

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 : énergie renouvelable

Option : Énergie renouvelable en électrotechnique

Thème

Etude et dimensionnement d'une mini centrale photovoltaïque à la station de pompage de Béni Mansour pour la Sonatrach

Réalisé par :

- Imadalou Mehdi
- Ifourah Yanis

Promoteur : Professeur DJ. Rékioua

Membres de jury : Mr Taraft

Mr Bekka

Mme Rahrah

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

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 promotrice Madame REKIOUA pour le suivi et le précieux temps qu'elle 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

(Mr Taraft, Mr Bekka et Mme Rahrah) d'avoir consacré leur temps à la lecture de ce manuscrit, et d'accepter de juger et d'évaluer ce travail.

On remercie également Mr Idir Ahmed pour son aide, ses conseils, et son orientation.

On tient aussi à remercier les responsables de la station de Béni Mansour surtout Mr Lahlou Benmessoud pour son temps, sa disponibilité et ses conseils.

On remercie énormément Mr Abdelfettah Nordine pour son aide précieuse et son bon encadrement.

On tient surtout à remercier vivement notre cher ami de longue date 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

À toutes personnes que je porte dans mon cœur.

Yanis

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, ma sœur qui n'ont jamais cessés de m'encourager, et A tous mes amis ou qu'ils soient.

Mehdi

Table des matières

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

Chapitre I : Energies renouvelables à l'échelle internationale et national

Introduction.....	3
I.1. Historique	3
I.2. Energies renouvelables dans le monde	5
I.3. Energies Renouvelables en Algérie	6
I.3.1. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables en Algérie.....	7
I.4. Energie solaire dans le monde	8
I.5. Energie solaire en Algérie	9
I.5.1. Les projets de l'énergie solaire photovoltaïque en Algérie	10
Conclusion	12

Chapitre II : Systèmes photovoltaïques

Introduction.....	13
II.1. L'énergie solaire.....	13
II.1.1. Définition	13
II.2. Le rayonnement solaire	13
II.2.1. Définition	13
II.2.2. Les différents types de rayonnements	14
a) Le rayonnement solaire incident (direct).....	14
b) Le rayonnement solaire diffus	14
c) LeRayonnement solaire réfléchi(Albédo)	14
Rayonnement solaire absorbé	15
II.3. Les cellules photovoltaïques (photopiles)	15
II.3.1. Définition	15
II.4. Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques	16
II.5. Générateur photovoltaïque	17
II.6. Les constituants d'un module PV.....	17
II.7. Principe de la conversion photovoltaïque	18
II.8. Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques	19
II.9. Les Composants d'un système photovoltaïque	20
II.9.1. Le champ photovoltaïque	20

II.9.1.2. Système de stockage.....	21
II.9.1.3. Types d'accumulateur	21
II.9.2. Fusibles et disjoncteurs	21
II.9.3. Protection contre la foudre	22
II.10. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque	22
Conclusion	23

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Introduction.....	24
III.1. Objectif de l'étude.....	24
III.1.1. Objectif général.....	24
III.1.2. Objectifs spécifiques	25
III.2. Matériels et méthodes	25
III.3. Présentation de la structure	25
III.3.1. Les données du site	26
III.3.2. Irradiations moyennes mensuelles	26
III.4. Etude technique.....	27
III.4.1. Les équipements alimentés par la mini centrale photovoltaïque	27
III.5. Dimensionnement du système photovoltaïque	27
III.5.1. Choix des méthodes de dimensionnement	27
III.6. Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques	28
III.7. Les bilans de puissance et énergétique	28
III.7.1. Le bilan des charges de la base de vie de la station de Béni.....	29
Mansour choisies pour notre étude	29
III.8. Dimensionnement des panneaux.....	31
III.8.1. Caractéristiques des panneaux utilisés pour le dimensionnement	31
III.9. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier ...	33
III.10. Dimensionnement et choix de l'onduleur	34
III.11. Assemblage de panneaux	36
III.12. Implantation du champ photovoltaïque	40
III.12.1. Orientation et inclinaison des panneaux PV	40
III.12.2. Le champ des modules photovoltaïques	41
III.12.3. Distances inter-rangées	42
III.13. Dimensionnement des batteries	43
III.14. La section des câbles.....	45
Conclusion	48

Chapitre IV : Etude technico-économique du système étudié

Introduction.....	49
IV.1. Application et analyse technico-économique pour le système photovoltaïque ..	49
IV.1.1. Choix des panneaux photovoltaïques à utiliser	49
IV.1.1.1. Panneaux photovoltaïques monocristallins.....	49
IV.1.1.2. Panneaux photovoltaïques poly-cristallins	50
IV.1.1.3. Etude comparative entre les différents panneaux photovoltaïques.....	50
IV.2. Choix des batteries à utiliser	53
IV.3. Devis total de l'installation solaire photovoltaïque	58
Conclusion	60
Conclusion générale.....	61

Liste des abréviations

TWh : Téra watt-heure

SDS : Scénario de développement durable

kb / j : 1 000 barils par jour

AIE : Agence Internationale de l'Energie

EnR : Energie Renouvelable

TEP : Tonne d'Equivalent Pétrole

GPLc : Gaz de Pétrole Liquéfié carburant

GNe : Gaz naturel comprimé

PV : Photovoltaïque

SPP : Solar Power Plant

CSP : Concentrating Solar Power

SPE : Société Algérienne de Production de l'Electricité

BJ : Besoin Journalier

CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables

SBM : Station de Béni Mansour

EPC : Etude, procurment et construction

GPL : Gaze de pétrole liquéfié

Gj : Irradiation moyenne mensuelle journalière

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 chaîne

I_{max} : Courant maximal

P_{pv} : 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

P_c : Puissance crête

GES : Gaz à effet de serre

Liste des figures

Chapitre I : Energies renouvelables à l'échelle internationale et national

Figure I.1 : Alexandre Edmond Becquerel**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.2 : Croissance mondiale moyenne annuelle des technologies basées sur les énergies renouvelables (le scénario de développement durable**Erreur ! Signet non défini.**

Figure I.3 : Tendances de la capacité installée du photovoltaïque 8

Chapitre II : Systèmes photovoltaïques

Figure II.1 : Composition du rayonnement solaire**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.2 : Composantes du rayonnement solaire**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.3 : Cellule photovoltaïque**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.4 : Les types de cellules qui composent un PV**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.5 : Composantes d'un générateur de modules photovoltaïques**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.6 : Les différentes couches constituant un module PV**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.7 : Schéma de principe de la conversion photovoltaïque.**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.8 : Schéma synoptique général d'une installation PV 19

Figure II.9 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Figure III.1 : Schéma de câblage du système**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre IV : Etude technico-économique du système étudié

Figure IV.1 : Schéma bloc de simulation des différents panneaux photovoltaïques monocristallin51

Figure IV.2 : Schéma bloc de simulation pour différents panneaux photovoltaïques Polycristallin**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.3 : Schéma bloc simulation pour les différentes batteries.... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.4 : Simulation de la compatibilité en puissance.....55

Figure IV.5 : Simulation de la compatibilité en tension.....55

Figure IV.6 : Simulation de la compatibilité en courant.....56

Figure IV.7 : Schéma bloc global.....57

Figure IV.8 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque exprimé en pourcentage.....59

Liste des tableaux

Chapitre I : Energies renouvelables à l'échelle internationale et national

Tableau I.1 : L'horizon des énergies renouvelables en 2030**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II : Systèmes photovoltaïques

Tableau II.1 : Quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol ... **Erreur ! Signet non défini.**4

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque

Tableau III.1 : irradiations moyennes mensuelles journalières ... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.2 : bilan de puissance et besoin journalier**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.3 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque condor CEM200M-72**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.4 : Caractéristique mécaniques du module photovoltaïque condor CEM200M-72**Erreur ! Signet non défini.**2

Tableau III.5 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier**Erreur ! Signet non défini.**3

Tableau III.6 : Résultats du dimensionnement selon le besoin journalier**Erreur ! Signet non défini.**3

Tableau III.7 : Fiche technique de l'onduleur ABB**Erreur ! Signet non défini.**4

Tableau III.8 : Compatibilité en puissance de l'onduleur **Erreur ! Signet non défini.**5

Tableau III.9 : Compatibilité en tension de l'onduleur...**Erreur ! Signet non défini.**5

Tableau III.10 : Compatibilité en courant de l'onduleur **Erreur ! Signet non défini.**6

Tableau III.11 : Fiche technique de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD.....**Erreur ! Signet non défini.**7

Tableau III.12 : Compatibilité en puissance de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD**Erreur ! Signet non défini.**8

Tableau III.13 : Compatibilité en tension de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD**Erreur ! Signet non défini.**8

Tableau III.14 : Compatibilité en courant de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD 39

Tableau III.15 : Estimation de l'inclinaison des panneaux en fonction de la latitude .41

Tableau III.16: Dimensionnement des batteries	43
TABLEAU III.17 : Résultats du dimensionnement des batteries	44
Tableau III.18 : Calcul de la section des câbles	45
Tableau III.19 : Tableau récapitulatif des équipements à installer.	46

Chapitre IV : Etude technico-économique du système étudié

Tableau IV.1 : Devis estimatif unitaire des différents panneaux photovoltaïques monocristallins	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.2 : Devis estimatif unitaire des différents panneaux photovoltaïques Polycristallins.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.3: Les résultats de simulation des différents panneaux	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.4 : Devis estimatif total des différents panneaux photovoltaïques	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.5 : Devis unitaire des différentes batteries	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.6 : Devis estimatif total des différentes batteries	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.7 : Devis estimatif total des câbles électriques.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.8 : Devis estimatif de l'onduleur.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.9 : Devis estimatif de l'installation.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction générale

Introduction

Introduction générale

L'Algérie, tout comme le reste de la planète se heurte à son tour à une grandissante demande en énergie qui est parmi les points importants pour le développement des nations. A l'heure actuelle pour satisfaire cette demande il faut une transition vers les énergies renouvelables. En effet le passage obligatoire vers ces énergies sous exploitées est venu suite aux nombreux problèmes rencontrés au fil des temps, et qui commence sérieusement à menacer la vie humaine. On pense alors à : L'augmentation des couts ainsi qu'à la forte utilisation mondiale de combustibles fossiles qui atteint ses limites, causant parallèlement de graves dommages environnementaux et donc un réchauffement climatique à l'échelle mondial.

Les énergies dites primaires tels que l'énergie marémotrice, solaire, hydraulique et éolienne sont parmi les nombreuses sources qui possèdent un gros avantage de ne pas nuire à l'environnement et donc à notre atmosphère grâce à l'absence de rejet de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et oxyde d'azote). En ce moment l'énergie solaire est entrain de franchir un nouveau cap qui est celui d'énergie la plus réponde après les énergies secondaires. Depuis des lustres, l'être humain utilise cette énergie visible le jour, fascinante et puissante à ces dépens pour différents usages. A l'ère des grecques par exemple, Socrate est devenu le premier avocat solaire. Xenophon, élève de Socrate, enregistre dans son travail les *Souvenirs*, un dialogue socratique ou le grand sage a enseigné à ses étudiants les principes de l'architecture passive solaire. Il a conclu sa discussion en déclarant : « Désormais, dans les maisons orientées vers le sud, les rayons du soleil pénètrent dans les portiques [porches couverts], tandis qu'en été, la course du soleil passe juste au-dessus de nos têtes et au-dessus du toit. Nous avons donc de l'ombre. » [1]

Aujourd'hui l'énergie solaire est utilisée sous différentes formes, thermique, thermodynamique et Photovoltaïque. Cette dernière est la plus répandue compte tenu de sa maturité acquise au fil des années, de sa demande constante et c'est à juste titre que nous nous intéressons aujourd'hui par le biais de notre Etude à son exploitation qui se fait en utilisant des panneaux photovoltaïques conçus pour la conversion de l'énergie solaire en électricité.

Ladite station de pompage, qui reçoit le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud par le biais d'une canalisation de diamètre 24 pouces (1 Pouce est égal à 25.4 mm) aboutissant au terminal de Bejaia, permet de transférer à travers une canalisation en acier de diamètre 20 Pouches un débit horaire de pétrole vers la raffinerie d'Alger. Cette raffinerie est destinée à la production des produits pétroliers à savoir les carburants et les huiles de graissage pour répondre aux besoins en produits raffinés du grand Alger mais aussi aux villes limitrophes.

La station de Béni Mansour est alimentée actuellement par énergie électrique provenant de la centrale de Sonelgaz, c'est-à-dire une électricité produite par des turbo alternateurs dont les

Introduction

turbines consomment du gaz naturel qui est une énergie non renouvelable et qui génèrent également des émissions de gaz à effet de Serre appelés communément (GES).

Aussi, compte tenu de certaines contraintes liées à la non fiabilité des lignes électriques alimentant cette station de pompage, la présente étude consiste à prendre en charge cette problématique en suppléant cette ligne à travers une mini centrale photovoltaïque pour alimenter la base de vie du personnel. Pour cela notre travail a été réparti en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé des énergies renouvelables tant au niveau mondial qu'au niveau national, nous avons donné le programme de développement des énergies renouvelables tracé par L'Algérie en quelques statistiques.

Le deuxième chapitre a été consacré au système photovoltaïque, en définissant quelques notions sur l'énergie solaire, les différents types de rayonnements, Les cellules photovoltaïques qui forment le panneau photovoltaïque et les différents types de ce dernier, nous avons aussi abordé les différentes configurations de ces systèmes ainsi que les composants d'un champ photovoltaïque.

Au troisième chapitre le contenu s'est porté sur le dimensionnement de la mini centrale photovoltaïque de la sorte à déterminer les caractéristiques et le nombre de ses équipements (panneaux, batteries, onduleurs).

Dans le dernier chapitre nous nous sommes intéressés à l'aspect économique en faisant une étude technico-économique en simulant les panneaux monocristallin et polycristallin de différentes puissances, les batteries de différentes capacités, dimensionner l'onduleur adéquat, les câbles et cela dans l'optique d'avoir la mini centrale là moins chère.

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 sont 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 que national.

