

République **A**lgérienne **D**émocratique et **P**opulaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA- BEJAIA-



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Enegies renouvelables

Thème

Etude des cas possibles pour la réalisation d'une centrale solaire photovoltaïque pour l'alimentation électrique du village touristique RUSSICA_PARK.

Présenté par :

**Hamlat saddek.
Hamdaoui latamene.**

Encadré par : M^r Medjoudj R.

M^r Imaouchen Y.

Président de jury : M^r Bekka.

Examineur : M^r Rahmani.

Promotion : 2016/2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Aussi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Mr MEDJOU DJ, R, Y pour ses conseils, la confiance qu'ils nous a accordés. et nos remerciements aussi à Mr IMAOUCHE N, pour sa disposition.

Nous adressons nos remerciements à tous les membres de jury qui nous ont fait le grand honneur en acceptant d'examiner et de juger ce travail, en espérant qu'il soit digne de leurs intérêts.

A nos chers parents, qui sans eux rien n'aurait été possible

A tous le personnel de l'entreprise SOPERIE, sans exception, pour le climat de travail agréable trouvé au cours de la période de stage

Nous tenons à remercier vivement toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et à réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Merci à tous.

Dédicace

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte des objectifs.

Je dédie ce modeste travail, fruit de très longues années de labeur : A la seule femme de ma vie qui a énormément souffert pour faire de moi ce que je suis et qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi ; Ma très chère Mère.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Egalement à mes frères et sœurs, FADILA, ZAHRA, RACHIDA, OUARDIA, FARIDA, MAKHLOUF, en particulier KARIMA et MOURAD, épouses et époux respectives et mes neveux,

A SILYA, d'avoir été à mes côtés durant ces sept années.

Mes amis et amies, SALIM, MASSI, DYHIA et mes copains de chambre MESSAOUD et TAHAR, AISSA, NABIL.

A mon camarade LATAMENE avec qui j'ai partagé ce travail. Sans oublier la promotion énergies renouvelables 2016/2017.

SADDEK,

Dédicace

Pour chaque début il y a une fin, et ce qui est beau dans toute fin c'est la réussite et l'atteinte des objectifs.

Je dédie ce modeste travail, fruit de très longues années de labeur : A la seule femme de ma vie qui a énormément souffert pour faire de moi ce que je suis et qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi ; Ma très chère Mère.

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Egalement à mes frères et sœurs, mes nièces et mes neveux, à toute la famille chacun son nom.

A mes amis HAMANA. ADEL. MASSI. JUGO. KARIM. LARBI. CHERIF. Et les autres chacun son nom.

A mon camarade SADDEK avec lequel j'ai partagé ce travail.

Sans oublier la promotion énergies renouvelables 2016/2017.

Latamene.

Table des matières

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

Chapitre I : Etat de l'art des énergies renouvelables en Algérie.

1. Introduction	4
2. Tout commence par le soleil	4
2.1. Filières de production d'électricité	4
2.2 Energies renouvelables.....	5
3. Introduction des Energies Renouvelables en Algérie et Changement Politique	5
3.1. Le programme des énergies renouvelables en Algérie.....	6
3.2. Le programme de développement des énergies renouvelables	7
3.3. Mesures incitatives	8
3.4. Enjeux.....	9
4. Le potentiel solaire	9
5. Projets réalisés.....	10
5.1. La station solaire a Boughezoul (Médéa).....	10
5.2. Une station photovoltaïque à Ghardaïa	11
6. Les futurs projets en énergie photovoltaïque	12
7. L'Algérie, futur fournisseur de l'énergie renouvelable pour l'Europe	12
8. conclusion.....	13

Chapitre II : Solaire photovoltaïque.

1. Introduction	14
2. Solaire photovoltaïque.....	14
2.1. Rayonnement solaire	14
2.2. Le spectre solaire	14
2.3. Les conditions Standard (STC) :	15
3. Principe de l'effet photovoltaïque	15
3.1. La cellule photovoltaïque	16
3.2. Les différents types de cellules photovoltaïques	16
3.2.2. Les cellules poly-cristallines	17
3.2.3. Les cellules amorphes	17
4. Les différents paramètres d'une cellule photovoltaïque	18
4.1. La caractéristique courant-tension.....	18
4.1.1. Tension de circuit ouvert V_{co}	19

4.1.2. Courant de court-circuit I_{cc}	19
4.1.3. Le point de fonctionnement optimal (PPM).....	19
4.1.4. Facteur de forme.....	19
4.1.5. Le rendement.....	19
4.2. Caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque	20
5. Influence de l'ensoleillement et la température sur le rendement	20
5.1. Influence du flux	20
5.2. Influence de la température	21
6. Le système photovoltaïque.....	22
6.1. Les différents types de système photovoltaïque	22
6.1.1. Systèmes hybrides	23
6.1.2. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.....	23
6.1.3. Systèmes autonomes.....	24
6.2. Les Composants d'un système photovoltaïque	25
6.2.1. Le champ photovoltaïque	25
6.2.2. Système de stockage	25
6.2.3. Types d'accumulateurs.....	25
7. Système de régulation	26
7.1. Régulateurs de charge	26
7.1.1. Régulateur shunt :.....	27
7.1.2. Régulateur série.....	27
7.1.3. Régulateur MPPT.....	28
8. Les convertisseurs d'énergie	28
8.1. Convertisseurs DC/DC.....	28
8.1.1. Hacheur élévateur.....	28
8.1.2. Hacheur abaisseur.....	29
8.2. Les convertisseurs (DC/AC)	29
9. Avantages et inconvénients du système photovoltaïque.....	29
9.1. Les avantages	30
9.2. Les inconvénients.....	30
10. Conclusion.....	30
Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque autonome	
1. Introduction.....	32
2. Procédure de dimensionnement du système photovoltaïque autonome.....	32
2.1. Le choix de la méthode de dimensionnement.....	32

2.2. Estimation de l'ensoleillement	32
2.3. Estimation des besoins en énergie de l'application	33
2.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque	33
2.4.1. Calcul de la puissance du champ photovoltaïque	33
2.4.2. Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques	34
2.4.4. Calcul de la capacité des batteries de stockage	35
2.5. Dimensionnement du régulateur	36
2.6. Dimensionnement du hacheur dévolteur	37
2.7. Dimensionnement de l'onduleur	37
2.8. Dimensionnement des câbles	37
2.8.1. Calcul des sections des câbles partis AC.....	37
2.8.2. Calcul de la section des câbles partie DC.....	39
2.9. Orientation et inclinaison des panneaux	39
3. Conclusion.....	40

Chapitre IV : Application du dimensionnement au projet

1. Introduction	41
2. Description du projet.....	41
2.1. Présentation du site.....	41
2.2. Situation géographique.....	42
3. Estimation de l'ensoleillement du site	43
4. Dimensionnement du site	43
4.1. Centrale autonome basée sur terrain défraîchi	43
4.1.1. Evaluation du besoin énergétique du site	44
4.1.2. Calcul de la puissance crête du projet	44
4.1.3. Détermination du nombre de panneaux.....	44
4.1.4. Calcul de la surface nécessaire pour l'installation des panneaux	45
4.1.5. Calcul de la capacité des batteries de stockage	45
4.1.6. Choix du hacheur dévolteur.....	46
4.1.7. Choix du régulateur	46
4.1.8. Choix de l'onduleur.....	47
4.1.9. Choix des câbles.....	47
4.1.10. Orientation et inclinaison des panneaux	49
4.1.11. Tableaux récapitulatifs	50
4.2. Exploitation des surfaces des Terrasses	53
4.2.1 Dimensionnement du champ PV	53

4.2.2. Choix du hacheur dévolteur.....	54
4.2.3. Choix du régulateur	54
4.2.4. Choix de l'onduleur.....	54
4.2.5. Choix des câbles	55
4.2.6. Orientation et inclinaison des panneaux	56
4.2.7. Tableaux récapitulatifs	57
4.3. Exploitation des façades orientée vers le sud	60
4.3.1. Choix du champ PV	60
4.3.2. Choix du hacheur dévolteur.....	61
4.3.3. Choix du régulateur	61
4.3.4. Choix de l'onduleur.....	61
4.3.5. Choix des câbles	62
4.3.6. Orientation et inclinaison des panneaux.....	63
4.3.7. Tableaux récapitulatifs	64
5. Conclusion.....	67
Conclusion général	68
Référence bibliographie	70

Table des figures

Chapitre I

Figure1 : Filières de production d'énergie électrique.....	4
Figure2 : Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables (22Gw à l'horizon 2030).....	6
Figure 3 : Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu : moyenne annuelle.....	9
Figure 4 : La station solaire a Boughezoul.....	10
Figure 5 : La centrale solaire à Ghardaïa.....	11
Figure 6 : Usine de production de panneaux PV à Rouïba.....	12

Chapitre II

Figure 1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère (AM ₀) et a l'incidence 48° (AM _{1.5}).....	14
Figure 2 : Schéma représentatif d'une cellule photovoltaïque alimentant une charge.....	15
Figure 3 : Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque.....	17
Figure 4 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque.....	19
Figure 5 : L'influence du flux sur la caractéristique P-Vde la cellule photovoltaïque à une température constante 25°C.....	19
Figure 6 : L'influence du flux sur la caractéristique I-Vde la cellule photovoltaïque à une température constante 25°C.....	20
Figure 7 : L'influence de la température sur la caractéristique P-V de la cellule photovoltaïque sous un éclairage fixe $E = 1000\text{W/m}^2$	20
Figure 8 : L'influence de la température sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque sous un éclairage fixe $E = 1000\text{W/m}^2$	21
Figure 9 : Système hybride éolienne/solaire.....	22
Figure 10 : Schéma d'un système PV relie au réseau.....	22
Figure 11 : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.....	23
Figure 12 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques.....	23
Figure 13 : Construction d'une batterie monobloc.....	24

Figure 14 : Régulateur shunt.....	25
Figure 15 : Régulateur série.....	26
Figure 16 : Régulateur MPPT.....	26
Figure 17 : Hacheur élévateur.....	27
Figure 18 : Hacheur abaisseur.....	27
Figure 19 : Schéma de L'onduleur.....	27

Chapitre IV

Figure1 : plan du site étudié.....	40
Figure 2 : carte satellite du site étudié.....	41
Figure 3 : schéma de branchement des sous générateurs aux onduleurs.....	49
Figure 4 : schéma de branchement des sous générateurs relient aux onduleurs.....	56
Figure 5 : schéma de branchement des sous générateurs aux onduleurs.....	63

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau 1: programme à atteindre par phase pour chaque énergie en Algérie.....7

Tableau 2: durée moyenne d'ensoleillement pour les différentes régions d'Algérien.....10

Chapitre II

Tableau 3 : Rendement et domaines d'application de diverses cellules photovoltaïques.....18

Chapitre III :

Tableau 4 : Tensions recommandées pour les systèmes photovoltaïques en fonction de leurs puissances.....35

Tableau 2 : Inclinaison en fonction de la latitude.....40

Chapitre IV :

Tableau 5: irradiation solaire mensuelle à Skikda (filfila) avec logiciel PVGIS.....43

Tableau 2 : besoin énergétique du site.....44

Tableau 3 : Caractéristique du champ PV.....50

Tableau 4 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.....50

Tableau 5 : devis estimatif des principaux composants de la centrale solaire.....51

Tableau 6 : Caractéristique du champ PV.....57

Tableau 7 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.....57

Tableau 8 : Devis estimatif des composants de la centrale solaire.....58

Tableau 9 : Caractéristique du champ PV.....64

Tableau 10 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.....64

Tableau 11 : Devis estimatif des principaux composants de la centrale solaire.....65

Liste d'abréviations

ASA : agence spatiale Allemande.

CSP : concentrating solar power.

FNEEC : Fond National pour la Maitrise de l'Energie, pour les énergies renouvelables et la cogénération.

PPP : partenariat public privé.

CDER : centre de développement des énergies renouvelables.

URAER : unité de recherche appliquée en énergie renouvelable.

SIAHA : Société d'Infrastructures Aqua - Hôtelières d'Algérie.

PV : photovoltaïque

h : la constante de Planck.

C : la vitesse de la lumière(m/s).

λ : longueur d'onde.

ev : électron volt.

AM : spectre solaire.

STC : standard test condition.

E_g : énergie de Gap.

V_{co} : tension de circuit ouvert(V).

I_{cc} : courant de court-circuit(A).

PPM : maximum power point.

V_m : Tension correspondant à la puissance maximale(V).

I_m : Courant correspondant à la puissance maximale(V).

FF : facteur de forme.

η : le rendement (%).

P_{inc} : puissance incidente.

W_c : watt-crête.

E : énergie produite.

DC : courant continu.

AC : courant alternatif.

MPPT : maximum power point tracking.

Esol : énergie solaire(W/m^2).

Neq : nombre d'heure équivalente d'ensoleillement(h/j).

Bj : besoin journalier(Wh/j).

Pi : puissance consommée(W).

ti : temps d'utilisation par jour(h).

Cp : coefficient de pertes.

Ah : ampère heure.

Np,s et Np,p : nombre de panneaux en série et en parallèle.

Cbatt : capacité de la batterie(Ah/j).

Vbatt : tension de la batterie(V).

PDD : profondeur de décharge de la batterie (%).

η batt : rendement de la batterie (%).

Nja : nombre de jours d'autonomie.

Ie : courant d'entrée(A).

Is : courant de sortie(A).

Vch : tension de la charge(V)

Hz : hertz.

VA : volt ampère.

ΔV : chute de tension des câbles électrique.

B : coefficient qui vaut 1 en triphasé et 2 en monophasé.

ρ : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium)en($\Omega.mm^2/m$).

l : longueur de la canalisation (m).

S : section des conducteurs(mm^2).

$\cos(\delta)$: facteur de puissance, δ est le déphasage entre le courant et la tension alternative.

$\sin(\delta)$: cette donnée est inscrite sur la fiche technique des onduleurs et vaut 1 généralement.

I_b : courant minimal d'emploi(A).

χ : réactance linéique des conducteur (Ω /m).

ε : est la chute de tension admissible tolérée NF C15-100.

V_n : tension nominal de calcul (V).

R : la résistance du cable (Ω).

Φ : la latitude.

α : inclinaison

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est l'un des moteurs de développement des sociétés, elle est aussi le pilier de l'économie moderne. Elle est l'étincelle qui permet l'accomplissement de toute activité humaine. Ses sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire les besoins toujours en augmentation de l'industrie et des consommateurs.

La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue donc une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie illimitées, telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire [1].

Bien que l'énergie photovoltaïque soit connue depuis de nombreuses années comme source pouvant produire de l'énergie électrique allant de quelques milliwatts au mégawatt, elle reste encore à un stade peu connu et ne se développe pas encore dans de grandes proportions, notamment à cause des coûts trop élevés des capteurs. De plus, plusieurs problèmes techniques doivent être résolus pour amener ces systèmes à un degré de maturité suffisante pour en faire des produits industriels à part entière. Les problèmes concernent autant le matériau de conversion photovoltaïque, qui reste cher à synthétiser, que la chaîne de conversion, qui présente beaucoup de pertes lors d'une utilisation mal adaptée. Il existe d'autres problèmes extérieurs comme la température, le site d'implantation et le problème d'ombrage.

La diminution du coût des centrales photovoltaïques passe nécessairement par le choix d'une technologie adéquate aux besoins de l'utilisateur. Lorsqu'on s'équipe en énergie renouvelable, il est important de respecter un certain nombre d'étapes. Ces dernières permettront, grâce à quelques calculs très simples, de dimensionner la source d'énergie. Une installation d'un système PV nécessite plusieurs étapes dont la première est d'estimer la consommation d'électricité et de déterminer à quel moment on en a besoin. Puis vient le chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique.

Avec ces données, il sera alors possible de connaître la quantité de modules photovoltaïques nécessaires, la quantité de batteries, le régulateur ainsi que l'onduleur les mieux adaptés, et enfin le câblage adéquat.

Selon sa situation géographique, l'Algérie s'intéresse à l'énergie solaire grâce à ses deux atouts naturels : l'espace avec 2.381.741 km² de surface et les heures d'ensoleillement qui dépasse les 2000 heures/an, pouvant atteindre les 3900 heures/an sur les hauts-plateaux et le Sahara.

La qualité du rayonnement solaire algérien lui permet de se classer parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde. L'agence spatiale Allemande, ASA, a conclu que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen [2], soit :

- 169 000,00 TWh/an pour le solaire thermique ;
- 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque ;
- 35,00 TWh/an pour l'éolien.

Actuellement les proportions de l'électricité selon l'origine est la suivante : 99,6% d'origine fossile, 0,4% d'origine hydraulique et 0,01% d'origine solaire.

Notre travail porte essentiellement sur une étude technico-économique pour la réalisation d'une centrale solaire pour l'alimentation électrique d'origine photovoltaïque du village touristique (RUSICA PARK à Skikda) selon trois cas :

- sur une surface défraîchie
- sur toitures des immeubles
- sur les façades des immeubles

Dans le premier chapitre, nous avons présenté un état d'art sur les énergies renouvelables en Algérie, le programme que notre pays a mis pour le réaliser dans les prochaines années, ainsi que quelques projets futurs et d'autres déjà réalisés.

Le deuxième chapitre est la description du système solaire photovoltaïque, son principe de fonctionnement, et les composants nécessaires pour faire fonctionner ce système.

Dans le troisième chapitre, nous avons exposé quelques données de base concernant le dimensionnement d'une installation solaire photovoltaïque.

Et enfin, dans le quatrième chapitre, nous présentons les résultats que nous avons obtenus lors des calculs, ainsi que leurs coûts pour chaque cas étudié.

Chapitre I : Etat de l'art des énergies renouvelables en Algérie.

1. Introduction

La demande grandissante d'énergie, notamment dans le domaine du bâtiment, fait que les ressources d'énergie fossile seront bientôt épuisées. De plus, l'utilisation mondiale de combustibles fossiles est la cause de graves dommages environnementaux et d'un réchauffement climatique au niveau mondial. Bien que les énergies renouvelables soient la meilleure solution pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre et satisfaire le besoin énergétique qui ne cesse d'augmenter.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesses et d'emplois [3].

