

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)
Filière : Electronique



MASTER INSTRUMENTATION
PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté par Djendar Nor El Houda & Kada Benchiha Amir Younes

Intitulé du Sujet

Production de l'énergie solaire pour la gestion des besoins énergétiques d'une exploitation agricole.

Soutenu le 04 juillet 2021, devant le jury composé de :

M ^r . ZOUGAGH Nabil	MCB	Univ. Tlemcen	President
M ^{me} BOUAZZA née GUEN Ahlam	Pr	Univ. Tlemcen	Encadreur
M ^r Mr Brixi Nigassa Mohammed El Amine	MCB	Univ. Tlemcen	Examinateur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Nous remercions **ALLAH** le Tout-Puissant de m'avoir donné le courage, et la volonté de mener à terme ce présent travail.

Tout d'abord, un grand merci à notre directrice de thèse Professeur **BOUAZZA née GUEN Ahlam**, à qui je tiens à témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude pour avoir dirigé ce modeste travail . Je vais donc saluer son excellent encadrement, son étonnante disponibilité malgré ses activités diverses et toute sa réactivité. Son côté humain et sa patience m'ont permis d'avancer

Merci au président Mr **ZOUGAGH Nabil et** à Mr .BRIXI NIGASSA Mohammed El Amine examinateur , pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail en acceptant de l'examiner.

Je tiens aussi à remercier Professeur **BENAHMED Nase-eddine** responsable de la formation Master Electronique Instrumentation

pour finir, nous tenons encore une fois à présenter notre profonde gratitude au Pr Guen Ahlam de nous avoir proposé un sujet de recherche d'actualité, qui nous a permis de nous initier à la recherche et avec qui nous avons beaucoup appris , nous la remercions aussi pour sa patience, sa rigueur scientifique, son soutien et sa disponibilité.

MILLES MERCI madame!

Dédicaces

Je dédie ce travail à tous qui ont sacrifié leur vie pour la science.

Je dédie aussi ce travail à mon très cher grand père Ahmed Benhammou (paix à son âme) qui est présent dans ce travail car Propriétaire du site visé par cette étude.

Je dédie aussi ce travail à mes parents à qui j'adresse mes plus vifs remerciements, mes sœurs et surtout mon frère Zack qui m'ont toujours soutenu, ainsi qu' ma meilleure amie Safia, qui était toujours là pour moi.

Je le dédie aussi à tous mes professeurs et particulièrement mon encadreur, mes ami(e)s et camarades ce fut un grand honneur et plaisir de passer ces dernières 5 années avec vous.

Pour finir je dédie aussi ce modeste travail à tous les membres de nos familles Kada Benchiha et Djendar.

Melle DJENDAR Nour El Houda

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes parents et à toute ma famille à qui j'adresse mes vives remerciements et à qui je témoigne toute ma reconnaissance pour leur soutien, leur patience

Je dédie aussi ce travail à, mon frère, mes deux sœurs, mes tantes et mon oncle pour leurs encouragements et soutien.

Enfin, Je le dédie à mes amis pour l'ambiance positive, pour leur compréhension et surtout pour leur soutien moral.

Mr Kada Benchiha Amir Younes

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Table de matières

Tables de figures

Introduction générale.....	1
<i>Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire</i>	3
I.1.Introduction	3
I-2- Les Energies renouvelables	3
1. L'énergie solaire	3
2. L'énergie éolienne.....	4
3. L'énergie Hydraulique.....	4
4. La Géothermie	4
5. La Biomasse	4
6. L'énergie des courants marins <i>marémotrice</i>	4
I-3- Energie Renouvelable en Algérie	5
I-4-Généralité sur le soleil	6
I-4-1Le soleil	6
I-4-2- Types d'énergies solaire	6
I-4-2-1.L'énergie solaire thermique	6
I-4-2-2.L'énergie solaire thermodynamique	7
I-4-2-3.L'énergie solaire photovoltaïque	7
I-4-3. Rayonnement solaire	8
I-4-4. Spectre de Rayonnement	8
I-4-5. L'air masse	9
I.4.6. Le spectre solaire	10
I-4-5. Types de Rayonnement	11
<input type="checkbox"/> Rayonnement direct	12
<input type="checkbox"/> Rayonnement réfléchi	12
<input type="checkbox"/> Rayonnement diffus	12
I-4-6- Gisement Solaire	13
<input type="checkbox"/> Le Gisement solaire en Algérie.....	13
I-5. Le Solaire Photovoltaïque	14
I-5-1. L'effet photovoltaïque	14
I-6-Avantages et inconvénients de L'énergie solaire	15

Les avantages de l'énergie solaire [12].....	15
Inconvénients	16
I-7 Conclusion	16
Chapitre II : Cellules et panneaux solaires	16
Introduction	16
II.1. La cellule solaire	16
II.2. Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire	17
II.3. Les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque	20
II.3.1. Caractéristique I-V d'une cellule solaire sous obscurité	21
II-3-2. Caractéristique sous ensoleillement	21
II.4. Paramètres photovoltaïques d'une cellule solaire dans le cas idéal	22
II.4.1 Densité de courant de court circuit	24
II.4.2. Tension en circuit ouvert notée V_{co}	25
II.4.3: Le facteur de forme FF	25
II.4.4. Le rendement de conversion η (efficiency)	26
II.4.5. Le rendement quantique EQE	26
II.5: Différents types de cellules solaires	27
II.5.1. Cellules solaires au silicium	27
II.5.1.1. Silicium monocristallin	28
II.5.1.2. Silicium poly-cristallin	29
II.5.2. Cellules solaires amorphes	32
□ <i>Avantages</i>	32
<i>Inconvénients</i>	33
II.5.3. Cellules de couches minces	33
<i>Avantages</i>	34
<i>Inconvénients</i>	34
II.5.4. Cellules solaires à base Tellurure de cadmium	34
II.5.5. Cellules solaires à base Tellurure de cadmium	35
II.5.6. Cellules solaires à base de l'Arséniure de Gallium	36
II.5.7. Cellule solaire à colorant (DSSC) de troisième génération	37
II.5.8. Cellules à base de polymères	37
II.5.9. Cellules à base de pérovskites	38
II.5.10. Cellules photovoltaïques organiques	38
II.6. Modules photovoltaïques	39
II.7.1. L'association en série	40
II.7.2. L'association en parallèle	41

II.8. L'énergie solaire en Algérie.....	42
Conclusion.....	44
<i>Chapitre III : Système d'alimentation d'une installation photovoltaïque</i>	45
Introduction	45
III.1. Système photovoltaïque.....	45
III.2. Les différents types de systèmes photovoltaïques	46
III.2.1. Systèmes photovoltaïques autonomes	46
III.2.2. Systèmes photovoltaïques hybrides	47
III.2.3. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	47
III.3. Le champ photovoltaïque.....	47
III.4. L'onduleur	48
III.5: Système de poursuite ou "Tracker" solaire	48
III.6. Système de stockage.....	49
III.6.1. Autonomie de la batterie et garantie.....	51
III.6.2. Caractéristiques de batteries solaires	51
III.6.2.1 La capacité de stockage des batteries solaires	51
III.6.2.2.La profondeur de décharge.....	52
III.6.2.3.L'espérance de vie d'une batterie solaire	52
III.6.3. Les différents types de batteries solaires	52
III.6.3.1. Batteries au plomb	52
III.6.3.2. Batteries lithium-ion	53
III.6.3.3. Batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd) II.6.3.4.	53
III.6.3.4. Les batteries à flux.....	54
III.7. Système de régulation.....	55
Conclusion.....	56
<i>Chapitre IV : Etude et dimensionnement du système photovoltaïque satisfaisant aux besoins énergétique d'une exploitation agricole</i>	56
Introduction	57
III.1. Principe de dimensionnement.....	57
IV.2. Constituants de l'exploitation agricole permettant l'estimation des besoins énergétiques de cette exploitation.....	58
IV.2.1. Assiette du projet	58
IV.2.2. Délai d'exécution des travaux	58
IV.2.3. Consistance du projet	58
IV.2.5. Cahier des charges	58
IV.4: Dimensionnement de l'exploitation agricole.....	61
IV.4.1. Dimensionnement de l'installation sous environnement PVsyst.....	62

IV.4.2. Résultats de simulations obtenus par PVsyst	67
IV.4.2. Dimensionnement l'installation par méthode simple.....	75
IV.5.Etude comparative.....	77
IV.6. Estimation du cout de l'installation.....	78
IV.7.Coût d'installation.....	79
Conclusion.....	79
Conclusion générale.....	56

Table de figures :

Chapitre I :

Figure I. 2 : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables [13].	6
Figure I. 3 : Définition de l'air masse	9
Figure I. 4 : le spectre du rayonnement solaire[4]	11
Figure I. 5 : Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque [11]	13
Figure I. 6: la carte d'éclairement solaire de l'Algérie [14]	14
Figure I. 7 : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [7].	15

Chapitre II :

Figure II. 1:Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	17
Figure II. 2:Les différentes cellules photovoltaïques	19
Figure II. 3: Caractéristique I(V) de la cellule solaire sous ensoleillement et sous obscurité.	22
Figure II. 4: Caractéristique I(V) de la cellule solaire sous ensoleillement.	23
Figure II. 5: Schéma équivalent d'une cellule solaire dans le cas réel.	24
Figure II. 6 : Exemple de cellules solaires à base de silicium	28
Figure II. 7: Exemple de cellules solaires à base de silicium monocristallin	28
Figure II. 8: Exemple de cellules solaires à base de silicium poly-cristallin.	30
Figure II. 9: Panneau solaire à base de cellules solaires amorphes	32
Figure II. 10: Cellule solaire à base d'arséniure de Gallium.	36
Figure II. 11: Cellules solaire à colorant	37
Figure II. 12: Branchement de panneaux solaires en série	40
Figure II. 13: Branchement de panneaux solaires en parallèle	41
Figure II. 14: Distribution de l'industrie photovoltaïque en Algérie.	43

Chapitre III :

Figure III. 1:Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque	45
Figure III. 2:exemple de système de poursuite solaire	49
Figure III. 3: Différents branchement des batteries solaires.	51
Figure III. 4: Système photovoltaïque constitué de panneaux, régulateur et batteries.	55

Chapitre IV :

Figure IV . 1 : Configuration typique d'une installation en site s isolé.	61
Figure IV . 2: L'interface principal du logiciel PVsyst.	62
Figure IV . 3 :: L'interface permettant d'optimiser l'angle d'orientation des panneaux photovoltaïques.	63
Figure IV . 4: l'interface permettant le choix des panneaux photovoltaïques.	64
Figure IV . 5: Caractéristiques du Panneau solaire SI 744G1 utilisé pour nos simulations	65
Figure IV . 6: l'interface de batteries de stockage	65
Figure IV . 7: Caractéristiques de la batterie Powerwall	66
Figure IV . 8:Caractéristiques du régulateur MPPT.	67
Figure IV . 9:Caractéristiques du générateur photovoltaïque de Tlemcen.	69
Figure IV . 10: Rapport de performance PR pour Tlemcen	69
Figure IV . 11: Caractéristiques du générateur photovoltaïque d'Adrar.	71
Figure IV . 12: Rapport de performance PR pour Adrar.	71

Figure IV . 13: Caractéristiques du générateur photovoltaïque de Constantine.....	72
Figure IV . 14: Rapport de performance PR pour Constantine.	73
Figure IV . 15: Caractéristiques du générateur photovoltaïque d'Alger.	74
Figure IV . 16 : Rapport de performance PR pour Alger.	74
Figure IV . 17: Carte graphique du site choisi.....	78
Figure IV . 18: Bilan énergétique du site choisi.....	78

Introduction générale

Introduction générale

La production énergétique est et restera un problème majeur dans les années à venir, car la demande en énergie des pays développés et émergents ne cesse d'augmenter. Depuis les années 1960 jusqu'à ce jour, la production énergétique a plus que triplé. La production d'énergie dans le monde est malheureusement et jusqu'à aujourd'hui entièrement basée sur les combustibles fossiles. L'utilisation de ces sources entraîne malheureusement une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et, par conséquent, de la pollution. Par ailleurs l'utilisation démesurée des différentes ressources naturelles épuise les stocks de ce type d'énergie, constituant une menace pour les générations futures. Les différentes énergies telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie hydroélectrique ainsi que la biomasse sont des exemples de sources d'énergie renouvelables pouvant être utilisées pour compléter les sources d'énergie conventionnelles. Les énergies renouvelables sont des énergies qui dérivent essentiellement du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou de la biomasse. Contrairement aux énergies fossiles, les énergies renouvelables disposent d'une réserve de ressources considérées comme infinie.

