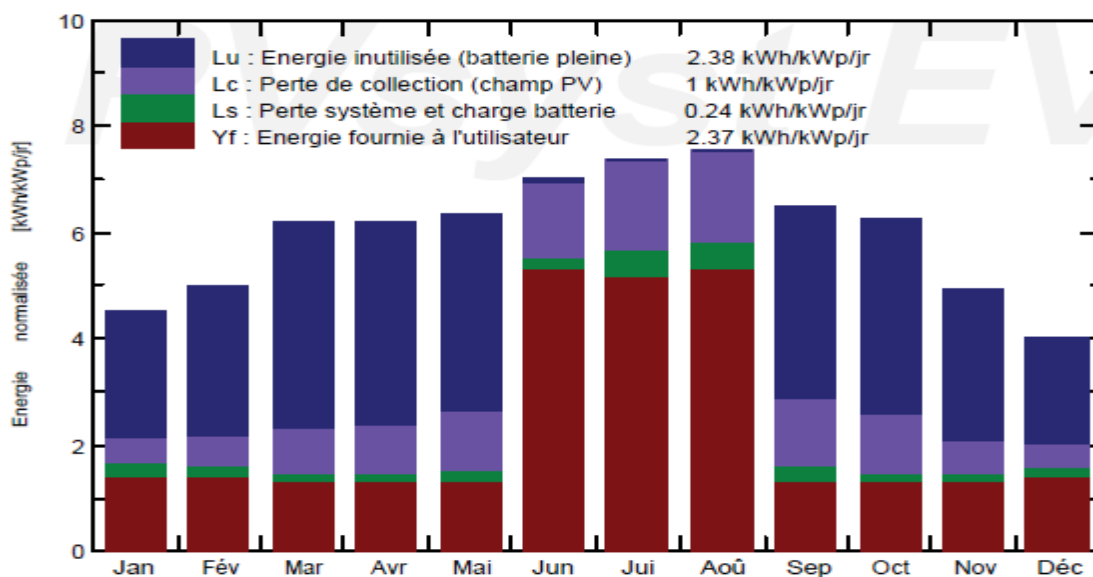


Figure III.22 : Productions normalisées (par kWp installé)

Cette montre la variation normalisée de l'installation en fonction des différents mois de l'année, On remarque bien que l'énergie fournie à l'utilisateur est maximale (Marron) surtout pendant la saison d'été plus précisément aux mois juin, juillet et Aout et qui peut atteindre 6 KWh/j et d'une moyenne annuelle de l'ordre de 2.37KWh/j.

Pour l'énergie inutilisée (Batteries pleines) qui est de l'ordre de 2.38KWh/j en moyenne, connaît des valeurs intéressantes pour les différents mois hors de la saison d'été cela signifie que les batteries sont chargées et le besoin du soleil est moins nécessaire.

Pour les pertes du système et charge des batteries est de l'ordre de 0.24KWh/j.

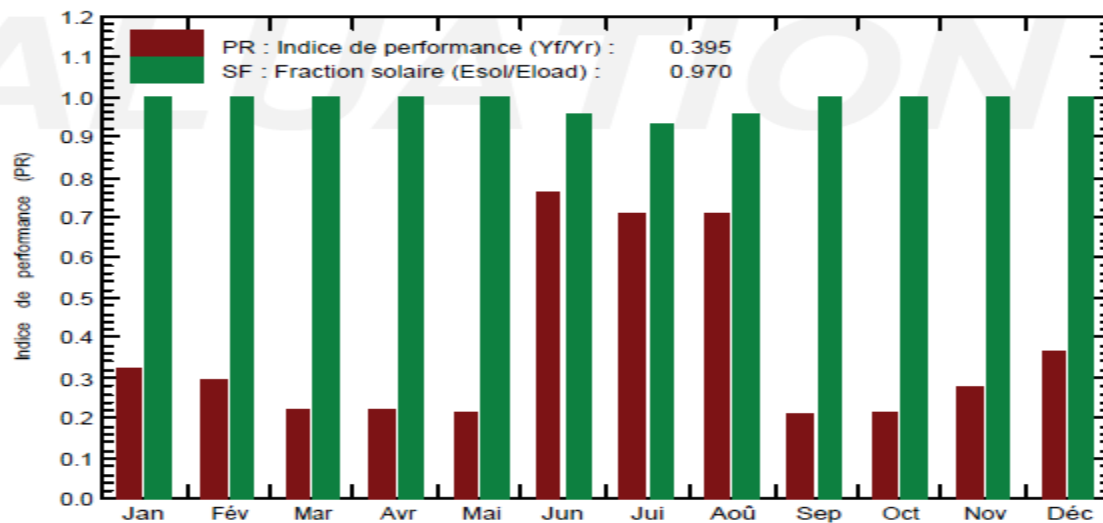


Figure III.23 : Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF).

