



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الطاقات المتجددة

Département des Energies Renouvelables

**CONCEPTION ET SIMULATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER
LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER
EN ENERGIES RENOUVELABLES OPTION CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE**

Présenté et soutenu en Octobre 2020 par :

**HADJ DJILANI ABDERRAOUF
MELOUANE AHMED ALAA EDINE**

Travaux dirigés par :

Encadreur Dr. Ali Tetbirt

Co-encadreur Dr. Abderrazak Guenounou

Jurys :

Mr. Toufik Doumaz

Dr. Mohammed Bouzaki

Dr. Abdelmomen Benhmed

Promotion 2019-2020

REMERCIEMENTS

Je ne peux malheureusement pas citer ici tous ceux qui directement ou indirectement, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. J'exprime à tous et à chacun ma profonde gratitude.

Cependant, je veux nommer :

En premier lieu le Seigneur ALLAH tout puissant pour ses grâces abondantes à mon égard,

Nous tenons à remercier le gouvernement Algérien et la Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique pour nous donner l'occasion d'avancer notre formation d'université sous une bourse d'études sans oublier à remercier les responsables de l'unité de développement des équipements solaires (UDES/EPST-CDER), de nous avoir assuré la supervision scientifique.

Nous remercions très sincèrement Monsieur ALI TETBIRT, sans lui ce travail ne serait jamais achevé, nous lui souhaitons du succès dans ses recherches ainsi que dans sa vie professionnelle.

Nous tenons à remercier les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'examen de ce travail.

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UES

*Nous aimerions aussi remercier tous les professeurs qui ont joué
un rôle directement ou indirectement dans nos études
d'université ici à USDB.*

*Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui portent de
l'estime pour nous et qui nous ont soutenus d'une manière ou
d'une autre pour l'élaboration de ce travail.*

Merci à tous et que le Seigneur vous bénisse !!

DEDICACES

Je dédie ce travail,

A mes parents bien aimés,

A mes sœurs et mes frères

A toute ma grande famille,

A ma grand-mère Mme. Zohra Benharkét

A mon coéquipier Melouane Alaa Edine,

*A tous mes amis et mes collègues tout au long de ma carrière
scolaire,*

Abderraouf

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail,

*A mes chers parents pour leurs sacrifices et qui
n'ont jamais cessé de m'encouragé*

A toute ma grande famille maternelle

A mon binôme Abderraouf Hady Djilani

*Ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de près
ou de loin et que j'ai omis de citer.*

Melouane Ahmed Alaa Edinne

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

ملخص :

تتناسب الطاقة الكهروضوئية ، وهي مصدر للطاقة النظيفة والمتجددة ، تمامًا مع إطار السياسة البيئية الحالية للحكومات الصناعية ، ولكن العديد من السكان ، وخاصة في المناطق الريفية المعزولة في البلدان النامية التي تستفيد من ضوء الشمس القوي ، يواجهون مشاكل كبيرة في تلبية احتياجاتهم من الطاقة. يؤيد الموقع الجغرافي للجزائر تطوير استخدام الطاقة الشمسية. يتكون عمل الذاكرة هذا من قياس أبعاد التركيب الكهروضوئي ، لتزويد مختبر التبريد والتكييف جزئيًا بالطاقة الكهربائية ذات الأصل المتجدد في وحدة التطوير ، UDES ، بو إسماعيل ، تيبازة.

كلمات مفتاحية:

الطاقة الشمسية ، الكهروضوئية ، التشعيع الأفقي والمائل العالمي ، الطاقة الكهربائية المفيدة ، التحجيم والتصميم.

Summary:

Photovoltaic energy, a source of clean and renewable energy, fits perfectly into the framework of the current environmental policy of industrialized governments, but many populations, especially in isolated rural areas of developing countries that benefit from strong sunlight, face great problems in meeting their energy needs. Algeria's geographical location favours the development of the use of solar energy. This work of memory consisted of dimensioning a photovoltaic installation, PV, to partially supply the cold and air conditioning laboratory by the electrical energy of renewable origin at the development unit, UDES, Bou-Ismaïl, Tipaza.

Keywords:

Solar energy, Photovoltaics, Global horizontal and inclined irradiation, Useful electrical energy, Sizing and modelling.

Résumé:

L'énergie photovoltaïque, source d'énergie propre et renouvelable, s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuel des gouvernements industrialisés, mais beaucoup de populations, spécialement dans les zones rurales isolées des pays en voie de développement qui bénéficient d'un fort ensoleillement, sont confrontées à de grands problèmes pour satisfaire leurs besoins en énergie. La situation géographique de l'Algérie favorise le développement de l'utilisation de l'énergie solaire. Ce travail de mémoire a consisté à dimensionner d'une installation photovoltaïque, PV, pour alimenter partiellement le laboratoire de froid et climatisation par énergie électrique d'origine renouvelable à l'unité de développement, UDES, Bou-Ismaïl, Tipaza.

Mots clés :

Energie solaire, Photovoltaïque, L'irradiation globale horizontale et inclinée, Energie électrique utile, Dimensionnement et modélisation.

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

LISTE DES FIGURES :

Figure I.1 Conflit entre les énergies fossiles et les énergies renouvelables.....	4
Figure I.2 Les types des énergies renouvelables.....	5
Figure I.3 Champ des panneaux photovoltaïques.....	6
Figure I.4 Parc éolien.....	7
Figure I.5 Les constituants d'une éolienne.....	7
Figure I.6 Petite centrale hydraulique.....	8
Figure I.7 Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire.....	8
Figure I.8 Schéma d'une centrale Biomasse.....	9
Figure I.9 Les types de la géothermie.....	10
Figure I.10 Vers une transition énergétique en faveur des énergies renouvelables.....	11
Figure I.11 Satellite d'énergie solaire par la NASA.....	14
Figure I.12 Production de l'énergie solaire dans le monde 2005-2015.....	14
Figure I.13 Centrale Photovoltaïque de Saida Ain Skhouna Algérie.....	15
Figure II.1 Mouvement de la terre.....	18
Figure II.2 Principe de fonctionnement d'une énergie solaire passive.....	19
Figure II.3 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à basse température..	20
Figure II.4 Centrales thermodynamiques parabolique, cylindro-parabolique, à tour.....	21
Figure II.5 Centrale photovoltaïque.....	21
Figure II.6 Système solaire photovoltaïque.....	22
Figure II.7 Schéma d'installation d'un système PV.....	23
Figure II.8 Structure d'un module photovoltaïque.....	23
Figure II.9 Cellule photovoltaïque.....	24
Figure II.10 Les étapes de fabrication d'une cellule PV.....	25
Figure II.11 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	26
Figure II.12 Principe de la conversion photovoltaïque.....	27
Figure II.13 Caractéristiques de groupement de cellules photovoltaïque.....	28

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Figure II.14	De la cellule au champ photovoltaïque.....	28
Figure II.15	Régulateur VICTRON Blue Solar MPPT 100/30 (100V).....	30
Figure II.16	Onduleur solaire EFFEKTA 5000W KS-5000DT.....	30
Figure II.17	Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.....	32
Figure II.18	Schéma d'un système de pompage au fil de soleil.....	33
Figure II.19	Configuration du système hybride à bus continu.....	33
Figure II.20	Systèmes photovoltaïque connectés au réseau.....	34
Figure III.1	L'interface du logiciel PVsyst.....	38
Figure III.2	Schéma général d'une installation photovoltaïque autonome.....	40
Figure III.3	Site étudié, UDES à Bou Ismail.....	41
Figure III.4	Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	42
Figure III.5	Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	44
Figure III.6	La courbe de l'irradiation dans l'année.....	47
Figure III.7	Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau.....	48
Figure III.8	Mini-station de calculs utiliser dans notre installation.....	52
Figure III.9	Stabilisateur APC smart-UPS.....	53
Figure III.10	Réfrigérateur Condor 120 Litres.....	53
Figure III.11	Compteur électromécanique.....	54
Figure III.12	Datasheet du panneau solaire utilisé dans l'installation.....	55
Figure III.13	Caractéristiques du batterie rechargeable Condor.....	55
Figure III.14	Régulateur Steca Solarix PRS 2020.....	56
Figure III.15	Onduleur Victron energy.....	56
Figure III.16	L'irradiation globale horizontale.....	57
Figure III.17	Situation géographique de Bou Ismail.....	59
Figure III.18	Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe.....	60
Figure III.19	Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne pour l'été.....	61
Figure III.20	La distribution horaire de l'utilisation pour l'été.....	61

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Figure III.21	Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne pour 3 saisons..	62
Figure III.22	La distribution horaire de l'utilisation pour 3 saisons.....	62
Figure III.23	Résultats obtenues pour les batteries à l'aide du logiciel PVSYST.....	63
Figure III.24	Résultats obtenues pour GPV et régulateur à l'aide du logiciel PVSYST.....	63
Figure III.25	Configuration typique d'une installation autonome.....	64
Figure III.26	Diagramme d'entrée/sortie journalier.....	65
Figure III.27	Le tableau et le diagramme des consommations et des erreurs en consommation annuelles.....	66
Figure III.28	Diagramme des pertes l'année entière.....	67

Listes des tableaux :

Tableau III.1	L'irradiation horizontale à Bou Ismail.....	44
Tableau III.1	La moyenne mensuelle de l'irradiation horizontal et incliné.....	47
Tableau III.3	Bilan des puissances de l'installation étudiée.....	57
Tableau III.4	Données météorologiques de Bou Ismail.....	60
Tableau III.5	Bilan général obtenue par PVsyst.....	66
Tableau III.6	Comparaison entre calcul manuel et calcul avec logiciel.....	67

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

SOMMAIRE :

Introduction générale	1
Chapitre I : Les énergies renouvelables et la transition énergétique	
I.1 Introduction	4
I.2. Les énergies renouvelables	5
I.2.1 l'énergie solaire	5
I.2.2 L'énergie éolienne	6
I.2.3 L'énergie hydraulique.....	8
I.2.4 La biomasse	9
I.2.5 la géothermie	9
I.3 Transition énergétique	10
I.3.1 Histoire de la transition énergétique	11
I. 3.2 Pourquoi la transition énergétique	11
I.4 Première utilisation de l'énergie solaire pour produire de l'électricité	13
I.5 L'énergie solaire en Algérie	14
I.6 conclusion	16
Chapitre II : Energie solaire et système photovoltaïque	
II.1 Introduction	18
II.2. L'énergie solaire	18
II.2.1 Types d'énergie solaire	19
II.3 L'énergie solaire photovoltaïque	22
II.3.1 L'effet photovoltaïque	22
II.4 Composant d'un système photovoltaïque	23
II.4.1 Les modules photovoltaïques.....	23
II.4.2 Batteries de stockage de l'énergie électrique.....	29
II.4.3 Système de régulation.....	29
II.4.4 Module de conversion	30

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

II.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	31
II.6 Différents types de systèmes photovoltaïques	31
II.6.1 Les systèmes autonomes	31
II.6.2 Les systèmes hybrides	33
II.6.3 Les systèmes connectés au réseau	34
II.7 Conclusion	35

Chapitre III : Modélisation et Simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter le
laboratoire FCER/FTEER/UDES

III.1 Introduction	37
III.2 Logiciel PVsyst	38
III.3 Les Options de logiciel PVsyst	39
III.3.1 pré-dimensionnement	39
III.3.2 Conception du projet	39
III.4 Méthodes de dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome	39
III.4.1 Présentation des paramètres d'entrée intervenants dans le dimensionnement ...	40
III.4.2 Les étapes du dimensionnement	42
III.4.3 Consommation énergétique	43
III.4.4 Energie solaire récupérable	43
III.4.5 Définition des modules photovoltaïques.....	48
III.4.6 Dimensionnement du stockage.....	49
III.4.7 Ledimensionnement de son régulateur	50
III.4.8 Dimensionnement de l'onduleur	51
III.4.9 Le dimensionnement des câbles électriques photovoltaïques	51
III.4.10 Choix des sections de câble	51
III.5 Présentation globale de notre étude	52
III.6. Équipements utilisés dans l'installation PV	52

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

III.7 Dimensionnement manuel de l'installation PV étudiée.....	57
III.7.1 Bilan des puissances.....	57
III.7.2 Calculs et choix des éléments du système.....	57
III.7.3 Choix du régulateur.....	58
III.7.4 Choix de l'onduleur.....	59
III.8 Simulation par PVsyst des besoins de l'installation en énergie électrique.....	59
III.8.1. Données de site	59
III.8.2 Orientation	60
III.8.3 Estimation de la consommation des charges électriques pour le site	60
III.8.4 L'ensemble du système utiliser dans notre installation	63
III.9 Résultats de la simulation et discussion	65
III.9.1 Entrée / Schéma de sortie	65
III.9.2 Bilans et résultats principaux	66
III.8.3 Diagrammes des pertes	66
III.9 Tableau des résultats obtenus par les deux méthodes de calcul.....	67
III.9 Conclusion	68
IV Conclusion générale et perspective.....	70

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Liste des abréviations :

PV : Photovoltaïque

PVSYST : Logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse informations.

GPV : Générateur photovoltaïque

I : Courant

V : Tension

CO₂ : Dioxyde de carbone

ONG : Organisation non gouvernementale

W : Watts

ONU : L'Organisation des Nations unies

GWH/an: Giga watts heures par an

MWh : Méga watts heures

Km : Kilomètres

°C: Degrés Celsius

I_{ph}: Courant photo généré

R_s : La résistance série

R_p : La résistance parallèle

n_s: Nombre de cellules en série

n_p : Nombre de cellules en parallèle

I_{pv}: Courant du module PV

V_{pv}: Tension du module PV

MPPT: Maximum Power Point Tracking

CA: Courant alternative

CC: Courant continu

MPP : Point de puissance maximale MPP

E: Energie

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

P: Puissance

T: Temps

N_{pv}: Nombre des panneaux PV

P_c: Puissance crête

P_{max}: Puissance max

STC: Standard test conditions

CPU: Central Processing unit (en français Unité centrale de traitement)

ADEME: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Introduction générale

La production d'énergie est un grand et important défi pour les années à venir, pour pouvoir satisfaire les besoins énergétiques qui sont de plus en plus croissants. Actuellement, la production d'énergie dans le monde est basée presque totalement sur les sources fossiles, sources qui présentent les inconvénients d'être limitées et qui constituent un grand danger écologique à cause des émissions de gaz à effet de serre.

Chaque jour, la terre reçoit sous forme d'énergie solaire l'équivalent de la consommation électrique de la terre entière pendant plus de 20 ans. La technologie photovoltaïque permet de transformer cette énergie en électricité grâce à des panneaux solaires. Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz: elle est donc par nature totalement propre.

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée, qui regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire photovoltaïque (PV). L'énergie solaire photovoltaïque devient de plus en plus une solution qui promet de substituer les énergies fossiles; ceci grâce à ces avantages dont on peut citer l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tous points du globe terrestre. C'est aussi une énergie fiable (aucune pièce mécanique en mouvement), modulable (taille adaptable des installations), et qui peut être produite au plus proche du lieu de consommation [1].

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale [2].

L'effet photovoltaïque a connu ses premières applications pour l'espace (alimentation des satellites) dans les années 1950 et ses premières utilisations terrestres dans l'année 1970. Au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et est même devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faible puissance y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et réfrigérateurs solaires. L'installation photovoltaïque la plus simple que l'on puisse concevoir se compose d'un générateur photovoltaïque formé d'un ou plusieurs modules connectés en série ou en parallèle, des batteries et d'une charge qui utilise directement l'énergie produite. Une telle installation ne fournit un effet utile que pendant les périodes ensoleillées. Elle ne convient donc que pour de rares applications. Ce type d'installation a le mérite de la simplicité, mais elle ne conduit pas à une utilisation optimum du générateur photovoltaïque. Mais, le niveau de tension et de

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Le courant qui s'établit spontanément sur un générateur photovoltaïque n'est pas forcément celui qui convient le mieux aux éléments de l'installation. On doit veiller lors de la conception de l'installation à choisir des éléments tels qu'une adaptation se réalise spontanément dans toutes les conditions d'utilisation. Compte tenu du nombre de paramètres en jeu, l'adaptation obtenue n'est jamais parfaite, et la solution n'est pas transposable d'une région à l'autre ni même d'une situation à l'autre. On est donc amené à disposer un circuit d'interface entre les batteries et le générateur photovoltaïque, en général un convertisseur statique. Les pertes d'énergie occasionnées par ce circuit sont compensées par une meilleure extraction d'énergie du générateur photovoltaïque. Compte tenu des fluctuations permanentes des conditions de fonctionnement, il faut aussi prévoir un système de commande automatique de ce convertisseur, ainsi que divers capteurs fournissant à ce convertisseur les informations dont il a besoin [3].

L'objectif de notre travail est de faire une étude et dimensionnement par calcul analytique et par simulation numérique d'une installation photovoltaïque autonome pour alimenter le laboratoire FCER/FTEER/UDES située à Bou-Ismaïl la wilaya de Tipaza. Ce mémoire est partagé en trois chapitres essentiels :

- Premièrement, nous avons commencé par une introduction générale ;
- Suivi par le premier chapitre en général été consacré à la présentation des différentes sources des énergies renouvelables et la transition énergétique ;
- Après, le deuxième chapitre été le foyer de l'énergie solaire et les systèmes photovoltaïques ;
- Ensuite, dans le chapitre 3, nous avons présenté l'étude de dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une part par la méthode de calcul analytique, et d'une autre part par la méthode de simulation numérique par logiciel de calcul « PVSYST » dans le but de déterminer les éléments essentiels de l'installation PV, ainsi que les résultats obtenus été interprétés ;
- Enfin, nous avons clôturé notre travail par une conclusion générale et perspective.

Chapitre I : Energies renouvelables et transition énergétique

Chapitre I : Energies renouvelables et la transition énergétique**I.1 Introduction :**

Dans le monde, la production d'énergie électrique vient principalement des énergies fossiles et combustibles d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel elle conduit à un dégagement massif des gazes polluants et de gaz à effet de serre. La production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂. L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques des accidents liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux : la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années, ce qui nuit à l'homme et à l'environnement (la faune et la flore). Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole, limitées (moins de cent ans au rythme actuel de consommation). Pour remédier à tous ces problèmes, nous recourons aux énergies renouvelables : Énergie solaire, énergie éolienne, énergie géothermique.



Figure I.1 Conflit entre les énergies fossiles et les énergies renouvelables

L'évolution de l'intégration des énergies renouvelables généralement, l'éolienne et photovoltaïque spécialement dans les réseaux électriques a été développée dans deux types de réseaux ; le réseau transport et celui de distribution. Le but essentiel était le maintien la stabilité ainsi que la fiabilité du réseau électrique. Dans ce chapitre nous allons présenter des généralités sur les énergies renouvelables et la transition énergétique [4].

I.2 Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement. Il y a cinq familles principales des énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- La géothermie [5]

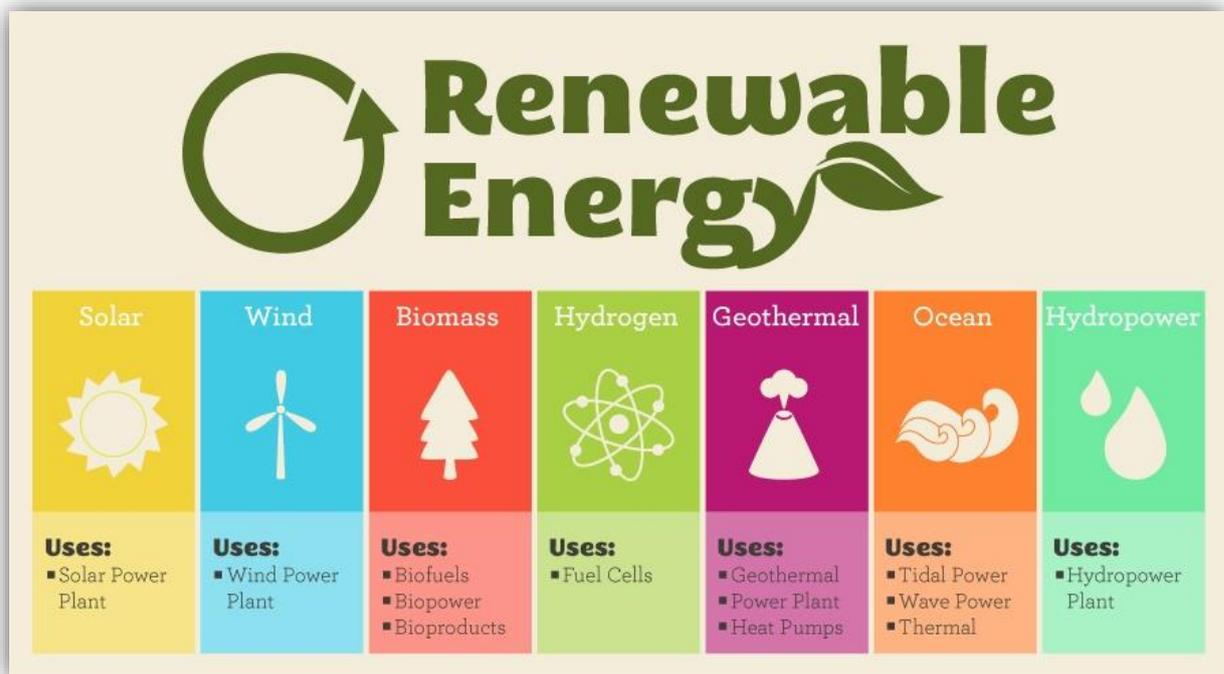


Figure I.2 Les types des énergies renouvelables

I.2.1 l'énergie solaire :

Non polluante, économique, disponible, aisément transformable grâce à des équipements robustes et fiables, comme les modules photovoltaïques, elle permet de produire de l'électricité.

