

*République algérienne démocratique et populaire Ministère de
l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane-Mira de Bejaia
Faculté de technologie
Département de génie électrique*

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme Master

Filière : énergies renouvelables

Option : énergies renouvelables en électrotechnique

Thème

**Élément de dimensionnement d'un système de production
d'énergie renouvelable, basé sur l'énergie solaire,
destiné à l'autoconsommation**

Réalisé par :

**- BAKOURI Ouassim
-BOUSSOUIRA Ilyas**

Encadré par :

- Mr SAOU Rachid

Membres du jury :

**-Mr IDJDARENE kassa
-Mme SERIR chafiaa**

2020/2021

Remerciement

On remercie, Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la foi et la patience nécessaire qui nous a guidé jusqu'à la réalisation de ce projet mais également la fin de ce périple.

On tient à remercier notre promoteur Mr Rachid SAOU pour le suivi et le précieux temps qu'il nous a accordé au bon déroulement de ce mémoire, son soutien et sa patience sans limite, qui nous a permis de mener à bien ce travail.

*On remercie les membres de jury
D'avoir consacré leur temps à la lecture de ce manuscrit, et
d'accepter de juger et d'évaluer ce travail.*

On remercie également melle Meriem SLIMANOU pour son aide, ses conseils, et son orientation.

*On tient surtout à remercier vivement notre cher ami de longue date
Mr Sofiane AISSANOU pour ses encouragements, son aide
inestimable et sa grande disponibilité.*

A toute personne ayant participé de près ou de loin à notre formation.

Dédicaces

A toutes personnes que je porte dans mon cœur

Ouassim

Dédicace

Je dédie cet événement marquant ma vie à la mémoire de mon père disparu trop tôt,
J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve
de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.

Puisse dieu le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde ...

ILYAS

Table des matières

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

Chapitre I : les énergies renouvelables à l'échelle nationale et internationale

Introduction	3
I.1. les énergies renouvelables.....	3
I.2. types d'énergies renouvelables.....	3
I.2.1. Energies solaire	3
I.2.2. énergie éolienne.....	4
I.2.3. la biomasse.....	4
I.2.4. l'énergie hydraulique	4
I.2.5. géothermie.....	4
I.3. énergies renouvelables a l'échelle nationale et internationale	5
I.3.1. énergies renouvelables dans le monde.....	5
I.3.2. énergies renouvelables en Algérie.....	6
I.3.2.1. potentiel solaire.....	7
I.3.2.2. potentiel éolienne.....	7
I.3.2.3. potentiel de l'énergie géothermie.....	8
I.3.2.4. potentiel hydraulique	8
I.3.2.5. consistance du programme de développement des énergies renouvelables en Algérie	9
I.3.3. énergies solaire dans le monde	10
I.3.4. l'énergie solaire en Algérie	12
I.4. les projets de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	13
Conclusion	15

Chapitre II : le solaire photovoltaïque et éléments constitutifs d'un système PV

Introduction	16
II.1. L'énergie solaire.....	16
II.1.1. l'énergie photovoltaïque	16
II.1.2. l'énergie solaire thermique.....	17
II.1.3. l'énergie solaire thermodynamique	17
II.2. le rayonnement solaire.....	17
II.2.1. caractéristique du rayonnement solaire.....	18
II.2.1.1. constante solaire	18
II.2.1.2. composition du rayonnement solaire	18
II.2.1.3. les différents types de rayonnement	19
II.3. Les cellules photovoltaïques	21
II.3.1. principe de fonctionnement	21
II.3.2. technologie des cellules photovoltaïques	22
II.3.3. comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque	23
II.4. Les systèmes photovoltaïques	24
II.4.1. systèmes photovoltaïque raccordée au réseau... ..	24
II.4.1.1. systèmes photovoltaïques raccordée au réseau avec injection totale	24
II.4.1.2. systèmes photovoltaïques raccordée au réseau avec autoconsommation.....	24
II.4.2. systèmes photovoltaïques non raccordée au réseau... ..	26
II.4.3. systèmes photovoltaïques hybride.....	27
II.5. les avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque	28
II.6. principaux éléments d'une installation photovoltaïque	29

II.6.1. le module photovoltaïque.....	29
II.6.1.1. les constituants d'un module PV	29
II.6.1.2. caractéristique d'un module photovoltaïque	30
II.6.1.4.association des modules photovoltaïques	31
II.6.2. le champ photovoltaïque	33
II.6.3. système de régulation	33
II.6.3.1. technologies des régulateurs de charges	34
II.6.4. système de stockage.....	34
II.6.4.1. les fonctions des batteries solaires.....	34
II.6.4.2. les technologies des batteries solaires	35
II.6.4.3. les caractéristiques principales d'une batterie	35
II.6.5. système de conversion	36
II.6.5.1. critère de choix d'un onduleur solaire	37
II.6.6. le câblage	37
II.6.6.1. câblage électrique	38
II.6.6.2. câblage de liaison.....	38
II.6.7. les systèmes de protection des installations solaires	38
II.6.7.1. protection d'un générateur PV contre les chocs électriques	39
a. protection d'un générateur PV contre les surtensions	39
b. protection d'un générateur PV contre les surintensités	39
Conclusion	40

Chapitre III : Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

Introduction	41
III.1. présentation du système étudié	41
III.1.2. coordonnées géographiques	41
III.1.3. irradiances moyennes mensuelles	43
III.2. dimensionnement du système photovoltaïque	45
III.2.1. choix des méthodes de dimensionnements	45
III.2.2. les méthodes de dimensionnements des panneaux photovoltaïques	46
III.3. les bilans de puissance et énergétique	46
III.3.1. besoins énergétiques des charges de la maison étudiée	47
III.4. dimensionnement des panneaux	48
III.4.1. caractéristique du module PV utilisé.....	48
III.4.2. calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier	49
III.5. dimensionnement et choix de l'onduleur	51
III.5.1. compatibilité en puissance	52
III.5.1.1. vérification de la compatibilité en puissance	52
III.5.2. compatibilité en tension.....	52
III.5.2.1. Vérification de la compatibilité en tension	53
III.5.3. compatibilité en courant	53
III.5.3.1. vérification de la compatibilité en courant.....	53
III.6. dimensionnement des batteries	53
III.7. la section des câbles	55
III.8. protection de l'installation photovoltaïque	56
III.9. schéma de l'installation.....	58
III.10. évaluation du coût de l'installation.....	59
conclusion	61

Liste des abréviations

PV : Photovoltaïque

Wh/m² : Wattheure par mètre carré

KWh/m² : Kilowattheure par mètre carré

Wc : watt-crête

BJ : Besoin Journalier

W : Watt

KW : Kilo Watt

Wh : Watt heure

KWh : Kilo Watt Heure

MWh : Méga Watt Heure

Ne : Nombre d'heure d'équivalent

Ppv/j : Puissance photovoltaïque journalière

Npv : Nombre de panneaux

Sc : Surface de captage

Pond-Min : Puissance minimal de l'onduleur

Pond-Max : Puissance maximal de l'onduleur

Npvs-Min : Nombre de panneaux série minimal

Npvs-Max : Nombre de panneaux série maximal

Nch : Nombre de chaine

I_{max} : Courant maximal

Ppv : Puissance photovoltaïque

C_{batt} : Capacité des batteries

N_{batt} : Nombre de batteries

N_{batt,S} : Nombre de batteries en série

N_{batt,p} : Nombre de batteries en parallèle

S : Section de câble

Pc : Puissance crête

PDD : profondeur de décharge de la batterie

EnR : énergies renouvelables

CSP : Concentrating Solar Power

Liste des figures

Chapitre I : les énergies renouvelables à l'échelle nationale et internationale

Figure I. 1 : exploitation énergie renouvelable dans le monde	6
Figure I.2 : énergie solaire au sol en Algérie, en kWh/m ² /j	7
Figure I.3 : le détail des puissances solaires photovoltaïques installées dans le monde	11

Chapitre II : le solaire photovoltaïque et éléments constitutif d'un système PV

Figure II.1 : Composition du rayonnement solaire.....	18
Figure II.2. La répartition spectrale du rayonnement solaire.....	19
Figure II.3. Types de rayonnement solaire.....	20
Figure II.4 : composantes du rayonnement solaire	21
Figure II.5 : les types de cellules que compose un PV	22
Figure II .6: Systèmes photovoltaïques raccordées au réseau avec injection totale	24
Figure II .7: Exemple de système photovoltaïque d'autoconsommation sans stockage.....	25
Figure II.8: Exemple de système photovoltaïque d'autoconsommation avec stockage.....	26
Figure II .9 : Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage	27
Figure II .10: Exemple d'installation photovoltaïque autonome avec stockage	27
Figure II.11 : Exemple d'installation photovoltaïque hybride avec stockage	28
Figure II.12 : Composantes du module photovoltaïque.....	30
Figure II.13 : Caractéristiques électriques courant/tension et puissance/tension	30
Figure II.14 : La caractéristique résultante obtenue en association en série.....	31
Figure II.15: La caractéristique résultante obtenue en association en parallèles	32
Figure II .16: la caractéristique résultante obtenue en association en parallèles/série	33

Figure.II.17 : Onduleur	37
Figure II.18 : Exemple de boite de jonction et câblage.....	38

Chapitre III : Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

Figure III.1 : localisation de l'endroit	43
Figure III.2 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau	44
Figure III.3 : Irradiation globale moyenne mensuelle journalière et les températures moyennes mensuelles	45
FigureIII.4 :porte fusible à cartouche	56
FigureIII.5 :porte fusible MC4	56
Figure III.6 :disjoncteur DC	56
FigureIII.7 :disjoncteur différentiel.....	57
Figure.III.8 : Schéma descriptif de l'installation photovoltaïque.....	58
Figure.III.9 :diagramme circulaire du devis estimatif de l'installation	60

Liste des tableaux

Chapitre I : les énergies renouvelables à l'échelle nationale et internationale

Tableau I.1: L'horizon des énergies renouvelables en 2030	09
--	----

Chapitre II : le solaire photovoltaïque et éléments constitutifs d'un système PV

Tableau II.1 : Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques	23
---	----

Chapitre III : Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

Tableau III.1 : Coordonnées géographiques de la maison	42
Tableau III.2: les températures et l'irradiation globale moyenne mensuelle	44
Tableau III.3. : Besoins en puissance et besoin journalier	47
Tableau III.4 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque DIMEL ESPMC325	48
Tableau III.5 : caractéristique mécanique du module photovoltaïque DIMEL ESPMC325	48
Tableau III.6 : calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier	49
Tableau III.7 : Résultats du dimensionnement selon le besoin journalier	50
Tableau III.8 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête	50
Tableau III.9 : Fiche technique de l'onduleur SMC 11000TL	51
Tableau III.10: Compatibilité en puissance de l'onduleur	52
Tableau III.11 : Compatibilité en tension de l'onduleur	52
Tableau III.12 : Compatibilité en courant de l'onduleur	53
Tableau III.13: Dimensionnement des batteries	54
Tableau III.14: résultat du dimensionnement des batteries	54
Tableau III.15: Calcul de la section des câbles	55
Tableau III 16: Besoin, durée de vie et coût des constituants d'installation	59

Introduction générale

Introduction générale

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire. L'énergie du Soleil est à l'origine de la plupart des sources d'énergie disponibles sur Terre. En effet, le soleil est l'élément-clé de la machine climatique de la terre et par conséquent il participe aux mouvements des vents (énergie éolienne) et de l'eau (énergie Hydroélectrique).

L'énergie solaire est utilisée sous différentes formes (thermique, Thermodynamique et photovoltaïque). Cette dernière est la plus répandue suite à sa maturité obtenue à travers les années et de sa demande constante. C'est donc celle qui nous intéresse ici dans notre étude. Son exploitation directe se fait grâce aux panneaux photovoltaïques à l'origine de sa conversion en électricité.

Le présent travail a pour objectif l'étude et le dimensionnement d'une installation solaire destinée à couvrir les besoins énergétiques d'un habitat isolé. Notre projet de fin de cycle est structuré en trois chapitres en plus de l'introduction générale, la conclusion générale.

Dans le premier chapitre, Nous allons d'abord présenter les types d'énergies renouvelables ainsi que ces différentes méthodes d'exploitation et leur production à l'échelle nationale et internationale. Nous allons aussi présenter quelques projets de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie.

Le deuxième chapitre est consacré aux principaux éléments constitutifs d'un système PV tels que la cellule, module, champ PV, batteries, régulateur, onduleurs et leurs différents branchements ainsi que leur système de protection. Seront décrits aussi les différents types de systèmes PV comme le système autonome, raccordés au réseau et le système hybride. Nous nous sommes intéressés pareillement aux différentes technologies des éléments constitutifs du système PV. Finalement nous avons exploré les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général.

Le dernier chapitre est réservé à l'étude et au dimensionnement de l'installation solaire d'un habitat isolé. Le site de l'installation est d'abord présenté, ses besoins en terme d'énergie électrique sont ensuite estimés et les éléments constitutifs de l'installation à mettre en œuvre sont déterminés un à un par une simulation sous matlab/Simulink. Nous clôturerons nos

chapitres par une étude technico-économique qui va nous aider à estimer le coût de l'installation. Et nous terminons enfin ce travail avec une conclusion générale.

Chapitre I

Energie renouvelable à l'échelle internationale et nationale

Introduction

La demande grandissante d'énergie, dans différents domaines, conduira inéluctablement à l'épuisement des ressources d'énergie fossile. De plus ; la consommation mondiale en combustibles d'origine fossiles dont l'impact sur l'environnement est avéré (réchauffement climatique, gaz à effet de serre) font que les énergies renouvelables soient la meilleure solution pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre et satisfaire le besoin énergétique, qui ne cesse d'augmenter.

Dans ce qui suit au niveau de ce chapitre nous traiterons des énergies renouvelables tant au niveau mondial qu'en Algérie

I.1. Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elle ne sont consommées. On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies tirées des combustibles fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel... Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine.

Les énergies renouvelables sont également désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres ». Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable.[2]

I.2. Types d'énergies renouvelables :

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables

I.2.1. Énergie solaire :

C'est l'énergie issue directement des rayons du soleil, on utilise des capteurs spécifiques afin d'absorbé cette énergie des rayonnements solaire et de la rediffuse selon deux principaux modes de fonctionnement :

- Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) : l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité

- Solaire thermique (panneaux solaires thermique) : l'énergie solaire est captée en vue de production de la chaleur [2]

I.2.2. Énergie éolienne :

L'énergie cinétique du vent entraîne un générateur qui produit de l'électricité, on compte plusieurs types d'énergies renouvelables éoliennes : les éoliennes terrestres, les éoliennes off-shore, les éoliennes flottantes... Mais le principe reste globalement le même. [2]

I.2.3. La Biomasse :

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol). On en distingue trois catégories principales :

- Le bois
- Le biogaz
- Les biocarburants. [4][2]

I.2.4. L'énergie hydraulique :

L'énergie cinétique de l'eau (fleuves et rivières, barrages, courants marins, marées) actionne des turbines génératrices d'électricité. [2]

I.2.5. Géothermie :

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et la production de chaleur. En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C).[5]

I.3. Énergies renouvelables à l'échelle nationale et internationale :

I.3.1. Énergies renouvelables dans le monde :

Face au réchauffement climatique, à l'épuisement des ressources naturelles et à la dégradation de l'environnement, les sociétés humaines cherchent de plus en plus à modifier leurs modes de production et de consommation de façon à être plus écologiques. Parmi les grands enjeux de cette transition écologique, l'énergie est sans doute l'un des plus importants. En effet l'énergie que nous produisons au quotidien pour soutenir nos modes de vie pose de nombreux problèmes environnementaux : 33 milliards de tonnes de CO₂ ont été émises en 2018 à cause de la production d'énergie selon l'Agence Internationale de l'Énergie, par exemple. C'est pourquoi partout dans le monde se développe l'idée de la transition énergétique : changer nos modes de production énergétique pour moins polluer. [6]

D'après le rapport de 2018 de l'Agence Internationale de l'Énergie, les énergies renouvelables représentent 16.4% de la consommation finale d'énergie dans le monde. C'est environ 1% de plus qu'en 1990 (15.5%). En regardant ces chiffres, on pourrait se dire que la progression des énergies renouvelables dans le monde est très faible : moins de 1% en plus de 25 ans. Pourtant, ce chiffre cache une réalité bien différente ! [42]

En effet, depuis les années 1990, parmi les différents types d'énergie renouvelable, certaines ont un peu baissé alors que d'autres ont fortement augmenté. La biomasse (notamment le bois qu'on utilise pour se chauffer) par exemple, représente une part moins importante de la consommation d'énergie aujourd'hui qu'en 1990. Cette part a en effet baissé de 1.3%. Mais dans le même temps, d'autres types d'énergies renouvelables ont considérablement augmenté : c'est notamment le cas de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire, et même de l'énergie hydro-électrique. La production d'énergie éolienne par exemple est passée de 3.4 TWh en 1990 à 790 TWh en 2016 : elle a donc été multipliée par 226 ! Pour le solaire, ce sont les mêmes ordres de grandeur : en 1990, on consommait 0.58 TWh d'électricité d'origine solaire, pour 279 TWh en 2016 (près de 500 fois plus). [42]

Cela prouve que depuis près de 30 ans, les énergies renouvelables et notamment l'électricité d'origine renouvelable n'a cessé d'augmenter. [6]

Les énergies renouvelables sont donc appelées à se développer encore largement, partout dans le monde. Que ce soit le solaire, l'éolien ou encore l'hydroélectricité et même les bioénergies comme le bio méthane, toutes profitent aujourd'hui de perspectives de développement particulièrement intéressantes. Et c'est une bonne nouvelle, car les énergies renouvelables sont un bon moyen de soutenir la transition énergétique.