I.1. Historique

Le système solaire contient la source d'énergie, de lumière et de chaleur la plus importante qui est le soleil, responsable notamment de la vie sur Terre. La croissance exponentielle de la consommation énergétique par l'homme au cours du 20ème siècle, a clairement éveillé l'intérêt de l'utilisation de l'énergie solaire. L'expression " il n'y a rien de nouveau sous le soleil " [2] est particulièrement bien appropriée ici car, bien sur l'homme a créé les panneaux solaires, mais depuis la sédentarisation de l'humanité, la lumière du soleil a toujours été exploitée. Au fil des millénaires, nous avons utilisé le soleil comme source de lumière et de chaleur. La dernière utilisation se résume en un mot : photovoltaïque qui est la combinaison de deux mots : "photo", mot d'origine grecque qui signifie lumière ; et "voltaïque", provenant de "volt" qui représente l'unité de mesure pour quantifier le potentiel électrique, nommé en l'honneur du physicien italien Alessandro Volta, qui inventa la première pile électrique au 18ème siècle. [1][2]

Quelques décennies après le travail d'Alessandro Volta sur les piles. Un autre scientifique du nom d'Alexandre Edmond Becquerel (**Figure I.1**) découvre pour la première fois en 1839 l'effet photovoltaïque. Ce scientifique français a constaté que cette pile constituée d'électrodes de platine et de cuivre oxydé plongés dans une solution électrolytique acide est capable de fournir un courant dès l'instant où elle est éclairée. En 1877, William Grylls Adams et Richard Evans Day découvrent l'effet photovoltaïque du sélénium, Charles Fritts lui met au point le premier panneau photovoltaïque à base de cellules au sélénium. Il est surtout le premier à croire à l'énorme potentiel de l'énergie solaire. À cette époque, le niveau des connaissances scientifiques était limité pour expliquer le fonctionnement de ces dispositifs. Par la suite, Albert Einstein se pencha sur ce travail, en 1905, il publie un papier sur le potentiel de production d'électricité à partir de la lumière du soleil. Ce document explore l'effet photovoltaïque, ce qui lui a valu le prix Nobel en 1921. [1][2]



Figure I.1 : Alexandre Edmond Becquerel [3]

En 1913, William Coblentz a posé le premier brevet pour une cellule solaire, mais sans jamais la faire fonctionner. A l'inverse de Robert Millikan qui en 1916 a réussi pour la première fois à produire de l'électricité avec cette cellule. Pendant les quarante années suivantes, personne ne fit beaucoup de progrès en énergie solaire car les cellules photovoltaïques avaient un trop mauvais rendement pour transformer la lumière du soleil en énergie. [1][2]

Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire. Ce sont les satellites qui ont réellement fait avancer l'énergie solaire dans les années 1960 lors de la course à l'espace par besoin d'une source d'énergie fiable. L'énergie solaire est parfaite car elle est constante pour les satellites en orbite. L'industrie spatiale a mis beaucoup de fonds dans le développement des panneaux solaires. C'était la première utilisation importante de la technologie solaire. [1][2]

Grâce à l'espace, les panneaux solaires ont prouvé leur fiabilité. Le coût de production des cellules solaires a également diminué. L'énergie solaire a eu un second élan au cours de la crise de l'énergie dans les années 1970. Suite à l'inflation des prix de l'or noir, les panneaux solaires photovoltaïques ont commencé à être utilisés pour la première fois dans les maisons. Depuis ils se sont développés lentement. Pendant longtemps, ils ont été considérés comme des sources d'énergies alternatives mais maintenant ils sont de nouveau en pleine essor car on prévoit prochainement une pénurie de pétrole, du fait de notre préoccupation à l'égard du réchauffement planétaire et notamment des prix de l'énergie qui n'ont jamais été aussi hauts. [1][2]

I.2. Energies renouvelables dans le monde

Le taux de croissance le plus élevé de toutes les sources d'énergie en 2017 est à créditer aux énergies renouvelables, ces dernières ont également représenté un quart de la croissance de la demande énergétique mondiale l'an dernier. Afin d'accroître l'utilisation de l'énergie à faibles émissions de carbone, le secteur de l'électricité s'est avéré très important, en effet la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables a augmenté de 6,3% (380 TWh) en 2017. Désormais, Les énergies renouvelables représentent 25% de la production mondiale d'électricité, la moitié de cette production est réalisée par la Chine et les États-Unis, suivis de l'Union européenne (8%), du Japon et de l'Inde (avec 6% de la croissance chacun). , l'énergie éolienne représentant la plus grande part de la croissance globale des énergies renouvelables (36%), suivie de l'énergie solaire photovoltaïque (27%), de l'hydroélectricité (22%) et de la bioénergie (12%). 40% de la croissance combinée de l'énergie éolienne et solaire photovoltaïque est représentée par la Chine, avec en prime un nouveau record de capacité et une réduction du taux de production. Près de 40% de l'augmentation de l'hydroélectricité a eu lieu aux États-Unis, tandis que les conditions climatiques de l'Union européenne ont réduit la production hydroélectrique d'un dixième. L'Union européenne, la Chine et le Japon ont représenté 82% de la croissance mondiale de la bioénergie en énergie (Figure I.2). [4]

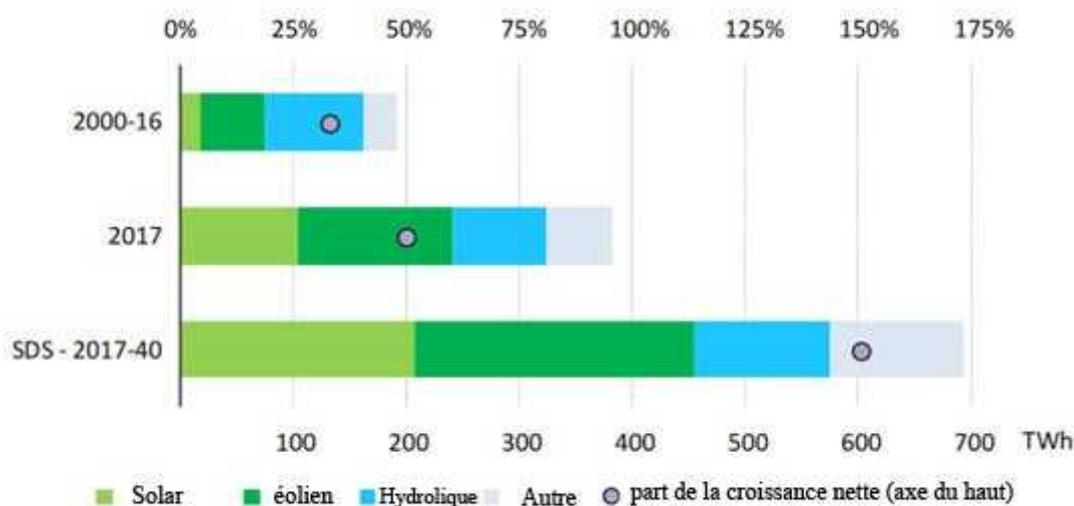


Figure I.2 : Croissance mondiale moyenne annuelle des technologies basées sur les énergies renouvelables (le scénario de développement durable) [4]

La production d'électricité à partir d'énergies primaires hors hydrauliques est dominée par la Chine qui remplace les Etats Unis. Vers la fin de 2017 la capacité mondiale d'énergie solaire photovoltaïque avoisinait les 400 GW. Cette année fut extraordinaire pour ce grand pays au ajouts d'énergies solaires de plus de 50 GW de capacité nouvelle, dépassant ainsi les additions combinées de capacité de charbon, de gaz et d'énergie nucléaire, atteignant les 35 GW en 2016. En 2017 la nouvelle capacité solaire photovoltaïque ajoutée à la Chine équivaut à la capacité solaire totale de la France et de l'Allemagne combinées. Toujours la même année

une baisse de 30% par rapport à 2016 a été observée aux États-Unis avec l'ajout de 10 GW de panneaux solaires photovoltaïques. Néanmoins le record est une capacité de 8 GW ajoutée en 2017 en Inde qui est le double de celle enregistrée en 2016. Dans l'Union européenne, l'éolien a enregistré une année record avec 15,6 GW de capacités supplémentaires, dont 3,1 GW offshore, également un record. Avec la croissance continue de l'énergie éolienne terrestre, la capacité éolienne mondiale (terrestre et offshore) a atteint environ 510 GW. [4]

En dehors du secteur de l'électricité, seule une augmentation modeste de la production de biocarburants de 2% (50 000 barils par jour [kb / j]) a été observée en 2017, ce qui est légèrement inférieur à la croissance de l'année précédente, reflétant par conséquent une tendance à la baisse à plus long terme des nouvelles industries. L'investissement en capacité de production et l'augmentation de la production d'éthanol aux États-Unis et en Europe, ont été partiellement compensés par la baisse de la production au Brésil, tandis que la production de biodiesel est restée globalement stable. La chaleur renouvelable a augmenté modestement au cours des dernières années. En décembre 2017, la Chine, premier consommateur mondial de chaleur, a annoncé un plan quinquennal de chauffage propre axé sur les villes du nord. Ce changement de politique pourrait réduire considérablement l'utilisation du charbon pour le chauffage et le remplacer par des sources plus propres, y compris les énergies renouvelables (biomasse, géothermie et chaleur solaire). Bien que les énergies renouvelables aient connu une croissance rapide en 2017, le rythme de déploiement est inférieur à celui nécessaire pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux du scénario de développement durable de l'AIE. L'intensité des émissions de carbone en 2017 s'est améliorée de moins d'un tiers de ce qui serait nécessaire pour mener à bien la transition mondiale vers les objectifs climatiques.

I.3. Energies Renouvelables en Algérie

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) 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 ainsi préparer le futur en s'engageant dans une nouvelle ère énergétique durable.

Ce programme 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 publique, transport, industrie) et ce, en introduisant l'éclairage performant, l'isolation thermique et les chauffe-eau solaires, les carburants propres (GPLc et GNc), et les équipements industriels performants. Il permettra également de réduire les émissions de CO₂ de 193 millions de tonnes. [5]

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.

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

- J) **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.
- J) **Deuxième phase 2021 - 2030** : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara, 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. [5]

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. [5]

I.3.1. 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 [5]

I.4. Energie solaire dans le monde

Elle peut être exploitée directement du soleil, même par temps nuageux, elle est utilisée dans le monde entier et est de plus en plus utilisée pour la production d'électricité, le chauffage et le dessalement de l'eau. Cette énergie est générée de deux manières principales :

Les cellules photovoltaïques (PV), également appelées cellules solaires, sont des dispositifs permettant la conversion de la lumière du soleil en électricité. La cellule solaire moderne est probablement une image que la plupart des gens reconnaîtront, ce sont les panneaux installés sur les maisons et les calculatrices. Ils ont été inventés en 1954 par les laboratoires Bell Téléphone aux États-Unis. Aujourd'hui, le photovoltaïque est l'une des technologies d'énergie renouvelable dont la croissance est la plus rapide et prête à jouer un rôle majeur dans la future offre mondiale de production d'électricité.

Les installations photovoltaïques solaires peuvent être combinées pour fournir de l'électricité à une échelle commerciale, ou organisées en configurations plus petites pour des mini-réseaux ou à des fins personnelles. L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour l'alimentation des mini-réseaux est un excellent moyen d'offrir un accès électrique aux personnes qui ne vivent pas à proximité de lignes de transport d'énergie, en particulier dans les pays en développement dotés d'excellentes ressources en énergie solaire.

Le coût de fabrication des panneaux solaires a considérablement chuté au cours de la dernière décennie, les rendant non seulement abordables mais aussi la forme d'électricité la moins chère. Les panneaux solaires ont une durée de vie d'environ 30 ans et se déclinent sous différentes teintes en fonction du type de matériau utilisé dans la fabrication (**Figure I.3**). [6]

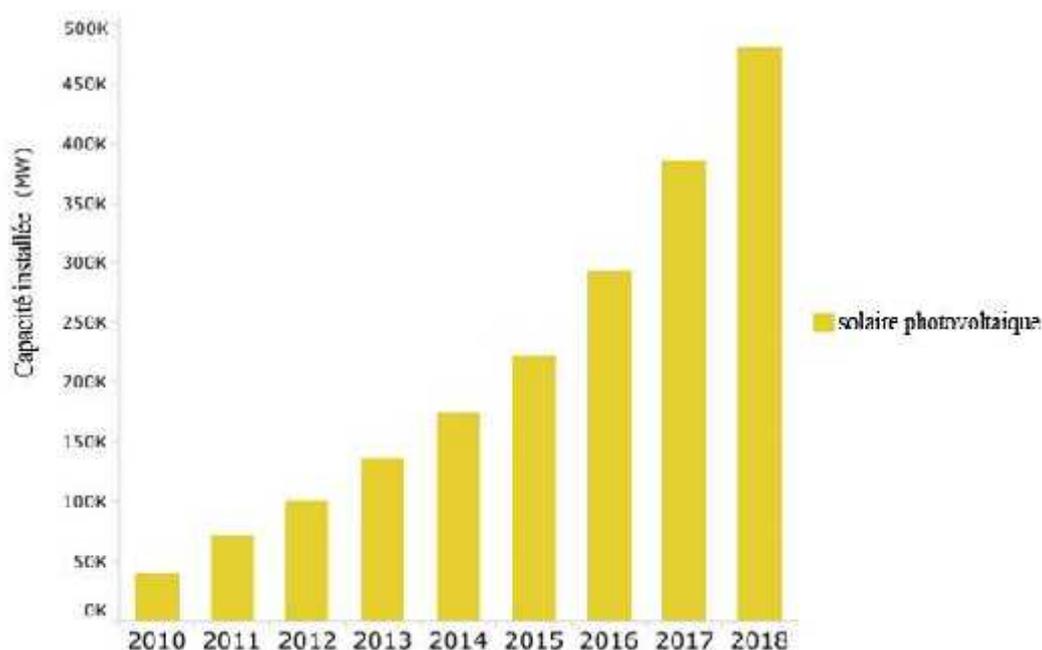


Figure I.3 : Tendence de la capacité installée du photovoltaïque [6]

I.5. Energie 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. [7]

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. [7]

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. [7]

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, privilégie 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. [7]

I.5.1. 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] :

- **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]

- **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 ; [11]

-) La Centrale photovoltaïque 03 MW de Djanet (Illizi), mise en service en février 2015 ; [12]

-) La Centrale photovoltaïque 20 MW de Adrar (Adrar), mise en service en octobre 2015 ; [13]

-) 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 (KYOTO, COP 21) ont amené les pays ayant paraphé ces protocoles à réduire leurs émissions atmosphériques pour diminuer la température mondiale, dans cette optique, le gouvernement algérien a lancé un programme ambitieux 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. Nous citons à titre d'exemple certaines centrales : La Centrale photovoltaïque 20 MW de Adrar, La ferme éolienne de 10 MW de la Société Algérienne de Production de l'Electricité dénommée SPE dans la région d'Adrar, La Centrale photovoltaïque 20 MW de Laghouat, L'Algérie ambitionne d'en réaliser un nombre conséquent dans un avenir proche au sud du pays.

Chapitre II

Systeme photovoltaïque

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, souple et fiable. Dans ce chapitre nous parlerons sur quelques notions sur l'énergie solaire mais aussi le système photovoltaïque brièvement en finissant avec quelques avantages et inconvénients.