L'historique de la figure 23 montre la variation de l'indice de performance en fonction des différents mois de l'année, on constate que cet indice ne dépasse pas le nombre 0.35 pour les différents mois de l'année, sauf pour la saison de l'été, cet indice peut atteindre 0.778 au mois de Juin, 0.72 pour le mois de Juillet et 0.71 en mois d'Aout, cela montre que l'indice de performance est proportionnel à la température Relative à la saison de l'été, en moyenne, cette indice est de l'ordre de 0.395.

Pour la fraction solaire sur la fraction du chargement solaire, cette variation est presque constante pour toute l'année et moins importante relativement aux autres mois dans la saison d'été et sa valeur moyenne est de l'ordre de 0.97

II.4.2.1.1. Branchement des batteries pour mosquée

Toujours d'après nos résultats, notre simulation pour cette modélisation nous mène à :

14 Batteries placés 02 batteries en série x 07 batteries en parallèles (Voir figure III.24) avec une tension de 51V et une capacité nominale de 1260Ah avec une énergie stockée de 56.7KWh.

On a choisi une batterie Generic de type Lithium-ion 25.6V/180Ah sous une température fixe 20°C.

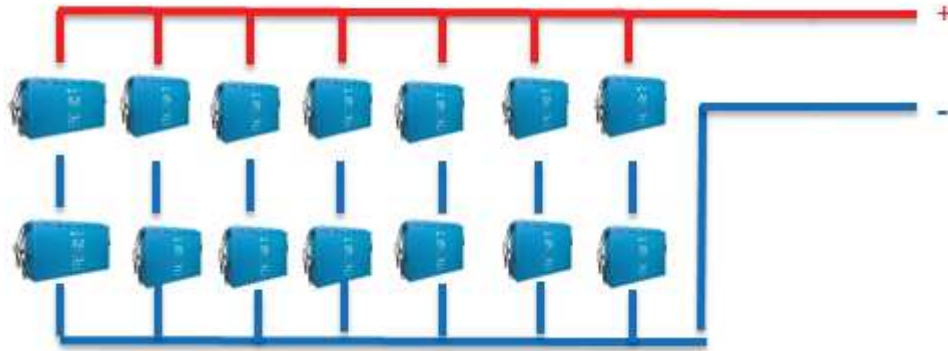


Figure III.24 : Branchement des batteries pour le Mosquée

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie.



Figure III.25 : Batterie de 150 Ah/12V

III.4.2.1.2 Régulateurs

Avec un convertisseur universel avec un contrôleur MPPT de 1000W et une tension de 51V, et d'un courant de charge maximale de 161A et d'une charge minimale de 87A.

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes.

Le régulateur permet aussi d'effectuer un transfert optimal d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation.

Il existe plusieurs modèles de régulateurs de différentes puissances :

- Régulateur Shunt,
- Régulateur Série,
- Régulateur PWM,
- Régulateur MPPT

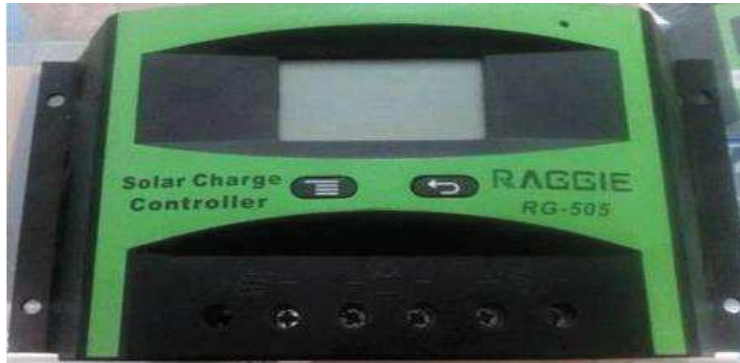


Figure III.26 : Régulateur de charge

III.4.2.1.3 Onduleurs

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif

III.4.2.1.4 Caractéristiques d'onduleurs

Onduleurs légers (de basse puissance), ils fournissent en sortie une puissance de 100 à 10000W,

Onduleurs de résistance moyenne, ils fournissent une puissance allant de 500 à 20000W,

Onduleurs robustes (de grande puissance), Ils fournissent une puissance électrique allant de 10000 à 60000W



Figure III.27 : Onduleur de 1000W

Données générales | Seuils | Convertisseur DCDC | Profil d'efficacité | Autres données / Dimensions

Modèle: Universal controller with DCDC converter Fabricant: Generic
 Nom fichier: Universal_Controller_1A_DCDC.RLT Source données: Adaptable for any system
 Base de données PVsyst originale