Dans ce chapitre nous allons parler de la situation de l'Algérie dans le domaine des énergies renouvelables et la répartition du potentiel de ses énergies, ainsi que le programme que le gouvernement algérien a décidé d'appliquer pour les prochaines années.

2. Tout commence par le soleil

2.1. Filières de production d'électricité

Le soleil est la principale source d'énergie de la terre. Les combustibles fossiles sont en définitive le résultat de l'action de l'énergie solaire, mais ont été accumulés pendant des millions d'années. Le vent, les précipitations et, partant, la force hydraulique ainsi que la biomasse sont également une conséquence indirecte de l'énergie solaire, qui est donc à l'origine de la plupart des énergies renouvelables (exceptions : l'énergie marémotrice, la géothermie et la fusion nucléaire). [4]

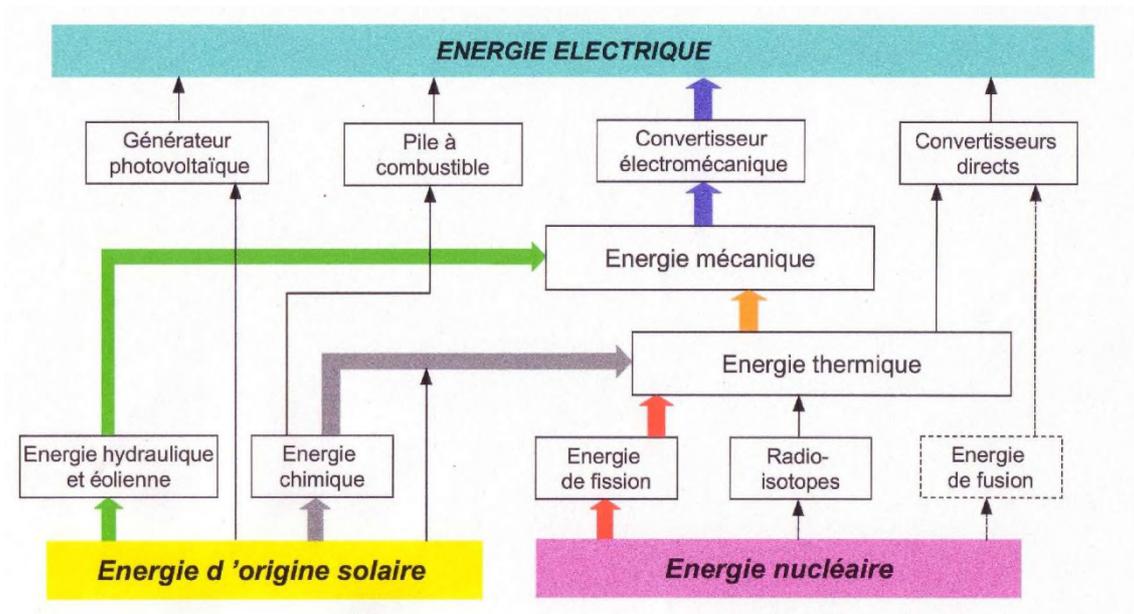


Figure 1 : Filières de production d'énergie électrique [4].

2.2 Energies renouvelables [4]

Mises entre parenthèses pendant plusieurs décennies, les énergies renouvelables connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt. Plusieurs raisons expliquent cette faveur : le risque d'épuisement des combustibles fossiles, le souci de la sécurité de l'approvisionnement et la prise de conscience de la dégradation de l'environnement, non plus au niveau local mais à l'échelle de la planète.

De toutes les énergies renouvelables, deux seulement occupent aujourd'hui une place significative dans la fourniture d'énergie mondiale : l'énergie hydraulique et la biomasse. Les autres énergies (solaire, éolienne, la géothermie, ...) sont jusqu'ici restées marginales, même si l'éolien s'est considérablement développé ces dernières années dans les pays du Nord.

3. Introduction des Energies Renouvelables en Algérie et Changement Politique [5]

Les énergies fossiles ont longtemps constitué la seule source d'énergie, particulièrement dans notre pays, elles ne vont pas être de sitôt suppléer par les énergies renouvelables (ER). Cependant, le changement politique en faveur des ER est en train de se créer un chemin doucement mais sûrement. Les ER contribuent à la diversification des systèmes énergétiques, mettant à la disposition de l'humanité une électricité propre verte et fiable, qui respecte notre environnement tout en contribuant à un développement durable. Des changements institutionnels, politiques et économiques sont nécessaires si les aspects sociaux et

environnementaux sont à prendre en considération dans la définition des politiques énergétiques.

- Moins de gaz brûlé, donc moins d'émissions en CO₂, moins de 33.000 tonnes/an de CO₂, estimé par Sonelgaz.
- Le gaz naturel économisé, pourra être exporté, ou utilisé pour d'autres applications, plus de 7 millions m³/an.

3.1. Le programme des énergies renouvelables en Algérie

La révision du nouveau programme (2015 - 2030) porte ainsi, sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique (CSP).

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période (2015-2030) est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020.

La répartition de ce programme par filière technologique, se présente comme suit :

- Solaire Photovoltaïque : 13 575 MW.
- Eolien : 5010 MW.
- Solaire thermique : 2000 MW.
- Biomasse : 1 000 MW.
- Cogénération : 400 MW.
- Géothermie : 15 MW.

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité.

Les capacités en énergie renouvelables seront installées selon les spécificités de chaque région [6] :

- ❖ **Région du Sud**, pour l'hybridation des centrales existantes et l'alimentation des sites éparses compte tenu de la disponibilité des espaces et de l'important potentiel solaire et éolien qui privilégie ces régions ;

- ❖ **Région des Hauts Plateaux**, pour leur potentiel d'ensoleillement et de vent avec possibilité d'acquisition des terrains ;
- ❖ **Région du littoral**, selon la disponibilité des assiettes de terrain avec l'exploitation de tous les espaces tels que les toitures et terrasses des bâtiments et autres espaces non utilisés

Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables

22 GW à l'horizon 2030

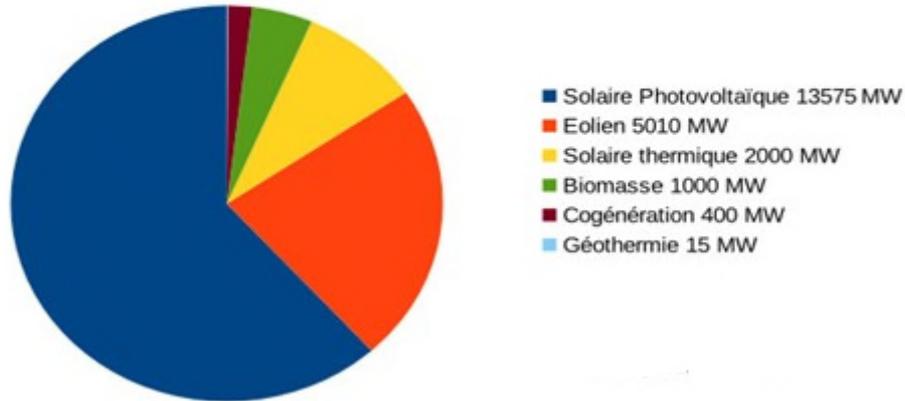


Figure 2 : Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables (22 GW à l'horizon 2030) [6].

3.2. Le programme de développement des énergies renouvelables

Ce programme se présente comme suit :

Tableau 6: Programme à atteindre par phase pour chaque énergie en Algérie [6].

	1ère phase 2015-2020 [MW]	2ème phase 2021-2030 [MW]	Total [MW]
photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
Total	4525	17475	22000

3.3. Mesures incitatives [7]

Le gouvernement algérien a procédé à l'adoption d'une série de mesures de soutien visant la promotion des ER à travers la mise en place d'un cadre juridique favorable et d'un Fond National pour la Maitrise de l'Energie, pour les ER et la cogénération (FNMEERC) qui est alimenté annuellement de 1% de la redevance pétrolière et du produit de certaines taxes.

Le soutien proposé par le gouvernement pour la promotion des énergies renouvelables s'effectue à travers deux modes :

- Pour les installations raccordées au réseau, le soutien de l'état s'effectue à travers le mécanisme du tarif d'achat garanti (feed-in tarif) : Ce système garantit aux producteurs d'énergie renouvelable de bénéficier de tarifs leur octroyant une rentabilité raisonnable de leur investissement sur une durée d'éligibilité de 20 ans pour le solaire et l'éolien et 15 ans pour la cogénération. Au-delà de cette durée, les installations peuvent encore fonctionner sans bénéficier de ce mécanisme. Toutefois, la production sera rémunérée au tarif du marché. Les surcoûts engendrés par ces tarifs seront supportés par le FNER au titre des coûts de diversification, le distributeur qui achète cette énergie au tarif d'achat garanti se fait donc rembourser à hauteur de la différence entre le tarif d'achat garanti et un tarif de référence qui est le prix moyen de l'électricité conventionnelle.
- Pour les autres applications, le soutien de l'Etat se fait par le biais d'une participation à l'investissement (niveau et montant fixés par la réglementation). Le soutien aux énergies renouvelables intervient à travers une contribution à l'investissement par le FNER à hauteur d'un certain niveau et concerne les installations photovoltaïque et éoliennes hors réseau, le résidentiel et la géothermie.

Les surcoûts engendrés par ces tarifs seront supportés par le FNMEERC au titre des coûts de diversification, le distributeur qui achète cette énergie au tarif d'achat garanti se fait donc compenser à hauteur de la différence entre le tarif d'achat garanti et un tarif de référence qui est le prix moyen de l'électricité conventionnelle.

D'autres formes d'aide sont prévues Il s'agit de :

- Acquisition et mise à disposition des terrains éligibles à l'implantation de centrales ER ;
- Accompagnement dans tout le processus d'acquisition des autorisations nécessaires ;
- Identification du potentiel de toutes les régions concernées par les ER.

3.4. Enjeux

A l'échelle du pays, l'insertion des énergies renouvelables devrait être encouragée auprès du grand public afin de préparer dès à présent les générations du futur à la gestion de l'énergie.

L'enjeu principal est le maintien du rang de l'Algérie dans le classement mondial des pays producteurs d'énergie. Entre autres enjeux, nous pouvons citer : la maîtrise de la demande d'énergie en fonction de l'accroissement de la démographie, c'est le cas des zones rurales du Grand Sud dont l'électrification photovoltaïque a incité de nouvelles familles à se sédentariser ; la sauvegarde de l'environnement par l'éducation au développement durable et à la gestion de l'énergie; assurer le plus long terme aux énergies hydrocarbures; la création de nouveaux profils d'emploi. Des mesures politiques et financières sont indispensables pour assurer une sécurité énergétique de toute l'Algérie en dehors du fait que le pays se projette comme un futur producteur d'énergie électrique d'origine renouvelable. La formation de générations de cadres conscients des problèmes que génère la lente disparition des énergies fossiles doit commencer aujourd'hui, pour que demain, la société prenne les habitudes indispensables à sa survie en sauvegardant son environnement, son écosystème, tout simplement sa planète [8].

4. Le potentiel solaire

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde, grâce à sa situation géographique. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national [9].

Avec un gisement solaire qui œuvre des initiatives afin de promouvoir l'électricité solaire, notamment dans le cadre de l'électrification décentralisée. Selon le ministère de l'énergie et des mines, une puissance de 2.3 MW aurait déjà été installée [10].

Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires thermiques et thermodynamiques restent toujours au stade d'expériences. [11]

Tableau 2 : durée moyenne d'ensoleillement pour les différentes régions d'Algérie.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue	1700	1900	2650

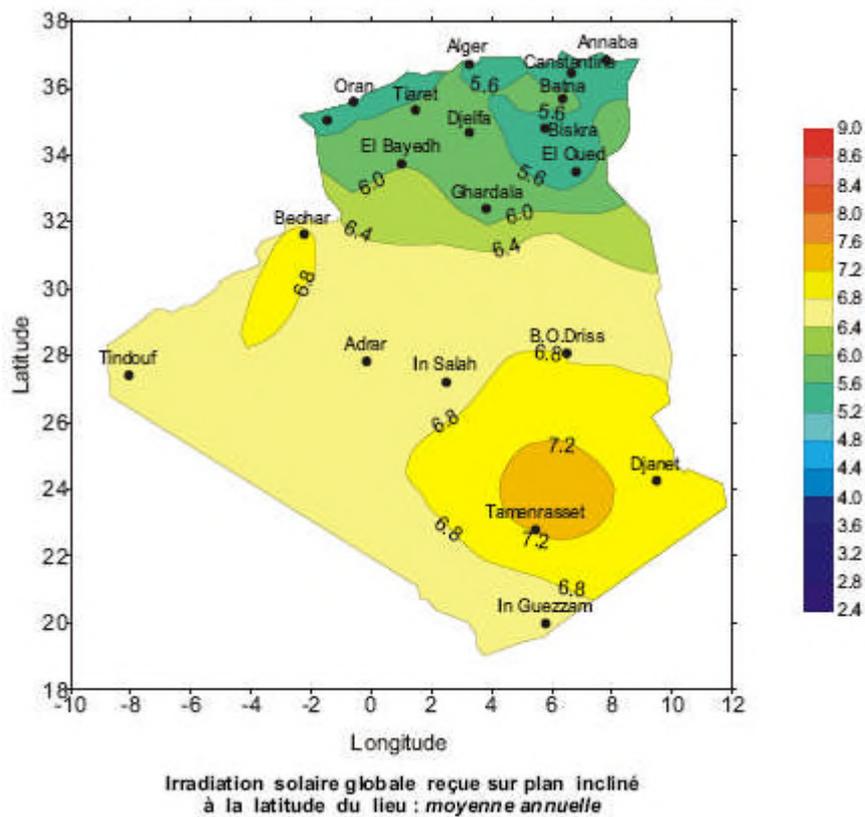


Figure 3 : Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu : moyenne annuelle [12]

5. Projets réalisés

5.1. La station solaire a Bougezoul (Médéa) [13]

Cette centrale photovoltaïque de 1 MW sera réalisée dans le cadre du partenariat public privé (PPP) avec Condor, qui a intégré le domaine des énergies renouvelables à travers l'unité des panneaux photovoltaïques inaugurée en 2014 à Bordj Bou Arreridj.

Il s'agit de la première expérience du genre en l'Algérie, qui a déjà fait appel à des entreprises étrangères pour la réalisation de 23 centrales photovoltaïques, entre 2014 et 2016.

Ce projet permettra à des entreprises algériennes, de se lancer plus tard, en solo, dans de telles réalisations, après ce projet pilote, selon l'estimation du directeur du CDER.



Figure 4 : La station solaire à Bougezoul [13].

5.2. Une station photovoltaïque à Ghardaïa

La centrale photovoltaïque à Oued Nechou, à 10 km au nord de la commune de Ghardaïa avec son Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER), constitue la première étape dans l'effort de développement de l'énergie solaire en Algérie. Ce projet démonstrateur de 6032 panneaux d'une capacité de 1100 KWc fonctionne depuis juillet 2014 [14].



Figure 5 : La centrale solaire à Ghardaïa [14].

6. Les futurs projets en énergie photovoltaïque [15]

- Le groupe Sonatrach et la compagnie pétrolière italienne Eni ont procédé à la pose de la première pierre du projet d'une centrale photovoltaïque de 10 mégawatts (Mw) à Bir Rebaa Nord (Ouargla), qui entrera en service en décembre 2017.

Le projet de cette centrale qui sera installée dans la région de Bir Rebaa, prendra fin en décembre de cette année et produira une partie des besoins en électricité du champ pétrolier de Bir Rebaa Nord opéré par le groupement Sonatrach-Agip (Agip est une filiale d'Eni). Le PDG de Sonatrach, M. Amine Mazouzi, et l'Administrateur délégué d'Eni, M. Claudio Descalzi, ont procédé ensemble à la pose de la première pierre de cette centrale photovoltaïque. Cette centrale photovoltaïque utilisera près de 32.000 panneaux solaires et s'étendra sur une superficie de 20 hectares mitoyenne à ce champ et permettra d'économiser l'équivalent de 6 millions de m³ par an de gaz.

- Projet d'une Usine de production de panneaux photovoltaïques à Rouïba d'une capacité de 200 MWc/an par Rouïba Eclairage. [16].



Figure 6 : Usine de production de panneaux PV à Rouïba [16].

7. L'Algérie, futur fournisseur de l'énergie renouvelable pour l'Europe [16]

L'Institut Wuppertal en Allemagne et le CREAD publient un rapport sur les approches et perspective du développement des énergies renouvelables en Algérie et du transport de l'énergie électrique verte vers l'Europe.

Dans le débat actuel sur le rôle des énergies renouvelables dans le futur système d'approvisionnement énergétique européen, des projets, tels que « Desertec » et le « Plan solaire méditerranéen », envisagent l'exploitation du grand potentiel énergétique solaire et éolien de l'Afrique du nord pour approvisionner l'Europe en électricité verte. Ces projets proposent l'installation de grandes stations solaires, des parcs éoliens ainsi qu'un réseau électrique international pour le transport de l'électricité vers l'Europe.

En dépit de ces initiatives prometteuses, il convient de souligner que ces concepts sont exclusivement basés sur des études technico-économique générales basées sur les perspectives européennes. En effet, aucune enquête approfondie sur les spécificités de chaque pays n'a été réellement proposée.

Afin de surmonter ce déficit, une étude vient d'être publiée par le CREAD et l'institut Wuppertal en Allemagne, cette étude tente de fournir un premier aperçu de la situation et position particulière de l'Algérie.

En raison de sa situation géographique et de sa position stratégique dans le domaine de l'énergie, l'Algérie est très susceptible de jouer un rôle clé en méditerranée dans l'approvisionnement de l'électricité d'origine renouvelable dans le futur.

8. conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé le potentiel algérien en matière d'énergies renouvelables, la politique suivie par l'état algérienne, les mesures et perspectives. Nous avons aussi abordé les projets réalisés en matière de sources renouvelables ainsi que les projets futurs.

Chapitre II : Solaire photovoltaïque.