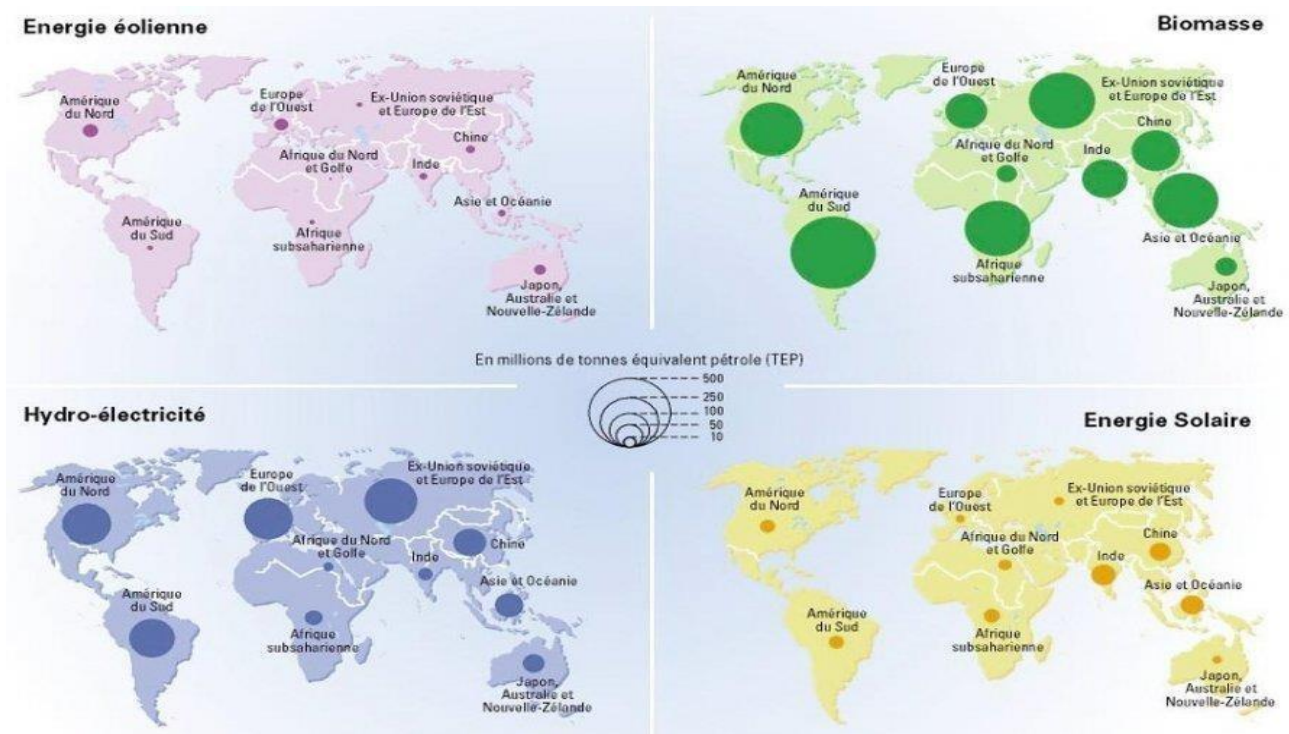


Figure I.1 : exploitation énergie renouvelable dans le monde

I.3.2. Énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable. [7]

Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.

Le programme d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergies à l'horizon 2030 de l'ordre de **63** millions de TEP, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment et éclairage public, transport, industrie) et ce, en introduisant l'éclairage performant, l'isolation thermique et les chauffe-eau solaires, les carburants propres, et les équipements industriels performants. Le programme de l'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO2 de 193 millions de tonnes. [7]

I.3.2.1. Potentiel Solaire :

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud. [7]

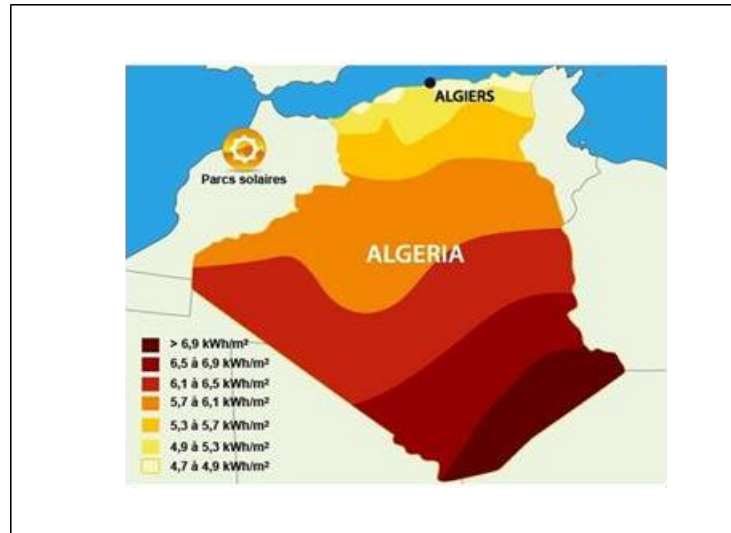


Figure I.2 : énergie solaire au sol en Algérie, en kWh/m²/j. [7]

I.3.2.2. Potentiel Eolien :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen qui est caractérisé, par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien.

Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s et qui dépassent la valeur de 8 m/s dans la région de Tamanrasset (In Amguel).

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El bayadh (6 à 7 m/s), et le Grand Sud (>8m/s). [7]

I.3.2.3. Potentiel de l'Energie Géothermique :

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone d'Aïne Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk [7]

I.3.2.4. Potentiel Hydraulique :

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m³, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m³, dont environ 2/3 pour les ressources en surface. 103 sites de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation [7]

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique. 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. Cela n'exclut pas

Energie renouvelable à l'échelle internationale et nationale

pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets expérimentaux en biomasse, en géothermie et en cogénération.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes:

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie. [7]

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable. [7]

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme EnR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects. D'ici 2030, 37 % de la capacité seront installée et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.

I.3.2.5. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables en Algérie

La consistance du programme en énergie renouvelable à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière comme suit (Tableau I.1) : [5]

Unité : MW	1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	TOTAL
Photovoltaïque	3 000	10557	13 575
CSP	-	2 000	2 000
Eolien	1 010	4 000	5 010
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22 000

Tableau I.1: L'horizon des énergies renouvelables en 2030 [7]

I.3.3. Énergies solaire dans le monde :

L'énergie solaire photovoltaïque s'est d'abord développée pour satisfaire des besoins électriques en sites isolés, tels que les régions de montagnes, les îles et les zones rurales des pays en développement, particulièrement en Afrique et en Asie. Depuis le début des années 2000, le développement de l'énergie solaire photovoltaïque a pris une toute autre dimension, à l'échelle mondiale, suite à la prise de conscience de l'enjeu environnemental lié au réchauffement climatique et à la nécessité de développer des énergies renouvelables, non émettrices de CO₂.

Des politiques publiques de soutien aux énergies renouvelables en Europe, au Japon, aux Etats-Unis, en Australie et plus récemment en Chine ont créé un boom de la demande mondiale en panneaux solaires, permettant à l'industrie solaire de se développer massivement et de réduire ses coûts de production. Toutefois, un coup d'arrêt brutal à ces politiques de soutien a été donné en 2008-2009 en raison de la crise financière internationale. Les politiques de réduction des déficits publics depuis 2010 n'ont pas permis de soutenir à nouveau les énergies renouvelables et le secteur photovoltaïque tout entier s'est retrouvé en surcapacité de production, au niveau mondial. S'en est suivi une série de fermetures de sites de production de panneaux solaires ainsi que des rachats d'entreprises, conduisant à une plus grande concentration du secteur.

Le grand avantage de la période de massification de la production de panneaux solaires est la réduction drastique des coûts et donc des prix, permettant désormais à l'énergie solaire d'être à la fois plus accessible pour la réalisation des projets en sites isolés et de plus en plus compétitive par rapport aux autres sources d'énergie (pétrole, charbon, nucléaire), atteignant progressivement et pays après pays la parité réseau. Cette baisse des prix conjuguée aux nouvelles politiques de lutte contre le changement climatique a relancé vigoureusement la demande d'installations photovoltaïques dans le monde. Les investissements annuels en énergies renouvelables dépassent désormais les investissements en énergies fossiles. La tendance devrait s'amplifier sous l'effet de la baisse continue du prix des panneaux photovoltaïques, appelés à devenir les grands vainqueurs de la transition énergétique.

Les principaux pays producteurs de cellules solaires et de panneaux solaires sont la Chine, les Etats-Unis, le Japon et l'Allemagne. La puissance installée dans le monde est passée de quelques MegaWatts au début des années 2000 à 102 GigaWatts fin 2012 puis 227 GigaWatts fin 2015 et 300 GigaWatts fin 2016. Le rythme d'installation de puissance solaire photovoltaïque est actuellement de plus de 70 GigaWatts par an. C'est en Asie, notamment en Chine et en Inde, que plus de la moitié des installations solaires sont réalisées. Ci-dessous le détail des puissances solaires photovoltaïques installées dans le monde :

Production d'électricité solaire photovoltaïque (TWh)

Pays	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	% 2016	2017*	2018*
 Chine	0,7	2,6	6,4	15,5	29,2	44,8	75,3	23,0 %	117,8	177,5
 États-Unis	3,1	5,3	9,2	14,9	23,1	32,1	46,6	14,2 %	74,0	92,6
 Japon	3,5	4,8	6,6	12,9	23,0	34,8	51,0	15,5 %	61,8	71,7
 Allemagne	11,7	19,6	26,4	31,0	36,1	38,7	38,1	11,6 %	39,4	46,2
 Italie	1,9	10,8	18,9	21,6	22,3	22,9	22,1	6,7 %	24,4	22,7
 Inde	0,1	0,8	2,1	3,4	4,9	5,6	14,1	4,3 %	21,5	30,7
 Royaume-Uni	0,04	0,2	1,4	2,0	4,1	7,5	10,4	3,2 %	11,5	12,9
 France	0,6	2,1	4,0	4,7	5,9	7,3	8,2	2,5 %	9,6	10,2
 Espagne	6,4	7,4	8,2	8,3	8,2	8,3	8,1	2,5 %	8,5	7,8
 Australie	0,4	1,4	2,3	3,5	4,0	5,0	6,2	1,9 %	9,0	12,1
 Corée du Sud	0,8	0,9	1,1	1,6	2,6	4,0	5,1	1,6 %	7,1	9,3
 Chili				0,01	0,5	1,3	2,6	0,8 %	3,9	5,1
 Afrique du Sud				0,05	1,1	2,2	2,6	0,8 %	4,3	4,9
 Thaïlande	0,1	0,1	0,5	1,0	1,6	1,9	2,7	0,8 %	4,5	4,7
 Grèce	0,2	0,6	1,7	3,6	3,8	3,9	3,9	1,2 %	4,0	3,8
 Belgique	0,6	1,2	2,1	2,6	2,9	3,1	3,1	0,9 %	3,3	3,6
 Canada	0,3	0,6	0,9	1,5	2,1	2,9	3,1	0,9 %	3,3	3,5
 Pays-Bas	0,06	0,1	0,2	0,5	0,8	1,1	1,6	0,5 %	2,2	3,2
Monde	32,2	63,2	99,0	139,5	190,2	250,2	328,0	100 %	453,5	584,6

Figure I.3 : le détail des puissances solaires photovoltaïques installées dans le monde

La recherche et développement dans le domaine de l'énergie solaire reste principalement axée sur l'amélioration des rendements des cellules solaires, qui permet de gagner de la puissance surfacique donc de réduire le coût du Watt crête. L'industrie solaire est ainsi passée de 15% à 25% de rendement maximal des cellules solaires en l'espace d'une vingtaine d'années. D'autres techniques permettent d'augmenter le rendement solaire des installations photovoltaïques : il s'agit des panneaux solaires à concentration, qui consistent à concentrer jusqu'à 1000 fois les rayons du soleil sur une cellule solaire grâce à un jeu de lentilles optiques. La technique des trackers est un autre moyen d'augmenter le rendement des installations solaires. Elle consiste à installer les panneaux solaires sur des structures inclinables qui suivent la course du soleil, captant ainsi le maximum d'énergie solaire tout au long de la journée.

En conclusion, on peut dire que l'industrie de l'énergie solaire photovoltaïque est suffisamment structurée, puissante et performante pour continuer sa croissance et apporter au monde une énergie propre, sûre et durable.[8]

I.3.4. L'énergie solaire en Algérie :

L'Algérie est probablement le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale, de même que les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation de ce potentiel énergétique qui est lié à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité, puissance et, sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes. [9]

En effet, ce pays dispose de l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde avec une durée d'insolation de 2.000 à 3.900 heures par an, et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/M2, soit l'équivalent de 10 fois la consommation mondiale. Eu égard à ces statistiques favorables au développement de l'énergie photovoltaïque, le gouvernement algérien avait décidé de lancer dès l'année 2011, un programme à long terme d'énergie renouvelable de 22.000 MW destiné à la production d'électricité qui se faisait jusqu'alors à base d'énormes quantités de gaz. Le programme en question prévoyait la mise en place à l'horizon 2030, d'une capacité de production d'électricité de 12.000 MW exclusivement destinée au marché intérieur. Tout un éventail d'énergies renouvelables parmi lesquels 7.200 MW en thermo solaire et 2.800 MW en photovoltaïque devaient en être issus. Une tranche supplémentaire de 10.000 MW était même prévue pour être exportée vers la Tunisie et le Maroc. L'objectif ouvertement affiché était d'économiser au maximum le gaz naturel en grande partie destiné à l'exportation. [9] Mais comme le lancement de ce programme a pris du retard et que les technologies solaires avaient entre temps beaucoup évolué, le gouvernement algérien a décidé en février 2015 de modifier de façon importante le programme initial. La capacité de production envisagée est certes restée la même avec de 22.000 MW, mais elle est entièrement destinée à la production d'électricité avec 10.575 MW en photovoltaïque, 4.000 MW en éolien, 2.000 MW en thermo-solaire, et le reste entre la biomasse, la cogénération, et la géothermie.

L'objectif de ce programme était motivé par le constat fait à l'époque par rapport à trois facteurs importants : Une baisse des réserves restantes en hydrocarbures et une relative stagnation de la production depuis 2007, un accroissement rapide de la consommation nationale d'énergie qui se fait au détriment des exportations et le constat d'une mutation à l'échelle mondiale vers les énergies renouvelables dont l'Algérie est potentiellement bien lotie. [9]

Il n'a malheureusement été réalisé entre 2011 et 2017 qu'une capacité de 354 MW d'énergie photovoltaïque, avec toutefois quelques prometteuses initiatives privées notamment dans la production de panneaux photovoltaïques encore embryonnaire en Algérie.

Le démarrage effectif de cet ambitieux programme commencera cette année à la faveur d'un appel d'offre portant réalisation durant les deux prochaines années d'une première tranche de 4050 MW. La composante énergétique du programme prévoit la création d'un partenariat destiné à financer, construire et exploiter plusieurs centrales photovoltaïques de 1030 MW chacune.

La composante industrielle vise quant à elle à financer, réaliser et exploiter un certain nombre d'usines d'équipements et de composants destinés aux centrales photovoltaïques. Pour ce faire, Sonatrach tout comme Sonelgaz, privilégient la formule du partenariat avec des sociétés nationales et étrangères qui maîtrisent le mieux la fabrication des équipements et les métiers divers des énergies renouvelables. Des actions concrètes ont déjà été engagées dans ce sens. [9]

I.4. Les projets de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie :

Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc d'ici 2020. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030, la plupart de ces projets sont représentés comme suite [8] :

I.4.1. Projets EnR réalisés dans le cadre du Programme d'électrification rurale 1995-1999

: Electrification à l'énergie solaire de 906 foyers répartis sur 18 villages isolés du grand sud de l'Algérie, dans les wilayas de Tamanrasset, Adrar, Illizi et Tindouf [9]

I.4.2. Projets et actions de la phase 2011-2014 du Programme national des énergies

renouvelables : La phase d'expérimentation du programme (2011-2014) a connu la réalisation de plusieurs projets [10]

- La Centrale électrique hybride (gaz-solaire) de Solar Power Plant (SPP1) à Hassi R'Mel de 150 MW dont 25 MW en solaire thermique (CSP), mise en service en juillet 2011
- La ferme éolienne de 10 MW de la Société Algérienne de Production de l'Electricité dénommée SPE dans la région d'Adrar, mise en service en juin 2014
- La centrale pilote photovoltaïque de 1,1 MWc à Ghardaïa, mise en service en juin 2014
- La Centrale photovoltaïque 03 MW de Djanet (Illizi), mise en service en février 2015

Energie renouvelable à l'échelle internationale et nationale

- La Centrale photovoltaïque 20 MW de Adrar (Adrar), mise en service en octobre 2015
- La Centrale photovoltaïque 03 MW de Kabertene (Adrar), mise en service en octobre 2015
- La Centrale photovoltaïque 13 MW de Tamanrasset (Tamanrasset), mise en service en novembre 2015
- La Centrale photovoltaïque de 09 MW Tindouf (Tindouf), mise en service en décembre 2015
- La Centrale photovoltaïque de 06 MW Zawyat Kounta (Adrar), mise en service en janvier 2016
- La Centrale photovoltaïque 09 MW de Timimoune (Adrar), mise en service en février 2016 ;
- La Centrale photovoltaïque 05 MW de Reggane (Adrar), mise en service en janvier 2016
- La Centrale photovoltaïque 05 MW d'In-Salah (Tamanrasset), mise en service en février 2016
- La Centrale photovoltaïque 05 MW d'Aoulef (Adrar), mise en service en mars 2016
- La Centrale photovoltaïque 20 MW d'Ain El-Ibel (Djelfa), mise en service en avril 2016
- La Centrale photovoltaïque 20 MW de Khnag (Laghouat), mise en service en avril 2016
- La Centrale photovoltaïque 15 MW d'Oued El-Kebrit (Souk Ahras), mise en service en avril 2016
- La Centrale photovoltaïque 20 MW de Sedrate Leghzal (Nâama), mise en service en mai 2016
- La Centrale photovoltaïque 30 MW d'Ain-Skhouna (Saida), mise en service en mai 2016.

Conclusion

De ce qui précède nous avons montré l'engouement des nations à la généralisation de l'utilisation des énergies renouvelables dans le monde eu égard à leurs bienfaits sur l'écosystème. Les enjeux et les stratégies du développement durable adoptés lors des différents sommets ont amené les pays ayant paraphé ces protocoles à réduire leurs émissions atmosphériques pour diminuer la température mondiale.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. C'est pour cela le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque.

Chapitre II

Le solaire photovoltaïque et éléments constitutif d'un système PV

Introduction

On distingue plusieurs formes d'énergies existantes qui sont donc disponibles indéfiniment, celle qui nous intéresse ici c'est l'énergie solaire qui est parmi les plus anciennes énergies domptées par l'homme, elle a l'avantage d'être non polluante, inépuisable. Dans ce premier chapitre, nous décrivons des généralités sur le système photovoltaïque, (la définition de l'énergie solaire photovoltaïque, type de système photovoltaïque, cellules PV, système de stockage...etc.). Finissant par Principaux éléments d'une installation photovoltaïque

II.1 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet pas directement de CO₂.

Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux solaires ou des centrales thermiques. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité.

Plus précisément, le principe est de transformer l'énergie portée par les photons dans la lumière, en électricité. C'est là que rentre en jeu la cellule photovoltaïque : lorsqu'elle est exposée à la lumière, elle absorbe l'énergie des photons lumineux. Ces derniers génèrent un courant électrique continu qui sera converti en courant alternatif à l'aide d'un onduleur.

Cette électricité produite peut être immédiatement employée pour faire fonctionner vos appareils ou vous éclairer [11], il existe différents types d'énergies solaires [11]:

II.1.1. L'énergie photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par l'énergie des rayonnements du soleil. C'est la raison pour laquelle les panneaux photovoltaïques qui vont les récolter, se trouvent installés sur les toits, avec la meilleure orientation possible. Le but est qu'ils soient exposés un maximum aux rayonnements du soleil, pour récolter les photons du soleil, et en faire ensuite de l'électricité. La composition des panneaux solaires est conçue de telle sorte que la superposition des couches, chargées négativement ou positivement, produit une tension électrique quand un photon les traverse. Un fil raccordé à une borne positive et un autre à la borne négative, un peu à l'image d'une pile, permet de mettre à profit l'énergie ainsi produite.