Régulateur universel par défaut

Caractéristiques générales du composant

Technologie: DC-DC converter
 Afficheur: No display

External controls

- Load management
- Back-up gen. control
- Back-up effectively used

Mode de régulation

- Tension batterie
- Selon SOC

Caractéristiques électriques

Courant de charge max.	206.2	A
Courant de décharge max.	13.5	A
Courant génératrice max.	13.5	A
Puissance nominale convertiss	7680	W
Auto-consommation	0.0	mA
Consommation de nuit	0.0	mA

Pack de batteries du système

Technol. **Lithium-ion, LFP**
 Tension du pack batteries **12 V** adapté, OK
 Capacité du pack batteries (C10) **180 Ah (C10)**
 Régulateur par défaut: tension nominale selon le pack de batteries du système

Contrôle batterie

- Contrôle batteries au plomb-acide
- Contrôle batteries au lithium

Compensation de température batterie

Type: Capteur interne Défaut
 Coefficient de correction: -5.0 mV/°C
 Température de référence: 25 °C

En bleu : valeurs définies pour le système

Régulateur universel: Les valeurs sont fixées selon votre système. Vous pouvez ajuster les efficacités sur la page suivante.

Figure III.28 : Différentes caractéristiques du régulateur.

Données générales | Seuils | Convertisseur DCDC | Profil d'efficacité | Autres données / Dimensions

Description: Generic, Universal controller with DCDC converter

Entrée solaire (champ PV)

Tension d'entrée CC: 57.7 V
 Optimisation tension d'entrée
 Tension champ max.: 89 V
 Puissance seuil: 83.5 W

Sortie (batterie et charge utilisateur)

Tension de sortie nominale: 52 V
 Puissance de sortie nominale: 7.7 kW
 Puissance de sortie maximum: 8.3 kW
 Courant de sortie nominal: 148 A

Conditions de fonctionnement

Mode d'opération

- MPPT
- Tension fixe

Comportement à Pnom

- Limitation
- Coupure

Comportement à Vmin/Vma:

- Limitation
- Coupure

Efficacité

Efficacité maximale: 97.0 %
 Efficacité moyenne européenne normalisée: 95.0 %
 Valeurs pour le profil automatique

Régulateur universel: Les valeurs sont fixées selon votre système. Vous pouvez ajuster les efficacités sur la page suivante.

Figure III.29 : Différentes caractéristiques du convertisseur

III.5 Conclusion

Un système PV est un système générateur d'électricité pour répondre à des besoins énergétiques. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires, les batteries qui constituent le champ de stockage de l'énergie produite par les modules, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge ou la décharge profonde, l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif et les fils électriques qui assurent la connexion entre différents composants du système.

Nous avons présenté les notions fondamentales concernant le principe de l'effet photovoltaïque, le potentiel solaire et les différentes technologies des cellules solaires.

Le dimensionnement à l'aide du logiciel PVSYST a montré que couvrir les besoins de notre installation, on aura besoins de 25 panneaux PV de 300 W, 14 batteries de 25.6V/180Ah pour la mosquée.

Finalement, on peut dire que les systèmes PV autonomes peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins énergétiques.

Conclusion générale

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

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

Notre travail a été mené de la façon suivante :

Dans le premier chapitre, on a présenté les différents types des énergies renouvelables, énergie solaire éolienne, géométrique, hydraulique, biomasse et l'énergie marine.

Dans le deuxième chapitre, on a exposé des généralités concernant les cellules photovoltaïques conventionnelles, leur principe de fonctionnement, les différents types et technologies, et les facteurs limitants leurs rendements avec les Pertes optiques. On a donné des notions générales sur les panneaux Solaires, leur domaine d'utilisation, leur fonctionnement, ainsi leur installation.

Dans le troisième chapitre nous avons appliqué notre but de cette étude est de dimensionner un système photovoltaïque autonome ; nous avons bien défini le principe de fonctionnement de cette installation Ensuite nous avons fait appel à la simulation avec un logiciel PVsyst pour bien obtenir les différentes courbes à propos de notre étude et d'analyser le rapport de projet contenant le rendement spécifique annuel et le rendement du système.

D'après le rapport de la simulation et d'après les résultats, on a conclu que notre modélisation par le logiciel PVsyst a abouti à :

25 modules photovoltaïques en parallèle d'une puissance unitaire de 300wc et de puissance globale nominale de 7.5 KWc aux conditions de fonctionnement de 6.66 KWc à 50°C avec une surface totale des modules de 40.7m², soit 35.5 m² surface cellules .

14 Batteries placés 02 batteries en série x 07 batteries en parallèles (Voir figure III.24) avec une tension de 51V et une capacité nominale de 1260Ah avec une énergie stockée de 56.7KWh.

