REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Energies Renouvelables En Electrotechnique

Analyse Economique Et Comparaison Des Systèmes Photovoltaïques Autonomes Et Connectés Au Réseau électrique

---

Présenté par

Mr. KHALFAOUI MOHAMED AMINE

Proposé et Dirigé par

Mr. FERRAI AHMED

Promotion 2022

الملخص

هدف من هذا العمل هو دراسة ومحاكاة نظام الطاقة الكهروضوئية لتزويد مدرسة ابتدائية تقع على مستوى المركز الحضري للمدينة.

للعثور على حجم هذا النظام ، يجب معرفة البيانات التالية: مساحة ومنطقة الدراسة الجغرافية ، الرواسب الشمسية ، النظام الكهروضوئي وحجم هذا المشروع.

لتسهيل الوصول إلى أبعاد النظام ، استخدمنا برنامج Homer ، الذي يقدم تقريرًا كاملاً عن إنتاج الكهرباء من الألواح الشمسية بواسطة النظام الكهروضوئي .الكلمات المفتاحية: المجال الطاقة الشمسية ، الكهروضوئية ، الشبكة الكهربائية ، التحجيم ، المحاكاة ، Humer.

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter une école primaire située au niveau du pôle urbain de Médéa.

Pour trouver le dimensionnement de ce système on doit connaitre les données suivantes : la zone et la région de l'étude géographique, gisement solaire, système photovoltaïque et le dimensionnement de ce projet.

Pour faciliter l'accès aux dimensions du système, nous avons utilisé le logiciel Homer, qui donne un rapport complet sur la production d'électricité des panneaux solaires par le système photovoltaïque.

Mots clés: gisement solaire, photovoltaïque, réseau électrique, dimensionnement, simulation, Humer.

Abstract

The objective of this work is the study and simulation of a photovoltaic system to supply a primary school located at the level of the urban center of Médéa.

To find the sizing of this system, the following data must be known: the area and region of the geographical study, solar deposit, photovoltaic system and the sizing of this project.

To facilitate access to the dimensions of the system, we used Homer software, which gives a complete report on the production of electricity from the solar panels by the photovoltaic system..

Key words: solar field, photovoltaic, power grid, sizing, simulation Homer

Remerciement

Je remercie, en premier lieu, notre Dieu -ALLAH- le plus Puissant qui a bien voulu me donner la force et le courage pour effectuer le présent travail.

Je tiens à remercier Mr FERRAI Ahmed pour le soutien et le suivi de ce travail

Mes sincères remerciements aux Messieurs les nombres du jury pour l'honneur qu'ils mon fait en participant au jugement de ce travail

J'exprime mes profondes gratitudes à ma petite famille ma femme et mes enfants Abdel Djallil, Anes, Allaa et tous les enseignants du département de Génie Electrique qui ont contribué à ma formation

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

- *À la mémoire de mes défunts parents et ma grand-mère*
- *À ma femme et mes enfants Abdel Djallil, Anes et Allaa*
- *À tous mes amis sans exception*
- *À tous mes collègues de la 2^{éme} années master option énergie renouvelable*

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
Q	*la chaleur (énergie) reçue par un corps*	*Joules*
m	*La masse du corps*	*kilogramme*
C	*La chaleur massique du corps pour le laiton)*	*(C= 418 $J.kg^{-1}.K^{-1}$*
P_{th}	*La puissance thermique reçue*	*W. m^{-2}*
S	*La surface exposée*	*m^2*
Δt	*La durée d'exposition*	*secondes*
$n = ns$	*Nombre de cellules*	*Chiffre*
$V = V_{sco}$	*Tension aux bornes de l'assemblage*	*Volte*
V_{co}	*Tension aux bornes de d'une cellule.*	*Volte*
$m = n_p$	*nombre de cellules*	*Chiffre*
$I = I_{pcc}$	*Courant circulant dans l'assemblage*	*Ampère*
I_{cc}	*Courant circulant dans chaque cellule*	*Ampère*
MPP	*Point de puissance maximale*	*Watt*
V_{opt}, V_{mpp}	*Tension optimale*	*Volte*
I_{opt}, I_{mpp}	*Courant optimale*	*Ampère*
$C_{ann,tot}$	*Le coût total annualisé du système*	*(DA/an),*
E_{served}	*La charge électrique totale desservie*	*(kWh/an)*
$C_{operating}$	*Le coût total annualisé du système*	*(DA/an)*
$C_{ann,cap}$	*Le coût total annualisé du capital*	*(DA/an)*

Table des matières

TABLE DES MATIERES

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 14

Chapitre I: Energie solaire Photovoltaïque

I-1- Introduction…….……...……... 16

I-2- Présentation du soleil…….……..... 17

I-2-1- Le soleil en chiffres…….……..... 17

I-2-2- Image interactive du soleil.……...…….. 17

I-3- Mouvement de terre…….……..... 18

I-4- Rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre…….…… 19

1-5- Durée d'insolation…….……..... 20

1-6- Constante solaire…….……..... 20

1-7- Rayonnement solaire…….……..... 21

1-8- Caractéristique de rayonnement solaire…….……. 21

1-8-1 L'atmosphère…….……..... 21

1-8-2- Masse d'air…….……..... 22

1-9- Différents types de rayonnement…….……... 22

1-9-1- Le rayonnement direct…….……..... 22

1-9-2- Le rayonnement diffus…….……..... 23

1-9-3- Le rayonnement réfléchi (L'albédo) …….……. 23

1-9-4- Le rayonnement global…….……..... 24

I-10 La sphère céleste…….……..... 25

I-11 Les coordonnées célestes…….……..... 26

I-12 Le gisement solaire en Algérie…… 26

Chapitre II: Généralité sur les systèmes photovoltaïques

II-1- Introduction……..…….…..…..…… 28

II-2- Principe de fonctionnement d'une installation PV…….. 28

II-2-1- Transformation du rayonnement solaire en électricité……... 29

II-2-2- Stockage de l'électricité produite…… 29

II-2-3- Transformation de l'électricité……. 30

TABLE DES MATIERES

II-2-4-	Utilisation d'un régulateur……..	30
II-3-	Définition d'un système photovoltaïque…….....	30
II-4-	Les différents types de systèmes photovoltaïques……..	31
II-4-1-	Systèmes photovoltaïques autonomes…….....	31
II-4-1-a-	Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage……..	32
II-4-1-b-	Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage……..	32
II-4-2-	Systèmes photovoltaïques hybrides…….....	33
II-4-2-a-	Systèmes photovoltaïques hybrides sans stockage……..	33
II-4-2-b-	Systèmes photovoltaïque hybrides avec stockage……..	34
II-4-3-	Système photovoltaïque connecté au réseau…….....	35
II-4-3-a-	Injection totale sans stockage……....	36
II-4-3-b-	Injection totale avec stockage……....	37
II-4-4-	Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation……	38
II-4-4-a-	Autoconsommation sans stockage…….....	38
II-4-4-b-	Autoconsommation avec stockage…….....	39
II-5-	Applications…….....	40
II-6-	Cellules photovoltaïques …….....	40
II-6-1-	Les caractéristiques de la cellule photovoltaïque……....	40
II-6-1-a-	En quoi est-elle fabriquée ? …….....	42
II-6-1-b-	Comment les cellules photovoltaïques fonctionnent-elles ? ……..	42
II-6-2-	Les différents types de cellules photovoltaïques…….....	42
II-6-2-a-	Les cellules en silicium monocristallin…….....	42
II-6-2-b-	Les cellules en silicium polycristallin……..….....	43
II-6-2-c-	Les cellules au silicium amorphe en couche mince…….	43
II-6-3-	Le rendement d'une cellule photovoltaïque…….....	44
II-6-4-	Association des cellules……...	44
II-6-4-a-	Association de cellules en série……..	44
II-6-4-b-	Association de cellules en parallèle…….	45
II-7-	Quantité d'énergie produit un panneau photovoltaïque moyen……..	46
II-7-a-	Le rendement moyen d'un panneau solaire…….	46
II-7-b-	Quantité d'énergie produit un panneau photovoltaïque moyen……..	46

TABLE DES MATIERES

II-8- Comment améliorer le rendement de son installation solaire ?..... 46
II-9- Avantages et inconvénients d'une installation PV……... 47
II-9-1- Avantages……..... 47
II-9-2- Inconvénients……... 47
II-10- Conclusion……... 48
Chapitre III: Résultats de simulation à l'aide du logiciel Homer
III-1- Introduction…… 49
III-2- Présentation de la wilaya de Médéa…… 49
III-3- Présentation de l'école primaire……..……... 49
III-4- Logiciel HOMER Pro…….. 50
III-4-1- Simulateur……... 52
III-4-2- Optimisation et analyse de sensibilité…… 53
III-4-3- Modélisation économique……... 54
III-4-4- Critères d'évaluation pour l'optimisation……. 54
III-5- Model de travail……... 55
III-5-1- Présentation et schéma de l'installation…….. 55
III-5-1-a- Détail de charge……... 56
III-5-1-b- Détail de ressource solaire……... 58
III-5-1-c- Résultats et discussions……... 60
III-5-2- Conception du système PV Autonome…… 63
III-5-2-a- Résultats et discussions……... 65
III-5-2-b- Conclusion……... 67
Conclusion générale
Bibliographie

LISTE DES FIGURES

Figure I-1-	Image interactive du Soleil…….	17
Figure I-2-	Le mouvement de la terre autour du soleil……..	19
Figure I-3-	Représentation de l'analyse spectrale des rayonnements solaires……...	19
Figure I-4-	La constante solaire…….	20
Figure I-5-	Masse d'air……..	22
Figure I-6-	Les composantes du rayonnement solaire global……	24
Figure I-7-	La sphère céleste…….	25
Figure II-1-	Système photovoltaïque……..	28
Figure II-2-	Schéma synoptique d'un système photovoltaïque……..	31
Figure II-3-	Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (Pompage au fil du soleil)……...	32
Figure II-4-	Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage…….	33
Figure II-5-	Système hybride sans stockage (couplage PV et groupe électrogènes)…..	34
Figure II-6-	Système hybride avec stockage (couplage PV et groupe électrogènes)….	35
Figure II-7-	Système photovoltaïque à injection totale sans stockage……	36
Figure II-8-	Système photovoltaïque à injection totale avec stockage……...	37
Figure II-9-	Système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage……...	38
Figure II-10-	Système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage……..	39
Figure II- 11-	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque……..	40
Figure II-12-	Courbe courant-tension (I-V) et le point MPP……	41
Figure II-13-	Les différents types de cellules photovoltaïques…….	43
Figure II-14-	Association de cellules en série……..	44
Figure II-15-	Association de cellules en parallèle……	45
Figure III-1-	Carte géographique du site…….	49
Figure III-2-	Fenêtre de HOMER Pro…….	50
Figure III-3-	Relation conceptuelle entre la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité…….	51
Figure III-4-	Le schéma du système…….	56
Figure III-5-	Les détails de charge mois de janvier…….	56
Figure III-6-	Les détails de charge durant l'année……...	58
Figure III-7-	Les températures…….	59
Figure III-8-	Les données des ressources solaires……	60

LISTE DES FIGURES

Figure III-9-	Les résultats de simulation…….	61
Figure III-10-	Les résultats de simulation…….	62
Figure III-11-	Le schéma du système……	63
Figure III-12-	Modèle de simulation de système PV autonome……	64
Figure III-13-	Les résultats de simulation……..	65
Figure III-14-	Comparaison deux systèmes; Production et consommation durant l'année…….	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1-	Quelques valeurs de l'Albédo…….	23
Tableau I-2-	Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques……	26
Tableau III-1-	Les détails de charge durant l'année……...	57
Tableau III-2-	Le retour à l'investissement……	61
Tableau III-3-	Résultats d'optimisation……..	63
Tableau III-4-	Coût global et prix de l'énergie du système connecté au réseau…….	63
Tableau III-5-	Résultats d'optimisation……..	65
Tableau III-6-	Coût global et prix de l'énergie……..	66
Tableau III-7-	Production et consommation durant l'année……...	66

Introduction générale

Le plus grand défi pour les années à venir est la production d'énergie électrique, aussi bien du point de vue écologique, qu'économique. Les besoins énergétiques ne cessent de croitre aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. On entend par énergie renouvelable, les énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée.

Aujourd'hui, l'essentiel de la production mondiale d'énergie provient de sources fossiles (non renouvelables). Ce type d'énergie donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. De plus, la consommation excessive de stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

L'épuisement des ressources fossiles, a plus ou moins long terme, la flambée du cours du pétrole et la lutte contre les émissions de gaz a effet de serre rendent urgent la maitrise des consommations et la diversification des sources d'énergie ainsi l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, et la biomasse, sont des alternatives prometteuses pour concurrencer les sources d'énergies de nature fossile et nucléaire.

Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz, elle est donc une énergie totalement propre. Par ailleurs, l'absence et le manque en mouvement des pièces mécaniques lui confèrent un niveau de fiabilité inégalable (la durée de vie d'un module photovoltaïque est estimée généralement par les experts a 30 ans).

Le rayonnement solaire est reparti sur toute la surface de la terre et ne cause aucun conflit entre les pays contrairement au pétrole. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (Technique du solaire thermique) ou de l'électricité (Technique du solaire photovoltaïque). Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Ces systèmes se composent des champs de modules et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs.

L'électricité photovoltaïque présente une option économique intéressante pour des sites non raccordés au réseau de distribution centralisée. Lorsque les besoins à couvrir sont faibles, ou l'absence d'une maintenance lourde constitue un avantage évident. Les systèmes photovoltaïques trouvent alors leur pleine justification dans les régions rurales isolées et les pays en voie de développement.

Elle permet de couvrir les besoins en électricité d'une habitation, tels que l'éclairage, le pompage de l'eau et la production du froid, ...etc.

De par sa situation géographique, l'Algérie, bénéficie de conditions favorables pour la production et l'utilisation de l'énergie solaire d'origine photovoltaïque. En effet, l'introduction de ce type énergies peut être aisément envisagée sur de nombreux sites, vu son important potentiel solaire, notamment dans le grand sud, qui est caractérise par de très fort apports solaires avec une différence de température diurne-nocturne très importante. Par conséquent, compte tenu de la baisse des revenus de la rente pétrolière et de l'importance de son gisement solaire, l'Algérie est condamnée a inscrire une nouvelle politique de reconversion énergétique comme perspective économique et géostratégiques dans les prochaines décennies. [1]

Dans ce travail, on propose l'étude du dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'un établissement public (Ecole primaire).

Le premier chapitre est une revue bibliographique sur l'énergie solaire photovoltaïque, dans le deuxième chapitre, on a rappelé quelques généralités sur les systèmes photovoltaïques et dans le dernier chapitre, on a présenté le logiciel HOMER Pro pour une éventuelle utilisation pour le dimensionnement et comparaison du système PV isolé avec batterie et raccorde au réseau.

Chapitre I

Energie solaire

I-1- Introduction

L'Algérie est en effet l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde compte tenu de l'importance du stock solaire disponible équivalent a dix fois la consommation mondiale, une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire au dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Ce chapitre est consacre à la description du soleil, des différents types de rayonnement solaire et ses caractéristiques, des définitions concernant les coordonnées célestes (géographique, horaire, horizontale). [1]

L'énergie solaire photovoltaïque (ou énergie photovoltaïque ou EPV) est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. Elle est dite renouvelable, car sa source (le Soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage.

La cellule photovoltaïque, composant électronique de base du système, utilise l'effet photoélectrique pour convertir en électricité les ondes électromagnétiques (rayonnement) émises par le Soleil. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module ou capteur solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. L'électricité est consommée ou stockée sur place, ou transportée par le réseau de distribution et de transport électrique.

L'énergie photovoltaïque est un enjeu mondial affirmé lors de la conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques (COP21) par le lancement en novembre 2015 de l'Alliance solaire internationale(ASI) ou « *International Solar Alliance* » (ISA), une coalition chargée de coordonner les politiques de développement du solaire thermique et photovoltaïque à destination des États riches en ressources solaires. Son coût a été divisé par 100 environ en 40 ans (de 1980 à 2020), permettant qu'en 2019, 2,5 % de la production mondiale d'électricité soit photovoltaïque (681 TWh), passés à 3,1 % en 2020 (842 TWh), puis 3,7 % (6 % en Europe) fin 2020, selon l'Agence internationale de l'énergie. Le térawatt devrait être dépassé en 2023 et, à ce rythme, le photovoltaïque atteindra 16 % en 2050, mais au regard des enjeux climatiques, il faudrait 30 à 100 TW avant 2050.

En 2019, sur les dix principaux fabricants de modules photovoltaïques, sept sont chinois, un sino-canadien, un coréen et un américain. En 2020, cinq pays concentrent 68,5 % de la production d'électricité photovoltaïque mondiale : la Chine (32 %), les États-Unis (13,9 %), le Japon (9,3 %), l'Inde (7,3 %) et l'Allemagne (6,0 %).

Il faudrait théoriquement l'équivalent de la production d'une surface photovoltaïque de 100 000 km^2 (soit la superficie de l'Islande) pour couvrir la totalité des besoins mondiaux en électricité. [2]

I-2- Présentation du soleil

Le Soleil est une étoile, ce qui veut dire qu'il émet sa propre lumière.

I-2-1- Le soleil en chiffres

- Masse : 2.10^{30}kg = 300 000 fois celle de la Terre.
- Diamètre : 1,4 millions de km ; environ 109 fois celui de la Terre.
- Densité moyenne : 1,4 (eau = 1)
- Age : 4,5 milliards d'années.
- Luminosité (ou puissance rayonnée) : 4. 10^{23}kW
- Température de surface : 5 800 K
- Température au centre : 14 millions K (0 K = 0 Kelvin = -273,15°C)
- Composition : hydrogène : 94%, hélium : 6% et des traces de tous les autres éléments comme, l'oxygène, le carbone, l'azote.

I-2-2- Image interactive du soleil

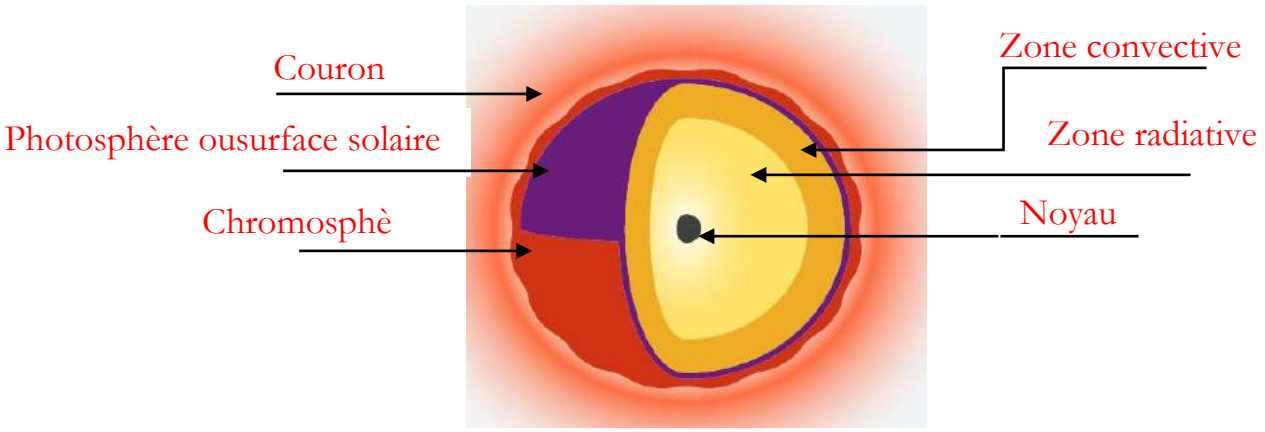


Figure I-1 Image interactive du Soleil

Couronne : La couronne est l'atmosphère externe du Soleil. Elle s'étend jusqu'à plusieurs rayons solaires. En dehors des éclipses, la couronne n'est observable en rayonnement visible qu'à l'aide de coronographes. Sa température est de 1 à 2 millions de K.