L'énergie solaire consiste à convertir directement une partie du rayonnement solaire en électricité par des panneaux photovoltaïques. Vu la disponibilité de cette énergie, la demande mondiale en systèmes solaires d'alimentation électrique est en perpétuelle croissance depuis les années 1990. De nos jours, l'industrie PV repose particulièrement sur les besoins des régions isolées en alimentation électrique fiable et peu onéreuse. Dans un grand nombre d'applications, tels que les systèmes isolés alimentant les sites qui n'ont pas accès directement à l'approvisionnement en énergie le photovoltaïque est la solution la plus rentable.

L'énergie solaire photovoltaïque a longtemps été reléguée à des usages ruraux tels que l'alimentation en électricité ou en eau potable de lieux isolés. Ces dernières années, le solaire photovoltaïque a fait une percée dans les zones urbaines, notamment

dans les pays en développement, grâce aux techniques d'intégration des bâtiments et à la technologie photovoltaïque connectée au réseau.

Ainsi un dimensionnement adéquat des d'installation en site isolé s'avère nécessaire afin de calculer le nombre de panneaux et la capacité de stockage nécessaire à répondre aux besoin énergétique ce ces installation.

C'est ainsi que ce travail qui a pour but de dimensionner un système photovoltaïque alimentant une exploitation agricole se divise en quatre chapitre:

Au premier chapitre nous donnons des généralités sur l'énergie

Au second chapitre, nous parlerons de l'effet photovoltaïque, de la cellule solaire et présenterons différentes technologies de cellules solaires et pour finir nous parlerons des panneaux solaires

Au troisième chapitre nous présenterons les différents constituant des systèmes d'alimentation d'une installation photovoltaïque.

Au quatrième et dernier chapitre nous présenterons les résultats que nous avons obtenus suite au dimensionnement d'une installation agricole en site isolée. Ce dimensionnement a été réalisé tout d'abord par logiciel PVsyst puis par un programme que nous avons élaboré en se basant sur une méthode de dimensionnement simple.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

I.1.Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable précieuse. En effet cette source d'énergie intarissable pourrait constituer à l'avenir une alternative confirmée aux autres sources d'énergie traditionnelles pour répondre aux besoins énergétiques croissants des individus et de l'industrie mondiale. En effet, Les applications de petite et moyenne consommation dans les zones éloignées et rurales bénéficient largement de ce type d'énergie [1].

Ce chapitre a été consacré à une brève présentation de l'énergie solaire photovoltaïque, les différentes informations et éléments liés à cette source d'énergie, et sa conversion en énergie électrique .

I-2- Les Energies renouvelables

Les énergies renouvelables se positionnent comme une alternative adéquate au déclin des réserves des énergie fossiles, et comme un moyen de répondre à la demande mondiale d'énergie tout en protégeant l'environnement. Les énergies renouvelables sont aussi nommées énergies "de flux" car elles sont issues d'éléments naturels tels que le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des plantes, ect..... l'utilisation de ces énergies non fossiles ne produit aucun déchet ni aucune pollution.

Les différentes énergies renouvelables sont résumés dans ce qui suit:

1. L'énergie solaire

C'est l'énergie fournie par les rayons du soleil, qui est convertie en énergie électrique ou thermique que nous pouvons exploiter directement par plusieurs technologies. En effet, les cellules photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en énergie électrique, Il y'a aussi des capteurs solaires, qui chauffent l'eau dans les maisons, et des concentrateurs solaires, qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et produire une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité.[9]

2. L'énergie éolienne

Le terme technique aérogénérateur pour désigner l'éolienne provient de l'énergie cinétique du vent, qui permet de la transformer l'énergie provenant des vents en électricité.[9]

3. L'énergie Hydraulique

L'énergie hydraulique est dérivée de la puissance de l'eau qui coule. Elle peut être exploitée par diverses technologies. Les roues à aubes peuvent convertir l'énergie hydraulique directement en énergie mécanique (moulin à eau), alors que les turbines et les génératrices convertissent cette énergie en électricité.[9]

4. La Géothermie

L'énergie géothermique peut être produite en utilisant la chaleur stockée dans le sous-sol. L'énergie géothermique permet de chauffer les locaux (à basse ou moyenne température) ou produire de l'électricité par vapeur interposée (à température élevée).[9]

5. La Biomasse

Le bois, l'herbe, les épis de maïs, le biogaz et les biocarburants sont tous combinés dans ce système. Pour produire du feu, on brûle du bois provenant de la forêt ou des déchets de l'industrie du bois. Ce type d'énergie représente 14 % de l'énergie mondiale consommée .[9]

6. L'énergie des courants marins *marémotrice*

Elle englobe à la fois l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffée par les rayons du soleil. Les océans, qui couvrent près de 70 % de la surface de la terre, peuvent être une source potentielle d'énergie renouvelable, même si leur exploitation pour produire de l'électricité n'est actuellement pas rentable[9] .L'énergie marémotrice consiste donc à profiter des marées afin d' actionner des turbines qui vont produire de l'électricité. Cette

technologie est opérationnelle depuis plusieurs dizaines d'années mais son utilisation est freinée notamment par les possibles impacts environnementaux.

I-3- Energie Renouvelable en Algérie

L'augmentation d'une part du coût des énergies conventionnelles, et d'autre part la nature limitée de ces ressources, font des énergies renouvelables une option plus qu'intéressante avec divers avantages tels que son abondance, le fonctionnement sans pollution et la disponibilité en plus ou moins grande quantité en tout point de la planète. Les installations d'énergie solaire connaissent actuellement un regain d'intérêt, notamment pour des applications dans les sites isolés.[10] L'Algérie est l'un des pays à fort potentiel en matière d'énergies renouvelables, avec une capacité électrique nationale pouvant atteindre plus que 56,74 TWh, dont 0,45 TWh en pointe uniquement pour les énergies renouvelables (en 2012), et tout particulièrement l'énergie solaire photovoltaïque, vu que l'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus importants au monde. L'énergie obtenue annuellement sur une surface horizontale de 1m^2 soit environ 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m² au grand sud, et la durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2 000 heures d'ensoleillement annuel et peut approcher les 3 900 heures sur les hauts plateaux et Sahara on site alors l'exemple type de la région de Tamanrasset.[11]

L'Algérie est, de ce fait, fortement engagée dans la voie des énergies renouvelables pour avoir des solutions significatives et à long terme aux problèmes environnementaux ainsi que pour la préservation des ressources énergétiques fossiles.[13]

Ainsi, entre 2015 et 2030, un programme très ambitieux de croissance des énergies renouvelables. Ce programme, consiste à installer une capacité totale de 22 000 MW, le solaire photovoltaïque est la principale source de production d'énergie propre, et représente 62 % de la capacité totale prévue à l'horizon 2030.[13]

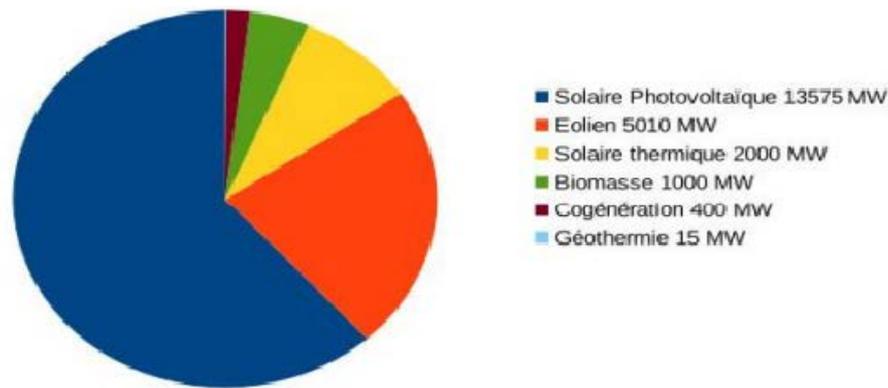


Figure I. 1 : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables [13].

I-4-Généralité sur le soleil

I-4-1Le soleil

Le soleil est une étoile pseudo-sphérique de 1390000 kilomètres de diamètre. Le soleil est composé principalement de matière gazeuse, soit l'hydrogène et d'hélium. Le soleil est en fait le site de réactions de fusion nucléaire continues, avec une température centrale atteignant 5780°K . [2]

L'énergie radiative qui provient directement du soleil est essentiellement dû aux réactions de fusion nucléaire au cœur du soleil. A chaque seconde une énorme quantité de masse 6.10^{11} Kg d'hydrogène est convertie en Hélium, avec une perte de masse nette environ de 4.10^3 Kg, ce qui est équivalent à 4.10^{20} joules. Cette énergie est émise en tant que rayonnement électromagnétique dans une large gamme s'étalent de l'ultraviolet à l'infrarouge et même dans les ondes radio .

I-4-2- Types d'énergies solaire

I-4-2-1.L'énergie solaire thermique

Consiste à utiliser le rayonnement solaire infrarouge pour générer de la chaleur pour chauffer de l'eau ou de l'air. Dans ce cas, on utilise des capteurs thermiques, qui reposent sur une technologie totalement différente. Dans le langage courant, on les appelle "chauffe-eau solaires" ou "capteurs d'air chaud". Ainsi le solaire thermique capte la chaleur du soleil. La chaleur collectée est utilisée comme telle ou bien transformée en énergie mécanique, puis en électricité. le solaire thermique, est issu d

une énergie propre, gratuite et intarissable. Il a une place non négligeable sur le marché des énergies renouvelables. De la production d'eau chaude sanitaire pour le secteur du particulier, ou du collectif tel que l'eau chaude, chauffage au sol, radiateurs, etc..à la fourniture de chaleur pour les exploitations agricoles , chauffage des bâtiments

I-4-2-2.L'énergie solaire thermodynamique

Son fonctionnement repose sur la théorie de la focalisation des rayons du soleil par des miroirs courbes à travers un concentré monté sur une tour qui stocke les calories avant de les restituer sous forme mécanique, par exemple à l'aide d'une turbine à vapeur.[1]. La production électrique solaire thermodynamique est spécialement adaptée aux régions à fort ensoleillement direct, sachant que le rayonnement total est la somme de rayonnement direct et du rayonnement diffus. Le solaire thermodynamique, principalement basé sur des technologies à concentration, ne permet de tirer parti que du rayonnement solaire direct. Une exception concerne l'utilisation des capteurs à tubes sous vide, qui s'affranchissent de la nécessité de concentrer le rayonnement solaire et tirent aussi parti du rayonnement diffus .