1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé effet Photovoltaïque

Abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt à ce type d'énergie, malgré le cout d'exploitation lourd au départ (couts de l'installation), qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. L'utilisation de cette énergie nécessite une certaine connaissance, pour cette raison on va définir le principe de fonctionnement de cette technologie et les composants nécessaires pour faire fonctionner ce de systèmes de conversion.

2. Solaire photovoltaïque

2.1. Rayonnement solaire [17]

Le soleil, ce gigantesque central nucléaire rayonne son énergie dans tout l'espace dont, heureusement pour nous, seule une partie parvient sur terre, en raison de la distance qui sépare le Soleil de la Terre (150 millions de km). Par temps clair, à midi, on reçoit une puissance d'environ 1000 W par m², le soleil est à l'origine de la plupart des sources d'énergie présentes sur terre : chaleur, lumière, croissance des végétaux, élévation des masses d'eau, vents, courants marins.

L'énergie dégagée par le soleil est considérable, approximativement 66 millions de watts par m².

Chaque jour, le soleil envoie sur la terre plus d'énergie que les 6 milliards d'habitants de la planète n'en consomment en 25 ans.

2.2. Le spectre solaire [17]

Le rayonnement solaire est constitué de photons transportant une énergie donnée par la relation :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{II.1})$$

La relation directe entre l'énergie d'un photon exprimée en électronvolts et sa longueur d'onde exprimée en micromètres :

$$E(eV) = \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (\text{II.2})$$

Le spectre solaire, sous le nom de AMo est réparti comme suit :

Ultraviolet	$0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$	6.4%
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$	48.0%
Infrarouge	$0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$	45.6%

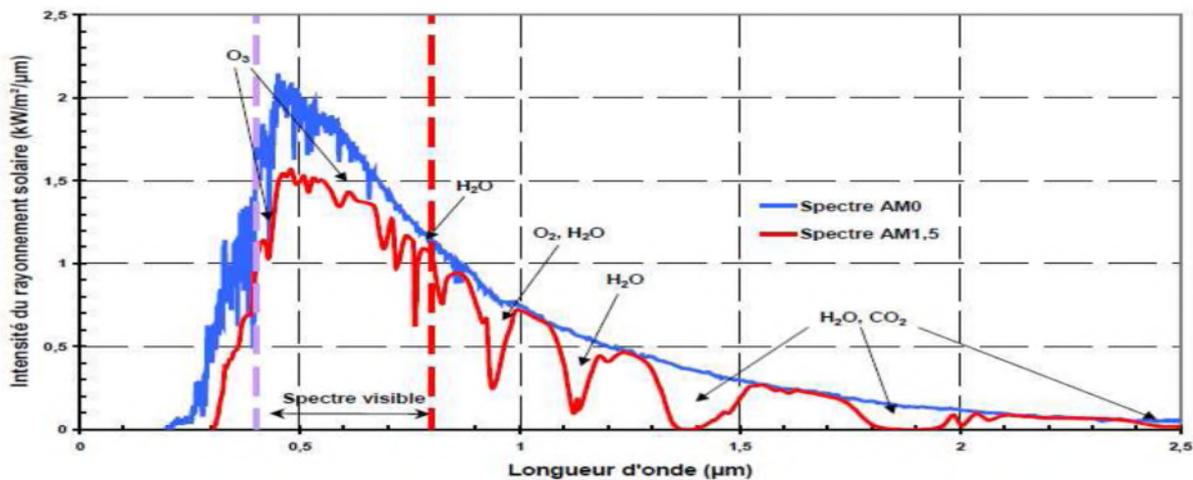


Figure 1 : Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère (AMo) et à l'incidence 48° (AM_{1,5}) [17].

2.3. Les conditions Standard (STC) :

Les conditions standard STC (standard test condition) sont [18]:

- Rayonnement solaire $1000(\text{W}/\text{m}^2)$,
- Spectre solaire AM1.5,
- Température ambiante 25°C .

3. Principe de l'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation (conversion) directe de la lumière en électricité (courant continu CC). Le rayonnement solaire, peut être converti directement en électricité, sous forme de courant continu, au moyen des cellules photovoltaïques (photopiles). Pour produire cet effet, un photon doit posséder au minimum une énergie égale à la largeur de bande interdite (E_g) qui constitue donc le seuil photovoltaïque [19].

3.1. La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est une diode de type spécial, optimisée pour absorber des photons du soleil et les convertir en énergie électrique. La structure la plus simple d'une cellule solaire comporte une jonction entre deux zones dopées différemment, un semi-conducteur de type **N** et un semi-conducteur de type **P** séparés par une zone de charge d'espace (ou zone de transition) d'un même matériau (homo jonction **P-N**) ou entre deux matériaux (hétérojonction). Sous l'effet d'un rayonnement lumineux incident, les électrons des bandes de valence du semi-conducteur vont pouvoir passer dans la bande de conduction et devenir libres. Ce phénomène va engendrer au sein de la structure du semi-conducteur la création de pair électron-trou. Ceux-ci, sous l'effet de la barrière de potentiel, vont s'accumuler sur chacune des faces extérieures des zones **P** et **N**. Ainsi, on applique une tension entre les faces extérieures de la jonction : la photopile est prête à fonctionner. La tension générée par une cellule photovoltaïque peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé, de sa disposition, de la température de la cellule ainsi que le vieillissement de la cellule [17].

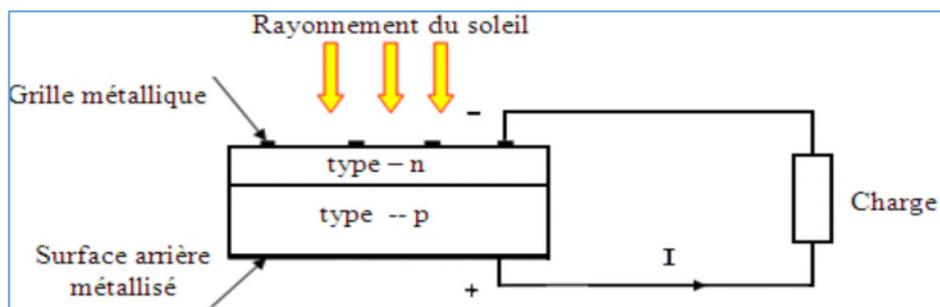


Figure 2 : Schéma représentatif d'une cellule photovoltaïque alimentant une charge [17].

3.2. Les différents types de cellules photovoltaïques [17]

Il existe trois types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques

3.2.1. Les cellules mono-cristallines

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique : cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches.

Les cellules mono-cristallines ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % au laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe.

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients :

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée.

3.2.2. Les cellules poly-cristallines

La cellule poly-cristalline est composée d'un agglomérat de cristaux. La cellule poly-cristalline est caractérisée par :

- Coût de production moins élevé.
- Nécessite moins d'énergie.
- Rendement de 11 à 15% et jusqu'à 19,8 % au laboratoire.

3.2.3. Les cellules amorphes

Le silicium amorphe, a-Si, est actuellement utilisé dans la fabrication et la conception de plusieurs composants : transistor à effet de champ, cellules solaires, composants quantiques, circuits intégrés, circuits logiques, etc. Ce succès est principalement attribué à ses bonnes caractéristiques ainsi qu'à la possibilité d'obtenir ce matériau sur de larges surfaces avec un faible coût de préparation.

Plusieurs raisons justifient l'utilisation des matériaux organiques, pour la fabrication des cellules photovoltaïques, la plus importante se trouve dans les avantages particuliers de ces matériaux. Ces matériaux étant synthétiques, ils offrent l'avantage d'une technologie de fabrication aisée et peu coûteuse d'un côté et la possibilité d'être déposé en couches minces sur de grandes surfaces d'un autre côté. Néanmoins les rendements de cellules photovoltaïques à base de matériaux organiques en phase solide restent assez faibles comparés à ceux des semi-conducteurs minéraux. Cela est dû au moins en partie au processus de photo-génération de

charges libres par absorption d'un photon qui reste mal compris dans les semi-conducteurs organiques.

La cellule amorphe est caractérisée par :

- Coût de production bien plus bas.
- Faible rendement.
- Fonctionne sous très faible éclairement.

Tableau 1 : Rendement et domaines d'application de diverses cellules photovoltaïques [17].

Type de silicium	Rendement théorique	Rendement en laboratoire	Rendement commercial	Domain d'application
Silicium monocristallin.	27.0%	24.7%	12.0-18.0%	Modules de grandes dimensions pour toits et façades : pour appareils de faibles puissances : pour l'espace satellites.
Silicium polycristalin.	27.0%	19.8%	11.0-15.0%	Modules de grandes dimensions pour toits et façades : pour tout générateur de toutes tailles.
Silicium amorphe.	25.0%	13.0%	5.0-8.0%	Modules de grandes dimensions pour : intégration dans les bâtiments pour : pour appareils de faibles puissance.

4. Les différents paramètres d'une cellule photovoltaïque [17]

Les paramètres d'une cellule photovoltaïque sont :

4.1. La caractéristique courant-tension

La courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque, depuis le court-circuit (tension nulle, correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule).

La courbe $I(V)$ d'une cellule photovoltaïque est non linéaire et dépend particulièrement des conditions d'ensoleillement et de température.

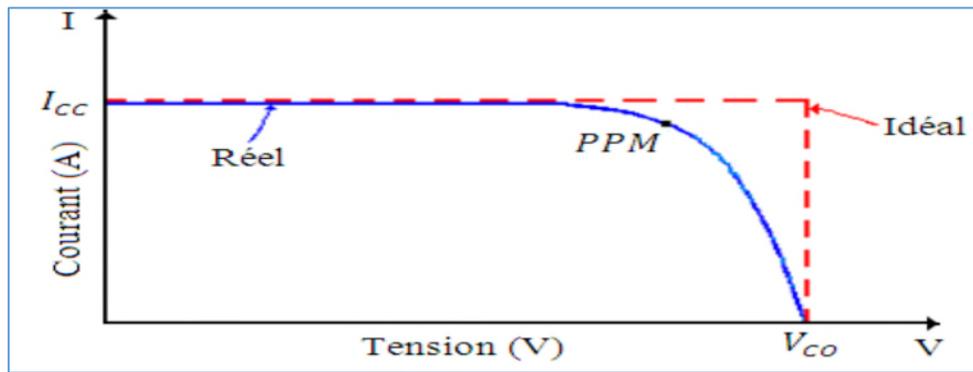


Figure 3: Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque [20]

4.1.1. Tension de circuit ouvert V_{co}

Elle représente la tension aux bornes de la cellule en l'absence de tout courant, sous éclairage sans circuit de charge.

4.1.2. Courant de court-circuit I_{cc}

C'est le courant débité par une cellule en court-circuit sous éclairage.

4.1.3. Le point de fonctionnement optimal (PPM)

Il existe une valeur de photo courant correspondant à une tension aux bornes de la cellule pour laquelle cette puissance électrique générée est optimale. Ce point s'appelle le ppm (V_m , I_m) en anglais (Maximum Power Point). C'est le point de la puissance maximale de la cellule.

Avec :

V_m : Tension correspondant à la puissance maximale,

I_m : Courant correspondant à la puissance maximale,

4.1.4. Facteur de forme

Il détermine la qualité électrique de la cellule, c'est le rapport :

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (II.3)$$

4.1.5. Le rendement

L'énergie est conservée, il n'y a pas de production d'énergie, mais il y a des transformateurs d'énergie qui convertissent des formes d'énergie inutiles vers des formes utiles. Ces transformateurs peuvent être caractérisés par leur rendement qui est la fraction de l'énergie effectivement transformée en la forme utile recherchée.

Le rendement de conversion énergétique d'une cellule photovoltaïque est le rapport entre la puissance électrique fournie par la cellule et la puissance incidente.

$$\eta = \frac{V_m * I_m}{P_{inc}} \quad (II.4)$$

Avec : P_{inc} est la puissance lumineuse totale incidente sur la cellule.

4.2. Caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque

La puissance générée par une cellule photovoltaïque est donnée par la relation [17]:

$$P = V * I \quad (II.5)$$

La puissance maximale est obtenue lorsque :

$$\frac{dp}{dv} = 0 \quad (II.6)$$

La caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque peut être obtenue à partir de la caractéristique I-V et la relation de la puissance $P = VI$.

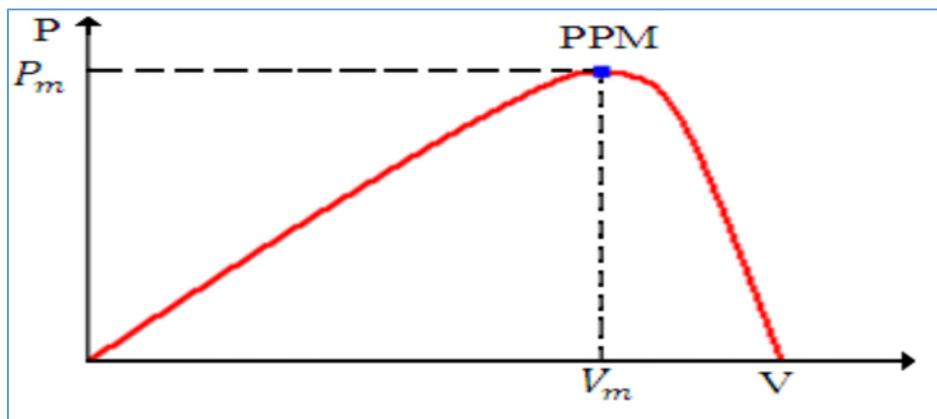


Figure 4 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque [17].

La puissance crête d'une cellule photovoltaïque s'exprime en W_c (Watt crête). C'est la puissance qu'il peut fournir s'il est branché sur sa charge optimale et soumis à un éclairement de $1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$, alors que la température est de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

5. Influence de l'ensoleillement et la température sur le rendement [21]

5.1. Influence du flux

La caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement. A une température constante, l'augmentation du flux lumineux

(ensoleillement) se traduit par un déplacement de la caractéristique I-V suivant le sens positif de l'axe des courants.

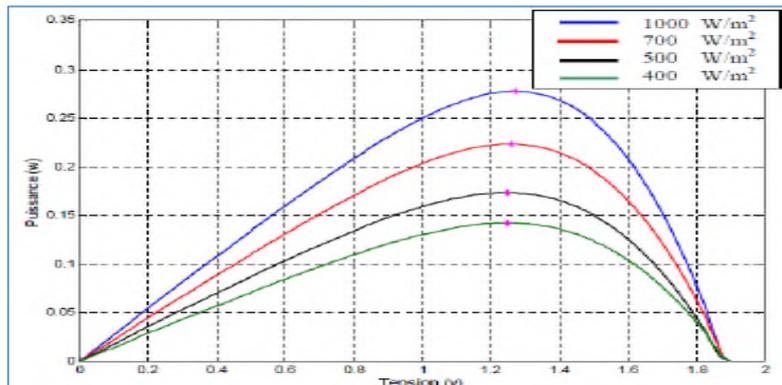


Figure 5 : L'influence du flux sur la caractéristique P-V de la cellule photovoltaïque à une température constante 25°C [21].

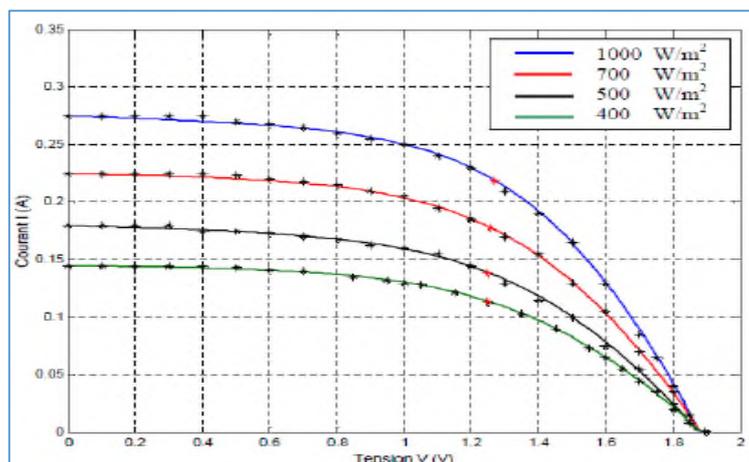


Figure 6 : L'influence du flux sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque à une température constante 25°C [21].

L'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que celui de la tension à circuit ouvert étant donné que le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement, alors que celle de la tension à circuit ouvert est logarithmique.

5.2. Influence de la température

Si la température de la cellule augmente, le photo-courant augmente également due principalement à la diminution de la largeur de la bande interdite du matériau.

Cette augmentation est de l'ordre de 0,1% par degré (Kelvin). Le courant direct de la jonction augmente aussi, mais beaucoup plus vite et entraînant une diminution de la tension de circuit ouvert de l'ordre de 2 mV par cellule.

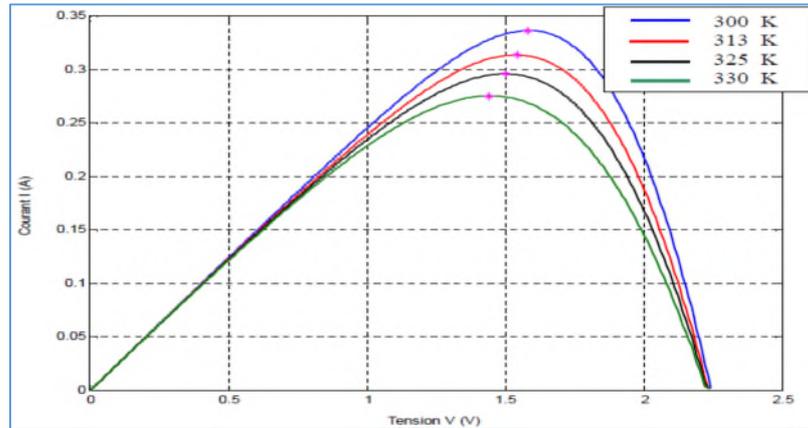


Figure 7 : L'influence de la température sur la caractéristique P-V de la cellule photovoltaïque sous un éclairement fixe $E = 1000 \text{ W/m}^2$ [21].