Chromosphère : La chromosphère est une couche très inhomogène dont l'épaisseur moyenne est de 2000 à 3000 km. Sa température est environ 10000 K. Elle est observable en lumière monochromatique dans la raie de l'hydrogène (H Alpha).

Photosphère ou surface solaire : Observable en lumière blanche ou dans la raie du calcium ionisé (K1V), son épaisseur moyenne est de 300 km. Son observation montre une structure de petits grains brillants d'environ 1000 km de diamètre qui évoluent constamment et se renouvellent en quelques minutes. C'est la granulation.

Zone convective : Cette zone occupe environ 30% du diamètre solaire. Elle est beaucoup moins dense que la zone radiative, ce qui fait que des mouvements locaux de la matière y sont possibles. L'énergie qui pénètre de l'intérieur ne va mettre "que" deux mois à en émerger.

Zone radiative : Elle s'étend jusqu'à environ 70% du diamètre du Soleil. Sa densité varie avec l'altitude de plus de 100 à 1 environ.

Noyau : Occupant environ 15% du diamètre solaire, se densité est de 160 et sa température de 15 millions de Kelvin. C'est là que se déroulent les réactions nucléaires de fusion de l'hydrogène en hélium qui fournissent l'énergie du Soleil. [3]

I-3- Mouvement de terre

La terre tourne, nous le savons depuis Galilée. Mais sa vitesse de rotation a varié au cours du temps. Nous avons ainsi recueilli des preuves archéologiques qui prouvent que la vitesse de rotation de la Terre décroît depuis plus de quatre mille ans, allongeant ainsi la durée du jour.

Notre planète effectue aujourd'hui une rotation complète sur elle-même en près de 86 164,1 secondes, soit 23 heures 56 minutes et 4,1 secondes environ. Cette période, appelée le jour sidéral, est directement déduite de la vitesse nominale moyenne de rotation terrestre, 7.292 115 × 10−5 rad s−1. En règle générale, la référence est davantage le jour solaire moyen, qui représente une durée de 86 400 secondes, pour exprimer les variations de la vitesse de rotation terrestre. Ces durées sont différentes, car la Terre tourne aussi autour du Soleil : si nous prenons le Soleil comme repère, lorsque la Terre a fait exactement un tour, il ne nous apparaît plus exactement à la même place dans le ciel, mais un peu décalé puisque la Terre a entre-temps avancé sur son orbite. Il ne reprendra la même place dans le ciel que quelques

instants plus tard, ce qui fait que le jour solaire dure quelques minutes de plus que le jour sidéral. [4]

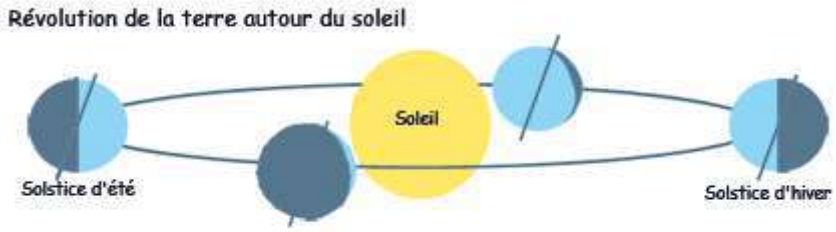


Figure I-2 Le mouvement de la terre autour du soleil

I-4- Rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre

Le rayonnement solaire reçu par les couches les plus élevées de l'atmosphère, ou constante solaire, est d'environ 340 W/m^2 en moyenne annuelle. Le Soleil étant une étoile de type G2, son spectre d'émission s'étend de 0,2 à 4 micromètres, c'est-à-dire de l'ultraviolet à l'infrarouge en passant par le visible. [5]

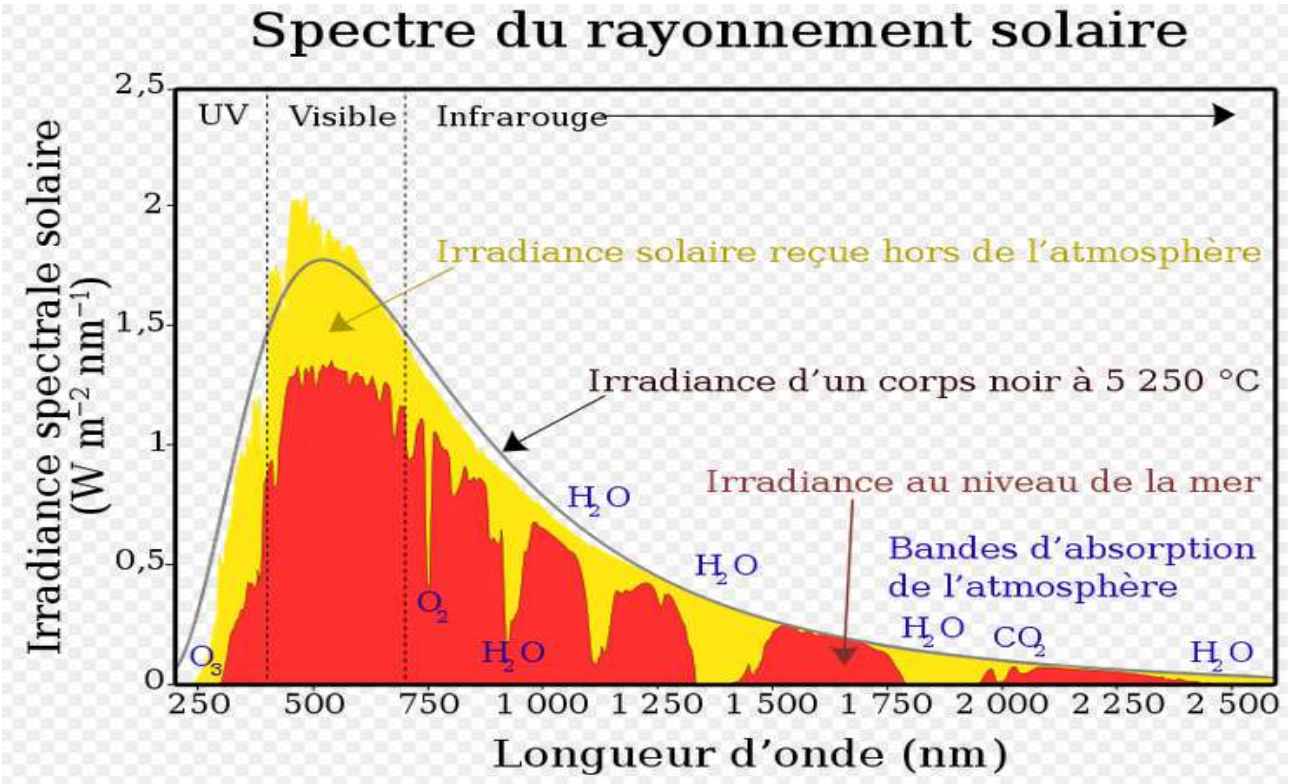


Figure I-3 Représentation de l'analyse spectrale des rayonnements solaires

I-5- Durée d'insolation

Selon l'âge et la résistance de la personne touchée, une insolation peut durer plusieurs heures, avec des pics se répétant au long de la journée voire deux ou trois jours de suite. Elle peut débuter très rapidement si le coup de chaleur est associé à activité physique.[6]

I-6- Constante solaire

On rappelle que la constante solaire (pour la Terre) est la puissance rayonnée reçue hors atmosphère par un disque de $1m^2$ placé perpendiculairement au rayonnement solaire à une distance de 1 u.a. du Soleil. Elle s'exprime en $W.m^{-2}$. [7]

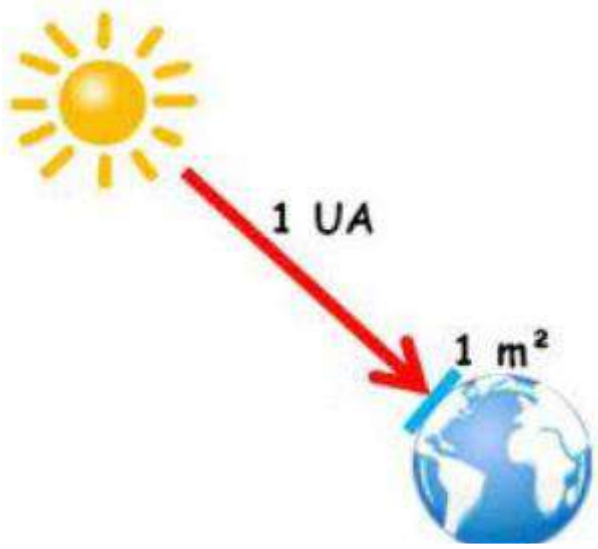


Figure I-4 La constante solaire

Objectif :

- Dans un premier temps, on cherche à déterminer la quantité d'énergie reçue au sol chaque seconde par unité de surface de la planète Terre.
- Ensuite, on détermine la constante solaire en corrigeant la mesure précédente.
- On rappelle que la constante solaire (pour la Terre) est la puissance rayonnée reçue hors atmosphère par un disque de $1m^2$ placé perpendiculairement au rayonnement solaire à une distance de 1 u.a. du Soleil. Elle s'exprime en $W.m^{-2}$.

Moyen:

On utilise une propriété du rayonnement solaire : son aptitude à chauffer un corps. On base donc le dispositif expérimental sur une méthode calorimétrique permettant de déterminer l'énergie reçue par un cylindre de laiton pour en déduire la puissance rayonnée reçue au sol par m^2.

Rappels :

- En calorimétrie, on désigne par

$Q = m \times C \times (T_f - T_i)$: la chaleur (énergie) reçue par un corps (en joules)……(I-1)

avec m : la masse du corps en kilogramme

C : la chaleur massique du corps (C= 418 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ pour le laiton)

- La puissance thermique reçue en W. m^{-2} est : $P_{th} = \frac{Q}{\Delta t \times S}$ (avec Δt : la durée d'exposition en secondes et S : la surface exposée en m^2) ……(I-2)
- La puissance thermique reçue (en W. m^{-2}) est donc : $P_{th} = \frac{m \times C \times (T_f - T_i)}{\Delta t \times S}$ …….(I-3)

I-7- Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible1. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Une partie de ce rayonnement est filtrée par la couche d'ozone avant d'atteindre la troposphère. Via la photosynthèse il est nécessaire à la plupart des espèces qui vivent sur la Terre. [8]

I-8- Caractéristique de rayonnement solaire

I-8-1- L'atmosphère

Les couches atmosphériques modifient profondément la distribution pectorale du rayonnement solaire. II subit une atténuation et une modification de son spectre, a la suite des phénomènes complexes d'absorption et de diffusion par les poussières et les aérosols (les poussières des cendres, des micros cristaux, des micros gouttelette, des fumées de pollution industrielle dont lataillevariede0.5à10µm.) ainsi la couche d'ozone absorbe la majeure partie du rayonnement ultraviolet, tan disque la vapeur d'eau absorbe le rayonnement infrarouge. [1]

I-8-2- Masse d'air

Une masse d'air correspond à une zone de l'atmosphère plus ou moins importante dans laquelle les conditions de température, de pression et d'humidité sont globalement uniformes. Une masse d'air peut être chaude ou froide, humide ou sèche. [9]

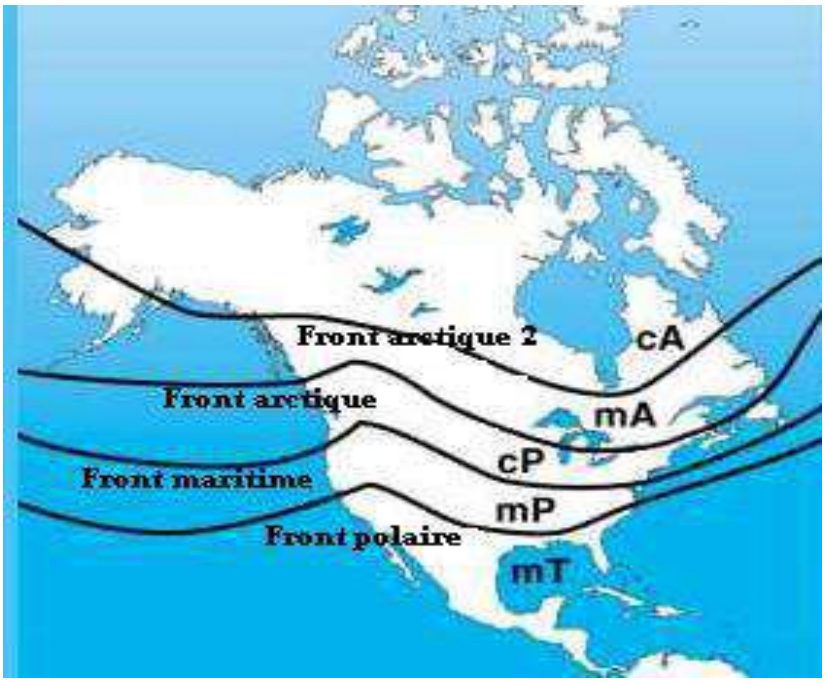


Figure I-5 Masse d'air

Masses d'air selon la théorie de l'École norvégienne de Météorologie (A= Arctique, P=Polaire, T=Tropical, m=maritime, C=Continental)

I-9- Différents types de rayonnement

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol, on distingue :

I-9-1- Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclination des rayons par rapport au sol. Le pyrhéliomètre est l'instrument qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement direct. Le pyrhéliomètre doit être muni d'un dispositif chargé de l'orienter en permanence vers le soleil. [10]

I-9-2- Le rayonnement diffus

Le rayonnement diffus se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques. Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Il s'agit donc d'un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le soleil en direction du point d'observation à la surface de la Terre.[11]

I-9-3- Le rayonnement réfléchi (L'albédo)

L'albédo est la part des rayonnements solaires qui sont renvoyés vers l'atmosphère.

L'albédo permet de calculer grâce à un facteur entre 0 et 100 le rayonnement solaire réfléchi par une surface, 0 correspondant à une surface absorbant tous les rayons, et 100 à une surface renvoyant tous les rayons. Plus le rayonnement absorbé par la surface est important et moins il est réfléchi, plus la surface chauffe. Les objets noirs ont une valeur albédo faible et absorbent donc une grosse partie des rayons du soleil et se réchauffent fortement. Les objets blancs ont un albédo élevé et réfléchissent les rayons du soleil beaucoup plus fortement, de sorte qu'ils se réchauffent moins rapidement. [12]

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant asa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige). [1]

Surface de sol	Albédo
Surface d'eau	0.01 à 0.1
Foret	0.05 à 0.2
Sol cultive	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nul	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraiche	0.8 à 0.95

Tableau I-1Quelques valeurs de l'Albédo

I-9-4- Le rayonnement global

Le rayonnement global est l'énergie rayonnante totale du soleil, qui atteint une surface horizontale à la surface de la Terre au cours d'une unité de temps précise. Il est d'environ 1.000 W/m² pour un rayonnement solaire vertical. En France, le rayonnement global correspond environ à 1.100 kWh/m2, tandis qu'à l'Équateur, il est de 2.200 kWh/m².

Comment mesurer le rayonnement global ?

Le rayonnement global s'obtient en ajoutant trois types de rayonnement : le rayonnement direct, le rayonnement diffus et le rayonnement réfléchi.

- Le rayonnement direct varie en fonction de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon.
- Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de l'ensemble de l'atmosphère et qui dépend de sa composition.
- Le rayonnement réfléchi par le sol dépend lui aussi de l'inclination du rayonnement.

Si on considère la situation géographique et l'ensemble des heures d'ensoleillement par an, on obtient le montant de l'énergie rayonnée annuellement. On emploie le plus souvent un pyranomètre, qui se présente sous la forme d'une diode de silicium pour le mesurer. La technologie photovoltaïque tire parti des trois types de rayonnement. [13]

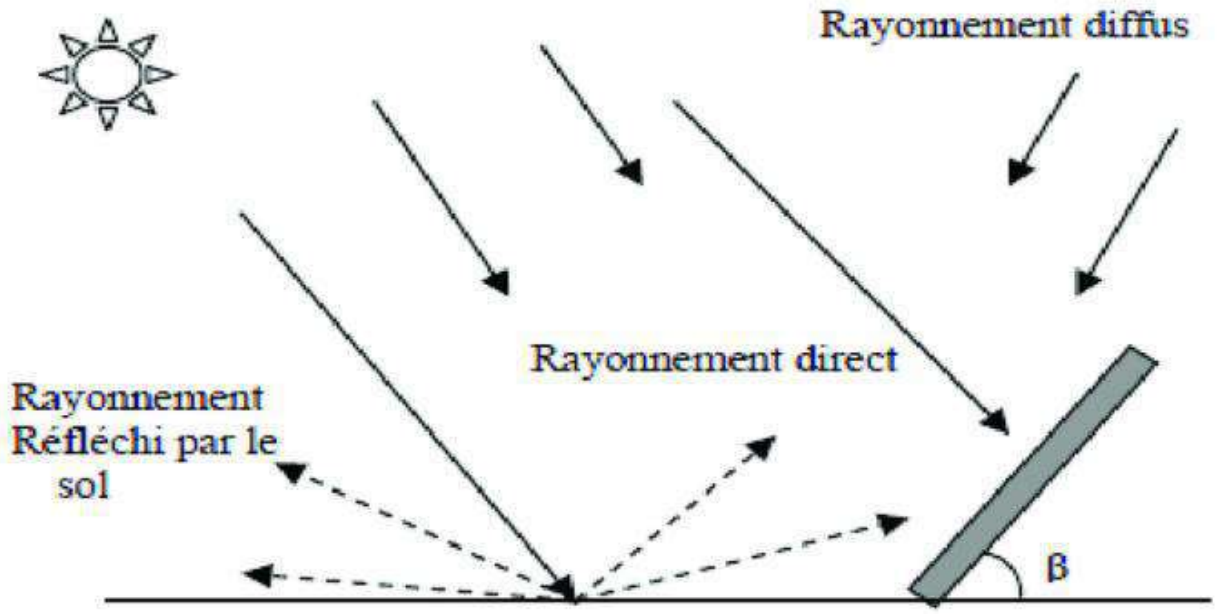


Figure I-6 Les composantes du rayonnement solaire global

I-10- La sphère céleste

La sphère céleste est la notion d'astronomie sphérique telle qu'elle se présente immédiatement aux yeux d'un observateur isolé. Incapable de déterminer les distances qui le séparent des astres, il imagine qu'ils sont situés sur la surface d'une sphère visible : le ciel nocturne.