II.1. L'énergie solaire

II.1.1. Définition

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Celle-ci permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires. L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous, est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde. [14]

II.2. Le rayonnement solaire

II.2.1. Définition

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. [14] [15]

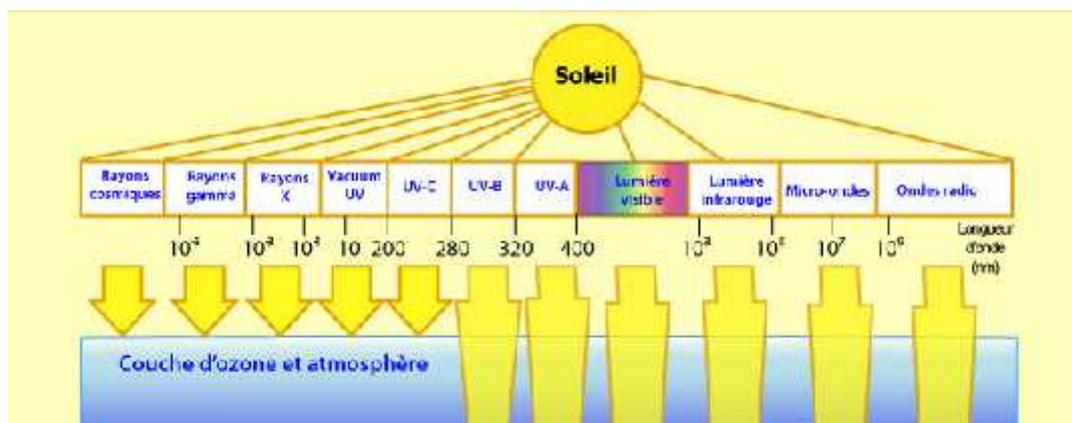


Figure II.1 : Composition du rayonnement solaire [16]

II.2.2. Les différents types de rayonnements

Dès que le rayonnement solaire atteint l'atmosphère, il se propage dans celui-ci et interagit avec ces constituants gazeux et avec toutes les particules présentes en suspension (aérosols, gouttelettes d'eau et cristaux de glace) et donc il se distingue en plusieurs types : réfléchi, diffusé ou absorbé. [14]

a. Le rayonnement solaire incident (direct)

Est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. C'est un rayonnement qui rencontre tout obstacle auquel il a donné tout ou une 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. [17] [14]

b. 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. [17] [14]

c. Rayonnement solaire réfléchi(Albédo)

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. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope. Ci-dessous (Tableau II.1) on a quelques valeurs de l'Albédo selon la nature du sol : [17] [14]

L'Albédo se calcule comme suit :
$$\text{Alb} = \frac{E_{\text{Réf}}}{E_{\text{échi}}}$$

L'albédo est le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface / énergie incidente	
La proportion actuelle des différentes surfaces (végétation, glace, océan) => albédo moyen = 0,3	
Surfaces	Albédo (%)
Neige fraîche	75 à 95
Neige tombée depuis plusieurs jours	40 à 70
Océan	5 à 15
Sable sec	25 à 45
Forêt tropicale	10
Forêt de conifères	5 à 15
Cultures	15 à 25

Tableau II.1 : Quelques valeurs de L'albédo selon la surface du sol. [18]

d. 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.2**). [6] [14]

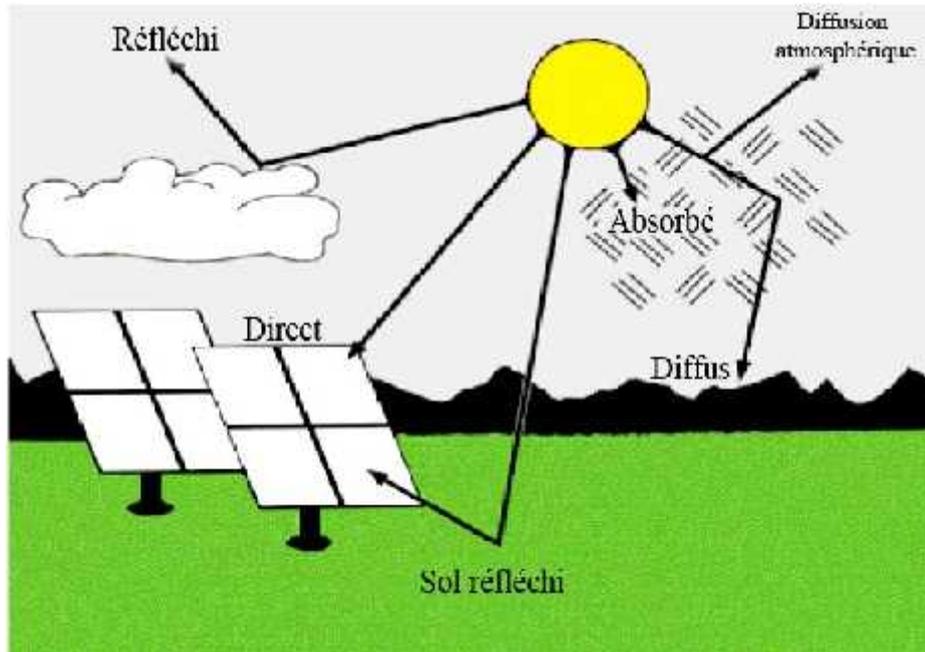


Figure II.2 : composantes du rayonnement solaire. [19]

II.3. Les cellules photovoltaïques (photopiles)

II.3.1. Définition

Ce sont des composants électroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs généralement le silicium pur obtenu, à partir de la silice (quartz ou sable) par transformations chimiques et métallurgiques utilisés en tranches fines, ou en dépôts sur un substrat (**Figure II.3**). [20] [21]

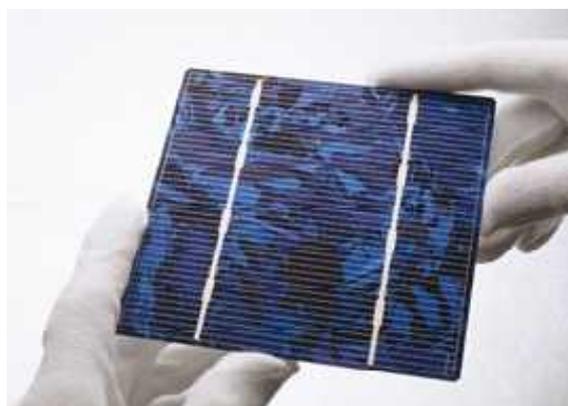


Figure II.3 : Cellule photovoltaïque [23]

II.4. Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques

On distingue actuellement 3 principaux types de panneaux photovoltaïques (**Figure II.4**), qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent (monocristallin, polycristallin et couche mince/amorphe). Toutes les cellules sont produites à base de silicium, mais les méthodes de fabrication différentes leurs donnent des caractéristiques très différentes, en termes de performance, productivité et durée de vie.

) **Silicium monocristallin :**

Est constitué d'un seul cristal et présente un rendement légèrement supérieur au silicium polycristallin (15 %), néanmoins il est plus cher à la production, donc à la vente en raison de son exigence de grande pureté et de l'importante quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication. Les cellules monocristallines sont en général octogonales et d'une couleur uniforme foncée (bleu marine ou gris).

) **Silicium polycristallin :**

Il est constitué de plusieurs monocristaux juxtaposés dans différentes orientations donnant à la cellule un aspect mosaïque. Les cellules polycristallines sont en général de forme rectangulaire et de couleur bleu nuit avec des reflets. Le silicium polycristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement (13 %) ainsi qu'à des coûts de production moins élevés que les cellules monocristallines.

) **Silicium amorphe en couche mince :**

Produit à partir d'un "gaz de silicium", qui est projeté sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. La cellule est grise très foncée, elle est utilisée partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, calculatrices, luminaires de secours. Elle se caractérise par un fort coefficient d'absorption ainsi qu'un faible rendement (de 5 à 10 %).

Par ailleurs, d'autres alternatives technologiques commencent à être commercialisées : il s'agit de la technique de la couche mince pour d'autres matériaux à l'instar du tellure de cadmium (CdTe) et les alliages à base de cuivre, d'indium et de sélénium (CIS ou CIGS).
[21] [22]

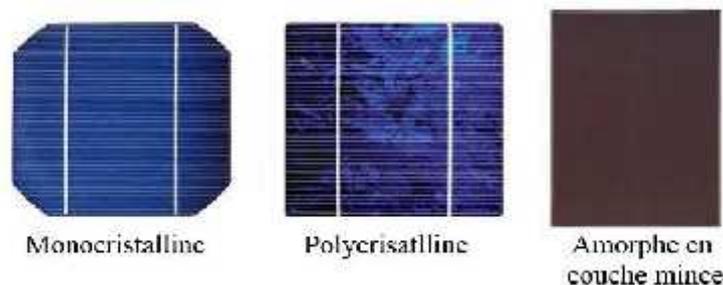


Figure II.4 : les types de cellules que compose un PV [24]

II.5. Générateur photovoltaïque

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un GPV. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera (**Figure II.5**). [25]

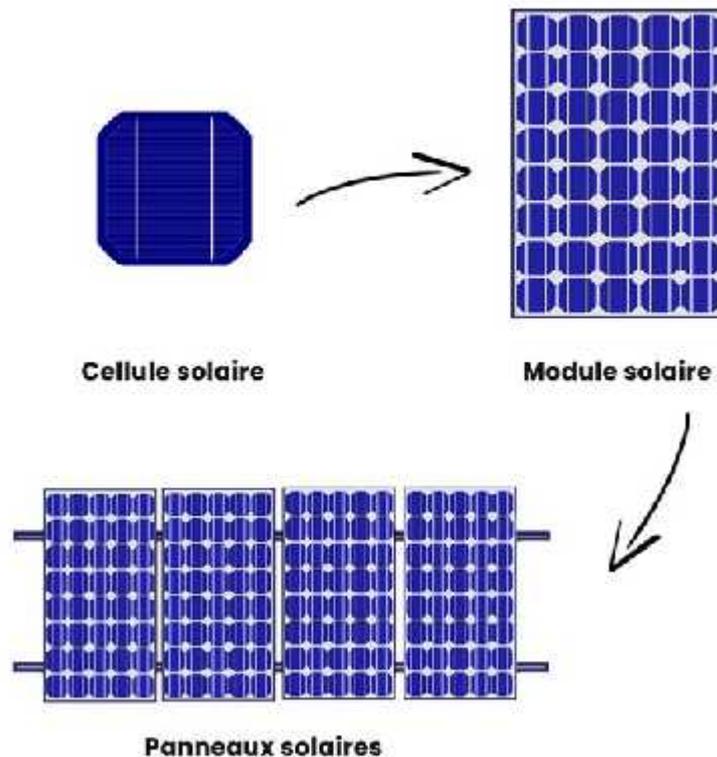


Figure II.5 : Composantes d'un générateur de modules photovoltaïques [26]

II.6. 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.6**) 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 Polyfluorure 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. [27] [28]

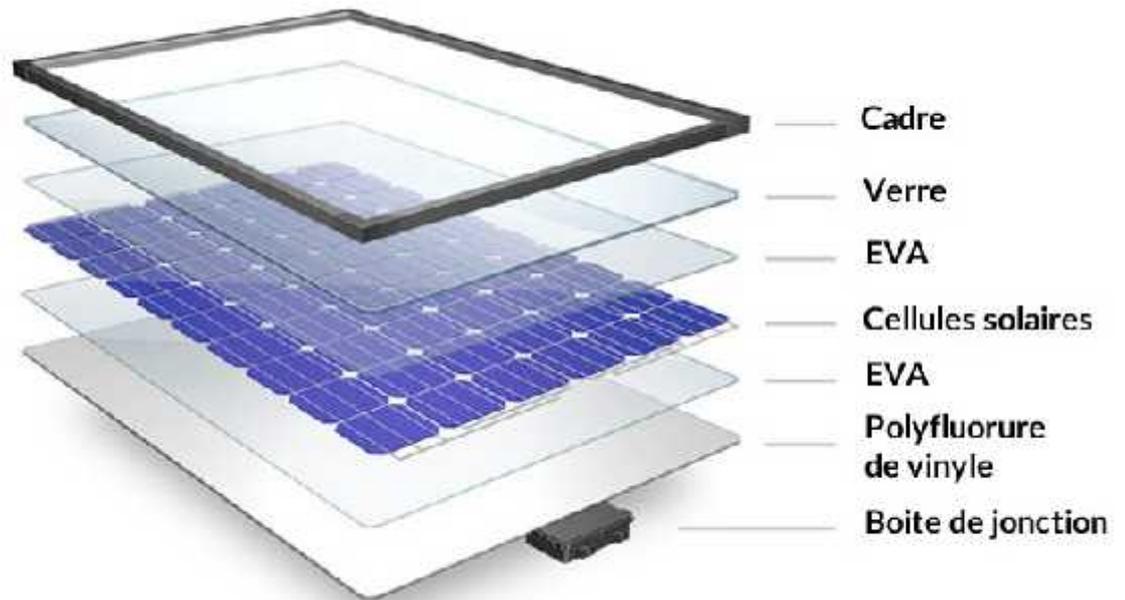


Figure II.6 : les différentes couches constituant d'un module PV [29]

II.7. Principe de la conversion photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques présentes dans un panneau solaire sont fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs principalement produits à partir de silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité. En effet dès qu'une cellule absorbe un rayonnement solaire et donc des photons, une conversion de l'énergie lumineuse des photons en électricité se met en place. La cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. L'une est dite « dopée » de type n et l'autre de type p. En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité (**Figure II.7**). [30]

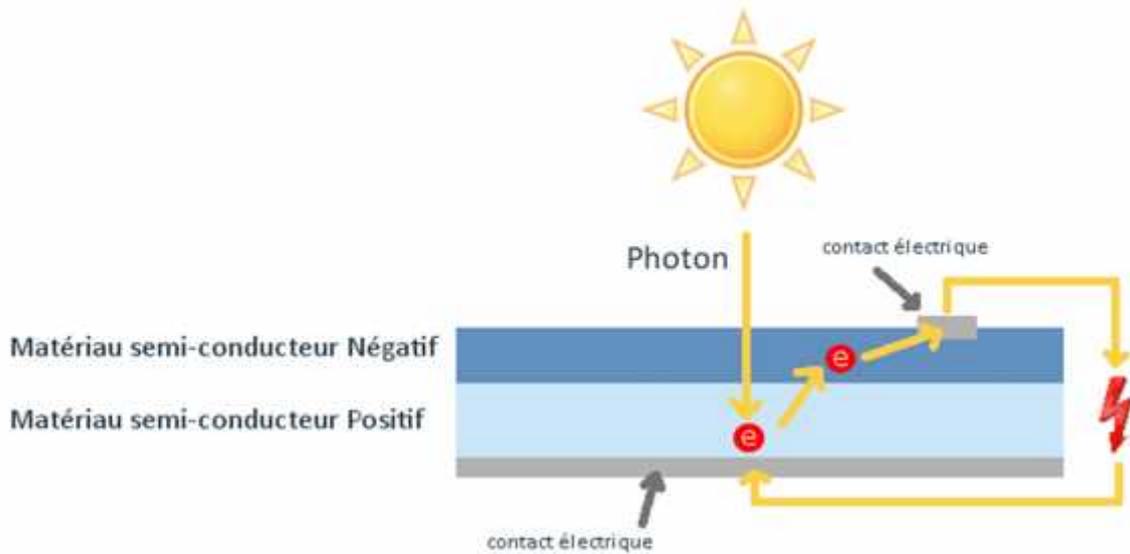


Figure II.7 : Schéma de principe de la conversion photovoltaïque. [31]

II.8. Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants (figure II.8) :

- Un générateur photovoltaïque ;
- Un convertisseur continu / continu (DC/DC) ;
- Un convertisseur continu / alternatif (DC/AC) ;
- Un système de régulation et de stockage ;
- Une source auxiliaire d’appoint.