Les adeptes de l'énergie solaire se plaisent à rappeler que toute forme d'énergie sur terre a pour origine le soleil. Que ce soit les vents engendrés par les fluctuations de températures à la surface de la terre, le cycle de l'eau qui s'évapore sous ses rayons, la biomasse qui transforme son énergie en matière organique ou même les combustibles fossiles façonnés lentement par sa chaleur, il est indispensable à toute forme d'énergie terrestre. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

- L'énergie solaire thermique qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce

à des panneaux sombres. Nous pouvons aussi produire l'électricité avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

- L'énergie solaire photovoltaïque qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide des panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon. Au niveau des sites isolés ou non raccordés au réseau conventionnel, nous pouvons ainsi assurer :
 - L'électrification rurale et le pompage de l'eau (50%)
 - Les télécommunications et la signalisation (40%)
 - Les applications domestiques (10%)
- L'énergie solaire passive est une autre forme d'utilisation de l'énergie solaire qui consiste à utiliser directement la lumière pour le chauffage [6].



Figure I.3 Champ des panneaux photovoltaïques

I.2.2 L'énergie éolienne :

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qu'est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou être utilisée par des charges isolées.



Figure I.4 Parc éolien

Les éoliennes exploitent le mouvement de l'air pour produire de l'énergie et cela par la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ou électrique.

- L'énergie éolienne, ne produit pas de pollution et constitue une forme d'énergie indéfiniment durable.
- Le vent tourne les pales de l'hélice qui a leurs tours font tourner l'arbre d'une génératrice produisant de l'électricité.

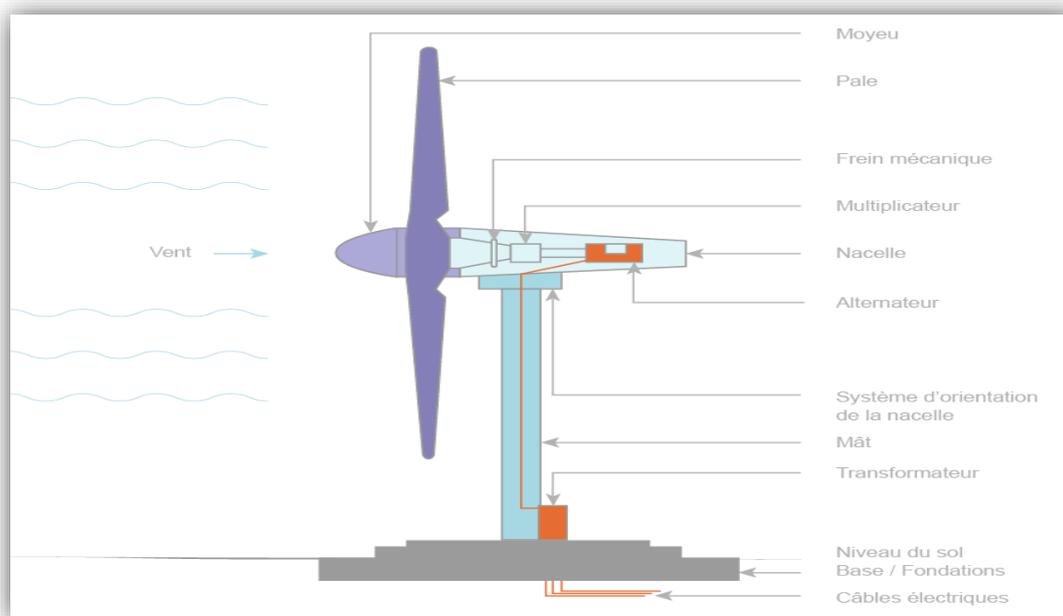


Figure I.5 Les constituants d'une éolienne [14]

I.2.3 L'énergie hydraulique :



Figure I.6 Petite centrale hydraulique

L'énergie hydraulique fonctionne un peu comme l'énergie éolienne : le mouvement de l'eau fait tourner une turbine qui produit de l'électricité. Plus l'eau coule vite, plus l'énergie produite est importante. En effet, la quantité d'énergie produite dépend de la pression et du volume d'eau à disposition. La pression est elle-même liée à la différence de hauteur entre la surface du lac et la position de la turbine. Il s'appuie sur une ressource puissante et illimitée qui n'a pas besoin d'être transformée : l'eau passe à travers une centrale, et en ressort intacte! [5].

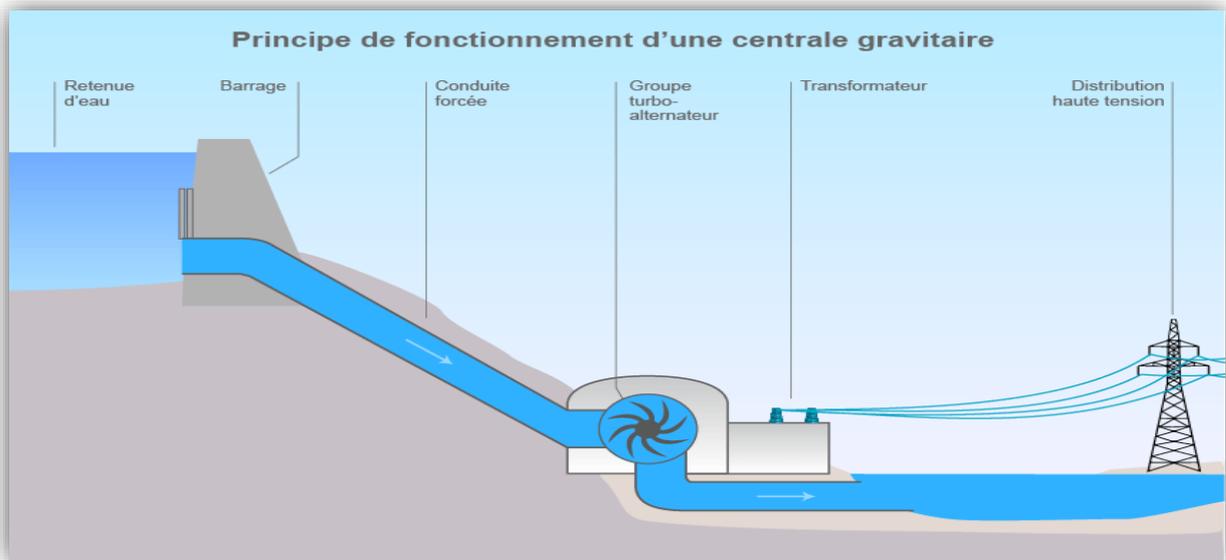


Figure I.7 Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire

I.2.4 La biomasse :

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale.

Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des coproduits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage. Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité.

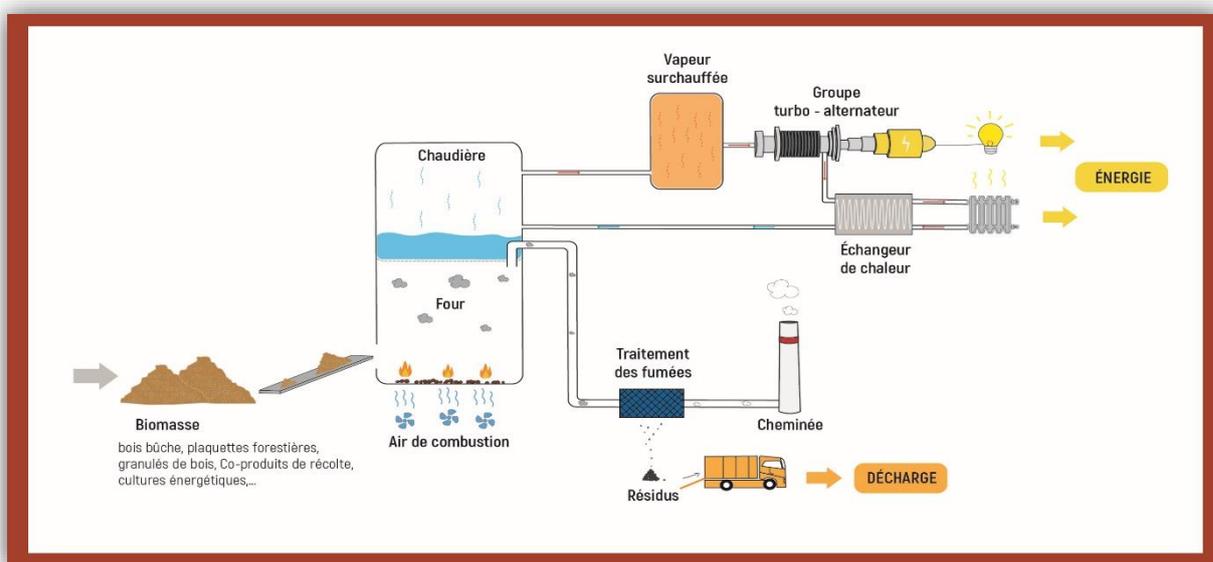


Figure I.8 Schéma d'une centrale Biomasse [15]

I.2.5 la géothermie :

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. Plus on creuse profondément, plus on atteint des températures élevées. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité [5]. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie de « haute énergie » (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée et on pourra en faire des usages différents • L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre. Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu'à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux.

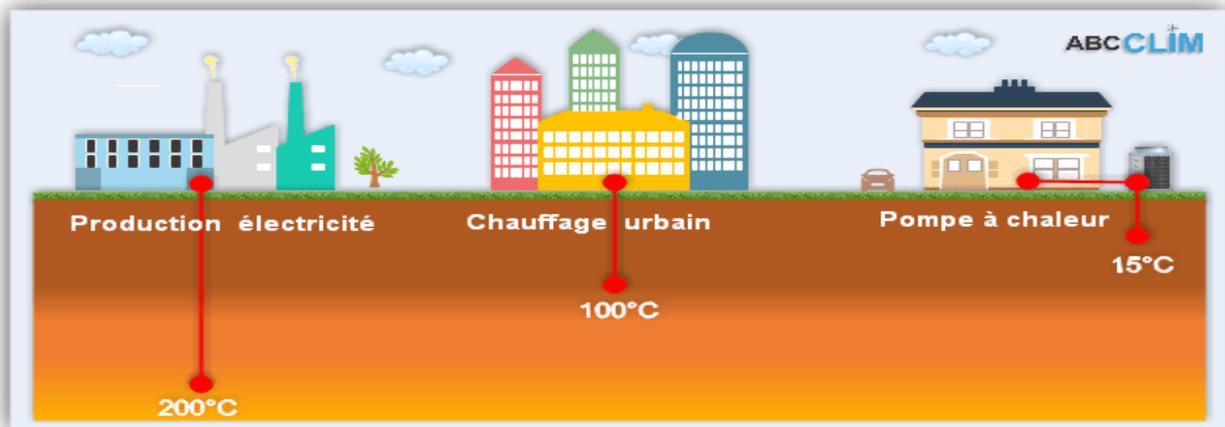


Figure I.9 Les types de la géothermie [16]

I.3 Transition énergétique :

Transition énergétique désigne l'ensemble des transformations du système de production, de distribution et de consommation d'énergie effectuées sur un territoire dans le but pour le rendre plus écologique. Concrètement, la transition énergétique vise à transformer un système énergétique pour diminuer son impact environnemental.

Elle consiste en une série de changements majeurs dans les systèmes de production de l'énergie et sa consommation. Elle est en cela partie prenante des stratégies de développement durable et de lutte contre le climatique. Elle s'appuie sur les progrès technologiques et les volontés politiques au sens large (gouvernements, populations, ONG, acteurs économiques...). Les programmes mis en place se fondent principalement sur le remplacement progressif des énergies fossiles et nucléaire par un mix énergétique privilégiant les énergies renouvelables, ainsi que sur une réduction de la consommation, une politique d'économies d'énergie et de réduction des gaspillages énergétiques, notamment via l'amélioration de l'efficacité énergétique et les évolutions comportementales en termes de consommation. Le transfert de certains usages énergétiques vers l'électrique (comme la voiture électrique) est aussi un volet de la transition énergétique.

L'évolution de l'intégration des énergies renouvelables généralement, l'éolienne et photovoltaïque spécialement dans les réseaux électriques a été développée dans deux types de réseaux ; le réseau transport et celui de distribution. Le but essentiel de cette contribution à l'intégration de photovoltaïque était le maintien la stabilité ainsi que la fiabilité du réseau électrique.



Figure I.10 Vers une transition énergétique en faveur des énergies renouvelables

I.3.1 Histoire de la transition énergétique : origine et enjeux

Le concept de transition énergétique est apparu en 1980, en Allemagne et en Autriche, sous la forme d'un livre blanc, suivi à Berlin du premier congrès sur le sujet.

Le passage progressif des énergies carbonées, polluantes ou à risque aux énergies propres, renouvelables et sans danger (solaire, éolienne, géothermique, hydraulique et marémotrice), répond à une série d'enjeux complémentaires :

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- Sécurisation des systèmes énergétiques (à terme, abandon du nucléaire) ;
- Décentralisation et réaménagement des infrastructures, avec une meilleure répartition d'emplois non localisables ;
- Diminution de la consommation (efficacité énergétique) ;
- Réduction des inégalités de l'accès à l'énergie et progrès de l'indépendance énergétique ;
- Protection de la santé des populations [17].

I. 3.2 Pourquoi la transition énergétique et à quoi sert ?

La transition énergétique est devenue un sujet politique important pour de nombreuses raisons. Parmi ces raisons on peut notamment citer : les problèmes écologiques et notamment climatiques, les questions de santé publiques ou encore la question du prix de l'énergie et de la croissance économique.

a. La transition énergétique pour le climat

L'un des objectifs les plus fondamentaux de la transition énergétique est de lutter contre le réchauffement climatique. En effet, à l'heure actuelle, le réchauffement climatique est l'une des plus grandes inquiétudes. Le réchauffement climatique a déjà des conséquences sur la météo, en transformant les écosystèmes atmosphériques. Le réchauffement climatique a des conséquences sur l'économie car les modifications du climat affectent les activités humaines. Les conséquences du changement climatique se font aussi sentir sur l'agriculture... Bref, c'est

un problème important. Et le principal responsable de cette situation, c'est le CO₂ que les activités humaines émettent dans l'atmosphère. Or une grande partie du CO₂ que nous émettons provient de l'énergie que nous consommons. En effet, produire de l'électricité pour consommer du pétrole émet beaucoup de CO₂. Pour réduire ces émissions, il est donc nécessaire de changer notre modèle de production électrique. On sait par exemple que les énergies renouvelables comme le solaire ou l'éolien, ou même les énergies hydrauliques émettent moins de CO₂ que les centrales à charbon ou à gaz. Le nucléaire est également une énergie qui émet peu de CO₂.

En faisant une transition énergétique, on espère donc réduire notre impact sur le climat.

b. La transition énergétique et écologique

Mais ce n'est pas tout. La transition énergétique vise aussi à réduire notre impact écologique global. Par exemple en réduisant la pollution. Notre énergie ne produit pas que du CO₂. Les centrales de production d'électricité au charbon par exemple émettent des particules fines, tandis que les centrales nucléaires produisent des déchets nucléaires et consomment beaucoup d'eau. Les centrales à gaz, elles, émettent du méthane. Globalement, la production d'énergie pollue et utilise beaucoup de ressources. Même les énergies renouvelables nécessitent beaucoup de ressources émettent des polluants.

En changeant notre façon de produire et de consommer de l'énergie, on peut réduire ces pollutions et cette consommation de ressources. C'est pourquoi la transition énergétique est souvent qualifiée de "transition énergétique et écologique", car elle permet de réduire notre impact sur l'environnement.

c. La transition énergétique pour la santé et la sécurité

La transition énergétique a aussi un objectif sanitaire. On sait que la pollution de l'air a des conséquences sur notre santé, notamment sur notre santé pulmonaire. La pollution affecte aussi notre cerveau, ainsi que notre risque de développer des maladies ou des cancers. Réduire la pollution, c'est donc améliorer notre santé.

Mais c'est aussi une question de sûreté. Les centrales thermiques et le nucléaire peuvent être assez dangereuses pour les communautés, notamment en cas d'accident. C'est pourquoi certains estiment qu'il est plus sûr d'effectuer une transition énergétique, notamment vers des énergies renouvelables et décentralisées.

d. La transition énergétique pour la réduction des déchets

En matière de déchets, la transition énergétique a aussi un rôle à jouer. D'abord car elle permettrait à terme de réduire les déchets issus des productions d'énergies fossiles et nucléaires. Mais aussi car elle permet de mieux valoriser certains types de déchets qui aujourd'hui sont jetés ou gaspillés. Par exemple, les déchets ménagers engrais peuvent être valorisés dans le cadre de programmes de bio-méthanisation ou d'incinération, où ils servent à produire de l'électricité, de la chaleur ou de l'énergie.

e. La transition énergétique pour la "croissance verte"

Enfin, certains partisans de la transition énergétique (mais pas tous) estiment que la transition énergétique serait à terme un moyen de relancer la croissance. En effet, les énergies fossiles sont de plus en plus chères globalement, car exploiter les gisements de pétrole ou de gaz

devient plus compliqué au fur et à mesure que les réserves s'épuisent. Et puis elles coûtent beaucoup d'argent à cause de leurs conséquences environnementales. Or une énergie chère est un frein à la croissance. En faisant la transition vers des formes d'énergie plus accessibles comme le renouvelable, il serait en théorie possible de relancer la croissance. Cette transition permettrait également de créer de nombreux emplois dans des secteurs nouveaux et sur des nouvelles technologies.

Cependant, d'autres estiment que la transition énergétique doit au contraire être une opportunité pour faire une transition vers la décroissance et la réduction de la consommation. La croissance étant généralement liée à la croissance de la consommation énergétique, il peut en effet apparaître contradictoire l'idée de faire une transition énergétique tout en poursuivant des objectifs de croissance économique.

I.4 Première utilisation de l'énergie solaire pour produire de l'électricité :

On peut faire une distinction chronologique ascendante pour l'utilisation de l'énergie solaire : Le XIXème (19ème) siècle est marqué par la découverte de l'effet photovoltaïque. Un miroir ardent Coupe transversale d'une " boîte chaude" avec thermomètre.

En 1839, le physicien Alexandre Edmond Becquerel découvre par hasard l'effet photovoltaïque. Une nouvelle voie de l'exploitation de l'énergie solaire s'ouvre alors. Il faudra attendre 1900 pour qu'Einstein explique cet effet et 1910 pour qu'il soit mis en évidence par Robert Andrew Millikan [5] ;

En 1875, l'industriel allemand Werner Von Siemens décrit le principe d'une cellule photovoltaïque au silicium ainsi que le principe photovoltaïque devant l'Académie des Sciences de Berlin [5]

Le professeur français Augustin Mouchot inventa le principe de poursuite du Soleil avec un capteur à concentration. En 1873, grâce à une subvention du conseil général de Tours il construit une machine de 4 m² qu'il présente en 1875 à l'Académie des Sciences. En 1877, c'est une subvention du conseil général d'Alger qui lui permet de construire un nouveau capteur de 20 m² couplé à une machine à vapeur qu'il expose lors de l'Exposition Universelle de Paris en 1878. L'engin, d'une puissance d'un demi-cheval (368 W), permet d'imprimer le journal de l'Exposition Le Soleil à raison de 500 exemplaires/heures. La machine eut un grand succès. Augustin Mouchot avait déjà deviné que les énergies fossiles que les occidentales commençaient à utiliser n'étaient pas inépuisables. C'est pour cela qu'il préconisait et étudiait l'énergie solaire. C'est ce qu'il écrivait dans le livre qu'il publiait en 1869, La Chaleur Solaire et ses Applications.