I-4-2-3.L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire est l'énergie qui est en fait diffusée par le rayonnement du Soleil. Partant des ondes radio aux rayons gamma et en passant par la lumière visible, ces rayonnements solaires sont tous constitués de photons. L'énergie solaire est issue des réactions de fusion nucléaire qui animent le Soleil. L'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse du règne végétal ect...

L'énergie solaire est pratiquement à l'origine de toutes les formes de la production énergétique mondiale utilisées sur la Terre, de la géothermie et de l'énergie marémotrice. L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique , énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse. L'énergie solaire est en fait employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de la source énergétique primaire qu'est le rayonnement solaire. Il existe deux chemins d'exploitation de l'énergie solaire :

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

- Le solaire photovoltaïque qui transforme le rayonnement solaire en électricité;
- Le solaire thermique qui transforme le rayonnement en chaleur. Le solaire qu'on nomme « thermodynamique » est une variante du solaire thermique. Cette technique utilise l'énergie thermique du soleil afin de la transformer en électricité.

L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend essentiellement de :

- L'énergie solaire qui est envoyée par le Soleil, et qui va fluctuer avec son activité de fusion ;
- La nébulosité ;
- La latitude, la saison et l'heure, qui ont une grande influence sur la hauteur du soleil dans le ciel et donc l'énergie reçue par unité de surface au sol.

I-4-3. Rayonnement solaire

Malgré la distance considérable et qui est de 150 millions de kilomètres entre le soleil et la terre, la couche terrestre absorbe une quantité importante d'énergie 180 millions de giga watts , c'est pourquoi l'énergie solaire est bien présentée comme une alternative aux autres sources d'énergie. [3]. Cette énergie quittera la surface de la planète sous forme de rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde varie de 0,22 à 10 mètres. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose grossièrement comme suit :

- ✓ 9% dans la bande ultraviolette (inférieur à 0,4 μm)
- ✓ 47% dans la bande visible (entre 0,4 a0,8 μm).
- ✓ 44% dans la bande infrarouge (supérieur à 0,8 μm). [3]

I-4-4. Spectre de Rayonnement

Les photons sont des grains de lumière. Ces photons composent le rayonnement électromagnétique. L'énergie de chaque photon est proportionnelle à sa longueur d'onde λ . L'énergie de chaque photon s'exprime par :

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (I.1)$$

où: h est la constante de planck et qui est égale à $6,62 * 10^{-34} JS^{-1}$ et C le vitesse de la lumière

L'intégration de l'irradiante sur la totalité du spectre permet d'obtenir la puissance P ($W. m^{-2}$) fournie par le rayonnement.

I-4-5. L'air masse

L'intensité lumineuse qui est issue du soleil et qui est normalement incidente sur la surface de la Terre est appelée la constante solaire. Elle égale à $1,4 kW/m^2$ au-dessus de la couche atmosphérique et est réduite sur Terre à $1 kW/m^2$ par réflexion et absorption des particules présentes dans la couche atmosphérique. Cette perte est nommée la masse d'air notée (AM) pour air mass.

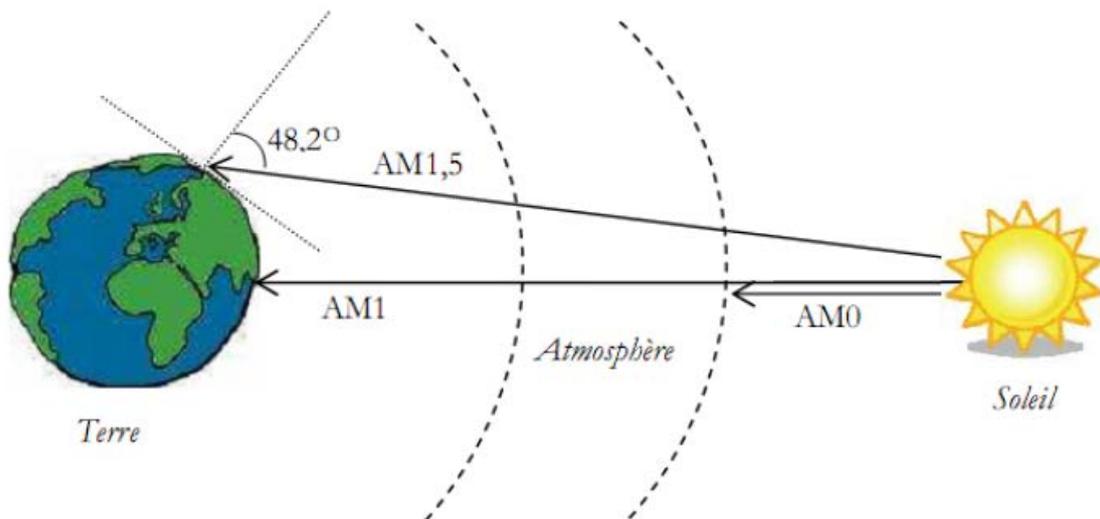


Figure I. 2 : Définition de l'air masse.

La désignation AM0 correspond à une masse d'air nulle pour la lumière arrivant au-dessus de notre atmosphère à incidence normale.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Le désignation AM1 correspond à une même lumière arrivant à la surface terrestre. L'appellation AM1.5 désigne la masse d'air rencontrée pour la lumière arrivant à 48.2° sur la surface de la Terre,

De manière générale, l'indice m associée à la masse d'air (AM m) est calculé comme suit :

$$m \approx \frac{1}{\sin(A)} \quad (I.2)$$

A étant l'angle entre l'incidence des rayons lumineux et l'horizontale à la terre.

Pour simplifier on utilise les notions suivantes.

- AM0 : Hors atmosphère (application spatial). $P = 1.36 \text{ KW./m}^2$.
- AM1 : le soleil est au zénith du lieu d'observation (à l'équateur).
- AM2 : spectre standard, le soleil est à 45°. $P = 1.36 \text{ KW/ m}^2$.

I.4.6. Le spectre solaire

Le spectre du soleil est sa décomposition en longueurs d'onde. La lumière solaire se compose de rayonnements de couleurs différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'onde. Les photons, grains de lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par la relation :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (I.3)$$

Où:

h est la constante de Planck,

ν : la fréquence,

c : la vitesse de la lumière

λ :la longueur d'onde.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Une courbe standard de la répartition spectrale du rayonnement solaire extraterrestre, compilée selon les données recueillies par les satellites est désignée sous le nom de AMO. Sa distribution en énergie est répartie comme suit :

L'ultraviolet $0.2\mu\text{m} < \lambda < 0,38\mu\text{m}$ 64%

Visible $0.38\mu\text{m} < \lambda < 0,78\mu\text{m}$ 48%

Infra-rouge $0.78\mu\text{m} < \lambda < 10\mu\text{m}$ 45%

La figure qui suit montre des courbes liées à la radiation spectrale solaire qui représente la puissance par unité de superficie par unité de longueur d'onde.

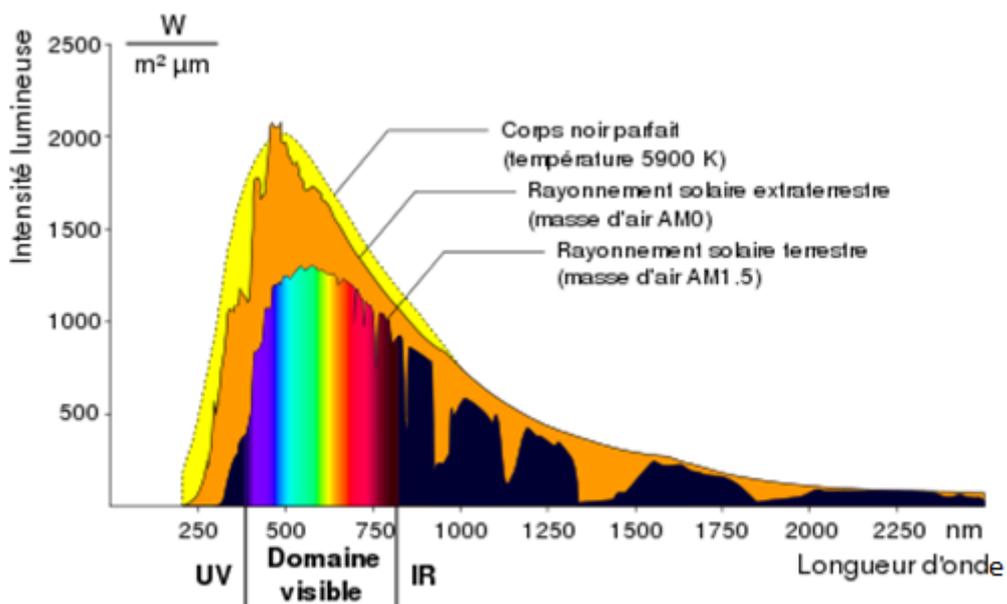


Figure I. 3 : le spectre du rayonnement solaire[4]

I-4-5. Types de Rayonnement

Afin de dimensionner une installation solaire, on doit connaître la quantité d'énergie disponible. Dans un plan donné, l'irradiation incidente, appelée irradiation globale est la somme de trois composantes (ou deux si le plan est horizontal) ainsi le rayonnement peut être réfléchi, direct et diffus. Le rayonnement direct est le composant le plus important du rayonnement total, suivi du rayonnement diffus. Le rayonnement réfléchi ne constitue qu'une proportion négligeable du

rayonnement total, à l'exception des endroits proches de surfaces très réfléchissantes, comme par exemple une couverture de neige.

- **Rayonnement direct**

C'est le plus efficace car il voyage directement depuis le soleil, il varie en fonction de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

- **Rayonnement réfléchi**

Ce rayonnement correspond au rayonnement renvoyé par le sol et l'environnement. Cette composante est généralement nulle sur un plan horizontal. Cette partie du rayonnement qui est reflétée par le sol dépend de l'atmosphère du site et doit être prise en compte lors de l'évaluation du rayonnement sur les plans inclinés. Le rayonnement réfléchi par le sol dépend donc lui aussi de l'inclinaison du rayonnement.

- **Rayonnement diffus**

Ce rayonnement correspond au rayonnement reçu de la voûte céleste, hormis le rayonnement direct. Ce rayonnement est constitué de photons qui ont été dispersés par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa composition change en fonction du temps. En effet, il est isotrope par temps nuageux, ce qui veut dire qu'il reçoit un rayonnement égal de toutes les directions de la voûte céleste. Par ailleurs, par temps clair ou brumeux, on observe une couronne plus lumineuse autour du soleil (portion appelée circumpolaire) et parfois un renforcement à l'horizon, la bande d'horizon, en plus du ciel bleu relativement isotrope (diffusion dans l'air) [11].