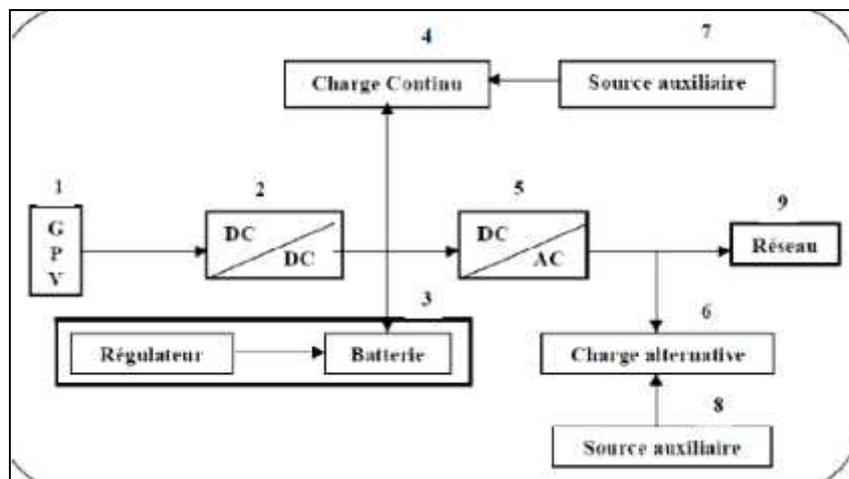


Figure II.8 : Schéma synoptique général d'une installation PV. [32]

a. Systèmes à couplage direct :

Les systèmes photovoltaïques à couplage direct sont représentés par la configuration (1-2) voir (**Figure II.8**). La charge du type continu est alimentée directement par le générateur photovoltaïque. La tension de travail est fixée par le nombre de modules placés en série et par la valeur de l'impédance de charge. [32]

b. Systèmes fonctionnant au fil du soleil :

Ce type de systèmes fait intervenir des convertisseurs de type continu/continu ou continu/alternatif. Ils sont représentés respectivement par les configurations (1-4-2) (**Figure II.8**) ou (1-5-6). Le convertisseur continu/continu permet de faire une adaptation d'impédance entre le générateur photovoltaïque et la charge de type continu. Si la charge est de type alternatif, le convertisseur continu /alternatif est introduit. [32]

c. Systèmes avec stockage électrique :

Ces systèmes sont représentés par la configuration courante (1-2-3) pour le cas où les charges seraient de type continu et par la configuration (1-3-5-6) dans le cas où les charges seraient du type alternatif. Le stockage permet de restituer de l'énergie électrique en cas d'absence du rayonnement solaire. [32]

d. Systèmes avec appoint électrique :

Dans ces systèmes, on introduit des générateurs auxiliaires, ceux-ci n'interviennent qu'en cas de déficit en énergie électrique (manque du rayonnement solaire et batteries déchargées). Ils peuvent être selon le cas soit de type continu ou de type alternatif, configuration (1-2-3-4-7), (1-5-6-8), (1-2-3-4-7-9) ou (1-5-6-8-9). [32]

Selon que 7 et 8 sont alimentés par le réseau ou par une autre source d'énergie (exemple groupe électrogène). [32]

II.9. Les Composants d'un système photovoltaïque**II.9.1. Le champ photovoltaïque**

Le champ photovoltaïque est un groupement de modules photovoltaïques, constitué de modules en séries, et branches en parallèles. On suppose que les modules sont identiques et l'éclairement est le même sur tous les modules. [33]

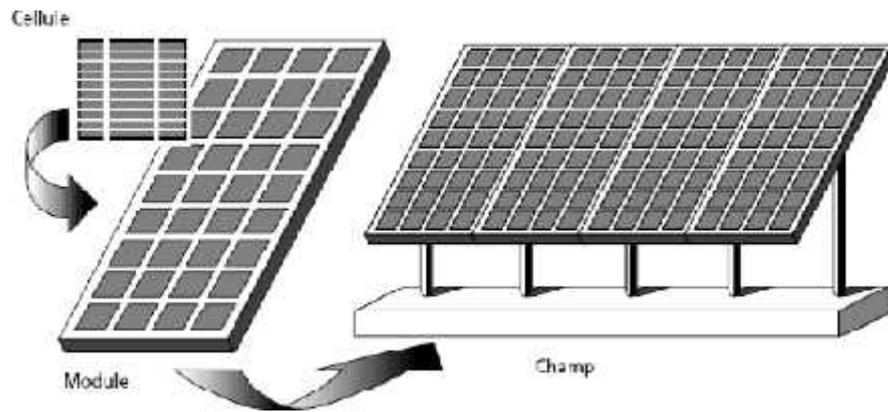


Figure II.9 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïque [34].

II.9.1.2. Système de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure.

II.9.1.3. Types d'accumulateur

Il existe plusieurs types de stockage dans les systèmes PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les accumulateurs utilisés actuellement dans les systèmes photovoltaïques sont :

✓ Les Accumulateurs au plomb acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité.

✓ Les Accumulateurs au nickel-cadmium

Les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale.

II.9.2. Fusibles et disjoncteurs

Les normes imposent d'avoir dans les habitations des protections contre les courants différentiels de 30 mA et plus. Tout appareil électrique domestique génère un courant différentiel de quelques mA. Mais cette norme s'applique aussi aux gros onduleurs de plusieurs KVA utilisés pour une installation photovoltaïque de cette puissance ; ces derniers peuvent avoir de gros courants différentiels et provoquer de fréquents et intempestifs déclenchements du différentiel (surtout par temps de pluie). Il faut donc choisir des

différentiels spécialement adaptés à ce genre de situation, et en mettre un pour chaque onduleur. Cela a un cout non négligeable, mais c'est indispensable pour avoir une bonne fiabilité de fonctionnement de l'installation

II.9.3. Protection contre la foudre

Les protections contre la foudre sont indispensables si l'on veut garantir une alimentation fiable en électricité.

Pour réaliser une protection contre la foudre. Il faut tenir compte de trois principes :

- ✓ Conduire le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus court et direct (lié à une mise à la terre) ;
- ✓ Limiter l'onde de surtension par des parafoudres ;
- ✓ Minimiser les surfaces des boucles de masse.

II.10. Avantages et inconvénients d'une installation photovoltaïque

Chaque pièce a deux côtés, pour le système solaire photovoltaïque, il y a aussi des avantages et désavantages. Mais en un mot, le système solaire photovoltaïque est assez bon pour le développement de l'homme.

a) Avantages

- L'énergie solaire est inépuisable, le rayonnement solaire reçu par la surface de la terre est capable de répondre à la demande mondiale d'énergie 10.000 fois. Celle-ci est sûre, fiable, ne souffre pas de la crise énergétique ou l'impact de l'instabilité du marché du carburant.
- L'énergie solaire existe partout. Elle pourrait fournir la puissance électrique à proximité du lieu où l'énergie est produite, il n'y a pas de transport à longue distance, et la perte le long des lignes de transmission à distance sont évités.
- L'énergie solaire est sans carburant, et a de faibles coûts de fonctionnement.
- Pas de pièces mécaniques en mouvement, pas facile à briser, facile d'entretien, particulièrement adaptée pour une utilisation sans surveillance.
- Le système photovoltaïque ne produit pas de déchets, pas de pollution, pas de pollution sonore, pas d'effets néfastes sur l'environnement. Il est une énergie propre idéale.

- 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.

b) Inconvénients :

- Étant intermittente et aléatoire, la production d'électricité et les conditions climatiques ne peuvent pas ou rarement générer des applications terrestres pendant la nuit ou les jours de pluie.
- Le taux de conversion est faible, et le système doit être exécuté dans des conditions standard, l'intensité du rayonnement solaire reçu est de $1000\text{W} / \text{m}^2$ au sol. Il doit occuper une grande surface.
- Les prix sont encore plus chers. Ils sont plus élevés que la production d'énergie classique de 3 à 15 fois et un investissement initial élevé.
- Certains produits chimiques toxiques, tels que le cadmium et l'arsenic, sont utilisés dans le processus de production de PV. Ces impacts environnementaux sont mineurs et peuvent être facilement contrôlés grâce au recyclage et à une élimination appropriée.

Pour une alimentation électrique continue, en particulier pour les connexions au réseau, les panneaux photovoltaïques nécessitent non seulement des onduleurs mais aussi des batteries de stockage, ce qui augmente considérablement le coût d'investissement d'une installation de panneaux solaires photovoltaïques. [35] [36] [37]

Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous nous sommes étalés sur les bases indispensables à la compréhension du sujet, c'est-à-dire quelques notions sur le rayonnement solaire, ces différents types et ces applications dans le domaine photovoltaïque, par la suite nous avons expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques, leurs types, leurs spécificités et les éléments qui en découlent, en passant par le principe de son fonctionnement puis on a terminé avec les différentes configurations des systèmes photovoltaïques.

Chapitre III

Dimensionnement du Système photovoltaïque

Introduction

De nos jours, il existe différents modes d'exploitation des énergies renouvelables dans notre cas on s'intéresse plus précisément à l'utilisation de l'une de ces énergies inépuisables, qui est le solaire. Pour concevoir une installation solaire autonome, il est important de prendre en considération un certain nombre de paramètres, de faire des calculs appropriés et suivre des étapes pour définir le matériel le mieux adapté, répondant aux exigences techniques normatives et au besoin énergétique. Cette démarche mènera au dimensionnement de la mini centrale

Dans le présent chapitre, l'étude porte sur le dimensionnement d'une installation photovoltaïque cela revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaires constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins des charges électriques équipant les infrastructures de la base de vie de la station de Béni Mansour à tout instant ainsi que le nombre d'onduleurs et de batteries.

III.1. Objectif de l'étude**III.1.1. Objectif général**

Cette étude vise la promotion des énergies renouvelables en l'occurrence photovoltaïques (PV) qui se traduit par la fourniture en permanence en énergie électrique d'une partie de la base de vie de la station de pompage Béni Mansour de la Sonatrach.

Ladite station fonctionnant actuellement à base d'énergie électrique produite par des centrales alimentées en gaz naturel qui génèrent des gaz à effet de serre, fortement polluant. Notre ambition est de substituer en partie cette énergie par une énergie renouvelable et contribuer ainsi à la politique prônée par les pouvoirs publics de privilégier les énergies renouvelables. Nous avons pensé concevoir un système photovoltaïque (PV) pour alimenter la base de vie de la station de pompage et ce, en plus de la ligne électrique existante et du groupe électrogène disponible sur site pour assurer la continuité des services en absence ou en cas de coupure de la ligne de la Sonelgaz. Cette nouvelle option d'alimentation électrique est prévue pour soulager, un tant soit peu, le soutirage sur ligne Sonelgaz.

III.1.2. Objectifs spécifiques

Spécifiquement, il s'agit :

- ✓ Identifier et choisir les structures pour lesquelles la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire photovoltaïque pourra être faite ;
- ✓ Identifier les charges électriques et Déterminer la puissance requise, le besoin journalier, en faisant un bilan de puissance ;
- ✓ Étudier la faisabilité technique et financière de cette mini-centrale photovoltaïque ;
- ✓ Faire l'étude économique de faisabilité du projet.

III.2. Matériels et méthodes

L'Etude consiste en l'établissement d'un bilan de puissance et du bilan énergétique global actuel de la base de vie pour déterminer les charges électriques à prendre en compte par l'étude technique de faisabilité en vue d'une mise en œuvre efficace de la solution qui conviendra au mieux. Ensuite, nous entamerons le dimensionnement de la mini-centrale avant de terminer par une étude technico-économique de faisabilité du projet. Les différentes étapes de cette méthodologie et la démarche adoptée décrites comme suit.

III.3. Présentation de la structure

La station de pompage de Béni Mansour est la station de départ de la canalisation alimentant la Raffinerie d'Alger. Elle reçoit le pétrole brut provenant de Hassi Messaoud par le biais d'une canalisation appelée oléoduc OB1 Haoud El Hamra Bejaia de diamètre 24 pouces (1 Pouce est égal à 25.4 mm) aboutissant au terminal de Bejaia, permet de transférer au moyen d'un piquage de diamètre de 20 pouces réalisé sur ladite canalisation et à travers d'une autre canalisation en acier de diamètre 20 pouces un débit horaire de 500 m³/h de pétrole vers la Raffinerie d'Alger. Cette Raffinerie est destinée à la production des produits pétroliers à savoir les carburants et les huiles de graissage pour répondre aux besoins en produits raffinés du Grand Alger mais aussi aux villes limitrophes.

III.3.1. Les données du site

Comme toute étude, pour la conception d'un système photovoltaïque, il est primordial de disposer certaines données du site comme :

- L'ensoleillement ;
- L'irradiation ;
- L'inclinaison nécessaire pour avoir un rendement maximal avec les panneaux.

La station de pompage SBM est située sur la commune de Ath Mansour (Wilaya de BOUIRA), à 200 m de la route nationale RN 5 reliant Constantine à Alger. Elle est implantée sur le flanc Nord du Chainon Adekouar Tala Tichy à une altitude de 356 m et au point kilométrique 573,4201.

Les coordonnées géographiques du lieu d'implantation sont :

-) La latitude : 36°20'10" Nord ;
-) La longitude : 4°21'8" Est ;
-) L'altitude : 286 m

III.3.2. Irradiations moyennes mensuelles

L'irradiation globale moyenne mensuelle sur un plan horizontal du site de Beni Mansour est présentée dans le tableau suivant :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Gj (kwh/m ² /j)	2.59	3.38	4.86	5.69	6.72	7.77	7.79	7.02	5.35	4.25	2.88	2.32

Tableau III.1 : irradiations moyennes mensuelles journalières

III.4. Etude technique

III.4.1. Les équipements alimentés par la mini centrale photovoltaïque

Les infrastructures de la base de vie de la station de pompage de Beni Mansour de la Sonatrach sont composées de deux villas (VIP, chef de station), deux villas single, deux complexes restaurants, éclairage extérieure et d'un hôtel.

Les installations électriques de ces infrastructures sont constituées essentiellement des points lumineux, des ordinateurs, des climatiseurs, fours, chambre froide négatives, téléviseurs, éclairage extérieure, des équipements d'interconnexion informatiques et téléphoniques. Ces installations électriques ont besoin d'une puissance de 180 kW qui correspond un besoin journalier de plus de 4 MWh. S'agissant d'une puissance considérable et compte tenu de l'indisponibilité d'un terrain d'une grande surface susceptible de recevoir une centrale d'une telle envergure, nous avons ciblé les consommateurs suivants :

- ✓ La villas VIP;
- ✓ Villa Chef station ;
- ✓ Hôtel.