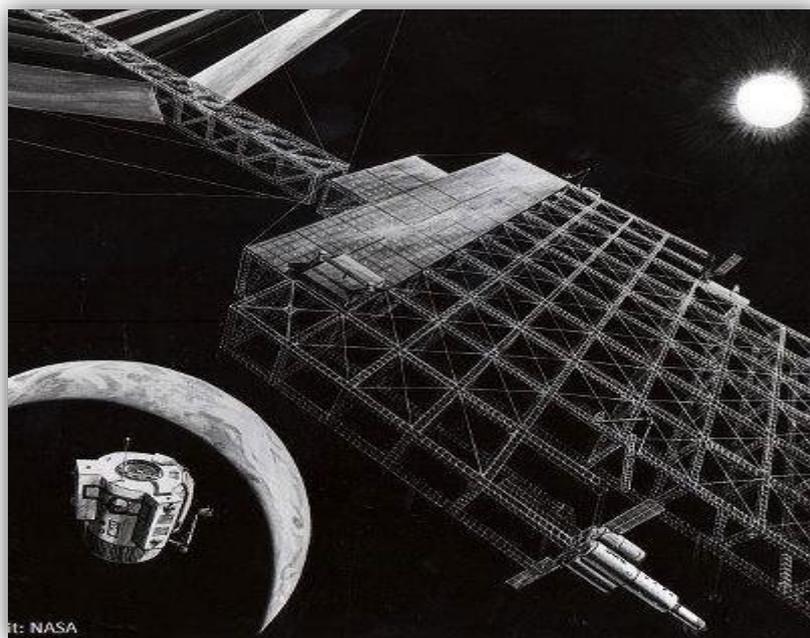


Figure I.11 Satellite d'énergie solaire par la NASA

I.5 L'énergie solaire en Algérie :

L'Algérie, forte d'un potentiel solaire thermique du Sahara, équivaut à 10 fois la consommation globale mondiale, gagnerait à exploiter cet avantage comparatif pour devenir un grand producteur mondial, non pas de gaz mais d'électricité, a vivement préconisé Gille Bonafi. Collaborateur du centre de recherche sur la mondialisation. Membre du Comité intergouvernemental des experts à l'ONU (L'Organisation des Nations unies (l'ONU est une organisation internationale fondée avec 51 États) à Rabat en mars 2013.), lors d'un colloque international sur la transition énergétique en Afrique. Exemple : La Centrale Photovoltaïque de SAIDA.

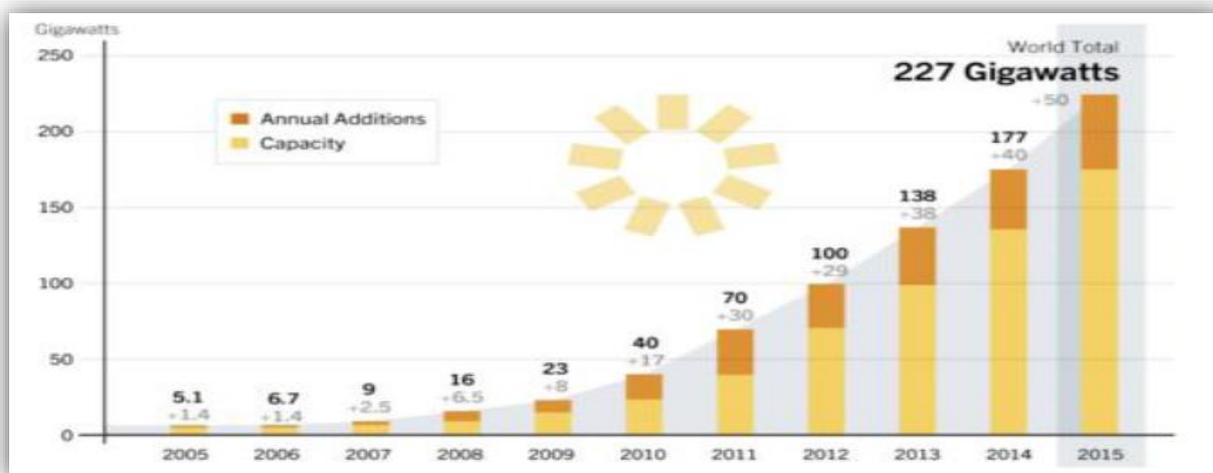


Figure I.12 Production de l'énergie solaire dans le monde 2005-2015

De par sa position géographique, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde (05 milliards de GWH/an), avec une durée d'ensoleillement sur le Sahara et les hauts plateaux pouvant dépasser les 3.000 heures/ an, selon les spécialistes. Dans le cas de SAIDA 3084 heures/an : La centrale solaire photovoltaïque de 30 MW Ain Skhouana, s'inscrit dans le cadre du programme national des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Les attentes de la réalisation de cette centrale sont :

- Diversification des sources de production de l'électricité et développement de moyens de production à partir des ressources renouvelables, Énergie annuelle produite Par la centrale Photovoltaïque est de : 49647 MWh).
- Préservation des ressources primaires : économie des combustibles fossiles ; (environ 12412 Tonne/an de gaz).
- Protection de l'environnement par la réduction des émissions des gaz à effet de serre (32 267 Tonne/an de réduction des émissions de CO₂).



Figure I.13 Centrale Photovoltaïque de Saida Ain Skhouana Algérie

I.6 conclusion :

Les réserves de combustibles fossiles sont mal connues, car les opérateurs et les spécialistes déclarent des chiffres plus politiques que technique. Donc le pic de la production du principal combustible qui est le pétrole est prévu entre 2020 et 2050, ce qui pose un problème de la satisfaction de la demande mondiale en énergies du fait son caractère non renouvelable. La contribution des énergies renouvelables dans la régularisation de ce défi est primordiale. C'est pour cela, il est fortement indispensable de s'intéresser à ce type d'énergie durable en développant les technologies nécessaires pour assurer une bonne exploitation de celle-ci, dans le but d'arriver à un rendement efficace. Aussi, la contribution des énergies renouvelables dans les différents secteurs : Habitat ; Administration ; Agriculture et Industrie, nous permet d'une part, de garder un environnement propre et sain et aussi pour assurer la protection de la biodiversité, et d'une autre part, l'optimisation de la consommation énorme de l'électricité par les différents secteurs en évitant les ruptures de l'électricité.

La transition énergétique renvoie au passage d'un modèle reposant majoritairement sur les énergies fossiles vers un nouveau modèle énergétique fondé en majeure partie sur les énergies non carbonées. La correspondance entre la géographie humaine et celles que soulèvent la transition énergétique constitue une occasion formidable dans l'évolution de ce processus.

Chapitre II : Energie solaire et système photovoltaïque

Chapitre II : Energie solaire et système photovoltaïque**II.1 Introduction :**

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'une 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.

II.2 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

Le soleil est une étoile, située à environ 150 millions Km de la terre. Le soleil a un diamètre de 1 39 000 Km, soit plus de 100 fois notre planète. Il est composé d'hydrogène et d'hélium.

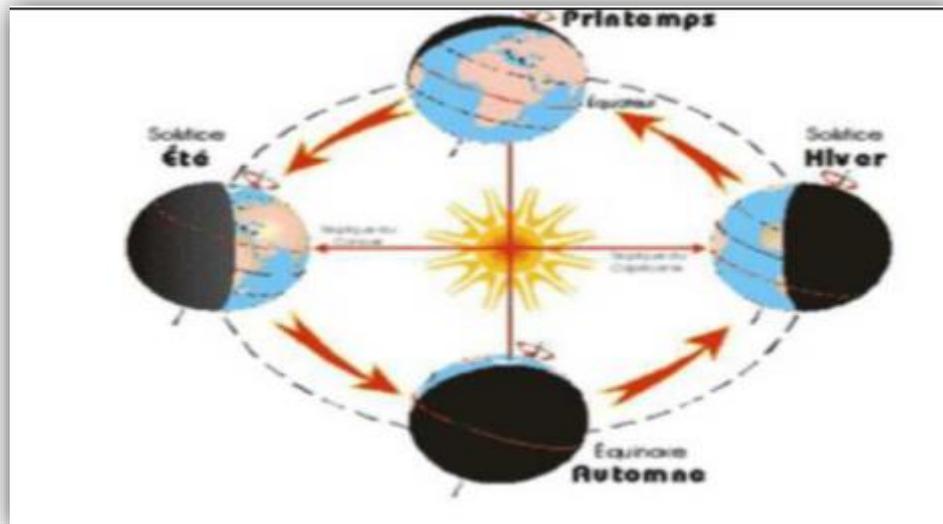


Figure II.1 Mouvement de la terre

II.2.1 Types d'énergie solaire :

a. L'énergie solaire passive :

L'énergie solaire passive est une énergie abondante et non polluante qui suppose la conception de bâtiments. Le chauffage solaire passif fonctionne comme suit : l'énergie lumineuse du Soleil qui pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres est absorbée par les murs, les planchers et les meubles, puis libérée sous forme de chaleur. Des baies vitrées ainsi que la thermo-circulation permettent de faire diminuer la consommation en d'autres énergies.

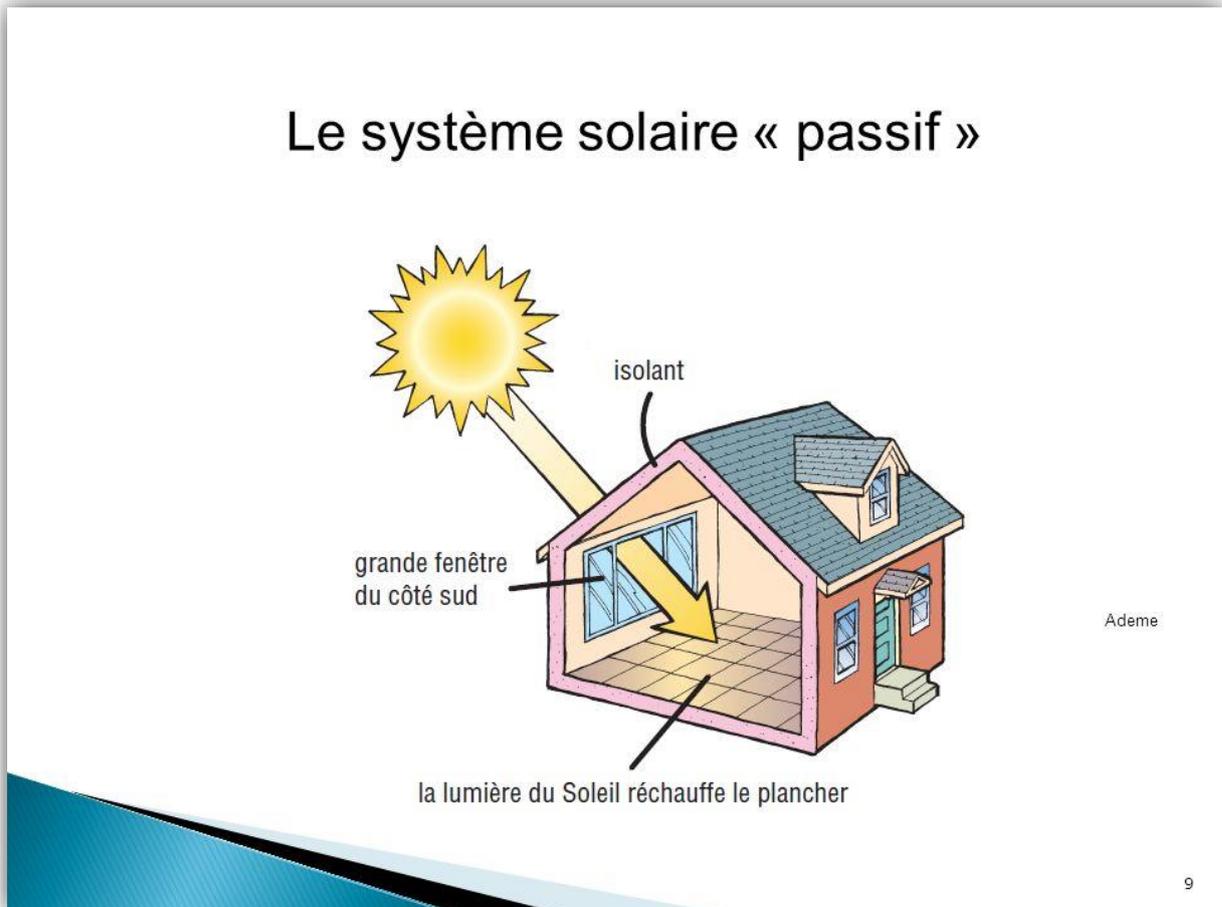


Figure II.2 Principe de fonctionnement d'une énergie solaire passive

b. L'éclairage naturel :

L'éclairage naturel est défini par l'apport lumineux fourni par le soleil, elle varie continuellement à travers la journée, le système doit être activé manuellement. La lumière naturelle est une véritable énergie renouvelable. Et pourtant, celle-ci reste trop peu exploitée dans les bâtiments tertiaires. C'est l'objet des études commandées par grande organisation professionnelle dans le domaine qui ont pour but d'analyser les atouts et les contraintes de l'éclairage naturel dans les bâtiments afin d'améliorer leur efficacité énergétique. Mais qui doit également permettre de connaître les acteurs de ces réflexions, les décisionnaires de ces choix et leurs motivations.

Cette idée entre dans le cadre du deuxième appel à projet « vers des bâtiments responsables pour 2020 » lancé par l'ADEME en septembre afin de « soutenir et accélérer l'innovation dans le secteur du bâtiment ». L'éclairage naturel en fait partie. Selon plusieurs études, il permettrait de réaliser de 30 à 60% d'économies d'énergie, chauffage et lumière inclus. Sachant que cette dernière représente 23% de la facture électrique des bâtiments tertiaires, l'utilisation d'une nouvelle source d'énergie serait une manne dans le cadre de la transition énergétique [18].

c. L'énergie solaire thermique :

c.1 L'énergie solaire thermique à basse température :

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus. Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct".

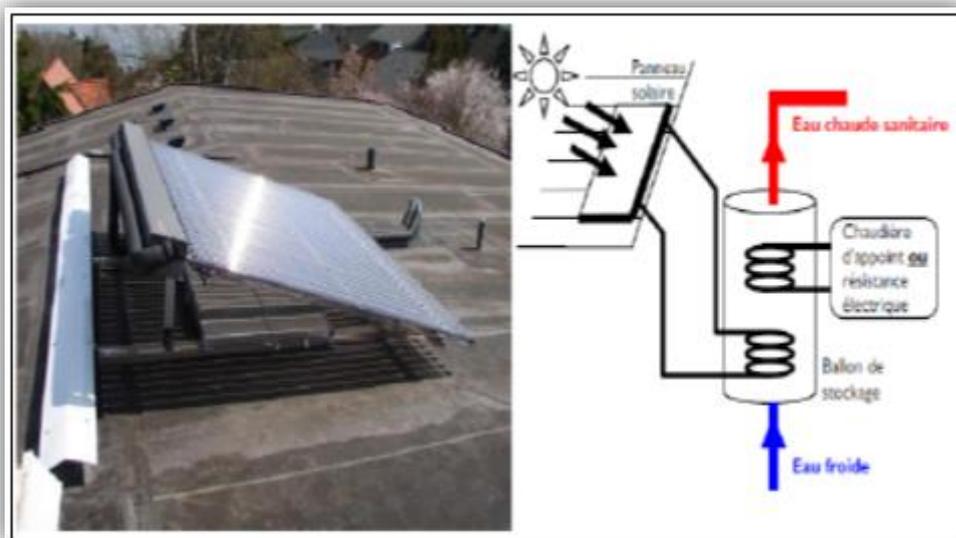


Figure II.3 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à basse température

c.2. L'énergie solaire thermique à haute température

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400 °C et 1 000 °C.

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'hélio thermodynamique que Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

- Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.

- Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.
- Troisième technologie : des capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.



Figure II.4 Centrales thermodynamiques parabolique, cylindro-parabolique, à tour

d. L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable, elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie de rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.



Figure II.5 Centrale photovoltaïque

II.3 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est basée sur l'effet photoélectrique. Celui-ci permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique.

Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons.

La conversion photovoltaïque se produit :

-Dans des matériaux semi-conducteurs : L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

-Dans un isolant électrique : les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer. Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.

-Dans un semi-conducteur : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il y a donc courant électrique sous l'exposition à la lumière.



Figure II.6 Système solaire photovoltaïque

II.3.1 L'effet photovoltaïque :

Il se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent

de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure.

II.4 Composant d'un système photovoltaïque:

un système ou une installation **photovoltaïque** pour la production de l'électricité se compose généralement de :

- Module ou Générateur photovoltaïque
- Batteries.
- Régulateurs de charge.
- Convertisseurs.
- Stockage.

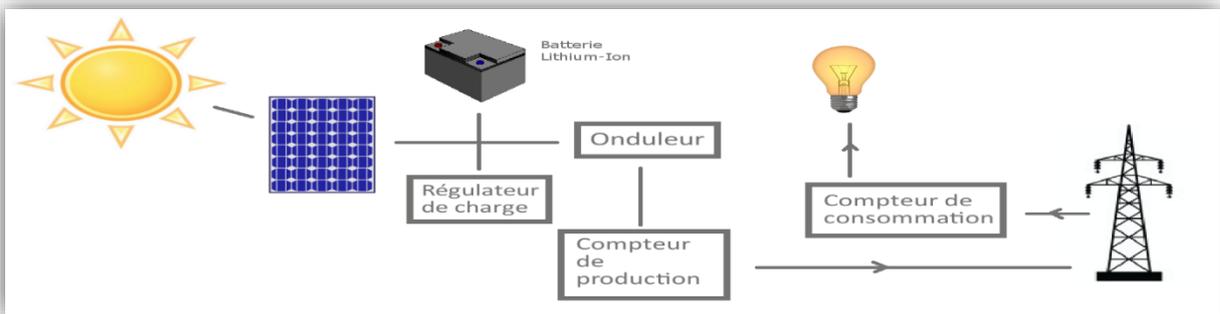


Figure II.7 Schéma d'installation d'un système PV

II.4.1 Les modules photovoltaïques :

Le module photovoltaïque est constitué d'un cadre rigide le plus souvent en aluminium permettant la fixation et d'une vitre transparente en verre trempé sur le dessus. A l'intérieur se trouve un ensemble de cellules photovoltaïques reliées électriquement entre elles. En effet ceux sont-elles qui génèrent le courant. Elles sont assemblées en série ou en parallèle à l'intérieur du module afin de cumuler leur puissance et de les rendre plus résistantes à l'environnement externe.

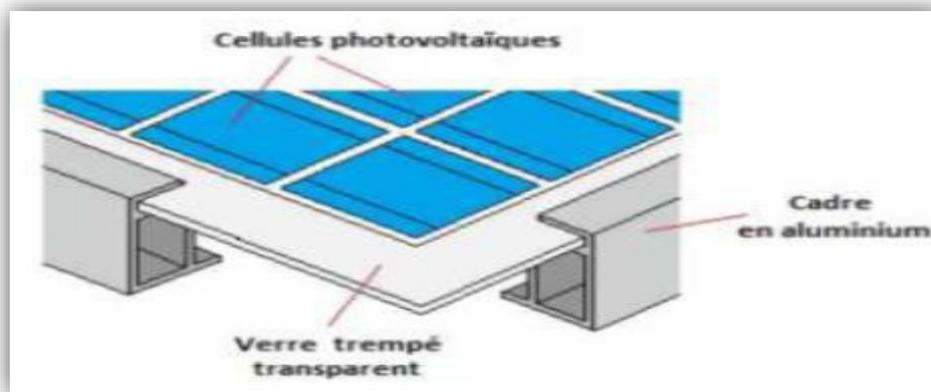


Figure II.8 Structure d'un module photovoltaïque

a. La cellule photovoltaïque :

Pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe:

- Absorption de la lumière incidente.
- Collection des électrons en surface.

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Ils sont composées d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique (effet photovoltaïque).

Le Silicium est l'un des matériaux le plus courant sur terre, c'est le sable, mais un haut degré de pureté est requis pour en faire une cellule photovoltaïque mais le procédé est coûteux. Selon les technologies employées, on retrouve le Silicium monocristallin avec un rendement de 16 à 18%, le Silicium Poly-cristallin de rendement de 13 à 15%, le silicium amorphe présente une efficacité entre 5 et 10%. D'autres matériaux tels que l'Arséniure de Galium et le Tellure de Cadmium qui sont en court de test dans les laboratoires est présentent un rendement de (38%).

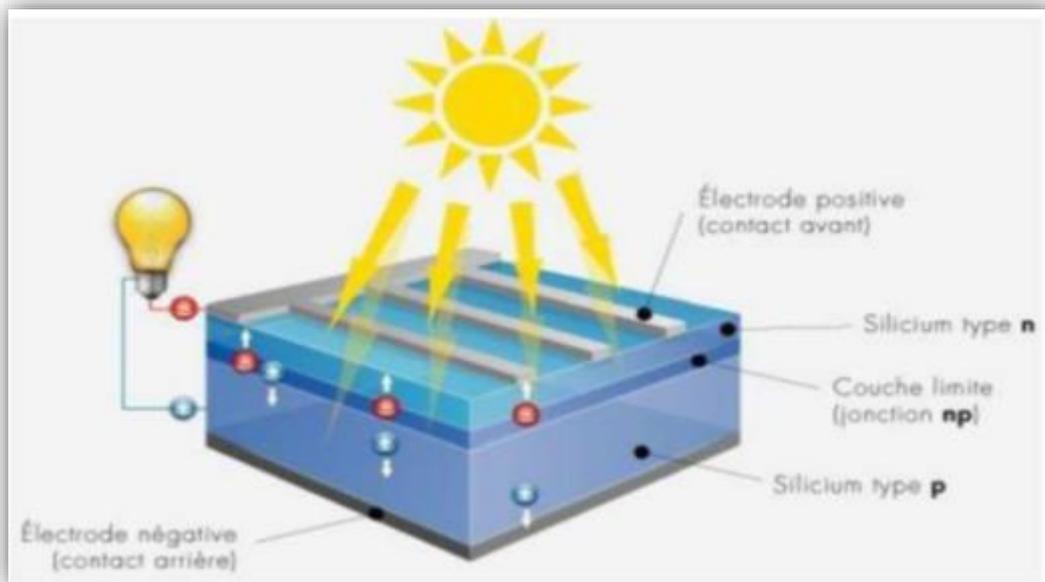


Figure II.9 Cellule photovoltaïque

b. Fabrication des cellules photovoltaïques :

Le silicium est actuellement le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. On l'obtient par réduction à partir de silice, composé le plus abondant dans la croûte terrestre et notamment dans le sable ou le quartz. La première étape est la production de silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement, obtenu à partir de morceaux de quartz provenant de galets. Le silicium de qualité photovoltaïque doit être purifié jusqu'à plus de 99,999 %, ce qui s'obtient en transformant le silicium en un composé chimique qui sera distillé puis retransformé en silicium. Il est produit sous forme de barres nommées « lingots » de section

ronde ou carrée. Ces lingots sont ensuite sciés en fines plaques de 200 micromètres d'épaisseur qui sont appelées Wafers. Après un traitement pour enrichir en éléments dopants et ainsi obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou N, les Wafers sont métallisés : des rubans de métal sont incrustés en surface et reliés à des contacts électriques. Une fois métallisés les Wafers sont devenus des cellules photovoltaïques.