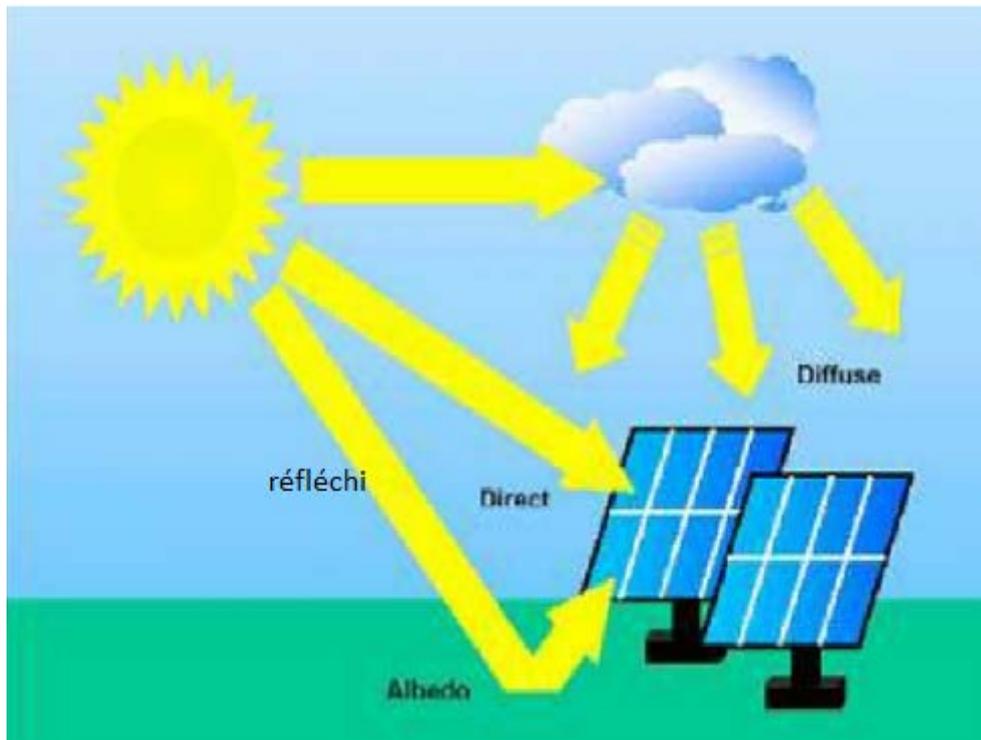


Figure I. 4 : Rayonnement solaire globale sur un collecteur photovoltaïque [11]

I-4-6- Gisement Solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données qui décrit l'évolution du rayonnement solaire disponible au fil du temps. [1] . Le gisement solaire est utilisé pour calculer la quantité d'énergie reçue par un dispositif d'énergie solaire et pour le dimensionner le plus précisément possible en fonction des demandes à satisfaire.

- **Le Gisement solaire en Algérie**

L'Algérie, possède un exceptionnel gisement solaire qui couvre pratiquement 2 381 745 km². L'Algérie est l'un des pays qui présente une diversité de sites en raison de sa grande superficie. Notons que le nord de l'Algérie est plus couvert que le reste du pays. Les régions sahariennes reçoivent plus d'énergie que les autres régions, mais la température de l'air dans ces régions désertiques est plus élevée. L'ensoleillement moyen global sur le plan horizontal obtenu varie entre 4,5 et 7,5 kWh / m² en raison de cette diversité climatique. En tenant compte de cette diversité, l'Algérie peut être divisée en huit zones climatiques avec un ensoleillement à peu près uniforme, tel qu'illustré sur la figure I.2 :

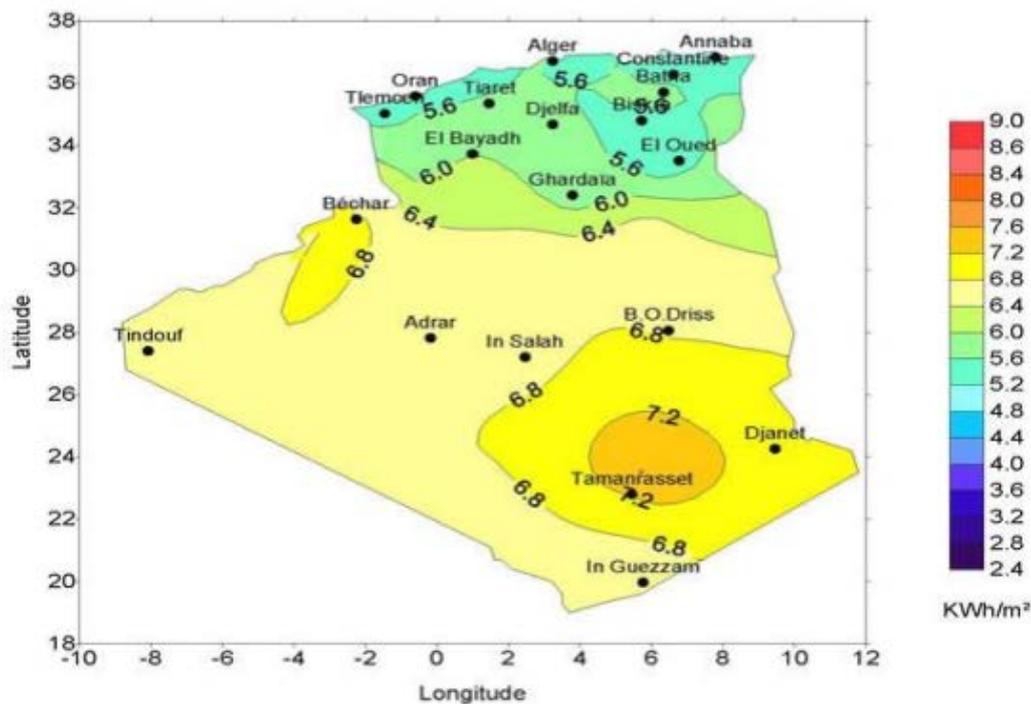


Figure I. 5: la carte d'éclairement solaire de l'Algérie [14]

I-5. Le Solaire Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des sources d'énergie les plus utilisées et les plus renouvelables. Elle est transmise à la terre sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique depuis l'espace. Elle consiste à transformer directement le rayonnement solaire en électricité. On utilise des convertisseurs photovoltaïques, également appelés cellules photovoltaïques, qui sont le composant fondamental de la conversion photovoltaïque. [5]

I-5-1. L'effet photovoltaïque

Lorsqu'un photon est absorbé au niveau d'une cellule photovoltaïque composée de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), l'effet photovoltaïque se produit. Grâce à ce dopage, un champ électrique est toujours présent dans la substance (comme un aimant a un champ magnétique permanent). Lorsqu'un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ($h\nu$) à l'électron, qui est alors libéré de sa bande de valence et subit le champ électrique intrinsèque.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure, laissant la place à un trou qui migre en sens inverse. Les électrodes situées sur les faces supérieure et inférieure capturent les électrons et leur font faire un travail électrique pour qu'ils entrent dans l'ouverture de la face avant, ce qui donne lieu à un courant électrique.[6]

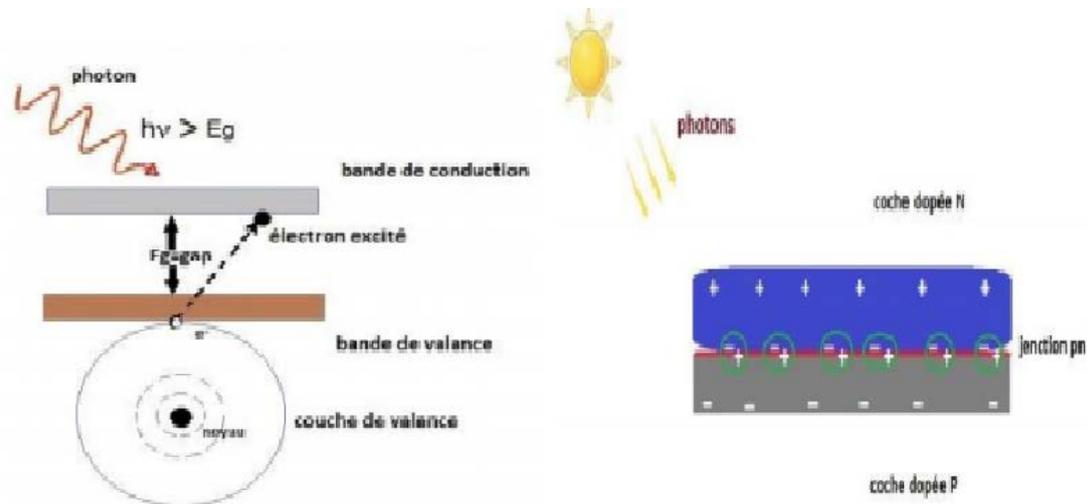


Figure I. 6 : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [7].

I-6-Avantages et inconvénients de L'énergie solaire

Les systèmes photovoltaïques présentent un large éventail d'avantages et d'inconvénients, notamment :

- **Les avantages de l'énergie solaire**
 - ✓ Elle est non polluante, inodore.
 - ✓ Possibilité de concevoir des systèmes exploitant l'énergie solaire autonomes, sans surveillance, qui fonctionnent de manière fiable pour une longue durée.
 - ✓ Les systèmes fonctionnant à l'énergie solaire n'ont pas besoin d'être reliés à une autre source d'énergie ou à une réserve de carburant mais en même temps peuvent être utilisés en conjonction avec d'autres sources d'énergie pour améliorer l'efficacité des appareils. [8] [12]
 - ✓ Les systèmes photovoltaïques peuvent supporter des conditions météorologiques défavorables, comme la neige et la glace.

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

- ✓ Une grande durabilité due à l'absence de pièces mobiles dans l'installation de systèmes photovoltaïques, ce qui rend l'utilisation de cette énergie idéale pour les endroits éloignés, comme le montre son utilisation sur les vaisseaux spatiaux.
- ✓ Les panneaux photovoltaïques peuvent être assemblés dans un système modulaire pour répondre à une variété de besoins énergétiques ; les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications allant du milliwatt au mégawatt.
- ✓ La technologie photovoltaïque est écologique car elle est non polluante, silencieuse et ne pollue pas l'atmosphère.
- ✓ Elles ont une longue durée de vie.

- **Inconvénients**

- ✓ La fabrication des modules photovoltaïques est une activité de haute technologie, ce qui en augmente le coût.
- ✓ Le rendement réel d'un module photovoltaïque demeure encore insuffisant vu les besoins.
- ✓ Ils sont influencés par les conditions météorologiques.
- ✓ La puissance annoncée par le fabricant ne correspond pas à la puissance réelle.
- ✓ Le rendement diminue avec le temps.

I-7 Conclusion

Nous avons pu au cours de ce chapitre présenté globalement les énergies renouvelable, nous nous sommes particulièrement intéressé à l'énergie solaire, nous avons donné quelques notions sur le rayonnement solaire, le gisement solaire en Algérie ect...., nous avons aussi parlé brièvement de l'effet photovoltaïque ,pour finir nous avons cité quelques avantages et inconvénients concernant l'énergie solaire.

Chapitre II : Cellules et panneaux solaires

Introduction

Une cellule solaire dite aussi photovoltaïque est un dispositif qui transforme directement l'énergie de la lumière en énergie électrique par effet photovoltaïque. La découverte du physicien français Antoine-César Becquerel en 1839 a donné le coup d'envoi de l'évolution de la technologie des cellules solaires.