III.5. Dimensionnement du système photovoltaïque

III.5.1. 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 kWh/m².j, mais pour une moyenne qui s'étend pour 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.6. Les méthodes de dimensionnement des panneaux photovoltaïques

1. Méthode du besoin journalier.
2. Méthode des puissances.
3. Méthode des surfaces.

III.7. Les bilans de puissance et énergétique

Les informations ci-dessus collectées 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.7.1. Le bilan des charges de la base de vie de la station de Béni Mansour choisies pour notre étude

Villa chef de station					
Appareils	Nombre	Puissance unitaire	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne	Puissance	Energie
Spot encastré (hall)	04	35 W	1.5h	140 W	210 Wh
Spot encastré (salon)	08	35W	4h	280 W	1120 Wh
Spot encastré (chambre)	12	25W	3h	300 W	900 Wh
Applique tête de lit	02	25 W	0.5h	50 W	25 Wh
Spot étanche (SDB,WC)	06	35 W	1.5 h	210 W	315 Wh
Plafonnier	01	75 W	2 h	75 W	150 Wh
Applique murale	04	25 W	2.5 h	100 W	250 Wh
Hublot	02	25 W	2h	50 W	100 Wh
Wifi	01	5 W	24h	5 W	120 Wh
Micro-ondes	01	800 W	0.5 h	800 W	400 Wh
Chargeur portable	03	4 W	1.5 h	12 W	18 Wh
climatiseur	04	1200 W	12 h	4800 W	57600 Wh
				TOTAL	P = 6.83 kW E = 61.208 kWh

Villa (VIP)						
Spot encastré (chambre)	09	20 W	3h	180 W	540 Wh	
Applique tête de lit	04	75 W	1h	300 W	300 Wh	
Spot encastré (hall)	14	26 W	2h	364 W	728 Wh	
Spot encastré (salon)	29	20 W	3h	580 W	1740 Wh	
Spot étanche (SDB)	08	20 W	1.5h	160 W	240 Wh	
Plafonnier (cuisine)	04	18 W	2h	72 W	144 Wh	
Applique résidentielle	02	100 W	4h	200 W	800 Wh	
Applique murale	04	150 W	2h	600 W	1200 Wh	
Climatiseur	04	1200 W	12h	4800 W	57600 Wh	
Téléviseur	04	70 W	2 h	280 W	560 Wh	
Wifi	01	5 W	24h	5 W	120 Wh	
Chargeur portable	04	4 W	1.5 h	16 W	24 Wh	
Pc portable	02	30 W	2h	60 W	120 Wh	
Micro-ondes	01	800 W	0.5 h	800 W	400 Wh	
				TOTAL	P = 8.42 kW	E = 64.512 kWh

Hôtel						
Spot	21	50 W	4h	1050 W	4200 Wh	
Hublot étanche	12	50 W	2h	600 W	1200 Wh	
Téléviseur	07	70 W	3h	490 W	1470 Wh	
Réfrigérateur	07	77 W	24h	539 W	12936 Wh	
Climatiseur	07	1200 W	15h	8400 W	100800 Wh	
Pc portable	07	30 W	2h	210 W	420 Wh	
Chargeur portable	07	4 W	1.5 h	28 W	42 Wh	
Wifi	03	5 W	24h	15 W	360 Wh	
				TOTAL	P = 11.34 kW	E =121.428 kWh

Tableau III.2 : bilan de puissance et besoin journalier

III.8. Dimensionnement des panneaux

III.8.1. Caractéristiques des panneaux utilisés pour le dimensionnement

Le panneau photovoltaïque que nous avons utilisé pour notre étude de dimensionnement pour la conception des systèmes photovoltaïques est le CEM200M-72 de la marque condor d'une puissance crête de 200 Wc. Les caractéristiques électriques et mécaniques de ce panneau sont présentées dans les tableaux ci-dessous :

Type du module	Unité	CEM200M-72
Puissance nominale	Wc	200
Tension en circuit ouvert (Vco)	V	45.6
Courant de court-circuit (Isc)	A	5.8
Tension mpp Vmpp	V	36.9
Courant mpp Impp	A	5.42
Tension maximale du système (Vdc)	V	1000
Charge maximale de fusibles	A	15

Tableau III.3 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque condor CEM200M-72

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti- réflexion
Nombre de cellules par module	72 cellules (6*12)
Dimension de la cellule	125*125 mm
Dimension du module	1580*808*45 mm
Poids du module	15.5 Kg
Température d'utilisation	-40 à 85

Tableau III.4 : Caractéristique mécaniques du module photovoltaïque condor CEM200M-72

III.9. Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier

	Formule mathématique
Besoin journalier	$B = \sum_1^n P_{ch} \times \Delta T$
Nombre d'heures d'équivalent	$N_e = GS / 1000$
Puissance photovoltaïque journalière	$P_{pv}/J = P_c \times N_e$
Puissance réelle	$P_{pv}/J_{réel} = P_{pv} j \times (1 - 0.2)$
Nombre de panneaux	$N_{pv} = ENT[B_j / (P_{pv}/j_{réel})]$
Surface de captage	$S_c = N_{pv} \times S_{pv.u}$

Tableau III.5 : Calcul de la taille du générateur photovoltaïque selon le besoin journalier

Les résultats du premier type des méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau ci-dessous :

	Formule mathématique
Besoin journalier	$B = 248 \text{ kWh/jour}$
Nombre d'heures d'équivalent	$N_e = 2.32 \text{ h/j}$
Puissance photovoltaïque journalière	$P_{pv}/J = 464 \text{ Wh/j}$
Puissance réelle	$P_{pv}/J_{réel} = 371.2 \text{ Wh/j}$
Nombre de panneaux	$N_{pv} = 669$
Surface de captage	$S_c = 856.32 \text{ m}^2$

Tableau III.6 : Résultats du dimensionnement selon le besoin journalier

De l'étude menée, du bilan de puissance calculé, il résulte un besoin journalier de (**B**) de 248 kWh/jour. Pour satisfaire ce besoin journalier, nos calculs ont déterminé que le nombre de panneaux nécessaires est de 669 panneaux. Ce qui représente une puissance photovoltaïque (Ppv) de 133.8 kW.

L'onduleur est l'élément qui imposera la façon de câbler les modules entre eux.

La puissance photovoltaïque étant de 133.8 kW, un onduleur de 122 kW pourrait être le bon choix pour notre installation.

III.10. 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

La puissance photovoltaïque selon le besoin étant de 133.8 kW, un onduleur de 122 kW pourrait être le bon choix pour notre installation.

En explorant la gamme d'onduleurs que propose ABB, on pourrait imaginer que l'onduleur (PVI-110.0-TL) pourrait convenir.

La fiche technique de l'onduleur ABB (PVI-110.0-TL) est résumée dans le tableau ci-dessous.

Puissance DC max	122 kW
Tension d'entrée max	1000 V
Plage de tension MPP	485 / 950 V
Courant maximal d'entrée	246 A
Nombre de paires d'entrées DC	2

Tableau III.7 : Fiche technique de l'onduleur ABB

➤ **Compatibilité en puissance:**

La puissance photovoltaïque selon le besoin est de 133.8 kW, la puissance de l'onduleur représente [0.9-0.95] de cette dernière, ce qui nous donne :

Compatibilité en puissance	
Pond-min	Pond-max
$P_{ondmin}=0.9 \times P_{pv}$	$P_{ondmax}=0.95 \times P_{pv}$
Résultats	
Pondmin= 120.48 kW	Pondmax = 127.11 kW

Tableau III.8 : Compatibilité en puissance de l'onduleur

➤ **Compatibilité en tension :**

Compatibilité en tension	
Npvs-min	Npvs-max
$N_{pvs-min} = ENT \left[\frac{U_{m,0}}{U_p \times 0.8} \right]$	$N_{pvs-max} = ENT \left[\frac{U_{m,0}}{U_p \times 1.2} \right]$
Résultats	
Npvs-min = 15 panneaux	Npvs-max = 20 panneaux

Tableau III.9 : Compatibilité en tension de l'onduleur

$V_{max} = N_{pvs-max} \times U_{co} = 20 \times 45.6 = 912 \text{ V}$, la Tension d'entrée max de l'onduleur étant de $V_{max-ond} = 1000 \text{ V} \Rightarrow V_{max} < V_{max-ond} (912 \text{ v} < 1000 \text{ V})$.

Donc La configuration de 20 panneaux en série est compatible avec la tension maximale d'entrée de l'onduleur.

➤ **compatibilité en courant :**

compatibilité en courant
Nch
$N_{ch} = \text{ENT} \left[\frac{I_1}{I_1 \times 1.25} \right]$
Nch = 36

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

$I_{max} = I_{mpp} \times N_{ch} \Rightarrow I_{max} = 5.42 \times 36 = 195.12 \text{ A}$, le Courant maximal d'entrée de l'onduleur étant de $I_{max-ond} = 246 \text{ A} \Rightarrow I_{max} < I_{max-ond} (195.12 \text{ A} < 246 \text{ A})$

Donc la configuration des 36 panneaux en parallèle est compatible avec le courant d'entrée admissible de l'onduleur.

III.11. Assemblage de panneaux

a) **Montage en Série :**

D'après les calculs on obtient un nombre de 20 panneaux montés en série.

b) **Montage parallèle :**

Toujours d'après les calculs on obtient un nombre de 36 modules placés en parallèle.

Remarque : Le courant total fourni par les panneaux est $I_{tot} = 669 \times 5.42 = 3\,626\text{ A}$.

Ce courant est très élevé. Donc, pour adapter ce courant aux matériels existants, nous allons diviser l'installation en dix sous-générateurs. Le nombre de modules par sous-générateur sera donc de 67.

La nouvelle puissance de chaque sous-générateur sera donc de $P_{pv} = 13\,400\text{ Wc}$.

Donc l'onduleur que nous devons choisir aura une puissance comprise entre [12 060-12 730] W.

L'onduleur PVI-12.5-TL-OUTD de ABB pourrait convenir.

La fiche technique de l'onduleur ABB (PVI-12.5-TL-OUTD) est résumée dans le tableau ci-dessous.

Puissance DC max	12 800 W
Tension d'entrée max	900 V
Plage de tension MPP	360 / 750 V
Courant maximal d'entrée	36 A
Nombre de paires d'entrées DC	2

Tableau III.11 : Fiche technique de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD

➤ **Nouvelle compatibilité en puissance:**

La puissance photovoltaïque de chaque sous générateur est de $P_{pv-nouv} = 13400 \text{ Wc}$, la puissance de l'onduleur représente $[0.9-0.95]$ de cette dernière, ce qui nous donne :

Compatibilité en puissance	
Pond-min	Pond-max
$Pond-min = 0.9 \times P_{pv-nouv}$	$Pond-max = 0.95 \times P_{pv-nouv}$
Résultats	
Pond-min = 12 060 W	Pond-max = 12 730 W

Tableau III.12 : Compatibilité en puissance de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD

➤ **Nouvelle compatibilité en tension :**

Compatibilité en tension	
Npvs-min	Npvs-max
$Npvs-min = ENT \left[\frac{U_{m,0}}{U_p \times 0.8} \right]$	$Npvs-max = ENT \left[\frac{U_{m,0}}{U_p \times 1.2} \right]$
Résultats	
Npvs-min = 12 panneaux	Npvs-max = 16 panneaux

Tableau III.13 : Compatibilité en tension de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD

$V_{max} = N_{pvs-max} \times U_{co} = 16 \times 45.6 = 729.6 \text{ V}$, la Tension d'entrée max de l'onduleur étant de $V_{max-ond} = 900 \text{ V} \Rightarrow V_{max} < V_{max-ond}$.

Donc La configuration de 16 panneaux en série est compatible avec la tension maximale d'entrée de l'onduleur.

➤ **Nouvelle compatibilité en courant :**

compatibilité en courant
Nch
$Nch = ENT \left[\frac{I_1 - 0}{I_1 \times 1.2} \right]$
Nch = 5

Tableau III.14 : Compatibilité en courant de l'onduleur ABB PVI-12.5-TL-OUTD

$I_{max} = I_{mpp} \times Nch \Rightarrow I_{max} = 5.42 \times 5 = 27.1 \text{ A}$, le Courant maximal d'entrée de l'onduleur étant de $I_{max-ond} = 36 \text{ A} \Rightarrow I_{max} < I_{max-ond} (27.1 \text{ A} < 36 \text{ A})$

Donc la configuration des 5 panneaux en parallèle est compatible avec le courant d'entré admissible de l'onduleur.

❖ **Assemblage des panneaux par sous générateurs :**

a) **Montage en Série :**

D'après les calculs on obtient un nombre de 16 panneaux montés en série.

b) **Montage en parallèle :**

Toujours d'après les calculs on obtient un nombre de 5 modules placés en parallèle.

Cela correspond à un nombre de 80 panneaux (16×5) pour chaque sous générateur, ce qui donne un champ photovoltaïque composé de 800 panneaux (80×10), qui coïncide à une nouvelle puissance photovoltaïque de $P_{pv} = 160 \text{ kW}$ (800×200).

III.12. Implantation du champ photovoltaïque

III.12.1. Orientation et inclinaison des panneaux PV

On appelle l'orientation le point cardinal vers le quel est tournée la face active du panneau (sud, nord, ...). Les panneaux sont toujours orientés vers l'équateur :

- Orientation vers le sud dans l'hémisphère nord ;
- Orientation vers le nord dans l'hémisphère sud ;

Elle indique l'angle que fait le panneau avec l'horizontal. Elle se compte en degrés. Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leurs surfaces soient perpendiculaires aux rayons solaires. Or le soleil d'une saison à l'autre n'a pas la même inclinaison : selon les saisons, à midi, il est plus au moins plus haut dans le ciel. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil.

On peut concevoir trois façons de collecter l'énergie des rayons solaire à l'aide des panneaux photovoltaïques.

Une première méthode consiste à orienter ce dernier perpendiculairement aux rayons solaires à l'aide d'un système de poursuite automatique du soleil.

Une aidée serait de changer manuellement l'orientation du panneau à chaque saison, vers une direction où l'intensité du rayonnement serait maximale. Cette façon d'utiliser un panneau solaire nécessite l'intervention d'une personne à des moments précis de l'année.

La manière la plus appropriée de se servir d'un panneau solaire est de l'orienter une fois pour toute, vers une direction pour laquelle l'énergie totale collecté dans l'année est maximale.

Un autre type de choix de l'inclinaison est d'utilisé le (**Tableau III.15**) qui indique la Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.

Latitude	Inclinaison
$< 10^\circ$	$= 10^\circ$
$10^\circ < < 30^\circ$	$=$
$30^\circ < < 40^\circ$	$= +10^\circ$
$> 40^\circ$	$= +15^\circ$

Tableau III.15 : Estimation de l'inclinaison des panneaux en fonction de la latitude [38]

Rappelons que la latitude de notre site est de : $36^\circ 20' 10''$ Nord. D'après le tableau IV.3, l'inclinaison des panneaux est :

$$= +10^\circ \Rightarrow 45^\circ$$

III.12.2. Le champ des modules photovoltaïques

L'implantation du champ peut être réalisée sur différents types de support :

- ✓ Au sol ;
- ✓ En toiture ;
- ✓ En façade.

Dans notre cas d'étude, l'implantation sera faite avec support au sol, le système de support sera composé de profils simples en aluminium et acier galvanisé. Les panneaux seront placés selon le portrait pour former la table qui sera inclinée d'un angle de 45° que nous avons calculé précédemment.

III.12.3. Distances inter-rangées

L'implantation des tables a été étudiée afin d'optimiser l'espace disponible, en limitant notamment l'ombre portée d'une table de modules sur celle qui la précède. Cela se traduit par la détermination d'une distance inter-rangée, qui varie selon la topographie et la hauteur des modules, dans le cas de cette étude la distance inter-rangée nécessaire est calculée de la manière suivante :

Notant que nous allons placer les panneaux selon le paysage.

$$\text{Distance nécessaire} = 3 \times \text{hauteur du support}$$

La hauteur du support résultante selon l'inclinaison de la table est :

$$\sin 45^\circ = h / \text{largeur des panneaux} \Rightarrow h = \sin 45^\circ \times 4.1 \text{ m} \Rightarrow H = 2.9 \text{ m}$$

Donc en remplaçant on obtient :

$$\text{Distance nécessaire} = 3 \times 2.9 \text{ m} \Rightarrow \text{distance nécessaire} = 8.7 \text{ m}$$

La puissance photovoltaïque du champ est de 160 kW, cela correspond un nombre de 800 panneaux. Le champ photovoltaïque sera divisé en 10 sous-générateur de 80 panneaux, composés de 16 panneaux en série et 5 en parallèle.