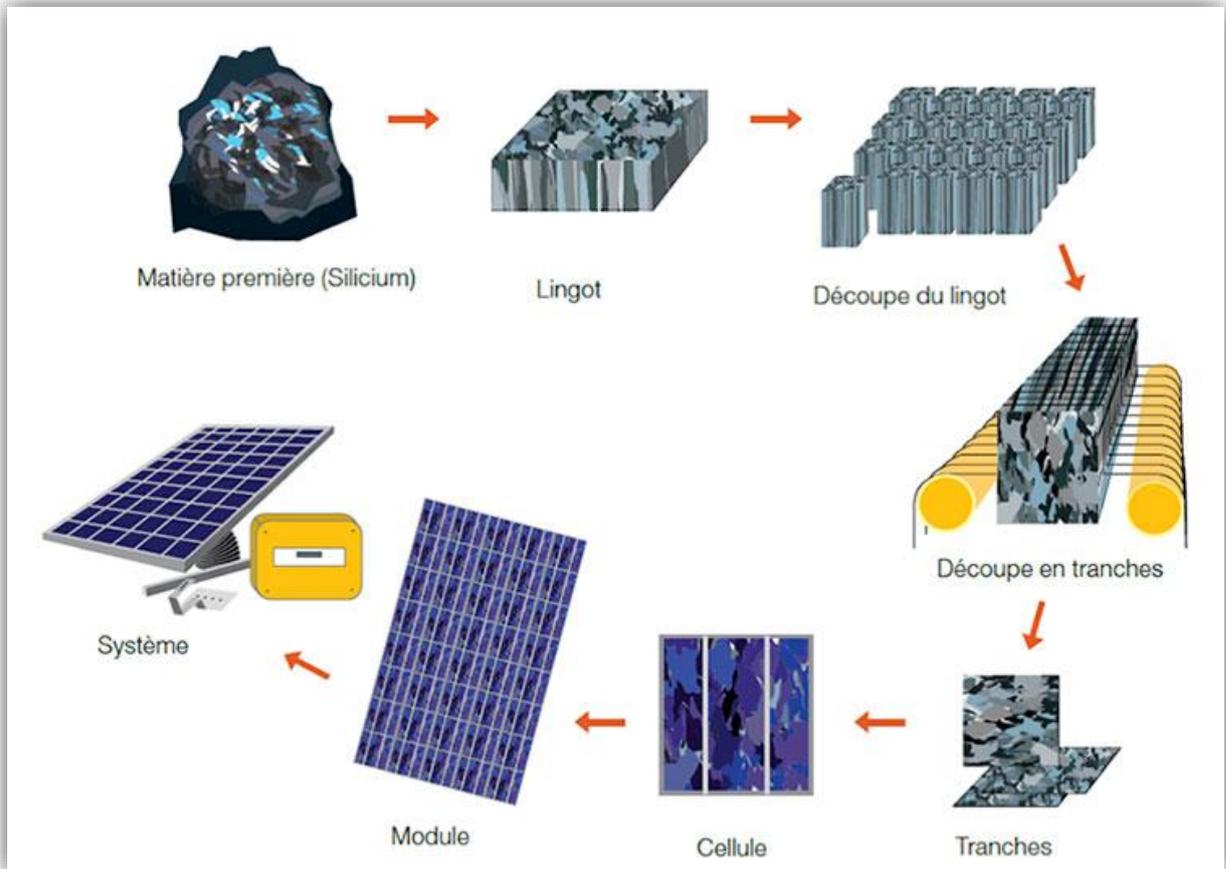


Figure II.10 Les étapes de fabrication d'une cellule PV

c. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :

L'analogie entre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque sous éclairage 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.

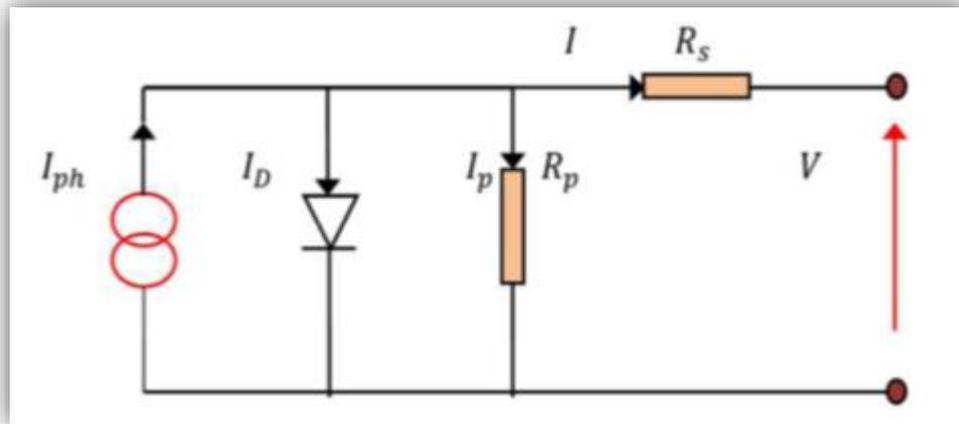


Figure II.11 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

d. 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.

e. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque :

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.

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

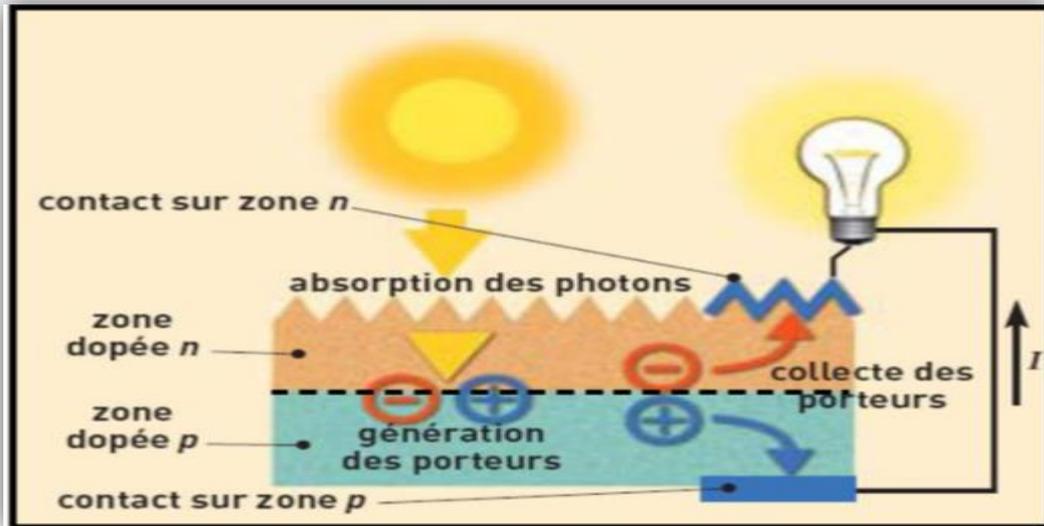


Figure II.12 Principe de la conversion photovoltaïque

f. Comment augmenter le rendement des cellules solaires?

La plus efficace cellule solaire est faite d'un matériau convertisseur parfait: Cela suppose une absorption parfaite, pas de réflexion de telle sorte que tous les photons d'énergie $E > E_g$ sont absorbés et créent un électron dans la bande supérieure. Si l'on suppose en plus que l'on a une parfaite séparation de charge de telle sorte que tous les électrons qui ne se recombinent pas sont transmis dans le circuit connecté, on obtient le courant maximum possible pour cette bande interdite.

Pour augmenter le rendement des cellules solaires on peut: Améliorer l'interaction avec la lumière. Augmenter l'absorption et Réduire la réflexion donc 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.

g. De la cellule au champ photovoltaïque :

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de n_s cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle de n_p cellules accroît le courant en conservant la tension. Si toutes les cellules sont identiques et fonctionnent dans les mêmes conditions, nous obtenons le module photovoltaïque qui fournit un courant I_{pv} sous une tension V_{pv} .

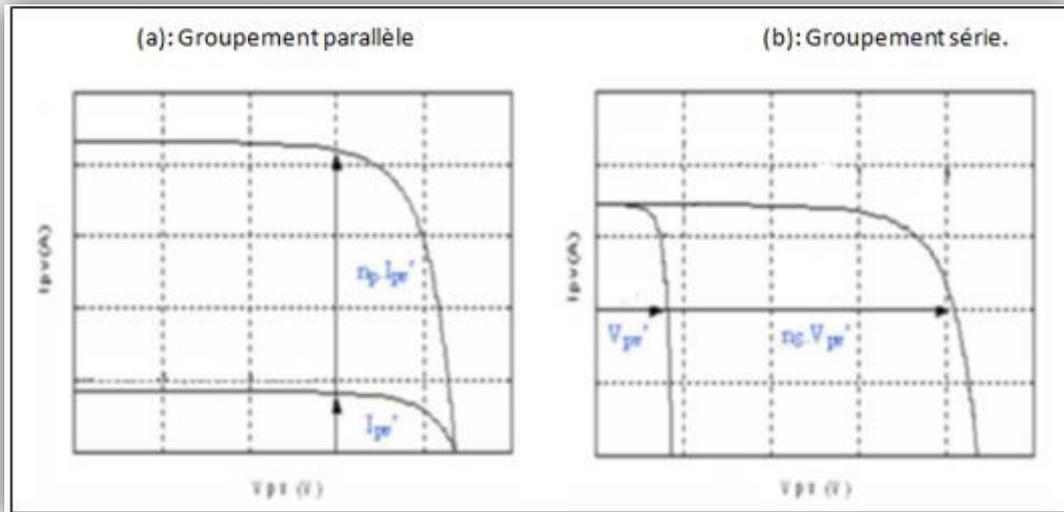


Figure II.13 Caractéristiques de groupement de cellules photovoltaïques

Le panneau photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec une orientation et un angle d'inclinaison spécifique. Le champ photovoltaïque est l'ensemble des panneaux montés en série et en parallèle pour atteindre une tension et un courant plus grands.

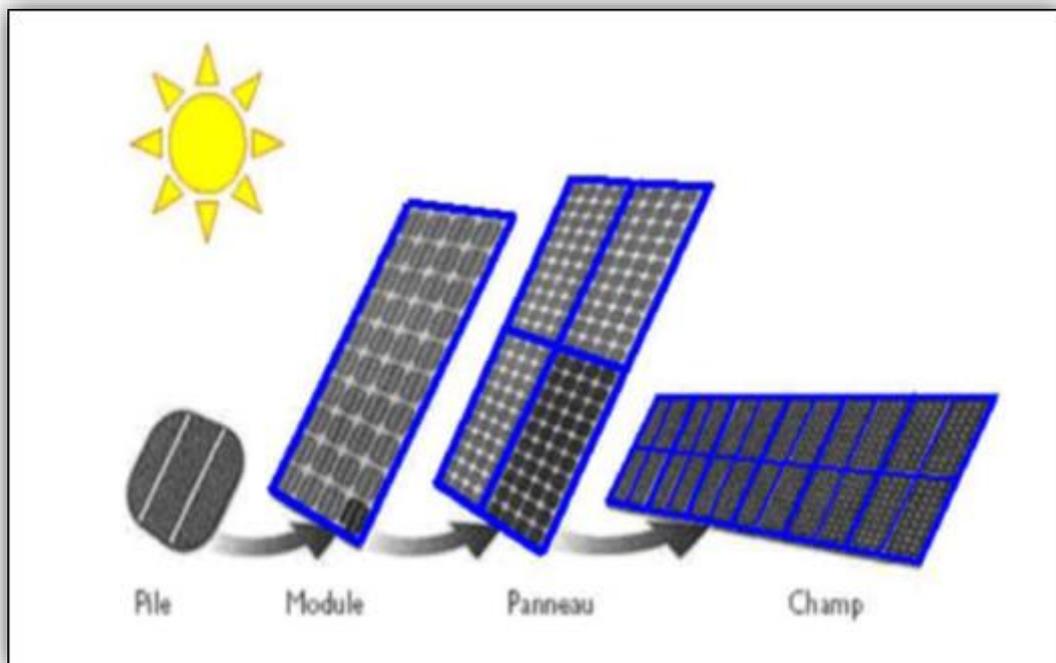


Figure II.14 De la cellule au champ photovoltaïque

II.4.2 Batteries de stockage de l'énergie électrique :

Pourquoi stockage de l'énergie électrique ?

- Il permet de satisfaire les besoins en énergie électrique malgré le caractère aléatoire et discontinu de l'énergie solaire (rythme jour/nuit, variation en fonction des heures du jour et des saisons).
- Il assure un rôle de tampon, entre la production et l'utilisation en fixant la tension du système.

Il existe trois types :

- La batterie de démarrage : Prévu pour le démarrage des moteurs à combustion, elles doivent dégager une grande capacité de démarrage pendant une durée de temps très limitée
- La batterie de traction : à décharge profonde, la réaction électrochimique pendant une décharge profonde se fait plus lentement et profondément dans la masse active jusqu'à son échappement,
- La batterie stationnaire : Elles attendent tranquillement qu'arrive un accident et sont conçues pour résister pendant une période de 5 à 10 ans, allant même jusqu'à 25 ans pour une batterie Planté très chère. C'est pour des raisons évidentes que la durée de vie de ces batteries n'est pas exprimée en cycles mais en années, c'est le type des batteries utilisé dans le solaire.

II.4.3 Système de régulation :

Il assure la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes et l'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation.

Les types de régulateurs :

- Les régulateurs de charge PWM** (Pulse Width Modulation) désignent les régulateurs de base, qui ont uniquement pour rôle d'adapter la tension des panneaux. Ils sont donc idéals pour les petites installations (inférieures à 150W) du fait de leur faible coût. Ils ne permettent pas de charger un parc batterie 12V avec un panneau dont la tension est supérieure à 23V.
- Les régulateurs de charge MPPT** grâce à leur micro-processeur et algorithmes de charges plus perfectionnés sont les régulateurs les plus performants à l'heure actuelle, les régulateurs MPPT acceptent une tension d'entrée plus élevée (75V, 100V, 150V et jusqu'à 250V) par rapport aux PWM (23V ou 55V max) et permettent ainsi de limiter la perte par effet joule. Ils permettent également de charger un parc batterie 12V avec des panneaux de 24V ou plus.



Figure II.15 Régulateur VICTRON BlueSolar MPPT 100/30 (100V)

II.4.4 Module de conversion (Inverter):

L'onduleur est le cœur de toute installation solaire car il a pour fonction de transformer le courant continu généré par les cellules photovoltaïques en courant alternatif. Cette étape est indispensable pour pouvoir utiliser votre propre production d'énergie verte et injecter votre surplus sur le réseau public.



Figure II.16 Onduleur solaire EFFEKTA 5000W KS-5000DT

II.5 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :**II.5.1 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.
- + Aucun bruit.

II.5.2 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.

II.6 Différents types de systèmes photovoltaïques :

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du système de distribution d'électricité, En les retrouvant souvent dans les régions éloignées.

II.6.1 Les systèmes autonomes :

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes sont décrits sur la figure qui traduit les différentes possibilités offertes : couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique.

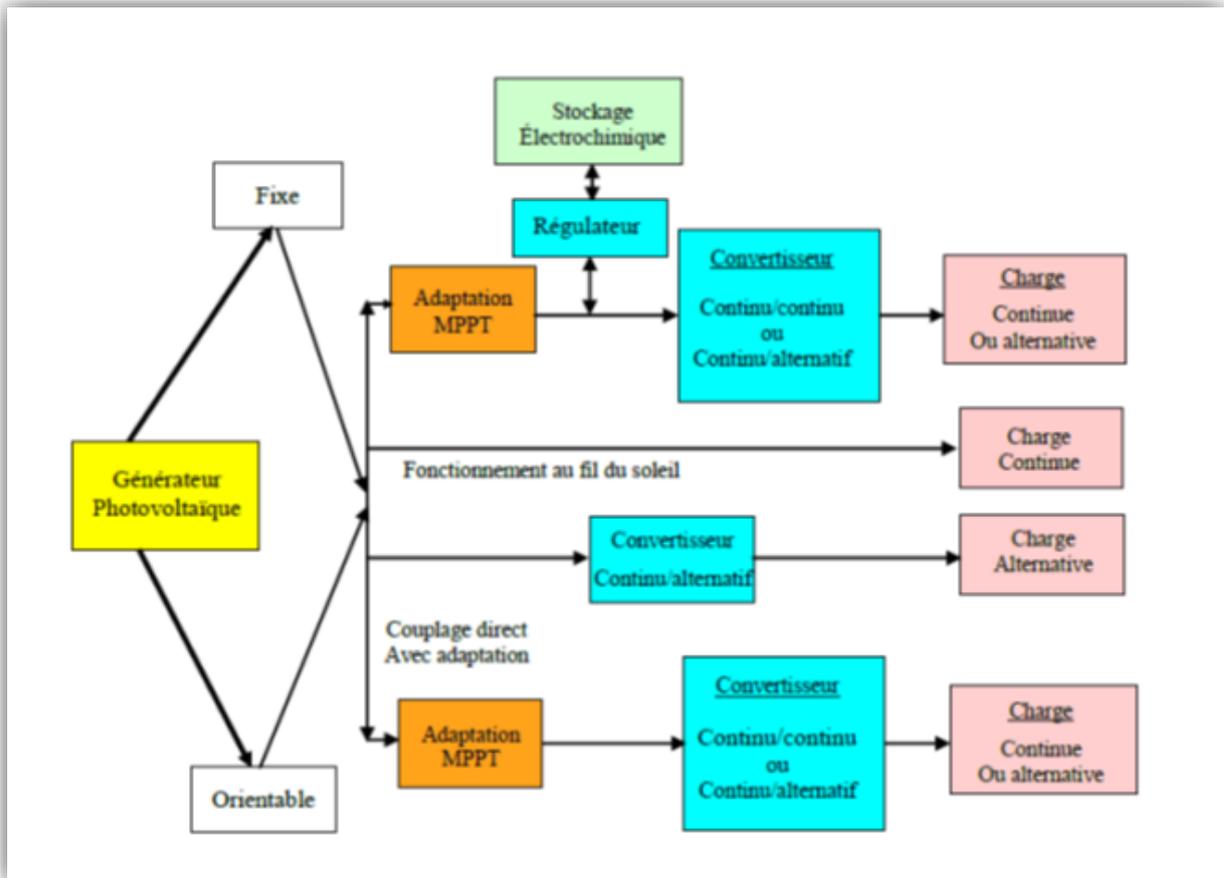


Figure II.17 Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes

Le couplage direct implique un fonctionnement au fil du soleil, donc à puissance essentiellement variable au cours de la journée. Les charges typiques à courant continu qui peuvent satisfaire le critère (tension constante à puissance variable) sont les accumulateurs électrochimiques. Les charges alternatives sont les pompes à eau, c'est le pompage au fil du soleil, le stockage est néanmoins présent sous la forme d'eau emmagasinée (dans un réservoir) Dans la plupart des cas une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre le générateur et sa charge électrique un dispositif électronique qui permet de forcer le système à fonctionner à sa puissance maximale.

Le pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple comme nous montre la figure ci-dessous. Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle est ensuite distribuée par gravité au besoin.