Découvert par le physicien Henri Becquerel en 1839, le principe de l'énergie photovoltaïque a donc consisté à transformer la lumière solaire en énergie électrique. Lorsque Becquerel a fait des expériences avec une électrode solide dans une solution électrolytique, il a remarqué qu'une tension commençait à se développer lorsque la lumière tombait sur son électrode. Les cellules solaires sont connues sous le nom de photovoltaïque, qui signifie "lumière-électricité". Ces cellules solaires, utilisent l'effet photovoltaïque pour absorber l'énergie solaire et faire circuler le courant entre deux couches de charge opposée. Les systèmes photovoltaïques convertissent la lumière en électricité.

II.1. La cellule solaire

En fait, la cellule photovoltaïque est l'unité de base du système de conversion d'énergie solaire en électricité du type continue directement utilisable ou convertit en alternatif. Elle est basée sur l'effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière solaire. Une cellule solaire se compose en fait d'un certain nombre de couches, généralement deux couches principales, l'une de type N et l'autre de type P. La cellule solaire transforme les photons des rayons solaires en courant continu (CC) et en tension. La technologie affiliée est connue sous le nom de solaire photovoltaïque (SPV). Une cellule photovoltaïque au silicium typique est donc constituée d'une fine tranche de silicium dopé N comme par exemple des atomes de phosphore sur une couche plus épaisse de silicium dopé P comme par exemple avec des atomes de bore. C'est donc à la jonction ou interface métallurgique de ces deux couches semi-conductrice de dopage opposé que la cellule produit de l'électricité. Ces semi-conducteurs sont des matériaux électroniques spéciaux, sensibles à la lumière, ayant deux propriétés principales pour

produire l'électricité. En effet, quand la Lumière est absorbée, des électrons seront libérés dans le semi-conducteur et contribuent au courant. Lorsque les deux semi-conducteurs constituent une jonction, un champ électrique s'établit.

II.2. Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire

Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire est illustré sur la figure II.1

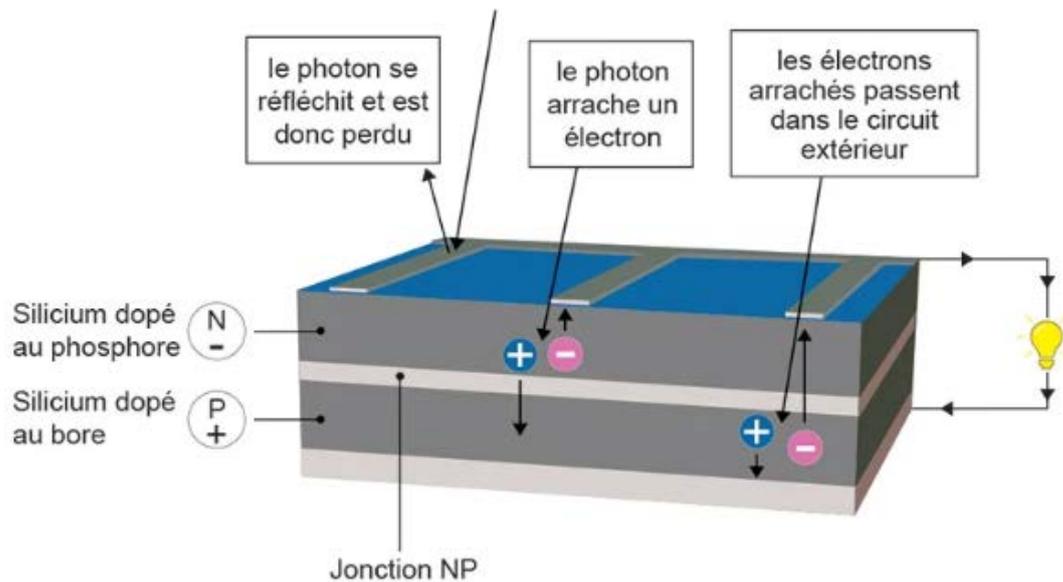


Figure II. 1: Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement des cellules solaires est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui lorsqu'ils sont percutés par les photons appelés aussi grains de lumière (particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s) mettent en mouvement un flux d'électrons. Lorsque les photons percutent un semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent alors des électrons aux atomes du semi-conducteur en question. Ces électrons se mettent alors en mouvement, de manière désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner. Cependant, pour avoir un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour se faire on associe deux types de silicium dopés différemment. La face exposée au soleil est dopée N avec des atomes de phosphore par exemple qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes dopés P avec du Bore par exemple et qui comportent moins d'électrons. Ainsi, cette double face ressemble à une pile où le côté très chargé en électrons devient la borne

négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique. De ce fait, lorsque les photons incidents viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, alors que les « trous » vont vers la zone P. Ces porteurs de charge sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. De ce fait, un courant continu se crée. Les porteurs donnent naissance à un photo-courant de génération. Ces deux contributions s'ajoutent pour créer un photo-courant résultant J_{ph} qui contribue au courant inverse de la diode. Une couche antireflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface.

En conclusion, trois éléments clés d'une cellule solaire servent de base à leur processus de fabrication. Le tout premier est un semi-conducteur, qui absorbe la lumière et la convertit en paires électron-trou. Le deuxième est la jonction semi-conductrice, qui sépare les porteurs photo-générés (électrons et trous), et le troisième est le contact avant et arrière de la cellule, qui permet au courant de circuler.

Nous tenons à préciser que la cellule PV est constituée d'un matériau semi-conducteur, qui conduit l'électricité mieux qu'un isolant mais pas aussi bien qu'un bon conducteur comme le métal. Comme nous l'avons déjà précisé auparavant, lorsque la lumière frappe une cellule photovoltaïque, la lumière incidente peut être réfléchie, absorbée ou passer directement à travers la cellule. Le semi-conducteur absorbe l'énergie et la transfère à des particules chargées négativement dans le matériau, appelées électrons. Les cellules PV utilisent une variété de matériaux semi-conducteurs, tel que le silicium de type p et n et est reliée à un circuit externe par une jonction p-n en couches. Les électrons sont éjectés du silicium sous l'effet de la lumière du soleil qui éclaire les panneaux. Les électrons éjectés dans un champ électrique interne font circuler un courant à travers la jonction p-n et le circuit externe (électricité). Il existe cependant différents type de cellules solaires selon les matériaux utilisés pour leur conception, toutes ces cellules utilisent l'effet photovoltaïque pour produire de l'électricité. Les différentes cellules solaires qui existent de nos jours sont présentées sur la figure II.2. qui suit:

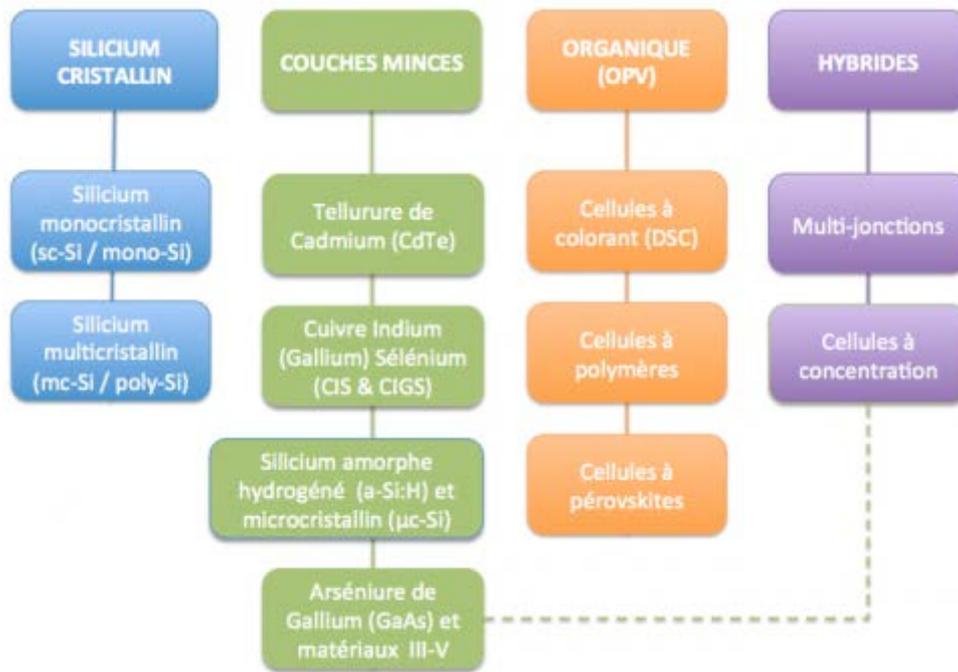


Figure II. 2: Les différentes cellules photovoltaïques.

En conclusion la production du courant électrique par une cellule solaire se fera comme suit :

- ✓ Des photons, ou paquets d'énergie, sont utilisés pour transporter la lumière dans les cellules solaires. La quantité de courant électrique se produit dans la zone d'appauvrissement de la jonction PN.
- ✓ Lorsqu'un photon de lumière est capté par l'un de ces atomes de silicium de type N, il va déplacer un électron, ce qui a pour conséquence l'apparition d'un électron libre et d'un trou. L'électron libre et le trou ont suffisamment d'énergie pour s'échapper de la zone de déplétion. Les électrons circuleront dans un fil connecté de la cathode (silicium de type N) ou à l'anode (silicium de type P).
- ✓ L'électron est attiré par la charge positive du matériau de type P et circule dans la charge externe provoquant le passage d'un courant électrique. L'électron délogé attire les électrons du matériau de type N et migre vers le contact électrique arrière. Lorsque l'électron rejoint le silicium de type P à

partir du contact électrique arrière, il se combine avec le trou à partir du contact électrique arrière, rétablissant ainsi la neutralité électrique.

II.3. Les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

Les performances de la cellule photovoltaïques sont représentées à travers sa caractéristique courant-tension $I_d(V_d)$. En effet, cette caractéristique permet la lecture des paramètres caractérisant la cellule solaire, tel que le rendement de la cellule, les différents types des résistances parasites et le facteur de forme. Par ailleurs, nous pouvons utiliser cette caractéristique courant -tension de la diode pour contrôler et commander ses différents paramètres physiques tels que le dopage et l'épaisseur de ses couches. Le courant de la diode est mesuré en fonction de la tension qui lui appliquée sous obscurité et sous ensoleillement, la lumière permet de décaler la courbe I_d-V_d vers le bas dans le quatrième quadrant, vu que le courant photoélectrique provoque la production de l'énergie.

Les principaux paramètres permettant de caractériser les performances des cellules solaires sont donc le point de puissance maximale P_{max} , le courant de court-circuit J_{sc} , la tension en circuit ouvert V_{co} , le facteur de forme FF et le rendement de conversion. La caractéristique courant-tension est utilisée pour déterminer ces paramètres.

Pour une détermination fiable de la caractéristique J-V, il est important de déterminer ces paramètres dans les conditions de test standard (STC) suivantes :

- ✓ Un éclairement énergétique total de $1000W/m^2$
- ✓ Le spectre lumineux correspondant à un air mass de AM1.5
- ✓ Mesure effectuées à $300^{\circ}k$

II.3.1. Caractéristique I-V d'une cellule solaire sous obscurité

Dans l'obscurité la cellule solaire se comporte comme un composant actif n dans ce cas il n'y a aucune production de courant. Dans ce cas la densité de courant totale traversant la cellule solaire dans l'obscurité est donnée par :

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AK_B T}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.1})$$

$$J_0 = \left(\frac{D_p n_i^2}{L_p N_D} + \frac{D_n n_i^2}{L_n N_A} \right) \quad (\text{II.2}).$$

Où:

T la température absolue en degrés kelvin,

q la charge élémentaire ($1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$),

K_B est la constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$),

A le facteur d'idéalité de la diode

J_0 le résultat de la recombinaison des porteurs minoritaires dans les deux régions quasiment neutres n et p, leur valeur est définie par l'équation (II.).