On choisit de mettre deux sous-générateurs en longueur, de sorte à avoir deux supports séparés entre eux de 20 cm, la longueur de chaque table d'un support sera de 25.6 m qui correspond aux 16 panneaux en série, et des espacements de 2cm entre chaque module qui seront placés en format paysage.

La fixation des supports doit assurer une résistance contre le vent et les intempéries, contre les agressions mécaniques, une protection contre les salissures et enfin une ventilation des panneaux afin de limiter leur échauffement.

La surface nécessaire pour l'occupation de ce champ photovoltaïque est donc de 2600m² soit 52 m de longueur qui correspond aux deux supports de 25.6 m chacun espacés de 20 cm entre eux, et de 50m de largeur qui représentent les 5 supports en parallèle de 2.9 m et des 8.7 m de distance entre eux.

III.13. 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 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 [39].

Pour notre cas :

-) $J_t = 1$ jours : nombre de jours d'autonomie de la batterie ;
-) $V = 60$ volts : tension de la batterie ;
-) $\eta = 0.9$: le rendement de la batterie ;
-) $D = 0.8$: profondeur de décharge de la batterie.

En choisira des batteries de 250 Ah et de 12 V chacune

Dimensionnement des batteries	
Capacité des batteries (Ah)	$C_b = \frac{B \times J_t}{V \times D \times \eta}$
Nombre de batteries calculé	$N_{bat} = \frac{C}{C_{bat}}$
Nombre de batteries en série	$N_{bat,s} = \frac{V_s}{V_{bat}}$
Nombre de batteries en parallèle	$N_{bat,p} = \frac{C_{bat}}{C_b}$

Tableau III.16: Dimensionnement des batteries

Les résultats du dimensionnement des batteries sont réunis dans le tableau suivant :

Résultats	
Capacité des batteries (Ah)	Cb = 5740.7
Nombre de batteries calculé	Nbat = 25
Nombre de batteries en série	Nbats = 5
Nombre de batteries en parallèle	Nbatp = 5

TABLEAU III.17 : Résultats du dimensionnement des batteries

III.14. La section des câbles

Dans ce qui suit, on détermine la section des câbles.

Section des câbles coté DC	
Section des câbles entre le panneau et la boîte de raccordement (L=71m)	$I = 1.25 \times I_{cc} \quad \Rightarrow \quad I = 1.25 \times 5.8 \Rightarrow I = 7.25 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta \times V} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 71 \times 7.25}{0.03 \times 0.9} \Rightarrow S = 11.2 \text{ mm}^2$ <p style="text-align: center;">Donc S = 12 mm²</p>
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=80m)	$I = I_{mpp} \times N_{pv} \quad \Rightarrow \quad I = 5.42 \times 80 \Rightarrow I = 433.6 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta \times V} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 80 \times 433.6}{0.03 \times 0.9} \Rightarrow S = 11.2 \text{ mm}^2$ <p style="text-align: center;">Donc S = 50 mm²</p>
Branchement des batteries	
Calcul la tension de la batterie	
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et section des câbles entre les batteries et l'onduleur L= 20m	$V_{bat} = V_{bat.u} \times N_{bat.s} \quad \Rightarrow \quad V_{bat} = 12 \times 5 \Rightarrow V_{bat} = 60v$ <p style="text-align: center;">Calcul 1- :</p> $1 - \alpha = \frac{V}{V} \quad \Rightarrow \quad 1 - \alpha = \frac{6}{3.5} = 1.626$ <p style="text-align: center;">Calcul du courant de batterie</p> $I_{ll} = \frac{I}{1 - \alpha} \quad \Rightarrow \quad I_{ll} = \frac{4.6}{1.6} \Rightarrow I_{batt} = 266.66 \text{ A}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta \times V} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 20 \times 266.66}{0.03 \times 0.9} = 7.23 \text{ mm}^2$ <p style="text-align: center;">S = 10 mm²</p>
Section les câbles coté AC	
Calcul du courant et de la section coté AC (L=40m)	$I = \frac{P_{Hl}}{v \times c \cdot (\delta)} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{2}{0.9 \times 2} \Rightarrow I = 128.45 \text{ A}$ $S = \rho \times L \times I \times \frac{1}{E \times V} \times \cos(\theta) \Rightarrow S = 2 \times 0.0225 \times 128.45 \times \frac{1}{0.9} \times 0.9$ <p style="text-align: center;">S = 45.25 mm² \Rightarrow S = 50 mm²</p>

Tableau III.18 : Calcul de la section des câbles

Equipement	Caractéristique	Nombre d'unité par sous générateur	Nombre de sous générateur	Nombre total pour l'installation
Modules	200 Wc	80	10	800
Batteries	60 V 250 Ah	/		25
Onduleurs	12.8 kW	01		10
Nombre de panneaux	Nombre de panneaux en série 16	80		800
	Nombre de panneaux en parallèle 05			
Surface du champ	2600 m ²			
Câbles	Disposition	Section (mm²)	Distance (m)	
	Entre panneau et boîte raccordement	12	710	
	Entre boîte de raccordement et régulateur	50	800	
	Entre batteries et onduleur	10	20	
	Coté AC	50	400	

Tableau III.19 : Tableau récapitulatif des équipements à installer.

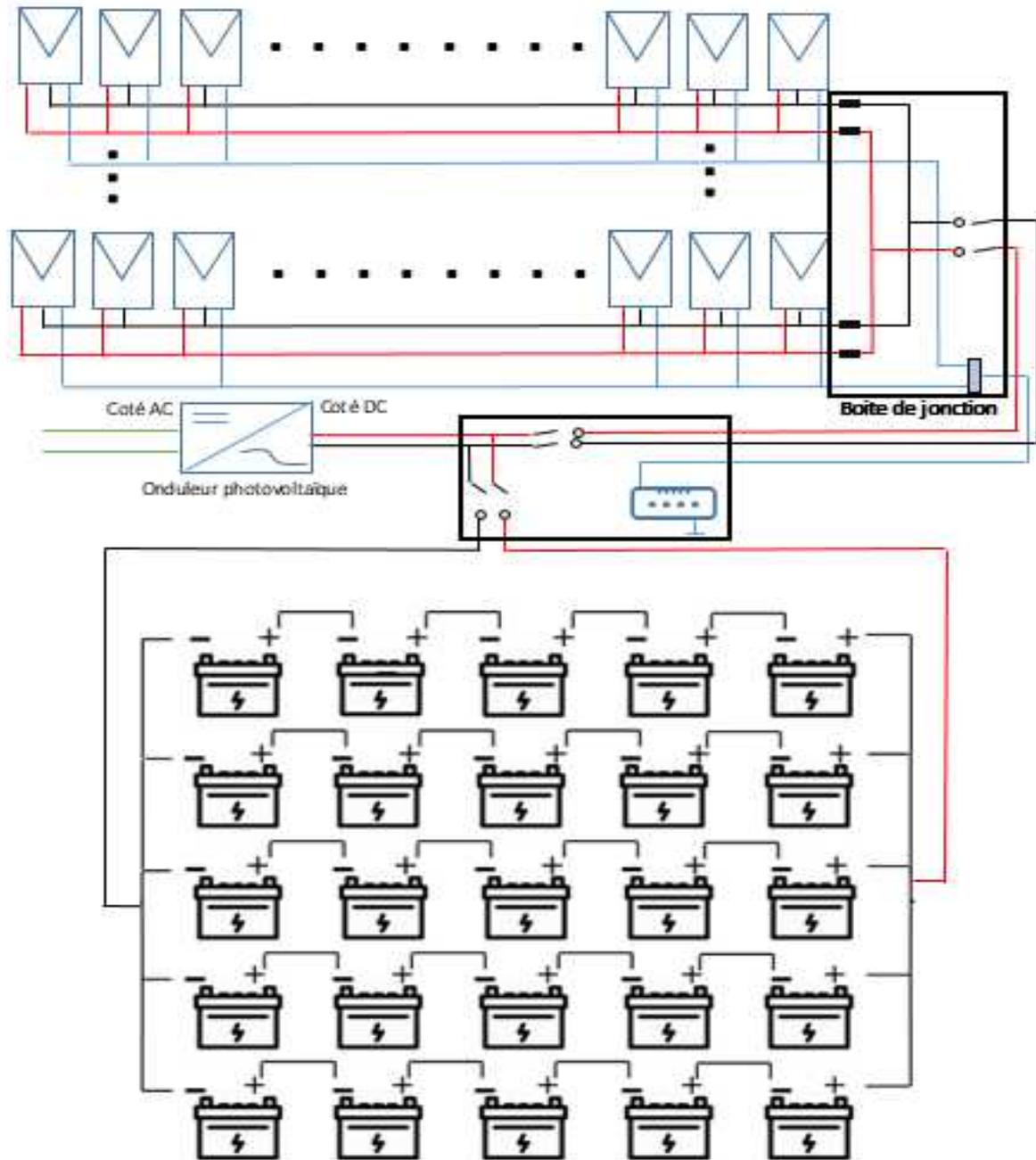


Figure III.1 : Schéma de câblage du système

Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes consacrés au dimensionnement d'une mini centrale photovoltaïque pour la base de vie de la station de pompage de Béni Mansour.

En première partie, on a présenté la structure, les données du site (lieu, l'irradiation solaire.), et les équipements électriques à alimenter par la mini centrale photovoltaïque en établissant un bilan de puissance des différentes charges électriques équipant les infrastructures de la base de vie de la station de Béni Mansour.

Dans deuxième partie, nous avons dimensionné le champ photovoltaïque (panneaux photovoltaïque, onduleur, batteries, câbles).

Pour terminer, nous avons déterminé l'implantation du champ photovoltaïque à partir du montage des panneaux, la taille des supports et des distances inter rangées afin de déterminer la surface totale du champ.

Chapitre IV

Etude technico-économique du système

Introduction

Une mini centrale photovoltaïque doit respecter certaines règles, le système doit reposer sur des bases économiques et techniques viables et fiables.

Dans ce chapitre, nous nous sommes attelés à réaliser une étude comparative des différents éléments (panneaux, batterie, convertisseur, câbles...), suivi d'une étude technico-économique liée au coût total de l'installation photovoltaïque.

IV.1. Application et analyse technico-économique pour le système photovoltaïque

IV.1.1. Choix des panneaux photovoltaïques à utiliser

Pour mieux comprendre on a préféré appliquer cette étude sur deux types de panneaux (monocristallin et polycristallin) de trois puissances différentes pour chaque type.

IV.1.1.1. Panneaux photovoltaïques monocristallins

Pour l'étude nous choisissons trois panneaux monocristallins de puissances différentes qui sont le Panasonic de 245 Wc, Longi 300 Wc, et le Condor 100 Wc.

Le tableau suivant indique les prix unitaires des trois panneaux monocristallins (245Wc, 300Wc, 365Wc).

Type	puissance(W)	prix unitaire H.T (DA)	prix unitaire T.T (DA)
Monocristallins	245	30 200,00	35 632,00
	300	17 500,00	22 712,00
	365	62 100,00	65 443,00

Tableau IV.1 : Devis estimatif unitaire des différents panneaux photovoltaïques monocristallins

IV.I.1.2. Panneaux photovoltaïques poly-cristallins

Pour l'étude nous allons choisir trois panneaux poly-cristallins qui sont les deux panneaux Condor de 240 et 280 Wc et le trinasolare de 150 Wc

Le tableau suivant indique les prix unitaires des trois panneaux polycristallins (150Wc, 240Wc, 280Wc).

Type	puissance(W)	prix unitaire H.T (DA)	prix unitaire T.T (DA)
Poly-cristallins	150	11 500,00	16 000,00
	240	22 000,00	25 272,00
	280	25 200,00	29 484,00

Tableau IV.2 : Devis estimatif unitaire des différents panneaux photovoltaïques Poly-cristallins.

IV.1.1.3. Etude comparative entre les différents panneaux photovoltaïques

Afin de choisir le panneau qui convient le mieux pour assurer la satisfaction de notre besoin en énergie, nous avons modélisé et simulé les programmes suivants. Les résultats nous ont permis de savoir quel panneau acheter pour avoir l'installation la moins chère.

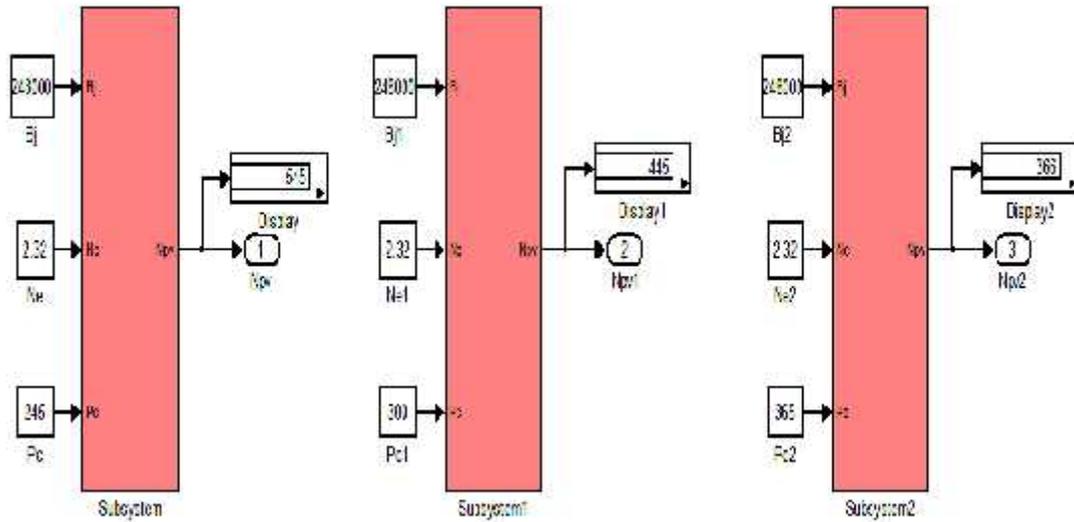


Figure IV.1 : Schéma bloc de simulation des différents panneaux photovoltaïques monocristallin

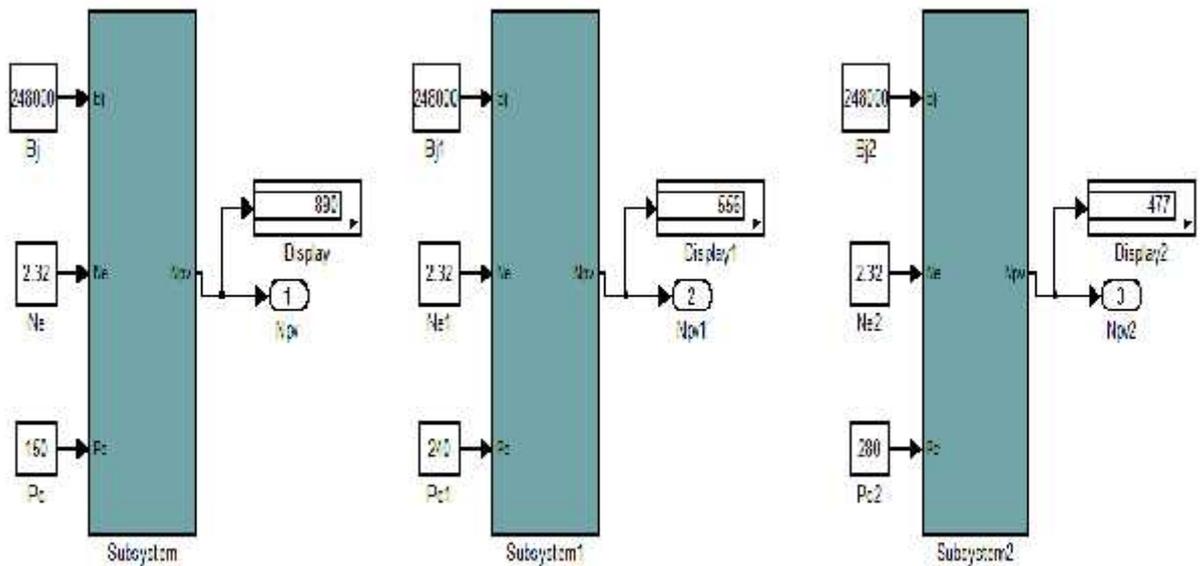


Figure IV.2 : Schéma bloc de simulation pour différents panneaux photovoltaïques Polycristallin

➤ Les résultats de la simulation sont résumés dans le tableau suivant

Type de panneau	puissance d'un panneau (W)	nombre de panneaux
Monocristallin	245	545
	300	445
	365	366
Polycristallin	150	890
	240	556
	280	477

Tableau IV.3: Les résultats de simulation des différents panneaux

Dans le tableau suivant on présente le nombre de panneaux obtenus lors de la simulation ainsi que leurs prix totaux.