C'est une sphère imaginaire, de rayon arbitraire et dont le centre est l'origine du système de coordonnées célestes de référence considéré. Les positions des objets célestes ainsi que, le cas échéant, leurs trajectoires apparentes dans le ciel, sont repérées par leur projection depuis le centre sur la surface interne (concave) de la sphère.

SurTerre, la partie visible de la sphère céleste, c'est-à-dire l'hémisphère surplombant l'observateur isolé, est couramment désignée par le terme voûte céleste. [14]

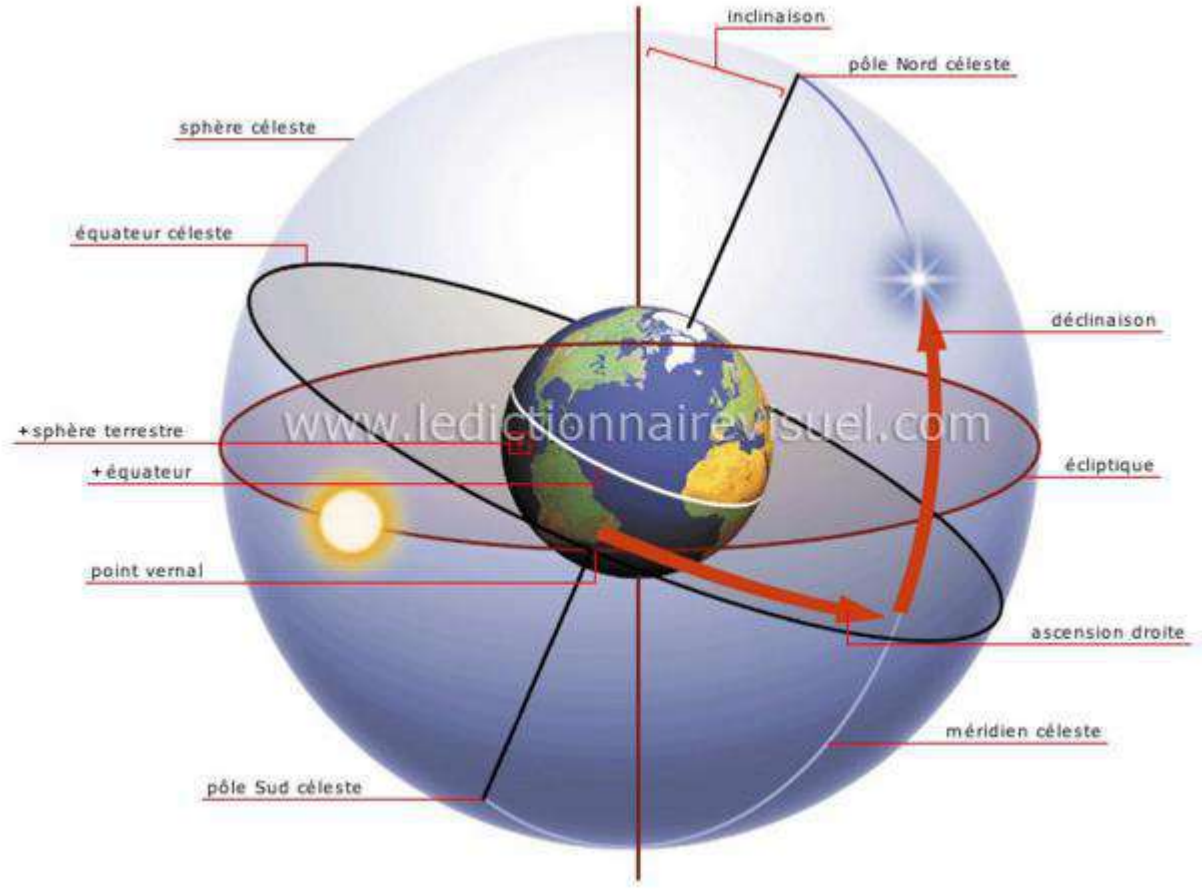


Figure I-7 La sphère céleste

I-11- Les coordonnées célestes

Lignes horizontales et verticales imaginaires utilisées pour décrire la position d'un objet sur la sphère céleste :

Pôle Nord céleste: Projection, sur la sphère céleste, du pôle Nord terrestre.

Déclinaison : L'un des deux repères pour situer un astre sur la sphère céleste, analogue à la latitude terrestre.

Ecliptique : Projection, sur la sphère céleste, de la trajectoire annuelle apparente du Soleil.

Ascension droite : L'un des deux repères pour situer un astre sur la sphère céleste, analogue à la longitude terrestre.

Méridien céleste : Projection, sur la sphère céleste, d'un méridien terrestre.

Sphère céleste : Sphère imaginaire où l'on observe et positionne les astres.

Equateur céleste : Projection, sur la sphère céleste, de l'équateur terrestre. Il sert de point d'origine aux déclinaisons.

Sphère terrestre : Forme de la Terre dont on projette les coordonnées sur la sphère céleste.

Point vernal : Point de rencontre entre l'écliptique et l'équateur céleste. Il sert de point d'origine aux ascensions droites.

Pôle Sud céleste : Projection, sur la sphère céleste, du pôle Sud terrestre.

Equateur : Cercle imaginaire entourant la Terre dans sa plus grande circonférence et la séparant en deux hémisphères : l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud.

Inclinaison : Angle formé entre une ligne imaginaire reliant les pôles terrestres et une ligne imaginaire perpendiculaire au plan de l'écliptique. [15]

I-12- Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie, compte tenu de sa position géographique, dispose de l'un des gisements solaire les plus élevés au monde", a précisé le CEREFE dans une publication diffusée sur sa page facebook, précisant que "la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut même atteindre 3900 heures notamment dans les hauts plateaux et le Sahara" comme montre le tableau.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kwh/m2/an)	1700	1900	2650

Tableau I-2 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

En se basant sur les cartes réalisées par le Centre de développement des énergies renouvelable (CDER) dans son Atlas des ressources ENR de l'Algérie, le Commissariat a ajouté que sur l'ensemble du territoire national, "l'énergie solaire globale reçue par jour sur une surface horizontale d'un mètre carré varie entre 5,1 KWh (~1860 KWh par an et par m2) au Nord et 6,6 KWh (~2410 KWh par an et par m2) dans le Grand Sud".

Il a avancé également que la radiation solaire incidente provenant du disque solaire et atteigne directement la surface terrestre, sans avoir été dispersée par l'atmosphère, qui reste une donnée de base pour le solaire thermique à concentration (CSP). Celle-ci peut atteindre, selon le Commissariat, "5.5 KWh (~2007 KWh par an et par m2) (Alger) jusqu'à 7.5 KWh (2738 KWh par an et par m2) (Illizi) par jour et par mètre carré". [16]

I.13Conclusion

Le grand potentiel encore inexploité de l'énergie solaire constitue donc pour l'Algérie une opportunité exceptionnelle. Cette énergie est abondante, gratuite et renouvelable. La croissance de son exploitation engendrerait des effets positifs sur l'environnement, l'économie et la vie sociale.

Chapitre II

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

II-1- Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque: qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon. Ce système est comprenant plusieurs cellules photovoltaïques reliées entre elles. Les impacts locaux du solaire sont très réduits : pas de bruit, pas de rejets et, sur le plan visuel, une relative discrétion voire pour certaines structures intégrées au bâtiment une réelle élégance. Une fois ces rappels sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complète est à ses trois types à savoir [1].

- Les systèmes autonomes
- Les systèmes hybrides
- Les systèmes connectés au réseau

II-2-Principe de fonctionnement d'une installation PV

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité. Cette opération repose sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

Une installation solaire photovoltaïque est composée de 4 grands éléments :

- Des modules photovoltaïques ou panneaux solaires qui sont les seuls composants présents dans toutes les installations,
- Des batteries si on veut pouvoir consommer de l'électricité la nuit ou pendant des périodes de faible ensoleillement,
- Un onduleur s'il faut convertir le courant continu produit par les modules photovoltaïques en courant alternatif,
- Un régulateur solaire pour améliorer la durée de vie et le rendement de l'installation.



Figure II-1 système photovoltaïque

II-2-1 Transformation du rayonnement solaire en électricité

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité. Cette opération repose sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Ce mécanisme a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel mais il n'a été expliqué que près d'un siècle plus tard par Albert Einstein, ce qui lui a valu le Prix Nobel de physique
En1921.

De façon très schématique, l'effet photovoltaïque permet à certains matériaux d'émettre des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Une cellule photovoltaïque est constituée d'un de ces matériaux, généralement du silicium, et conçue de telle façon que les électrons émis soient récupérés pour former un courant électrique. Les cellules sont assemblées pour créer un courant suffisamment élevé pour être exploité, cet assemblage de cellules est appelé module photovoltaïque ou, plus souvent, panneau solaire.

La puissance d'un module photovoltaïque est exprimée en Watt-crête. Le nombre de watt-crête d'un panneau solaire correspond au nombre de Watt que ce panneau fournit lorsqu'il est utilisé dans des conditions standards.

II-2-2 Stockage de l'électricité produite

Dans une installation solaire photovoltaïque, ce n'est pas l'utilisateur qui décide quand l'électricité est produite. Il faut donc souvent stocker l'énergie produite pour l'utiliser plus tard.

Pour cela on utilise des batteries qui seront chargées quand les panneaux solaires produiront de l'électricité et déchargées quand l'utilisateur la consommera.

La quantité d'énergie stockée s'exprime en Watt-heure (Wh) mais les fabricants indiquent souvent la capacité de leurs batteries en Ampère-heure (Ah). Dans ce cas, il faut multiplier ce chiffre par celui de la tension aux bornes des batteries (en général 12 Volt) pour obtenir une équivalence en Watt-heure

Exemple :

Une batterie dont la tension est 12V et la capacité 100Ah peut stocker 1200Wh (100 x 12).

II-2-3 Transformation de l'électricité

Les panneaux solaires produisent du courant continu en général avec une tension de 12 ou 24 Volt. Le courant stocké et restitué par les batteries est également du courant continu. Sauf s'ils sont conçus spécifiquement pour être alimentés par une installation solaire, les appareils électriques consomment l'électricité distribuée sur le réseau public, c'est à dire du courant alternatif dont la tension est de 110 ou 220 Volts.

Il va donc falloir convertir l'électricité produite par les panneaux solaire pour l'utiliser. Pour cela on utilise un onduleur ("inverter" en anglais).

II-2-4 Utilisation d'un régulateur

Pour faire travailler ensemble ces différents composants, il faut un cerveau à l'installation solaire. C'est le rôle du régulateur solaire. Le régulateur va notamment faire en sorte que les batteries ne soient ni complètement déchargées ni surchargées. Certains modèles peuvent aussi permettre de maximiser la puissance fournie par les panneaux solaires quelque soit l'ensoleillement.

La qualité du régulateur joue un rôle clé dans la performance de l'installation et la durée de vie des batteries. Même s'il n'est pas absolument nécessaire, il est fortement recommandé d'en utiliser un. [17]

II-3 Définition d'un système photovoltaïque

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en électricité. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Cette filière s'est ensuite développée par la nécessité d'approvisionner en électricité solaire les satellites. Les premiers générateurs ont été utilisés le 17/03/1958 pour les satellites vagues, de puis très largement par la suite pour l'espace. Les premières installations photovoltaïques utilisées au sol datent de 1973 et ont été conçues pour des applications en sites isoles et principalement dans les pays en voie de développement ou les réseaux de distribution d'énergie sont généralement restreints aux grands centres urbains. Les premiers systèmes conçus ne délivraient que de très faibles puissances, de l'ordre de quelques dizaines de watts, pour subvenir à des besoins très spécifiques, tels que balises de navigation ou émetteurs radio. Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble décomposant qui adaptent l'électricité

produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Get ensemble, appelé aussi «balance of system» ou BOS, comprend taus les équipements entre le champ de modules et la charge finale à la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser ces modules, câblage, la batterie en cas de stockage, son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonction en courant alternatif. [18]

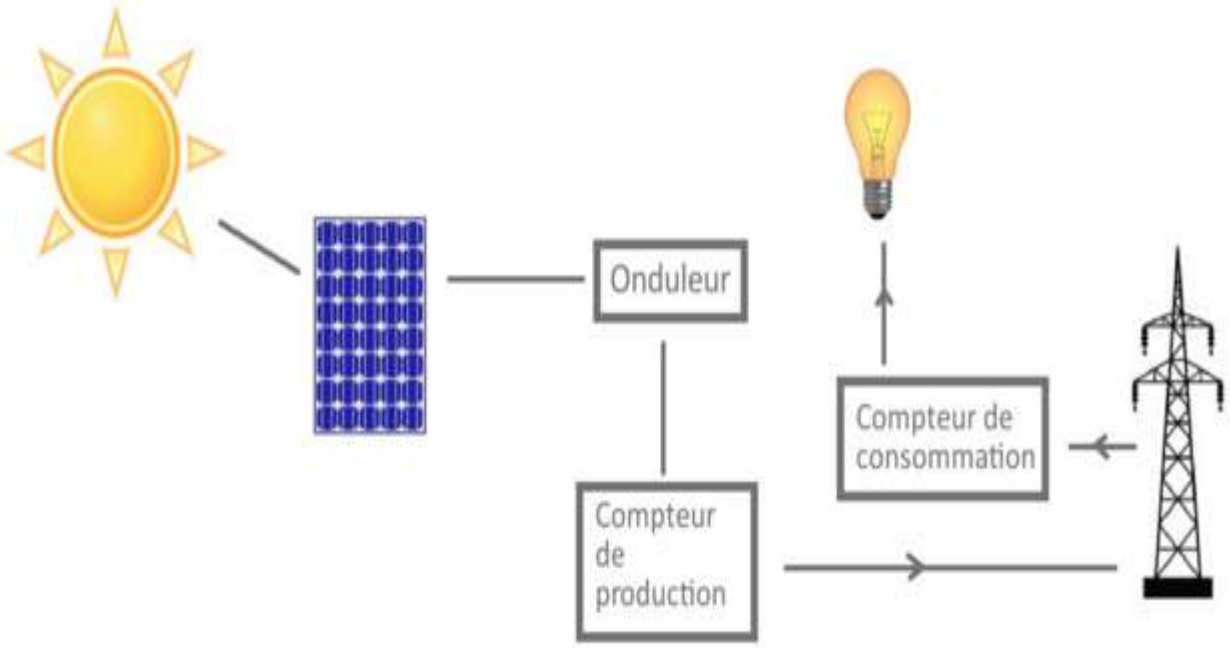


Figure II-2 Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

II-4 Les différents types de systèmes photovoltaïques

Selon la manière dont l'énergie est utilisée, [1] il existe trois différents types de Systèmes photovoltaïques :

- Systèmes autonomes.
- Systèmes hybrides.
- Systèmes raccordes au réseau

II-4-1 Systèmes photovoltaïques autonomes

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie électrique pour alimenter des charges comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloigner ainsi qu'a des applications comme la surveillance et le pompage d'eau.

II-4-1-a Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage

Ils fonctionnent de la façon suivante (voir Figure 7-Système PV autonome sans stockage – Pompage au fil du soleil). En journée, le générateur photovoltaïque alimente l'utilisation directement ou via un convertisseur Courant Continu/Courant Continu (CC/CC) ou Courant Continu/Courant Alternatif (CC/AC). La puissance délivrée à l'utilisation est fonction de l'ensoleillement. Durant la nuit, l'utilisation n'est plus alimentée et donc est à l'arrêt. Les principales applications photovoltaïques fonctionnant au fil du soleil sont les suivantes : le pompage, la ventilation, la production de froid, le dessalement d'eau de mer, entre autres.

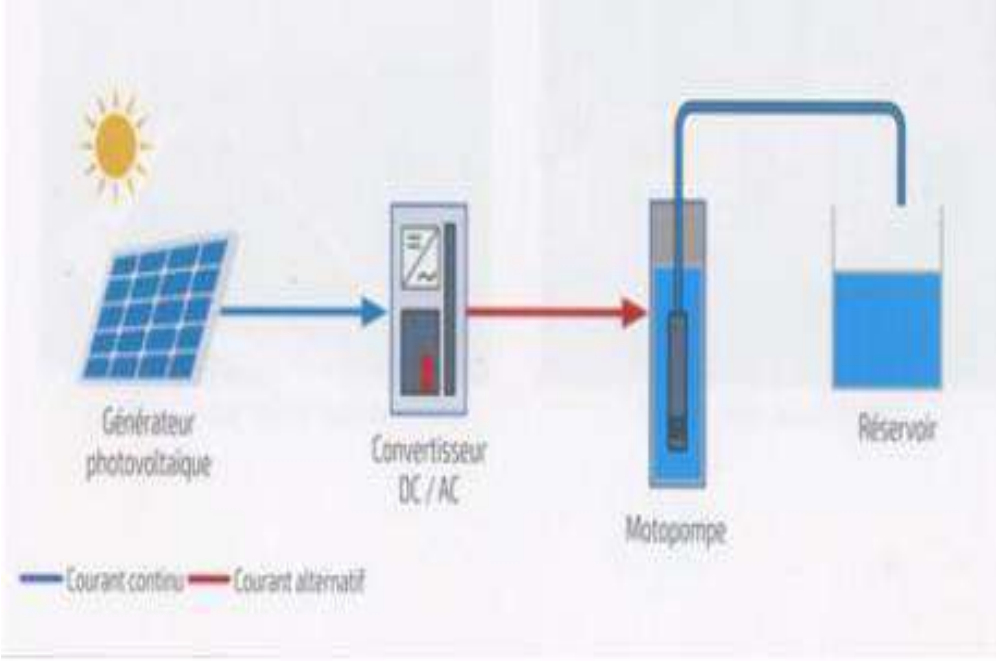


Figure II-3 Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (Pompage au fil du soleil)

II-4-1-b Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage

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

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

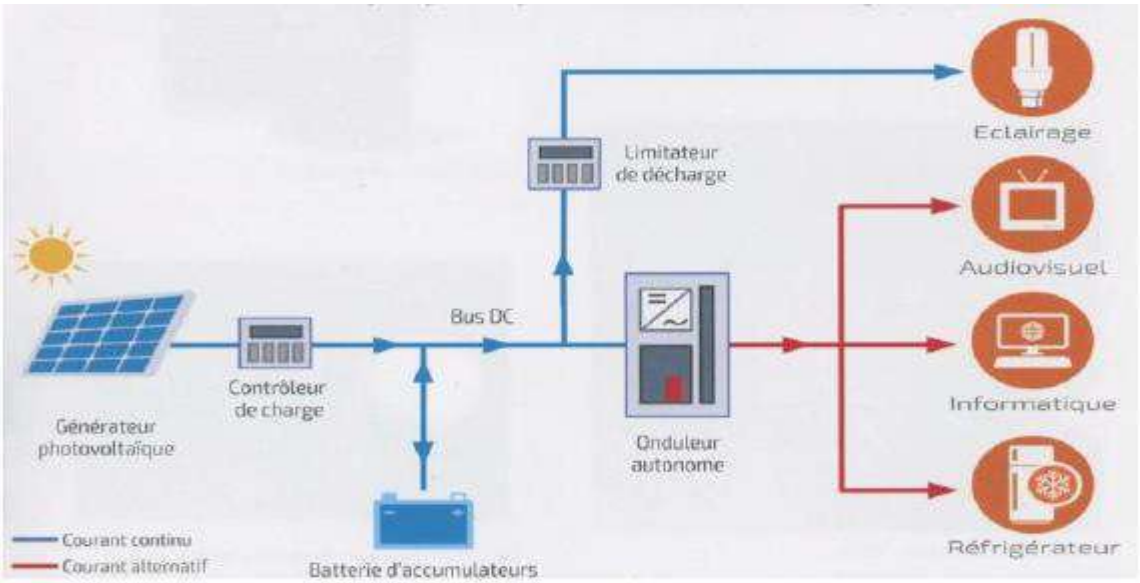


Figure II-4 Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage

II-4-2 Systèmes photovoltaïques hybrides

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

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

II-4-2-a Systèmes photovoltaïques hybrides sans stockage

Les groupes électrogènes alimentent en permanence un réseau électrique de distribution. Le générateur PV injecte sur le réseau une puissance variable en fonction de l'ensoleillement. Toute l'énergie délivrée par le générateur PV n'est pas à fournir par les groupes électrogènes et réduit de fait la consommation de carburant et les coûts d'exploitation (Figure **II-5**).