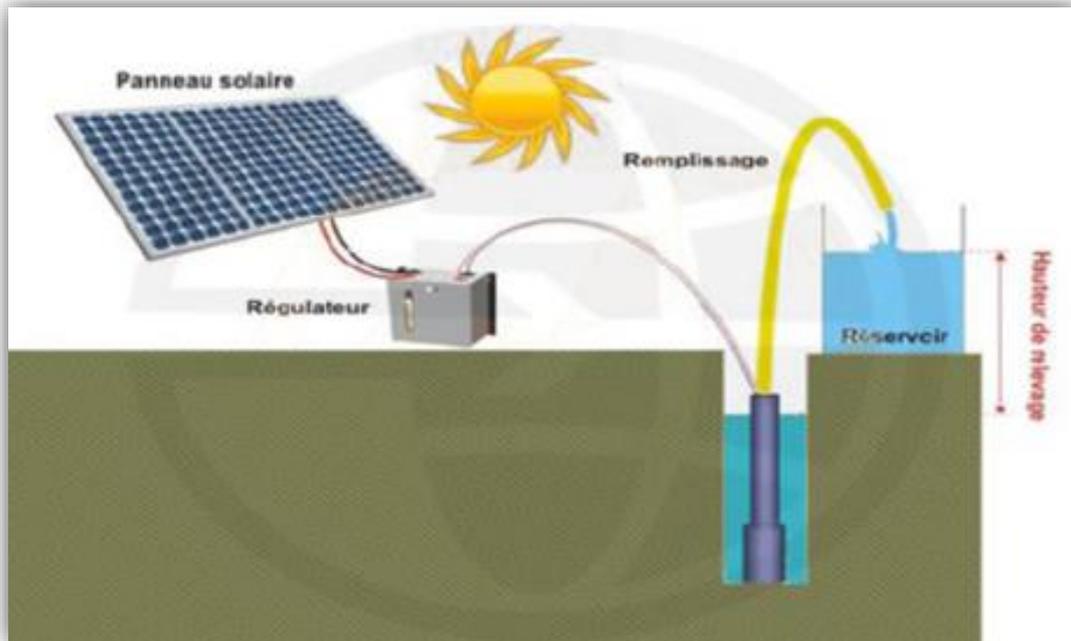


Figure II.18 Schéma d'un système de pompage au fil de soleil

II.6.2 Les systèmes hybrides :

Les systèmes d'énergie hybride associent au moins deux sources d'énergie renouvelable aussi une ou plusieurs sources d'énergie classiques. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque et l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante, mais vu leurs complémentarités, leur association permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées. Les différentes sources dans un système hybride peuvent être connectées en deux configurations, architecture à bus continu et architecture à bus alternatif.

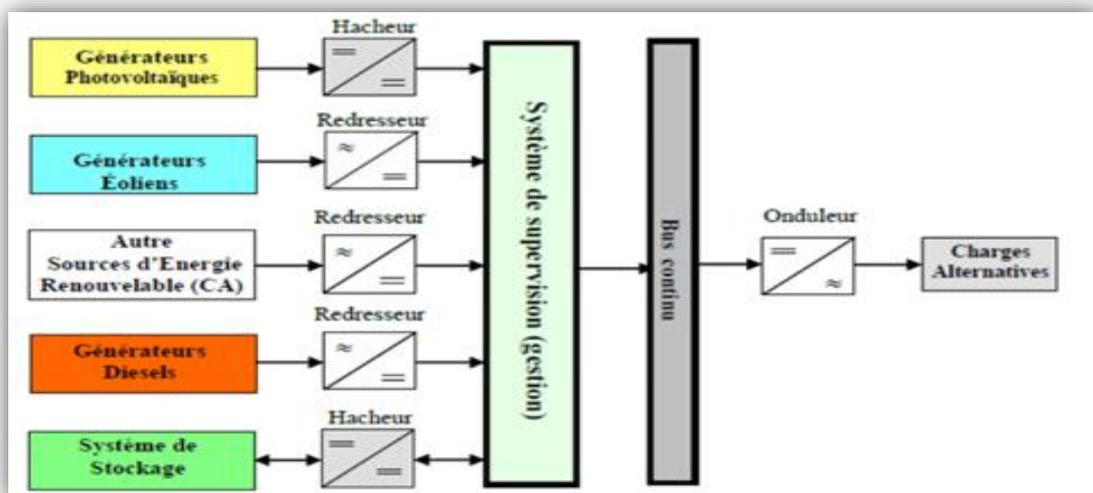


Figure II.19 Configuration du système hybride à bus continu

Dans la première configuration, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus continu (voir figure 16). Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à courant alternatif (CA) fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie ensuite en courant continu (CC). Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alimenter les charges alternatives à partir du bus continu et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence. La fonction spécifique du système de supervision est la commande de mise en marche et arrêt des générateurs et du système de stockage. L'avantage de cette topologie est la simplicité de commande. Dans la seconde configuration tous les composants du système hybride sont reliés à la charge alternative.

II.6.3 Les systèmes connectés au réseau :

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectés à un réseau (figure 17) sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation. Les systèmes connectés à un réseau réduisent la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Il produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie. Il est toujours possible d'utiliser ceux systèmes pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau.

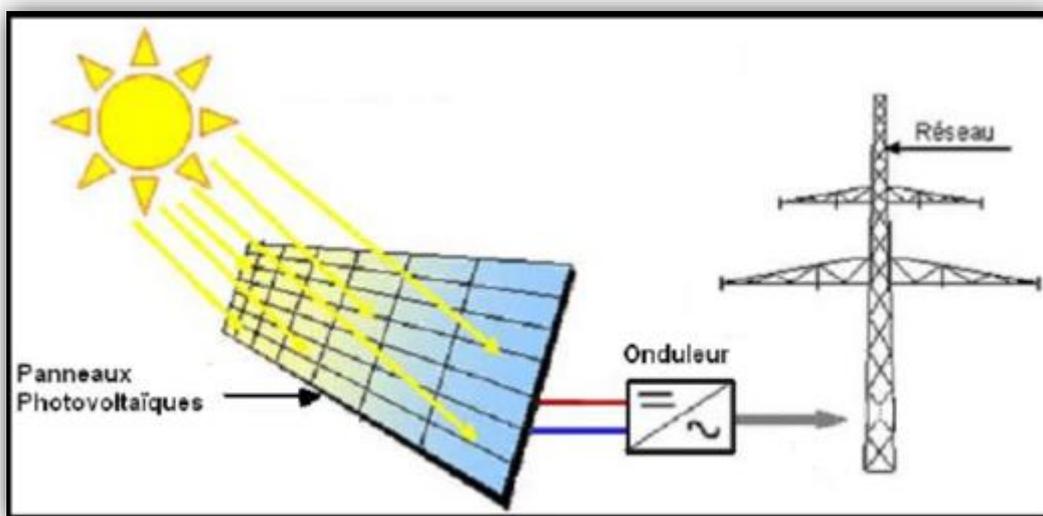


Figure II.20 Systèmes photovoltaïque connectés au réseau

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des notions importantes sur l'énergie solaire, le rayonnement solaire, ensuite nous avons présentés le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques. Nous avons conclu que l'étape d'injection du courant électrique issu de l'énergie solaire dans le réseau public étatique est importante et qui peut être l'étape clé pour équilibrer, d'une part la demande énorme de consommation en énergie électrique conventionnelle, et d'une autre part la production de l'électricité d'origine fossile.

**Chapitre III : Modélisation et
Simulation d'un système
photovoltaïque pour alimenter
une mini-station de calculs**

Chapitre III : Modélisation et Simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire FCER/FTEER/UCES

III.1 Introduction :

Ce chapitre est le foyer d'un travail d'étude analytique et simulation numérique d'une installation photovoltaïque pour estimation des besoins en énergie électrique d'origine solaire (photovoltaïque) nécessaire pour alimenter partiellement le laboratoire de Froid et Climatisation par Energie Electrique d'Origine Renouvelable, FCEEOR. Parmi les équipements que dispose le laboratoire, nous avons choisi à alimenter en PV : une mini-station de calcul, dix lampes LED et un réfrigérateur de 120 litres de capacité, ces derniers sont destinés pour l'expérimentale.

Cette installation est composée des panneaux photovoltaïques, des batteries, des régulateurs, des onduleurs, des câbles et charge installée. Pratiquement nous commençons le travail de dimensionnement par la méthode de calcul analytique de l'installation et des différentes étapes afin de déterminer les composants de cette installation, ensuite nous avons passé à la méthode numérique, les deux modèles de calcul sont comparés. Cette phase est suivie par la présentation de différentes fonctionnalités du logiciel PVsyst. La modélisation par PVsyst est désormais considérée comme une étape fondamentale qui permet d'introduire certain nombre de modèles puis évalué la caractéristique de chaque élément de l'installation, ainsi que les paramètres constitutants. Cette étape permet aussi de valider les résultats obtenus par la méthode de calcul analytique, c'est-à-dire comparer les équipements – nombre de PV et nombre de batteries – avec ceux obtenues par la méthode de simulation.

Dans un système énergétique photovoltaïque, on espère toujours travailler au voisinage du point de puissance maximale MPP. Cette simulation digitale sert à comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation de la performance d'un système, on peut tracer toutes les étapes de la conversion d'énergie et identifier en détail les pertes à travers le système. Ce chapitre, a pour but l'étude modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque autonome pour alimenter une mini-station de calculs [9].

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel PVsyst 7.0.11



Figure III.1 L'interface du logiciel PVsyst

III.2 Logiciel PVsyst :

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

Dans ce chapitre, On va expliquer comment utiliser le logiciel PVsyst pour un système photovoltaïque autonome [10].

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 des composants (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) [11].

III.3 Les Options de logiciel PVsyst :

Deux options caractérisent le logiciel PVsyst :

III.3.1 pré-dimensionnement :

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

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

III.3.2 Conception du projet :

Conception et dimensionnement final du projet dans cette option le PVsyst va :

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

Conception et dimensionnement final du projet concerne quatre systèmes :

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

III.4 Méthodes de dimensionnement d'une station photovoltaïque autonome :

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

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre

nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments sont considérés à ce jour les éléments les plus importants en raison de leur coût élevé qui totalisent à eux deux à peu près plus de 50% de pris de l'installation. Donc c'est à savoir la taille du générateur, la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, voire l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation.

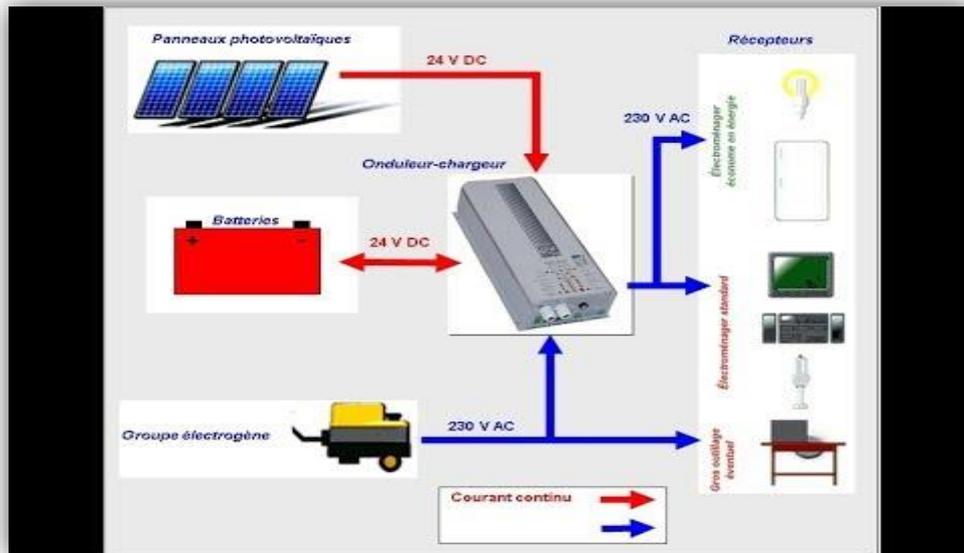


Figure III.2 Schéma général d'une installation photovoltaïque autonome

III.4.1 Présentation des paramètres d'entrée intervenant dans le dimensionnement :

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent :

- Le lieu où sera placé le générateur PV.
- Le système PV (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- La charge.

a. Paramètres relatifs au site d'installation :

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants :

- Latitude
- Altitude
- Réflectivité du sol ou albédo

- Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année, soit mesurée ou calculée. Dans le cas de notre étude, nous avons considéré le site de Bou Ismail.



Figure III.3 Site étudié, UDES à Bou Ismail

b. Paramètres relatifs au système PV :

Les paramètres concernant le système donnent à titre indicatif un ordre de grandeur du rendement de l'installation, sont relatifs aux modules photovoltaïques, éléments de batterie, régulateur et convertisseur existants dans le marché. Ces paramètres basés sur un critère liant d'un côté la satisfaction des besoins et le fonctionnement optimal du système et de l'autre la disponibilité.

c. Paramètres concernant le module PV :

Les paramètres concernant le module PV sont :

- Tension maximale.
- Courant maximal.
- Puissance maximale.
- L'inclinaison des modules, est un paramètre qui est relatif à la latitude du lieu.

d. Paramètres concernant les batteries de stockage :

Les paramètres relatifs au système de stockage sont donnés selon la disponibilité des batteries à capacité normalisée :

- Profondeur de décharge selon le constructeur.
- Rendement énergétique de la batterie.

e. Paramètres concernant le convertisseur :

Pour le convertisseur continu/alternatif on précisera le rendement seulement, qui est donné par le constructeur.

f. Diagramme simplifié du dimensionnement :

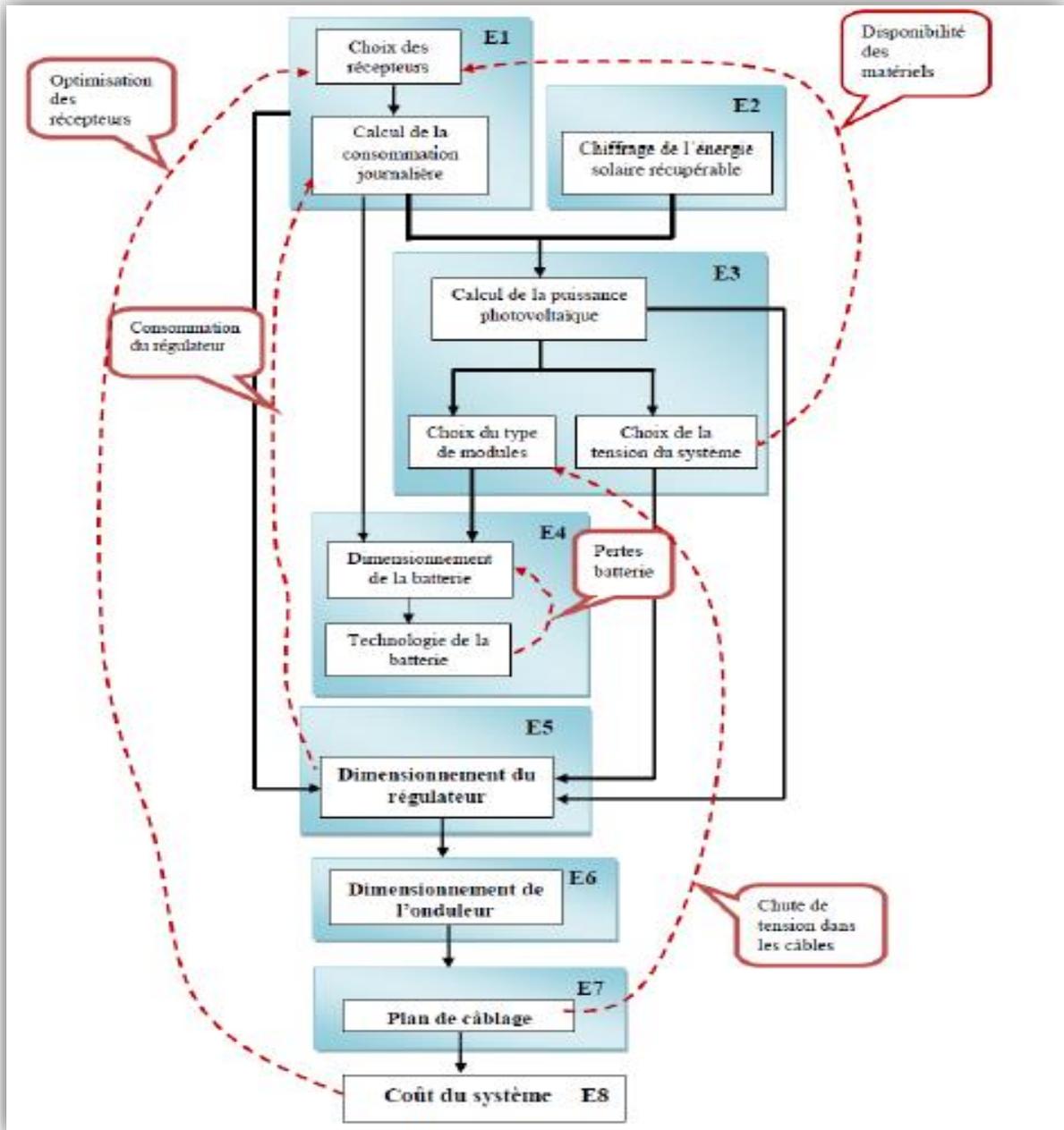


Figure III.4 Diagramme simplifié du dimensionnement d'un système photovoltaïque

III.4.2 Les étapes du dimensionnement

Les étapes ci-dessous nous présentons de façon détaillée la démarche à suivre pour concevoir un système photovoltaïque autonome.

- Etape 1 : détermination des besoins de l'utilisateur : tension, puissance des appareils et durées d'utilisation.

- Etape 2 : chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.
- Etape 3 : calcul la puissance crête du système et définition des modules photovoltaïque, tension de fonctionnement, technologie, puissance totale à installer.
- Etape 4 : dimensionnement du stockage et définition de la capacité de la batterie et choix de la technologie.
- Etape 5 : dimensionnement du régulateur.
- Etape 6 : choix de l'onduleur.
- Etape 7 : plan de câblage : détermination des accessoires de câblage et des sections de câbles électriques photovoltaïques.
- Etape 8 : coût du système [12].

III.4.3 Consommation énergétique :

D'après les études technico-économiques le kWh solaire est considéré coûteux, il faut procéder à une économie d'énergie au niveau des récepteurs par une technologie de basse consommation ou remplacer le parc existant par un autre sous tension continue. Même s'ils sont onéreux à l'achat, le coût global sera bien moindre car il faudra moins de modules photovoltaïques et de batteries pour les alimenter.

Les besoins énergétiques des applications :

Une bonne évaluation de nos besoins en énergie permet d'e réaliser une installation bien adaptée, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de batterie. La puissance "P "est une donnée instantanée par contre l'énergie "E "c'est le produit de la puissance par le temps (t) :

$$E = P. t \dots\dots\dots (III.1)$$

En effet, comme un système photovoltaïque fournit son énergie le jour, il est naturel de prendre la période de 24h comme unité de temps. On notera $E_c(t)$, l'énergie électrique consommée en 24h par l'application, en Wh/j. On l'appelle consommation journalière. Pour calculer la consommation totale de nos applications, on calcule l'énergie électrique consommée en 24h par chaque appareil ou chaque fonction électrique et on les additionne :

$$E_c(t) = P1. t1 + P2. t2 + P3. t3 + \dots + Pn.tn \dots\dots\dots (III.2)$$

III.4.4 Energie solaire récupérable :

a. Site géographique :

Le site géographique est situé à l'UDES, Bou Ismail la wilaya de Tipaza, Et les mesures des différents paramètres ont fait par la station météo de l'unité (figure III.5)



Figure III.5 Station météo de l'UDES

Les paramètres requis sont l'irradiation horizontal et l'irradiation incliné.
l'irradiation globale horizontale est expliquer dans le tableau suivant :

Tableau III.1 L'irradiation horizontale à Bou Ismail

La moyenne par jour de l'irradiation horizontale en (W/m2), ainsi que la moyenne mensuelle de l'année 2019												
Jo ur	janv- 19	févr- 19	mars- 19	avr-19	mai-19	juin-19	juil-19	août- 19	sept- 19	oct-19	nov-19	déc-19
1	328,70 1852	301,94 1023	474,20 5286	293,34 6774	805,72 4225	689,12 2297	700,45 5936	678,67 2687	561,25 9289	464,72 9006	548,60 9817	240,00 917
2	309,11 381	243,58 6068	506,54 1387	610,57 8011	883,33 4574	668,49 5374	725,47 092	651,62 1841	570,22 2724	493,73 7352	467,03 6707	307,40 0249
3	301,39 7195	395,63 7112	500,04 8344	608,55 46807	741,77 543	734,15 3379	619,31 3149	592,93 9945	468,11 8341	408,94 9176	330,46 1539	305,34 4403
4	335,81 9775	506,20 1715	495,28 4252	328,72 75516	938,42 1701	725,13 2686	626,48 8422	661,77 1122	534,08 0796	415,68 0329	408,08 7745	305,51 3811