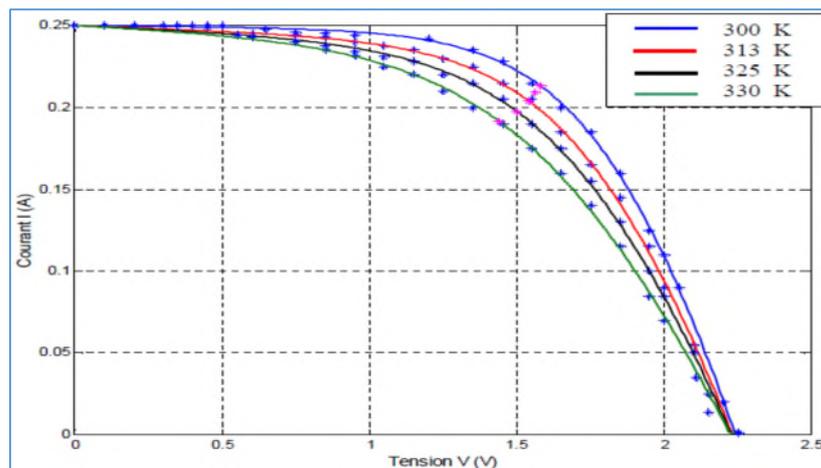


Figure 8 : L'influence de la température sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque sous un éclairement fixe $E = 1000 \text{ W/m}^2$ [21].

6. Le système photovoltaïque

6.1. Les différents types de système photovoltaïque [17]

Un système photovoltaïque est constitué du générateur, des charges à alimenter. Ces charges sont de type courant continu ou courant alternatif. L'utilisation des convertisseurs statiques dans les installations de conversion d'énergie électrique a considérablement contribué à améliorer les performances et l'efficacité de ces systèmes. Il y a trois types de systèmes photovoltaïques :

- Autonomes,
- Hybrides,
- Reliés au réseau.

6.1.1. Systèmes hybrides

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. Un système hybride photovoltaïque optimise l'utilisation combinée de plusieurs sources d'énergies renouvelables et, ou fossiles et des moyens de stockage associés.



Figure 9 : Système hybride éolienne/solaire [22].

6.1.2. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur, convertisseur courant continu- courant alternatif (CC-CA).

L'énergie produite est consommée sur place, l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires.

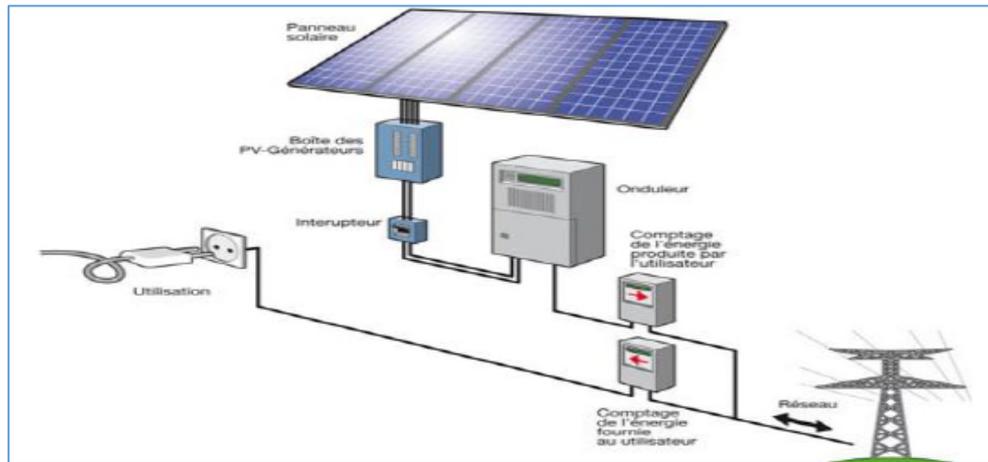


Figure 10 : Schéma d'un système PV relié au réseau [23].

6.1.3. Systèmes autonomes

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie.

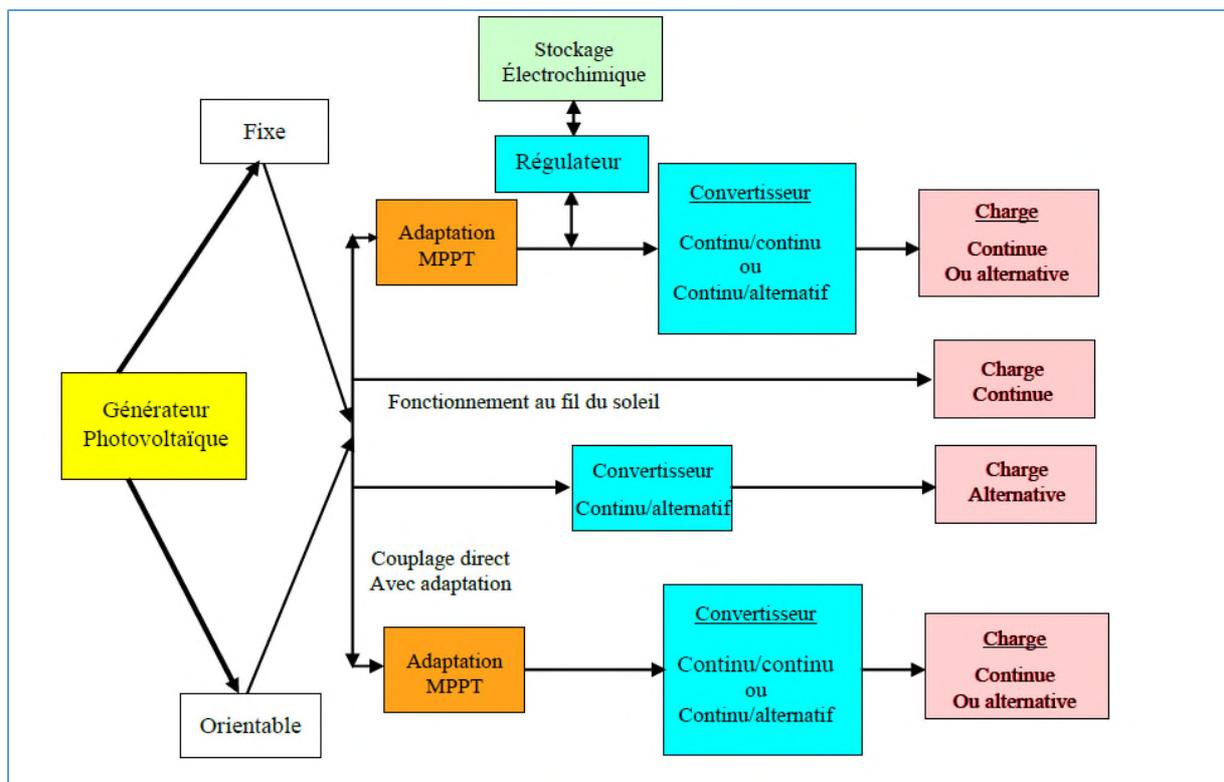


Figure 11 : Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes [24].

6.2. Les Composants d'un système photovoltaïque

6.2.1. 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 [17].

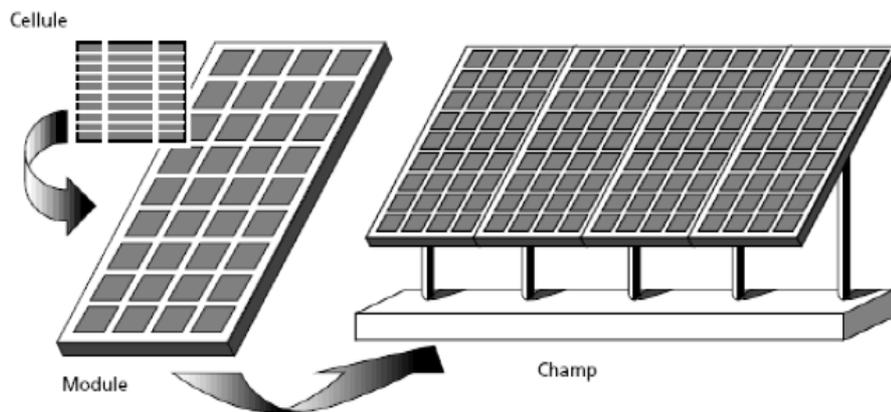


Figure 12 : Composantes d'un champ de modules photovoltaïques [25].

6.2.2. Système de stockage [26]

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

6.2.3. Types d'accumulateurs

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

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

6.2.3.2. Composition d'une batterie solaire plomb- Acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

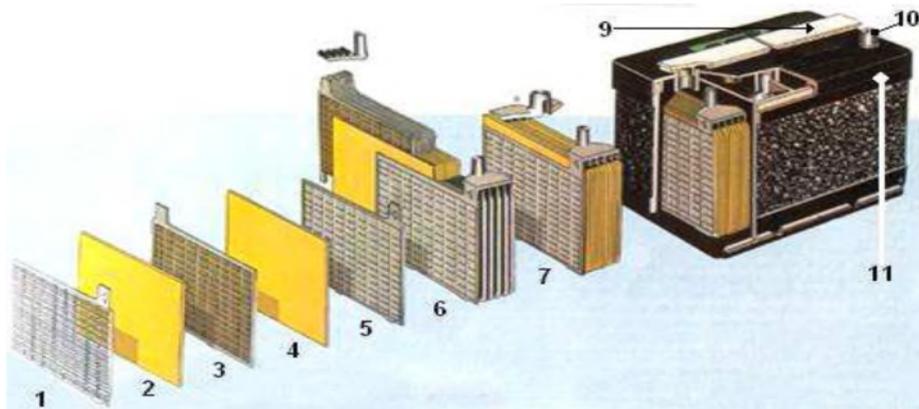


Figure 13 : Construction d'une batterie monobloc [26].

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1 : Grille. | 7 : Élément complet |
| 2 : Séparateur. | 8 : Pont |
| 3 : Plaque positive. | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4 : Plaque négative. | 10 : Borne. |
| 5 : Barrette. | 11 : Bac. |
| 6 : Faisceau négatif. | |

7. Système de régulation [27]

7.1. Régulateurs de charge

Le régulateur est un élément important d'un système photovoltaïque. Il contrôle le flux d'énergie et protège la batterie contre les surcharges et décharges profondes. On distingue trois types : les régulateurs shunt, les régulateurs série et les régulateurs à recherche de point de puissance maximum « Maximum Power Point Tracking » (MPPT).

7.1.1. Régulateur shunt :

Ce type de régulateur est le plus répandu. Durant la charge, le courant du panneau solaire est envoyé à la batterie. Lorsque la batterie atteint sa pleine charge, le courant passe par l'interrupteur de puissance (transistor bipolaire ou MOSFET). Une diode est placée entre cet interrupteur et la batterie pour ne pas court-circuiter la batterie. Cette diode joue également le rôle de blocage du courant inverse pouvant circuler de la batterie.

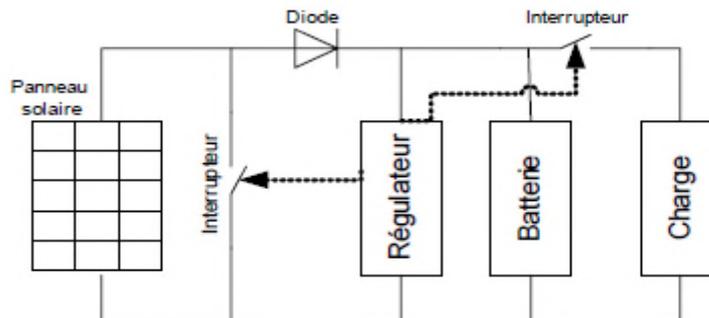


Figure 14 : Régulateur shunt [27].

7.1.2. Régulateur série

Ce régulateur est de plus en plus populaire. Dans son circuit, l'interrupteur de charge est placé en série avec la batterie et s'ouvre lorsque la fin de charge est atteinte. L'avantage de cette configuration est que la tension aux bornes de l'interrupteur est plus faible (réduite de la tension de la batterie). Le désavantage par rapport au régulateur shunt est que la chute de tension due à la résistance de l'interrupteur s'ajoute à la chute de tension supplémentaire dans le câblage entre les panneaux et la batterie.

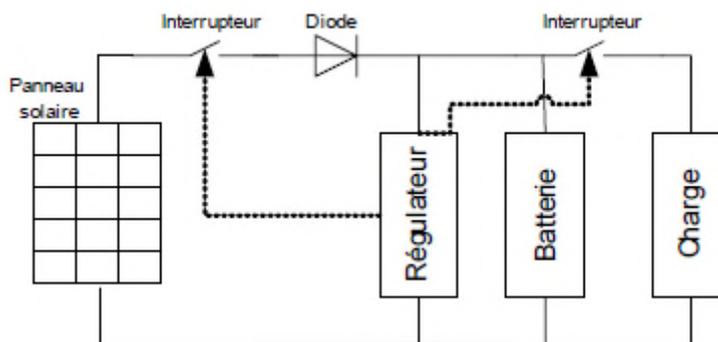


Figure 15 : Régulateur série [27].

7.1.3. Régulateur MPPT

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant du panneau pour extraire l'énergie au point de puissance maximale. Ainsi, on peut obtenir un fonctionnement à puissance.

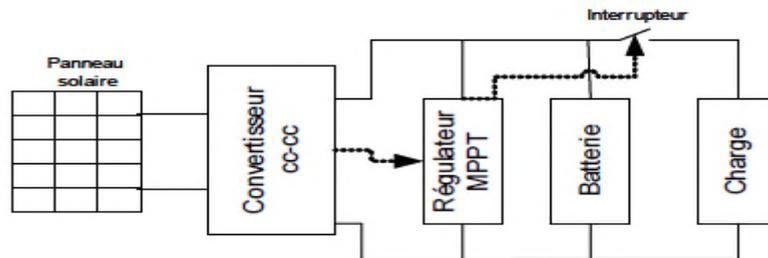


Figure 16 : Régulateur MPPT [27].

8. Les convertisseurs d'énergie [27]

Les convertisseurs sont des dispositifs électroniques de puissance qui transforment la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des charges (appareils) fonctionnant, soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative.

8.1. Convertisseurs DC/DC

On distingue les convertisseurs type hacheur élévateur « Boost Converter » et ceux de type hacheur abaisseur « Buck Converter ».

8.1.1. Hacheur élévateur

Ce type de convertisseur produit une tension de sortie plus élevée que la tension d'entrée. Lorsque l'interrupteur est fermé, l'inductance se charge ; lorsque l'interrupteur s'ouvre, l'énergie de la batterie et celle emmagasinée dans l'inductance, sont transmises à la charge. Le condensateur sert à lisser la tension de sortie.

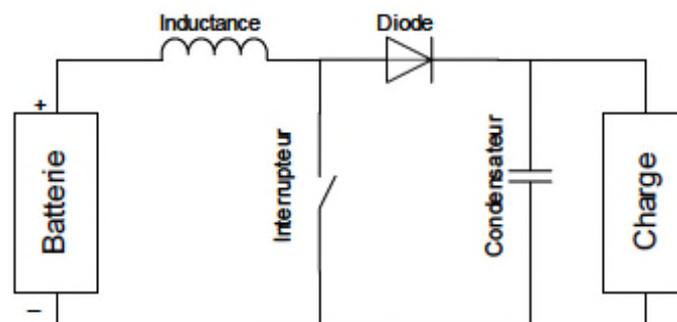


Figure 17 : Hacheur élévateur [27].

8.1.2. Hacheur abaisseur

Ce type de convertisseur sert à produire une tension de sortie plus basse que celle des batteries. Lorsque l'interrupteur est fermé, le courant circule de la batterie vers le récepteur à travers l'inductance, lorsque l'interrupteur s'ouvre, la tension aux bornes de l'inductance s'inverse, ce qui fait conduire la diode qui protège l'interrupteur.

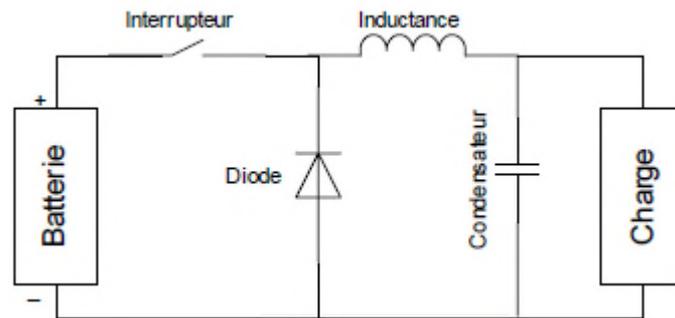


Figure 18 : Hacheur abaisseur [27].

8.2. Les convertisseurs (DC/AC)

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Ils sont utilisés en électrotechnique pour Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables. [25].

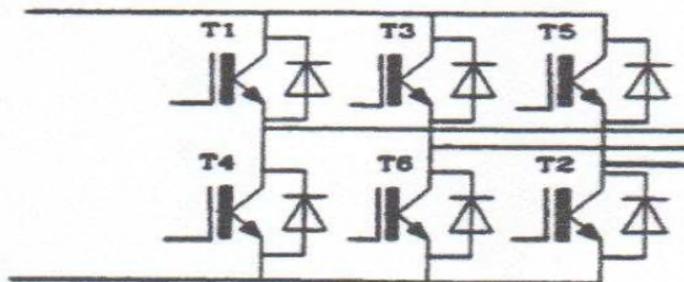


Figure 19: Schéma de L'onduleur [26].

9. Avantages et inconvénients du système photovoltaïque [24]

Les avantages de l'énergie photovoltaïque les plus importants sont :

9.1. Les avantages

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

9.2. Les inconvénients

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

10. Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à donner un rappel sur l'énergie solaire photovoltaïque, les différents types de cellules existantes et leurs caractéristiques, les différentes structures des systèmes photovoltaïques ainsi que les composants nécessaires pour assurer un bon fonctionnement.

Chapitre III : Dimensionnement du système photovoltaïque autonome

1. Introduction

On a consacré ce chapitre à la présentation de la méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome les étapes et les paramètres à respecter pour un meilleur dimensionnement afin d'avoir des bons résultats comme l'estimation de l'ensoleillement détermination de la charge les paramètres du champ PV (nombre de panneaux, batterie, onduleur, régulateur, section des câbles, tension de fonctionnement) et l'orientation des panneaux et l'inclinaison.