Avec un convertisseur universel avec un contrôleur MPPT de 1000W et une tension de 51V, et d'un courant de charge maximale de 161A et d'une charge minimale de 87A.

On a choisi une batterie Generic de type Lithium-ion 25.6V/180Ah sous une température fixe 20C°.

Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie. Avec un convertisseur universel avec un contrôleur MPPT de 1000W et une tension de 51V, et d'un courant de charge maximale de 161A et d'une charge minimale de 87A.

Conclusion générale

Dans tout système photovoltaïque autonome, on intercale un système dit de régulation, qui sert à contrôler l'intensité de courant qui passe par les accumulateurs, les protégeant ainsi contre les surcharges et les décharges profondes

Références bibliographiques

- [1] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp, Consulté 09/05/2007.
- [2] P. Bessemoulin, j. Olivieri « Rayonnement solaire et sa composante ultraviolette » la météorologie série 8-N° 31, pp (42-59), 2000.
- [3] <http://www.energie-photovoltaïque-et-solaire.com/avantages-inconvenients.htm>
- [4] Aie. [En ligne]. 2010. [Consulté le 10/03/2019]. Disponible sur :
[www.enr.fr/.../2010171642fiche solaire thermodynamique intégrale mai210.pdf](http://www.enr.fr/.../2010171642fiche_solaire_thermodynamique_intégrale_mai210.pdf)
- [5] M. Sadi, z.el amine hamlat, "L'impact Des Energies Renouvelables Sur Le Réseau Electrique Ouest Algérien 220 KV ". Master système énergétique génie électrique Université Tahar Moulay de Saïda, 2014.
- [6] M. Saleh Hagggar, a. Djeddah, "Détermination du rendement instantané d'un Capteur solaire a eau ", "Master Mécanique Energétique ". Université Ibn Khaldoun de Tiaret 2017
- [7] http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/fr/tour/wres/index.htm
(Cours complet sur l'énergie éolienne – windpower.org) consulté le 01/05/2020 à 14h 00..
- [8] <https://www.comptoireolien.fr/les-differents-types-d-eoliennes/index.html> : Consulté le 04/05/2020 à 16 :00
- [9] A. Ali El Habib, M. Daoudi, " Dimensionnement d'une installation photovoltaïque", "Actionneur et contrôle industriel ".Université Tahar Moulay de Saida ".2016.
- [10] http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp consulté le 17/05/2020 19 :30 .
- [11] http://www.la-geothermie.net/le-chauffage-geothermique/les-differents_captages.html
(Les différents captages) Consulté le 04/05/2020 à 18 :00.
- [12] <http://energie-geothermique.e-monsite.com/pages/utilisation-de-geothermie.html>
Consulté le 15/05/2020 à 09 :45.
- [13] Miloudi-sabrina << Etude d'un système photovoltaïque autonome >> Université kasdi merbah ouargla . 2016.
- [14] M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV- Eolienne»,Thèse de Doctorat, Université de Bechar, 2007.

Références bibliographiques

- [15] Zerrouki Zolikha & bereksi reguig Rym<< Dimensionnement d'un système Photovoltaïque autonome >>Université Abou-bakr Belkaid Tlemcen. 2017.
- [16] Dr. Belaid lalouni Sofia <<Cours Energie Solaire Photovoltaïque>> Université A.mira de Bejaia.2016.
- [17] AMRANI Abderrahim << Modélisation et Optimisation d'un système photovoltaïque interconnecté au réseau électrique >> L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued. 2017.
- [18] <https://unmundosalvadorsoler.org/>_consulté Le 02/06/2020 à 10h.
- [18] Zerrouki Zolikha & Bereksi Reguig Rym<< Dimensionnement d'un système Photovoltaïque autonome >>Université Abou-bekr Belkaid – Tlemcen_2017.
- [19] D. Delagnes . Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - juin 2007.
- [20] Dr. Belaid lalouni Sofia <<Cours Energie Solaire Photovoltaïque>>Université A.Mira de bejaia.2015.
- [21] <https://www.encyclopedie energie.org/wpcontent/uploads/2018/09/art167>. Consulté le 01/06/2020 0 15h.
- [22] http://ww2.acpoitiers.fr/electrotechnique/IMG/pdf/energie_solaire_photovoltaïque.pdf. Consulté le 02/05/2020 à 08h.
- [23] Le 4ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables. Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa – Algeria 24 - 25 Octobre 2016
- [24] Mostahsine Smail, «Etude comparatif de panneaux solaires photovoltaïques à Ifrane», Rapport de licence, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah 2015.
- [25] Boukhelif Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdes, 2017.
- [26] Boukli-Hacene Omar, «Conception et Réalisation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique», Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen (Décembre 2011).