5	331,74 0421	656,28 9072	426,48 0589	484,80 14409	826,72 0017	501,14 765	646,21 6639	595,61 3255	534,23 4336	477,72 0746	408,78 3844	307,40 3857
6	382,49 907	674,93 2446	454,52 5107	712,48 83126	965,74 4224	655,57 6915	610,87 0287	557,41 8456	534,89 743	540,85 5468	413,32 3511	157,88 1422
7	369,75 0204	684,68 996	420,36 3667	324,50 38505	495,64 1394	708,68 9336	605,85 4405	662,64 3401	143,71 7128	523,94 4183	377,03 1716	283,91 4294
8	389,12 4843	681,08 8545	120,44 8978	411,64 68868	917,72 8325	717,64 8866	356,42 2975	646,18 533	206,95 3671	177,41 5752	498,43 8415	277,50 022
9	228,45 5952	689,24 8245	284,08 3965	764,97 46949	921,46 0562	643,54 4222	665,01 0046	347,69 1619	259,72 9054	159,48 7976	116,13 5333	315,67 6532
10	22,677 3104	692,76 0322	317,56 5844	679,29 19499	920,74 2465	689,78 5434	686,66 6468	610,06 3555	484,28 6514	337,07 2197	376,46 0753	333,58 8363
11	104,67 4746	143,83 3541	400,76 9834	754,07 96318	809,34 8911	720,37 6416	697,12 1104	391,47 5208	407,41 2657	527,16 592	432,92 3671	324,52 8788
12	237,68 1852	431,05 2022	413,96 277	658,85 81784	591,49 1345	691,40 9062	670,21 241	648,67 3961	183,93 5893	498,72 5631	389,94 6416	203,62 0938
13	405,67 7351	704,70 4817	448,65 1054	718,33 185	672,10 2256	717,69 2453	449,04 7259	680,31 998	268,72 0789	527,84 569	217,44 9184	80,489 563
14	398,59 8038	685,57 1937	505,45 6882	715,25 05733	898,58 0663	704,39 6024	679,40 9397	710,65 5172	460,29 0395	511,02 2279	192,41 2685	9,8731 1564
15	388,31 3876	684,31 1944	500,28 8498	680,61 73011	904,32 704	716,67 5996	640,19 4824	655,68 3806	423,08 3003	493,06 4667	279,94 3229	293,01 9689
16	395,30 0653	676,75 5746	506,08 1198	681,22 41723	883,63 6526	713,01 7486	576,78 0681	679,96 1983	369,57 0427	281,60 6428	360,28 0122	329,38 8113
17	283,42 7365	535,02 7468	221,79 4287	667,26 2705	117,59 0898	705,85 0238	661,19 9337	652,50 2915	164,63 1221	112,42 4036	305,87 5696	256,35 6029
18	324,95 6988	686,61 5541	165,36 6898	362,05 73674	526,28 276	714,03 4625	669,93 3185	682,08 1219	542,62 1664	534,87 395	225,38 004	340,95 753
19	230,30	660,70	187,49	182,44	191,31	715,96	565,61	615,19	587,82	531,68	292,77	294,03

	6496	159	2589	88123	4852	1907	1889	7327	4333	6946	3331	8637
20	37,253	435,03	31,634	183,36	196,51	699,49	539,48	680,50	595,89	538,80	314,90	162,79
	4555	9624	8038	53296	2549	639	3469	1828	0884	0896	1326	9304
21	103,18	317,55	102,35	196,55	772,20	713,18	653,34	691,47	604,72	540,05	454,54	305,28
	8196	1556	3249	25103	5707	9598	9749	529	5042	0186	441	4676
22	235,94	563,22	99,308	365,74	906,64	718,22	238,69	691,33	601,29	478,35	356,81	340,41
	2825	8921	8352	55053	0785	3632	3845	0479	209	0746	1015	1193
23	56,986	677,11	249,39	592,32	902,75	709,50	689,43	696,83	596,11	577,00	363,92	336,60
	3374	2823	6782	19057	3169	4993	2042	2117	5574	0324	0154	3675
24	267,52	635,69	428,14	669,23	862,11	686,55	535,44	673,55	603,62	552,85	24,420	343,68
	0264	1168	1902	02396	696	3837	245	4982	3249	1838	2606	0001
25	395,33	657,12	473,41	690,89	798,45	712,05	478,22	671,01	586,96	548,60	431,12	278,90
	9361	9061	3799	90366	123	9279	6	8019	3221	9426	6504	4519
26	372,85	512,65	271,31	676,51	638,68	709,74	676,28	674,88	551,37	555,17	261,45	290,99
	9832	7057	7013	33259	1189	7104	2493	329	7906	2147	8601	6933
27	358,15	649,67	363,88	693,42	827,96	705,88	699,49	677,29	619,51	312,09	242,47	275,47
	4325	2647	8318	92155	9315	7626	2351	0802	1903	7059	8907	0396
28	357,50	685,35	476,09	685,15	287,92	633,55	702,26	673,63	633,28	86,675	464,86	82,035
	5501	8204	3976	83159	304	265	1687	4269	4941	8008	6637	6401
29	341,65		480,08	651,83	852,52	642,79	709,48	333,42	634,43	294,14	466,22	264,95
	1496		9869	46312	6533	2963	3944	8199	8781	366	397	7621
30	124,95		461,26	681,07	731,63	619,15	725,69	652,84	635,01	419,06	445,60	320,75
	1767		1016	33402	6094	6827	0894	3569	2539	5965	8624	9826
31	208,45		135,37		874,73		707,98	661,16		294,80		322,42
	0844		5174		0151		4106	2274		079		0833

La moyenne de l'irradiation globale horizontal et l'irradiation incliné est expliquer dans le tableau suivant :

Tableau III.1 La moyenne mensuelle de l'irradiation horizontale et inclinée

Mois	Janv-19	Févr-19	Mars-19	Avr-19	Mai-19	Juin-19	Juil-19	Août-19	Sept-19	Oct-19	Nov-19	Déc-19
Irradiation horizontale (W/m ²)	278,32 32903	566,72 8221	352,31 2457	557,50 56033	731,1 0048	689,42 9176	619,61 6205	629,00 4126	478,92 7527	426,31 0534	348,92 3805	267,44 6108
Irradiation inclinée (W/m ²)	514,12 27215	602,73 7183	507,53 3913	525,71 79375	487,4 0032	551,54 334	507,36 5134	561,03 0801	514,54 0632	539,87 7176	530,34 2142	557,77 994

Pour plus de clarté, Voilà le graphe explicatif :

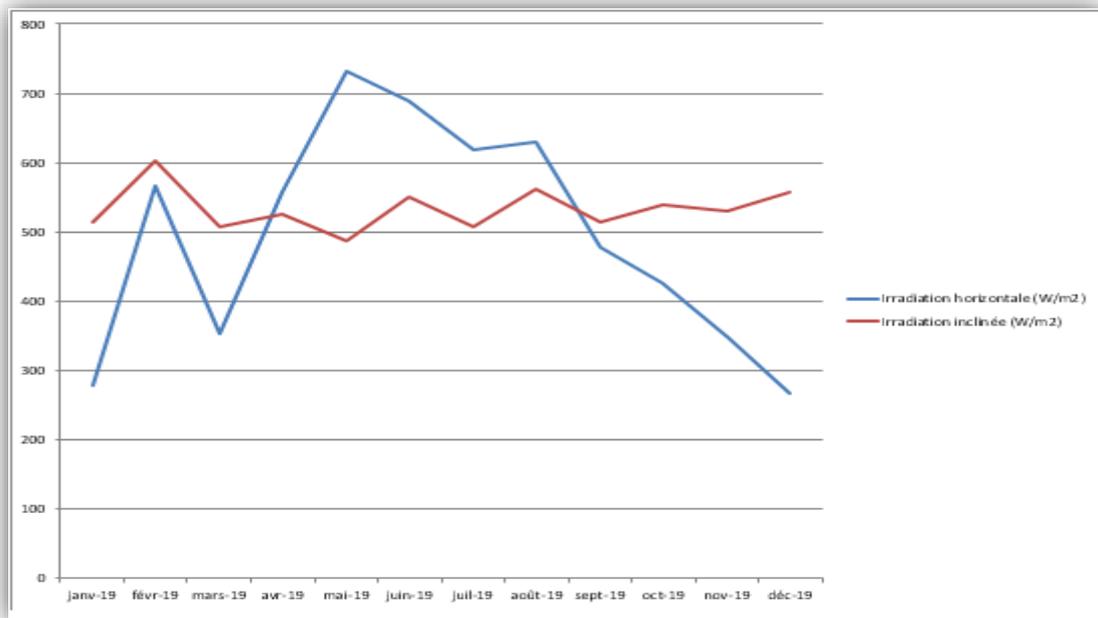


Figure III.6 La courbe de l'irradiation dans l'année

a. Orientation et inclinaison des modules :

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leur possibilité. On appelle orientation, le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (Sud, Nord, Sud-ouest...). L'inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal, elle se compte donc en degrés.

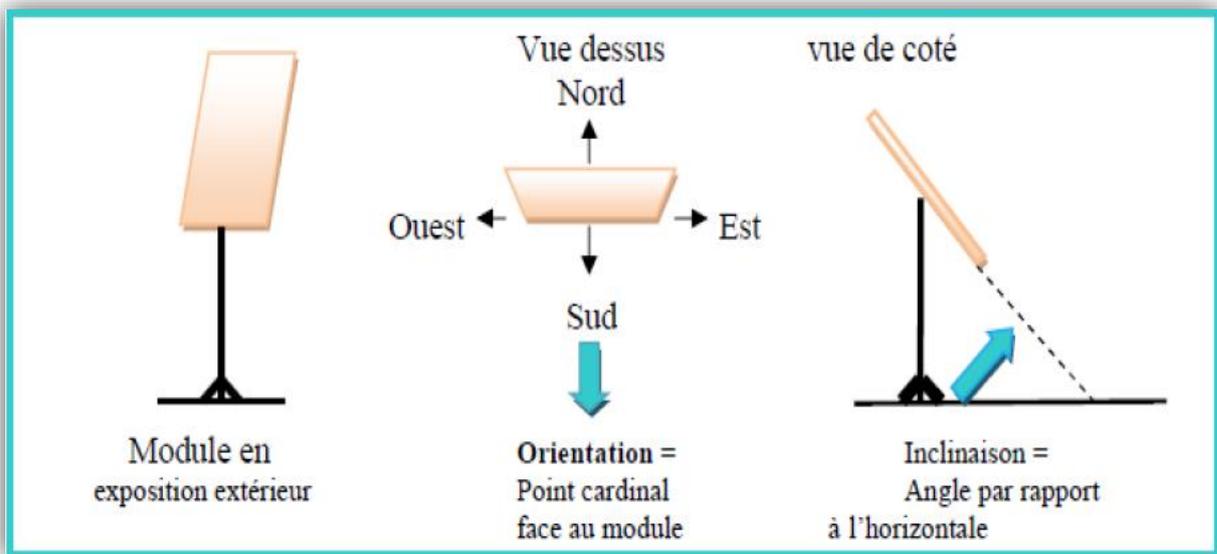


Figure III.7 Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau [12]

L'orientation idéale d'un module photovoltaïque obéit à une règle vers l'équateur :

- Orientation vers *le sud* dans l'hémisphère *Nord*.
- Orientation vers *le nord* dans l'hémisphère *Sud*.

En ce qui concerne l'inclinaison, c'est un peu plus compliqué. Si on prend le cas d'une application autonome qui consomme une énergie quasi constante tout au long de l'année. L'hiver étant la période la moins ensoleillée, c'est à cette période qu'il faut optimiser la production. Les panneaux doivent donc pouvoir récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible. Il en résulte qu'en Algérie pour une utilisation annuelle, l'inclinaison idéale est environ égale à la latitude du lieu + 10° (pour une orientation sud) [12].

III.4.5 Définition des modules photovoltaïques :

a. L'énergie à produire :

Pour que les besoins du client soient assurés il faut que l'énergie consommée (E_c) égale l'énergie produite (E_p) à un coefficient près (k)

$$E_p = \frac{E_c}{k}$$

Explication du coefficient k :

Le coefficient k tient compte des facteurs suivant :

- L'incertitude météorologique
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison

- Le point de fonctionnement des modules qui rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillesse et poussières)
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%)
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%)
- Les pertes dans les câbles et connexions

Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise pour les systèmes avec batteries sera souvent de 0,65.

b. Calcul de la puissance crête du système :

Si le soleil est la seule source d'énergie du système autonome, sans générateur d'appoint, les modules photovoltaïques doivent alors fournir toute l'énergie consommée, en incluant les pertes à tous les niveaux. La batterie est une capacité tampon qui permet de stocker cette énergie pour en disposer en dehors des périodes de production photovoltaïque, mais elle ne sera jamais une source d'énergie en tant que telle. On calcul la puissance crête par la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_p}{I_r}$$

(I_r : L'irradiation moyenne [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{jour}$])

c. Calcul le nombre de panneaux photovoltaïques :

Après le calcul de la puissance crête de la station photovoltaïque, on détermine les caractéristiques électriques des panneaux solaires utilisés, on peut calculer le nombre de panneaux solaires par la formule suivante :

$$N_{pv} = \frac{P_c}{P_u}$$

(P_u : Puissance crête unitaire d'un panneau)

III.4.6 Dimensionnement du stockage :

Cette étape est la troisième car il faut d'abord connaître sa consommation d'électricité, et avoir calculé la production des modules que l'on installera. Pour dimensionner ses batteries, il est nécessaire de savoir la quantité d'énergie que je dois stocker au minimum pour couvrir mes besoins, et la durée d'autonomie que je vais choisir en cas de problème avec mon installation, et savoir à quel point je vais solliciter les batteries (choisir la profondeur de décharge) en fonction de tous ces critères, il sera alors possible de calculer la capacité des batteries. Les batteries servent à stocker l'énergie car il est rare que l'électricité soit produite en même temps que l'on a besoin. En premier lieu on doit choisir le type de batterie qu'on veut utiliser pour déterminer les ces caractéristiques électriques de la batterie solaire : sa tension (V) et le nombre d'Ampères heures (Ah) qu'elle fournit.

Après avoir choisi le type de batterie on peut calculer la capacité totale des batteries nécessaires pour l'installation par la formule suivante :

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U}$$

C: Capacité de la batterie en ampère-heure [Ah]

E_c: Energie consommée par jour [Wh/j]

N: Nombre de jour d'autonomie

D: Décharge maximale admissible (100% pour les batteries à gel et 80% pour les batteries au plomb)

U: Tension de la batterie [V]

A certaines périodes de l'année, l'hiver en général, les modules ne peuvent pas produire autant d'énergie qu'elle en est consommée. Il faut donc stocker leur production excédentaire antérieure. Pour connaître la quantité d'énergie à stocker, il existe deux méthodes en fonction de la situation: une méthode simple et rapide lorsque les cycles de consommation sont parfaitement réguliers, et une méthode générale, plus longue à appliquer. On calcule le nombre de batterie à utiliser avec la formule suivante :

$$N_{batterie} = \frac{C}{C_u}$$

C_u : Capacité unitaire d'une batterie

III.4.7 Le dimensionnement de son régulateur :

Il existe deux types de régulateurs :

1. Les régulateurs de charge
2. Les régulateurs de charge/décharge.

Les premiers sont les plus simples et les moins chères car ils ne contrôlent que la charge de la batterie. Les surcharges sont donc évitées, mais ils n'ont pas d'autre fonction. Ils peuvent toutefois convenir à une installation pour laquelle on est sûr de ne jamais épuiser complètement les batteries. Dans le cas contraire, les régulateurs de charge/décharge sont plus adaptés car ils permettent également d'éviter les décharges profondes en coupant l'alimentation de tout ou partie des appareils électriques [12].

Une fois la technologie identifiée, le régulateur sera dimensionné d'après les paramètres suivants (indispensables) : tension, courant d'entrée et courant de sortie.

- Tension nominale (12,24 ou 48 VDC) : elle doit être celle du champ photovoltaïque.
- Courant d'entrée : c'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter à un instant donné. Il doit être supporté sans problèmes par le régulateur.

Pour choisir le régulateur abordable on doit suivre les critères suivants :

- $P_{régulateur} > P_{C_{installée}}$
- $U_{régulateur} = U_{générateur}$
- Entrée admissible $> I_{max,module}$
- $I_{sortie\ régulateur} > P_{max}/U_{générateur}$

III.4.8 Dimensionnement de l'onduleur :

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères:

1. **La tension d'entrée** : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12,24 ou 48V DC).
2. **La tension de sortie** : en Algérie nous utilisons du 220/230 V AC, 50Hz.
3. **La puissance nominale** : c'est la puissance dont les appareils qui consomment votre énergie ont besoin pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques. Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
4. **La puissance maximale** : l'onduleur est capable de fournir une grande puissance sur un court laps de temps (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, microonde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si vous avez correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est suffisante.
5. **Le rendement** : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80% et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%. De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas. Heureusement, certains sont équipés d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations photovoltaïques.

III.4.9 Le dimensionnement des câbles électriques photovoltaïques :

Une fois le système constitué, il reste à envisager son installation pratique, mais dès cette phase de définition du système, on doit se préoccuper du câblage, afin d'assurer la cohérence de l'ensemble. Les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes. Il est important également de vérifier que les diamètres de câbles choisis sont compatibles avec les borniers des composants retenus : modules et régulateur surtout. Il arrive qu'ils n'acceptent pas la section de câble que l'on souhaite y mettre, il faut alors une boîte de jonction intermédiaire ou un bornier supplémentaire pour y remédier. Avant de calculer toutes les sections des câbles, on fait un plan électrique global de l'installation. Il faut également prévoir l'emplacement des composants aussi précisément que possible pour déduire les distances modules - boîtier de raccordement, boîtier de raccordement batterie, batterie onduleur. Pour une bonne mesure de la tension batterie par le régulateur, celui-ci doit être placé le plus près possible de la batterie.

III.4.10 Choix des sections de câble :

Les pertes en puissance se produisant lors du fonctionnement dans un conducteur reliant deux composants.

$$S = \frac{(\rho \cdot L)}{R}$$

Où $R = \Delta U / I \rightarrow I = P / U$ et $\Delta U = 2\%$. Tension

III.5 Présentation globale de notre étude :

En vue d'étudier les performances de système photovoltaïque isolé avec batterie. Une simulation de système était réalisée par logiciel PVSYST développé par l'université de Genève en vue de déterminer le comportement du système suivant sa base de donnée avec le site géographique ainsi les paramètres techniques de différents composants.

Ce logiciel, étudie et dimensionne les systèmes isolés avec batteries ou couplée au réseau. De ce fait, dans le cadre de notre travail, on a proposé d'étudier un système isolé avec batteries pour alimenter notre mini-station qui se trouve à Bou Ismail. Dans cette partie, on va citer les données du site considéré et les paramètres techniques sur lesquels se base le logiciel pour dimensionner notre installation.

III.6 Équipements utilisés dans l'installation PV

a. Les appareils de consommation:

Mini-station :

Mini-station de calculs consomme 1.5KWH dans 8 heures par jour, ces calculs ont effectué par un compteur électromécanique, Pour plus d'explication ceci la photo réelle de la mini-station :



Figure III.8 Mini-station de calculs utiliser dans notre installation

Pour la protection de la mini-station, On utilise un stabilisateur :



Figure III.9 Stabilisateur APC smart-UPS

Réfrigérateur :

Le réfrigérateur de marque Condor 120 litres avec une moyenne de consommation égale 1 kilo watts par jour.



Figure III.10 Réfrigérateur Condor 120 Litres

Lampes :

Dans l'installation, Il y a quatre lampes LED de puissance égale 18 Watts.

Et le compteur utilisé :

Le prélèvement de la consommation initial affiché par le compteur avant la mise en marche de l'installation, après 24 heures de fonctionnement du calculateur en plein charge après nous avons la consommation finale d'où la différence des consommations.



Figure III.11 Compteur électromécanique

b. Générateur photovoltaïque :

Dans notre installation on va utiliser le module PV de type : FD160M-24 qu'a les conditions standard (STC) les caractéristiques suivantes :

- + Puissance maximale $P_{\max} = 160 \text{ W}$
- + Tension maximale $V_{\text{mp}} = 35 \text{ V}$
- + Courant maximal $I_{\max} = 4.57 \text{ A}$
- + Tension de circuit ouvert $V_{\text{oc}} = 42 \text{ V}$
- + Courant court-circuit $I_{\text{sc}} = 5.12 \text{ A}$

Solar Module Typical Characteristics	
Solar Module Type:FD160M-24	
Out Peak Power (Pmax)	160Wp
Max Power Voltage (Vmp)	35.0V
Max Power Current(I _{max})	4.57A
Open Circuit Voltage(V _{oc})	42.0V
Short Circuit Current(I _{sc})	5.12A
Max System Operating Voltage	1000V
Standard Test Condition: 1000W/m ² AM1.5, 25 °C	

Figure III.12 Datasheet du panneau solaire utilisé dans l'installation

c. Stockage :

La figure suivante présente les caractéristique d'une batterie solaire AGM-GEL de 12V & 150 Ah.



Figure III.13 Caractéristiques de la batterie rechargeable Condor

d. Régulateur :

Le régulateur (figure 25) utilisé est de la marque Steca solarix supporte les tensions 12 V et 24 V



Figure III.14 Régulateur Steca Solarix PRS 2020

e. L'Onduleur :

Le rôle de l'onduleur (figure 26) est pour convertir le courant continu en courant alternatif et le DDP de 24V en 220 V avec une puissance max de 750 W.



Figure III.15 Onduleur Victron energy

III.7 Dimensionnement manuel de l'installation PV étudiée :

III.7.1 Bilan des puissances :

Tableau III.3 Bilan des puissances de l'installation étudiée

Appareils	Nombre	Puissance unitaire [W]	Durée d'utilisation [h]	Puissance [W]	Energie [Wh]
Mini-station	1	188	8	188	1504
Lampes	4	18	2	72	144
Réfrigérateur	1	41,66	24	41,66	1000

Donc La puissance consommée générale est 302 W et l'énergie consommée journalière est 2648 Wh.