II.1.2. L'énergie solaire thermique :

Les panneaux solaires thermiques contiennent des fluides caloporteurs. Une fois qu'ils sont chauffés par le soleil, les fluides commencent à chauffer le ballon d'eau chaude.

L'énergie solaire thermique sert aussi bien pour alimenter :

- Un chauffage solaire
- Un chauffe-eau
- Une cuisinière

II.1.3. L'énergie solaire thermodynamique :

L'énergie solaire thermodynamique est produite via des centrales solaires à concentration. Il s'agit d'un assemblage de miroirs contenant des fluides caloporteurs, couplés à un générateur d'électricité solaire.

À l'image des panneaux solaires thermiques, ce sont les miroirs qui transforment l'énergie collectée par les rayons du soleil, en chaleur.

Cette chaleur a une température très élevée. Bien supérieure à la température à laquelle elle a été collectée. Elle peut aller de 250 à 800 degrés selon la technique employée.

Cette chaleur sera convertie en électricité au moyen d'un turbo-alternateur.

II.2. Le rayonnement solaire :

Le soleil est une sphère de plasma (matière complètement ionisée), dont la masse est 2×10^{30} , soit 332 500 fois la masse de la terre. C'est le siège de réactions thermonucléaires et exothermiques transformant des noyaux d'hydrogène (protons) en noyaux hélium (deutons) avec une émission d'énergie qui donne naissance à un rayonnement électromagnétiques reparté sur un très large spectre de longueurs d'onde comprises entre 10^{-10} et 10^4 mètres. La terre reçoit une puissance de 1.35 kW/m^2 et sa distance moyenne au soleil est $1,496 \times 10^8$.

[12]

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toute une gamme de rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible (figure II.1). Il contient également des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Le rayonnement solaire arrive à la limite de l'atmosphère terrestre après un trajet dans l'espace d'environ 150 millions de km, traversé moyennant 499 secondes, soit 8

minutes et 19 secondes. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre-atmosphère. [13]

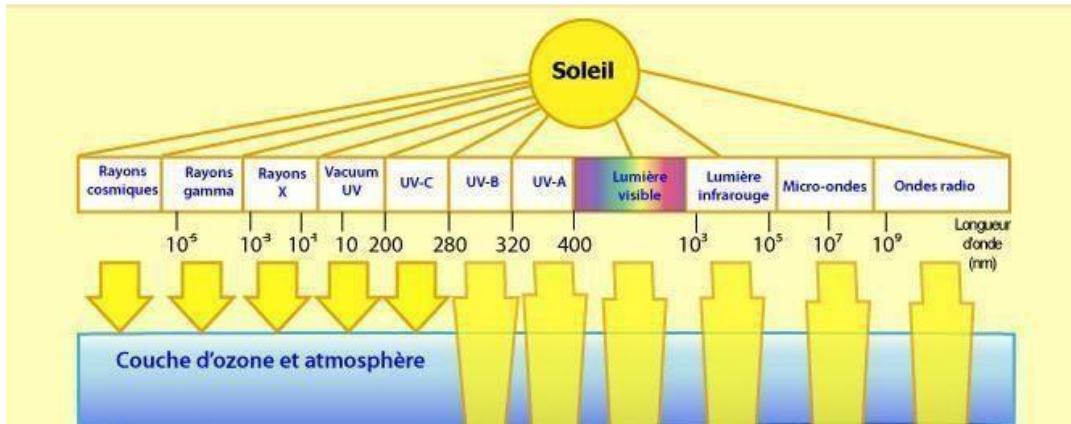


Figure II.1 : Composition du rayonnement solaire [14]

II.2.1. Caractéristiques du rayonnement solaire

II.2.1.1. Constante solaire :

La constante solaire est la quantité d'énergie reçue sous forme de rayonnement solaire par unité de temps et unité de surface. La constante solaire est mesurée dans la partie extérieure de l'atmosphère terrestre dans un plan perpendiculaire aux rayons du Soleil. Les résultats de sa mesure par satellites donnent une valeur moyenne de 1366 W / m^2 [15]

II.2.1.2. Composition du rayonnement solaire :

Lors du passage de l'irradiation solaire à travers l'atmosphère, certaines modifications de ses propriétés se produisent.

En effet, elle subit une diffusion et une absorption par les gaz et les composants de l'atmosphère (molécules d'air, vapeur d'eau, ozone, etc.). Le spectre solaire s'étend des plus petites longueurs d'ondes (rayons gamma) vers les grandes ondes radioélectriques. [16]

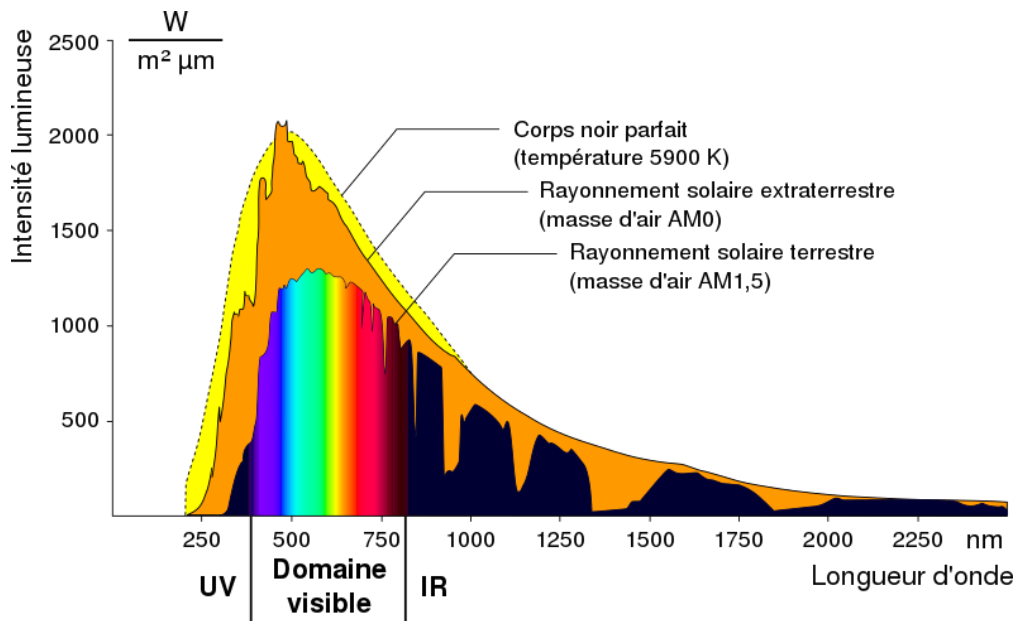


Figure II.2. La répartition spectrale du rayonnement solaire.

II.2.1.3. Les différents types de rayonnements :

En raison des caractéristiques de l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire subit certaines altérations pour le traverser et atteindre la surface. et donc il se distingue en plusieurs types :

- **Le rayonnement solaire incident (direct) :** est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère sans subir de modifications. C'est un rayonnement qui rencontre tout obstacle auquel il a donné tout ou partie de son énergie. L'énergie qui n'atteint pas la surface de la terre est dite éteinte et est formée par un rayonnement réémis, réfléchi et rétrodiffusé dans l'espace. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. [15].
- **Le rayonnement solaire diffus :** Aussi appelé rayonnement indirect est constitué de photons diffusés par l'atmosphère dans toutes les directions (air, nébulosité, aérosols). Le phénomène de diffusion représente la portion du rayonnement solaire qui a touché au moins une particule de gaz atmosphérique en modifiant l'angle d'incidence et qui, cependant, atteint le sol car il est dirigé vers lui. [15][13]
- **Rayonnement solaire réfléchi :** Le rayonnement solaire réfléchi est la partie du rayonnement réfléchi par la surface terrestre en raison de l'effet albédo. Il dépend de l'environnement du site. Ce terme étant généralement réservé au sol, c'est une valeur

moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition ; le corps noir possède un albédo nul. [15] [13]

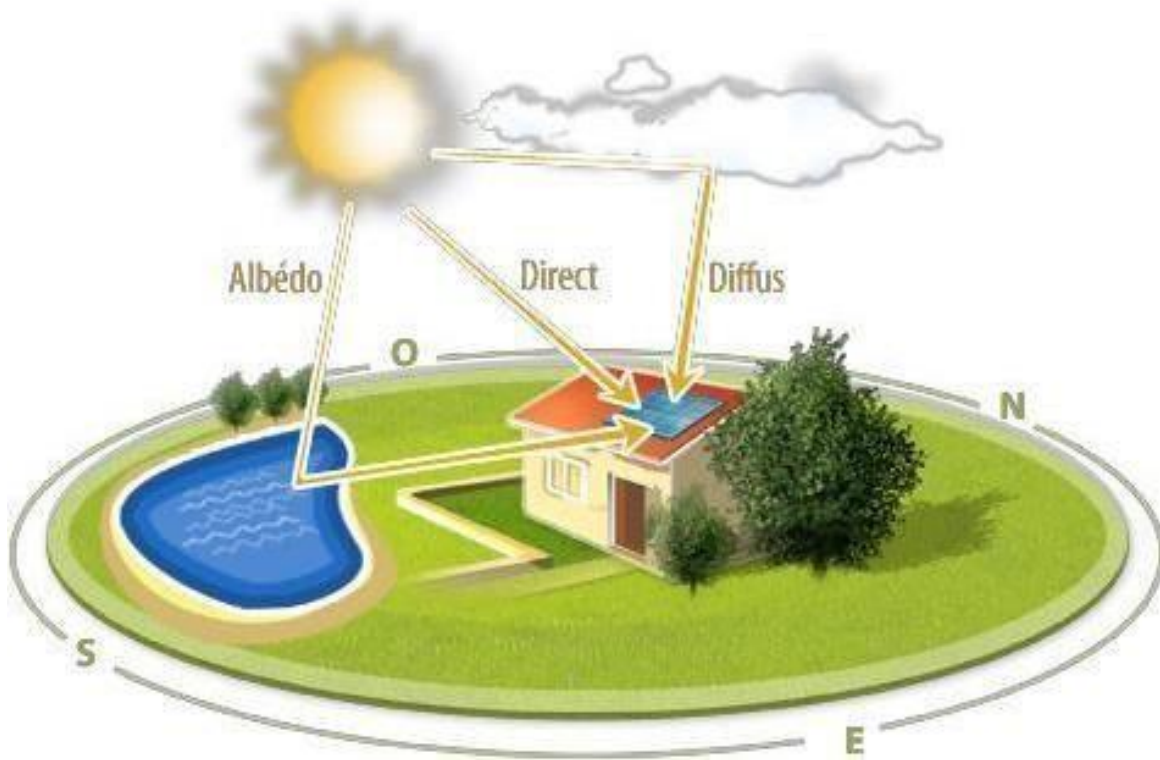


Figure II.3. Types de rayonnement solaire

- **Rayonnement solaire absorbé :** Rayonnement absorbé par l'atmosphère. Cette absorption est dite sélective, car elle s'opère pour des valeurs de longueur d'onde bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène (**Figure II.4**) [15] [13]

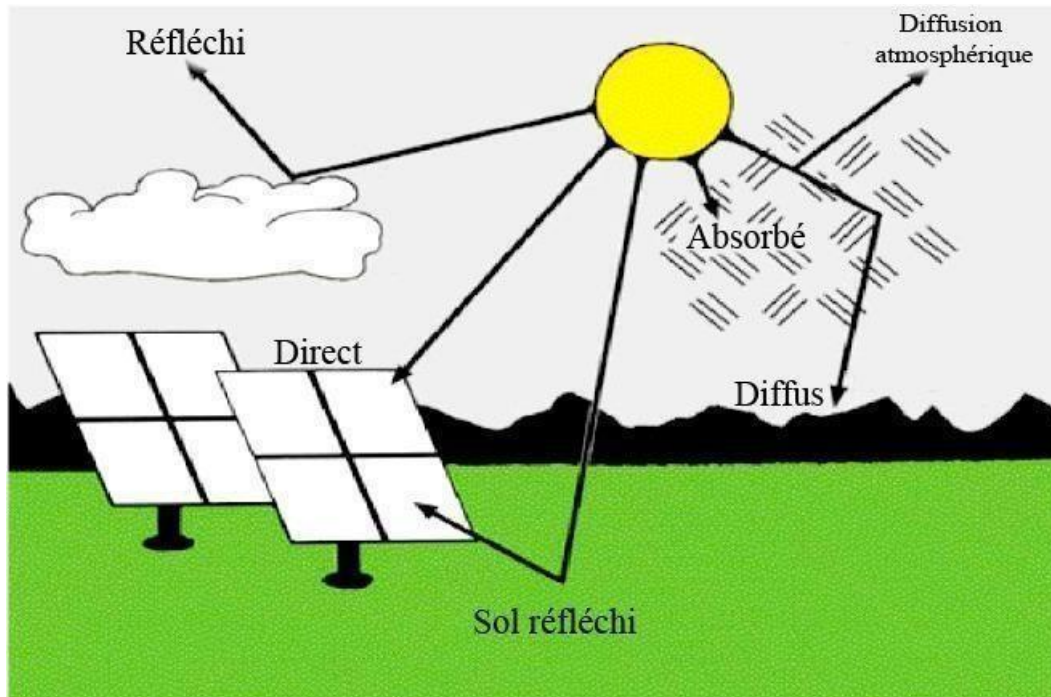


Figure II.4 : composantes du rayonnement solaire. [17]

II.3. La cellule photovoltaïque :

La cellule PV constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable et renouvelable qui est le soleil. Ce mode de conversion repose sur l'effet photovoltaïque.

II.3.1. Principe de fonctionnement :

Elle est constituée de deux couches de silicium que l'on a exposées au préalable à des faisceaux d'ions, l'une à des ions de phosphore(-), l'autre à des ions de bore(+). La première couche présente un excédent d'électron et l'autre un déficit, elles sont dites respectivement dopée N et dopée P. Ce procédé est appelé le « dopage » et sert à créer un champ électrique entre les deux zones où se crée une jonction dite PN, et dirigé de la zone (P) vers la zone (N).

Lorsque les deux couches dopées sont mise en contact, les électrons en excès dans le matériau dopé N diffusent dans le matériau dopé P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P ; une jonction dite PN a été formée. Les photons ayant une énergie excitent les atomes de silicium et créent des charges positives et négatives, ainsi les électrons et les trous

créés respectivement dans les régions P et N diffusent et atteignent la zone de charge d'espace, accélérés par le champ électrique interne, ils traversent la zone de transition. La région N reçoit des électrons et se charge négativement, la région P accepte des trous et se charge positivement. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, créant ainsi un courant électrique. [18]

II.3.1. Technologie des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant quel que soit le type, le rendement reste assez faible entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Les cellules les plus utilisées sont :

- **Silicium monocristallin :**

Les cellules monocristallines sont des photopiles élaborées à partir de silicium cristallisé en un cristal unique. Leur rendement est de 10 à 16 %, mais leur fabrication est complexe et consommatrice d'énergie.

- **Silicium poly cristallin :**

Les cellules poly cristallines sont fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Leur rendement moyen est de 11 à 13 %, et leur coût de production est un peu moins élevé que celui des cellules monocristallines.

- **Silicium amorphe :**

Les cellules amorphes se composent de couches de silicium très minces appliquées sur un support en verre, en plastique souple ou en métal. A l'origine, leur rendement était plus faible (6 à 10%), mais la technologie évolue rapidement, ils fonctionnent avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel de 2 à 3000 lux). [19]

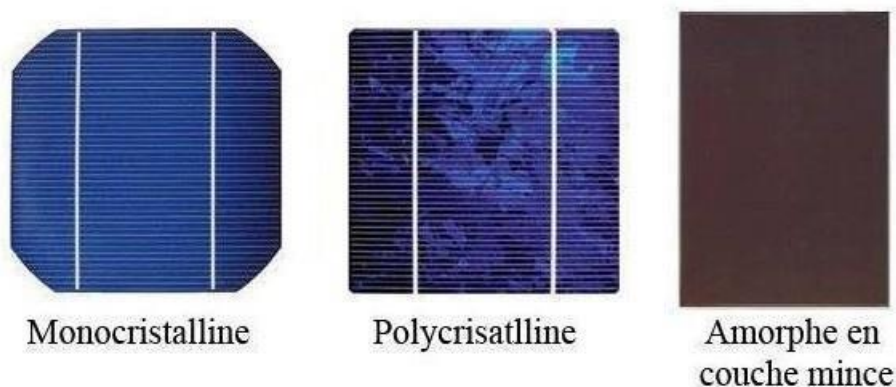


Figure II.5 : les types de cellules que compose un PV. [20]

II.3.2. Comparatif des différentes technologies de la cellule photovoltaïque :

Les types et technologies de cellules photovoltaïques citées ci-dessus sont différents et ces différences nous ont permis d'élaborer un tableau comparatif. Nous montrons dans ce tableau (**Tableau. II.1**) les caractéristiques des différentes cellules classées par leur rendement, longévité et leurs principales utilisations.

Matériaux	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium monocristallin	10 à 16% (24,7% au laboratoire)	20 à 30 ans	*Très performant *Stabilité de production *Méthode de production couteuse et laborieuse	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium Poly cristallin	11 à 13% (19.8% en laboratoire)	20 à 30 ans	*Très performant *Stabilité de production *Plus facile à fabriquer.	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	6 à 10% (13% au laboratoire)	≤ 10 ans	*Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. *Fonctionnement faible si luminosité. *Fonctionnement par temps couvert. *Fonctionnement si ombrage Partiel. *La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.*Rendement très faible.	Appareil électroniques (montres, calculatrice...), Intégration dans le bâtiment

Tableau (II.1) Etat comparatif des différentes technologies des cellules photovoltaïques

[21]

II.4. Les systèmes photovoltaïques :

II.4.1. Systèmes photovoltaïques raccordées au réseau :

II.4.1.1. Systèmes photovoltaïques raccordées au réseau avec injection totale :

L'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injections sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque.