PVSYST V6.87		01/06/20	Page 1/6
Système isolé: Paramètres de simulation			
Projet : Definition of daily Household consumptions for Eté (juin-Aout)			
Site géographique	Tiaret	Pays	Algeria
Situation	Latitude 35.37° N	Longitude	1.32° E
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU+1	Altitude	1049 m
	Albédo 0.20		
Données météo:	Tiaret	Meteonorm 7.2 (1996-2010), Sat=100% - Synthétique	
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation 01			
	Date de la simulation	01/06/20 à 19h41	
Paramètres de simulation	Type de système	Isolé avec batteries et génératrice	
Orientation plan capteurs	Inclinaison	35°	Azimut 0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique moyenne	Modulation saisonnière 18.3 kWh/Jour	
Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV	Si-mono	Modèle	Mono 300 Wp 60 cells
Base de données PVSyst originale		Fabricant	Generic
Nombre de modules PV	En série	1 modules	En parallèle 25 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	25	Puissance unitaire 300 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	7.50 kWc	Aux cond. de fonct. 6.66 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	28 V	I mpp 237 A
Surface totale	Surface modules	40.7 m²	Surface cellule 35.5 m²
Paramètres du système	Type de système	Système Isolé avec batteries et génératrice	
Batterie	Modèle	Battery module Li-Ion, 26V 180 Ah	
	Fabricant	Generic	
Caractéristiques du banc de batteries	Nombre d'unités	2 en série x 7 en parallèle	
	Tension	51 V	Capacité nominale 1260 Ah
	Décharge: min. SOC	10.0 %	Energie stockée 56.7 kWh
	Température	Moyenne entre fixée (20°C) et extérieure	
Régulateur	Modèle	Universal controller with MPPT converter	
	Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	
Seuils de régulation batterie	Seuils de commande selon	SOC calculation	
	Charge	SOC = 0.96 / 0.80	
	Décharge	SOC = 0.10 / 0.35	
	Commande génératrice d'appoint	SOC = 0.15/0.45	
génératrice d'appoint	Modèle	1.5 kW	
	Fabricant	Back-up generator	
	Puissance nominale	1.5 kW	
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	2.0 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes 2.2 % 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 %