D_n , D_p et sont respectivement les coefficients de diffusion des porteurs minoritaires dans le matériau n et p,

N_i la concentration intrinsèque,

L_n et L_p sont les longueurs de diffusion du porteur minoritaire dans le matériau n et p

N_D et N_A la concentration des dopants dans deux régions n et P.

Le courant correspondant obéissant à l'équation de Shockley aura pour expression :

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AK_B T}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.3})$$

II-3-2. Caractéristique sous ensoleillement

On considère ici la caractéristique (J-V) d'une cellule solaire idéal. Quand la cellule solaire est éclairée soit donc sous ensoleillement elle est traversée par un spectre solaire riche en photons de différentes énergies, par conséquent un photo-

courant est créé à ses bornes dont valeur est relative au flux lumineux auquel le elle est soumise La caractéristique (J-V) de la cellule éclairée dans le cas idéal est représentée par l'équation (II.4).

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AK_B T}\right) - 1 \right] - J_L = J_{dark} - J_{light} = J_{dark} - J_{ph} \quad (II.4)$$

II.4. Paramètres photovoltaïques d'une cellule solaire dans le cas idéal

Le comportement de la cellule solaire est examiné à travers ses principaux paramètres électriques et qui sont JCC, VCO, FF, η dans ce cas JSC est la densité du courant de court-circuit, VCO la tension en circuit ouvert, FF le facteur de forme et η le rendement de conversion de la cellule solaire.

La figure (II- 3) présente la caractéristique I(V) d'une cellule solaire en obscurité et sous ensoleillement avec tous les paramètres électriques.

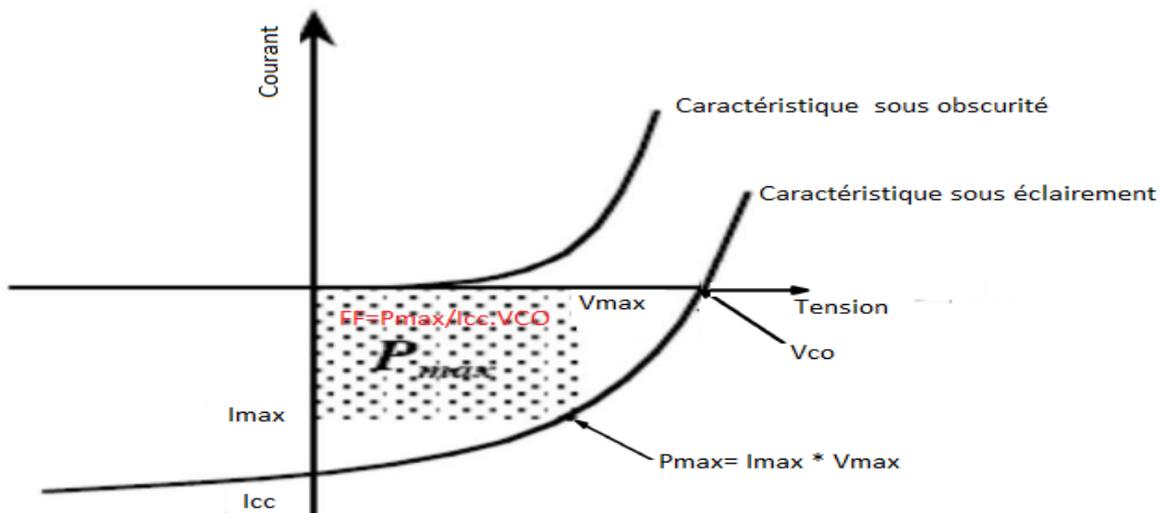


Figure II. 3: Caractéristique I(V) de la cellule solaire sous ensoleillement et sous obscurité.

Pour des raisons de commodité la caractéristique courant- tension de la cellule solaire est inversée comme suit:

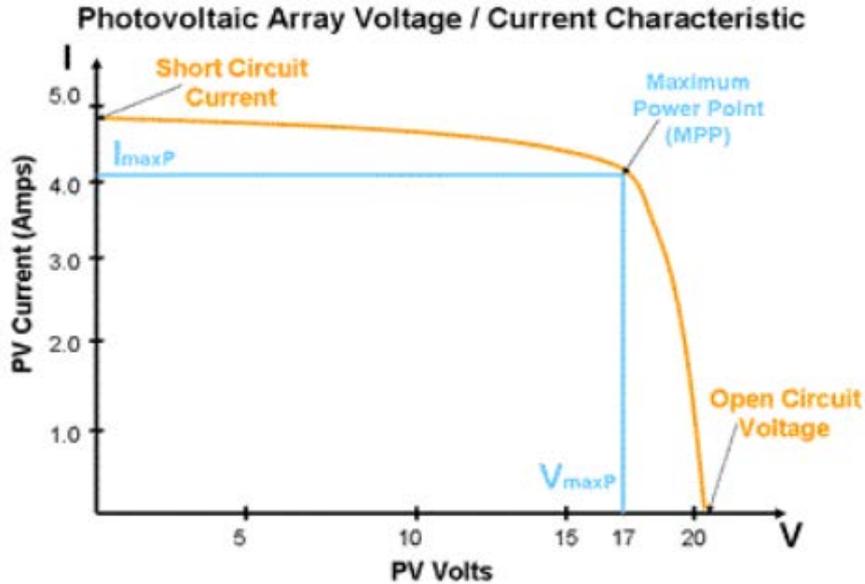


Figure II. 4: Caractéristique $I(V)$ de la cellule solaire sous ensoleillement

Ainsi dans l'obscurité et dans le cas idéal, la courbe obéit à l'équation de Shockley donnée en II.1, Sous éclaircissement, un terme J_{ph} tenant compte de la photo courant généré est rajouté. Dans ce cas, la densité de courant est exprimée par l'équation II.4. Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, d'autres paramètres tenant compte des effets résistifs, des recombinaisons et des fuites vers les bords doivent être considérés, ainsi les résistances ohmiques provoquent des pertes dans toute cellule solaire. Dans une cellule solaire, par exemple, les résistances de contact ou les résistances de matériau provoquent des résistances en série, tandis que les shunts locaux ou d'autres imperfections provoquent des résistances en parallèle. Dans le circuit équivalent d'un r , une résistance série commune (R_s) et une résistance parallèle commune (R_{sh}), également appelée résistance de shunt, sont prises en compte. La chute de tension aux bornes de R_s et le courant shunté par R_{sh} sont pris en compte dans l'équation de la diode ci-dessous :

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V - I \cdot R_s)}{K_B \cdot T}\right) - 1 \right] + \frac{V - I \cdot R_s}{R_{sh}} - I_{ph} \quad (II.5)$$

Le schéma équivalent correspondant est représenté sur la figure II.5 par un générateur de courant I_{cc} , une diode et deux résistances $R_{série}$ notée R_s et R_{shunt} notée R_{sh} .

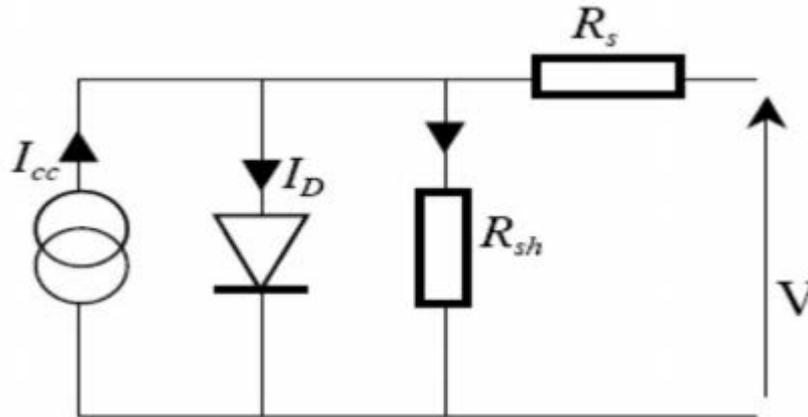


Figure II. 5: Schéma équivalent d'une cellule solaire dans le cas réel.

- ✓ $R_{série}$ notée R_s est donc une résistance série liée à la résistivité volumique et à l'impédance des électrodes et des matériaux. La pente de la courbe courant tension au point V_{oc} représente l'inverse de la résistance série ($1/R_s$).
- ✓ R_{shunt} notée R_{sh} est une résistance shunt liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques. La pente de la courbe courant tension au point I_{cc} représente l'inverse de la résistance shunt ($1/R_{sh}$).

II.4.1 Densité de courant de court circuit

C'est le courant obtenu en court-circuit des bornes de la cellule. Le courant de court circuit croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule. Il dépend essentiellement de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs, et de la température. Le courant maximum fourni par la cellule solaire dépend fortement de ses propriétés optiques. Dans le cas idéal J_{CC} égale à J_{ph} .

II.4.2. Tension en circuit ouvert notée V_{co}

La tension en circuit ouvert V_{co} est obtenue quand la cellule n'est branchée à aucun circuit externe. Elle représente le maximum de tension aux bornes de la cellule solaire, pour un courant nul. Ce paramètre dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. V_{co} décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse. La tension en circuit ouvert représente la valeur maximale en terme de tension que peut fournir la cellule solaire.

$$V_{co} = \frac{AK_B T}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (\text{II.6})$$

Sachant que la valeur du courant d'éclairement I_{ph} est très grande par rapport à I_0 , on peut écrire l'équation (II.6) sous la forme :

$$V_{co} = \frac{AK_B T}{q} [\ln I_{ph} - \ln I_0] = \frac{AK_B T}{q} \ln I_{ph} - \frac{AK_B T}{q} \ln I_0 \quad (\text{II.7})$$

I_0 représente le phénomène de recombinaison qu'il faut minimiser pour augmenter la valeur de la tension de circuit ouvert V_{co} .

Notons aussi que cette tension dépend de la température, en effet quand la température augmente la tension V_{co} diminue.

II.4.3: Le facteur de forme FF

Le facteur de forme noté FF (fill factor) est un critère de qualité pour toutes les cellules solaires. Il est représenté par la forme rectangulaire dans la caractéristique (I-V) des la figure II.3 et II.4. Dans une cellule idéale, la courbe sera un parfait rectangle et le facteur de forme sera égal à 1. La valeur du facteur de forme FF est déterminée à partir du rapport du maximum de puissance produite par la cellule solaire et le produit du courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert, ainsi ce facteur s'exprime par:

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (\text{II.8})$$

Plus FF est élevé, plus l'efficacité de conversion est meilleure.

II.4.4. Le rendement de conversion η (efficiency)

Le rendement de conversion en puissance est considéré comme étant le paramètre le plus important dans la cellule solaire. Ce rendement de conversion noté η exprime la capacité de la cellule à convertir efficacement les photons de la lumière incidente en courant électrique. η est calculé par le rapport entre la puissance de sortie P_{out} (*puissance maximale délivrée par la cellule*) et la puissance d'entrée de la cellule P_{in} (*puissance d'éclairement solaire incident*). Dans les applications terrestres on utilise le spectre solaire AM1.5 avec une puissance totale incidente égale à 1000W/m^2 .