2. Procédure de dimensionnement du système photovoltaïque autonome

Pour une installation autonome, il faut trouver le meilleur compromis entre les besoins en électricité et le coût d'investissement [28].

Le dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie, à partir des données d'ensoleillement du site d'une part et des besoins électriques de l'utilisateur d'autre part. Les étapes suivantes permettent de dimensionner un système photovoltaïque [24].

2.1. Le choix de la méthode de dimensionnement

Compte tenu de l'irrégularité de l'ensoleillement entre l'été et l'hiver, le choix de la période d'ensoleillement utilisée lors du calcul de la puissance dépend du mode d'utilisation de l'énergie photovoltaïque. Dans le cadre du dimensionnement d'une installation autonome et pour une utilisation domestique, il est recommandé de choisir les conditions d'ensoleillement les plus défavorables pour être certain que la puissance de l'installation soit suffisante en toute saison : sous nos latitudes, l'énergie solaire journalière du mois de décembre est souvent choisie pour le dimensionnement [28].

2.2. Estimation de l'ensoleillement [24]

L'ensoleillement est toujours choisi durant la période de l'année la moins ensoleillée. Pour calculer l'énergie solaire journalière, on assimile l'énergie produite pendant une journée d'ensoleillement au produit du rayonnement instantané 1000W/m^2 par un certain nombre heures appelé nombre heures d'équivalentes. L'énergie solaire journalière est exprimée en $(\text{kWh/m}^2.\text{j})$ ou en heure de plein ensoleillement. $(\text{heures/j } 1000\text{W/m}^2)$.

$$E_{sol} = N_{eq} \times 1000 \quad (\text{III.1})$$

N_{eq} : nombre d'heure équivalente d'ensoleillement dans les conditions STC [h/j].

2.3. Estimation des besoins en énergie de l'application

Evaluer son besoin en énergie permet de disposer d'un système bien adapté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre [29] La consommation électrique journalière ou besoin journalier (B_j) en (Wh/j) est donné par le produit de la puissance nominale de la charge (W) et du nombre d'heure d'utilisation journalière (h/j).

$$B_j = \sum_{i=1}^n (P_i \times t_i) \quad (\text{III.2})$$

Avec :

B_j : énergie consommée par jour (Wh/j).

P_i : la puissance consommée (W).

t_i : temps d'utilisation par jour (h) [24].

2.4. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

2.4.1. Calcul de la puissance du champ photovoltaïque

Le calcul de la puissance des modules photovoltaïques nécessite la maîtrise des principaux paramètres suivants : nombre d'heures équivalentes, période d'ensoleillement, pertes électriques, technologie des modules [28].

La puissance du champ photovoltaïque est donnée par l'équation suivante :

$$P_{pv,tot} = I_m \times V_m = \frac{B_j[Ah/j]}{N_e[h/j] \times C_p} \times V_m \quad (\text{III.4})$$

$$\text{Ou } P_{pv,tot} = \frac{B_j[Wh/j]}{N_e[h/j] \times C_p} \quad (\text{III.5})$$

Avec

$P_{pv,tot}$: puissance crêtes du champ PV.

V_m : tension à la puissance maximale dans les conditions STC du module en (V).

I_m : courant à la puissance maximale dans les conditions STC du module en (A).

B_j : besoin électrique journalier de l'application (Ah/j).

N_{eq} : nombre d'heure équivalente d'ensoleillement dans les conditions STC (h/j).

C_p : coefficient de pertes qui est dû aux pertes par salissure du panneau photovoltaïque (neige, sable), pertes aux niveaux du régulateur et du câblage ainsi que l'efficacité énergétique des batteries.

2.4.2. Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques

Le nombre de panneaux photovoltaïques est calculé par le rapport de la puissance PV totale et de la puissance PV unitaire ($P_{pv,u}$), et on prend le rapport entier par excès [24] :

$$N_{p,t} = ENT \left[\frac{P_{pv,tot}}{P_{pv,u}} \right] \quad (III.6)$$

N_{pt} : nombres de panneaux totaux.

2.4.2.1. Assemblage de panneaux [29]

- **Montage en Série**

Les tensions s'ajoutent et le courant reste constant, le nombre de modules connectés en série est :

$$N_{pv,s} = \left[\frac{V_{pv}}{V_m} \right] \quad (III.7)$$

Avec :

$N_{pv,s}$: nombre de panneaux en séries.

V_{pv} : tension de fonctionnement du système PV.

V_m : tension nominal d'un panneau.

- **Montage parallèle**

Les courant s'ajoutent et les tensions reste constantes, le nombre de modules connecte en parallèle est :

$$N_{pv,p} = \left[\frac{N_{pv,t}}{N_{pv,s}} \right] \quad (III.8)$$

2.4.3. La tension de fonctionnement de l'installation

L'énergie photovoltaïque étant en courant continu, l'idéal est que les appareils à alimenter fonctionnent aussi en continu, plus le champ photovoltaïque est puissant, plus il faudra choisir une tension élevée pour éviter les ampérages trop forts, il n'est donc pas toujours facile de la choisir à priori [29].

Le tableau suivant indique la tension adaptée au générateur PV.

Tableau 1 : Tensions recommandées pour les systèmes photovoltaïques en fonction de leurs puissances. [24].

Puissance du champ photovoltaïque	0-500W _c	500-2KW _c	2-10KW _c	>10KW _c
Tension Recommandée	12VDC	24VDC	48VDC	>48VDC

2.4.4. Calcul de la capacité des batteries de stockage

La première fonction des batteries est de se substituer aux panneaux photovoltaïques pour fournir l'énergie nécessaire aux récepteurs en l'absence d'ensoleillement (nuit, jour pluvieux ou très faiblement ensoleillé) [30]. Rappelons que la batterie est souvent le composant le moins durable d'un système photovoltaïque. Il faudra donc la remplacer avant les panneaux [29].

Le dimensionnement des batteries requiert une attention particulière afin de diminuer le coût global du système. La capacité de stockage requise se calcul suivant cette équation [24] :

$$C_{bat,tot} [Ah] = \frac{B_j [wh/j] \times N_{ja} [j]}{P_{dd} \times \eta_{bat} \times V_{bat} [V]} \quad (III.9)$$

Avec :

N_{ja} : le nombre de jours d'autonomie.

P_{dd} : la profondeur de décharge de la batterie.

η_{bat} : le rendement énergétique des batteries.

V_{bat} : La tension de fonctionnement de la batterie.

2.4.4.1. Calcul du nombre de batteries [24]

Le nombre de batteries est calculé par le rapport de la capacité totale des batteries et de la capacité unitaire de batterie ($C_{bat,u}$), et on prend le rapport entier par excès:

$$N_{bat} = ENT \left[\frac{C_{bat,tot}}{C_{bat,u}} \right] \quad (III.10)$$

2.4.4.1.1. Calcul du nombre de batteries en séries et le nombre de branches en parallèles

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 [31].

$$N_{bat,s} = \frac{V_n}{V_u} \quad (III.11)$$

Avec

$N_{bat,s}$: nombre d'éléments en série.

V_n : tension aux bornes du générateur photovoltaïque.

V_u : tension par élément de batteries.

$$N_{bat,p} = \frac{C_{bat,tot}}{C_{bat,u}} \quad (III.12)$$

Avec :

$N_{bat,p}$: nombre de branche en parallèle.

$C_{bat,tot}$: Capacité calculée du système de stockage.

$C_{bat,u}$: Capacité par élément de batteries.

2.5. Dimensionnement du régulateur [32].

Le régulateur sera dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie :

- Tension nominale : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.
- Courant d'entrée (I_e) : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal
- Courant de sortie (I_s) : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être Supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule :

$$I_s = 1.5 \times \frac{P}{V_{ch}} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

P : Puissance totale des récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au maximum de leur puissance de fonctionnement (W), donc la puissance d'un appareil fois le nombre d'appareils.

2.6. Dimensionnement du hacheur dévolteur

Lorsque la tension du champ PV est très grande on est obligé d'insérer un hacheur abaisseur afin d'adapter notre tension à celle des batteries et de l'onduleur selon la disponibilité du matériel et pour cela il faut prendre en compte :

- la tension d'entrée du hacheur il faut qu'elle soit égale à celle du champ PV.
- la tension de sortie du hacheur il faut qu'elle soit celles de batterie et d'entrée de l'onduleur.

2.7. Dimensionnement de l'onduleur [31]

Lorsque l'application contient des appareils fonctionnant en alternatif (AC), il faut convertir l'électricité continue que produisent les capteurs photovoltaïques en électricité alternative utilisable par ces appareils.

Le dimensionnement d'un onduleur se base sur la somme des puissances maximales de chaque équipement à connecter au courant alternatif, et se fait en fonction de plusieurs critères :

- **Tension d'entrée** : elle est égale à celle de la batterie ou du régulateur.
- **Tension de sortie** : en Algérie nous utilisons du 220 VAC, 50Hz
- **Puissance nominale** : Puissance nominale de l'onduleur (VA), définie d'après les besoins exprimés. Elle tient compte du nombre d'équipements, et de leurs puissances.

2.8. Dimensionnement des câbles [24]

2.8.1. Calcul des sections des câbles partis AC

La chute de tension dans un circuit électrique en alternatif se calcul à l'aide de la formule suivante :

$$\Delta V = B \times \left(\rho \times \frac{l}{s} \times \cos \delta + \chi \times l \times \sin \delta \right) \times Ib \quad (\text{III.14})$$

Ou :

ΔV : chute de tension (V).

B : coefficient qui vaut 1 en triphasé et 2 en monophasé.

ρ_1 : résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal, soit 1.25 fois la résistivité à 20°C ($\rho_1=0.0225\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre et $\rho_1=0.036\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium).

l : longueur de la canalisation (m).

S : section des conducteurs.

$\cos(\delta)$: facteur de puissance, δ est le déphasage entre le courant et la tension alternative.

$\sin(\delta)$: cette donnée est inscrite sur la fiche technique des onduleurs et vaut 1 généralement.

I_b : courant minimal d'emploi.

χ : réactance linéique des conducteur (Ω/m).

Dans le cas général des installations photovoltaïques (de petit distance), la réactance des conducteurs est négligeable. Par conséquent, le deuxième terme de la formule de la chute de tension des câbles coté AC est nul.

Le calcul de la chute de tension cote AC d'une installation photovoltaïque se fait par la formule suivante :

$$\Delta V = B \times (\rho_1 \times \frac{l}{s} \times \cos \delta) \times I_b \quad (\text{III.15})$$

La section des câbles AC entre l'ondeur et le point de raccordement sera calculé en fonction de la limitation de la chute de tension a une valeur inférieure a 1 % (en basse tension).

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_n} \quad (\text{III.16})$$

ΔV : chute de tension(V)

V_n : tension nominal de calcul (V)

En combinant ces deux dernières relations, nous trouvons l'expression qui permet de calculer la section d'un câble en AC :

$$S = B \times \rho_1 \times Ib \times \frac{l}{\varepsilon \times V_n} \times \cos \delta \quad (\text{III.17})$$

2.8.2. Calcul de la section des câbles partie DC

Pour le calcul de la section des câbles en partie continu DC on a :

$$\Delta V = R \times I \quad (\text{III.18})$$

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \quad (\text{III.19})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V} \quad (\text{III.20})$$

En final on obtient la relation suivante :

$$S = \rho \times \frac{l}{\varepsilon \times V} \times I \quad (\text{III.21})$$

2.9. Orientation et inclinaison des panneaux [29]

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

L'orientation idéale d'un panneau photovoltaïque obéit à une règle qui consiste à l'orienter vers l'équateur.

Ce qui donne l'orientation vers :

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

En ce qui concerne l'inclinaison, on tiendra compte de la période de l'année la moins ensoleillée pour optimiser la production de l'énergie. Les panneaux doivent donc récupérer l'énergie d'un soleil dont la hauteur est faible.

Cette inclinaison va être fixée par la latitude (distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur) et la périodicité de l'inclinaison.

Tableau 2 : Inclinaison en fonction de la latitude [28].

Latitude $\phi(^{\circ})$	Inclinaison $\alpha(^{\circ})$
$\phi < 10^{\circ}$	$\alpha = 10^{\circ}$
$10^{\circ} < \phi < 30^{\circ}$	$\alpha = \phi$
$30^{\circ} < \phi < 40^{\circ}$	$\alpha = \phi + 10^{\circ}$
$\phi > 40^{\circ}$	$\alpha = \phi + 15^{\circ}$

3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la méthode de calcul des différents paramètres d'une installation PV autonome avec stockage dont : le nombre de panneaux et leur montage, le choix de la tension, la capacité de batterie leur nombre et montage, les convertisseurs et régulateurs ainsi l'orientation et inclinaison des panneaux.

Chapitre IV : Application du dimensionnement au projet

1. Introduction

Dans le cadre du développement des énergies renouvelables nationale, la société d'infrastructures Aqua-hôtelières d'Algérie filiale d'ASICOM, a près l'initiative d'étudier la possibilité d'alimenter en solaire photovoltaïque les équipements de son village touristique.

Le présent chapitre est ainsi une application des calculs de dimensionnement du chapitre précédent pour déterminer la taille des équipements de l'installation photovoltaïque pouvant subvenir aux besoins électriques du site sur-mentionné (RUSICA PARK de Skikda).

2. Description du projet

2.1. Présentation du site

Le site que nous étudions est un village touristique et de loisirs, situé à SKIKDA, dans la ZET de Ben Mhidi, commune de Filfila. Il est réalisé par la société SIAHA Spa (Société d'Infrastructures Aqua - Hôtelières d'Algérie) une filiale d'ASICOM.

Le programme consiste en la réalisation d'un complexe touristique de 1700 lits composé de :

SP1 : Un hôtel 03 étoiles de 115 chambres et 10 suites comprenant un centre Balnéothérapie (150 curistes/jour). Un centre de conférence (320 places), un parking en sous-sol de 128 places.

SP2 : 165 appartements de type A (1 à 2 chambres) d'une capacité de 880 lits.

SP3 : Un parking a étages de 750 places.

SP4a : un village est composé de 21 boutiques, 04 Fast-foods, une Crêperie, deux salons de thé, une crèmerie, un bowling, une salle de cinéma un cyber espace, une salle de jeux, une garderie, Un point de banque ,04 restaurants gastronomiques, une salle Polyvalente (500 places), une supérette, un poste de sécurité (police et pompier) et une infirmerie /pharmacie. Un théâtre en plein air de 1500 places.

SP4b : Un aqua parc avec une garderie, crèmerie, café et un restaurant, pouvant accueillir 2500 personnes /jour. Un parc d'attraction (2000 personnes / jour).

SP5, SP6, SP7 : 26 Pavillons d'une capacité de 228 lits, Un bloc administratif et moyens généraux, l'acropole : lieu de prière et cafétéria avec une tour d'observation.

SP8 : 87 appartements de type B (1 à 2 chambres) d'une capacité de 326 lits.

SP9 : logistique (ensemble des moyens et méthodes de transport).

Chapitre IV : Application du dimensionnement au projet.

- Terrain d'implantation : 130 000 m² au bord de mer, propriété de la société.
- Localisation : Skikda – les Platanes.
- Coût du projet : estimé à 8 milliards DZD.
- Capital : 2.3 milliards DZD.
- Participation ASICOM : 53 %.
- Partenaires : personne physique et deux entités publiques Sofinance et F.N.I.
- Lancement des travaux : 2^{ème} trimestre 2014.
- Création d'emplois : 450.

2.2. Situation géographique

Le site étudié caractérisé par sa situation géographique suivante :

- Altitude : 53m.
- Latitude : 36°53'55'' Nord.
- Longitude : 7°03'09'' Est.

Selon la latitude, l'irradiation journalière sera différente d'un point à l'autre étant donné que l'énergie disponible au niveau du sol dépendra de l'angle d'incidence des rayons solaires les sites d'altitude sont généralement plus favorisés par l'ensoleillement que ceux de plaine.

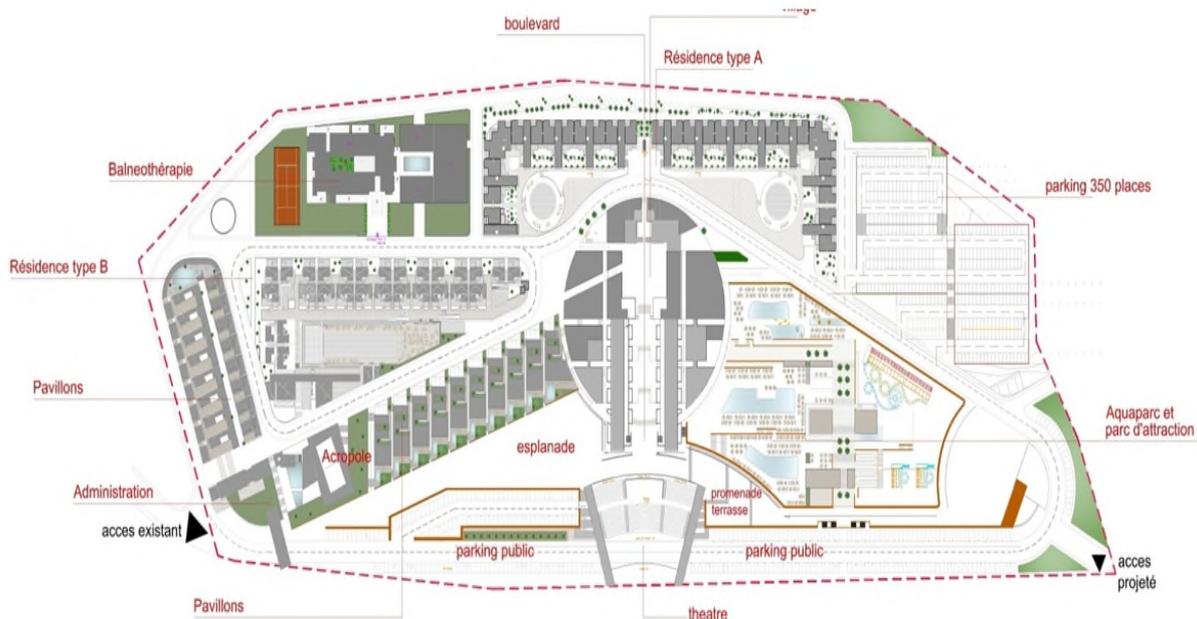


Figure1 : plan du site étudié.