Figure II .6: Systèmes photovoltaïques raccordées au réseau avec injection totale. [22]

II.4.1.2. Systèmes photovoltaïques raccordées au réseau avec autoconsommation :

Autoconsommation sans stockage :

L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau. [22]

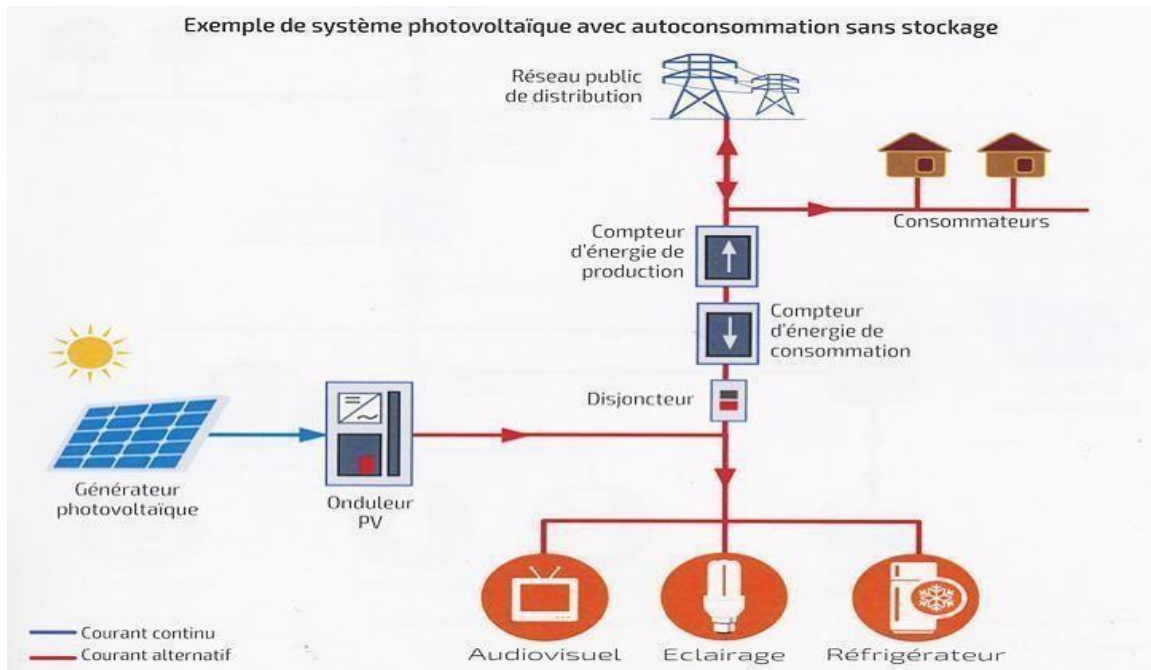


Figure II .7: Exemple de système photovoltaïque d'autoconsommation sans stockage. [23]

Autoconsommation avec stockage

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale (Figure II.18). 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. [23]

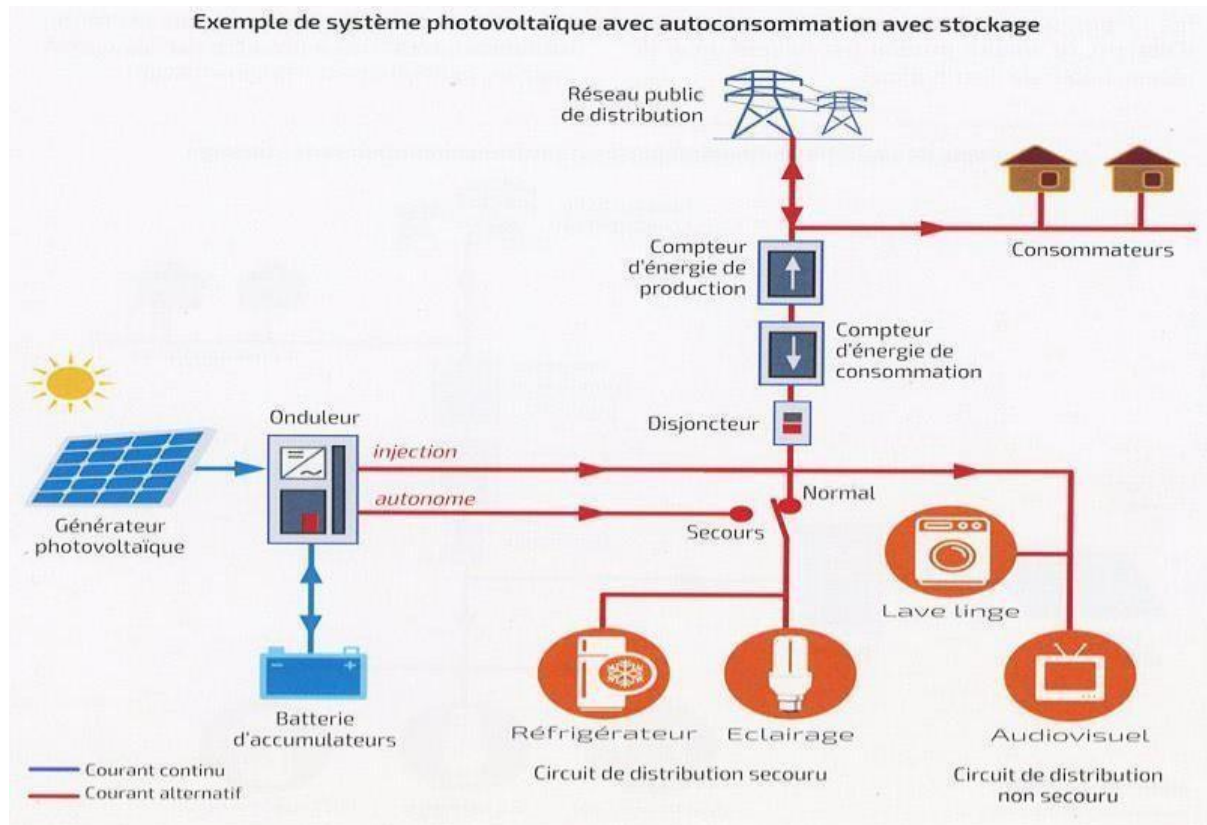


Figure II.8: Exemple de système photovoltaïque d'autoconsommation avec stockage. [23]

II.4.2. Systèmes photovoltaïques non raccordés au réseau :

Sans stockage

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. [23]

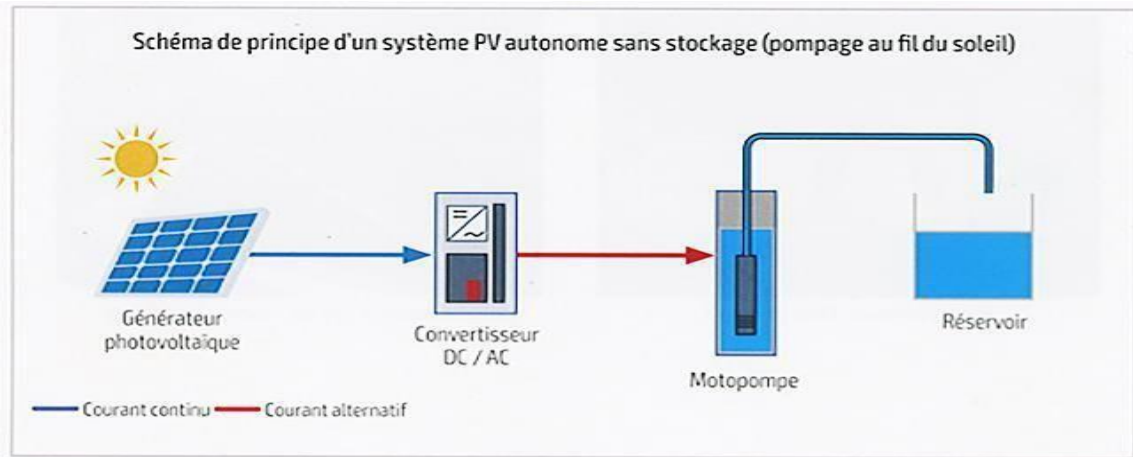


Figure II .9 : Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage [23]

Avec stockage

Ce système fournit de l'électricité pour des régions non reliés au réseau. Il possède plusieurs domaines d'applications telles-que le pompage d'eau, les stations industrielles pour alimenter le système de protection, de surveillance et de comptage. Il est très utilisé dans les stations spatiales et les relais de communications. Ce système, produit l'énergie électrique qui est utilisée directement ou stockée dans des batteries. [24]

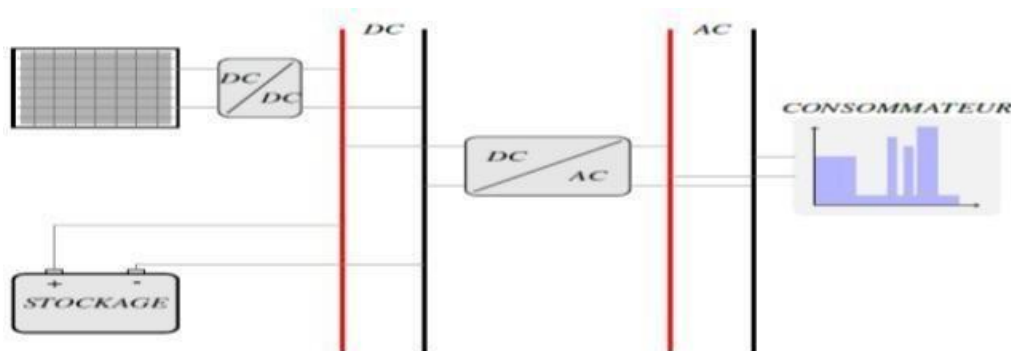


Figure II .10: Exemple d'installation photovoltaïque autonome avec stockage. [24]

II.4.3. Systèmes photovoltaïques 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.21**). Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit, l'onduleur est alimenté par la batterie de stockage. En cas d'insuffisance d'ensoleillement ou de plus forte consommation des récepteurs, un groupe électrogène de secours ou d'appoint permet

l'alimentation directe des récepteurs et la recharge de la batterie pour assurer la continuité de service. [23]

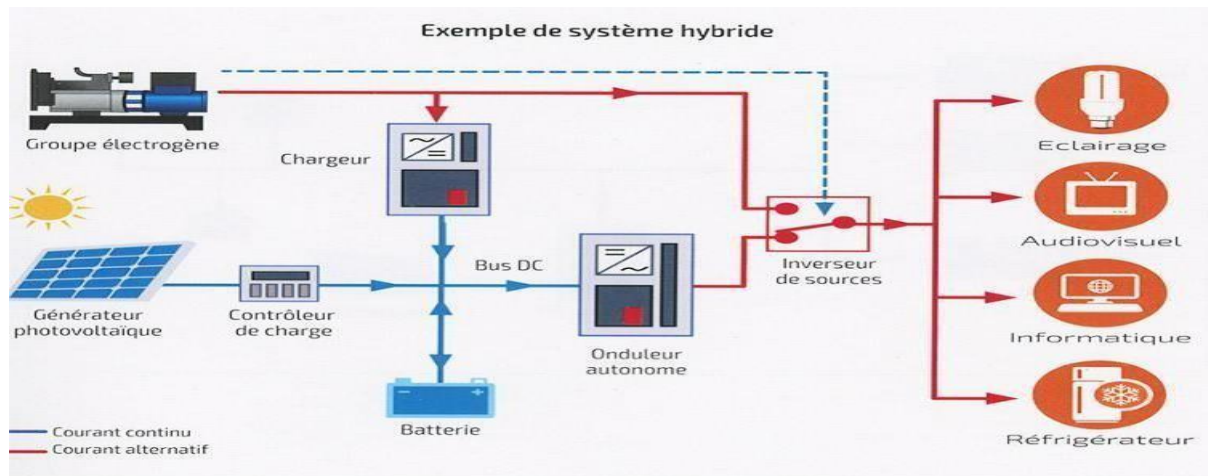


Figure II.11 : Exemple d'installation photovoltaïque hybride avec stockage. [23]

Sans stockage

Les systèmes hybrides avec stockage (de quelques KW à quelques centaines de KW) sont très utilisés notamment pour l'alimentation d'habitations individuelles, de refuges de montagne, des relais de télécommunications de forte puissance, pour l'électrification villageoise. Les systèmes hybrides sans stockage (de quelques dizaines de KW à quelques MW) sont essentiellement utilisés pour l'électrification de gros villages et pour l'alimentation électrique de mines d'extraction de matières premières nécessitant une puissance élevée. [23]

II.5. Les avantages et inconvénients des installations photovoltaïques :

Les avantages :

- Ils sont de fonctionnements sûrs, non polluants et silencieux
- Pas de pièces mécaniques en mouvement, pas facile à briser, facile d'entretien, particulièrement adaptée pour une utilisation sans surveillance
- La période de construction du système photovoltaïque est courte, pratique et flexible, et peut être augmentée ou diminuée selon la charge, des ajouts ou des réductions de la capacité solaire de la place, d'éviter le gaspillage.
- L'énergie solaire est sans carburant, et a de faibles coûts de fonctionnement

Inconvénients :

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie
- Le rendement des cellules photovoltaïque diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans).
- Ils sont dépendants des conditions météorologiques
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement.

II.6. Principaux éléments d'une installation photovoltaïque :

II.6.1. Le module photovoltaïque :

Le module photovoltaïque transforme l'énergie solaire en énergie électrique. Il joue donc le rôle de générateur dans le système photovoltaïque. L'énergie produite par un module photovoltaïque dépend du niveau de l'énergie solaire. Ainsi, durant la journée, l'énergie produite va varier en fonction de la variation de l'énergie solaire.

II.6.1.2. Les constituants d'un module PV :

Un module photovoltaïque est composé de cellules connectées entre elles par des lames métalliques conductrices, il doit être proprement encapsulé afin de durer dans le temps et ce en offrant une protection optimale contre les agents climatiques, l'humidité et l'isolation électrique pour la sécurité des personnes.

Un module photovoltaïque est constitué de plusieurs couches empilées comme le montre la **(figure II .12)** ci-dessous. En effet, les cellules solaires sont disposées entre deux plaques d'Ethylène Vinyle Acétate (EVA) auxquelles faudra rajouter au-dessus une plaque en verre trempée de 4mm d'épaisseur qui permet une pénétration maximale de la lumière tout en protégeant les cellules des intempéries, en dessous de la face arrière de l'EVA se trouve une dernière plaque en Poly fluorure de vinyle combinée à une boîte de jonction collée sur sa face cachée. Ce boîtier permet de connecter facilement au panneau des câbles ou des connecteurs adaptés. Cet assemblage se termine par la mise en pose d'un cadre extérieur en aluminium, permettant un montage facile sur châssis ou sur rails. [26][27]

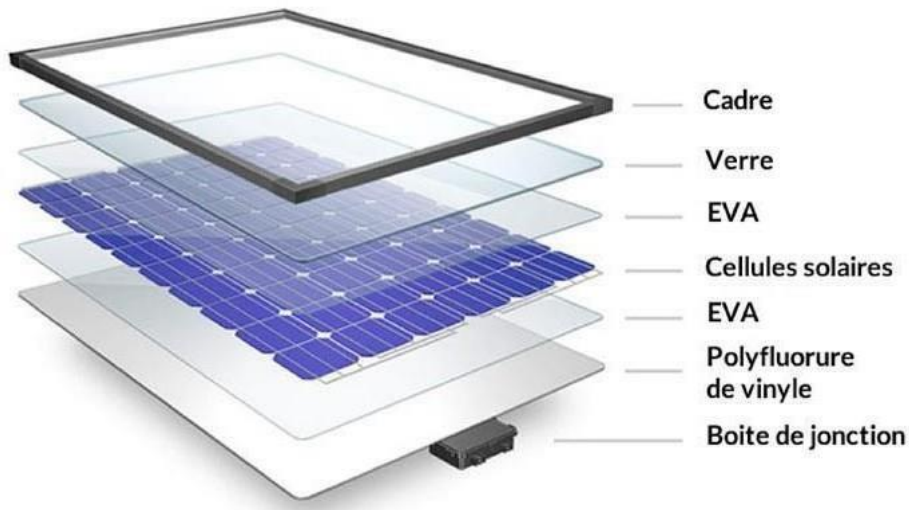


Figure II.12 : Composantes du module photovoltaïque. [28]

II.6.1.3. Caractéristiques d'un module photovoltaïque :

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques centimètres d'épaisseur), ayant les caractéristiques suivantes : [29]

La puissance de crête (P_c) :

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).

Tension à vide (V_{co}) :

Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

Courant de court-circuit (I_{cc}):

Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

Point de fonctionnement optimum, P_{mpp} (V_{mpp} , I_{mpp}) :

Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_{mpp} = V_{mpp} \cdot I_{mpp}$

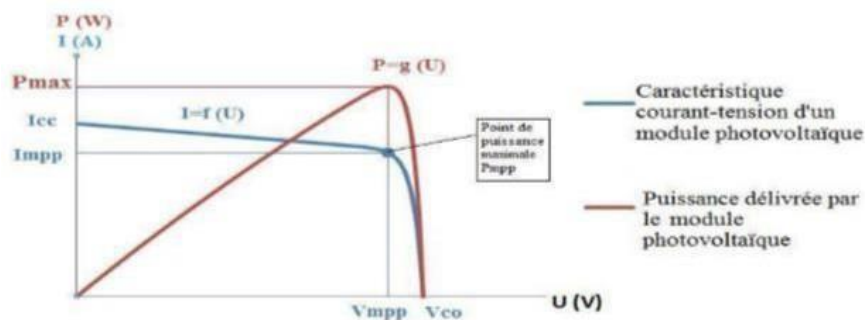


Figure II.13 : Caractéristiques électriques courant/tension et puissance/tension. [30]

Rendement :

Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

Le rendement indiqué sur les fiches techniques des modules est le rendement dans les Conditions Standard de test (niveau d'éclairement $P_i=1000\text{W/m}^2$, Température de cellule 25°C).

Facteur de forme :

Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{\max} et la puissance formée par le rectangle ($I_{cc} \times U_{oc}$). Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. [31]

II.6.1.4. Association des modules photovoltaïques :

Association en série : Dans un groupement de n_s cellules en série, la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, alors que le courant traversant des cellules reste le même. [32]

La (figure II.11) montre la caractéristique résultante (I_{sc} , V_{sco}) avec :

$$I_{sc} = I_{cc} \text{ et } V_{sco} = n_s \times V_{co}$$

n_s : nombre de cellule en série.

I_{sc} : Courant de court-circuit en association série.

V_{sco} : Tension de circuit ouvert en association série.