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = FF \cdot \frac{I_{cc} \cdot V_{co}}{P_{sol}} \quad (\text{II.9})$$

II.4.5. Le rendement quantique EQE

Le rendement quantique permet de calculer la probabilité qu'un photon incident d'énergie E puisse fournir un électron à un circuit externe. Il est considéré comme un paramètre quantitatif et qualitatif dans la description de la cellule solaire. Ce paramètre permet de mesurer le nombre d'électrons en sortie de la cellule solaire par rapport au nombre de photons incidents. Il permet aussi la quantification des pertes dans la cellule solaire par réflexion à la surface, pertes des photons de faible et forte énergie. Le rendement quantique est défini par:

$$EQE = \frac{J_{cc}(\lambda)}{\varphi(\lambda)} \cdot \frac{E_{ph}(\lambda)}{q} = \frac{J_{cc}(\lambda)}{\varphi(\lambda)} \cdot \frac{h \cdot C}{q \lambda} \quad (\text{II.10})$$

Où :

J_{cc} est la densité courant de court-circuit,

E_{ph} l'énergie du photon

$\varphi(\lambda)$ le flux lumineux incident,

q la charge d'électron et

E_{ph} l'énergie du photon

h est la constante de Planck,

λ est la longueur d'onde

c est la vitesse de la lumière

II.5: Différents types de cellules solaires

De nombreuses cellules photovoltaïques ont aujourd'hui été perfectionnées pour exploiter la lumière du soleil via des panneaux solaires. Le silicium, les terres rares ou les plastiques sont utilisés pour concevoir des cellules solaires et produire ainsi de l'électricité, mais chaque technologie envisagée présente des avantages et des inconvénients.

II.5.1. Cellules solaires au silicium

Actuellement, environ 90 % des systèmes photovoltaïques dans le monde sont à base de cellules au silicium. Les cellules de silicium peuvent être des cellules monocristallines et poly-cristallines pouvant concevoir des panneaux solaires à base de silicium monocristallin ou poly-cristallin..

La pureté du silicium est un facteur crucial. En effet, la pureté a un impact direct sur l'efficacité des cellules conçues. Dans ce cas, la pureté fait référence à la façon dont les atomes de silicium ont été alignés. Plus le silicium obtenu est pur, meilleur est l'alignement. Ceci, à son tour, conduit à des taux de conversion de la lumière solaire élevés.

Dans l'industrie, deux types de silicium cristallin sont utilisés. Le premier est le monocristallin, qui est élaboré en tranchant des plaquettes (jusqu'à 150 mm de diamètre et 350 microns d'épaisseur) à partir d'une boule cristalline accrue. Le second

type est le silicium multi-cristallin, qui est formé en sciant un bloc de silicium canalisé en barres et ensuite en tranches.

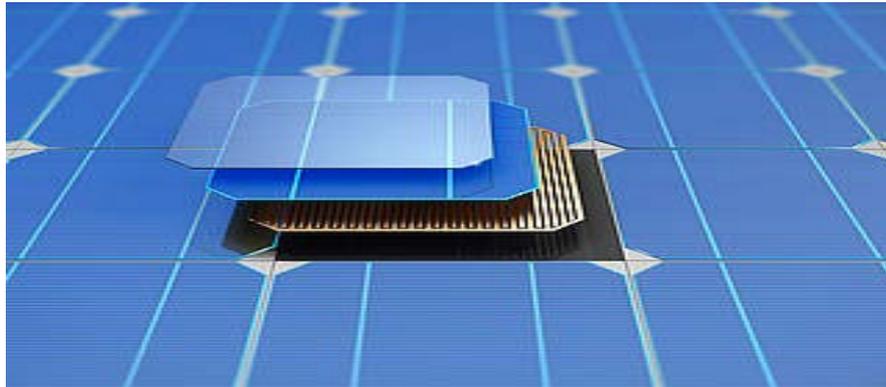


Figure II. 6 : Exemple de cellules solaires à base de silicium

II.5.1.1. Silicium monocristallin

Les cellules photovoltaïques monocristallines sont constituées d'un seul cristal de silicium cristallin. Elles ont une apparence distincte car elles sont fréquemment colorées, et les cellules ont une forme cylindrique. Les fabricants découpent les quatre côtés des cellules monocristallines pour maintenir des coûts bas et des performances optimales. C'est ce qui leur donne leur apparence distincte.



Figure II. 7: Exemple de cellules solaires à base de silicium monocristallin.

✓ ***Avantages***

Certains des avantages des cellules solaires monocristallines sont énumérés ci-dessous.

1. Elles sont efficaces, avec un taux de 15 à 20 %.
2. En raison de leur excellent rendement, elles prennent beaucoup moins de place que les autres types.
3. Ce type de cellule solaire est réputé pour durer plus longtemps, la plupart des fabricants offrent une garantie de 25 ans.
4. Elles fonctionnent mieux dans des conditions de faible luminosité, ce qui les rend adaptées aux conditions brumeuses.

✓ ***Inconvénients***

Voici quelques inconvénients concernant les cellules solaires monocristallines :

1. C'est les cellules solaires les plus coûteuses sur le marché du photovoltaïque, elles sont donc hors de portée pour la plupart des utilisateurs.
2. Les effets de la variation de la température ont un impact négatif sur les performances de ce type de cellules. Toutefois, comparé aux autres types de cellules solaires ceci ne représente qu'un inconvénient mineur.
3. Lorsque le silicium est tranché pendant la fabrication, il y a beaucoup de déchets.

II.5.1.2. Silicium poly-cristallin

Au début des années 1980, les cellules poly-cristallines ont été les premières cellules solaires à être développées dans l'industrie. Contrairement aux cellules monocristallines, les cellules poly-cristallines ne passent pas par le même processus de

découpe. Dans ce cas, le silicium est fondu et versé dans un moule carré. C'est ce qui donne aux cellules une forme plutôt carrée.

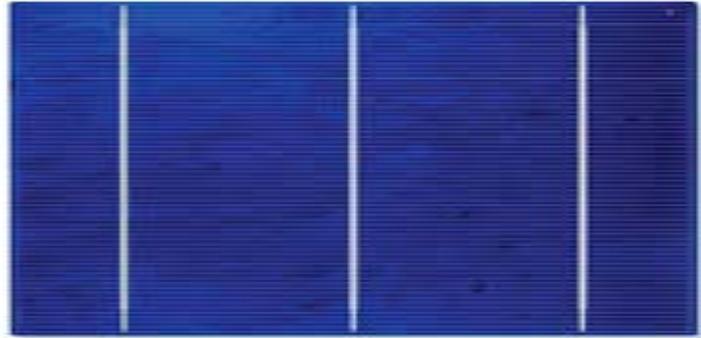


Figure II. 8: Exemple de cellules solaires à base de silicium poly-cristallin

✓ *Avantages*

On cite dans cette partie quelques avantages concernant les cellules solaires polycristallines :

1. Le processus de production est plus facile et moins coûteux que celui des cellules monocristallines.
2. La quantité de déchets de silicium est nettement réduite comparé à celle obtenue pour la conception de cellules solaires à base de silicium monocristallin.
3. Comparé aux cellules monocristallines, les températures élevées ont moins d'impact négatif sur le rendement de telles cellules, ce qui fait baisser considérablement le prix des cellules polycristallines, les rendant plus attractives pour les utilisateurs vivant dans des climats plus chauds.

✓ *Inconvénients*

Voici quelques inconvénients concernant les cellules solaires polycristallines

1. En raison de la faible pureté du silicium, le rendement n'est que de 13 à 16 % environ. Par conséquent, elles ne sont pas les plus rentables du marché photovoltaïque.
2. Leur rendement étant plus faible, ce qui signifie qu'elles prennent plus de place. Par conséquent, l'installation nécessite un espace supplémentaire sur le toit.

En conclusion, en comparant les cellules à base de silicium monocristallin et polycristallin on peut dire que :

Les panneaux monocristallins et poly cristallins partagent des caractéristiques communes. Tout d'abord, ils sont tous les deux fabriqués à partir du silicium, la différence se fait au niveau de la cristallisation. Tout d'abord, la cristallisation est processus par lequel le silicium est solidifié sous forme de lingots qui seront par la suite découpés en fines lamelles nommés « wafers ». Généralement les lingots ainsi obtenus après cette étape de solidification sont formés de cristaux de qualité plutôt variable, ce qui déterminera alors le rendement des cellules photovoltaïques conçues à partir de ces lingots. La cristallisation permettant de former des lingots de silicium monocristallins est un processus plutôt complexe, car en fait il faut une très grande quantité de silicium purifié pour pouvoir produire seulement quelques lingots de silicium monocristallin qui sont de forme cylindrique ainsi qu'une grande quantité de produits chimiques pour obtenir la pureté recherchée. Ces panneaux à base de silicium monocristallin sont de couleur foncée et uniforme. En effet, vu que la cellule est dans ce cas issue d'un seul et même cristal de silicium, son aspect est alors homogène, de couleur bleu/noir la rendant facilement reconnaissable à l'œil nu.

Contrairement aux panneaux à base de silicium monocristallin, pour la réalisation de panneaux solaires poly-cristallins, la cristallisation est beaucoup moins complexe que celle des panneaux solaires monocristallins Leur couleur est bleue mais non uniforme formée d'une mosaïque de cristaux. On utilise dans cas du silicium liquide qu'on coule dans des cuves et qu'on laisse refroidir lentement, il en résulte des lingots refroidis en un agrégat de multiples cristaux de silicium, qu'on reconnaît par leur couleur bleue.

II.5.2. Cellules solaires amorphes

Le terme amorphe fait ici référence à une absence de toute forme. Contrairement aux autres types de cellules solaires à base de silicium, le silicium utilisé pour concevoir ce type de cellule solaire n'est pas structuré ou cristallisé au niveau moléculaire. Vu leur puissance inférieure, ces cellules photovoltaïques "informes" furent auparavant utilisées pour des applications à petite échelle, telle que pour la réalisation de calculatrices de poche. Cependant, la superposition de plusieurs cellules amorphes permet d'augmenter le rendement qui peut atteindre, jusqu'à 8 %. Les panneaux solaires en silicium amorphe constituent de nos jours une catégorie puissante de panneaux photovoltaïques.

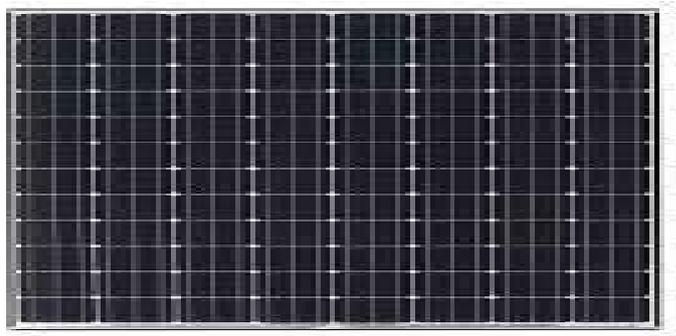


Figure II. 9: Panneau solaire à base de cellules solaires amorphes

✓ *Avantages*

1. Ce type de cellules fonctionnent avec un très faible éclairage.
2. Très peu de matière et d'énergies est utilisées pour leur fabrication. Puisque ces cellules ne nécessitent qu'environ 1 % du silicium qui aurait été utilisé pour produire une cellule solaire à base de silicium cristallin.
3. Les panneaux solaires en silicium amorphe sont devenus nettement plus flexibles et légers grâce aux différentes recherches les concernant, ce qui rend le transport des panneaux à base de cellules amorphes et leur installation nettement moins problématiques.