Les systèmes hybrides sans stockage (de quelques dizaines de kW à quelques MW) sont essentiellement utilisés pour l'électrification d'administration, de centres de sécurité ou d'entreprises isolées des centre villes (électrification province, rurale) et pour l'alimentation électrique de mines d'extraction de matières premières nécessitant une puissance élevée.

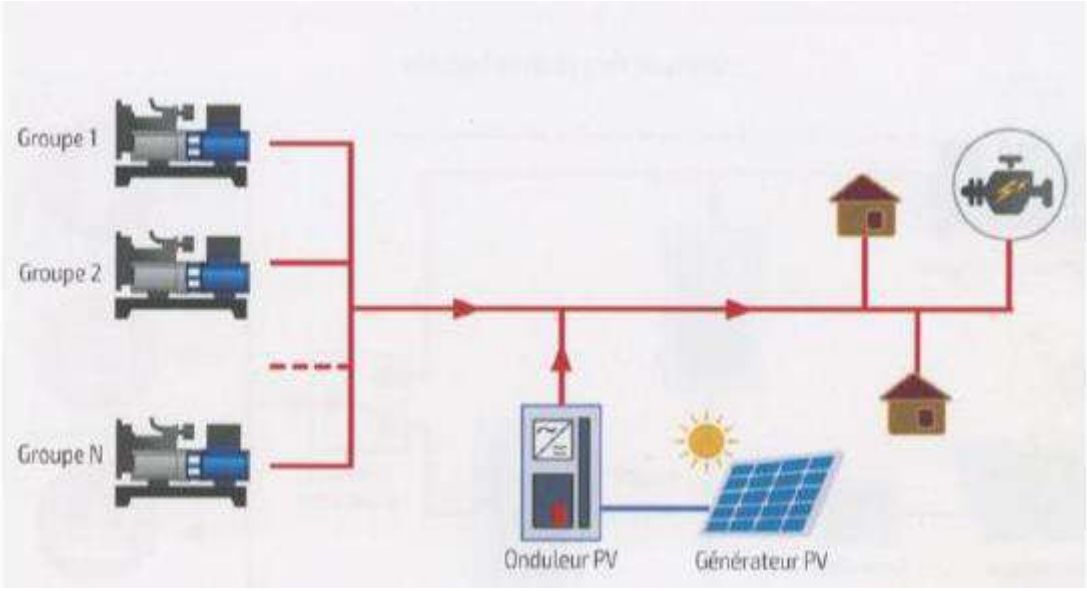


Figure II-5 Système hybride sans stockage (couplage PV et groupe électrogènes)

II-4-2-b Systèmes photovoltaïque hybrides avec stockage

En journée, le générateur photovoltaïque charge la batterie et alimente simultanément l'onduleur, qui convertit la tension continue en tension alternative et permet l'alimentation des récepteurs fonctionnant en alternatif (Figure **II-6**). Un régulateur ou contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire.

Durant la nuit, l'onduleur est alimenté par la batterie de stockage. En cas d'insuffisance d'ensoleillement ou de plus forte consommation des récepteurs, un groupe électrogène de secours ou d'appoint permet l'alimentation directe des récepteurs et la recharge de la batterie pour assurer la continuité de service.

Les systèmes hybrides avec stockage (de quelques kW à quelques centaines de kW) sont très utilisés notamment pour l'alimentation d'habitations individuelles, de refuges de montagne, des relais de télécommunications de forte puissance, pour l'électrification rurale et villageoise, de gros centres de santé (hôpitaux, cliniques, maternité).

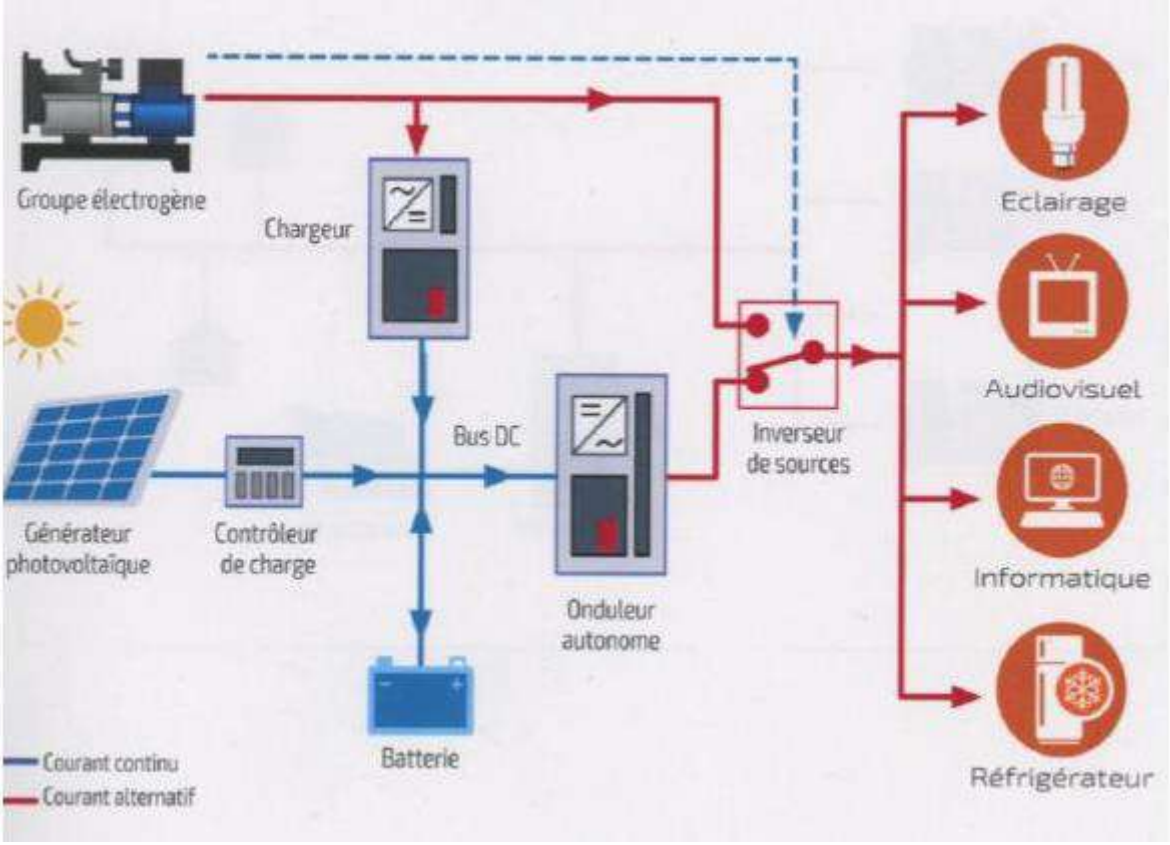


Figure II-6 Système hybride avec stockage (couplage PV et groupe électrogènes)

II-4-3 Système photovoltaïque connecte au réseau

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

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher).

C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.

Il y'a deux formes d'injection du courant photovoltaïque:

- Soit injecter la totalité de la production photovoltaïque au réseau.
- Soit injecter le surplus de la production photovoltaïque au réseau.

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires:

Un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie consommation) et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation.

Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l'énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation).

Un onduleur pour la conversion du courant continu des panneaux en alternatif, et ce dernier doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Afin de s'assurer sur sa qualité « sinusoïdale ».

Systèmes PV raccordés au réseau avec injection totale

Ils peuvent être conçus sans ou avec stockage.

II-4-3-a Injection totale sans stockage

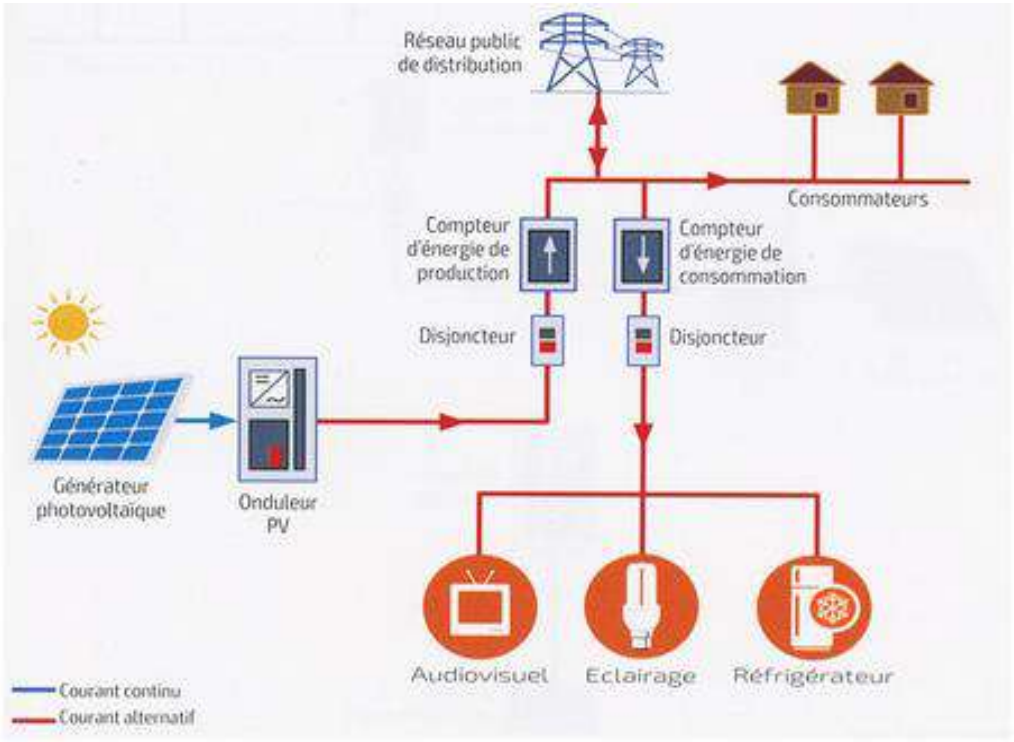


Figure II-7 système photovoltaïque à injection totale sans stockage

Le principe de fonctionnement de ces systèmes est le suivant (Figure **II-7**). Un générateur photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé, via un onduleur PV, en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public de distribution. L'énergie produite est intégralement injectée sur le réseau public de distribution afin d'être valorisée dans les meilleures conditions économiques pour le producteur. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur PV s'arrête de fonctionner.

II-4-3-b Injection totale avec stockage

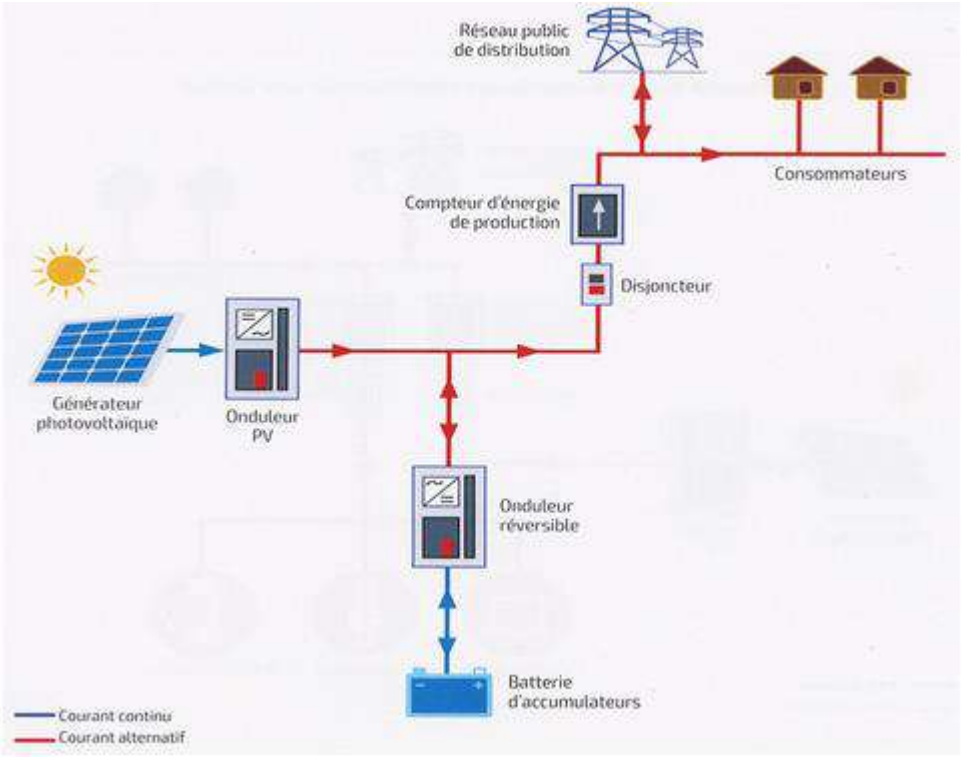


Figure II-8 système photovoltaïque à injection totale avec stockage

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (Figure **II-8**). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.

II-4-4 Systèmes PV raccordés au réseau avec autoconsommation

En autoconsommation, deux configurations sont possibles.

II-4-4-a Autoconsommation sans stockage

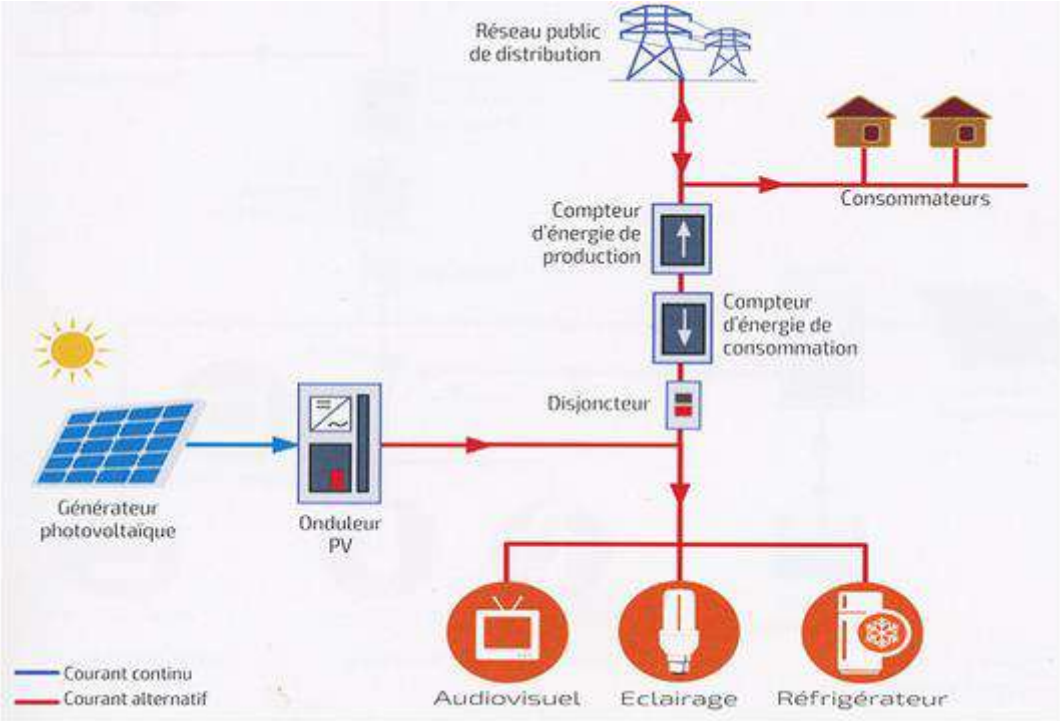


Figure II-9 système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure **II-9**). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produit est injecté dans le réseau public de distribution. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur photovoltaïque s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés.

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

- pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué ;

- pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles).

II-4-4-b Autoconsommation avec stockage

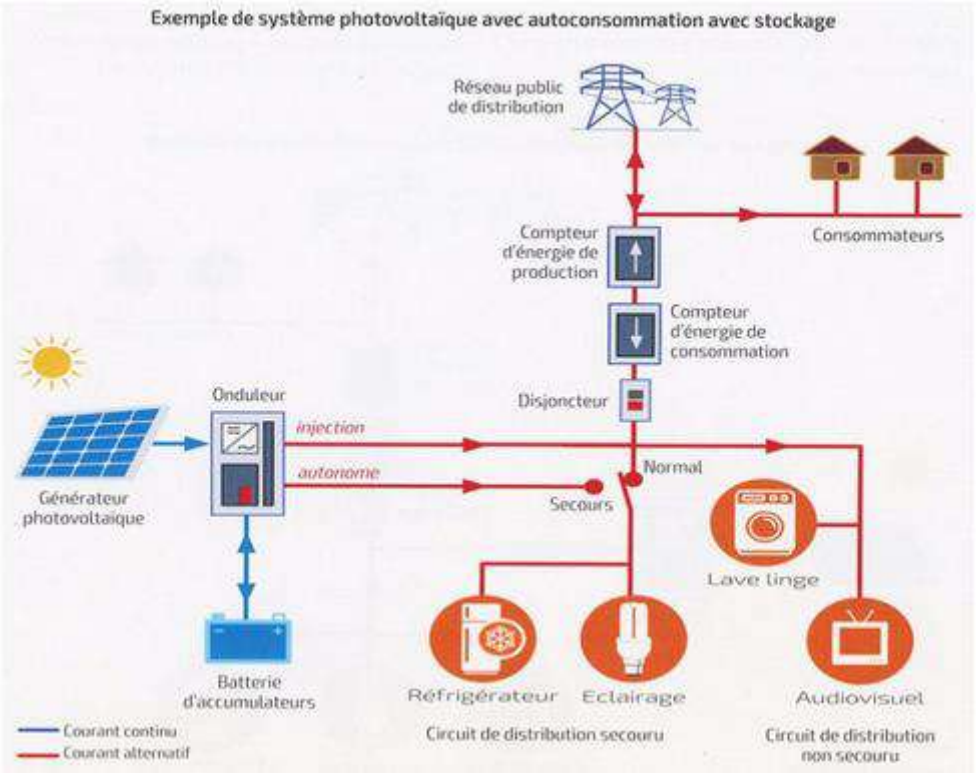


Figure II-10 système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale (Figure **II-10**). Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas de s'affranchir totalement du réseau électrique.