Figure 2 : carte satellite du site étudié.

3. Estimation de l'insolation du site

En ce qui concerne les données d'insolation de notre site, nous allons recourir aux données récoltées avec le logiciel PVGIS.

Tableau 1 : Irradiation solaire mensuelle à Skikda (filfila) avec logiciel PVGIS.

Moi	Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	oct.	nov.	déc.	Moyenne annuel
H	2420	3220	4900	5720	6840	7830	7960	7050	5370	4030	2670	2160	5020

H : irradiation sur un plan horizontal ($\text{Wh/m}^2/\text{j}$).

4. Dimensionnement du site

4.1. Centrale autonome basée sur terrain défriché

Si la production se fait sur une centrale autonome basée en terrain défriché et panneaux fixes orientés en plein sud.

4.1.1. Evaluation du besoin énergétique du site

Le tableau suivant dresse les puissances de chaque sous projet du site en une durée d'exploitation de (10 h/j) ainsi leurs besoin énergétique journalière.

Tableau 2 : Besoin énergétique du site.

Sous-projet	Besoin journalier (KWh/j)
SP1	5100
SP2	3800
SP3	1500
SP4a	4900
SP5, SP6, SP7	3900
SP8	5100
SP9a	2900
Total	27200

4.1.2. Calcul de la puissance crête du projet

Dans notre cas on choisit la méthode du moi le moins défavorable pour le dimensionnement donc on prend $N_e = 2.16$ (h/j) avec un facteur de pertes $C_p = 0.75$.

On exploitant la relation (III.5) du chapitre précédent on aura les résultats suivant :

$$P_{pv,tot} = 16.7901 \text{ MWc.}$$

4.1.3. Détermination du nombre de panneaux

Le nombre de panneaux total est déterminé à partir de la loi (III.6), en prend la puissance d'un panneau égale à 327 W qui est choisie pour l'étude.

Donc le nombre total de panneaux à installer est de 51346 panneaux, en arrondissant à une valeur entière supérieure, on trouve 51360 panneaux.

- 30 panneaux en série.
- 1712 branches en parallèle.

Puisque la puissance crête est importante, soit de l'ordre de 16.7901 MWc, on doit choisir une tension de fonctionnement là mieux adaptée pour la disposition des panneaux, donc pour cette puissance on a choisi une tension de 720 (V) en continu.

Remarque : voir la tension de fonctionnement 720 (V), on doit recourir à l'utilisation des hacheurs abaisseur pour la diminuer à une valeur de 24 (V) afin qu'on puisse brancher les batteries et diminuer leurs nombres.

Le courant total fourni par les panneaux se calcule comme suit :

$$I_{tot} = N_{p,p} \times I_{mpp} \quad (IV.1)$$

Donc dans notre cas ;

$$I_{tot} = 1712 \times 6.04 = 10340.48 \text{ (A)}.$$

Ce courant est très élevé et ne peut être supporté par un seul onduleur. Pour adapter ce courant aux matériels existant nous allons diviser notre centrale en sous-générateurs qui délivreront un courant moins important.

4.1.4. Calcul de la surface nécessaire pour l'installation des panneaux

$$S_t = N_{p,tot} \times S_{p,u} \quad (IV.2)$$

$$S_t = 8.326 \text{ hectare}$$

4.1.5. Calcul de la capacité des batteries de stockage

Pour les systèmes autonomes il faut installer des batteries pour assurer l'indépendance du site les nuits et les moments non ensoleillé, on prend 3 jours d'autonomie.

➤ D'après la loi (III.9) on aura :

$$C_{batt,tot} = 4.722222 \text{ (MAh)}.$$

➤ De la loi (III.10) on aura :

Le nombre de batterie total $N_{bat,tot} = 18889$ batteries.

➤ De la loi (III.11) on aura :

Nombre de batteries série est : 1 batterie.

➤ De la loi (III.12) on aura :

Nombre de batterie parallèle 18889 batterie.

Dans notre cas, on opte à diviser le champ photovoltaïque en sous générateurs de faibles puissances selon la disponibilité du matériel.

On aura donc 77 sous générateurs de : 660 panneaux, chacun en a 30 en série et 22 en parallèle. Avec les caractéristiques suivantes :

- Tension $V_{pv} = 720 \text{ V}$.
- Courant $I_{pv} = 132.88 \text{ A}$.
- $P_c = 215820 \text{ Wc}$.

Et le 78^{eme} sous générateur est de : 540 panneaux ,30 série et 18 parallèle. Avec les caractéristiques suivantes :

- Tension $V_{pv} = 720 \text{ V}$.
- Courant $I_{pv} = 108.72 \text{ A}$.
- $P_c = 176580 \text{ Wc}$.

4.1.6. Choix du hacheur dévolteur

Le choix du hacheur dévolteur repose surtout sur le fait que la tension des batteries est plus petite que celle du champ PV et de la tension d'entrée de l'onduleur et voir aussi la tension du champ photovoltaïque. Dans notre cas nous avons :

- la tension du champ PV est de 720 V.
- la tension des batteries est de 24 V.
- la tension d'entrée de l'onduleur est de 24 V.

Notre hacheur dévolteur à une plage de tension d'entrée entre 300v à 900v et une tension de sortie est de 24 V, (voir les annexes).

4.1.7. Choix du régulateur

Dans notre étude on a choisi un régulateur le mieux adapté à notre installation, c'est le régulateur MPPT pour des grandes puissances.

A partir des lois (III.12) (III.13) du chapitre précédent on aura :

-Le courant d'entrée maximale $I_e = 199.2(A)$.

-Le courant de sortie maximale $I_s = 199.2 (A)$.

Dans notre cas on choisit un régulateur MPPT qui support un courant de 200 (A), (voir les annexes).

4.1.8. Choix de l'onduleur

D'après notre étude, on a la tension de fonctionnement de la charge en alternatif est de 230 V/400 V. Le dimensionnement sera basé sur :

-le rendement de l'onduleur (0.9).

-la tension d'entrée est de 24 V celle de la batterie et de la sortie du hacheur dévolteur, et la tension de la sortie est de 230 V/400 V.

-la fréquence 50Hz.

-la puissance nominale de l'onduleur $P_{ond} = P_n / \eta_{ond}$ (IV.3)

Dans notre cas on branche quatre sous générateurs à un onduleur central.

$P_{ond} = 4(215820) / 0.99 = 872 \text{ kW}$, donc on utilise un onduleur de 1000 kW, (voir les annexes).

4.1.9. Choix des câbles

Dans le calcul des sections des câbles dans les systèmes PV il faut que les distances entre les différents éléments soient petites afin d'éviter les pertes par effet joule dans les conducteurs à cause des fort courant transporter.

4.1.9.1. Calcul de la section des câbles de la partie DC

➤ Entre les panneaux et le boîtier de raccordement

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul

$I=13.625A$ (courant d'une branche), $L= 20m$. $\rho=0.0225 \Omega.mm^2/m$ (pour le cuivre), $\varepsilon= 0.02$, $V=720V$ (Tension d'une branche), $\Delta V = 14.4V$.

On aura

$S = 0.425\text{mm}^2$, donc on utilise des câbles de $S = 1.5\text{mm}^2$.

➤ **Entre le boîtier de raccordement et le hacheur**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I = 299.75\text{A}$ (courant d'un SG), $L = 15\text{m}$, $\rho = 0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre), $\varepsilon = 0.02$,
 $V = 720\text{V}$ (tension d'une branche), $\Delta V = 14.4\text{V}$.

On aura

$S = 7.02\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S = 10\text{mm}^2$.

➤ **Entre hacheur et le régulateur**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul.

$I = 299.75\text{A}$ (courant d'un SG), $L = 3\text{m}$, $\rho = 0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre), $\varepsilon = 0.02$, $V = 24\text{V}$,
 $\Delta V = 0.48\text{V}$.

On aura

$S = 42.15\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S = 50\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et l'onduleur**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul.

$I = 299.75\text{A}$ (courant d'un SG), $L = 3\text{m}$, $\rho = 0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre), $\varepsilon = 0.02$, $V = 24\text{V}$,
 $\Delta V = 0.48\text{V}$.

On aura :

$S = 42.15\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S = 50\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et les batteries**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul.

$I=299.75A$ (courant d'un SG). $L=3m$. $\rho=0.0225\Omega.mm^2/m$ (pour le cuivre). $\epsilon=0.02$. $V=24V$.
 $\Delta V=0.48v$.

On aura :

$S = 42.15mm^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=50mm^2$.

4.1.9.2. Calcul de la section des câbles de la partie AC

➤ Entre l'onduleur et la charge

En exploitant la (III.17) du chapitre précédent et les données nécessaire suivantes :

$B = 1$, $\rho_1=0.0225\Omega mm^2/m$, $L = 30m$, $\text{Cos}(\delta) = 0.99$, $I_b = 1263.76$, $\epsilon=0.02$, $V_n = 230 V$ (tension simple).

On aura :

$S = 183mm^2$, on utilise des câbles normalisés de section $S = 200 mm^2$.

Remarque :

Dans le cas d'étude où la puissance est très grande, soit de l'ordre de méga watts, il est préférable de relier l'installation au réseau pour diminuer le cout de l'installation car son autonomie exige une grande capacité de stockage.

4.1.10. Orientation et inclinaison des panneaux

Dans notre cas d'étude, on doit orienter les panneaux en pleine sud parce que on est dans l'hémisphère nord, et l'inclinaison des panneaux sera déterminer par rapport à latitude selon notre latitude $30^\circ < \phi < 40^\circ$ donc on aura $\alpha = \phi + 10^\circ$.

$\alpha = 46^\circ$ en générale on fait un angle de 45° , (voir le tableau 2 chapitre III).

4.1.11. Tableaux récapitulatifs

Tableau 3 : Caractéristique du champ PV.

Besoin journalier.	27200 Kwh/j.				
Puissance crête.	16.7901 MWc.				
Nombre de panneaux.	51360.	Panneaux série.	30.		
		Panneaux parallèle.	1712.		
Tension de fonctionnement.	720(V).				
Surface du champ.	8.326 hectares.				
Capacité de la batterie totale.	4.722222 (MAh).	Nombre Batterie	18889.	Batterie série.	1.
				Batterie parallèle.	18889.

Tableau 4 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.

Section des câbles (mm²)	Longueur des câbles en (m)	Prix unitaire par mètre en (€)	Prix total en (€)
1.5	40	0.61	24.4
10	30	7.60	228
50	18	11.53	207.54
200	90	30.5	2745
Total			3204.94

Tableau 5 : devis estimatif des principaux composants de la centrale solaire.

Elément	Nombre	Prix unitaire(€)	Prix total(€)
Panneau	51360	399	20492640
Batterie	18889	535	10105615
Hacheur	78	3650	284700
Régulateur	78	960	74880
Onduleur	20	5520	110400
Câbles	/	/	3204.94
Autres accessoires	/	/	20000
		Total	31091439.94

Pour l'élaboration d'un schéma de notre l'installation on a divisé notre champ PV à 78 SG et chaque 4 SG sont reliaer à un onduleur central.

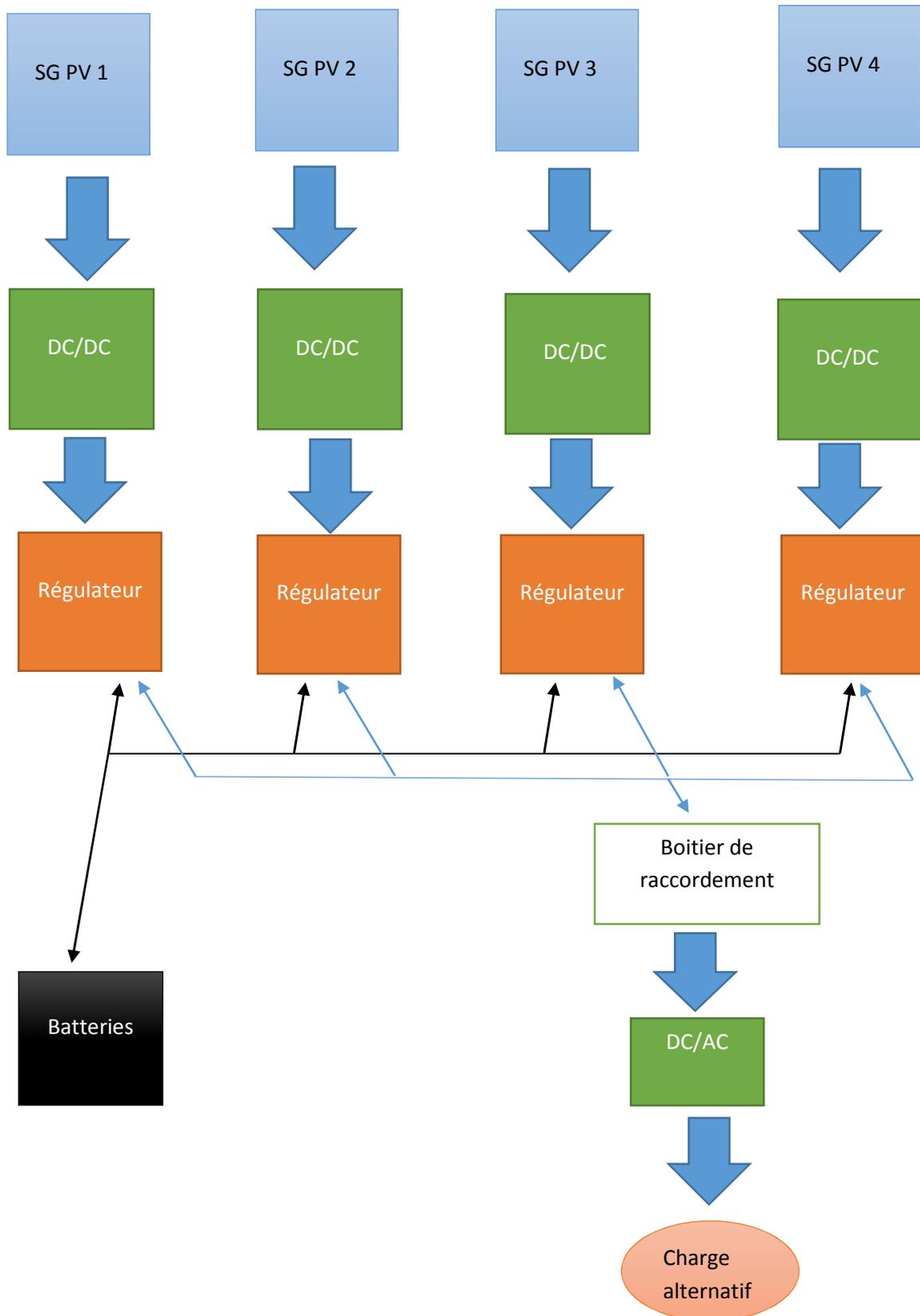


Figure 3 : Schéma de branchement des sous-générateurs aux onduleurs.

4.2. Exploitation des surfaces des Terrasses

Si on exploite les surfaces disponibles des sous projet SP1 et SP2, on prend 50% des surface disponibles, donc on aura la surface de SP1 et SP2 est de 2600m².

4.2.1 Dimensionnement du champ PV

4.2.1.1. Calcul du nombre de panneaux

Dans les surfaces des deux sous projet on peut installer 1604 panneaux. On réduit le nombre à 1600 panneaux pour simplifier le calcul.

A partir des surfaces des deux sous projets, on peut récupérer 523200(Wc).

On divise en 16 sous projets de 5 panneaux série 20 panneaux parallèles, on aura à la sortie de chaque sous projet les caractéristiques suivantes :

$$V = 120(V), I = 120.8(A), P_c = 32700 (W_c)$$

Le courant total des sous-générateurs est de 1932.8 (A).

4.2.1.2. Calcul de la capacité de batterie de stockage

Pour le calcul de la capacité de batterie de stockage, il faut d'abord déterminer le besoin que cette puissance crête développe par les panneaux installés sur ces surfaces disponibles.

$$P_c = 523200 (W_c).$$

$$B_j = P_c \times C_p \times N_e \quad (IV.4)$$

- Le besoin journalier total est de 847584 (Wh/j).

- Le besoin journalier que peut satisfaire par un sous générateur est de 52974 (Wh/j).

On prend le nombre de jour d'autonomie 3 jours. La batterie choisie est 250(Ah), 24 (V).

➤ De la loi (III.9), on aura :

$$C_{bat,tot} = 147160 (Ah).$$

➤ D'après la loi (III.10) du chapitre précédent on aura :

Nombre de batterie total $N_{bat,t} = 589$ batteries.

➤ De la loi (III.11) on aura :

Nombre de batteries séries, $N_{\text{bat,s}} = 1$ batterie.

➤ De la loi (III.12) on aura :

Nombre de batteries parallèles, $N_{\text{bat,p}} = 589$ batterie.

4.2.2. Choix du hacheur dévolteur

Le choix du hacheur dévolteur repose surtout sur le fait que la tension des batteries est plus petite que celle du champ PV et de la tension d'entrée de l'onduleur et voir aussi la tension du champ photovoltaïque. Dans notre cas nous avons :

- La tension du champ PV est de 120 (V).

-la tension des batteries est de 24 (V).

-la tension d'entrée de l'onduleur est de 24 (V).

Notre hacheur dévolteur à une plage de tension d'entrée entre 12 (V) à (125) V et une tension de sortie est de 14.50(V) à 154 (V), (voir les annexes).

4.2.3. Choix du régulateur

Dans notre étude on a choisi un régulateur le mieux adapter à notre installation, c'est le régulateur MPPT pour des grandes puissances avec une tension d'alimentation $V_{\text{pv}} = 120(\text{V})$.

A partir des lois (III.12) (III.13) du chapitre précédent on aura :

-Le courant d'entrée maximale $I_e = 181.2$ (A).

-Le courant de sortie maximale $I_s = 181.1$ (A).

Dans ce cas on choisit un régulateur MPPT qui support un courant de 200(A), (voir les annexes).