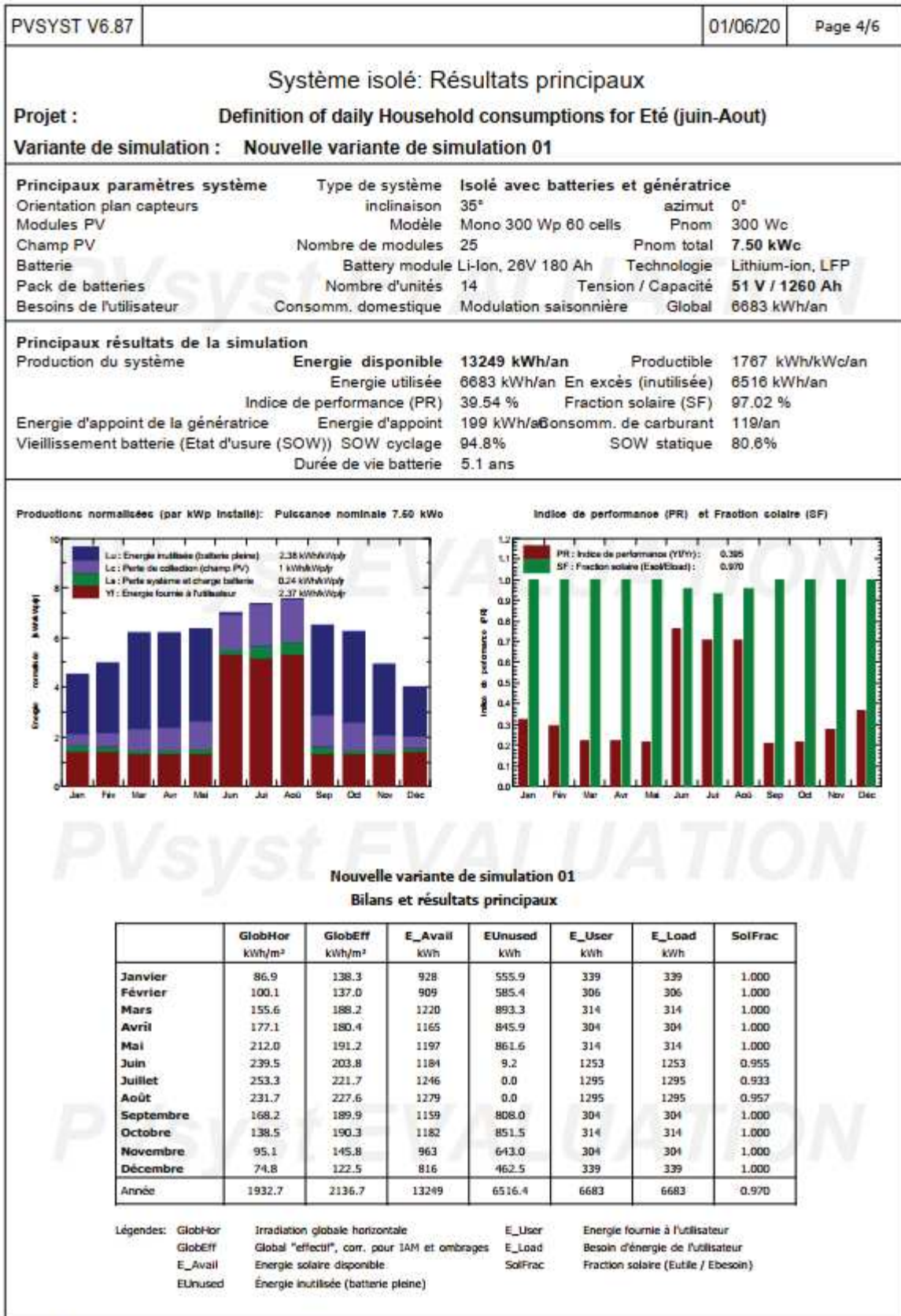
PVSyst Evaluation mode

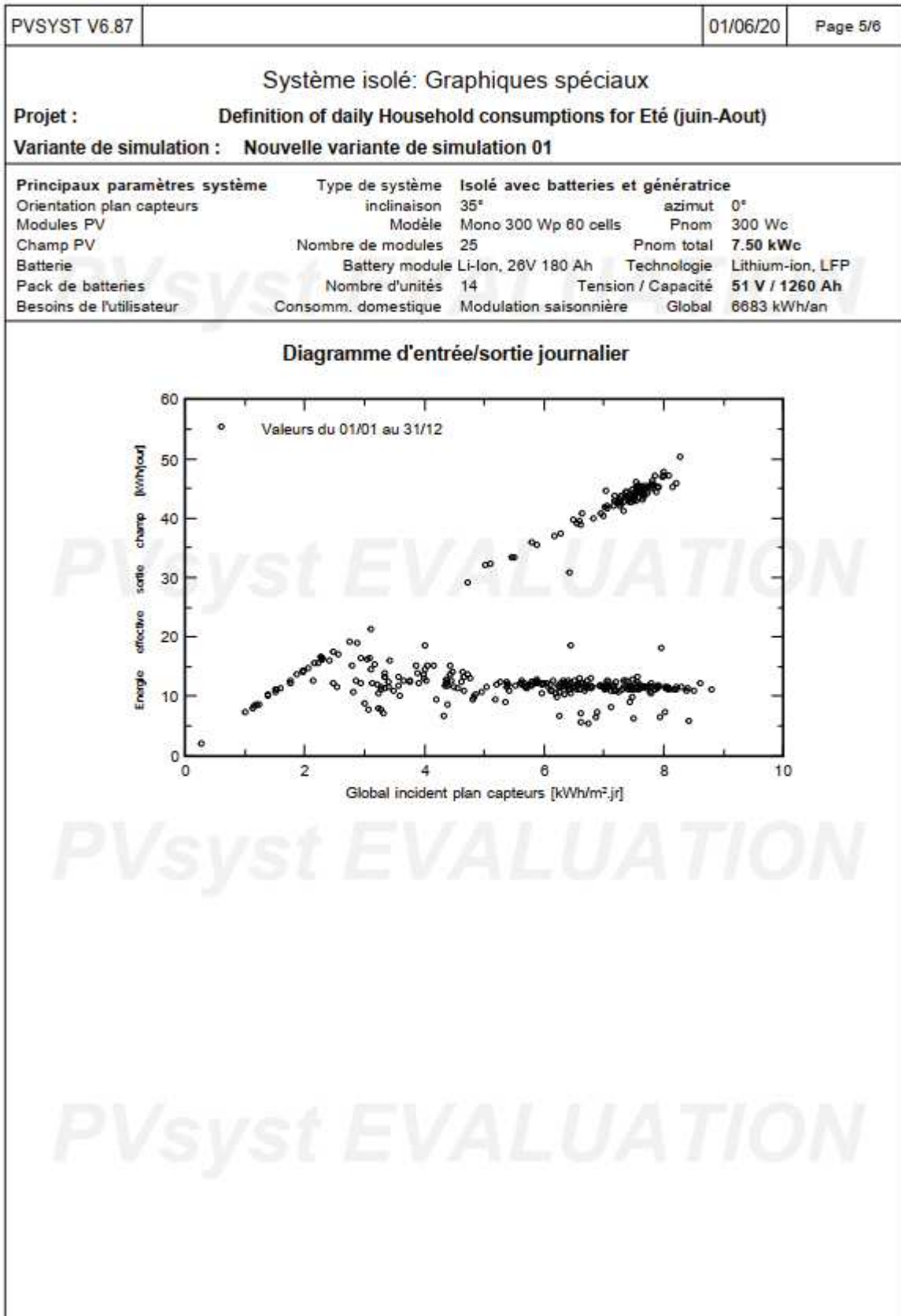
PVSYST V6.87						01/06/20	Page 2/6	
Système isolé: Paramètres de simulation								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, $n(\text{verre})=1.526$, $n(\text{AR})=1.290$								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000
<i>PVsys</i> EVALUATION								
<i>PVsys</i> EVALUATION								
<i>PVsys</i> EVALUATION								
<i>PVsys</i> EVALUATION								