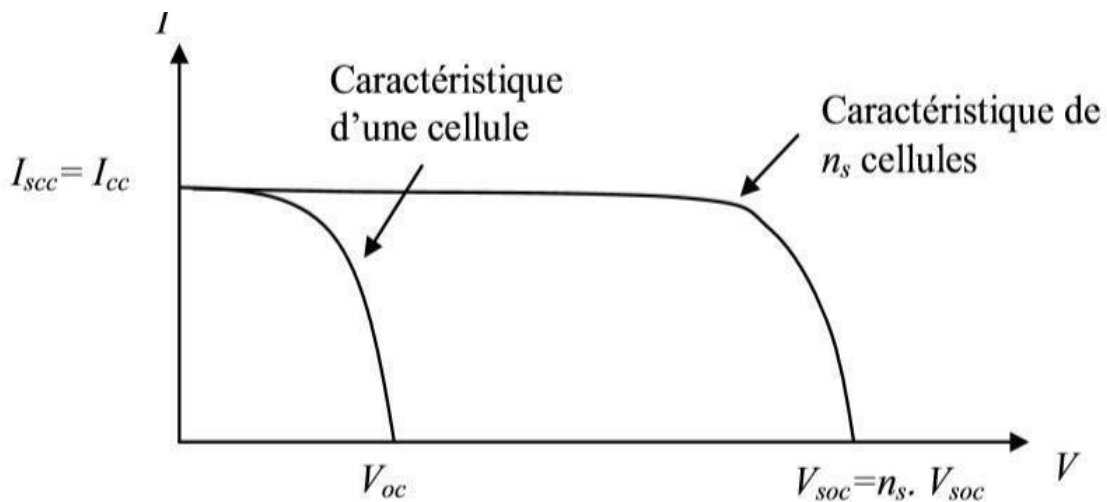


Figure II.14 : La caractéristique résultante obtenue en association en série. [33]

Association en parallèle :

Dans un groupement de n_p cellules en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par l'addition des courant.[32]

La (figure II.12) montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) avec :

$$I_{pcc} = n_p \times I_{cc} \text{ et } V_{pco} = V_{co}$$

n_p : nombre de cellule en parallèle.

I_{pcc} : Courant de court-circuit en association parallèle.

V_{pco} : Tension de circuit ouvert en association parallèle

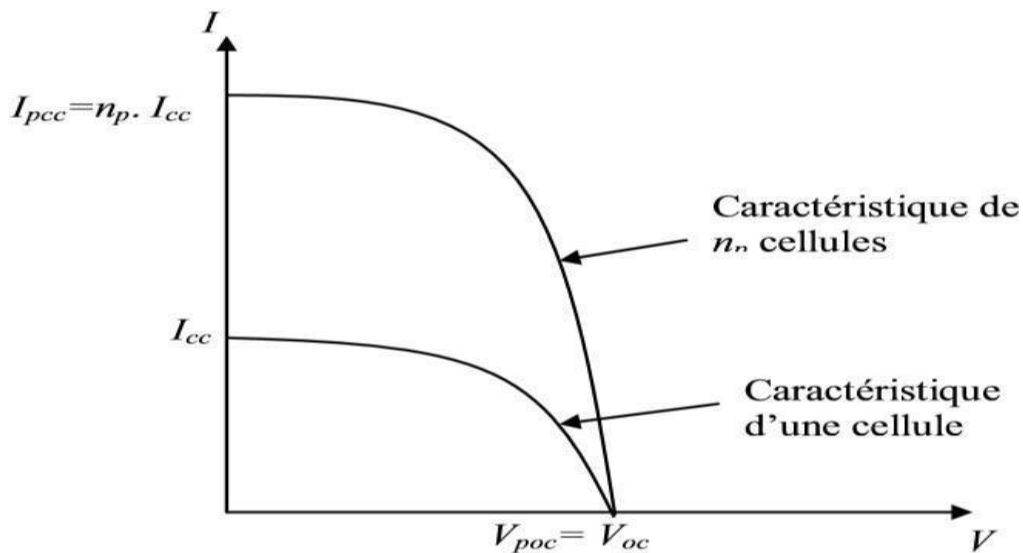


Figure II.15: La caractéristique résultante obtenue en association en parallèles. [33]

Association en série /parallèle :

Selon l'association en série et en parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale son données par les relations suivant : [32]

$$I_{spcc} = n_p \times I_{cc} \text{ et } V_{spco} = n_s \times V_{co}$$

n_p : nombre de cellule en parallèle.

n_s : nombre de cellule en série.

I_{spcc} : Courant de court-circuit en association série/parallèle.

V_{spco} : Tension de circuit ouvert en association série/parallèle

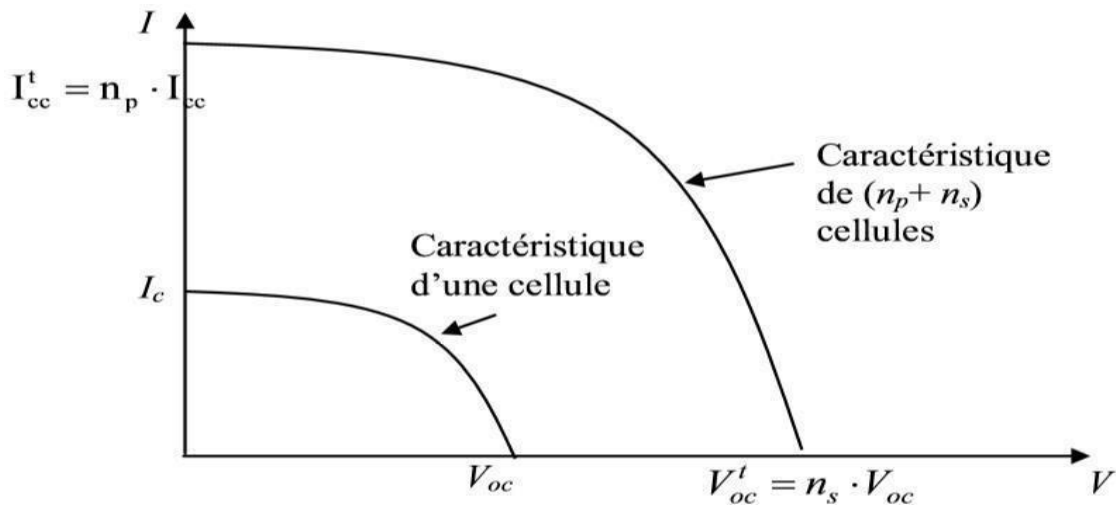


Figure II .16: la caractéristique résultante obtenue en association en parallèles/série. [33]

II.6.2. Le champ photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques sont les éléments les plus importants pour l'utilisation de cette énergie renouvelable. Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. [34]

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de raccordement qui regroupe le tous, cette boîte de raccordement est fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules (série/parallèle) pour obtenir une puissance optimale en sortie.

II.6.3. Système de régulation :

La quantité d'énergie fournie par les modules photovoltaïques est limitée. Il faut donc que la demande énergétique des charges (éclairages et appareils) ne soit pas supérieure à la quantité d'énergie fournie par le panneau. Le régulateur de charge empêche la surcharge ou la décharge profonde des batteries, prévenant ainsi tout risque de dommage aux batteries et à l'ensemble de l'installation. Il peut également signaler les dysfonctionnements du générateur ou de la batterie. Celui-ci dépend de 2 critères principaux :

- **La tension nominale** doit correspondre à celle qui existe entre les panneaux et la batterie photovoltaïque : 12, 24 ou 48 Volts.

- **L'intensité maximale admissible** : par le circuit d'entrée du régulateur doit être supérieure à l'intensité du courant produit par les panneaux solaires. Cela vaut également pour le circuit de sortie.

II.6.3.1. Technologies des régulateurs de charge :

- **Le type parallèle** : Le courant de charge des batteries est dévié vers une résistance et un courant-circuit est effectué au niveau des panneaux solaires photovoltaïque ; il convient aux applications de faible puissance. [31]
- **Le type série** : Le courant de charge des batteries est occasionnellement coupé par l'ouverture d'un circuit entre les panneaux solaires photovoltaïques et les batteries ; il convient aux applications de moyenne puissance. [31]
- **Le type MPPT** : Permet d'optimiser en permanence les paramètres électriques de fonctionnement entre les trois systèmes suivants : Les modules photovoltaïques, les batteries et les récepteurs (moteur, Pompe, éclairage, réfrigérateur, etc.). Il y parvient en mesurant en permanence la tension et le courant du panneau pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Sa fonction de balayage lui permet de parcourir la tension du panneau solaire toutes les deux heures en vue de trouver le point de sortie puissance maximale. [31]

II.6.4. Système de stockage :

Dans un système photovoltaïque, la ressource solaire ne pouvant être disponible à tout moment, il est indispensable de stocker de manière journalière ou saisonnière de l'énergie électrique produite par les panneaux solaires.

Une batterie d'accumulateurs, est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur de courant continu de la capacité et de la tension désirée.

II.6.4.1. Les fonctions des batteries solaires :

- **Autonomie** : Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux. [31] L'autonomie d'une installation photovoltaïque est le nombre de jours pendant lesquels les batteries initialement chargées peuvent assurer les besoins en électricité à l'absence du générateur photovoltaïque.
- **Courant de surcharge** : Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation. [31]

- **Stabilisation de la tension** : Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée. [31]

II.6.4.2. Les technologies des batteries solaires [35] :

Les batteries au plomb :

Constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%.

Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité. En effet, les batteries au plomb dans leur technologie actuelle acceptent assez mal les décharges profondes. La profondeur de décharge est en effet responsable de la dégradation de ces batteries, conduisant à une réduction notable de leur durée de vie lorsqu'elles sont utilisées dans des conditions extrêmes.

Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH) :

Sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

Les batteries au lithium :

Présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure.

Les batteries gel :

L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionné afin d'améliorer la durée de vie en cyclage profond

II.6.4.3. Les caractéristiques principales d'une batterie :

Capacité en Ampère heure :

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 h peut fournir 200 pendant une heure, ou 50 pendant 4 heures, ou 4 pendant 50 h. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [34]

- **Rapports de chargement et déchargement** : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite

- **Température** : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

La durée de vie :

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année ().

[34]

Profondeur de décharge :

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge. [34]

La tension d'utilisation :

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge. Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur. [34]

Le taux d'autodécharge :

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. [34]

II.6.5. Système de conversion :

Son rôle est de transformer l'énergie électrique continue délivrée par le générateur photovoltaïque en énergie électrique alternative. De tels appareils doivent délivrer un signal le plus proche possible du signal sinusoïdal et avec une fréquence précise. En effet, pour les fonctionnements de la plupart des charges, la présence d'harmoniques est néfaste. Ces appareils appelés couramment onduleurs (**Figure II.17**), présentent généralement deux inconvénients majeurs:

- pertes à vide très élevées,
- rendement acceptable uniquement pour la charge nominale.

Pour les systèmes PV, leur utilisation représente un gaspillage d'énergie important, surtout lorsque la charge est variable au cours du temps et est bien inférieure à sa valeur nominale. Il

convient de choisir un onduleur dont les pertes à vide doivent être réduites et le rendement doit être moins sensible au pourcentage de la puissance appelée. [36]



Figure.II.17 : Onduleur

II.6.5.1. Critères de choix d'un onduleur solaire :

On a plusieurs critères pour choisir un onduleur solaire certains sont indispensables et d'autres sont optionnelles

Les critères indispensables sont :

- Puissance électrique.
- Tension d'entrée.
- Tension de sortie.
- Forme d'onde.

Les critères optionnels sont généralement :

- Puissance de pic.
- Plage de tension d'entrée.
- Protection contre le court – circuit
- Protection contre la surcharge.
- Protection contre la baisse tension d'entrée.
- Protection contre la baisse tension d'entrée.
- Incorporation d'un régulateur de charge

II.6.6. Le câblage :

Le câblage est un point critique de toute installation PV. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont l'enveloppe est adaptée aux conditions d'utilisation est nécessaire. [37]

Le câblage a pour but de regrouper électriquement les modules solaires. Généralement, les modules sont câblés tout d'abord en série pour réaliser des branches qui comportent chacune leur diode en série. La mise en parallèle de branches est réalisée, pratiquement, à l'aide de boîtes de jonction fixées sur les châssis. Cette boîte de jonction peut contenir des éléments de protection tels que des fusibles, des interrupteurs et des sectionneurs.

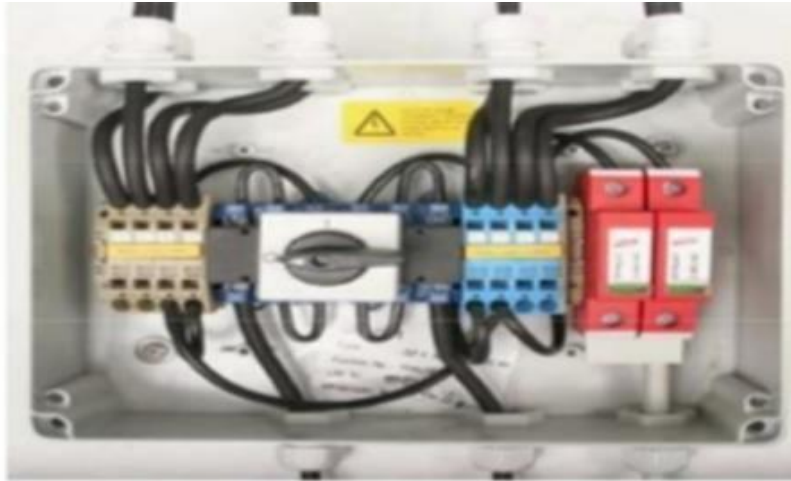


Figure II.18 : Exemple de boîte de jonction et câblage. [38]

II.6.6.1. Câblage électrique :

Ils seront à l'extérieur, exposés au vent, au gel, au soleil et autres agressions. Il est strictement nécessaire d'utiliser des câbles adaptés à des sections (diamètre) suffisantes. [39]

Nous allons d'abord effectuer un branchement par un câble électrique qui sera un câble de qualité par exemple, il devra subir les agressions du vent, de la pluie, du soleil, du gel, croissance marines et autres. La section sera d'au moins 1.5 mm^2 , 2.5 mm^2 dès que la longueur excède 25m ou que la puissance du module soit supérieure à 100W. [39]

II.6.6.2. Câblage de liaison :

Il se trouve entre les modules et le régulateur, il doit être d'une section d'au moins $2,5 \text{ mm}^2$ ou plus si la longueur excède 15cm. Pour une intensité inférieure à 4A, sa section sera calculée de façon à ne pas avoir plus de 6% de chute de tension. [39]

II.6.7. Les systèmes de protection des installations solaires :

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage.

Pour garantir la durée de vie d'une installation photovoltaïque destinée produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules PV afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en série et de panneaux en parallèle. [38]

II.6.7.1. Protection d'un générateur PV contre les chocs électriques :

Ce type de protection inclue la protection contre les contacts directs : « Les matériels PV partie courant continu doivent toujours être considérés comme sous tension et disposer de protection par isolation des parties actives ou par enveloppe », et la protection contre les contacts indirects : « Les modes de protection doivent intégrer les dispositions mises en œuvre côté DC et AC ainsi que la présence ou non d'une séparation galvanique par transformateur entre les parties DC et AC ». [38]

II.6.7.1. Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions :

Les surtensions sont présentes de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être : [38]

- Transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre) et/ou dues à des manœuvres.
- Générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments.
- Générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

En règle générale, un système de protection contre la foudre destinée à un générateur PV se compose des éléments suivants :

- Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF).
Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel
- Blindage magnétique et câblage.
- Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée.

II.6.7.2. Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités :

Le générateur PV comme toutes autre générateur d'énergie électrique doit être protégé contre les surintensités, et autres types de problèmes :

- **La diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV :** Pour empêcher la batterie de se décharger la nuit dans les cellules PV ou pour empêcher une série de modules contenant un module défaillant ou masqué de devenir

réceptrice du courant fourni par les autres séries, qui ont alors une tension plus élevée qu'elle, une diode est intégrée dans chaque série. [40]

- **Les diodes by-pass** : Peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance. [38]

Conclusion

L'énergie est au centre de l'économie pour tous les pays et à la base de toute activité humaine, ces sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissant. Dans ce chapitre nous avons présenté le système photovoltaïque, l'énergie solaire photovoltaïque et les différents systèmes photovoltaïques, nous avons vu aussi le fonctionnement de la cellule photovoltaïque et l'association des modules et aussi les régulateurs, batteries, onduleurs.

Chapitre III

Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

Introduction

L'autoconsommation énergétique est le fait de consommer en partie ou en totalité l'énergie issue de sa propre production. L'autoconsommation solaire est le principe selon lequel l'énergie produite est issue de panneaux solaires.

L'autoconsommation solaire ne permet pas forcément de couvrir la totalité des besoins. L'autoconsommation électrique se fait donc en complément du réseau électrique auquel il faut se raccorder, ou bien en utilisant des batteries solaires afin d'avoir une autoconsommation complète ce qu'on appelle autoconsommation avec stockage.

Dans le présent chapitre, l'étude porte sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque destinée à l'autoconsommation d'une maison située au bord de mer éloignée du réseau électrique. Cela revient à déterminer le nombre nécessaire de panneaux solaires constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins des charges électriques équipant les trois appartements constituant l'habitation à tout instant ainsi que le nombre d'onduleurs et de batteries.

Enfin nous allons faire un devis quantitatif de notre installation et une simulation du système étudié sous matlab/Simulink afin de pouvoir faire une comparaison entre les résultats théorique et ceux de la simulation.

III.1. Présentation du système étudié :

Le système étudié est une maison au bord de la mer située à tazeboujt à la côte ouest du littoral de Bejaia (Algérie) et a 14 km du chef-lieu.

Cette maison a une surface habitable de 180m² et 17m de hauteur et un terrain s'étend derrière la demeure à alimenter de 300 m² qui sera aussi exploitée pour l'installation des panneaux.

Elle est composée de trois étages et trois garages. Dans chaque étage s'y trouve un appartement de trois chambres, salon, couloir, cuisine, sanitaire et une petite terrasse.

III.1.2. Coordonnées géographiques :

En général, un site géographique est défini par :

- Son nom, pays et région du monde.
- Ses coordonnées géographiques : latitude, longitude, altitude et fuseau horaire.
- Données météorologiques mensuelles.

Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

✓ **La latitude** : φ

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur qui est le plan de référence.

✓ **La longitude** : λ

La longitude d'un lieu (ou méridien) est une valeur angulaire qui exprime le positionnement Est-Ouest d'un lieu par rapport au méridien d'origine (méridien de Greenwich). Alors si :

- ✓ $\lambda > 0$, vers l'Est.
- ✓ $\lambda < 0$, vers l'Ouest.

D'une façon plus complète, on dit aussi que c'est la mesure de l'arc compris entre le méridien du lieu et le méridien de Greenwich.

✓ **L'altitude** : L'altitude exprime un écart entre un point donné et le niveau de la mer (ou niveau 0).

✓ **Le Fuseau horaire** : C'est une bande de 15° de large s'étendant du pôle nord au pôle sud permettant de décomposer le globe terrestre en 24 tranches horaires.

Les coordonnées géographiques de la maison d'étude sont récapitulées dans le tableau III.1 et la figure III.1 montre la localisation de la dite demeure.

Latitude	$36^\circ 48' 19.4'' \text{N}$
Longitude	$5^\circ 00' 49.5'' \text{E}$
Altitude	5m

Tableau III.1 : Coordonnées géographiques de la maison



Figure III.1 : localisation de l'endroit

III.1.3. Irradiations moyennes mensuelles :

Les données de l'ensoleillement (exprimé en $\text{KWh} / \text{m}^2/\text{j}$) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone. Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé.

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

Ce qui donne l'orientation vers :

Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

- Le sud dans l'hémisphère nord.
- Le nord dans l'hémisphère sud.