4.2.4. Choix de l'onduleur

D'après notre étude, on à la tension de fonctionnement de la charge en alternatif est de 230 V/400 V. Le dimensionnement sera basé sur :

- le rendement de l'onduleur (0.9).

- la tension d'entrée est de 24 (V) celle de la batterie et de la sortie du hacheur dévolteur, et la tension de la sortie est de 230 (V)/400(V).

- la fréquence 50 Hz.

- la puissance nominale de l'onduleur.

Dans ce cas on branche huit (8) sous générateurs à un onduleur central.

$P_{\text{ond}}=8(32700)/0.99=264.242(\text{kW})$, donc on utilise un onduleur de 500(kW), (voir les annexes).

4.2.5. Choix des câbles

4.2.5.1. Calcul de la section des câbles de la partie DC

➤ Entre les panneaux et le boîtier de raccordement

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :
 $I = 13.62(\text{A})$ (courant d'un panneau). $L = 20(\text{m})$. $\rho = 0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon = 0.02$,
 $V = 120(\text{V})$. (Tension d'une branche). $\Delta V = 2.4 (\text{V})$.

On aura :

$S = 2.55(\text{mm}^2)$, on utilise des câbles normalisés de section $S = 4 (\text{mm}^2)$.

➤ Entre le boîtier de raccordement et le hacheur

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I = 272.4 (\text{A})$ (courant d'un SG). $L = 15(\text{m})$. $\rho = 0.0225(\Omega.\text{mm}^2/\text{m})$ (pour le cuivre). $\varepsilon = 0.02$.
 $V = 120(\text{V})$. $\Delta V = 2.4 (\text{V})$.

On aura :

$S = 38.30(\text{mm}^2)$, on utilise des câbles normalisés de section $S = 50 \text{ mm}^2$.

➤ Entre hacheur et le régulateur

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I = 272.4 \text{ A}$ (courant d'un SG). $L = 3\text{m}$. $\rho = 0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon = 0.02$. $V = 24\text{V}$.
 $\Delta V = 0.48 \text{ V}$.

On aura :

$S = 38.30\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de section $S = 50\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et l'onduleur**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul

$I=272.4\text{A}$ (courant d'un SG). $L= 3\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon= 0.02$. $V=24\text{V}$.
 $\Delta V= 0.48\text{ V}$.

On aura :

$S=38.30\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de section $S=50\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et les batteries**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul

$I=272.4\text{A}$ (courant d'un SG). $L= 3\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon= 0.02$. $V=24\text{V}$
(tension d'un panneau). $\Delta V= 0.48\text{ V}$.

On aura :

$S= 38.30\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de section $S = 50\text{ mm}^2$.

4.2.5.2. Calcul de la section des câbles de la partie AC

➤ **Entre l'onduleur et la charge**

En exploitant la (III.17) du chapitre précédent et les données nécessaire suivantes

$B=1$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$. $l=30\text{m}$. $\text{Cos}(\delta)=0.98$. $I_b=386.86\text{A}$. $\varepsilon=0.02$. $V_n=230\text{v}$ (tension simple).

On aura :

$S=55.63\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de section $S=60\text{mm}^2$.

4.2.6. Orientation et inclinaison des panneaux

Dans notre cas d'étude, on doit orienter les panneaux en pleine sud parce que on est dans l'hémisphère nord, et l'inclinaison des panneaux sera déterminer par rapport à latitude, selon notre latitude $30^\circ < \phi < 40^\circ$ donc on aura $\alpha = \phi + 10^\circ$

$\alpha = 46^\circ$ en générale on fait un angle de 45° .

4.2.7. Tableaux récapitulatifs

Tableau 6 : Caractéristique du champ PV.

Puissance crête.	523200Wc.				
Nombre de panneaux.	1600.	Panneaux série.	5.		
		Panneaux parallèle.	320.		
Tension de fonctionnement	120(V).				
Surface du champ.	2600m².				
Capacité de la batterie totale.	147160 Ah.	Nombre Batterie	589.	Batterie série	1.
				Batterie parallèle.	589.

Tableau 7 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.

Section des câbles (mm²)	Longueur des câbles en (m)	Prix unitaire par mètre en (€)	Prix total en (€)
4	12	5.31	63.72
50	48	11.53	553.44
60	90	28.3	2547
		Total	3164.16

Tableau 8 : Devis estimatif des composants de la centrale solaire.

Elément	Nombre	Prix unitaire	Prix total
Panneau	1600	399	638400
Batterie	589	535	315115
Hacheur	16	2650	42400
Régulateur	16	960	15360
Onduleur	2	4520	9040
Câbles	/	/	3164.16
Autres accessoires	/	/	5000
		total	1028479.16

Pour l'élaboration d'un schéma de notre l'installation on a divisé notre champ PV à 16 SG et chaque 8 SG sont reliés à un onduleur central.

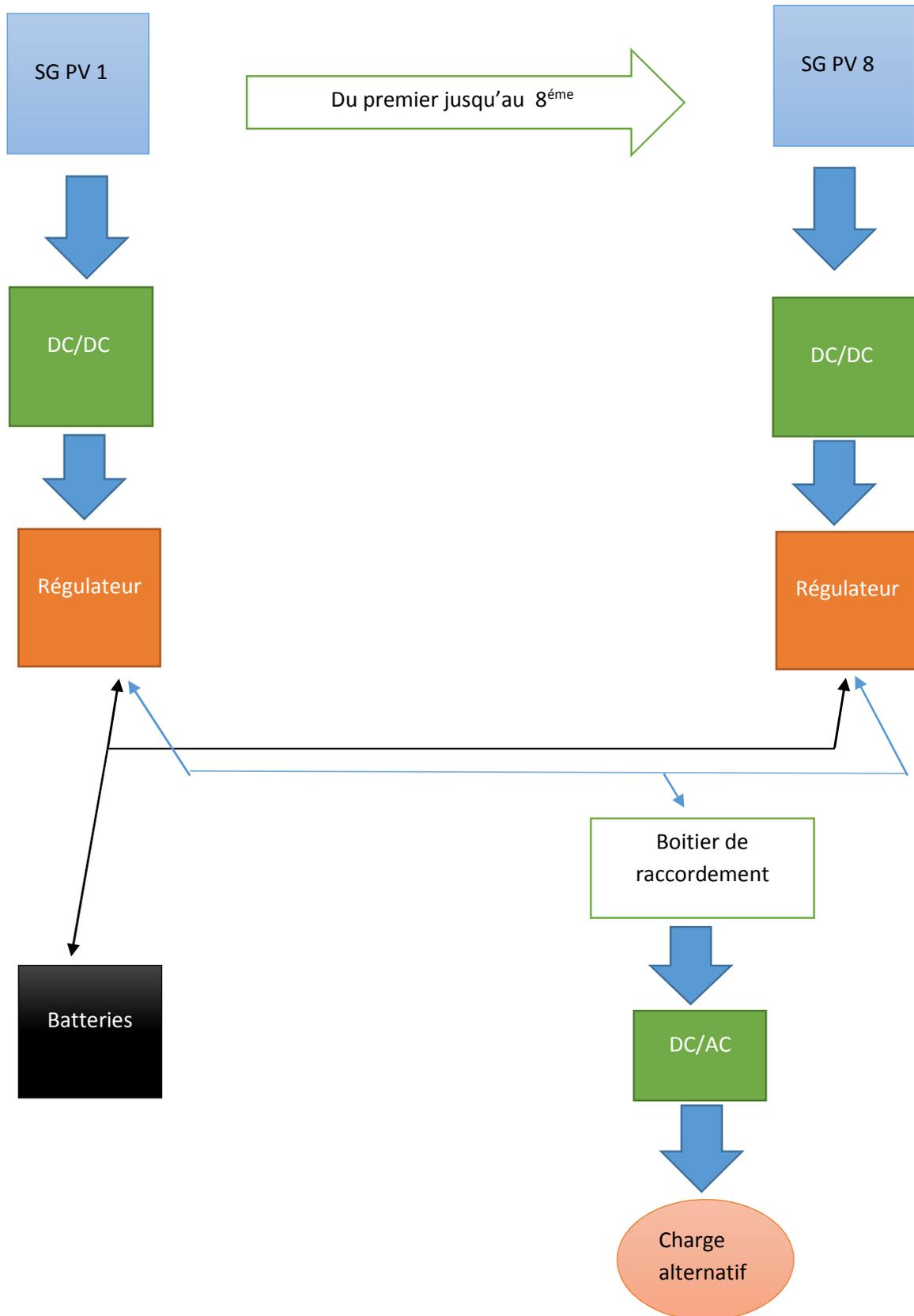


Figure 4 : schéma de branchement des sous-générateurs aux onduleurs.

4.3. Exploitation des façades orientée vers le sud

Si on exploite les surfaces des façades des SP 1 et 2 orientée en pleine sud, la surface est de 1450m^2 , qui représente 50% de la surface disponible. et pour cela on utilise des panneaux conçus spécialement pour les façades plus rentable voir leur inclinaison.

4.3.1. Choix du champ PV

4.3.1.1. Calcul du nombre de panneaux

Dans les surfaces des façades on peut installer 874 panneaux. On réduit le nombre à 870 panneaux pour simplifier le calcul.

A partir des surfaces disponibles sur les façades on peut récupérer 217.5KWc .

On divise le champ en 6 sous générateur de 10 panneaux série chacun,

- les cinq SG de 15 panneaux parallèles, on aura à la sortie de chaque sous projet :

$$V = 240(\text{V}), I = 126.15(\text{A}), P_c = 37500 \text{ Wc} = 37.5 \text{ kWc}.$$

-le sixième SG à 27 panneaux parallèles, on aura à sa sortie :

$$V = 240(\text{V}), I = 100.92(\text{A}). P_c = 30000 \text{ Wc} = 30 \text{ kWc}.$$

$$I_{\text{tot}} = 731.67(\text{A}).$$

4.3.1.2. Calcul de la capacité de batterie de stockage

Pour le calcul de la capacité de batterie de stockage, il faut d'abord déterminer le besoin que cette puissance crête développe par les panneaux installés sur ces surfaces disponibles.

-Le besoin journalier total est de 352350 (Wh/j) .

On prend le nombre de jour d'autonomie 3 jours. La batterie choisie est 250 Ah , 24V .

➤ De la loi (III.9) on aura :

$$C_{\text{bat,tot}} = 61171.87 \text{ Ah}.$$

➤ D'après la loi (III.10) du chapitre précédent on aura :

Nombre de batterie total $N_{\text{bat,t}} = 245$ batteries.

➤ De la loi (III.11) on aura :

Nombre de batteries séries, $N_{\text{bat,s}} = 1$ batterie.

➤ De la loi (III.12) on aura :

Nombre de batteries parallèles, $N_{\text{bat,p}} = 245$ batterie.

4.3.2. Choix du hacheur dévolteur

Le choix du hacheur dévolteur repose surtout sur le fait que la tension des batteries est plus petite que celle du champ PV et de la tension d'entrée de l'onduleur et voir aussi la tension du champ photovoltaïque. Dans notre cas nous avons :

- La tension du champ PV est de 240v.

-la tension des batteries est de 24v.

-la tension d'entrée de l'onduleur est de 24v.

Notre ce cas on utilise hacheur dévolteur à une plage de tension d'entrée entre 110v à 300v et une tension de sortie 24v à 28v, (voir les annexes).

4.3.3. Choix du régulateur

Dans notre étude, on a choisi un régulateur le mieux adapté à notre installation, c'est le régulateur MPPT pour des grandes puissances avec une tension d'alimentation $V_{\text{pv}} = 240\text{V}$.

A partir des lois (III.12) (III.13) du chapitre précédent on aura :

-Le courant d'entrée maximale $I_e = 189.22\text{A}$.

-Le courant de sortie maximale $I_s = 189.22\text{A}$.

On utilise un régulateur qui supporte un courant de 200A. (Voir les annexes).

4.3.4. Choix de l'onduleur

Dans notre cas on branche trois sous générateurs à un onduleur central.

D'après notre étude, on a la tension de fonctionnement de la charge en alternatif est de 230V /400V. Le dimensionnement sera donc basé sur :

-le rendement de l'onduleur (0.9).

-la tension d'entrée est de 24v celle de la batterie et de la sortie du hacheur dévolteur, et la tension de la sortie est celle du côté de la charge qui est de 230V/400V.

-la fréquence 50 Hz.

-la puissance nominale de l'onduleur

$P_{\text{ond}}=3(375000) / 0.99 = 133.636 \text{ kW}$, donc on utilise un onduleur de 500kW, (voir les annexes).

4.3.5. Choix des câbles

4.3.5.1. Calcul de la section des câbles de la partie DC

➤ Entre les panneaux et le boîtier de raccordement

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I=10.41\text{A}$ (courant d'un panneau). $L= 20\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\epsilon= 0.02$.
 $V=24\text{V}$. (Tension d'un panneau). $\Delta V= 0.48\text{V}$.

On aura :

$S= 9.75\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=10\text{mm}^2$.

➤ Entre le boîtier de raccordement et le hacheur

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I=156.15\text{A}$ (courant d'un SG). $L= 40\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\epsilon= 0.02$. $V=240\text{V}$.
 $\Delta V=4.8\text{V}$.

On aura :

$S=29.28 \text{ mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=35\text{mm}^2$.

➤ Entre hacheur et le régulateur

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I=156.15\text{A}$ (courant d'un SG). $L= 3\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\epsilon= 0.02$. $V=240\text{V}$.
 $\Delta V= 4.8 \text{ V}$.

On aura :

$S= 29.28\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=35\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et l'onduleur**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I=156.15\text{A}$ (courant d'un panneau). $L= 3\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon= 0.02$.

$V=24\text{V}$ (tension d'un panneau). $\Delta V= 0.48\text{V}$.

On aura :

$S=21.96\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=25\text{mm}^2$.

➤ **Entre le régulateur et les batteries**

En exploitant la loi (III.21) du chapitre précédent et les données nécessaires pour ce calcul :

$I=156.15\text{A}$ (courant d'un panneau). $L= 3\text{m}$. $\rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ (pour le cuivre). $\varepsilon= 0.02$.

$V=24\text{V}$ (tension d'un panneau). $\Delta V= 0.48\text{V}$.

On aura :

$S= 21.96\text{mm}^2$, on utilise des câbles normalisés de $S=25\text{mm}^2$.

4.3.5.2. Calcul de la section des câbles de la partie AC

➤ **Entre l'onduleur et la charge**

En exploitant la (III.17) du chapitre précédent et les données nécessaire suivantes :

$B=1, \rho=0.0225\Omega.\text{mm}^2/\text{m}, l=30\text{m}, \cos(\delta)=0.98, I_b=55.45\text{A}, \varepsilon=0.02, V_n=230\text{V}$ (tension nominal).

On aura :

$S=7.97\text{mm}^2$. on utilise des câbles normalisé de $S= 10\text{mm}^2$.

4.3.6. Orientation et inclinaison des panneaux

Dans le cas de l'utilisation des panneaux solaires sur les façades des immeubles l'orientation des panneaux reste en plein sud mais l'inclinaison change, ils seront donc posé directement sur les façades.

4.3.7. Tableaux récapitulatifs

Tableau 9 : Caractéristique du champ PV.

Puissance crête.	217500Wc.				
Nombre de panneaux.	870Wc.	Panneaux série.	10.		
		Panneaux parallèle.	87.		
Tension de fonctionnement.	240(V).				
Surface du champ.	1450m².				
Capacité de la batterie totale.	61171.87Ah.	Nombre Batterie.	245.	Batterie série.	1.
				Batterie parallèle.	245.

Tableau 10 : Devis estimatif du câblage de la centrale solaire.

Section des câbles (mm²)	Longueur des câbles en (m)	Prix unitaire par mètre en (€)	Prix total en (€)
10	130	5.98	777.4
25	12	6.45	77.4
35	12	7.99	95.88
Total			954.28

Tableau 11 : Devis estimatif des principaux composants de la centrale solaire.

Elément	Nombre	Prix unitaire(€)	Prix total(€)
Panneau	870	420	365400
Batterie	245	535	131075
Hacheur	3	2650	7950
Régulateur	3	960	2880
Onduleur	2	4520	9040
Câbles	/	/	954.28
Autres accessoires	/	/	4000
		total	521299.28

Pour l'élaboration d'un schéma de notre l'installation on a divisé notre champ PV à 6 SG et chaque 3 SG sont reliaer a un onduleur central.