Type des panneaux	Puissances d'un panneau (W)	Nombre des panneaux	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Monocristallins	245	545	35 632,00	19 419 440,00
	300	445	22 712,00	10 106 840,00
	365	366	65 443,00	23 952 138,00
polycristallins	150	890	16 000,00	14 240 000,00
	240	556	25 272,00	14 051 232,00
	280	477	29 484,00	14 063 868,00

Tableau IV.4 : Devis estimatif total des différents panneaux photovoltaïques

Selon le (Tableau IV.4) on déduit que le panneau le mieux approprié et le plus économique et le panneau monocristallin de 300 Wc, donc pour notre besoin de 248 kWh il nous faut un nombre de 445.

Pour la suite de l'étude technico-économique, on prend des panneaux « Longi » de 300 Wc monocristallin.

IV.2. Choix des batteries à utiliser

Un programme a été établi pour estimer le prix de trois systèmes de stockage chacune avec une capacité différente (150 Ah, 200 Ah, 250 Ah) et une tension de 12V.

Le tableau suivant indique les prix unitaires des différentes batteries :

Batteries (12V)	prix HT (DA)	prix T.T.C (DA)
150 Ah	20 800,00	24 336,00
200 Ah	27 500,00	32 175,00
250 Ah	33 800,00	39 546,00

Tableau IV.5 : Devis unitaire des différentes batteries

De la même approche précédente, pour choisir la batterie qui convient le mieux pour assurer la satisfaction de notre besoin en énergie, nous avons modélisé et simulé le programme suivant. Les résultats nous ont permis de savoir quelle batterie acheter pour avoir l'installation la moins chère.

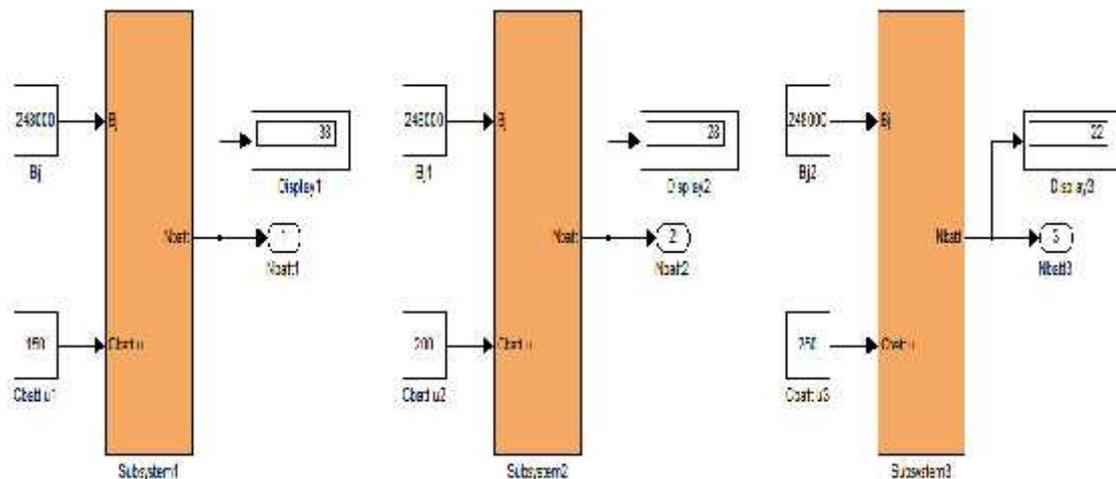


Figure IV.3 : Schéma bloc simulation pour les différentes batteries

➤ **Les résultats de simulation :**

Les résultats obtenus lors de la simulation sont rapportés sur le tableau suivant :

Capacité des batteries (Ah)	nombre de batteries	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
150	38	24 336,00	924 768,00
200	28	32 175,00	900 900,00
250	22	39 546,00	870 012,00

Tableau IV.6 : Devis estimatif total des différentes batteries

Selon le (Tableau IV.6) la batterie la mieux adaptée techniquement et économiquement est celle de 250 Ah.

Choix de l'onduleur à utiliser

Selon les résultats de la simulation des panneaux, le panneau le plus mieux adapté est celui de 300 Wc, ce qui nous donne une puissance PV de 133.5 kW cette dernière sera divisée par 10 pour créer 10 sous générateurs.

Chaque sous générateur sera donc composé de 45 panneaux, et aura une puissance de 13.35 kW.

➤ **Simulation de la compatibilité en puissance :**

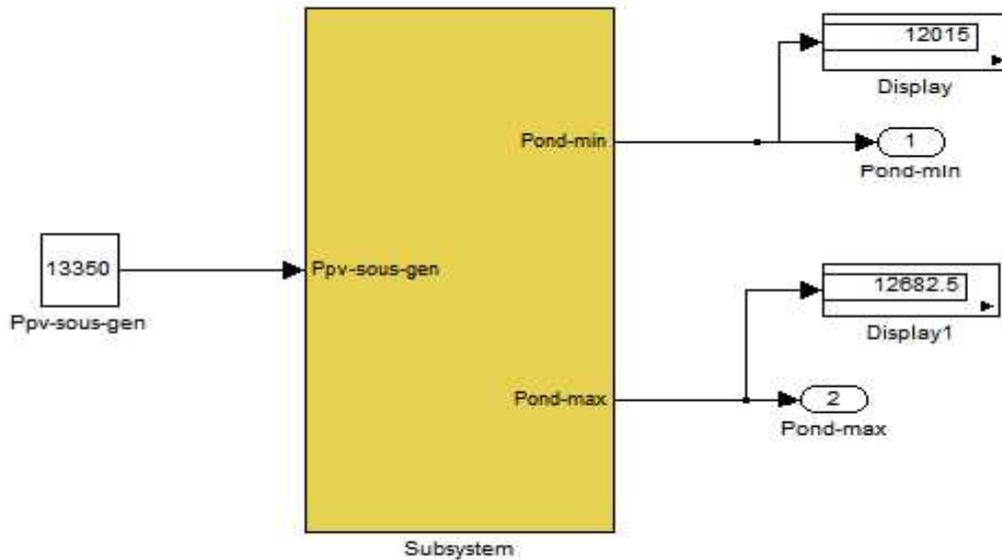


Figure IV.4 : simulation de la compatibilité en puissance

➤ **Simulation de la compatibilité en tension :**

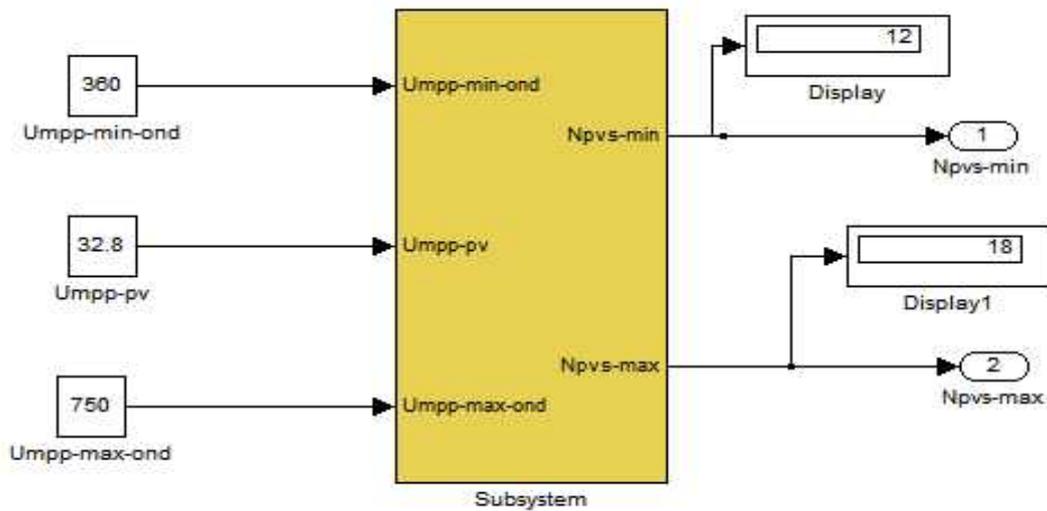


Figure IV.5 : Simulation de la compatibilité en tension

➤ Simulation de la Comptabilité en courant :

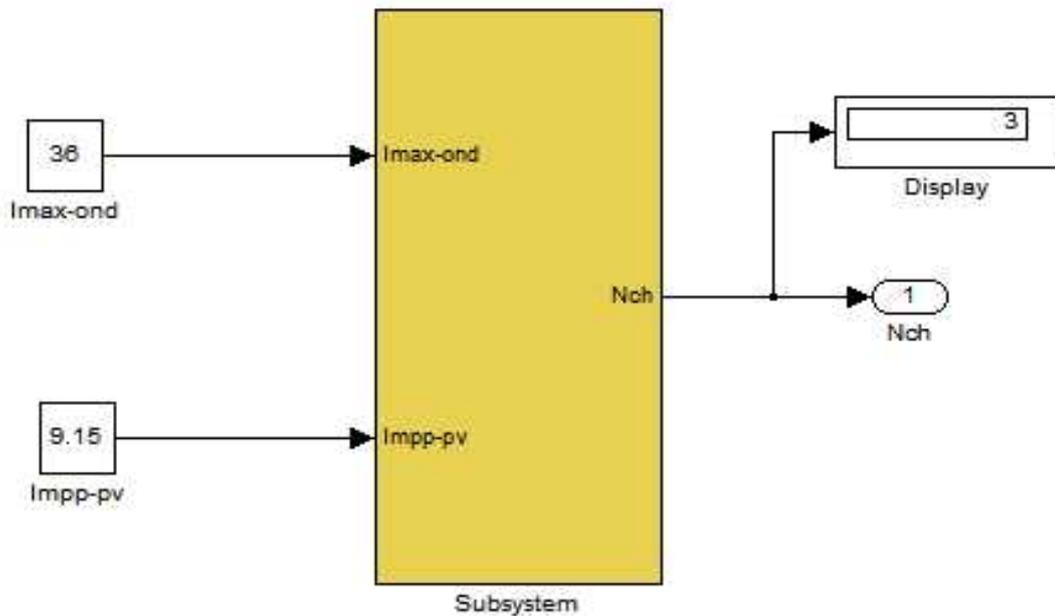


Figure IV.6 : Simulation de la compatibilité en courant

Selon l'onduleur chaque sous générateur sera composé de 54 panneaux, 18 en série et de 3 en parallèle.

L'onduleur choisi est le même du chapitre précédant ABB PVI-12.5-TL-OUTD son prix est de 490 000,00 DA.

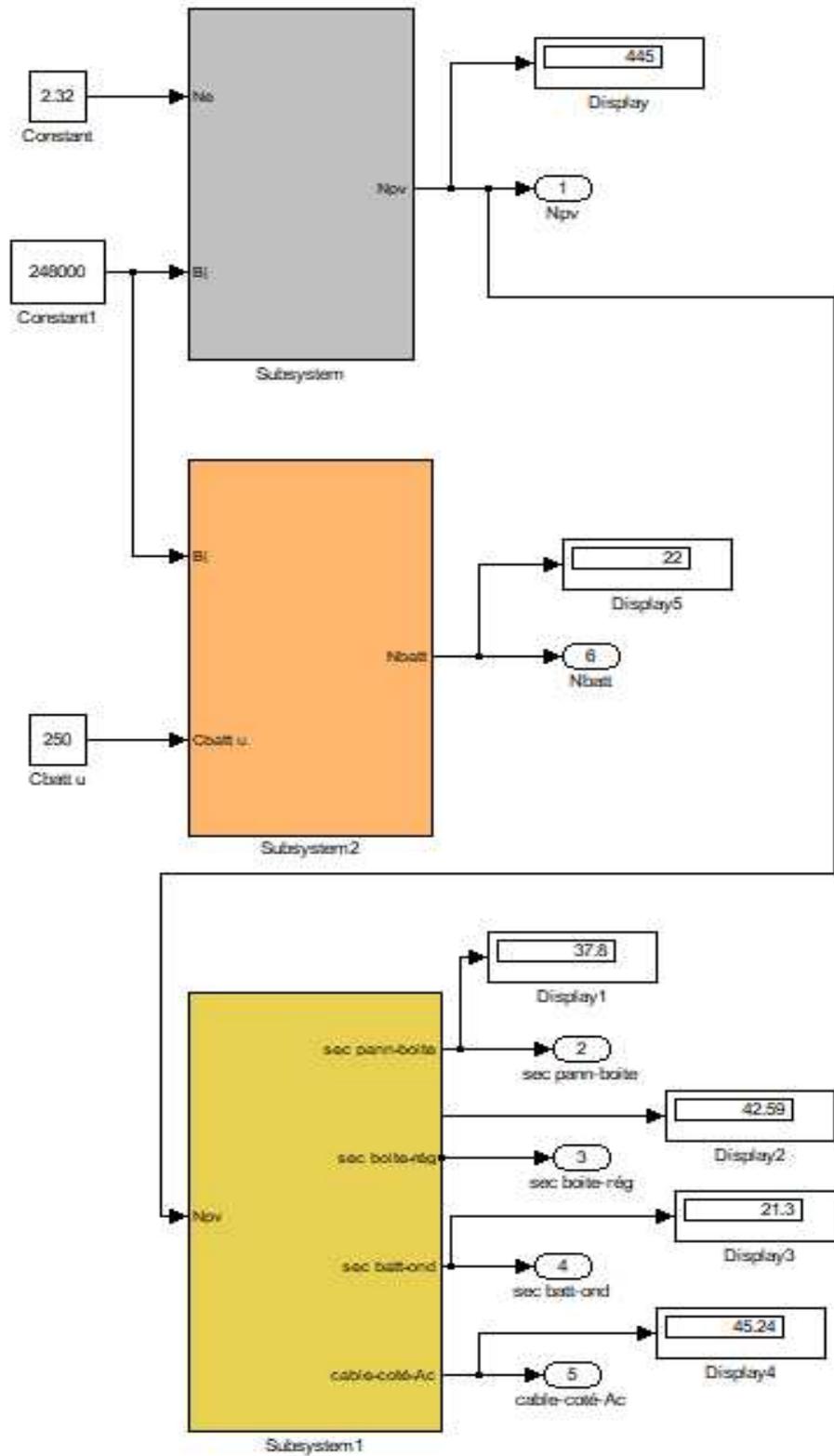


Figure IV.7 : Schéma bloc global

➤ Les prix des différents câbles sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Cable électrique	Longueur	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Cable de 22 mm ²	40 m	620,00	24 800,00
Cable de 38 mm ²	710 m	1000,00	710 000,00
Cable de 45 mm ²	1 350 m	1200,00	1 620 000,00
			2 354 800,00

Tableau IV.7 : Devis estimatif total des câbles électriques.