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année le mois ensoleillé pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible [26]. Cette inclinaison va être fixée par la latitude et la périodicité de l'inclinaison. Dans le site étudié (Béjaia), la position des modules sera comme suit (voir figure III.2) :

- ✓ Orientation des panneaux : plein sud.
- ✓ Inclinaison (45°).

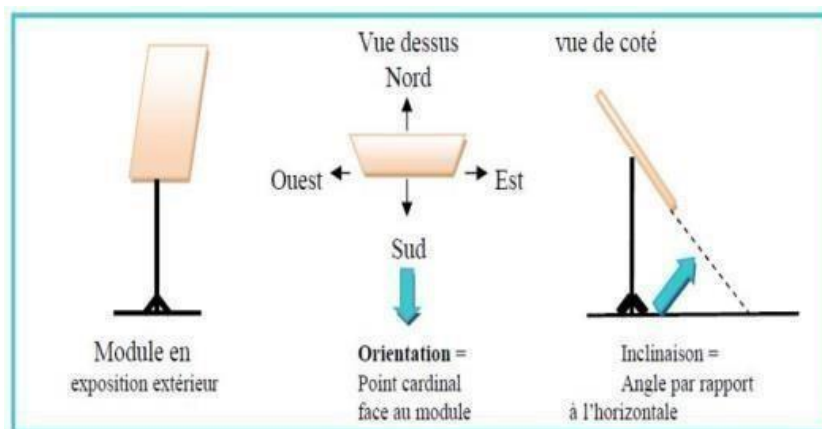


Figure III.2 : Définition de l'orientation et de l'inclinaison d'un panneau

Le tableau III.2 renseigne sur les températures (Min journalière et max journalière) ainsi que l'irradiation globale moyenne pour les 12 mois de l'année pour la zone limitrophe de la maison étudiée.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Gj(KWh/j/m²)	2.4	3.1	3.6	5.3	5.7	6.7	6.9	6.2	4.9	3.8	2.6	2.3
Température Min journalière	5.5	5.9	7.1	8.8	12.3	16.1	18.9	19.8	17.6	14.2	9.8	7.2
Température max journalière	16.7	17.4	19.2	20.9	23.9	28.2	31.2	32.2	29.6	25.9	20.8	17.9

Tableau III.2: les températures et l'irradiation globale moyenne mensuelle. [43]

Les graphes dans la figure (III.3) interprète les données du tableau (III.2). On remarque que l'irradiation est maximale au mois de juillet elle arrive jusqu'à 6.9 KWh/j/m² (le mois le plus favorable). Alors que l'irradiation est faible au mois de décembre (le mois le plus défavorable), sa valeur-est de 2.3 KWh/j/m².

Pour couvrir le besoin de toute l'année nous choisirons le mois le plus défavorable à Bejaia.

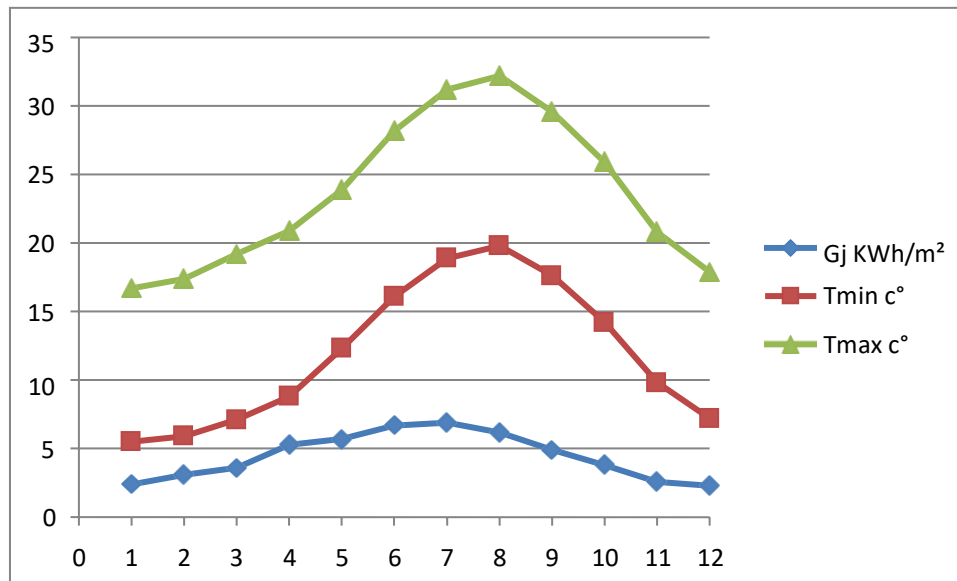


Figure III.3 : Irradiation globale moyenne mensuelle journalière et les températures moyennes mensuelles.

III.2. Dimensionnement du système photovoltaïque

III.2.1. Choix des méthodes de dimensionnement :

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système PV :

- **La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation :** cette méthode permet d'optimiser le dimensionnement d'un système dans des conditions complexes (fluctuations saisonnières de l'irradiation, ciel nuageux pour plusieurs jours, etc.) grâce à un logiciel adapté. L'inconvénient de cette méthode est qu'il faut connaître les radiations qui correspondent aux données horaires sur le site d'installation pour un nombre d'années trop grand (10 à 20 ans).
- **La méthode de la moyenne annuelle :** Cette méthode est très proche de celle du mois le plus défavorable. Elle utilise elle aussi l'irradiation journalière $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{j}$, mais pour une moyenne qui s'étend sur toute une année au lieu d'un seul mois. Donc on calcule la moyenne mensuelle de l'énergie (irradiation) récupérable sur un site pour les 12 mois de l'année et on effectue la moyenne annuelle de celle-ci.

- **La méthode du mois le plus défavorable** : Notre travail se base sur cette dernière qui est une méthode simple et sûre. On estime l'énergie récupérable pour une période critique d'un mois appelé le mois le plus défavorable, Ce mois correspond au mois pendant lequel la valeur de l'irradiation moyenne mensuelle est la plus faible de l'année ou dans certains pays où la période d'hiver est rude.

III.2.2. les méthodes de dimensionnements des panneaux photovoltaïques :

- Méthode du besoin journalier.
- Méthode des puissances.
- Méthode des surfaces.

Parmi toutes ces méthodes nous avons pris le choix de faire notre étude en tenant compte du **mois le plus défavorable** pour le système photovoltaïque et la **méthode du besoin journalier** pour dimensionner les panneaux.

III.3. Les bilans de puissance et énergétique

Les informations ci-dessus collectées (Tableau II.3) permettront de calculer la puissance totale de l'ensemble de ces appareils afin d'en déduire la puissance "photovoltaïque installée" à mettre en place à cette fin. Avec les durées de fonctionnement des équipements, on obtient aisément les énergies consommées par ces équipements.

III.3.1. Besoins énergétiques des charges de la maison étudiée :

Considérant, les besoins journaliers des 3 trois appartements, de la cage d'escalier, du garage ainsi que l'éclairage extérieur, le tableau III.3 rend compte des besoins énergétiques de chaque compartiment.

	Appareils	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation quotidienne (h)	Puissance (W)	Energie (Wh)
Les Trois appartements	Lampe LED (chambre)	09	10	3	90	270
	Lampe LED (hall)	09	10	3	90	270
	Lampe LED (salon)	18	10	3	180	540
	Spot encastré (cuisine)	12	6	3	72	216
	Spot encastré (sanitaire)	09	9	2	81	162
	Lampe LED (terrasse)	03	15	3	45	135
	Téléviseur	03	65	6	195	1170
	Réfrigérateur	03	170	6	510	3060
	Micro-onde	03	700	0.5	2100	1050
	Lave-linge	03	330	1	990	990
	Climatiseur	03	1200	3	3600	10800
	Chargeur portable	12	5	1.5	60	90
	Cage D'escalier + garages	Pompe à	1	550	5	550
Lampe LED (cage d'escalier)		08	10	1	80	80
Lampe LED (garage)		09	10	1	90	90
extérieur	Lampe LED (extérieur)	03	10	8	30	240
TOTAL					P=8763	E=21913

Tableau III.3. : Besoins en puissance et besoin journalier

Le besoin en énergie est d'environ 22 kWh

III.4. Dimensionnement des panneaux

Dans ce qui suit, nous déterminons le nombre de panneaux nécessaires à notre installation.

III.4.1. Caractéristiques du module photovoltaïque utilisé :

Parmi les panneaux photovoltaïques existant sur le marché, notre choix s'est porté sur l'ESPMC325 de la marque DIMEL-solaire d'une puissance crête de 325WC. Les caractéristiques électriques et mécaniques de ce panneau sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Type de module	unité	ESPMC325
Puissance nominale	W	325
Tension en circuit ouvert (Vco)	V	45.6
Courant en court-circuit (Icc)	A	9.2
Tension mpp (Vmpp)	V	37.8
Courant mpp (Impp)	A	8.6
Tension maximale du système (Vdc)	V	1000
Charge maximale de fusibles	A	15

Tableau III.4 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque DIMEL ESPMC325. [41]

Type de cellule	Cellule polycrystalline
Nombre de cellule par module	72(6*12)
Dimension de la cellule	156*156 mm
Dimension du module	(1956*992*40) mm ³
Poids du module	19.4 Kg
Température d'utilisation	45°C

Tableau III.5 : caractéristique mécanique du module photovoltaïque DIMEL ESPMC325. [41]

III.4.2. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin

Journalier

	Formules mathématiques
Besoin journalier (B_j)	$B_j = \sum_{i=1}^{i=n} N_i * P_i * T_i$ (voir Tableau III.3)
Nombre d'heures équivalent (N_e)	$N_e = G_S / G_{S_{STC}}$
Puissance photovoltaïque journalière	$P_{pvJ} = P_c \times N_e$
Puissance photovoltaïque journalière réelle	$P_{pvJR\acute{e}el} = P_{pvJ} \times (1 - 0.2)$
Nombre de panneaux	$N_{pv} = ENT [B_j / (P_{pvJR\acute{e}el})]$
Surface de captage	$S_c = N_{pv} \times S_{pv.u}$

Tableau III.6 : calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier.

Avec :

n : Nombre de charges.

N_i : nombre d'éléments de la charge i .

P_i ; Puissance de la charge i .

T_i ; durée de fonctionnement de la charge i .

N_e : Nombre d'heure équivalent.

G_s : ensoleillement durant le mois le plus défavorable. Dans notre cas le mois de décembre. Voir tableau III.2.

$G_{S_{stc}}$: ensoleillement dans les conditions standards (1000 W/m^2 dans notre cas).

P_c : puissance crête du panneau.

ENT : partie entière.

$S_{pv.u}$: surface d'un seul panneau.

Sur la base des équations ci-dessus, les résultats de calcul donnent :

	Application numérique
Besoin journalier	$B_j = 21913 \text{ Wh/j}$
Nombre d'heures équivalent	$N_e = 2.32 \text{ h/j}$
Puissance photovoltaïque journalière	$P_{pvJ} = 754 \text{ Wh/j}$
Puissance photovoltaïque journalière réelle	$P_{pvJRéel} = 603.2 \text{ Wh/j}$
Nombre de panneaux	$N_{pv} = 36$
Surface de captage	$S_c = 69.85 \text{ m}^2$

Tableau III.7 : Résultats du dimensionnement selon le besoin journalier.

De l'étude menée, besoin en puissance calculé, il résulte un besoin journalier de 21913Wh/jour. Pour satisfaire ce besoin journalier, nos calculs ont déterminé que le nombre de panneaux nécessaires (N_{pv}) est de 36 panneaux. Ce qui représente une puissance photovoltaïque (P_{pv}) de 11700 W.

Compte tenu du tableau suivant, la tension du système est donc de 48V

Puissance crête	<500W _c	500W _c -2KW _c	2-10KW _c	>10 KW _c
Tension du système	12 V _{DC}	24 V _{DC}	48 V _{DC}	>48 V _{DC}

Tableau III.8 : Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance Crête.

III.5. Dimensionnement et choix de l'onduleur

Le choix et le nombre d'onduleurs repose sur 3 critères :

- ✓ La compatibilité en puissance
- ✓ La compatibilité en tension
- ✓ La compatibilité en courant

A partir de ces trois critères, le dimensionnement des onduleurs va imposer la façon de câbler les modules entre eux.

La puissance photovoltaïque étant de 11700W, un onduleur 11000W pourrait être le bon choix pour notre installation.

En explorant la gamme d'onduleurs que propose SMA solar technology, on pourrait considérer que l'onduleur (SMC 11000TL) pourrait convenir.

La fiche technique de l'onduleur SMA (SMC 11000TL) que nous avons choisi est résumée dans le tableau ci-dessous :

Puissance DC max	11400Wc
Tension d'entrée max	700V
Plage de tension MPP	333 V / 500 V
Courant d'entré max	34 A
Courant de sortie max	48 A
Nombre de MPP trackers	5

TableauIII.9 : Fiche technique de l'onduleur SMC 11000TL

III.5.1 Compatibilité en puissance :

La puissance photovoltaïque selon le besoin est de 11700W, la puissance de l'onduleur représente [0.9 à 0.95] de cette dernière, ce qui donne :

Compatibilité en puissance	
Pond-min	Pond-max
Pond-min=0.9 ×Ppv	Pond-max=0.95 ×Ppv
Résultat de calcul	
Pond-min=10530W	Pond-max=11115W

Tableau III.10: Compatibilité en puissance de l'onduleur

Pond-min : puissance minimal de l'onduleur.

Pond-max : puissance maximal de l'onduleur.

III.5.1.1 Vérification de la compatibilité en puissance

Si $P_{calculé} < P_{max}$ de l'onduleur
 $11.115 \text{ kW} < 11.4 \text{ kW}$
 Alors la compatibilité en puissance est vérifiée

III.5.2 Compatibilité en tension :

Avec les lois du tableau suivant on vérifie la compatibilité en tension avec l'onduleur.

Compatibilité en tension	
Npvs-min	Npvs-min
$Npvs\text{-min} = ENT \left[\frac{(umpp.\text{min}, ond)}{(umpp.\text{pv} \times 0.85)} \right]$	$Npvs\text{-max} = ENT \left[\frac{(umpp.\text{max}, ond)}{(umpp.\text{pv} \times 1.25)} \right]$
Résultat de calcul	
Npvs-min=10 panneaux	Npvs-max=12 panneaux

Tableau III.11: Compatibilité en tension de l'onduleur

N_{pvs-min} : Nombre minimal de panneaux série

N_{pvs-max} : Nombre maximal de panneaux série.

III.5.2.1 Vérification de la Compatibilité en tension :

$$V_{\max} = N_{\text{pvs-max}} \times U_{\text{co}} = 12 \times 45.6 = 547.2 \text{ V}$$

La Tension d'entrée max de l'onduleur étant de $V_{\text{max-ond}} = 700 \text{ V}$
 $\Rightarrow V_{\max} < V_{\text{max-ond}}$ ($547.2 \text{ V} < 700 \text{ V}$).

Donc la configuration avec 12 panneaux en série est compatible avec la tension maximale d'entrée de l'onduleur.

III.5.3 Compatibilité en courant:

Avec les lois du tableau suivant on vérifie la compatibilité en courant avec l'onduleur.

Compatibilité en courant
N _{ch}
$N_{\text{ch}} = [(I_{\text{max, ond}}) / (I_{\text{mpp}} \times 1.25)]$
N _{ch} =3

Tableau III.12 : Compatibilité en courant de l'onduleur

N_{ch} : nombre de chaîne.

III.5.3.1 Vérifier la Compatibilité en courant :

$$I_{\text{max}} = I_{\text{mpp}} \times N_{\text{ch}} \text{ c'est-à-dire } I_{\text{max}} = 8.6 \times 3 = 25.8 \text{ A}$$

Le Courant maximal d'entrée de l'onduleur étant de $I_{\text{max-ond}} = 34 \text{ A}$

$$\Rightarrow I_{\text{max}} < I_{\text{max-ond}} \text{ (} 25.8 \text{ A} < 34 \text{ A)}$$

Donc la configuration constituée des 3 panneaux en parallèle est compatible avec le courant d'entrée admissible de l'onduleur.

III.6. Dimensionnement des batteries

Afin d'obtenir la tension et la capacité requise pour le système de stockage, il est très souvent nécessaire de regrouper des batteries en série et/ou en parallèle. Le

Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

nombre d'éléments à mettre en série est fonction de la tension par élément de batteries disponibles, et de la tension du générateur photovoltaïque. Il se calcule par la formule suivante.

Pour notre cas :

- **Jaut=2jours** : nombre de jours d'autonomie de la batterie.
- **Vbatt=12volts** : tension de la batterie.
- **$\eta_b=0.9$** : le rendement de la batterie.
- **DOD=0.8** : profondeur de décharge de la batterie.

On choisira des batteries de 250Ah et 12v chacune

Dans ce qui suit, on calcule le nombre de batterie en série et en parallèle a utilisé

Dimensionnement des batteries	
Capacité des batteries (Ah)	$C_{batt} = (BJ \times Jaut) / (Vbatt \times DOD \times \eta_b)$
Nombre de batteries calculé	$N_{bat} = C_{batt} / C_{batt,u}$
Nombre de batteries en séries	$N_{bat,s} = (\text{tension de fonctionnement}) / (\text{tension de la batterie})$
Nombre de batteries en parallèle	$N_{bat,p} = (\text{nombre de batterie total}) / (\text{nombre de batterie serie})$

Tableau III.13: Dimensionnement des batteries

$C_{batt,u}$: capacité de batteries unitaire.

Résultat	
Capacité des batteries (ah)	$C_{batt}=5072.45$
Nombre de batteries calculé	$N_{batt}=20$
Nombre de batteries en séries	$N_{batt,s}=4$
Nombre deen parallèle	$N_{batt,p}=5$

Tableau III.14: résultat du dimensionnement des batteries

III.7. La section des câbles

Le tableau ci-dessous illustre les lois et les résultats de calculs des sections des câbles.