PVsyst Evaluation mode

PVSYST V6.87		01/06/20	Page 3/6	
Système isolé: Besoins de l'utilisateur				
Projet : Definition of daily Household consumptions for Eté (juin-Aout)				
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation 01				
Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries et génératrice		
Orientation plan capteurs	inclinaison	35°	azimut 0°	
Modules PV	Modèle	Mono 300 Wp 60 cells	Pnom 300 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	25	Pnom total 7.50 kWc	
Batterie	Battery module	Li-Ion, 26V 180 Ah	Technologie Lithium-ion, LFP	
Pack de batteries	Nombre d'unités	14	Tension / Capacité 51 V / 1260 Ah	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière	Global 6683 kWh/an	
Consomm. domestique, Modulation saisonnière, moyenne = 18.3 kWh/jr				
Eté (Juin-Août)				
	nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	12	10 W/lampe	5 h/jour	600 Wh/jour
prise	5	100 W/app	5 h/jour	2500 Wh/jour
Moteur électrique	1	500 W/app	4 h/jour	2000 Wh/jour
Fridge	2		24 Wh/jour	1598 Wh/jour
Amplificateur	1		2 Wh/jour	120 Wh/jour
Ventilation	12	100 W tot	24 h/jour	28800 Wh/jour
Air conditioners	2	2000 W tot	3 h/jour	6000 Wh/jour
Stand-by consumers			24 h/jour	144 Wh/jour
Energie journalière totale				45762 Wh/jour
Automne (Sep-Nov)				
	nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lampe	5 h/jour	500 Wh/jour
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	5 h/jour	1000 Wh/jour
Domestic appliances	1	500 W/app	5 h/jour	2500 Wh/jour
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/jour	1598 Wh/jour
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/jour	2000 Wh/jour
Ventilation	1	100 W tot	24 h/jour	2400 Wh/jour
Stand-by consumers			24 h/jour	144 Wh/jour
Energie journalière totale				10142 Wh/jour
Hiver (Déc-Fév)				
	nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lampe	6 h/jour	600 Wh/jour
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	6 h/jour	1200 Wh/jour
Domestic appliances	1	500 W/app	6 h/jour	3000 Wh/jour
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/jour	1598 Wh/jour
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/jour	2000 Wh/jour
Ventilation	1	100 W tot	24 h/jour	2400 Wh/jour
Stand-by consumers			24 h/jour	144 Wh/jour
Energie journalière totale				10942 Wh/jour
Printemps (Mars-Mai)				
	nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
Lamps (LED or fluo)	10	10 W/lampe	5 h/jour	500 Wh/jour
TV / PC / Mobile	2	100 W/app	5 h/jour	1000 Wh/jour
Domestic appliances	1	500 W/app	5 h/jour	2500 Wh/jour
Fridge / Deep-freeze	2		24 Wh/jour	1598 Wh/jour
Dish- & Cloth-washers	1		2 Wh/jour	2000 Wh/jour
Ventilation	1	100 W tot	24 h/jour	2400 Wh/jour
Stand-by consumers			24 h/jour	144 Wh/jour
Energie journalière totale				10142 Wh/jour
Profil horaire				