III.7.2 Calculs et choix des éléments du système :

a. Calcul de l'énergie à produire E_p :

$$E_p = \frac{E_c}{k}$$

$$E_p = \frac{2648}{0.65} = 4074 Wh$$

b. Calcul de la taille du GPV à installer :

- Calcul la puissance crête P_c du GPV nécessaire :

(On prendra d'après le site PVgis l'irradiation moyenne de 5 kWh/m²/jour)

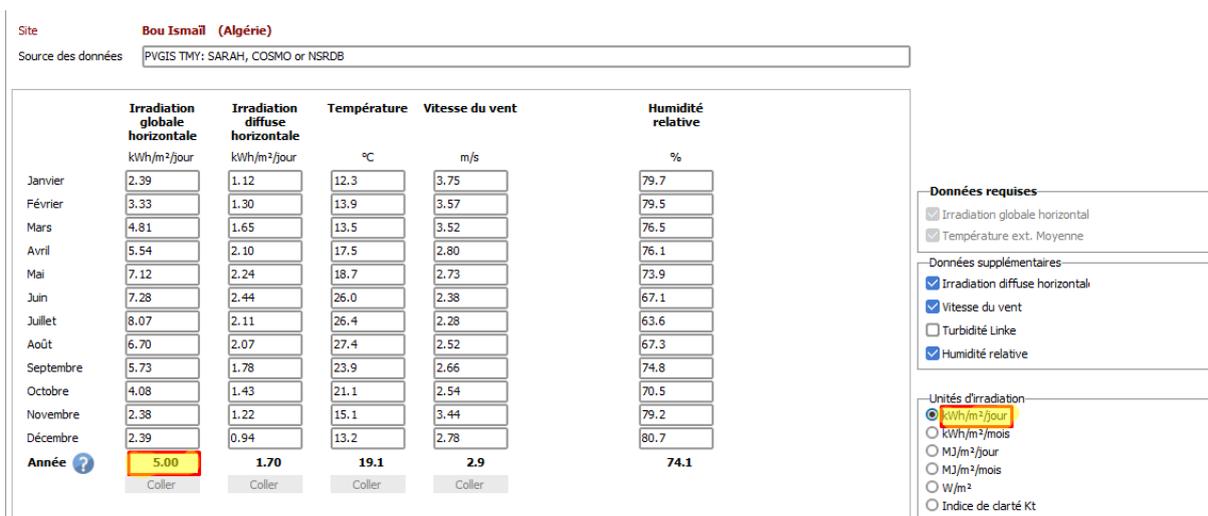


Figure III.16 L'irradiation globale horizontale

$$P_c = \frac{E_p}{I_r} = \frac{4074}{5} = 814,8 Wc$$

- Le nombre des panneaux requis :

($P_{c,unitaire}$: Puissance unitaire d'un panneau d'après le Datasheet)

$$N_{panneau} = \frac{P_c}{P_{c,unitaire}} = \frac{814,8}{160} = 5,1 \text{ panneaux}$$

Donc : le nombre des panneaux est 6 panneaux

- c. **Calcul la capacité des accumulateurs nécessaires à ce système ainsi leur nombre :**

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U} = \frac{2648 \times 2}{0,8 \times 12} = 552 \text{ Ah}$$

$$\text{Où : } N_{batterie} = \frac{C}{C_{unitaire}} = \frac{552}{150} = 3,68 \text{ batteries}$$

Donc on prend 4 batteries

C : Capacité de la batterie en ampère-heure [Ah]

$C_{unitaire}$: Capacité d'une batterie (12 V)

E_c : Energie consommée par jour [Wh/j]

N : Nombre de jour d'autonomie dans notre cas on prend 5 jours

D : Décharge maximale admissible ($D=0,8$)

U : Tension de la batterie est 12 V

III.7.3 Choix du régulateur :

Le type de régulateur utilisé est « Steca Solarix PRS 2020 » de courant d'entrée 20 A et tension acceptable '12/24V',

- $P_{régulateur} > P_{c,installée}$?

$$P_{régulateur} = 24 \times 20 = 480 \text{ W}$$

$$P_{c,installée} = 814,8 \text{ W}$$

Ce critère n'est pas vérifié donc on ajoute un deuxième régulateur identique en parallèle avec le premier :

$$P'_{régulateur} = 24 \times 20 \times 2 = 960 \text{ W}$$

Ce critère est vérifié avec 2 régulateurs

- $U_{régulateur} = U_{générateur}$?

$$U_{régulateur} = 24 \text{ V}$$

$$U_{générateur} = 24 \text{ V}$$

Ce critère est vérifié

- Entrée admissible > I_{max} du module

$$\text{Entrée admissible} = 20 \times 2 = 40 \text{ A}$$

$$I_{max} \text{ du module} = 4,57 \times 6 = 27,42 \text{ A}$$

Ce critère est vérifié

Donc On lie 2 régulateurs pour l'installation.

III.7.4 Choix de l'onduleur :

L'onduleur utilisé est « VICTRON ENERGY » : 24 V et 750 W.

La puissance crête de l'installation est 814,8 W, Elle est supérieure à la puissance de l'onduleur :

Donc on doit utiliser deux onduleurs en parallèle avec une tension de 24 V et puissance de 1500 W.

III.8 Simulation par PVsyst des besoins de l'installation en énergie électrique :

III.8.1 Données de site :

a. Situation géographique :

Nous vous proposons d'alimenter une mini-station, Notre site se situe à l'Unité de Développement des équipements solaires Route Nationale N°11, BP 386 Bou-Ismaïl, 42415 Wilaya de Tipaza.

A partir de la base des données de l'UDES, on a obtenu les coordonnées terrestres de notre site :

- Latitude : 36°64' Nord
- Longitude: 2°69' Est
- Altitude: 38 m au-dessus du niveau de la mer

The screenshot shows the PVGIS web interface with the following details:

- Coordonnées Géographiques** (Geographical Coordinates):
 - Nom du site: Bou Ismail
 - Pays: Algérie
 - Région: Afrique
 - Latitude: 36.6426 (Décimale) / 36° 38' 33" (Deg. Min. Sec.)
 - Longitude: 2.6901 (Décimale) / 2° 41' 24" (Deg. Min. Sec.)
 - Altitude: 38 M au-dessus du niv. de la mer
 - Fus. horaire: 1.0
- Importation météo** (Weather Importation):
 - Options: Meteonorm 7.3, NASA-SSE, **PVGIS TMY** (selected), NREL / NSRDB TMY
 - Button: Importer

Figure III.17 Situation géographique de Bou Ismaïl

b. Données météorologiques :

A partir de la station météo de l'UDES

D'après le tableau III.4, on peut déduire que le rayonnement solaire global annuel de Bou Ismaïl est 494,6 W/m², avec des températures ambiantes de 19.1 °C, la valeur de rayonnement diffus 70.9 W/m².

Tableau III.4 Données météorologiques de Bou Ismail

Coordonnées Géographiques Météo mensuelle Carte interactive				
Site Bou Ismail (Algérie)				
Source des données PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB				
	Irradiation globale horizontale	Irradiation diffuse horizontale	Température	Vitesse du vent
	W/m ²	W/m ²	°C	m/s
Janvier	278.3	46.6	12.3	3.75
Février	566.7	54.3	13.9	3.57
Mars	352.3	68.8	13.5	3.52
Avril	557.5	87.6	17.5	2.80
Mai	731.1	93.3	18.7	2.73
Juin	689.4	101.7	26.0	2.38
Juillet	619.6	88.0	26.4	2.28
Août	629.0	86.2	27.4	2.52
Septembre	478.9	74.2	23.9	2.66
Octobre	426.3	59.5	21.1	2.54
Novembre	348.9	50.8	15.1	3.44
Décembre	267.4	39.2	13.2	2.78
Année	494.6	70.9	19.1	2.9
	Coller	Coller	Coller	Coller

III.8.2 Orientation :

a. Orientation plan incliné fixe (33°) :

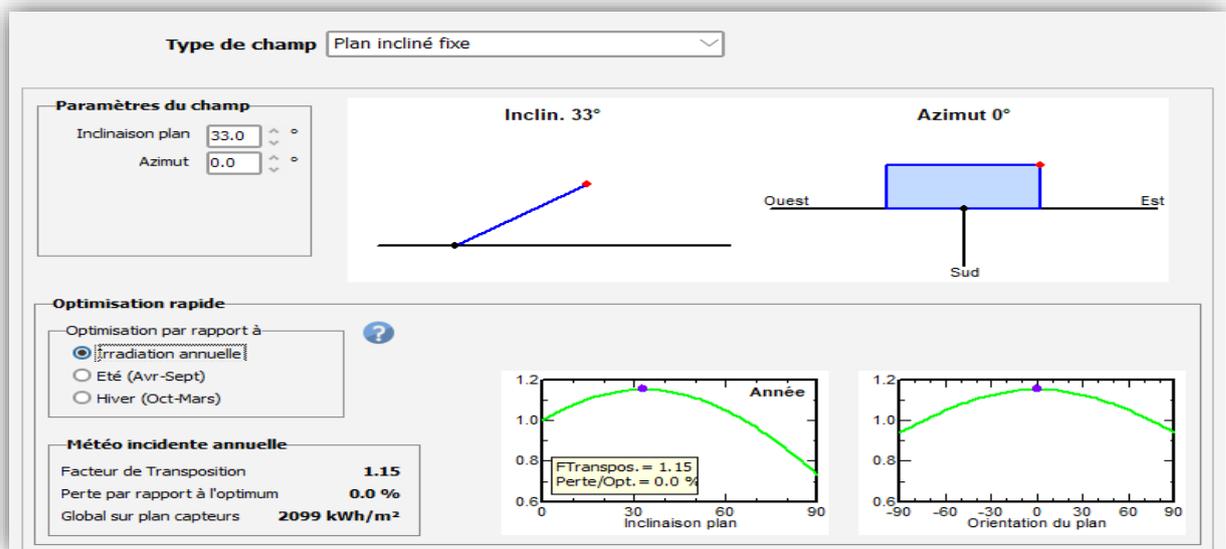


Figure III.18 Détermination d'angle d'inclinaison de plan incliné fixe

Sur la figure III.18, on observe l'angle d'inclinaison des panneaux du module à installer, nécessaires pour que le soleil tombe sur la surface réceptrice de la façon de rester en haut plus de temps et donner en conséquence une production optimale du champ, nous permettons de

tirer profit maximal de l'ensoleillement durant le jour. Ces valeurs ont été déterminé pour une optimisation annuelle et en négligeant toutes les pertes.

III.8.3 Estimation de la consommation des charges électriques pour le site :

Dans cette étude nous avons estimé le besoin en énergie électrique qu'il sera consommer. Dans l'installation il y a une mini-station de calcul qu'elle est en plein charge (usage maximale 100 % de capacité du calculateur, CPU : 12 processeurs en fonctionnement) a une énergie journalière égale 1,5 kWh avec 8 heures d'utilisation (8h jusqu'à 16h), 4 lampes spots LED de puissance égale 18 W fonctionnent 2 heures par jour toutes l'année sauf l'été et dernièrement il y a le réfrigérateur 120 litres avec moyenne de consommation de 1 kW par jour.

Nous saisissons les données dans le logiciel :

Après connaitre le taux de consommation journalière, On saisit les valeurs dans la partie consommation et on précise la distribution horaire :

- Pour l'été :

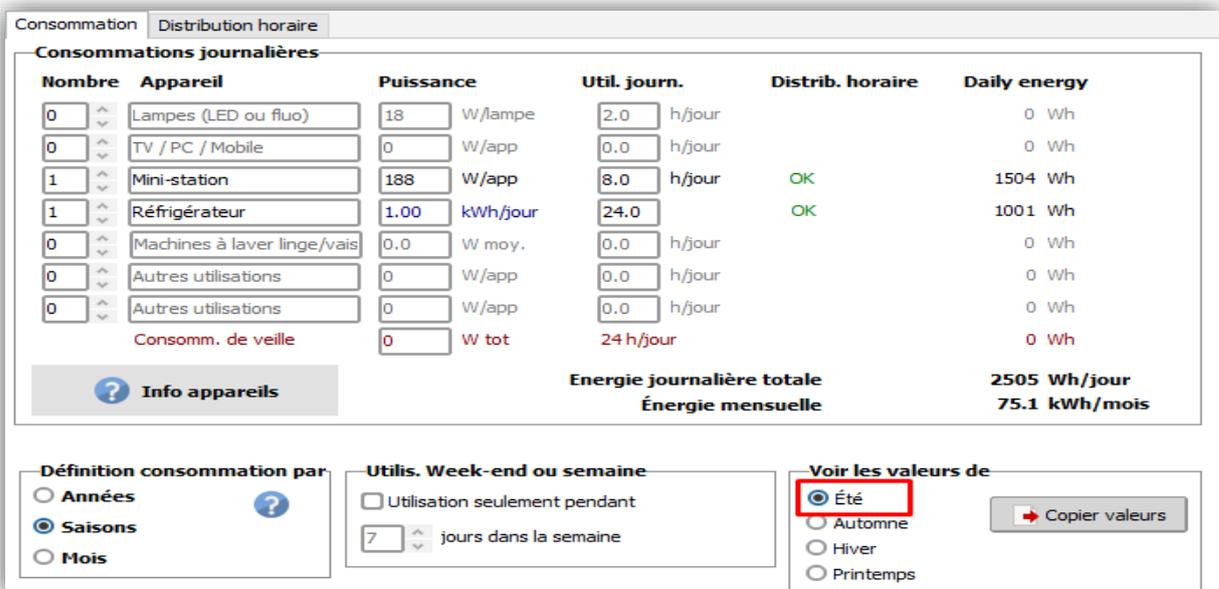


Figure III.19 Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne pour l'été



Figure III.20 La distribution horaire de l'utilisation pour l'été

Pour l'automne, l'hiver et le printemps :

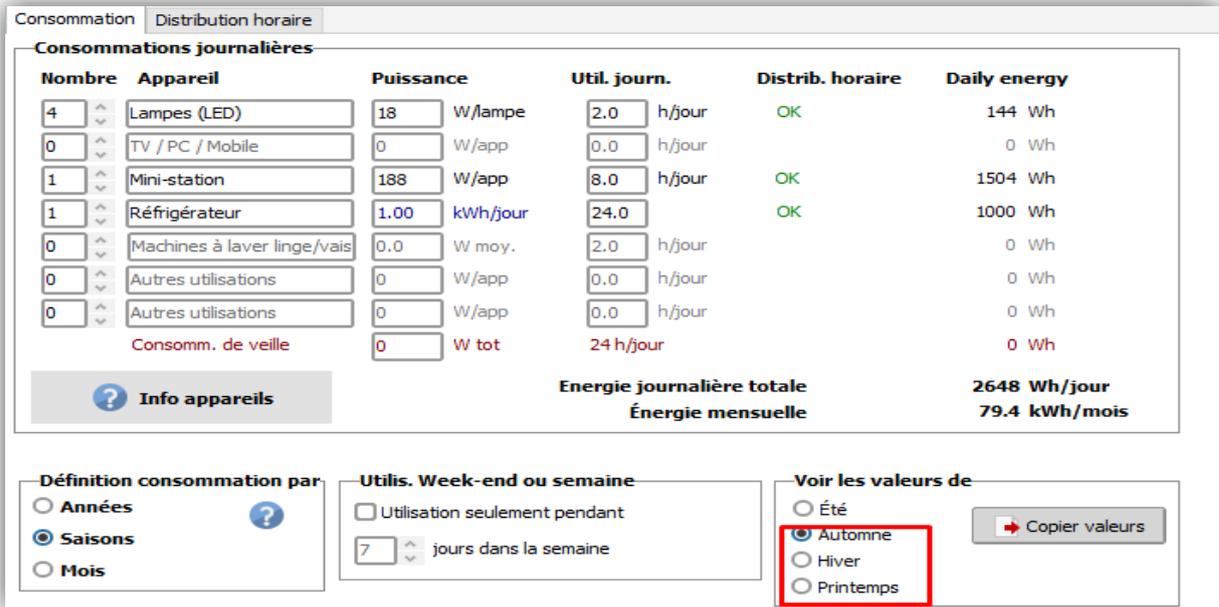


Figure III.21 Pré-dimensionnement de l'énergie de l'utilisation quotidienne pour 3 saisons

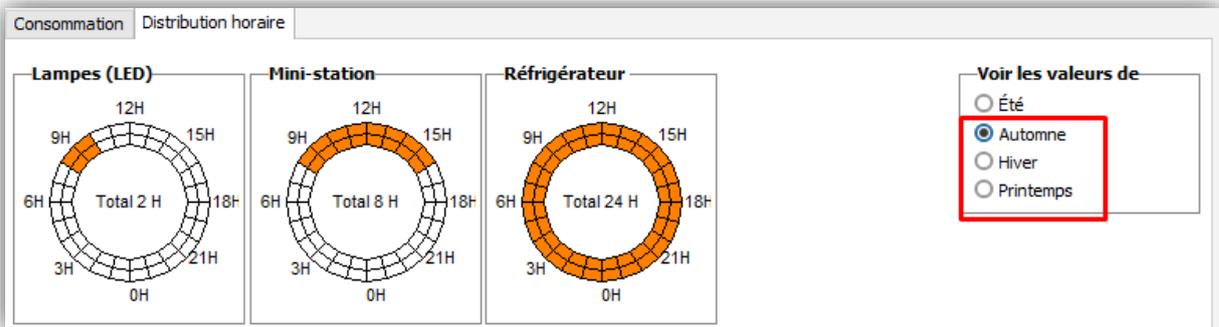


Figure III.22 La distribution horaire de l'utilisation pour 3 saisons

III.8.4 L'ensemble du système utiliser dans notre installation :

Stockage :

Logiciel PVsyst est capable d'estimer le nombre des batteries a partir des données de site géographiques, l'orientation des panneaux et la consommation nécessaire dans notre installation : l'estimation du logiciel pour le nombre de batterie est 4 batteries.

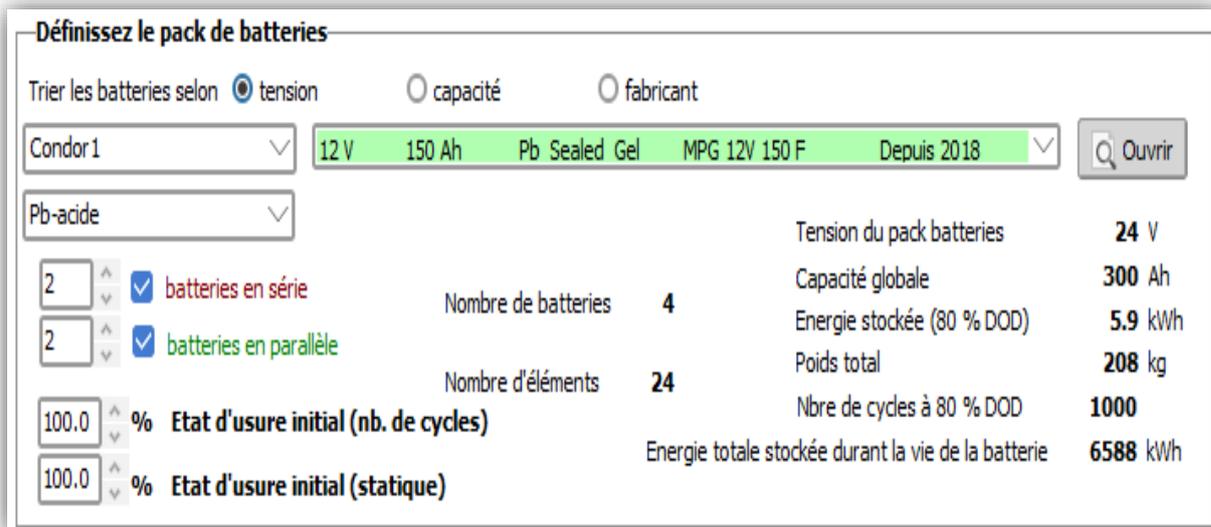


Figure III.23 Résultats obtenues pour les batteries à l'aide du logiciel PVSYSST

a. GPV et Régulateur :

L'estimation du logiciel pour le nombre de panneaux est 6 panneaux en parallèle et deux régulateurs :

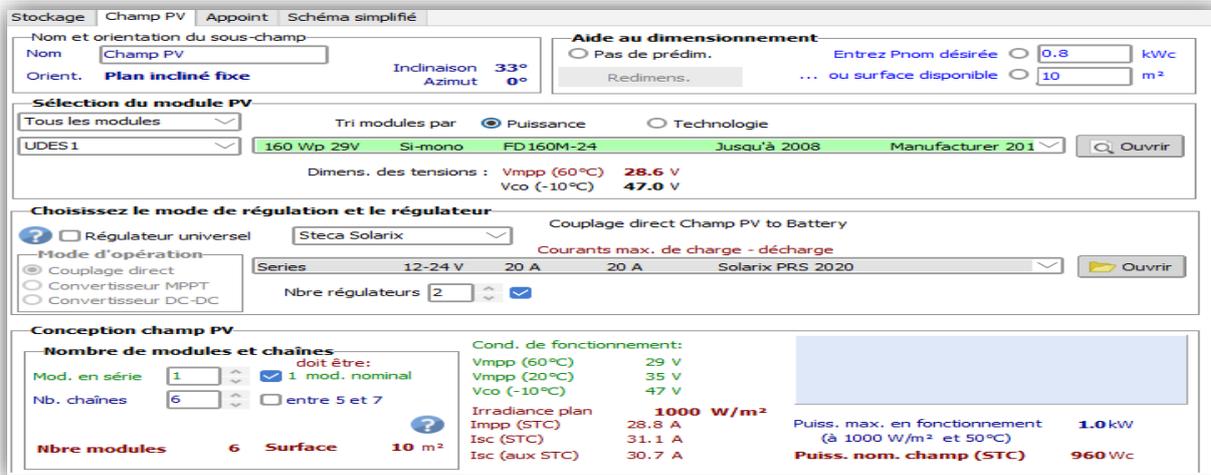


Figure III.24 Résultats obtenues pour GPV et régulateur à l'aide du logiciel PVSYSST

b. L'Onduleur :

Le convertisseur de courant (DC/AC) se dimensionne en fonction de plusieurs critères:

- **La tension d'entrée :** c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).
- **La tension de sortie :** en Algérie nous utilisons du 220/230 V_{AC}, 50Hz.