Section des câbles cotés DC	
Section des câble entre le panneau et la boite de raccordement (L=47m)	$I = 1.25 \times I_{cc} \Rightarrow I = 1.25 \times 9.2 \Rightarrow I = 11.5A$ $S = (\rho \times L \times I) / (\Delta v \times V)$ $S = (1.6 \times 10^{-8}) \times 47 \times 11.5 / (0.02 \times 37.8)$ <p style="text-align: center;">Donc $S = 12mm^2$</p>
Section des câbles entre la boite de raccordement et le régulateur DC/DC (L=30m)	$I = I_{mpp} \times N_{pv} \Rightarrow I = 8.6 \times 36 \Rightarrow I = 309.6A$ $S = (\rho \times L \times I) / (\Delta v \times V)$ $S = (1.6 \times 10^{-8}) \times 30 \times 309.6 / (0.02 \times 37.8)$ <p style="text-align: center;">Donc $S = 196.57mm^2$</p>
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L= 3m)	Branchement des batteries
	Calcul de la tension de la batterie
	$V_{batt} = V_{batt,u} \times N_{batt,s} \Rightarrow V_{batt} = 12 \times 4 \Rightarrow V_{batt} = 48V$
	Calcul de $1-\alpha$:
	$1-\alpha = V_{batt} / V_{pv} \Rightarrow 1-\alpha = 48 / 37.8$ $1-\alpha = 1.27$
	Calcul du courant de batterie
	$I_{batt} = I / (1 - \alpha) \Rightarrow I_{batt} = 309.6 / 1.27$ $I_{batt} = 243.78A$
	$S = (\rho \times L \times I) / (\Delta v \times V)$ $S = (1.6 \times 10^{-8}) \times 30 \times 309.6 / (0.02 \times 37.8)$ <p style="text-align: center;">$S = 19.66mm^2$</p>
Calcul du courant et de la section coté AC (L=8m)	Section les câbles coté AC
	$I = P_{ch} / (3 \times V) \Rightarrow I = 8763 / (3 \times 230) \Rightarrow I = 12.7A$
	$S = B \times \rho_l \times I \times L / (\varepsilon \times V) \times \cos(\delta)$ $S = 2 \times 0.0225 \times 12.7 \times 8 / (0.02 \times 230) \times \cos(36.68)$ <p style="text-align: center;">$\Rightarrow S = 0.79mm^2$</p>

Tableau III.15: Calcul de la section des câbles

L : la longueur de câble

I : le courant

S : la section de câble

ρ: la masse volumique

Δv : la chute de tension

I_{mp} : le courant de puissance maximale

III.8. Protection de l'installation photovoltaïque :

- **Parafoudre :**

Le parafoudre permet de protéger notre installation photovoltaïque (notamment l'onduleur) contre les effets des surtensions liées à la foudre.

Il se positionne entre le champ de panneaux solaires et l'onduleur.

- **Porte fusible :**

Abritant un fusible, ce dernier est un appareillage remplissant les mêmes fonctions qu'un disjoncteur divisionnaire. En effet, ce dispositif coupe le courant en cas de court-circuit ou de surcharge électrique. En fonction des équipements qu'il protège, cet appareil peut avoir différentes valeurs exprimées en ampères.



Figure III.4: porte fusible à cartouche



Figure III.5: porte fusible MC4

- **Disjoncteur à courant continu :**

Un disjoncteur à courant continu est destiné à établir, supporter et interrompre des courants continus sous sa tension assignée, que ce soit en condition normale ou anormale par exemple un court-circuit. L'interruption d'un courant continu est à la fois différente et plus difficile que celle d'un courant alternatif. Ce dispositif est utilisé pour la protection des panneaux et les batteries.



Figure III.6: disjoncteur DC

- **Disjoncteur différentiel :**

Un disjoncteur différentiel a comme rôle principal, dans un circuit électrique, de protéger les habitants du logement. C'est lui en effet qui détecte les tensions inhabituelles, et notamment les défauts d'isolement, lorsqu'une personne utilise un appareil électrique, et qui coupe le courant pour éviter une électrocution. Le disjoncteur différentiel sert également à mettre hors service les circuits électriques de la maison en cas de surintensité électrique ou de court-circuit.



Figure III.7: disjoncteur différentiel

- **Différence entre disjoncteur et disjoncteur différentiel :**

Les interrupteurs différentiels protègent les personnes contre les effets néfastes d'un courant de fuite (choc électrique). Les disjoncteurs différentiels assurent le même rôle mais ils protègent aussi les équipements électriques contre les surtensions.

III.9. schéma de l'installation : pour résumer notre travail nous avons réalisé ce schéma descriptif de notre installation

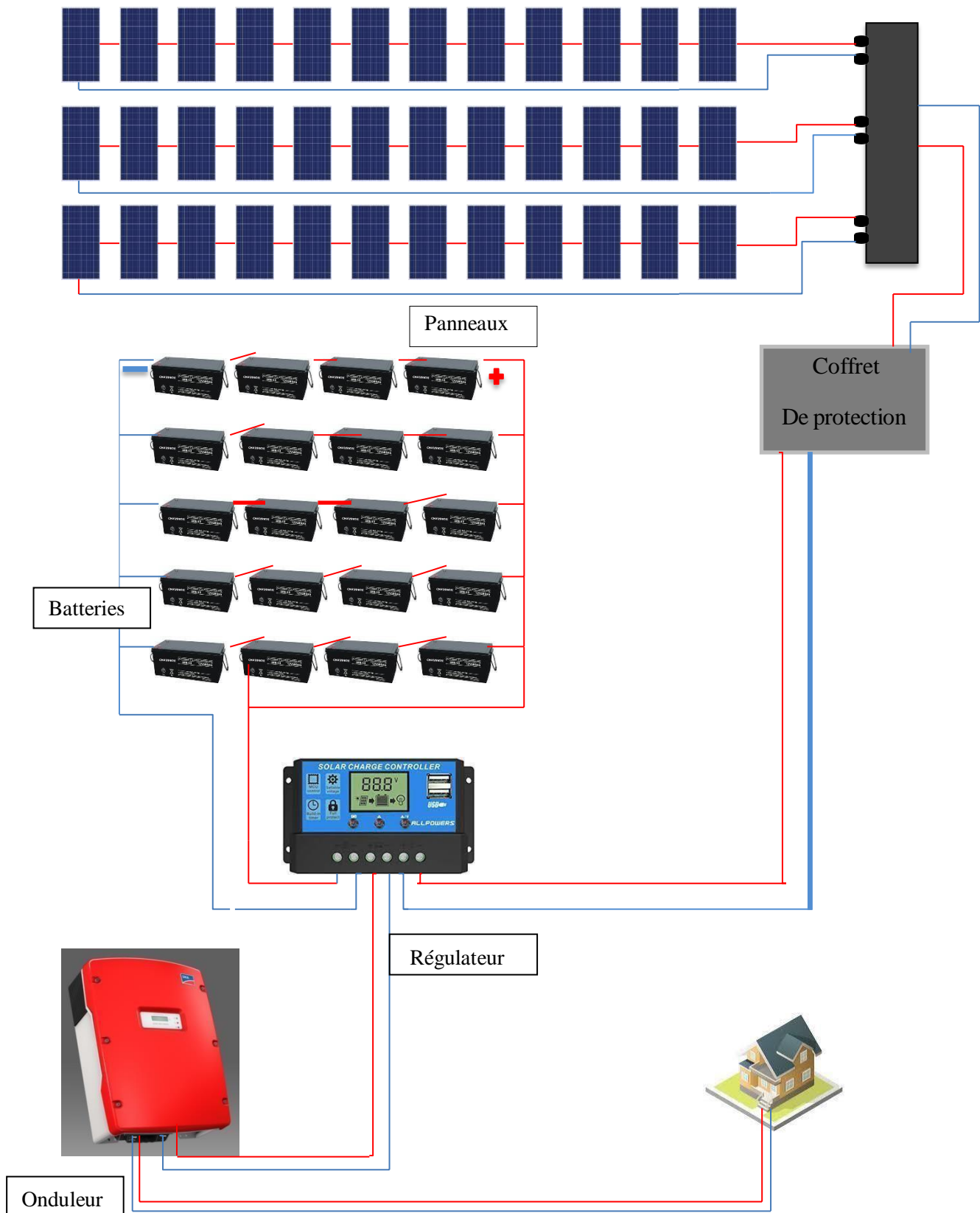


Figure.III.8: Schéma descriptif de l'installation photovoltaïque.

III.10. Evaluation du coût de l'installation

Après avoir dimensionné l'installation, nous avons fait un devis quantitatif des principaux composants de l'installation pour connaître le coût total de l'installation.

Le tableau suivant indique le prix unitaire de chaque élément choisi pour notre installation :

Éléments		Durée de vie	Nombre	Prix / (unité ou mètre), en (DA)		Prix total(DA)
Panneaux PV ESPMC325		Plus de 25ans	36	19500.00		702000.00
Onduleur SMC11000TL		De 10 à 12 ans	1	328000.00		328000.00
Régulateur		/	1	24000.00		24000.00
Batteries		De 7 à 10 ans	20	52000.00		1040000.00
Câbles (section normalisé)	12mm ²	Plus de 30ans	47m	310.00		14570.00
	25mm ²		3m	540.00		1620.00
	1.5mm ²		8m	20.00		160.00
	240mm ²		30m	4900.00		147000.00
Coffret de protection Disjoncteur + Parafoudre + Porte fusible +fusible+ mise à la terre		Plus de 5ans	1	40000.00		40000.00
Main d'œuvre		/	/	90000.00		90000.00
				TOTAL	2387350.00	

Tableau.16: Besoin, durée de vie et coût des constituants d'installation.

Dimensionnement et étude technico-économique d'un système photovoltaïque

On doit prendre en compte le prix de maintenance en considération qui représente 1% du prix total de l'installation photovoltaïque.

Alors le prix de l'installation est de $2387350 + 23873.5 = 2411223.5$ DA.

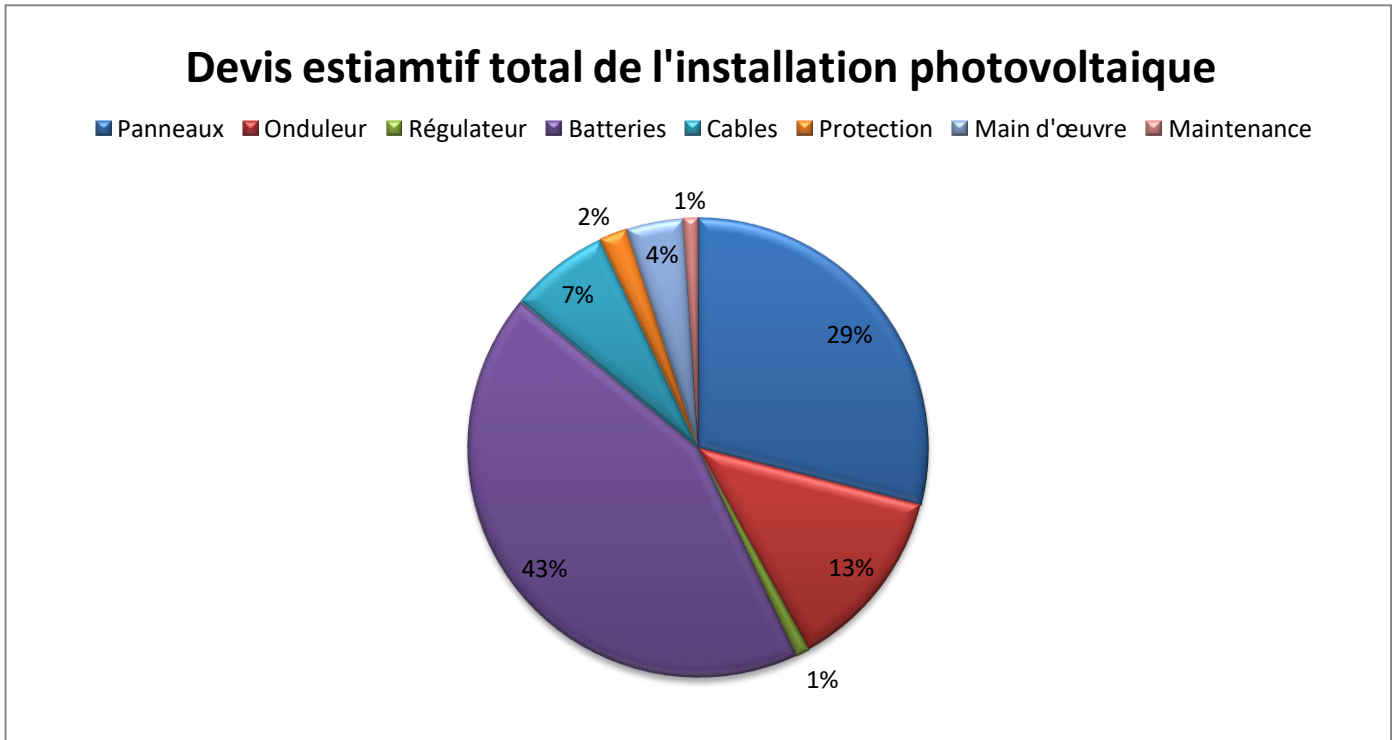


Figure.III.9:diagramme circulaire du devis estimatif de l'installation

Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons d'abord présenté les étapes nécessaires du dimensionnement de notre système photovoltaïque ou on a pu déterminer le nombre d'éléments indispensable pour son bon fonctionnement (panneaux, batteries,...), y compris l'onduleur adéquat à installer pour répondre aux besoins de notre installation.

Pour illustrer ce travail nous avons réalisé un schéma descriptif et simplifié de l'installation.

Nous avons procédé ensuite à l'évaluation du coût de l'installation, ce qui nous a permis d'estimer le prix total nécessaire pour sa mise en œuvre.

Enfin, Nous considérons que nous avons proposé, en optimisant le nombre et la qualité, un équipement et un assemblage adéquat fournissant une énergie électrique de façon continue pendant l'ensemble des mois de l'année.

Nous espérons que sa réalisation sera un succès et de nature à être prise comme exemple.

Conclusion générale

Conclusion générale

Afin de déterminer les dispositifs solaires nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques d'une habitation isolée, située à quelques mètres de la mer, loin du réseau électrique, nous avons fait cette étude pour mettre en point une installation qui couvrirait cette charge.

Nous avons entamé notre travail par montrer l'engouement des nations à la généralisation de l'utilisation des énergies propres, notamment le solaire, grâce à leurs nombreux avantages en matière de réduction des émissions atmosphériques et leurs impacts dans la diminution du réchauffement climatique. Nous avons abordé dans le second chapitre les différents systèmes photovoltaïques ainsi que les éléments qui les composent : de la cellule photovoltaïque à l'association des modules, au régulateur, batteries jusqu'à l'onduleur.

Dans le dernier chapitre, nous nous sommes intéressés aux équipements électriques à alimenter en établissant un bilan de puissance des différentes charges en tenant compte des heures de fonctionnement par jour pour enfin déterminer la puissance totale et le besoin journalier à satisfaire, soit une puissance de **8.763 kW** et un besoin journalier de **21.913 kWh**.

À partir de ces résultats, nous avons dimensionné notre système selon la méthode du mois le plus défavorable en calculant, sous Matlab/Simulink, le nombre de panneaux nécessaires ainsi que les caractéristiques des différents équipements de ce champ photovoltaïque (panneaux, onduleurs, batteries et câbles).

En dernier lieu, nous avons réalisé une étude technico-économique pour évaluer le coût de l'installation, ce qui nous a permis d'estimer le prix total nécessaire pour mettre en œuvre l'installation à **2411. 2235 kDA**. Un coût que nous estimons raisonnable et qui permettra au propriétaire de rentabiliser son installation et d'accéder gratuitement à l'énergie électrique dès les 5 prochaines années.

Références bibliographiques

- [1] K. Butti and J. Perlin, « A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology » (New York, NY: Van Nostrand Reinhold), p289, 1980.
- [2] <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>
- [3] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/>
- [4] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>
- [5] http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp
- [6] <https://ekwateur.fr/2019/07/12/energies-renouvelables-monde-panorama/>
- [7] <https://www.energy.gov.dz/>
- [8] <https://www.soltys.fr/fr/content/5-l-energie-solaire-dans-le-monde>
- [9] Boualem Djebbar, président de l'ABEF : «9800 milliards DA de crédits accordés en 2017»
- [10] F. Khadraoui, La place de l'Algérie sur le marché euro-méditerranéen de L'électricité : Bilan et perspective, mémoire de magister, université de M'hamed Bougara, Boumerdes (2014).
- [11] <https://opera-energie.com/energie-solaire/>
- [12] K. IDJDARENE, 'Gisement solaire', cours première année Master, Faculté technologie, département génie électrique, université de Bejaïa.
- [13] P. Bessemoulin et J. Oliviéri, « LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET SA COMPOSANTE ULTRAVIOLETTE », Éditeur: Société météorologique de France, Paris (FRA), p43, 2000.
- [15] *Oriol Planas - Ingénieur Technique Industriel, spécialité mécanique*
Date de publication : 13 mai 2015
- [16] O. Chirifi, H. Madache, 'Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière', Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.
- [17] S. K. Rajput, « SOLAR ENERGY Fundamentals, Economic and Energy Analysis », Northern India Textile Research Association Sector-23, Rajnagar, Ghaziabad 201002.
- [18] TRAHI Fatiha. «Application pour le dimensionnement d'une installation Photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA. » Mémoire de Magister, université de Tizi Ouzou Génie électrique 2011

Références bibliographiques

- [19] Bouzid Allah El Moubarak. «Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme (Etude de l'onduleur triphasé li a cette application) »,mémoire d'ingénieur d'état, université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Génie électrique 2008.
- [20] PANNEAUX SOLAIRES, <https://www.future-tech.fr/panneaux-solaires.fr,8,48.cfm>, consulté le 30 Avril 2019
- [21] MEZIANI Zahra. «Modélisation de modules photovoltaïques ». Mémoire de magister, Université de Batna Génie électrique 2012
- [23] **Mme RAHRAH Karima**, «Dimensionnement et optimisation d'un système de pompage photovoltaïque destiné pour l'alimentation en eau potable », Thèse pour l'obtention du grade de docteur en science , Université de Bejaia, 2016
- [24] Site web, Titre d'accueil : Energie solaire photovoltaïque (PV) : une filière compétitive ensiteisolé,web :<https://www.encyclopedie-energie.org/lenergie-solaire-photovoltaique-pv-une-filiere-competitive-en-site-isole/> , Consulté le 10/08/2020
- [25] **BOUTLILIS Fatima**, « Modélisation et simulation des sources de production décentralisées, application à l'intégration d'un générateur PV à stockage dans un réseau électrique », Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2018.
- [26] A. El Amrani, A. Mahrane, F.Y. Moussa et Y. Boukennous, « Procédé D'encapsulation des modules photovoltaïques type mono-verre », Unité de développement de la Technologie du Silicium, 02, Bd Frantz Fanon, B.P. 399, Alger, Rev. Energ. Ren. Vol. 9, p37 – 42, (2006).
- [27] A.Luque, S.Hegedus, « Handbook of Photovoltaic Science and Engineering », 2003, John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- [28] **Site web**, Titre d'accueil : SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : LES TECHNOLOGIES ET LEURS TRAJECTOIRES, Web : <https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-photovoltaique-les-technologies-et-leurs-trajectoires/> ,Consulté le 01/09/2020.
- [29] **Touil Nacer Eddine, Ghenbazi Slimane** « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque »,Mémoire de Master, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2015.
- [30] **BELABBAS AREZKI , CHERIF Aghiles** « Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome de 16 KW », Mémoire de fin d'études de Master Académique Université Mouloud MAAMMERI De Tizi-Ouzou, 2016.