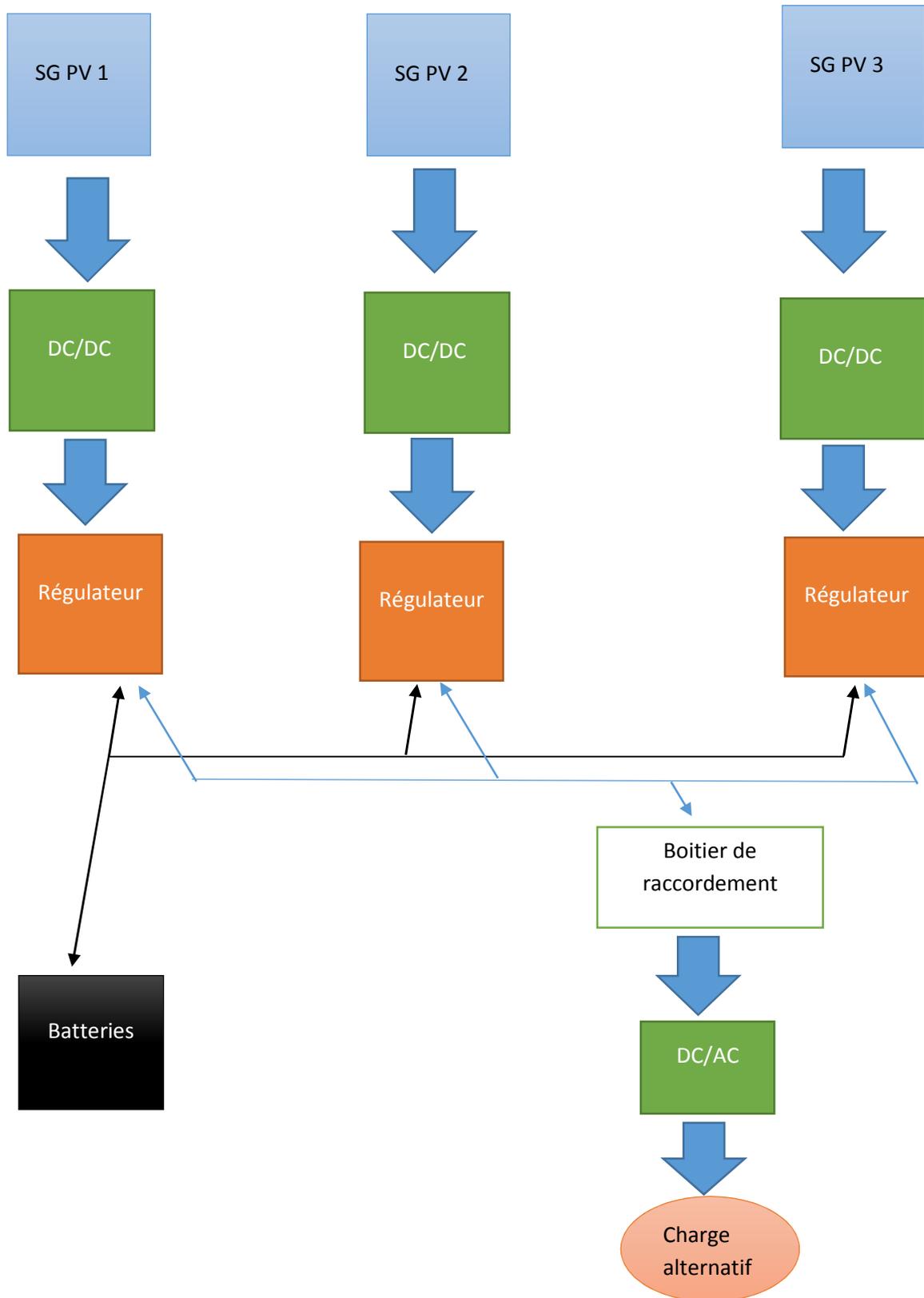


Figure 5 : schéma de branchement des sous-générateurs aux onduleurs.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné et choisi les différents éléments de l'installation photovoltaïque en utilisant la méthode du mois le plus défavorable.

Il est à signaler que les résultats de ce dimensionnement sont conditionnés par les paramètres de base (météorologie et profit, consommation et disponibilité du matériel) du site. Afin d'arriver à une solution satisfaisante pour l'alimentation de ce site.

Conclusion générale

Conclusion générale

Voir la capacité dont elle dispose en matière de nombre d'heure d'ensoleillement annuel et aussi la disponibilité de territoire, l'Algérie prévoit d'investir dans la filière des énergies renouvelables et d'attirer les investisseurs, afin de répondre aux besoins énergétiques actuel et future pour soutenir une croissance économique durable d'ici 2030.

Dans ce cadre d'investissement, le groupe SIAHA a suscité tout son intérêt au développement des énergies propres pour l'alimentation de son projet, voir le cas du village touristique RUSSICA_PARK. Un état d'art sur l'exploitation du gisement solaire a été mis en exergue. Trois cas distincts d'exploitation ont été mis en évidence à savoir : terrain défraichi, les terrasses des immeubles et enfin les façades verticales.

Dans un premier temps, nous avons pu illustrer l'intérêt de l'exploitation des énergies renouvelables et l'importance que donne notre pays pour ces énergies, spécialement à celle d'origine solaire, voir le gisement que ce dernier dispose.

Dans un deuxième temps, nous avons décrit les composants essentiels d'un système photovoltaïque ainsi que leurs caractéristiques.

Nous avons aussi abordé les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome selon les normes et exigences requises.

Et pour terminer, nous avons effectué de l'étude et du dimensionnement du site donné pour chaque cas, et nous avons aboutis aux résultats suivants :

- Pour le Projet RUSICA PARK, s'il y'a dégagement d'un terrain défraichi de 8.326 hectares, il est possible de produire l'énergie suffisante pour le projet de l'ordre de 9.928GWh/an équivalente à une mise à disposition d'une puissance de 16.7901 MWc. Le coût estimatif de la centrale est de 32 millions d'euros soit 384 millions de dinars Algériens.
- Si on se limite à une production en exploitant les terrasses des immeubles de SP1 et SP2, il est possible de mettre à disposition une puissance de : 523.2kWc. Le coût de cette installation est de 1.3 millions d'euros soit 12.35 millions de dinars Algériens.

- Si l'installation se fait sur les façades des immeubles, la puissance mise en disposition serait de l'ordre de 217.5 kWc. Le cout de cette installation est de 521299.28 euros soit 6.255 millions de dinars Algérien.

Dans notre cas on peut avoir jusqu'à 50% de réduction sur l'achat des éléments des installations précédentes voir la commande qui est très grandes comme (51000 panneaux, 18889 batteries 78 hacheurs, 78 régulateurs, 20onduleurs.....), donc le cout de l'installation peut diminuer a moitie 50%.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine de Production d'énergie d'origine solaire, et de mettre en œuvre nos compétences ainsi acquises durant tout notre parcours ayant trait à l'étude se rapportant à la réalisation de ce projet.

Perspectives de recherches

Au jour d'aujourd'hui, l'intérêt des énergies propres n'est pas à démontrer, ces dernières s'inscrivent dans toute ambition de société progressiste, néanmoins l'exploitation et la mise en œuvre d'une politique énergétique dans un monde subissant le euse des résultats d'un calcul technico-économique fiable.

C'est dans cette optique, qu'un travail a été initié au sein de SARL SOPERIE, basé sur des modèles économiques prenant en charges de s variante incluant tous les facteur et constituantes de la fonction cout. Il s'agit d'évaluer, les dépenses en investissement, les frais d'exploitation et le cout économique.

Sur une période de planification avoisinant 30ans (durée de vie d'une installation PV) il s'agit de mettre en exigence les gains de cette dernière comparé à l'exploitation des autres sources d'origine fossiles.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Kassmi, K., Hamdaoui, M., & Olivié, F. (2007). Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique. *Revue des Energies Renouvelables*, 10(4), 451-462.
- [2] www.djazairess.com, site web consulté le 13 mars 2017.
- [3] Ministre de l'énergie et des mines Algérienne : le programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, mars 2011
- [4] Tanguy Pinxteren, Etude préalable à l'élaboration d'un vade-mecum pour l'installation d'un système photovoltaïque en région de bruxelles-capitale, Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, 2003-2004
- [5] Abdelhamid Lilia, Contribution à l'amélioration des performances des générateurs éoliens - évaluation de l'impact des énergies renouvelables sur l'environnement, thèse doctorat en sciences en électrotechnique, Université Hadj Lakhdar de Batna, 2012.
- [6] www.andi.dz site internet consulté le 13mars 2017.
- [7] www.energy.gov.dz site internet consulté le 13mars 2017
- [8] Z. Khiat, S. Flazi et A. B. Stambouli. Pluralité énergétique : enjeux et stratégie pour l'Algérie. *Revue des energies renouvelables*, 41-46, 2007
- [9] Amine, DAOUD. (2013). *Contrôle de la puissance d'un générateur photovoltaïque pour le pompage solaire* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologie d'Oran).
- [10] A. Boudghene Stambouli, Promotion of renewable energies in Algeria: strategies and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1169-1181, 2011.
- [11] Ben Guehza M. L., Impact de l'espace entre les deux vitrages sur le rendement d'un capteur solaire, memoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister, universite de kasdi Merbah OUARGLA, 2009.
- [12] HARIZ Abdelkader Abdelhafid, Etat de l' Art sur les Energies Solaire et Eolienne en Algérie, diplôme de Magistère en genie Mécanique, Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2010
- [13] www.huffpostmaghreb.com site web consulté le 16 mars 2017.
- [14] www.so-med.org site web consulté le 16 mars 2017.
- [15] www.edifice-2.0.over-blog.com site web consulté le 16 mars 2017.
- [16] www.cder.dz site web consulté le 16 mars 2017.
- [17] AbdelhalimBesra, Amélioration des performances des composants Électroniques par simulation, thèse magister, Université Badji Mokhtar – Annaba, 2010.
- [18]. Flèche & D. Delagnes. (2007), Production d'énergie électrique : Energie solaire photovoltaïque.
-

www.iufmrese.cict.fr site web consulté le 27 mars 2017.

[19]. Pierre Vernier. (2006), Photovoltaïque (EFFET).

www.coba-energies-renouvelables.com site web consulté le 27 mars 2017.

[20]. Bendjelloule Zakaria. (2009), Contribution à la modélisation d'une cellule solaire. Thèse de Magister de l'université de Bechar.

[21]. Maouedj Rachid. (2005), Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzereah. Thèse de Magister de l'université de Abou BekerBelkaid - Tlemcen.

[22][www.ac-clearmont.fr,production](http://www.ac-clearmont.fr/production) photovotaique, site internet consulté 15/03/2017.

[23]www.mémoireonline.com, site internet consulté 17/03/2017.

[24] Sofia, B. L. Cours Energie Solaire Photovoltaïque, 2015.

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

[26] Belhadj Mohammed, Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome, Mémoire de Magister, Centre Universitaire De Bechar, Institut des Sciences Exactes, 2008.

[27] Mamadou Lamine Doumbia, KodjoAgbossou et Abdoulaye Traoré, revue des Systèmes Solaires Photovoltaïques, Université du Québec, Conférence MSAS, 2008.

[28] BRIGAND, S. (2011). Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque. Complément technique Mars/Avril 2008, www. Editions du moniteur.com. Consulté le 12/11.

[29] Anne LABOURET et Michel VILLOZ, Energie solaire photovoltaïque, édition Paris 2006).

[30] G. Guihéneuf. Comprendre et dimensionner les installations domestiques à énergies renouvelables. (11/2009) Pays-Bas.

[31] N, kouimi, M. J. T. (2000). Outil d'aide au dimensionnement des 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.

[32]. Fatiha, T. R. A. H. I. Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du labo de recherche LAMPA (Doctoral dissertation, Université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou, 2011.

Panneau



Panneau solaire 327W 24V 48V monocristallin BenQ solar Sunforte

Panneau de marque BenQ solar.

Le panneau solaire le plus avancé technologiquement sur le marché.

327W de puissance dans la taille d'un panneau 250W.

Issue des usines de Au optronics (Sunpower).

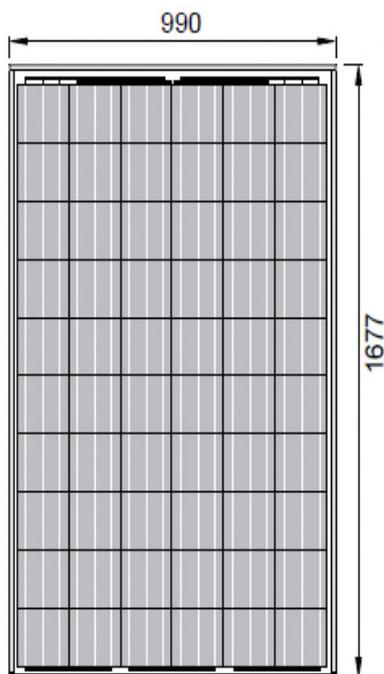
Technologie des cellules Maxeon (jusqu'à 22,5% de rendement inégalé jusqu'à présent) technologie back contact.

549,00 €
399,00 €

PROMOTIONS

En stock, expédition immédiate !

Données	Valeur
Puissance nominale	327W
Tolérance positive	0/ +3%
Rendement du panneau	21%
Type de cellule	Silicium monocristallin (technologie Maxeon)
Nombre de cellules	96pcs
Voltage Mpp	54.7V
Intensité Mpp	6.04A
Intensité de court-circuit	6.52A
Voltage circuit ouvert	64.9V
Garantie	10 ans
Test STD	AM1.5, 25°C, 1000W/m ²
Tension max	1000V DC
Taille (Long. x Larg. x Haut.)	1559 x 1046 x 46 mm
Cadre	Aluminium anodisé
Poids	18,6 kg
Garantie de puissance	10 ans à 90% et 25 ans à 80%
Diodes anti-retour	3
Boltier de jonction	étanche IP67: câbles AWG et connecteur MC4
Température d'utilisation	-40°C +80°C
Qualité de fabrication	Cadre aluminium anodisé Feuille de composite Verre trempé 3.2mm parfaitement transparent haute transmission Film TPT (tedlar, polyester, tedlar)



Vision 60

poly, poly | black frame, poly black

Caractéristiques électriques en STC (Standard Test Conditions: 1000 W/m², 25 °C, AM 1,5)

		240 W	245 W	250 W	255 W	260 W
Puissance nominale	P_{MPP}	240 W	245 W	250 W	255 W	260 W
Limites de tri puissance		0/+5 W				
Tension	U_{MPP}	29,4 V	29,55 V	29,73 V	29,87 V	30,06 V
Tension circuit ouvert	U_{OC}	37,32 V	37,49 V	37,62 V	37,69 V	37,79 V
Courant	I_{MPP}	8,17 A	8,30 A	8,41 A	8,54 A	8,65 A
Courant de court-circuit	I_{SC}	8,72 A	8,83 A	8,91 A	8,99 A	9,07 A
Rendement		14,6 %	14,8 %	15,1 %	15,4 %	15,7 %

Hacheur

NEW



Caractéristiques

- Configuration:
sur rail DIN
- Tension de sortie:
24 V
- Autres caractéristiques:
à découpage
- Tension d'entrée:
Min: 300 V
Max: 900 V



- Applications:
pour application ferroviaire
- Tension d'entrée:
Min: 144 V
Max: 154 V
- Tension de sortie:
Min: 12 V
Max: 125 V



Caractéristiques

▪ Configuration:
sur rail DIN

▪ Spécification électrique:
abaisseur

▪ Autres caractéristiques:
avec fusible, à grande gamme d'entrée,
isolé

▪ Tension d'entrée:
Min: 110 V
Max: 300 V

▪ Tension de sortie:
Min: 24 V
Max: 28 V

Régulateur



Meilleur prix 120 V 96 V 48 V 24 v 200amp mppt solaire charge de la batterie contrôleur

Prix de FOB: US \$ 180-330 / Morceau | [Obtenir le dernier prix](#)

Port: Shanghai

Commande minimale: 15 Morceau/Morceaux

Capacité de fourniture: 10000 Morceau/Morceaux par Mois

Temps de livraison: environ 7-15 jours

Termes de paiement: L/C,T/T,Western Union,MoneyGram,Paypal

[Contacter le Fournisseur](#)

[Démarrer la commande](#)

MODÈLE	JNDX-50A/100A/150A/200A SÉRIE				
Tension nominale	96 V	192 V	220 V	240 V	384 V
courant de charge	50A100A150A200A				
solaire Tension D'entrée	160 V	320 V	367 V	400 V	640 V
pas de Perte De charge	< 5 W	< 10 W			
Tension de charge de baisse	≤0.5v				
sur-voltage Protection	128 V	256 V	294 V	320 V	512 V
DC Tension De Charge	115 V	230 V	264 V	288 V	461 V
	(durable pour 30 min) (Pour point ci-dessus 192 V, chaque tension peut ajuster à 15 V, à la mise en tension est 14.4 V				
Boost Tension De Charge	110 V	221 V	253 V	276 V	442 V
	chaque tension peut être ajustée à 14.1 V, réglage tension est 13.8 V				
Temp. compensation	4.0mV/& #8451;				
Température de fonctionnement	-10& #8451; à + 40& #8451;.				
affichage	tension de la batterie, tension de charge, courant de charge, volume de chargement, puissance de charge, réglage de la langue				
Protection	sur-tension, décharge, surcharge, short-circuit, sur-température, solaire protection contre l'inversion de polarité, protection Contre La Foudre				
Diamension	355*273*142 (mm)	410*350*160(mm)			

Onduleur



Caractéristiques du produit

No. de Modèle	EQX500kW	EQX630kW	EQX750kW	EQX1MW
Spécification				
Puissance	500 kW	630 kW	750 kW	1000 kW
Prix				
Garantie				
Garantie	5 Années	5 Années	5 Années	5 Années
Entrée (DC)				
Tension DC maximum	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Courant DC maximum	1100 A	1185 A	1701 A	1844 A
Plage de tension MPP(T)	500-850 V	585-850 V	500-850 V	615-850 V
Nombre de Branche MPPT	1	1	1	1
Sortie DC	10	10	15	15

Sortie (AC)				
Puissance AC maximum	500 kW	630 kW	750 kW	1000 kW
Tension AC nominal	320 V	360 V	320 V	400 V
Courant AC maximum	902 A	1010 A	1353 A	1443 A
Fréquence	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz	50, 60 Hz
Cosφ (directive de tension moyenne)	0.99	0.99	0.99	0.99
Taux de distorsion harmonique (THD)	< 3 %	< 3 %	< 3 %	< 3 %
Nombres de phases d'alimentation	3	3	3	3
Efficacité maximum	98.7 %	98.7 %	98.7 %	98.7 %

Batteries



12 v 500ah au lithium ion batterie solaire de stockage d'énergie 6KWh lifepo4 batterie 24 v 250ah

Prix de FOB: US \$ 110-150 / Paquet | [Obtenir le Dernier Prix](#)

Port: Shenzhen

Commande minimale: 100 Paquet/paquets

Capacité de fourniture: 20000 Paquet/paquets par Mois

Temps de livraison: expédié en 7 jours après paiement

Termes de paiement: L/C,T/T,Western Union

[✉ Contacter le Fournisseur](#)

[Démarrer la commande](#)

Tension nominale	24 V		
Capacité nominale	250Ah		
Charge Fin-hors Tension	29.4 V		
Fin de décharge-hors Tension	21 V		
Méthode de chargement	CC-CV		
initiale Courant De Charge	Charge Standard	0.2C	
	Max. Charge	> 10 & #8451;	1.0C
		0 ~ 10 & #8451;	0.2C
poids	35Kg		
Cycle de vie	800 fois		
température de fonctionnement	charge 0 + 60 & #8451;		
	décharge-20 + 60 & #8451;		
température de stockage	1 mois:-20 + 45 °C		
	3 mois:-20 + 35 °C		
	6 mois:-20 + 25 °C		