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent, mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement entretien, renouvellement, recyclage, entre autres.[19]

II-5 Applications

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

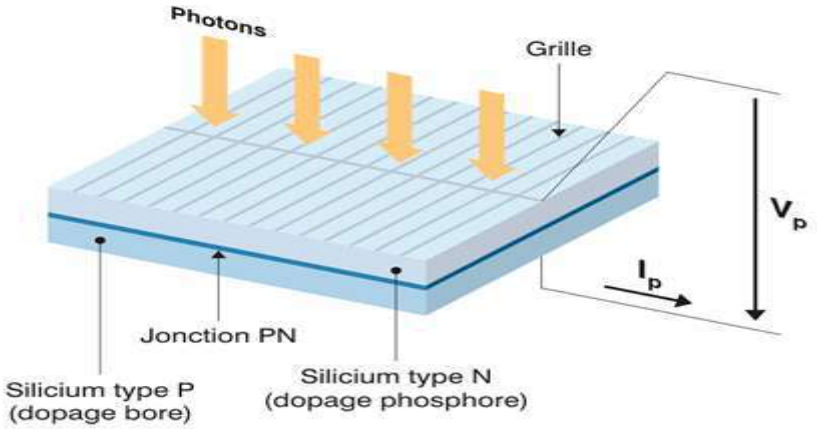
Pour injecter au réseau l'énergie électrique produite par une centrale photovoltaïque, il est primordial de connaitre le réseau électrique. Sachant que l'électricité produite par ces centrales est en courant continue, pour injecter celle-ci au réseau, il faut la convertir en courant alternatif.

Donc on fera appel à des onduleurs. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer le courant continu (DC) en courant alternative (AC), mais ils exploitent également la puissance délivrée. C'est ainsi que nous nous sommes focalisés sur le fonctionnement de ce convertisseur, qui est l'élément clé de la connexion au réseau d'un système photovoltaïque.

II-6 Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont des éléments qui forment les **panneaux solaires**. Ce sont des composants électroniques qui produisent de l'électricité à partir des rayons du soleil. Elles sont très fines (environ 200 µm), mais une toute petite quantité suffit pour les fabriquer. Il y a entre 60 et 72 cellules photovoltaïques sur chaque panneau solaire.[20]

II-6-1 Les caractéristiques de la cellule photovoltaïque



II- 11 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Sous un éclairement donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe:

Sa tension à vide : V_{co}. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.

Son courant court-circuit: I_{cc}. Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.

Son point de puissance maximal: MPP (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt}, I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp}, I_{mpp}).

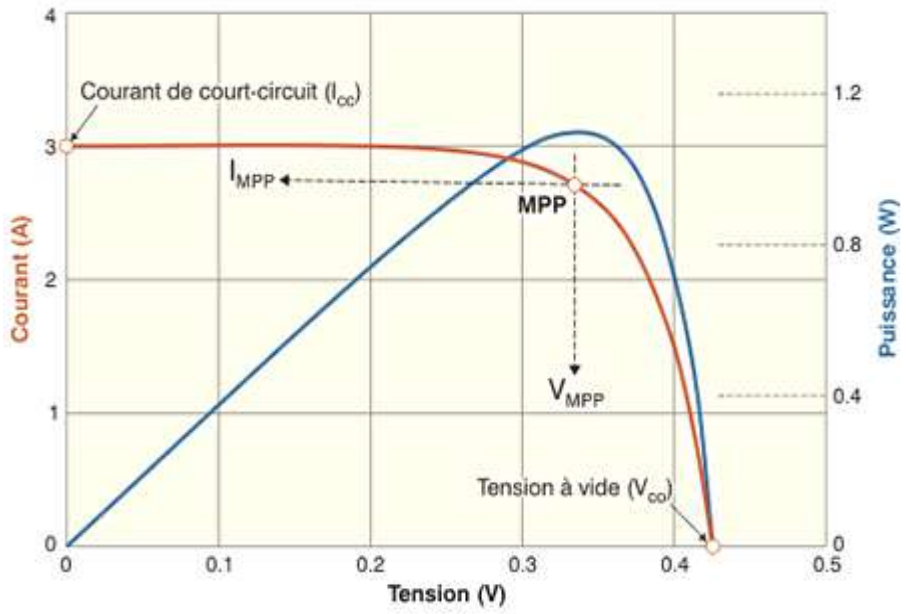


Figure II-12 Courbe courant-tension (I-V) et le point MPP

Remarque : Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de 1 000 W/m², température de 25 °C, conditions spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).

Actuellement, les cellules présentent des valeurs de l'ordre de 0.5V-3.5A-2.1 Wc.[21]

II-6-1-a En quoi est-elle fabriquée ?

Pour fabriquer une cellule photovoltaïque, on utilise des matériaux semi-conducteurs, qui sont des isolants électriques, mais qui permettent tout de même aux électrons de produire du courant. Le silicium est le matériau le plus fréquemment utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques.

Le silicium présente de nombreux avantages : il est très abondant et facile à extraire (on le trouve dans le sable et le quartz). Il est également facilement recyclable.

Dans de rares cas, d'autres matériaux sont utilisés pour la fabrication des cellules photovoltaïques : le séléniure de cuivre d'indium et de gallium, le séléniure de cuivre-indium, le tellurure cadmium, ou encore la pérovskite. Ces matériaux restent très peu utilisés pour le moment, mais beaucoup de recherches scientifiques s'y intéressent.[20]

II-6-1-b Comment les cellules photovoltaïques fonctionnent-elles ?

Pour expliquer le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, il faut reprendre quelques notions de physique. Le silicium, matériau principal de la cellule, est composé d'atomes. Ces atomes sont eux-mêmes composés d'un noyau et d'électrons qui gravitent autour de celui-ci.

Lorsque les électrons du silicium se retrouvent en contact de photons (particules de la lumière du soleil), ils s'agitent. Afin qu'ils circulent de façon à créer un courant électrique, il est nécessaire d'avoir un pôle positif et un pôle négatif, comme sur les piles électriques. Pour cela, le silicium est associé au bore pour obtenir le pôle positif, et au phosphore pour le pôle négatif (c'est le côté qui est face au soleil).

Grâce à ce système de pôles positif et négatif, les électrons se déplacent de façon naturelle entre les deux afin de rééquilibrer les charges. Cela crée un courant électrique.[20]

II-6-2 Les différents types de cellules photovoltaïques

Il existe différentes sortes de cellules photovoltaïques. Même si elles fonctionnent globalement de la même manière, elles ont chacune leurs spécificités.

II-6-2-a Les cellules en silicium monocristallin

On reconnaît les cellules monocristallines grâce à leur couleur très foncée. Il s'agit d'un seul cristal de silicium**.** Au sein d'un même module solaire, tous les cristaux de silicium

sont orientés dans le même sens. Le rendement de ce matériau est supérieur à celui du silicium polycristallin, mais il est également vendu plus cher, car sa fabrication est plus délicate.

II-6-2-b Les cellules en silicium polycristallin

On reconnaît ces cellules à leur couleur bleutée. Elles sont composées de cristaux orientés dans différentes directions : c'est la raison pour laquelle leur couleur n'est pas homogène. À l'échelle mondiale, c'est le matériau photovoltaïque le plus utilisé, car il offre à ce jour le meilleur rapport qualité/prix. Les coûts de fabrication sont en effet inférieurs au silicium monocristallin.

L'inconvénient majeur des cellules en silicium polycristallin est qu'elles ont un rendement inférieur à celle en silicium monocristallin. De ce fait, il est nécessaire d'en installer davantage pour produire une même quantité d'énergie.

II-6-2-c Les cellules au silicium amorphe en couche mince

Il existe également des cellules au **silicium amorphe**, généralement de couleur marron ou gris foncé. Elles sont bien plus fines que les cellules en silicium cristallin (quelques microns seulement). C'est une technologie utilisée depuis longtemps dans les petites calculatrices, mais leur rendement reste très faible. Elles ont aussi une durée de vie plus faible que les autres types de cellules : une dizaine d'années seulement, contre une trentaine pour le silicium monocristallin et polycristallin.[20]

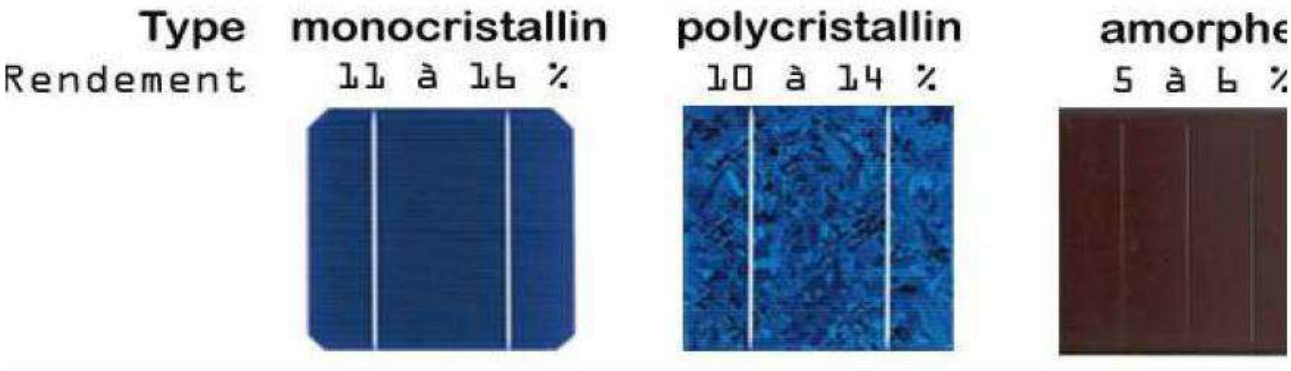


Figure II-13 Les différents types de cellules photovoltaïques

II-6-3 Le rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement d'une cellule photovoltaïque correspond au rapport entre la quantité d'énergie lumineuse transformée en électricité et la quantité d'énergie qui a été captée par le système. Il s'agit donc d'un pourcentage qui permet d'évaluer l'efficacité des cellules photovoltaïques. Plus ce pourcentage est élevé, plus la cellule produit d'électricité.

Les cellules qui ont le moins bon rendement sont celles au silicium amorphe : il est compris entre **6 % et 9 %**.

Les cellules en silicium polycristallin ont un rendement situé entre **13 % et 18 %**. Enfin, les cellules ayant le meilleur rendement sont celles au silicium monocristallin, pour un rendement situé entre **16 % et 24 %**.

Certains facteurs, autres que la technologie utilisée, peuvent avoir un impact sur le rendement d'une cellule photovoltaïque. C'est le cas par exemple de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires, de la zone géographique d'implantation ou encore de la présence de zone ombragée sur le toit. Pour rappel, un rendement optimal est possible avec une orientation sud, une inclinaison à 30°, une région ensoleillée et aucune zone d'ombre sur les panneaux (branches d'arbres ou bâtiments).[20]

II-6-4 Association des cellules

II-6-4-a Association de cellules en série

Si on assemble en série n cellules, la tension aux bornes de l'assemblage est égale à la somme des tensions délivrées par chacune des cellules.

$$V = n\,V_{co} \qquad \text{(II-1)}$$

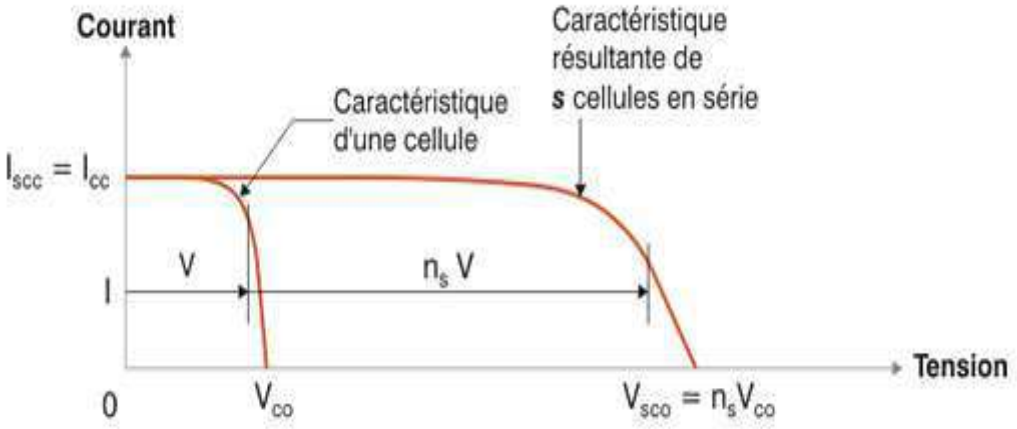


Figure II-14 Association de cellules en série

n = ns : nombre de cellules

V(V) = V_{sco} (V) : Tension aux bornes de l'assemblage.

V_{co} (V) : Tension aux bornes de d'une cellule.

Dans le cas d'une association en série, les cellules délivrent le même courant mais elles peuvent fonctionner avec des tensions différentes.

II-6-4-b Association de cellules en parallèle

Si on assemble en parallèle m cellules, le courant aux bornes de l'assemblage est égal à la somme des courants produits par chacune des cellules.

$$I = m\, I_{cc} \quad \text{(II-2)}$$

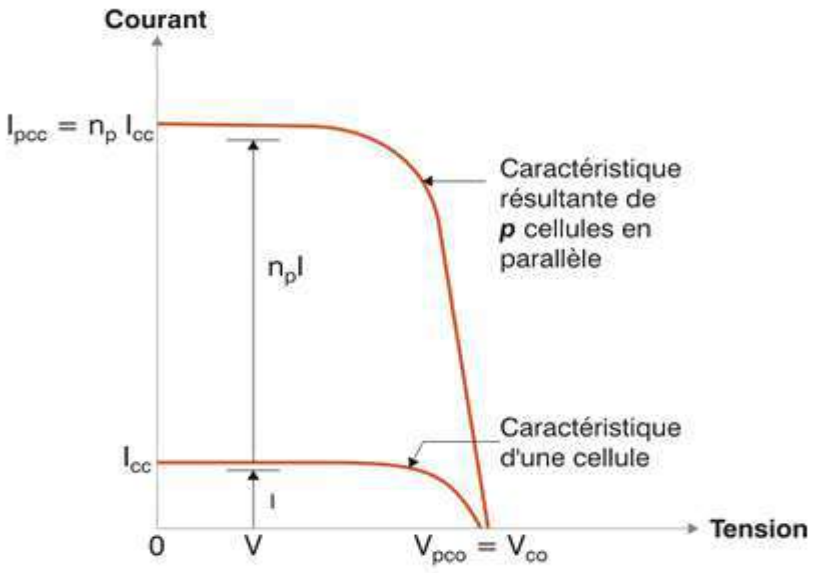


Figure II-15 Association de cellules en parallèle

m = n_p : nombre de cellules

I (A) = I_{pcc}: Courant circulant dans l'assemblage.

I_{cc} (A): Courant circulant dans chaque cellule.

Dans le cas d'une association en parallèle, les cellules délivrent la même tension mais elles peuvent fonctionner avec des courants différents.[21]

II-7 Rendement et quantité d'énergie moyens observés

II-7-a- Le rendement moyen d'un panneau solaire

Un certain nombre de facteurs sont à prendre en compte pour connaître le rendement de vos panneaux solaires. Cependant, certaines moyennes sont observées en fonction du type de panneaux installés. La limite théorique du rendement d'un panneau est de 31 %.

Avec des panneaux solaires au silicium amorphe, le rendement est généralement compris entre 6 et 9 %, ce qui est assez faible.

Les panneaux polycristallin sont un rendement situé entre 13 % et 18 %. C'est le type de panneau le plus couramment utilisé.

Enfin, avec des panneaux solaires monocristallins, le rendement peut être de 16 % à 24 %. Ce sont donc les plus performants du marché. Ce type de panneau est en général plus cher que les autres, mais sa rentabilité est par exemple deux fois supérieure aux panneaux au silicium amorphe : il faut donc une surface deux fois moins importante pour produire la même quantité d'électricité.

II-7-b- Quantité d'énergie produit un panneau photovoltaïque moyen

Un panneau solaire mesure en moyenne 1,6 m2. Si son rendement est de 18 %, il transforme 18 % de l'énergie solaire en énergie électrique. Si l'énergie reçue est de 1000 W/m2, le panneau produit :

18 % x 1,6 x 1000 = 288 Wc. Pour obtenir une installation de 3 kWc, il faut donc une dizaine de panneaux solaires. Pour une maison de 100 m2, c'est le nombre qui est souvent conseillé.[22]

II-8 Comment améliorer le rendement de son installation solaire ?

Il est difficile d'augmenter de façon très significative le rendement d'une installation solaire. Cependant, quelques astuces peuvent tout de même vous y aider.

Tout d'abord, pensez à nettoyer de façon très régulière la surface de vos panneaux, surtout lorsqu'il n'a pas plu depuis un certain temps. En hiver, vous devez être vigilant à enlever la neige. En automne, ce sont les feuilles mortes qui peuvent avoir un impact sur votre rendement.

Vous devez également vérifier de façon régulière les ombrages éventuels qui peuvent être présents sur votre toit. En effet, des panneaux solaires situés à l'ombre peuvent dans

certains cas anéantir complètement votre production d'électricité. Il s'agit donc d'un élément à vérifier très régulièrement : ce n'est pas parce qu'il n'y avait aucune ombre au moment de leur installation que c'est toujours le cas. Des branches d'arbres peuvent par exemple avoir poussé après quelques années. Si vous en avez la possibilité, faites donc élaguer ces branches ou les autres éléments qui pourraient altérer votre production.

Enfin, nous avons précédemment parlé du fait que les panneaux solaires sont sensibles aux températures élevées. Leur rendement diminue lorsque la température dépasse les 25 °C. Sachez qu'une pose de panneaux solaires en surimposition limite les surchauffes. En effet, cela leur permet de ne pas être en contact directement avec la toiture. Ainsi, l'air circule mieux.