Références bibliographiques

- [31] **Rafik BELABED**, « Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017
- [32] **BOUZEGANE Mhenna , GAOUAOUI FERHAT** , « Alimentation d'un moteur a courant -continu par une source photovoltaïque »,Mémoire de Master, Université de Tizi Ouzou ,2018.
- [33] **Bendjellouli ZAKARIA** , « Contribution à la modélisation d'une cellule solaire », Mémoire de Magister, Université de Bechar,2009.
- [34] **OUALID Mokhtar** « élaboration d'un programme d'aide au diagnostic pour un système photovoltaïque autonome », Mémoire master , Université M'sila ,2016
- [35] **DJILAT Zahra, BOURAS Sarra**, « Méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïque, application à la région de M'sila », Mémoire de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2019
- [36] **M. BENGHANEM**, « Etude de la performance des systèmes photovoltaïque autonomesTravaillant à poste fixe », Thèse de Doctorat, U.S.T.H.B, avril 1999.
- [37] **Boukhelifa Hamza**, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kW », Mémoire de Master, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2017.
- [38] **Meghllet Hanine , Hocine Lynda** «Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Colonel Akli Mohand-Oulhadj Bouira , 2018.
- [39] **Belhadj Mohammed**, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome » , Mémoire de Magister, Centre Universitaire De Bechar, 2008.
- [40] **Smaïl SEMAOUI**, « Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire Photovoltaïque », Mémoire de Magister,Université DE OUARGLA, 2004
- [41] <https://www.dimel-dz.com>
- [42] <https://ekwateur.fr/>
- [43] <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>

Annexes 1

Détermination par matlab/Simulink des dimensions de l'installation

a. Calcul de la taille du générateur PV

La figure suivante présente le schéma bloc pour le calcul de la taille du générateur sous matlab/Simulink

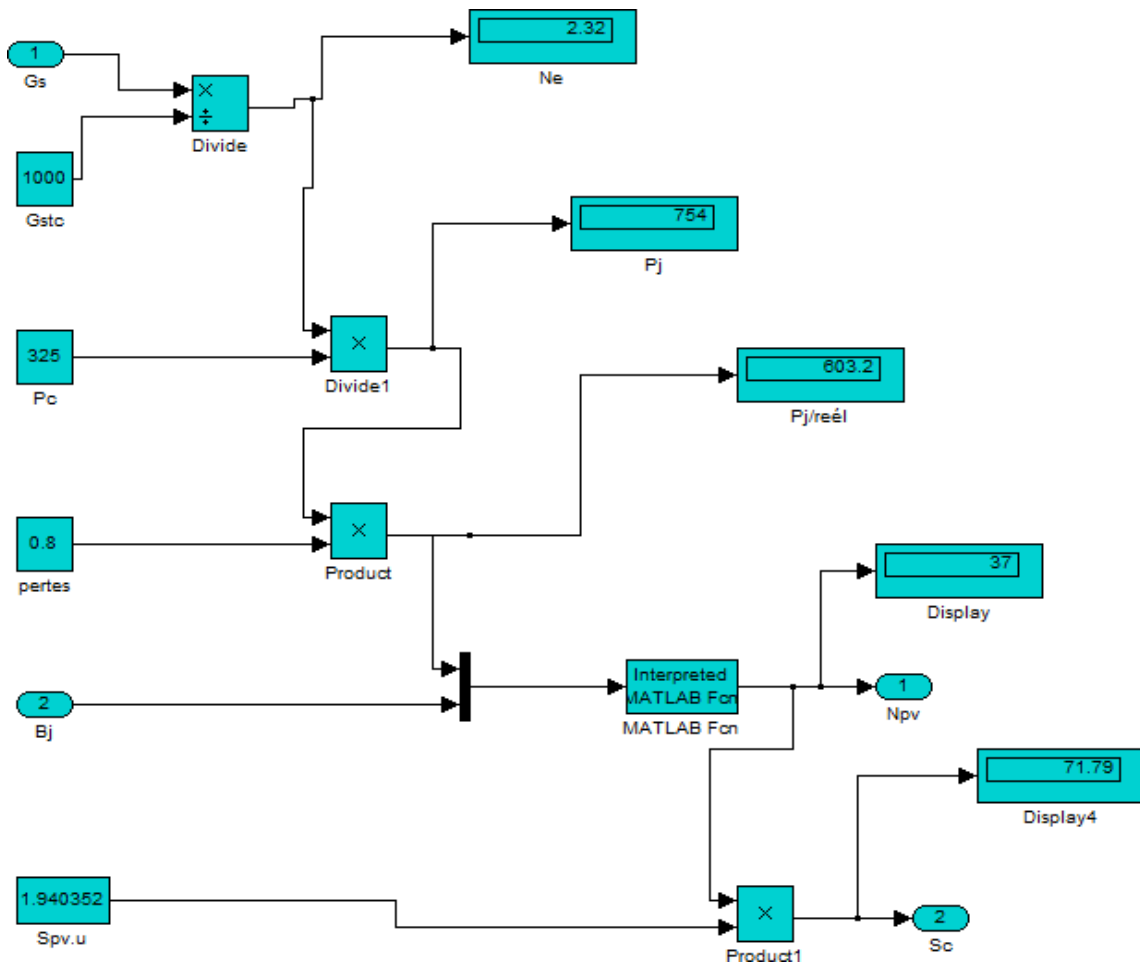


Schéma bloc pour le calcul de la taille du générateur PV.

Ci-après un tableau récapitulatif des résultats obtenus.

	Matlab/Simulink
Nombre d'heures équivalentes	2.32h
Puissance journalière du panneau	754Wh
Puissance journalière réels	603.2Wh
Nombre de panneaux	37
Surface	71.79m ²

Récapitulatif des résultats de simulation de la taille du générateur.

Annexes 2

a. Calcul de la taille des batteries :

La Figure III.11 représente le schéma bloc pour le calcul de la taille des batteries sous Matlab/Simulink :

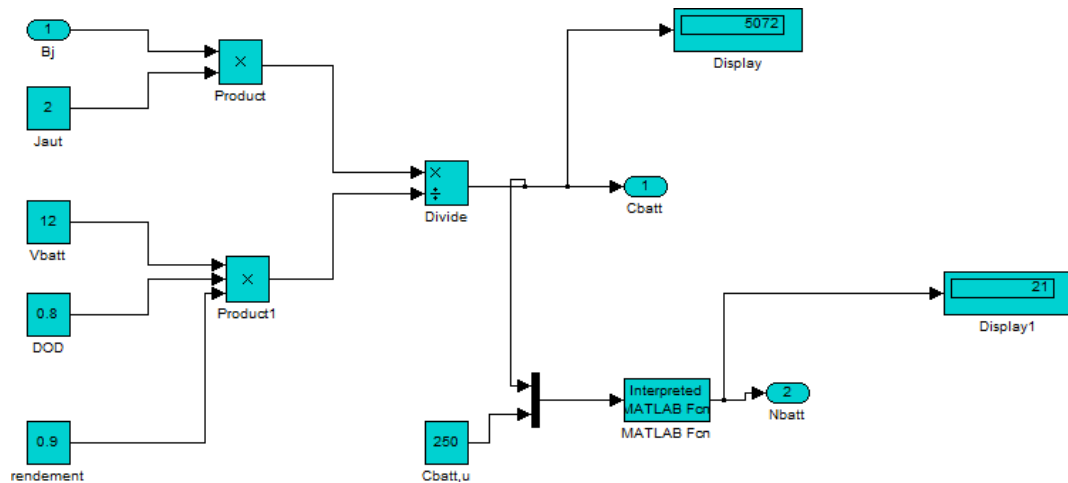


Figure.III.11: Schéma bloc pour le calcul de la taille des batteries.

Matlab/Simulink
$C_{batt}=5072Ah$
$N_{batt}=21$

Tableau III.18:Récapitulatif des résultats pour la taille des batteries.

Annexes 3

a. Dimensionnement des câbles :

- Entre le panneau et la boîte de raccordement

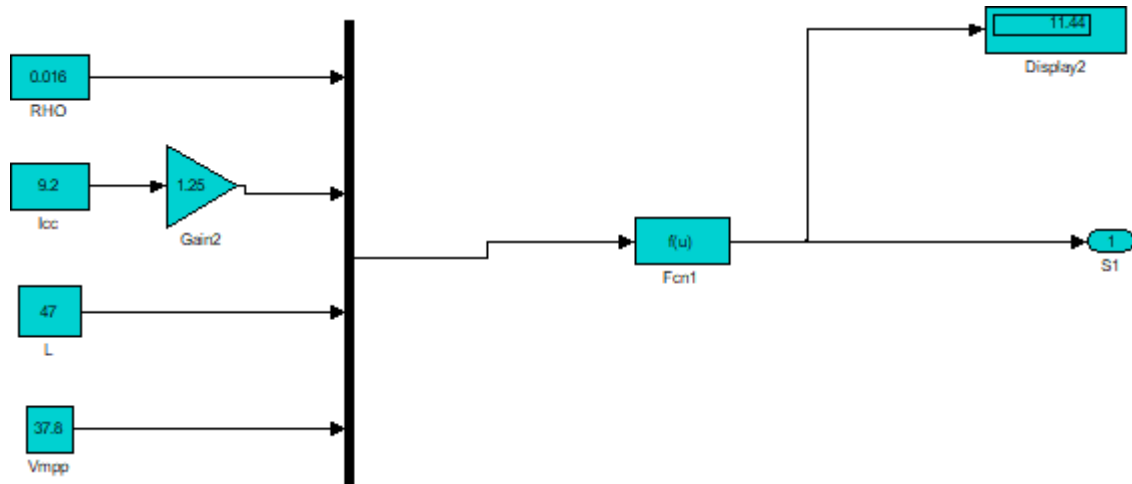


schéma bloc pour le calcul de la taille des câbles.

- Entre la boîte de raccordement et le régulateur et les batteries.

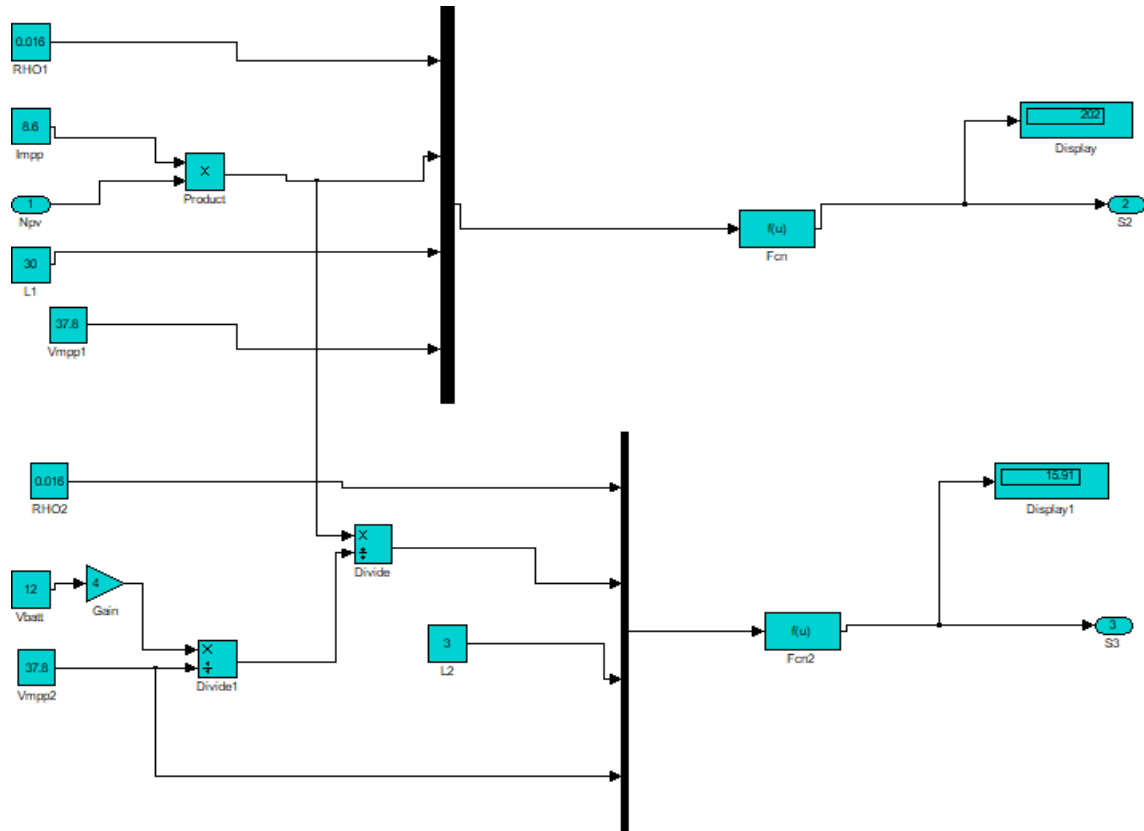


Schéma bloc pour le calcul de la taille des câbles

- **Coté AC**

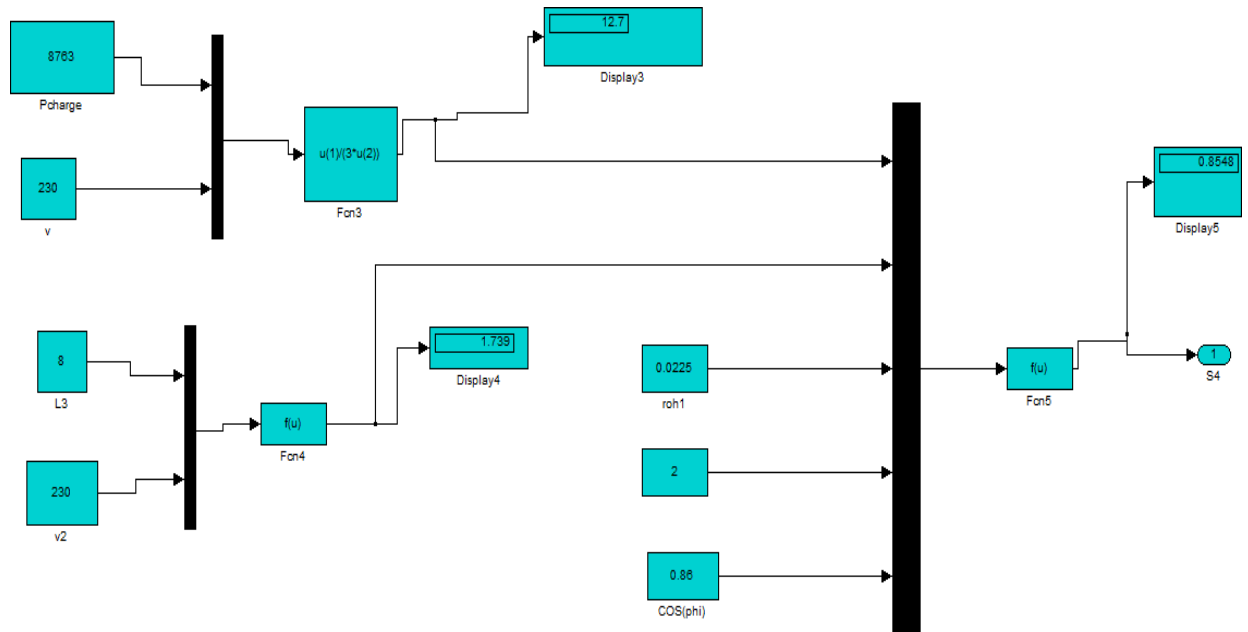


Schéma bloc pour le calcul de la taille des câbles.

	Matlab/Simulink
Section entre les panneaux PV et la boîte de raccordement	11.44mm ²
Section entre la boîte de raccordement et le régulateur.	202mm ²
Section entre le régulateur et les batteries.	15.91mm ²
Section Coté AC	0.8548mm ²

Annexes 4

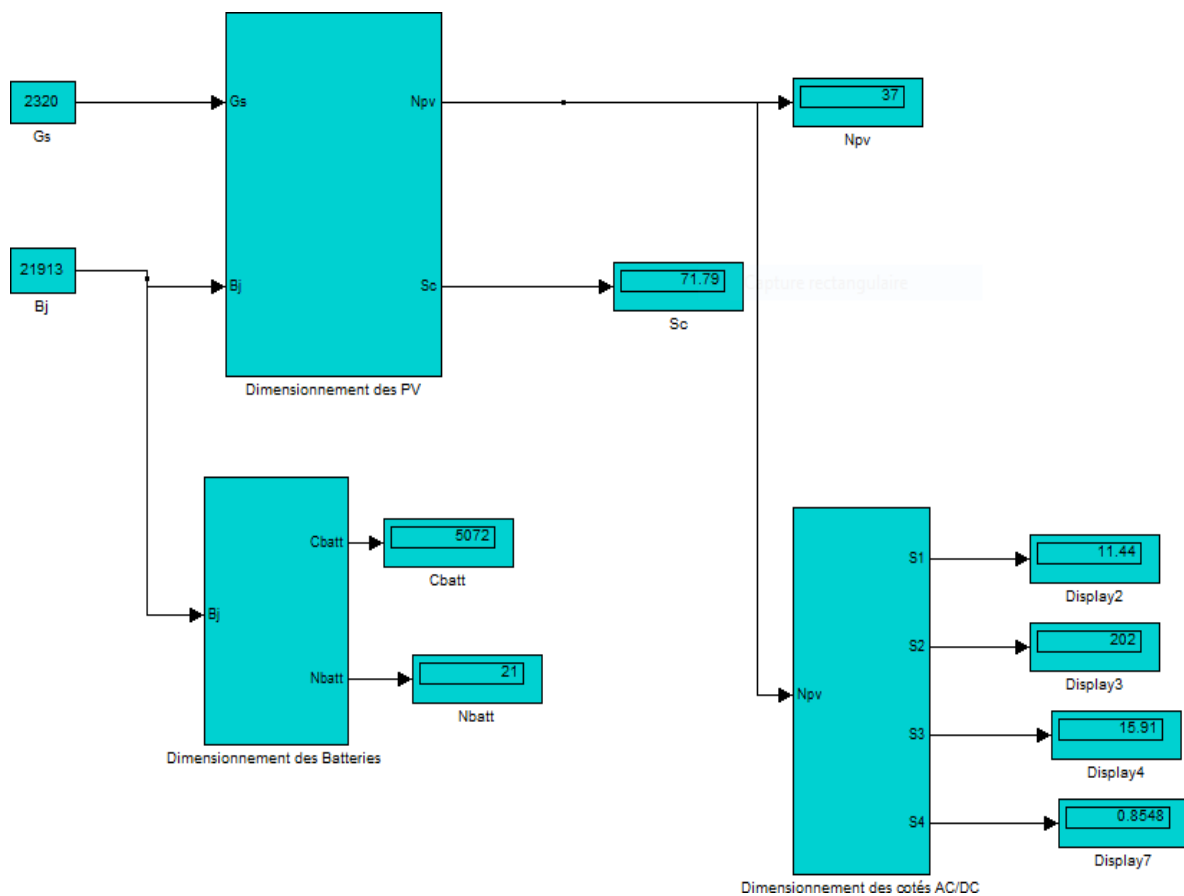


Schéma bloc global