PVsyst Evaluation mode





PVsyst Evaluation mode

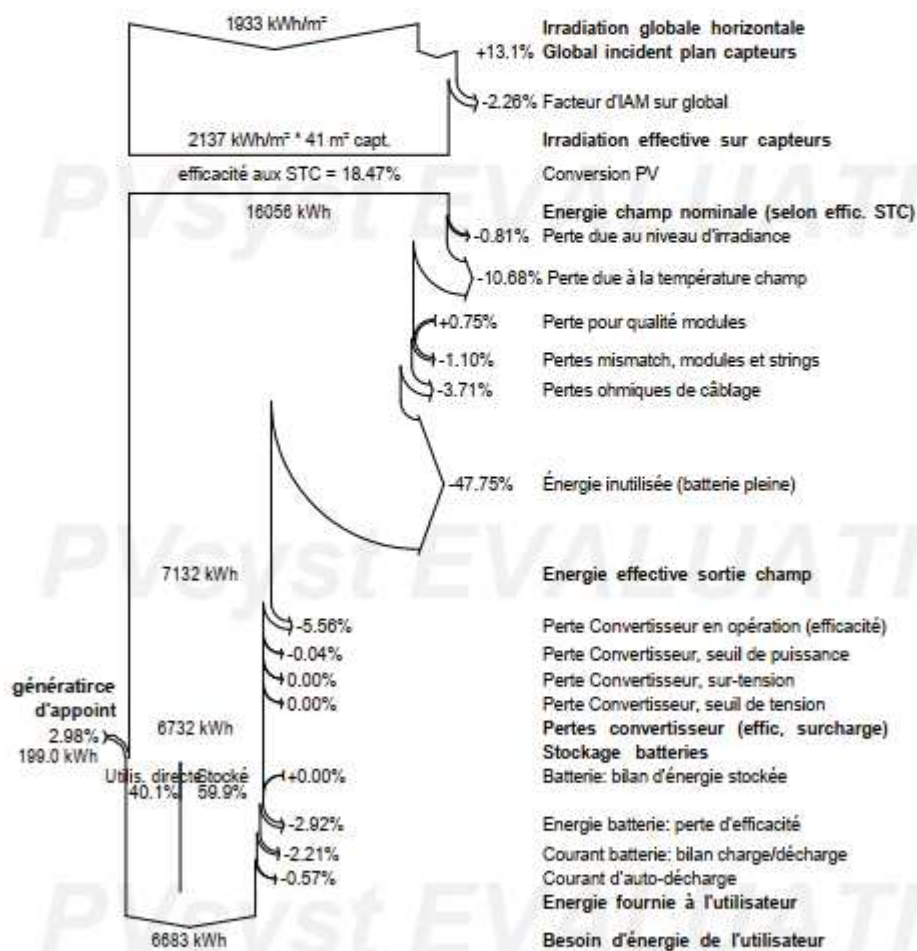
Système isolé: Diagramme des pertes

Projet : Definition of daily Household consumptions for Eté (juin-Aout)

Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation 01

Principaux paramètres système	Type de système	Isolé avec batteries et génératrice		
Orientation plan capteurs	inclinaison	35°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	Mono 300 Wp 60 cells	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	25	Pnom total	7.50 kWc
Batterie	Battery module	Li-Ion, 26V 180 Ah	Technologie	Lithium-ion, LFP
Pack de batteries	Nombre d'unités	14	Tension / Capacité	51 V / 1260 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière	Global	6683 kWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière



Résumé :

Notre but de cette étude est de faire une simulation d'un système photovoltaïque autonome avec batterie d'une mosquée à Tiaret, nous avons bien défini le principe de fonctionnement de cette installation ainsi les étapes de dimensionnement du système. Ces étapes nous ont permis de calculer la puissance et le rendement, ainsi que les nombres de panneaux photovoltaïque et nombres des batteries. ensuite nous avons fait appel à la simulation avec un logiciel PV système pour bien obtenir les différentes courbes à propos de notre étude et d'analyser le rapport de projet contenant le rendement spécifique annuel et le rendement du système.

Abstract :

Our goal of this study is to make a modeling and an optimization of an autonomous photovoltaic system with battery of a mosque in Tiaret, we have well defined the principle of operation of this installation as well as the steps of dimensioning of the system. These steps allowed us to calculate the power and efficiency, as well as the numbers of photovoltaic panels and numbers of batteries. Then we used simulation with PV system software to get the different curves about our study and to analyze the project report containing the specific annual yield and the system yield.

ملخص

هدفنا من هذه الدراسة هو عمل نمذجة وتحسين نظام كهروضوئي مستقل مع بطارية لمسجد في تيارت ، وقد حددنا جيداً مبدأ تشغيل هذا التركيب بالإضافة إلى خطوات أبعاد النظام. سمحت لنا هذه الخطوات بحساب القوة والكفاءة ، وكذلك عدد الألواح الكهروضوئية وعدد البطاريات. ثم استخدمنا المحاكاة مع برنامج نظام PV للحصول على منحنيات مختلفة حول دراستنا وتحليل تقرير المشروع الذي يحتوي على العائد السنوي المحدد وعائد النظام .