Un panneau solaire aura donc un rendement situé entre 6 % et 24 % en fonction de nombreux critères : le type de panneaux, son orientation, son inclinaison, sa zone géographique d'implantation, etc. Veillez à installer du matériel de qualité si vous ne voulez pas risquer d'avoir une mauvaise surprise.[22]

II-9Avantages et inconvénients d'une installation PV

II-9-1 Avantages

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnes pour des applications de puissances allant du milli Watt au Méga Watt.
- Le cout de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraine aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

II-9-2 Inconvénients

- Le cout initial des systèmes photovoltaïques est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée.

  Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Or, les batteries : (1) requièrent une maintenance régulière, (2) doivent être remplacées périodiquement et (3) peuvent avoir un impact sur la performance du système (lorsque les produits locaux sont de mauvaise qualité ou ne peuvent pas être remplaces).
- Les systèmes photovoltaïques de faible puissance requièrent souvent des équipements sa courant continu dont l'efficacité énergétique est supérieure a celle des équipements a courant alternatif, mais dont le cout est souvent plus élevé.
- Les systèmes photovoltaïques doivent être conçus et installes par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une installation d'un rendement inferieur a celui des solutions alternatives
- Les systèmes photovoltaïques de forte puissance nécessitent souvent un système de secours (éolien ou fuel) pour les périodes de forte demande ou défont ennuagement.
- L'électricité solaire photovoltaïque n'est pas économiquement viable pour les charges thermiques de type cuisson, chauffage, ou repassage.[1]

II-10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de systèmes photovoltaïques, les cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques

Chapitre III

Résultats de simulation à l’aide du logiciel Homer

III-1 Introduction

Dans ce chapitre, on va utiliser le logiciel HOMER Pro qui nous donne les coordonnées géographiques de la zone de Médéa, il nous permet l'accès a latitude, longitude, l'altitude et l'irradiation globale puis on intègre coordonnées dans le logiciel HOMER Pro, après simulation de ce dernier, nous présenterons les résultats obtenus dans le rapport de simulation, autonome et connecte au réseau.

III-2 Présentation de la wilaya de Médéa

La wilaya de Médéa est une wilaya montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell est située dans l'Atlas tellien et se caractérise ainsi par une altitude élevée et un relief mouvemente enserrant quelques plaines de faible extension. Au sud, elle s'étend aux confins des hautes plaines steppiques, La wilaya se caractérise au climat rude et peu peuplée, ceinturant la wilaya à l'Ouest et au Nord et il est caractérise par une pluviométrie irrégulière, la Wilaya de Médéa compte 64 commune et 19 daïras. [1]

III-3 Présentation de l'école primaire

L'école primaire se situe au pôle urbain la ville de Médéa, a une altitude de 928 m, d'une superficie de 819 m^2, dont 419 m^2 comme terrasse, se compose de 6 casses, salle des enseignants, 2 bureaux, cuisine, logement de fonction.



Figure III-1 Carte géographique du site

III-4 Logiciel HOMER Pro

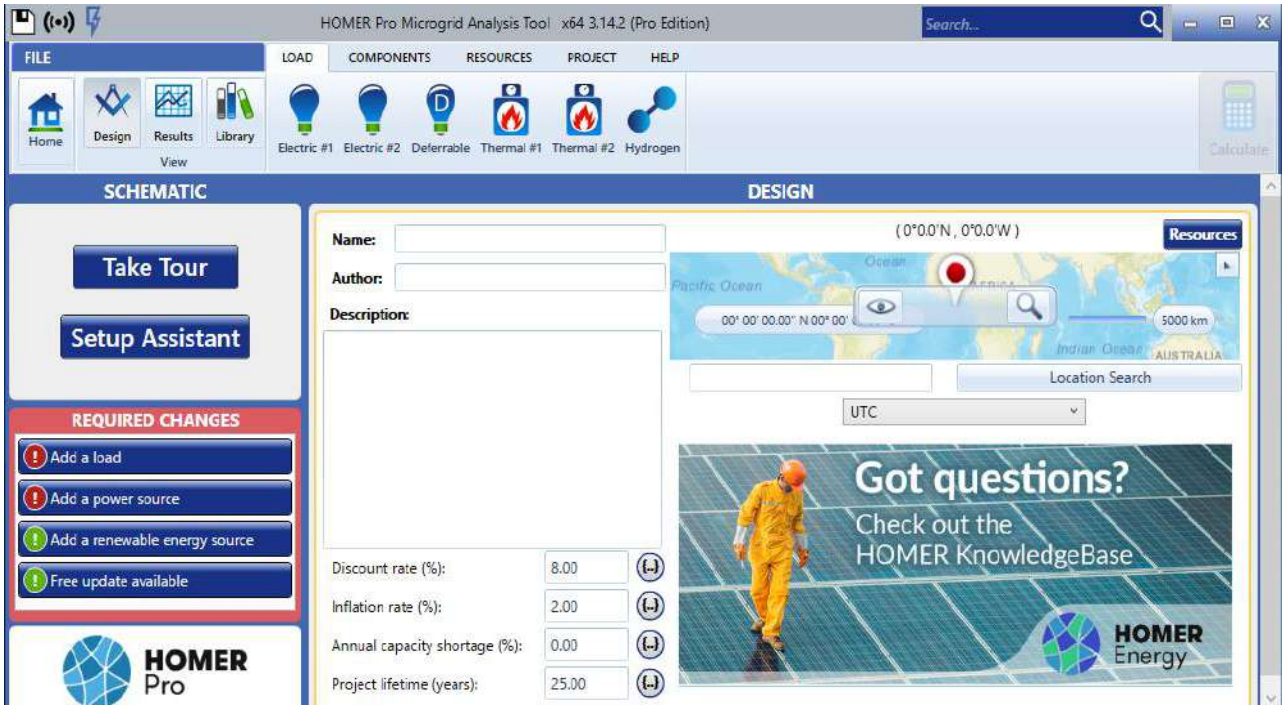


Figure III-2 Fenêtre de HOMER Pro

Le modèle d'optimisation de micro-alimentation HOMER est un modèle informatique développé par le National Renewable Energy Laboratory (NREL) des États-Unis pour aider à la conception de systèmes de micro-alimentation et pour faciliter la comparaison des technologies de production d'énergie dans un large éventail d'applications. HOMER modélise le comportement physique d'un système électrique et son coût du cycle de vie, qui est le coût total d'installation et d'exploitation du système sur sa durée de vie. HOMER permet au modélisateur de comparer de nombreuses options de conception différentes en fonction de leurs mérites techniques et économiques. Il aide également à comprendre et à quantifier les effets de l'incertitude ou des changements dans les intrants. Un microsystème électrique est un système qui génère de l'électricité, et éventuellement de la chaleur, pour desservir une charge à proximité.

Un tel système peut utiliser n'importe quelle combinaison de technologies de production et de stockage d'électricité et peut être connecté au réseau ou autonome, c'est-à-dire séparé de tout réseau de transmission. Quelques exemples de systèmes de micro-énergie sont un système de batterie solaire desservant une charge à distance, un système éolien-diesel

desservant un village isolé. HOMER peut modéliser des microsystèmes connectés au réseau et hors réseau desservant des charges électriques et thermiques, et comprenant toute combinaison de modules photovoltaïques (PV), d'éoliennes, de petites centrales hydroélectriques, d'énergie biomasse, de générateurs à moteur alternatif, de micro turbines, de piles à combustible, de batteries et stockage d'hydrogène.

HOMER effectue trois tâches principales : la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité. Dans le processus de simulation, HOMER modélise les performances d'une configuration de système de micro puissance particulière à chaque heure de l'année pour déterminer sa faisabilité technique et son coût du cycle de vie. Dans le processus d'optimisation, HOMER simule de nombreuses configurations de système différentes à la recherche de celle qui satisfait aux contraintes techniques au coût du cycle de vie le plus bas. Dans le processus d'analyse de sensibilité, HOMER effectue plusieurs optimisations sous une gamme d'hypothèses d'entrée pour évaluer les effets de l'incertitude ou des changements dans les entrées du modèle. L'optimisation détermine la valeur optimale des variables sur lesquelles le concepteur du système a le contrôle, telles que la combinaison de composants qui composent le système et la taille ou la quantité de chacun. L'analyse de sensibilité aide à évaluer les effets de l'incertitude ou des changements dans les variables sur lesquelles le concepteur n'a aucun contrôle, telles que la vitesse moyenne du vent ou le prix futur du carburant.

La figure **III-3** illustre la relation entre la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité. L'ovale d'optimisation entoure l'ovale de simulation pour représenter le fait qu'une seule optimisation se compose de plusieurs simulations. De même, l'ovale d'analyse de sensibilité englobe l'ovale d'optimisation car une seule analyse de sensibilité se compose de plusieurs optimisations.

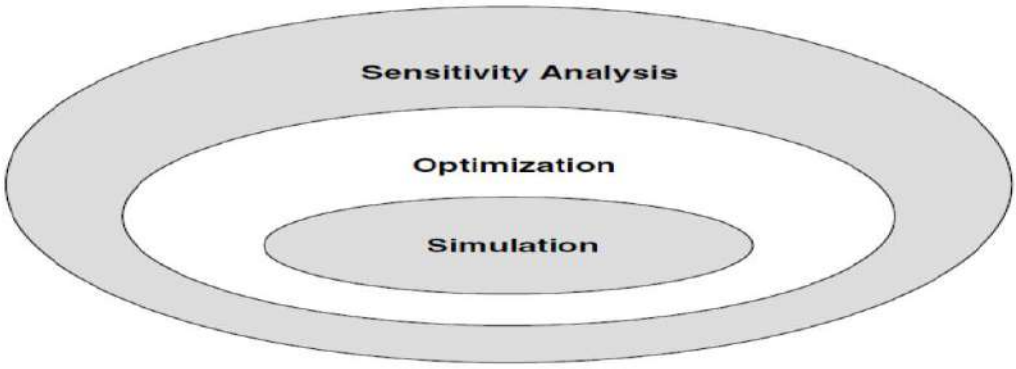


Figure III-3 Relation conceptuelle entre la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité

III-4-1 Simulateur

La capacité fondamentale d'HOMER consiste à simuler le fonctionnement à long terme d'un système de micro-alimentation. Ses capacités de haut niveau, d'optimisation et d'analyse de sensibilité, reposent sur cette capacité de simulation. Le processus de simulation détermine comment une configuration système particulière, une combinaison de composants système de tailles spécifiques et une stratégie de fonctionnement qui définit la façon dont ces composants fonctionnent ensemble, se comporteraient dans un cadre donné sur une longue période de temps.

HOMER peut simuler une grande variété de configurations de systèmes de micro-alimentation, comprenant toute combinaison d'un générateur photovoltaïque, d'une ou plusieurs éoliennes, d'une hydro-turbine au fil de l'eau et jusqu'à trois générateurs, d'un banc de batteries, d'un convertisseur AC-DC , un électrolyseur et un réservoir de stockage d'hydrogène. Le système peut être connecté au réseau ou autonome et peut servir des charges électriques AC et DC et une charge thermique. Le processus de simulation a deux objectifs. Premièrement, il détermine si le système est faisable. HOMER considère que le système est faisable s'il peut servir adéquatement les charges électriques et thermiques et satisfaire toutes les autres contraintes imposées par l'utilisateur. Deuxièmement, il estime le coût du cycle de vie du système, qui est le coût total d'installation et d'exploitation du système tout au long de sa durée de vie. Le coût du cycle de vie est une mesure pratique pour comparer les aspects économiques de diverses configurations de système. Ces comparaisons sont à la base du processus d'optimisation de HOMER.

HOMER modélise une configuration de système particulière en effectuant une simulation de série chronologique horaire de son fonctionnement sur un an. HOMER parcourt l'année une heure à la fois, en calculant l'énergie renouvelable disponible, en la comparant à la charge électrique et en décidant quoi faire avec l'énergie renouvelable excédentaire en période d'excès, ou comment produire au mieux (ou acheter sur le réseau) de l'énergie supplémentaire en période de déficit. Lorsqu'il a terminé une année de calculs, HOMER détermine si le système satisfait aux contraintes imposées par l'utilisateur sur des quantités telles que la fraction de la demande électrique totale desservie, la proportion de l'électricité produite par des sources renouvelables ou les émissions de certains polluants. HOMER calcule également les quantités nécessaires pour calculer le coût du cycle de vie du système, telles que la consommation annuelle de carburant, les heures de fonctionnement annuelles du générateur,

la durée de vie prévue de la batterie ou la quantité d'électricité achetée annuellement sur le réseau.

La quantité utilisée par HOMER pour représenter le coût du cycle de vie du système est le coût actuel net total (NPC). Cette valeur unique comprend tous les coûts et revenus qui surviennent pendant la durée de vie du projet, avec les flux de trésorerie futurs actualisés au présent. Le coût actuel net total comprend le coût d'investissement initial des composants du système, le coût de tout remplacement de composant qui se produit pendant la durée de vie du projet, le coût de l'entretien et du carburant, et le coût d'achat de l'électricité auprès du réseau. Tout revenu provenant de la vente d'électricité au réseau réduit le CNP total. Dans la section III-1-4, nous décrivons plus en détail comment HOMER calcule le NPC total. Pour de nombreux types de microsystèmes, en particulier ceux impliquant des sources d'énergie renouvelables intermittentes, un pas de temps d'une heure est nécessaire pour modéliser le comportement du système avec une précision acceptable.

III-4-2 Optimisation et analyse de sensibilité

Alors que le processus de simulation modélise une configuration système particulière, le processus d'optimisation détermine la meilleure configuration système possible. Dans HOMER, la meilleure configuration de système possible, ou optimale, est celle qui satisfait les contraintes spécifiées par l'utilisateur au coût actuel net total le plus bas. Trouver la configuration optimale du système peut impliquer de décider de la combinaison de composants que le système doit contenir, de la taille ou de la quantité de chaque composant et de la stratégie de répartition que le système doit utiliser. Dans le processus d'optimisation, HOMER simule de nombreuses configurations de système différentes, élimine celles qui ne sont pas réalisables (celles qui ne satisfont pas aux contraintes spécifiées par l'utilisateur), classe celles qui sont réalisables en fonction du coût actuel net total et présente celle qui est réalisable avec le coût net total le plus bas. Coût actuel comme configuration optimale du système.

III-4-3 Modélisation économique

L'économie joue un rôle essentiel à la fois dans le processus de simulation de HOMER, dans lequel il exploite le système de manière à minimiser le coût actuel net total, et dans son processus d'optimisation, dans lequel il recherche la configuration du système avec le coût actuel net total le plus bas. Cette section décrit pourquoi le coût du cycle de vie est la mesure appropriée avec laquelle comparer l'économie de différentes configurations de système, pourquoi HOMER utilise le coût actuel net total comme facteur de mérite économique et comment HOMER calcule le coût actuel net total. Les sources d'énergie renouvelables et non renouvelables ont généralement des caractéristiques de coût radicalement différentes. Les sources renouvelables ont tendance à avoir des coûts d'investissement initiaux élevés et de faibles coûts d'exploitation, tandis que les sources conventionnelles non renouvelables ont tendance à avoir de faibles coûts d'investissement et des coûts d'exploitation élevés. Dans son processus d'optimisation, HOMER doit souvent comparer l'économie d'un large éventail de configurations de systèmes comprenant des quantités variables de sources d'énergie renouvelables et non renouvelables. Pour être équitables, ces comparaisons doivent tenir compte à la fois des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation. L'analyse des coûts du cycle de vie le fait en incluant tous les coûts qui surviennent pendant la durée de vie du système. [23]

III-4-4 Critères d'évaluation pour l'optimisation

Dans cette étude, les critères d'évaluation tels que le coût actuel net, le coût actualisé de l'énergie, Le coût d'exploitation et le coût d'investissement initial sont pris en compte lors de la phase d'optimisation. La description détaillée de chaque critère est définie dans les sous-rubriques ci-dessous.

- ✓ **Coût actuel net (DA)**

Le terme de coût "NPC" est défini par le programme HOMER comme suit. "Le coût actuel net (ou coût du cycle de vie) d'un composant est la valeur actuelle de tous les coûts d'installation et d'exploitation du composant pendant la durée de vie du projet, moins la valeur actuelle de tous les revenus générés pendant la durée de vie du projet. HOMER calcule le coût actuel net de chaque composant du système et du système dans son ensemble.

✓ **Coût actualisé de l'énergie (COE) (DA/kWh)**

COE est défini par le programme HOMER comme suit. « Pour calculer le COE, HOMER divise le coût annualisé de production d'électricité (le coût total annualisé moins le coût de desserte de la charge thermique) par la charge électrique totale desservie ». COE est calculé par l'équation 1

$$COE = (C_{ann,tot})/E_{served}$$

Où : $C_{ann,tot}$: le coût total annualisé du système (DA/an),

E_{served} : la charge électrique totale desservie (kWh/an)

✓ **Coût d'exploitation**

Le coût d'exploitation est défini par le programme HOMER comme suit. « Le coût d'exploitation est la valeur annualisée de tous les coûts et revenus autres que les coûts d'investissement initiaux. Le coût d'exploitation est calculé à l'aide de l'équation 2

$$C_{operating} = C_{ann,tot} - C_{ann,cap}$$

Où : $C_{operating}$ est le coût total annualisé du système (DA/an),

$C_{ann,cap}$ est le coût total annualisé du capital (DA/an).

✓ **Coût initial du capital**

Le coût en capital initial d'un composant est le coût total installé de ce composant au début du projet.

III-5 Model de travail

L'objet du travail est de faire plusieurs simulations avec des orientations et inclinaisons différentes et choisir le meilleur résultat pour pouvoir répondre à la totalité ou plus des besoins énergétiques de l'école primaire. La simulation se fera par le logiciel« HOMER » (Hybrid Optimisation Model for Electric renewables).

III-5-1 Présentation et schéma de l'installation

L'installation choisit est une installation photovoltaïque raccordée au réseau et comporte :

Des panneaux photovoltaïques monocristallins de12.54 KWc de puissance. La puissance d'énergie photovoltaïque installée sur chaque toiture est0.6 KW. Le prix du module est à 33 000 DA. Un onduleur de 10 KW, son prix est 90 000 DA. La durée dévie du système est supposée 25 ans donc les panneaux ne seront pas remplacés. Le prix du KWh acheté du

réseau est de 20 DA et du KWh vendu au réseau est de 30 DA. On suppose que l'excès d'énergie photovoltaïque produite non utilisé est vendu et injectée au réseau. Les données des prix d'achat et de vente de l'électricité sont prises du journal officiel de la république algérienne. La figure **III-4** montre le schéma du système proposé.