- **La puissance nominale** : c'est la puissance dont les appareils qui consomment votre énergie ont besoin pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques. Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
- **La puissance maximale** : l'onduleur est capable de fournir une grande puissance sur un court laps de temps (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, microonde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si vous avez correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est suffisante.
- **Le rendement** : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%. De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas. Heureusement, certains sont équipés d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations photovoltaïques.

Schéma simplifié de notre installation :

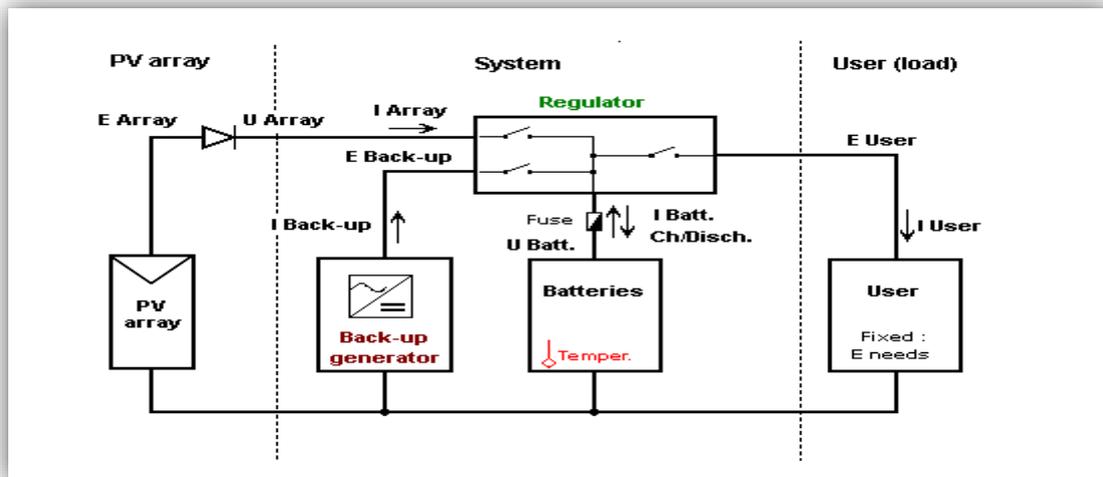


Figure III.25 Configuration typique d'une installation autonome

III.9 Résultats de la simulation et discussion :

Les principaux résultats des simulations de PVSYST seront présentés sous forme de graphiques et de tableaux, puis tous ces résultats seront discutés. La faisabilité du système en général sera également discutée.

III.9.1 Entrée / Schéma de sortie :

Des diagrammes d'entrée / sortie impliquent la production du système en fonction de l'irradiation d'entrée. D'une façon Idéale, l'absorption de la photovoltaïque devrait augmenter de façon linéaire avec l'irradiation à tout moment, pour démontrer une utilisation optimale de l'irradiation dans les tableaux. Le schéma d'entrée / sortie (figure III.26) permet d'avoir une

idée de la façon dont fonctionne le système est et lui donne immédiatement des indications sur les jours inefficaces. Le graphique d'entrée/sortie doit être aussi fort que possible sous-entendant fraction d'absorption bénéfique de l'énergie solaire, en d'autres termes une bonne efficacité de module. L'axe des abscisses représente le rayonnement global incident par m² par jour (kWh / m².day), et l'axe des ordonnées indique l'énergie injectée dans le réseau (kWh/jour). Tous les points, il existe 365 d'entre eux dans le diagramme, représente la moyenne irradiation incidente de chaque jour et l'absorption correspondante de la matrice.

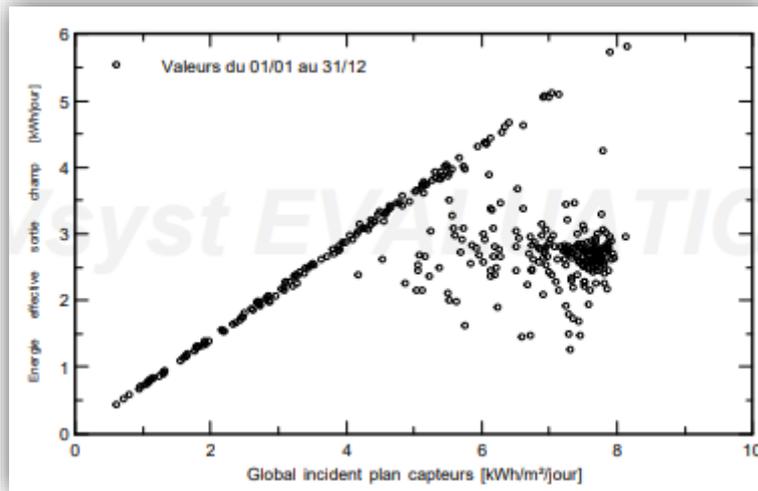


Figure III.26 Diagramme d'entrée/sortie journalier

Le schéma d'entrée / sortie pour le système, illustre un système qui fonctionne bien et efficace indiqué par la plupart des points conservés sur la ligne la plus raide. Il y a cependant quelques jours qui diffèrent de la tendance, mais la partie principale des jours gisaient sur le proche de la ligne linéaire.

III.9.2 Bilans et résultats principaux :

Tableau III.5 Bilan général obtenue par PVsyst

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
Janvier	74.2	112.5	81.6	1.49	3.448	78.64	82.09	0.958
Février	93.2	128.8	94.6	16.69	3.052	71.09	74.14	0.959
Mars	149.0	178.7	132.0	46.89	0.000	82.09	82.09	1.000
Avril	166.1	173.2	127.7	46.40	0.000	79.44	79.44	1.000
Mai	220.8	207.7	153.9	68.72	0.000	82.09	82.09	1.000
Juin	218.4	195.6	144.1	66.94	0.000	75.14	75.14	1.000
Juillet	250.3	229.6	168.6	88.49	0.000	77.65	77.65	1.000
Août	207.8	210.1	154.2	74.53	0.000	77.65	77.65	1.000
Septembre	172.0	198.2	145.9	64.11	0.000	79.44	79.44	1.000
Octobre	126.5	168.0	124.2	39.28	0.000	82.09	82.09	1.000
Novembre	71.5	102.1	74.6	6.81	7.386	72.05	79.44	0.907
Décembre	74.1	123.5	90.6	9.49	8.187	73.90	82.09	0.900
Année	1823.9	2028.0	1491.8	529.84	22.073	931.27	953.35	0.977

Légendes: GlobHor Irradiation globale horizontale E_Miss Energie manquante
 GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages E_User Energie fournie à l'utilisateur
 E_Avail Energie solaire disponible E_Load Besoin d'énergie de l'utilisateur
 EUnused Énergie inutilisée (batterie pleine) SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

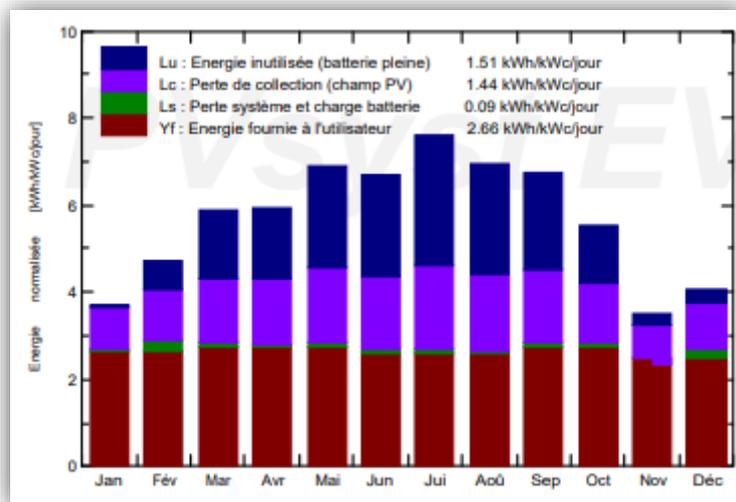


Figure III.27 le tableau et le diagramme des consommations et des erreurs en consommation annuelles.

III.9.3 Diagrammes des pertes :

Concernant les pertes d'énergies, les valeurs par défaut de pertes sont mises en œuvre dans la simulation, contenant des pertes de l'onduleur, modules photovoltaïques et d'autres composants du système.

Le tableau et le digramme, la figure III.28 des pertes d'énergies, donne aux moyennes les énergies aux différents niveaux du système. Le diagramme nous montre le détaillé de plusieurs types de pertes mais les deux types les plus importantes sont l'énergie inutilisé

quand la batterie est chargée pleine, dans notre cas donne 35,52 % et la deuxième partie du diagramme des pertes donne l'énergie manquante dans notre installation on a un chiffre réduit en pourcentage de 2,32 %.

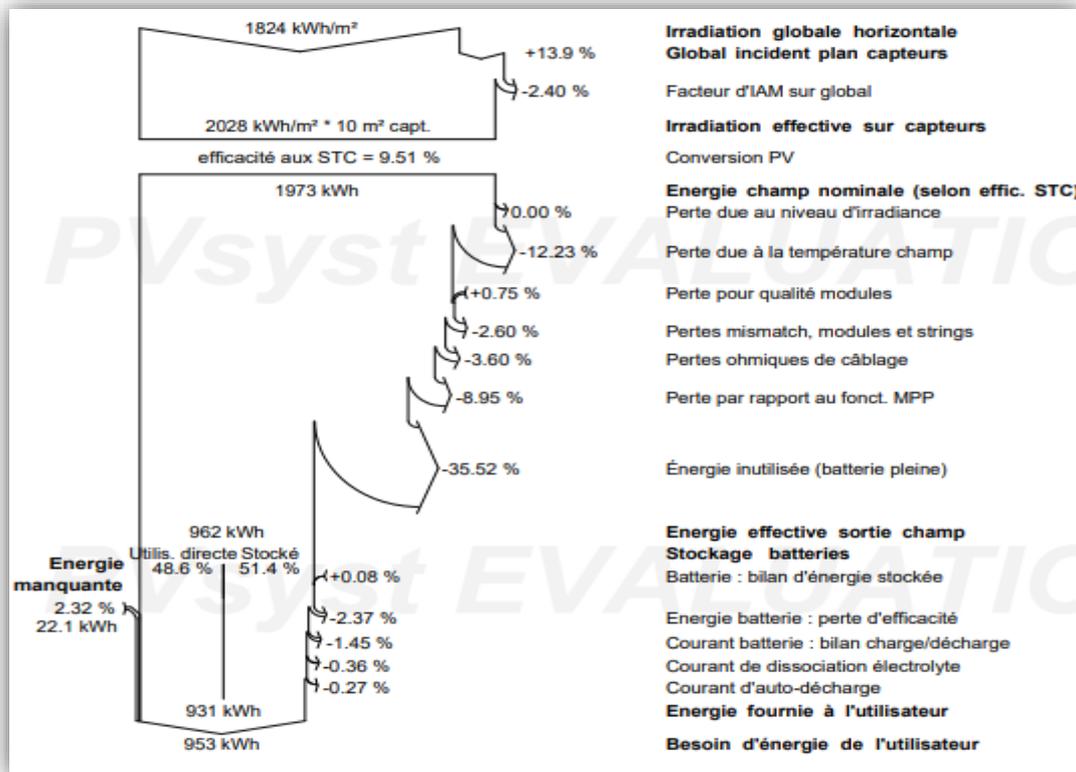


Figure III.28 Diagramme des pertes l'année entière

III.9 Tableau des résultats obtenus par les deux méthodes de calcul :

Tableau III.6 Comparaison entre calcul manuel et calcul avec logiciel

Paramètres	Calculs théorique	Calculs avec logiciel
Puissance totale [W]	301,66	302
Energie consommée [Wh]	2648	2648 en 3 saisons et 2505 en été
Nombre de panneaux	6	6
Nombre de batteries	4	4

Interprétation des résultats :

Après les calculs manuels et calculs numériques avec le logiciel PVSYST, Nous constatons que les résultats obtenus à l'aide de calcul théorique, sont très proches ou presque égale au résultat obtenues grâce au logiciel PVSYST. Cette légère différence est due à l'approximation des résultats obtenus avec le calcul théorique, la marge d'erreur exigée par le logiciel PVSYST, ainsi que les différents paramètres introduit dans ce dernier, comme les données météorologiques l'ensoleillement. Contrairement au premier calcul qui est direct, en dépit de ça les résultats sont les mêmes.

III.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé à présenter en premier lieu les différents éléments constituant une installation photovoltaïque a réalisé dans l'unité de développement des équipements solaires, UNES, cette installation a été destiner à alimenter une installation composée d'une mini-station de calculs, un réfrigérateur et 4 lampes SPOTLED. D'après cette étude, la réalisation d'un système de production de l'énergie électrique d'origine solaire doit être dimensionnée par une étude de simulation par un code de calcul destiné pour ce type d'installation. Dans notre cas, le logiciel utilisé pour le dimensionnement de l'installation été « PVSYST », ce qui nous a permet d'aboutir à des résultats optimisés et favorables une meilleure optimisation dans les conditions de la région de Bou-Ismaïl. Nous avons présenté les étapes de dimensionnement de cette installation PV avec le logiciel PVSYST, A base des résultats de simulation, nous pouvant conclure que la centrale PV permet une production maximale d'énergie. Avec les résultats de simulation du logiciel, l'installation a besoin de 6 panneaux, 4 batteries, 2 régulateurs et 2 onduleurs. Les pertes due à la qualité de l'onduleur ont une influence importante sur l'énergie produite par l'installation, d'où la nécessité d'opter pour une technologie permettant la meilleure efficacité annuelle de ce composant qui représente l'élément clé et plus délicat d'une installation PV. Le calcul à l'aide du logiciel PVSYST est plus efficace, puisqu'il nous permet d'avoir plus de détails et plus d'éléments intervenant dans le système comme par exemple le diagramme des pertes, l'inclinaison des modules. Donc le calcul du logiciel est plus complémentaire pour le dimensionnement.

Conclusion Générale

IV Conclusion générale et perspective:

Ce travail a abordé l'étude par calcul analytique et par simulation d'une installation photovoltaïque pour alimenter partiellement en énergie électrique photovoltaïque le laboratoire de Froid et Climatisation par Energie Electrique d'Origine Renouvelable, FCEEOR. Parmi les équipements que dispose le laboratoire, nous avons choisi à alimenter en PV : une mini-station de calcul, quatre lampes SPOTLED et un réfrigérateur de 120 litres de capacité, ces derniers sont destinés pour l'expérimentale.

En premier lieu, nous avons commencé le dimensionnement de cette installation par la méthode de calcul analytique, ensuite par la méthode de simulation en utilisant PVSYST un logiciel de simulation ce qui nous a permis de comparer les résultats des deux méthodes, en outre, les résultats du calcul analytique peut être validés par la simulation numérique pour le but d'optimiser le nombre des panneaux solaire PV (source de l'électricité) et le nombre des batteries (partie de stockage de l'énergie électrique) utilisés pour alimenter la partie de consommation (calculateur, réfrigérateur et l'éclairage du laboratoire), d'où la consommation doit être optimisée, ce qui permet d'atteindre l'équilibre parfait entre l'offre de la partie production et les besoins en énergie électrique.

Durant notre travail nous avons conclu que :

- Les systèmes PV autonomes s'avèrent très utiles dans les zones isolées. Dans le cas de la mise en œuvre d'un projet photovoltaïque, proprement dit la réalisation d'une centrale électro-solaire destinée principalement à l'alimentation énergétique d'un site isolé, une estimation économique succincte peut être alors menée, après avoir préalablement effectué l'étude de faisabilité et de viabilité d'un tel ensemble adapté aux zones rurales. La question du prix élevé de l'électricité photovoltaïque est souvent avancée comme un frein important au développement de cette ressource énergétique, mais elle baisse régulièrement avec les avancées technologiques diverses, l'objectif professionnel est de passer dans quelques années sous le coût actuel, Et quelle que soit la baisse des coûts atteinte, cela rend cette énergie de plus en plus intéressante pour le grand public.
- Le photovoltaïque est toutefois une solution pour diminuer et optimiser la consommation énorme de la population par l'introduction de cette source et l'utilisée par des systèmes d'appoint qui méritent d'être exploités.
- Les installations PV les plus stables en production de l'énergie électrique sont celles qui utilisent les panneaux fabriqués en technologie silicium monocristallin.
- À cause des perturbations en climat et plus précisément les mois d'été, l'installation PV nécessite un grand nombre de modules PV, pour avoir une surface plus importante afin d'atteindre une production énergétique adéquate pour satisfaire les besoins des équipements du laboratoire et cela présente un inconvénient pour l'aspect technico-économique.
- Pour l'amélioration du rendement énergétique de l'installation et la rendre plus utile, l'utilisation d'un système de poursuite solaire est nécessaire.

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE POUR ALIMENTER UNE MINI-STATION DE CALCUL

- Afin de rendre l'énergie solaire photovoltaïque utile comme source autonome, il est mieux conseiller d'utiliser un système intermédiaire pour que l'énergie électrique produite peut être injecté dans le réseau d'énergie électrique conventionnelle, en parallèle cette technique permet l'économie de l'utilisation des énergies fossiles et donc réduire les émissions des gaz à effet de serre ainsi que la réduction de la pollution de l'atmosphère.
- En perspective et pour la lutte contre la chute de tension, il serait intéressant que la réflexion soit sur des travaux et des études de dimensionnement des systèmes hybrides qu'utilisent les deux sources d'électricité, le PV et le conventionnel, en parallèle.

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UDES

Références :

- [1] Mr. Mohamed El Amine Khaled BENALOUACH " Modélisation, Simulation et Optimisation d'un Système Energétique de Production Photovoltaïque associé à un Accumulateur ", thèse de Magister en Physique université Abou-Bekr belkaïd de Tlemcen : 2013.
- [2] ARIF ALI " Amélioration des performances d'un véhicule électrique alimenté par une source photovoltaïque ", diplôme de Doctorat en sciences Université Mohamed Khider – Biskra : 2013
- [3] Y AMINA AZZOUG "commande de la charge d'une batterie dans une installation photovoltaïque ", comme exigence partielle de la maîtrise en génie électrique l'université du Québec Trois-Rivières
- [4] -file:///C:/Users/ideapad/Downloads/master/1.pdf
- [5]-https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=421
- [6]- <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/11510/1/Ms.ELN.Zerrouki%2BBereksi%20Reguig.pdf>
- [7] - Mlle ZERROUKI Zolikha & Mlle BEREKSI REGUIG Rym, « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome » Mémoire master 2 Université ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM
- [8] -http://univ.encyeducation.com/uploads/1/3/1/0/13102001/st06_lessons_ge-energie_solaire.pdf
- [9] –HANANOU FATIHA, ROUABAH AICHA Mémoire de Master « **Modélisation et simulation d'un système PV** » 09/06/2014
- [10] -Le site « pvsyst.com ».
- [11] -Dans à propos de logiciel PVsyst.
- [12] -Mr Bouzid Allal El Moubarak, Mr Azizi Mohammed « Dimensionnement d'un système PV pour alimentation d'une ferme- Etude de l'onduleur triphasé lié à cette application », Mémoire université des sciences et de la technologie d'Oran, 2008.
- [13] - BELABBAS Arezki, CHERIF Aghiles « Dimensionnement d'une Centrale Photovoltaïque Autonome de 16 kW » Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [14] - <https://www.connaissancedesenergies.org/quels-sont-les-constituants-d-une-eolienne-130125>

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
POUR ALIMENTER LE LABORATOIRE FCER/FTEER/UES

[15] - <https://www.entrepose.com>

[16] - <https://www.abcclim.net/geothermie-introduction.html>

[17] - <https://youmatter.world>

[18] - <https://www.lemoniteur.fr>