➤ Devis estimatif de l'onduleur :

Onduleur	Nombre	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
ABB PVI-12.5-TL-OUTD	10	490 000,00	4 900 000,00

Tableau IV.8 : Devis estimatif de l'onduleur.

IV.3. Devis total de l'installation solaire photovoltaïque

Elements	prix total (DA)
Panneaux photovoltaïques	10 106 840,00
Batteries	870 012,00
Câbles électriques	2 354 800,00
Onduleurs	4 900 000,00
TOTAL = 18 231 652,00	

Tableau IV.9 : Devis estimatif de l'installation

En prenant en compte le prix de maintenance et de rechange qui est de 2% du prix totale de l'installation photovoltaïque.

2% du prix de l'installation représente 364 634,00 DA, ce qui donne un prix total pour l'installation photovoltaïque de **18 596 285,00 DA.**

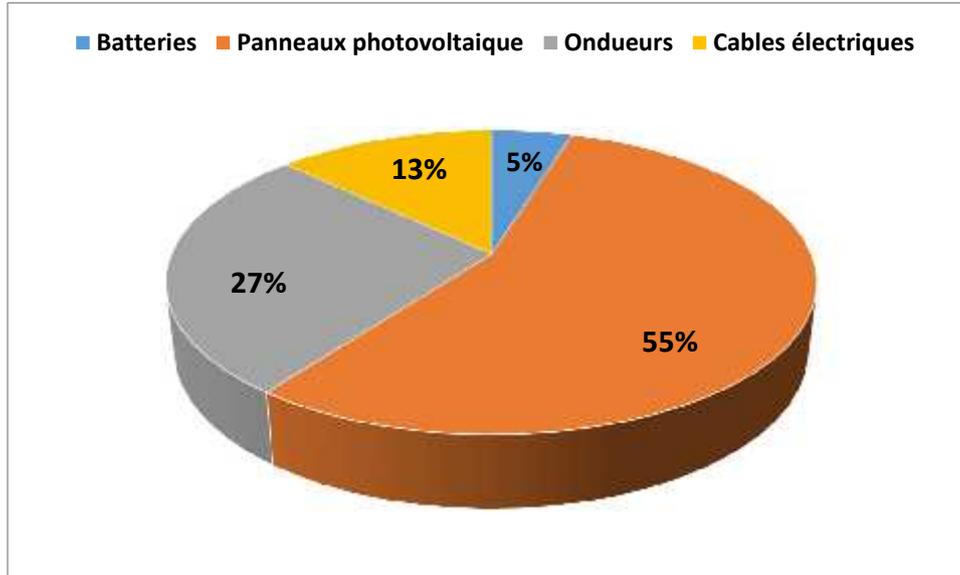


Figure IV.8 : Prix des éléments de l'installation photovoltaïque exprimés en pourcentage

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude économique détaillée entre les différents composants de l'installation photovoltaïque. Ladite étude est indispensable pour estimer le cout total de l'installation photovoltaïque et prendre des décisions.

L'étude a porté sur la comparaison des couts des différents éléments constitutifs de l'installation afin de choisir la combinaison la plus économique et la mieux adaptée au besoin journalier des différents consommateurs devant être alimentés par la mini centrale.

Ainsi, nous avons estimé le prix de revient total des composants de la mini centrale photovoltaïque à installer.

Conclusion générale

Conclusion

Conclusion générale

Le but de notre étude nous semble avoir été atteint si bien qu'elle n'est la prétention d'avoir abordé de manière complète et exhaustive tous les aspects voire tous les corps d'état liés à la conception et à la réalisation d'une mini centrale photovoltaïque pour la production d'énergie électrique.

Nous savons et sommes conscients que tout projet dont l'opportunité et la faisabilité ne sont plus à démontrer doit être pris en charge dans sa globalité ; c'est-à-dire dans ses trois phases à savoir : Etude, Procurement et Construction (EPC) pour la réalisation de cet ambitieux projet de conception d'une centrale de production d'énergie électrique.

En l'absence de moyens, de base de données fiables, viables et très diversifiées, du temps court alloué et de support en ressources humaines polyvalentes dédiées au projet, nous avons sciemment subdivisé ce projet en parties. La partie à laquelle nous nous sommes intéressés dans le cadre de notre projet et dont les résultats sont résumés dans ce mémoire, montrent si besoin est que le recours à la production et à l'utilisation de l'énergie solaire est une question qui ne prête plus à la confusion et qui se passe de tout débat. Nous pouvons dire sans risque de nous tromper que l'énergie solaire est incontournable.

Nous voudrions apporter une précision supplémentaire sur l'importance stratégique que représentent les installations composant la station de pompage de Béni Mansour et de la raffinerie d'Alger, qui transforment 3.5×10^6 Tonnes par an de Pétrole Brut pour l'approvisionnement du marché du grand Alger en produits pétroliers raffinés : carburant, lubrifiants et GPL (gaz pétrole liquéfié) en bouteilles de propane et butane. Le management de Sonatrach conscient des enjeux et des risques, a anticipé pour prévoir des mesures palliatives à l'indisponibilité de l'énergie électrique produite par Sonelgaz et à la défaillance des lignes alimentant ledit site et pour quelques raisons qui soient.

La solution idoine consiste en la réalisation d'une centrale photovoltaïque au niveau du site de Béni Mansour où était construite la station de pompage, appelée par abréviation SBM, et ce pour soulager les lignes électriques existantes surexploitées et peu fiables. Ladite station a été mise en exploitation en 1971.

En récapitulant notre démarche, nous avons entamé notre travail en présentant les données du site (lieu, l'irradiation solaire..), puis nous nous sommes intéressés aux équipements électriques à alimenter par la mini central photovoltaïque en établissant un bilan de puissance des différentes charges équipant les infrastructures de la base de vie de la station de Béni Mansour en tenant compte des heures de fonctionnement par jour pour enfin déterminer la puissance totale et le besoin journalier à satisfaire (à alimenter) soit une puissance de 26.6 KW et un Besoin Journalier (BJ) de 248 KWh.

Conclusion

De ces résultats nous avons dimensionné la mini centrale photovoltaïque selon la méthode du besoin journalier en calculant le nombre de panneaux nécessaires en déterminant 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 les deux types de panneaux photovoltaïques polycristallin et monocristallin de différentes puissances, afin de trouver le nombre de panneau nécessaire pour satisfaire le besoin calculé. Partant du prix unitaire de chaque panneau, on a déterminé le panneau (la variante) la moins chère et par la même approche, nous avons choisi la batterie la mieux adaptée techniquement et économiquement en simulant trois capacités différentes de batteries et en ayant le prix unitaire de chacune. Nous avons suivi la même démarche pour le reste des équipements de la mini centrale photovoltaïque pour aboutir à la conception de la centrale la moins chère possible.

Nous avons résumé tous les résultats obtenus, avec les prix totaux de tous les équipements de la centrale, et avons calculé le prix total des équipements de cette mini centrale photovoltaïque en prenant en compte les 2% représentant le coût de la maintenance et de la pièce de rechange ; Ce qui nous donne un montant global de **18 596 285,00 DA**.

Toutefois, ce prix n'inclut pas les frais de douane, les coûts liés à la main d'œuvre, les travaux de génie civil et matériaux pour la réalisation des supports, leurs fixations au sol et bien entendu tous les frais concernant la logistique.

En tenant compte de ces différents couts additionnels, il est évident que le montant total de la mini centrale atteindra aisément le triple, le montant total nécessaire à l'acquisition des équipements.

Les perspectives envisageables en prolongement direct de ce travail pourrait concerner deux aspects qui sont : l'étude de rentabilité économique de cette centrale photovoltaïque sur une durée de vie de 25 ans, et l'étude de l'impact environnementale, cela en évaluant la quantité de CO2 évitée en utilisant cette source d'énergie renouvelables qui montrera l'impact positif du projet sur l'environnement.

Liste des références bibliographiques

Liste des References 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] L. Szabo, « The History of Using Solar Energy », The 7th International Conference on Modern Power Systems (MPS 2017), Technical University of Cluj-Napoca, « THE HISTORY OF PHOTOVOLTAICS », p7, 2017.

[3] M. Jérôme FATET, « Les recherches d'Edmond Becquerel sur la nature de la lumière entre 1839 et 1843 - Histoire d'une interaction réussie entre science et photographie », THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE CLAUDE BERNARD – LYON, p29, 2005.

[4] « Global energy and CO2 status report – 2017 », iea International Energy Agency, March 2018.

[5] « Le guide des énergies renouvelables », République Algérienne Démocratique et Populaire-Ministère de l'Énergie et des Mines, Direction des Énergies Nouvelles et Renouvelables, Edition2007.

[6] 2018 IRENA - International Renewable Energy Agency, <https://www.irena.org/> , consulté le 29 Avril 2019.

[7] Énergie solaire: L'Algérie enfin déterminée à exploiter son énorme potentiel, <https://www.algerie-eco.com/2018/04/04/energie-solaire-lalgerie-enfin-determinee-a-exploiter-son-enorme-potentiel/>, consulté le 28 Avril 2019.

[8] Société Algérienne de l'électricité et du gaz, Newsletter presse n°13, Edition électronique – Avril 2011, consulté le 27 Avril 2019.

[9] S. Noureddine, Potentiel EnR de l'Algérie, centre de développement des énergies renouvelables CDER.

[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] Portail Algérien des Energies Renouvelables, Un privé algérien lance la plus grande usine de panneaux photovoltaïques en Afrique, Algérie-focus, Edition électronique – Mercredi 22 mars 2017, consulté le 27 Avril 2019.

[12] www.sonelgaz.dz/?page=article&ida=45923 consulté le 22 Mars 2019.

[13] <http://so-med.org/content/centrale-solaire-adrar> Consulté le 23 Mars 2019.

[14] P. Bessemoulin et J. Oliviéri, « LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET SA COMPOSANTE ULTRAVIOLETTE », Éditeur: Société météorologique de France, Paris (FRA), p43, 2000.

[15] S. K. Rajput, « SOLAR ENERGY: Fundamentals, Economic and Energy Analysis », p2, 2017.

[16] <https://biologiedelapeau.fr/spip.php?mot168>, consulté le 30 Avril 2019.

[17] « Centrales photovoltaïques » – Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l’usage des bureaux d’ingénieurs , Programme d’action PACER – Energies renouvelables Office fédéral des questions conjoncturelles Berne, p21, 1996.

[18] « EFFET DE SERRE, ALBEDO », CNES, https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/sites/default/files/migration/automne/standard/2013_06/p10766_d51f2bbfc027e962f2c372e9a738df9aL_effet_de_serre_albedo.pdf, consulé le 30 avril 2019.

[19] S. K. Rajput, « SOLAR ENERGY Fundamentals, Economic and Energy Analysis », Northern India Textile Research Association Sector-23, Rajnagar, Ghaziabad 201002.

[20] A.T.Singo, « Système d’alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l’habitat énergétiquement autonome », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré-Nancy I, 2010.

[21] S.BRIGAND, complément technique, Techniques de construction, 2008.

[22] Panneau solaire photovoltaïque : fonctionnement et description, Les différents types de panneaux solaires photovoltaïques, <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau-solaire-photovoltaïque-fonctionnement-et-description-les-differents-types-de-panneaux-solaires-photovoltaïques-1> , consulté le 10 Mai 2019.

[23] Photovoltaïque : Des cellules solaires organiques au rendement record, <https://www.cleantech-alps.com/fr/actualites/news/details/photovoltaïque-des-cellules-solaires-organiques-au-rendement-record-0-466>, consulté le 30 Avril 2019.

[24] PANNEAUX SOLAIRES, <https://www.future-tech.fr/panneaux-solaires.fr,8,48.cfm>, consulté le 30 Avril 2019.

[25] M. Angel Cid Pastor : « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Docteur de l’Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.2006.

[26] Les Meilleurs Chargeurs Solaires et batteries solaires en 2018, <https://www.insunwetrust.solar/blog/lifestyle/chargeurs-solaires/>, consulté le 28 Avril 2019.

[27] 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).

[28] 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.

[29] « SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : LES TECHNOLOGIES ET LEURS TRAJECTOIRES », https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-photovoltaique-les-technologies-et-leurs-trajectoires/#_ftnref1 , consulté le 30 Avril 2019.

[30] M. Angel Cid Pastor : « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques ». Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.2006.

[31] Schéma de panneau photovoltaïque et schémas d'installations,

<https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/photovoltaique/schema-panneau-photovoltaique.html> , consulté le 30 Avril 2019.

[32] Y. BAKELLI, « Etude et Dimensionnement d'un Convertisseur Statique pour la Connexion d'un Générateur Photovoltaïque au Réseau », Mémoire de Magister, université DE BOUMERDES, 2005.

[33] Abdelhalim Besra, Amélioration des performances des **composants** Électroniques par simulation, thèse magister, Université Badji Mokhtar – Annaba, 2010.

[34] Royer, J., & Djiako, T. Eric Schiller et BocarSadaSy Sous la direction de Eric Schiller. Le pompage photovoltaïque: manuel decours à l'intention des ingénieurs et des techniciens.Publ. en collab. Avec : IEPF Université d'Ottawa, EIER ; 1 ; CREPA. ISBN 2-89481-006-7

[35] D.Turcotte, M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools » PV Horizon, Canada, 2001.

[36] Advantages and disadvantages of photovoltaics, http://www.energybc.ca/cache/solarpv/www.cetonline.org/Renewables/PV_pro_con.html , consulté le 20 Avril 2019.

[37] Chen Wang, Lu Yuefeng, « PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE », Thèse de baccalauréat, Programme de diplôme en gestion industrielle, p22, 2016.

[38] Y. JAUTARD et T. BOUDOL, "Architecture et énergies renouvelables" réalisé par l'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) et l'Ordre des Architectes du Languedoc-Roussillon Rédaction, 2000.

[39] N,kouimi, M.J.T.(2000).Outil d'aide au dimensionnement de systèmes photovoltaïques domestiques. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Mémoire Online, 2010.