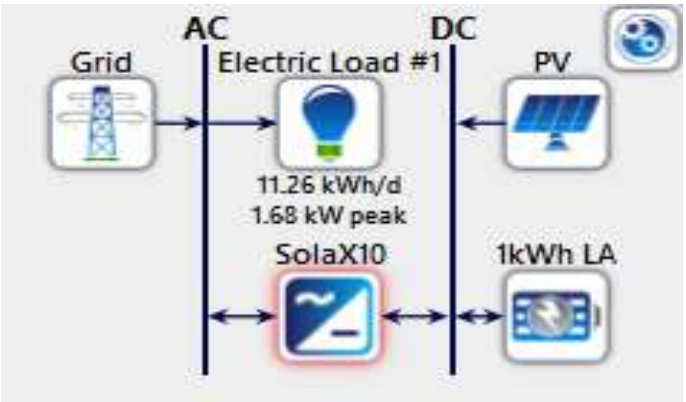


Figure III-4 Le schéma du système

III-5-1-a Détail de charge

Ça correspond aux besoins électriques journaliers nous avons deux mois de Congés (juillet et aout), et02 jours de week-end. On suppose que l'éclairage de toute l'école soit allumé tous les jours entre 08h et17h, et entre 17h et 08h les lampes du hall et des espaces de circulation seulement qui seront allumé, Le pic de consommation électrique est à 4,125 KW/h pendant les heures de travail et la consommation du soir (de sécurité) est 0.555 KW/h. Les détails de charge sont présentés dans le tableau **III-1**.



Figure III-5 Les détails de charge mois de janvier

Heur	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
1	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
2	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
3	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
4	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
5	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
6	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
7	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615	0,615
8	0,735	0,735	0,735	0,735	0,735	0,205	0,205	0,205	0,735	0,735	0,735	0,735
9	1,135	1,135	1,135	1,135	1,135	0,205	0,205	0,205	1,135	1,135	1,135	1,135
10	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	0,205	0,205	0,205	1,205	1,205	1,205	1,205
11	1,496	1,496	1,496	1,496	1,496	3,905	3,905	3,905	1,496	1,496	1,496	1,496
12	1,496	1,496	1,496	1,496	1,496	3,905	3,905	3,905	1,496	1,496	1,496	1,496
13	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581	3,905	3,905	3,905	1,581	1,581	1,581	1,581
14	1,581	1,581	1,581	1,581	1,581	3,905	3,905	3,905	1,581	1,581	1,581	1,581
15	1,475	1,475	1,475	1,475	1,475	3,905	3,905	3,905	1,475	1,475	1,475	1,475
16	1,475	1,475	1,475	1,475	1,475	3,905	3,905	3,905	1,475	1,475	1,475	1,475
17	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
18	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
19	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885
20	0,885	0,885	0,885	0,885	0,885	4,125	**4,125**	4,125	0,885	0,885	0,885	0,885
21	0,685	0,685	0,685	0,685	0,685	4,125	4,125	4,125	0,685	0,685	0,685	0,685
22	0,685	0,685	0,685	0,685	0,685	4,125	4,125	4,125	0,685	0,685	0,685	0,685
23	**0,555**	0,555	0,555	0,555	0,555	4,125	4,125	4,125	0,555	0,555	0,555	0,555

Tableau III-1 Les détails de charge durant l'année

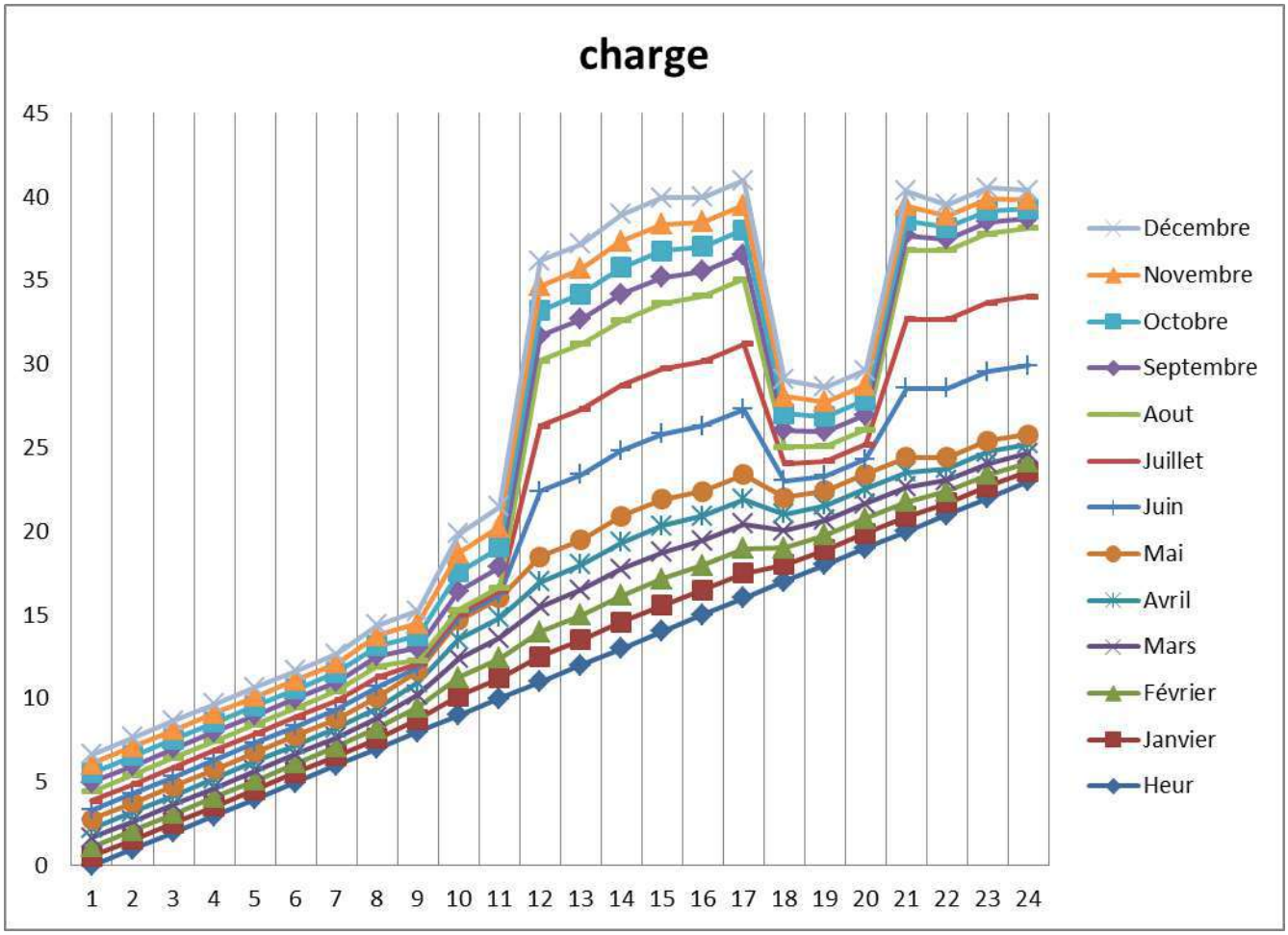


Figure III-6 Les détails de charge durant l'année

III-5-1-b Détail de ressource solaire

Les données d'irradiation sont obtenues par le logiciel HOMER. L'irradiation sur un plan horizontal est la donnée prise en charge par le logiciel. On voit que l'irradiation est au maximum en été (mois de juillet) et très faible en hiver (mois de décembre). Dans la simulation le logiciel prend en compte les données de température.

Les données de température sont prises de Wikipédia. A Médéa la température moyenne annuelle est 16.69° comme montre la figure **III-7**.



Figure III-7 Les températures

Dans la figure **III-8**, Les données de ressource solaire sont présentées. La moyenne annuelle d'irradiation est d'environ **4,85** KWh /m²/jour. La question à poser sur HOMER est : Est-ce que l'installation choisie peut répondre à la totalité des besoins et qu'elle est la meilleure orientation et inclinaison pour le meilleur rendement ?



Figure III-8 Les données des ressources solaires

III-5-1-c Résultats et discussions

Dans ce cas d'étude on a fait la simulation d'installation PV branchée au réseau alimentant une école primaire avec stockage, les résultats sont présentés dans la figure **III-9** ils montrent que :

La contribution du PV est de 91,7 % par rapport aux besoins en éclairage de l'école primaire, le reste est garanti par le réseau 8,33%, 78,5% de la production PV est vendu au réseau, et l'excès d'énergie perdu présente 0,681% de la production PV. La production PV correspond à 160% des besoins. Le tableau **III-2** montre qu'après 4 ans on peut retourner à l'investissement de base avec un bénéfice de 26,5%.

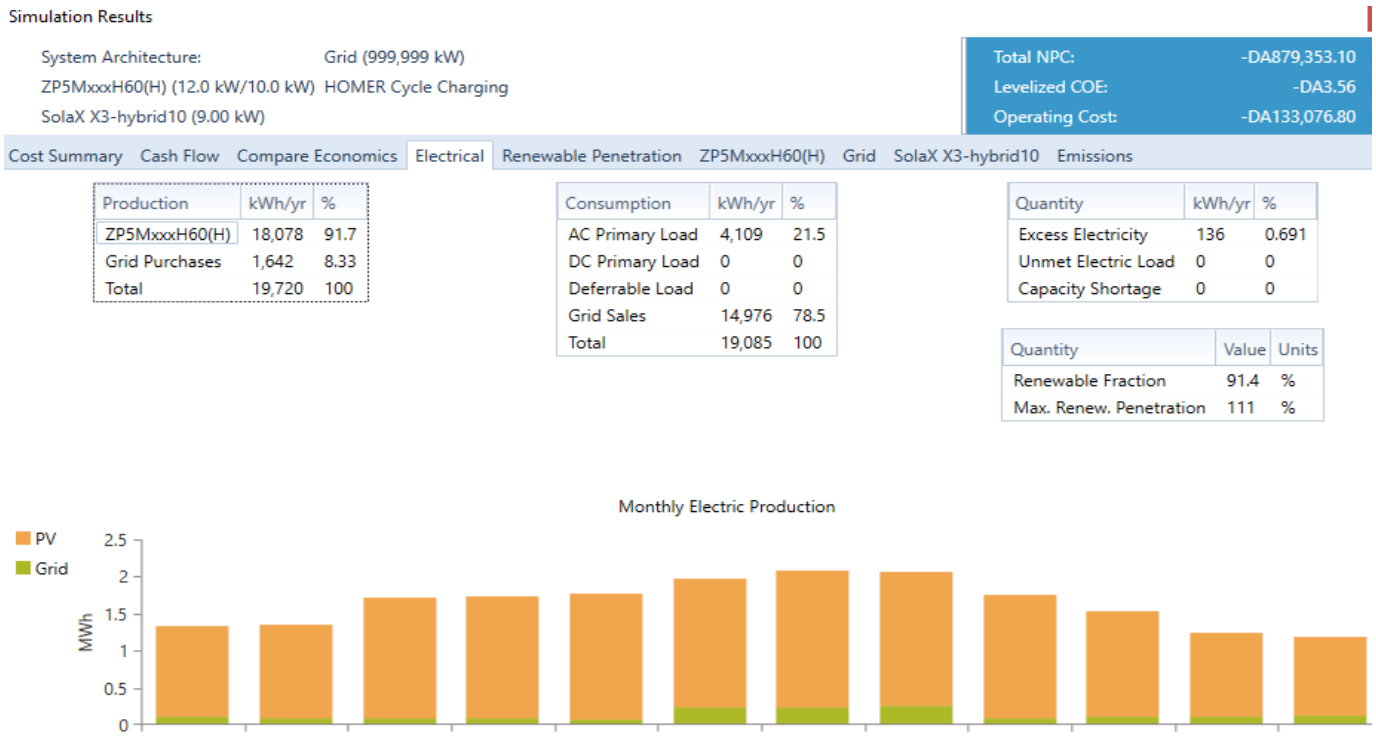


Figure III-9 Les résultats de simulation

Metric	Value
Present worth (DA)	DA2,472,975
Annual worth (DA/yr)	DA191,295
Return on investment (%)	26.5
Internal rate of return (%)	30.7
Simple payback (yr)	3.25
Discounted payback (yr)	3.71

Tableau III-2- Le retour à l'investissement

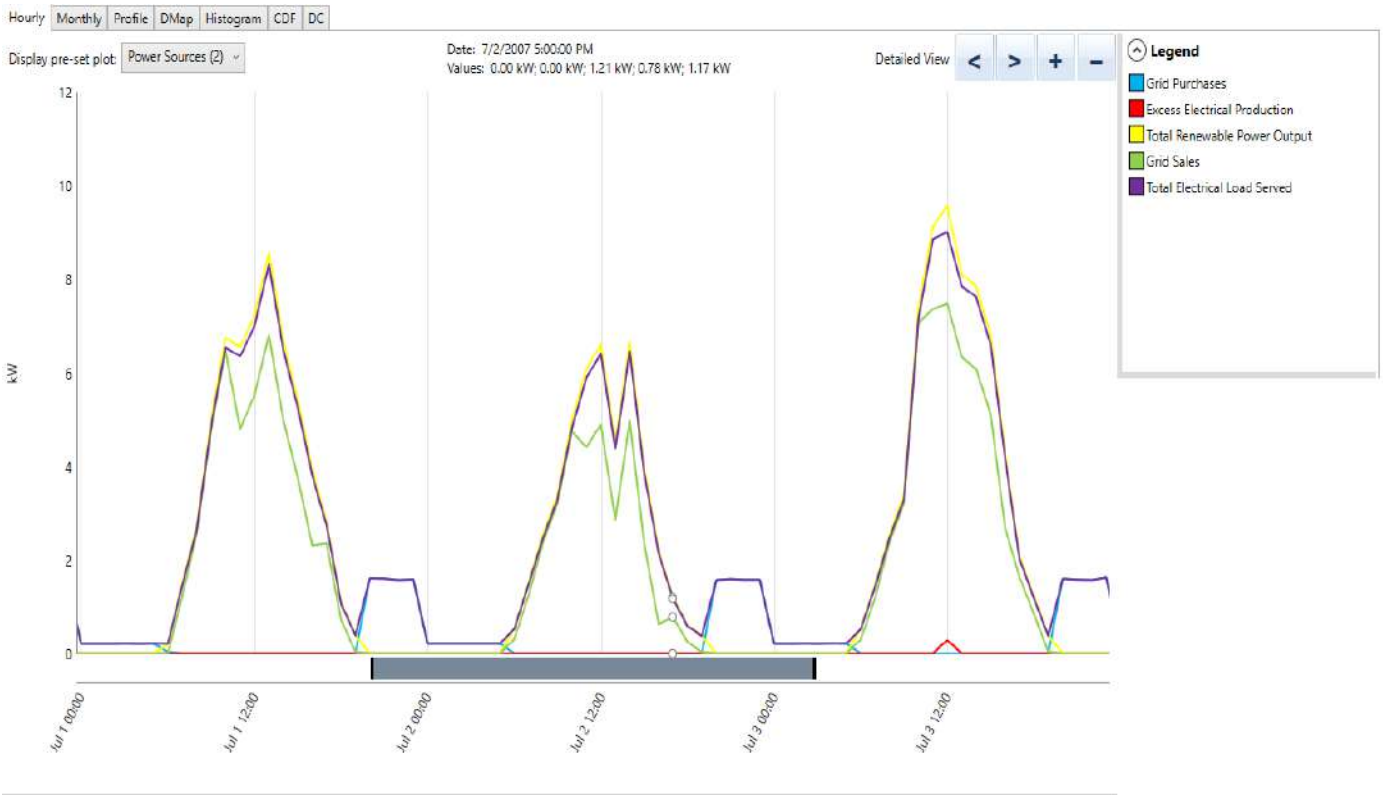


Figure III-10- Les résultats de simulation

La figure **III-10** montre que la production du PV n'est pas fixe tous les jours, une partie est utilisée, une autre est vendue au réseau mais il y a un excès perdu. L'onduleur et le câblage sont les causes de l'excès d'énergie, Pour minimiser le taux d'énergie perdue, il faut soit opter pour un stockage soit augmenter la taille du convertisseur (choisir la solution la plus économique), aussi il faut mettre l'onduleur à proximité du générateur photovoltaïque. La production PV correspond à 160% des besoins en éclairage de l'école. Pour profiter de la totalité de la production un stockage est nécessaire, cette solution permet de rentabiliser l'investissement et diminuer son coût, Un bon choix des câbles permet de minimiser les pertes d'énergie (la batterie est un élément très sensible à la surcharge et à la décharge profonde, pour cela on doit utiliser un régulateur de charge pour maintenir la tension de la batterie). Pour le temps de retour sur investissement plusieurs facteurs rentrent en jeux (TVA, tarif d'achat, subventions, coût de l'installation, emprunt,… etc).

Pour le moment l'état ne favorise pas et n'encourage pas le développement des énergies renouvelables, Le coût de kwh photovoltaïque est plus élevé que celui conventionné

par l'état mais avec la vente de l'excédent d'énergie non utilisé on peut revenir dans l'investissement dans quelques année.

Résultats d'optimisation du système connecté au réseau

Les résultats de l'optimisation et des coûts sont résumés dans Tableau **III-3** et Tableau **III-4**, respectivement

Component	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (DA)	Fuel (DA)	Salvage (DA)	Total (DA)
Grid	DA0.00	DA0.00	-DA3,234,995.85	DA0.00	DA0.00	-DA3,234,995.85
PV Dedicated Converter	DA100,000.00	DA42,427.38	DA129,275.17	DA0.00	-DA7,985.26	DA263,717.29
SolaX X3-hybrid10	DA81,000.00	DA0.00	DA58,173.82	DA0.00	DA0.00	DA139,173.82
ZP5MxxxH60(H)	DA660,000.00	DA0.00	DA1,292,751.65	DA0.00	DA0.00	DA1,952,751.65
System	DA841,000.00	DA42,427.38	-DA1,754,795.21	DA0.00	-DA7,985.26	-DA879,353.09

Tableau III-3 Résultats d'optimisation

Total NPC:	-DA879,353.10
Levelized COE:	-DA3.56
Operating Cost:	-DA133,076.80

Tableau III-4 Coût global et prix de l'énergie du système connecté au réseau

III-5-2 Conception du système PV Autonome

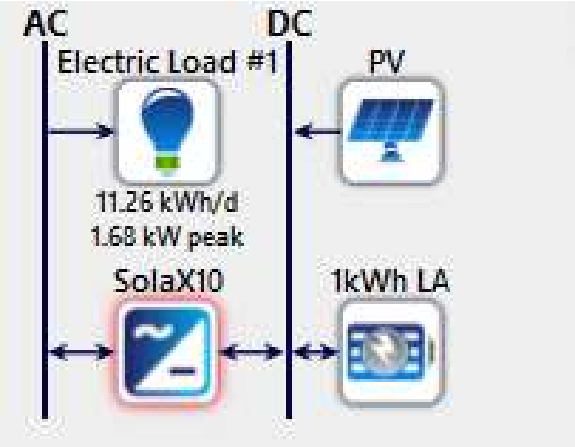


Figure III-11 Le schéma du système

Un système PV autonome est simulé sous Homer logiciel pour évaluer l'efficacité du système PV sur le toit produire de l'énergie électrique dans la ville de Médéa Commune de Médéa. Le système simulé est illustré à la figure **III-11**. Le système est composé de panneaux PV, de batteries et d'un onduleur SolaX X3-hybrid10. Les tailles et prix du panneau PV unique, de la batterie Gensériс 1kWh Lead Acidet du SolaX X3-hybrid10 onduleur sont utilisés pour déterminer la taille requise et évaluer le coût total du projet. Le profil de charge permet de déterminer la PV requise panneaux, taille de la batterie et de l'onduleur. En effet, l'augmentation de la demande de charge augmente les panneaux photovoltaïques installés requis. Dans en cas d'augmentation de charge par temps nuageux ou pendant la nuit, le système de stockage doit être suffisant pour fournir les énergies dans école primaire composée de 6 casses, salle des enseignants, 2 bureaux, cuisine, logement de fonction. Le profil de charge journalier est représenté sur la Figure **III-5**. La variation de charge montre que la consommation moyenne par heure et le jour sont respectivement de 0,555 kWh et 4,125 kWh.

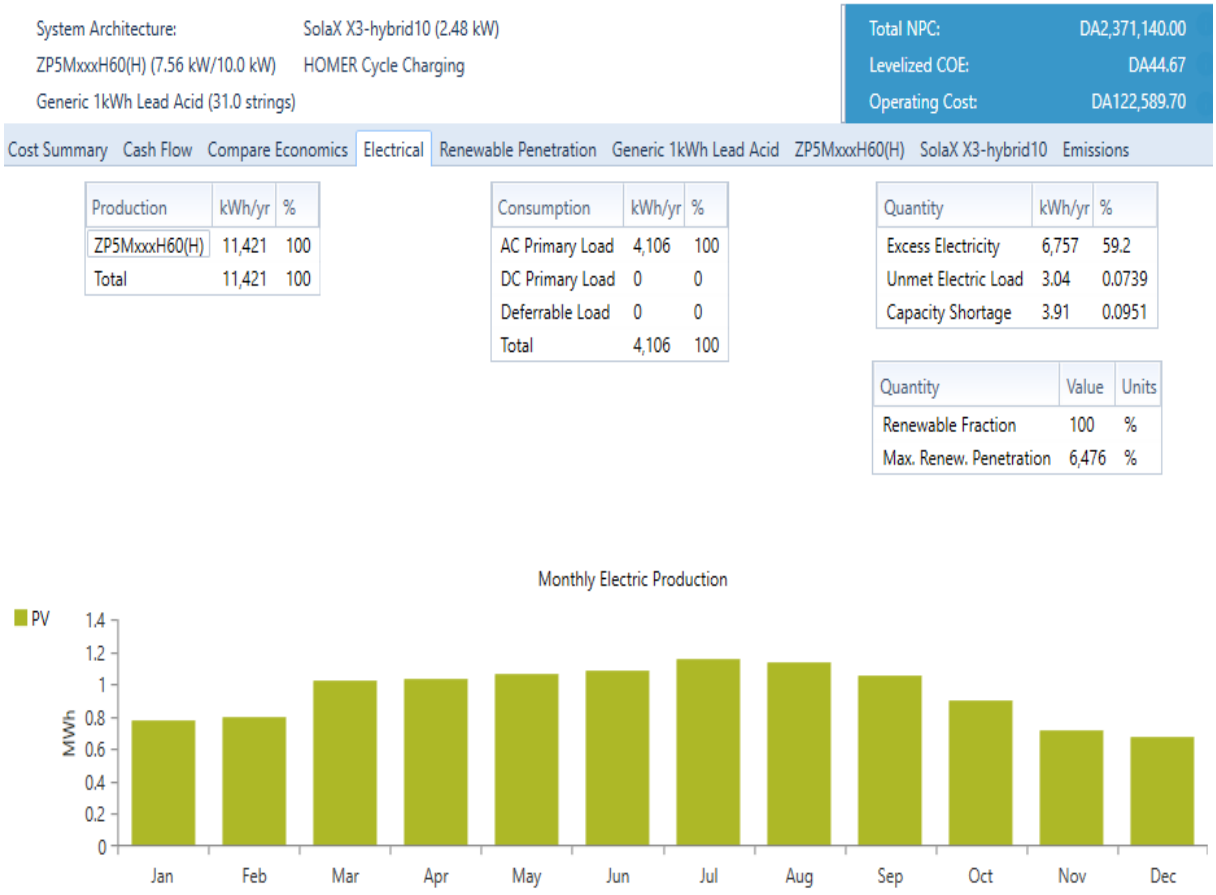


Figure III-12 Modèle de simulation de système PV autonome

III-5-2-a Résultats et discussions

Dans ce cas d'étude on a fait la simulation d'installation PV autonome alimentant une école primaire avec stockage, les résultats sont présentés dans la figure **III-12** ils montrent que: La contribution du PV est de 100 % par rapport aux besoins en éclairage de l'école primaire, et l'excès d'énergie perdu présente 59,2 % de la production PV. La production PV correspond à 100 % des besoins comme montre la figure **III-12**.[24]

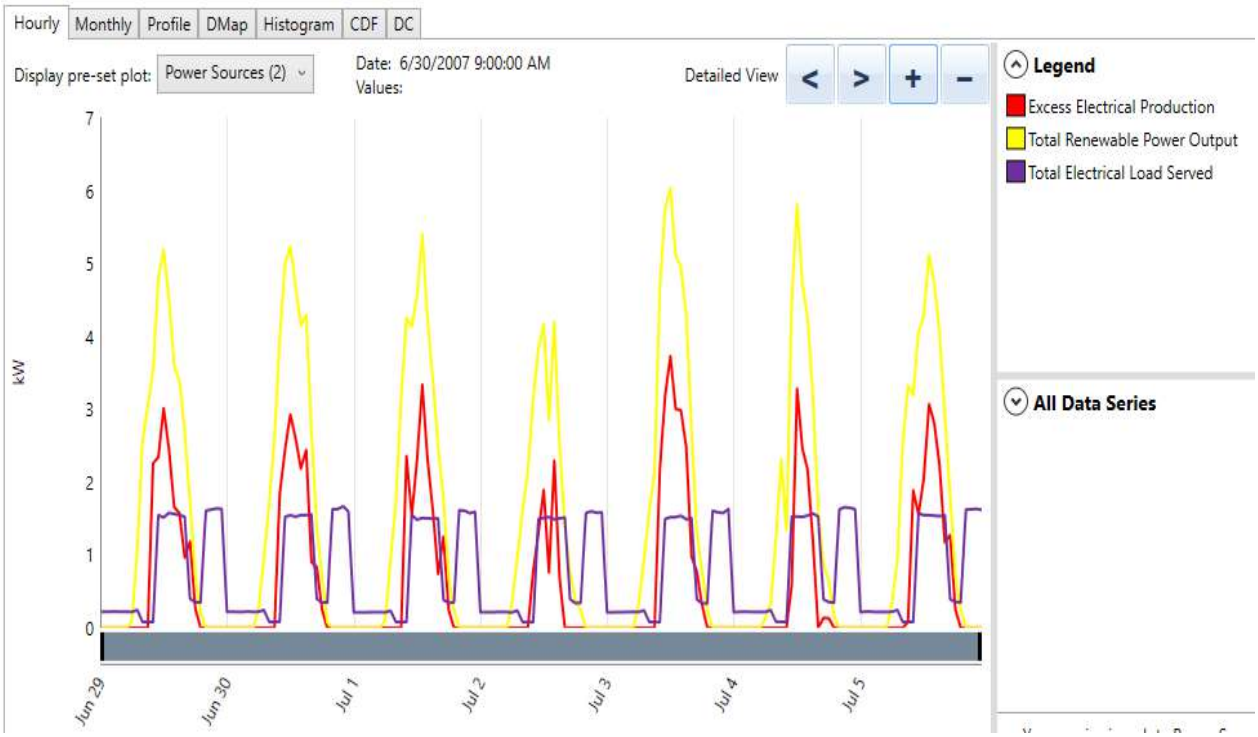


Figure III-13 Les résultats de simulation

Résultats d'optimisation autonomes

Les résultats de l'optimisation et des coûts sont résumés dans Tableau **III-5** et Tableau **III-6**, respectivement.

Component	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (DA)	Fuel (DA)	Salvage (DA)	Total (DA)
Generic 1kWh Lead Acid	DA248,000.00	DA219,092.53	DA400,753.01	DA0.00	-DA29,705.17	DA838,140.37
PV Dedicated Converter	DA100,000.00	DA42,427.38	DA129,275.17	DA0.00	-DA7,985.26	DA263,717.29
SolaX X3-hybrid10	DA22,328.42	DA0.00	DA16,036.17	DA0.00	DA0.00	DA38,364.59
ZP5MxxxH60(H)	DA416,031.08	DA0.00	DA814,886.17	DA0.00	DA0.00	DA1,230,917.25
System	DA786,359.50	DA261,519.91	DA1,360,950.52	DA0.00	-DA37,690.44	DA2,371,139.50

Tableau III-5 Résultats d'optimisation

Total NPC:	DA2,371,140.00
Levelized COE:	DA44.67
Operating Cost:	DA122,589.70

Tableau III-6. Coût global et prix de l'énergie

mois	Production électrique PV connecté au réseau Mw/h	Production électrique PV autonome Mw/h	Consommation réseau Mw/h
Janvier	1,4	0,8	0,1
Février	1,4	0,8	0,1
Mars	1,7	1	0,1
Avril	1,7	1	0,1
Mai	1,7	1	0,1
Juin	1,8	1	0,3
Juillet	2	1,1	0,3
Aout	1,9	1,1	0,3
Septembre	1,7	1	0,1
Octobre	1,5	0,8	0,1
Novembre	1,1	0,7	0,1
Décembre	1	0,6	0,1

Tableau III-7 Production et consommation durant l'année

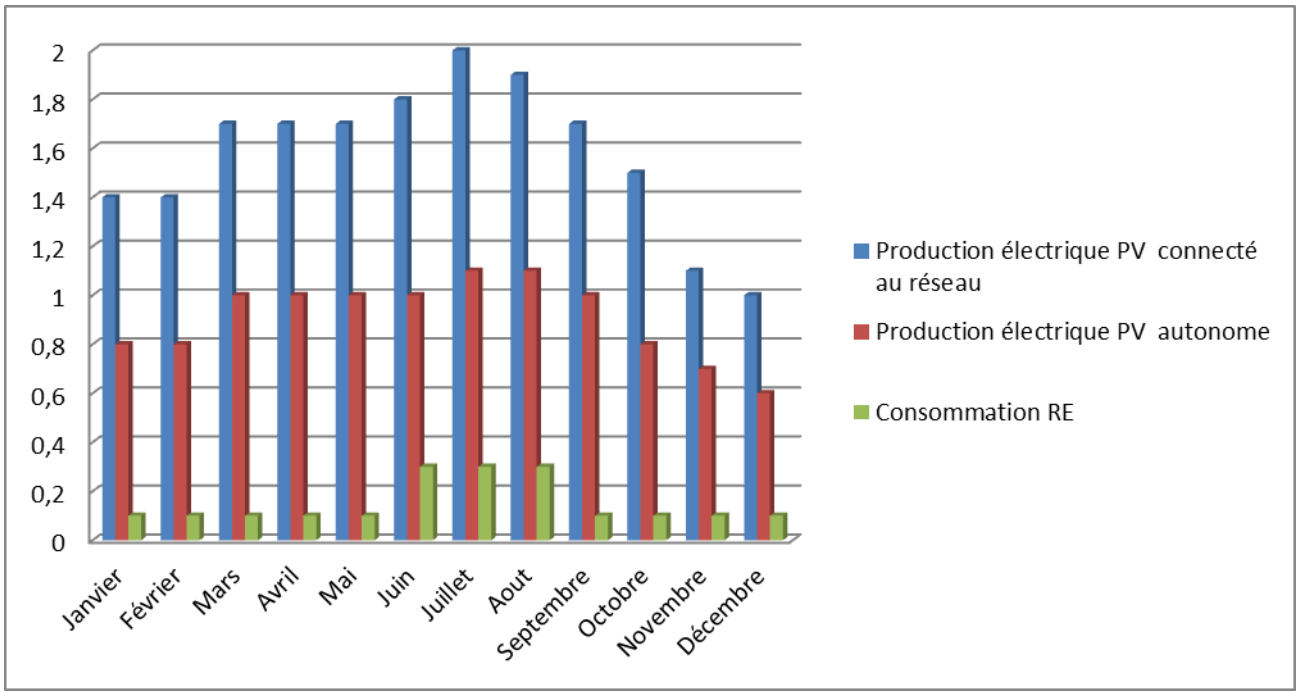


Figure III-14 Comparaison deux systèmes; Production et consommation durant l'année

III-5-2-b Conclusion

Ce chapitre s'est porte sur le dimensionnement d'un système PV au niveau du pole urbain (Ecole primaire) de la ville de Médéa et l'interprétation des résultats de simulation par logiciel HOMER Pro. Deux méthodes ont été utilisées, à savoir ; isole avec batterie et couple au réseau, on remarque que le système couple au réseau est plus efficace financièrement vu l'amortissement durant 04 ans seulement par rapport au système isole qui ne sera amorti qu'âpres 22 ans d'utilisation (proche de sa durée de vie).

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'un établissement public (Ecole primaire) sis au pôle urbain de Médéa en optimisant le dimensionnement du système pour avoir une grande fiabilité et un coût minimal.

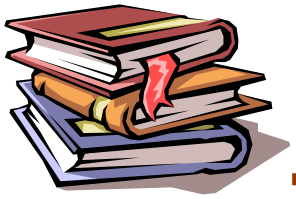
Vu la demande croissante en électricité source d'énergies conventionnelles polluantes, l'alternative d'utiliser des énergies renouvelables propres devient inévitable.

Le système photovoltaïque étudie est destiné a subvenir aux besoins énergétiques de l'établissement jour et nuit par des panneaux solaires, il se compose de modules, batteries, régulateur, onduleur, et câbles.

Le dimensionnement se fait a la base du mois le plus défavorable de l'éclairement, la simulation de deux méthodes à savoir : isole avec batteries et couple au réseau, nous a permis de conclure que la deuxième méthode est plus efficace financièrement vu l'amortissement de l'investissement pendant 04 ans seulement par rapport a l'autre méthode (isole avec batteries) qui ne sera amorti qu'âpres 22 ans d'utilisation (fin de vie du système).

Finalement, l'énergie solaire photovoltaïque reste la meilleure alternative pour la compensation de l'épuisement de ressources conventionnelles, qui arrivent a leurs fins. D'ou le développement la filière des énergies renouvelables est plus que nécessaire et va nous conduire à l'indépendance énergétique.

bibliographie



Bibliographie

[1]S.BENKHALED « Etude d'un système photovoltaïque pour l'alimentation de la Direction de l'Energie sise au pôle urbain de Médéa » mémoire de Master, université Yahia Fares. Médéa 2019

[2] Yousif El-Tous et al., "A Study of a Grid-connected PV Household System in Amman and the Effect of the Incentive Tariff on the Economic Feasibility", International Journal of Applied Science and Technology, vol. 2(2), pp. 100-105, Feb. 2012.

[3] Danny Li et al., "A study of grid-connected photovoltaic PV system in Hong Kong", Applied Energy, vol. 90, pp. 222-227, 2012

[4] T. Nacer et al., "Feasibility study and electric power flow of grid connected photovoltaic dairy farm in Mitidja (Algeria)", Energy Procedia, vol. 50, pp. 581-588, 2014.

[5] Rehman S, El-Amin I. Performance evaluation of an off-grid photovoltaic system in Saudi Arabia. Energy 2012; 46:451e8.

[6] https://hellocare.com/blog/insolation-symptomes-traitement/ 20/07/2021

[7]http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/paleo/systemclim/effet-de-serre/puissance-solaire 19/09/2017

[8] AbderrazzakElamim ,Bouchaib Hartiti,Amine Haiboui, Abderrazak Lfakir, PhilipeThevenin,Performance evaluation and economical analysis of three photovoltaic systems installed in an institutional building in Errachidia, Morocco, Energy Procedia 147C (2018) pp. 121-129.

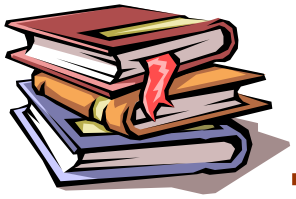
[9]https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-masse-air-14566/

[10] AMAROUAYACHE Mohamed: Contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque, Thèse de Doctorat en Sciences, Université CONSTANTINE 1,Faculté DES SCIENCES de Technologie Départementd'Electrotechnique.

[11] GAMA Salah Eddine :Etude et Commande D'une Centrale Photovoltaïque Connectée Au Réseau Electrique, mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de génie électrique

[12]http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/albedo-Camille Escudé-Joffres, septembre 2019

[13]https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-global/



Bibliographie

[14] BELFEDHAL Abdelmalek :Etude et Simulation d'une Centrale Photovoltaïque connectée au Réseau Electrique à la Région d'Adrar, Mémoire de Magister, Université Ahmed Draïa Adrar , Faculté : Science de la technologie.

[15] GHENISSA Hocine :étude comparative de l'alimentation en électrique d'un site isole par voie classique et système photovoltaïque cas de wilaya de Biskra LABRECH_ TOLGA, Mémoire de MASTER, Université Mohamed Khider Biskra, Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique.

[16]] Smaïl SEMAOUI :Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque, Mémoire MAGISTER en Science physique, université de Ouargla, faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, département des sciences physiques

[17]http://energie-developpement.blogspot.com/2011/09/fonctionnement-dune-installation.html

[18]https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaique/definition-principe-fonctionnement-photovoltaique/

[19]https://www.power-africa.com/systemes-denergies-solaires-photovoltaiques-autonomes-et-hybrides/]

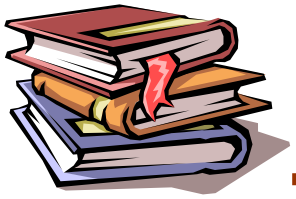
[20] https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/types-cellules-solaires.html

[21] https://energieplus-lesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/

[22] https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/rendement-panneau-solaire.html

[23]https://www.google.com/url?esrc=s&q=&rct=j&sa=U&url=https://www.researchgate.net/profile/Mohamed_Mourad_Lafifi/post/HOMER_Simulation_How_could_Homer_calculate_the_peak_load_and_the_average_load_from_the_time_step_daily_load_curve/attachment/5e01e795cfe4a777d4fd9b3e/AS%253A839576469917701%2540157718203796 9/download/12_chapter3_HOMER%2BMODELING.pdf&ved=2ahUKEwjP2pfZtIT4AhXWM-wKHRzyB84QFnoECAIQAg&usg=AOvVaw1usH9AyNYB57XmRHfGY1wn

[24] R.I. Chabira, A. Aissat, M.Hatti LATSI & LASICOM Laboratory, 3éme conference international des energies renouvelables CIER-2015 International journal of Scientific Research & Engineering Technology (LJSET) Vol.4 pp.168-174



Bibliographie