4. Elles sont beaucoup moins sensibles à des températures externes élevées.

Inconvénients

1. Taille des panneaux à base de cellules au silicium amorphes peut aller jusqu'à 2 fois celle des panneaux à base de silicium monocristallin.
2. Elles sont plus coûteuses à l'achat.

Tous les panneaux conçus au silicium monocristallin, poly-cristallin ou amorphe ne sont pas recommandés pour le transport car ils sont à la fois fragiles et rigides. De plus, ils sont encore assez chers à l'achat et à la fabrication, ce qui complique encore plus le transport. D'autres alternatives, comme les cellules solaires organiques, s'avèrent plus transportables et moins coûteuses, ce qui est de bon augure pour l'avenir.

II.5.3. Cellules de couches minces

Les cellules solaires à couches minces sont fabriquées en empilant plusieurs couches minces de matériau photovoltaïque les unes sur les autres pour former un module. Il existe plusieurs types de cellules solaires à couche mince, et leur différence est déterminée par le matériau utilisé pour les couches photovoltaïques. Les différents types sont les suivants :

- ❖ Silicium amorphe
- ❖ Tellure de cadmium
- ❖ Séléniure de cuivre, d'indium et de gallium
- ❖ Cellules photovoltaïques organiques

Les taux d'efficacité des cellules solaires à base de couche mince varient entre 7 % et 13 % selon la technologie utilisée. Depuis l'an 2002, le niveau de connaissance et la popularité de ce type de cellules solaires à couche mince ont augmenté de façon

spectaculaire, ce qui implique une augmentation de la recherche et du développement. Par conséquent, nous pouvons nous attendre à ce que les futurs modèles aient des taux d'efficacité de 10 à 16 %.

Avantages

Voici quelques-uns des avantages des cellules solaires à couche mince :

1. Elles peuvent être fabriquées pour être flexibles, ce qui les rend adaptées à un large éventail de situations et de types de bâtiments.
2. La production de masse étant simple, elles peuvent être moins coûteuses à produire que les cellules solaires cristallines.
3. L'ombrage a un impact comparable sur leur efficacité.

Inconvénients

Voici quelques-uns des inconvénients des cellules solaires à couche mince :

1. Elles ne sont pas adaptées à un usage domestique car elles prennent beaucoup de place.
2. En raison de leur faible efficacité, elles entraînent des coûts d'entretien supplémentaires.
3. Elles ont une durée de vie plus courte et, par conséquent, une période de garantie plus courte.

II.5.4. Cellules solaires à base Tellure de cadmium

Le tellure de cadmium (CdTe) est un matériau cristallin à structure cubique composé de cadmium et de tellure . Le CdTe est de nos jours utilisé pour de nombreuses applications, dont cellules photovoltaïques à couches minces qui furent développé depuis les années 1960, ce type de cellule présente certains avantages elles

sont à faible coût mais aussi des inconvénients essentiellement dû à l'utilisation de matériaux rares et à la toxicité potentiellement élevée comparé aux cellules à base de silicium. En effet, la toxicité du cadmium est une préoccupation environnementale qui est atténuée par le recyclage des modules CdTe à la fin de leur cycle de vie, mais des inquiétudes subsistent encore. Des incertitudes subsistent encore, et le public consommateur et autre est sceptique à l'égard de cette technologie. À moyen terme, l'utilisation de matériaux rares pourrait également devenir un facteur limitant sans aucun doute l'évolutivité industrielle de la technologie CdTe car les composés du cadmium sont des substances cancérigènes toxiques pour l'homme. L'Union européenne autorise l'exportation de produits à base de Cd, alors que la Chine ne le fait pas. La seule réglementation du cadmium est un sujet brûlant en ce moment.

Cependant notons que malgré cela depuis quelques années, pour produire un panneau solaire, un nombre croissant d'entreprises recourent au tellure de cadmium en tant que composé semi-conducteur, à la place du Silicium. Le tellure de cadmium est un produit très stable qui permet l'amélioration du rendement des panneaux, tout en diminuant leur coût, et ceci grâce à une meilleure capacité d'absorption de la lumière et grâce aussi à un coefficient thermique bas.

Une couche d'absorption en tellure de cadmium est alors placée sur un support de verre puis couverte par une autre plaque de verre qui permet de sceller hermétiquement le panneau. Les modes de production et d'utilisation du $CdTe$ ont permis de réduire l'empreinte carbone des techniques de production de cellules et panneaux photovoltaïques. Le tellure de cadmium, en raison d'une toxicité intrinsèque nécessite d'être produit, utilisé et recyclé avec précaution. Il est cependant récupérable et recyclable depuis les années 2000, des déchets de fabrication des modules, mais aussi les modules retournés sont recyclés.

II.5.5. Cellules solaires à base Tellure de cadmium

Cellules solaires au sélénure de cuivre, d'indium et de gallium L'un des matériaux les plus intrigants et les plus controversés dans le domaine de l'énergie solaire est le CIGS. Le cuivre-indium-gallium-sélénure, ou CIGS en abrégé

Les cellules solaires à base du CiGs sont fabriqués en déposant une fine couche de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium sur un support en verre ou en plastique, ainsi que des électrodes avant et arrière pour recueillir le courant. Vu que ce matériau a un coefficient d'absorption assez important et qu'il absorbe fortement la lumière du soleil, il nécessite un film beaucoup plus fin que les autres matériaux semi-conducteurs. Les couches de CIGS utilisées, sont suffisamment fines pour être flexibles, ce qui permet de les déposer sur des substrats flexibles.

II.5.6. Cellules solaires à base de l'Arséniure de Gallium

L'arséniure de gallium est un matériau III.V constitué de deux éléments de base : le gallium ainsi que l'arsenic le plus couramment utilisé pour la conception de cellules solaires. Cela est en fait attribué à la grande mobilité de ses électrons, son gap direct et du aussi au bon mécanisme de des mécanismes de croissance.

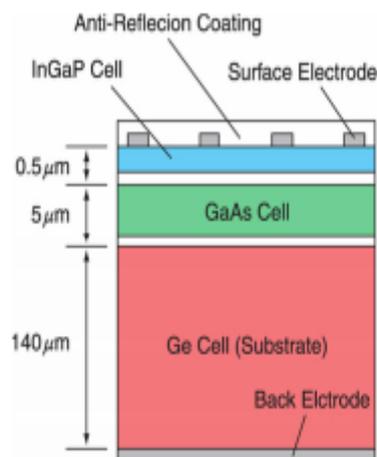


Figure II. 10: Cellule solaire à base d'arséniure de Gallium.

Une cellule solaire ou photovoltaïque en GaAs peut être fabriquée de différentes manières. Le cristal de GaAs doit d'abord être créé. Sans cela, la cellule solaire ne pourra pas fonctionner. Cette section présente quelques méthodes de fabrication des cristaux de GaAs. Il existe trois méthodes efficaces pour la croissance des cristaux : Le dépôt électrochimique ou galvanoplastie, l'épitaxie par faisceau moléculaire, l'épitaxie en phase vapeur métallo-organique et le dépôt électrochimique ou galvanoplastie.

II.5.7. Cellule solaire à colorant (DSSC) de troisième génération

Les cellules solaires sensibilisées par un colorant (DSSC), sont aussi nommées cellules sensibilisées par un colorant (DSC). Ces cellules solaires sont des cellules de troisième génération. Elles permettent de convertir toute la lumière visible en énergie électrique. En raison de la façon dont ces cellules imitent l'absorption de l'énergie lumineuse par la nature, cette nouvelle catégorie de cellules solaires avancées peut être comparée à une photosynthèse artificielle.

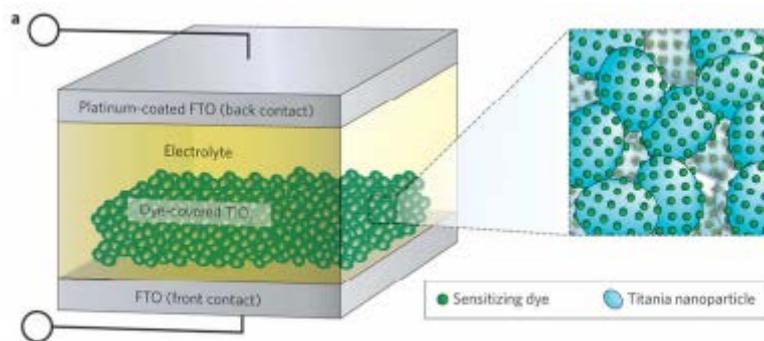


Figure II. 11: Cellules solaire à colorant.

Une cellule photovoltaïque sensibilisée par un colorant est une cellule solaire à faible coût qui appartient à la famille des cellules solaires à couche mince. Il s'agit dans ce cas d'un système photo électrochimique essentiellement basé sur un semi-conducteur formé entre une anode photo-sensibilisée et un électrolyte.

II.5.8. Cellules à base de polymères

Ce type de cellules utilisent un matériau organique comme couche active afin d'absorber la lumière solaire. Un matériau organique, tel qu'un polymère conjugué, est utilisé dans les cellules solaires.

Les cellules solaires en polymère sont actuellement loin derrière les cellules solaires classiques en silicium. Cependant, à mesure que la pression en faveur de l'énergie verte se poursuit, le faible coût des cellules solaires en polymère pourrait

jouer un rôle important, et les énormes progrès en termes d'efficacité de ces cellules ne font ressentir.

II.5.9. Cellules à base de pérovskites

En termes de facilité de traitement, les cellules en pérovskite sont plus performantes que les cellules solaires au silicium. En effet, pour produire des plaquettes de silicium de haute pureté, les cellules traditionnelles au silicium nécessitent en fait des processus coûteux, qui s'effectuent en plusieurs étapes, exigeant des températures assez élevées allant jusqu'à 1000 °C et du vide dans des salles blanches spéciales. Ces méthodes sont bien entendu plus difficiles à mettre à l'échelle, alors que le matériau pérovskite organique-inorganique peut être produit dans un laboratoire traditionnel en utilisant des techniques plus simples de chimie humide et de traitement. Plus particulièrement, les tri halogénures de plomb de diméthylammonium et de formamidinium ont été synthétisés à l'aide de divers solvants et de techniques de dépôt en phase vapeur.

II.5.10. Cellules photovoltaïques organiques

Elles sont également connues sous le nom de cellules photovoltaïques organiques telles que les cellules à base de P3HT/PCBM, ces cellules constituent la troisième génération de la technologie des cellules solaires (OPV). Lorsqu'il s'agit d'absorber la lumière du soleil, ces cellules organiques sont extrêmement puissantes. Elles peuvent recueillir plus de lumière solaire que tout autre type de cellule solaire. Il a été dit que l'énergie organique est l'avenir de la technologie solaire. Les cellules solaires organiques sont des cellules solaires à couche mince qui ont le potentiel de stocker beaucoup plus d'énergie solaire que les autres technologies photovoltaïques. En effet, ce type d'énergie solaire à base d'OPV est censé faire progresser l'industrie du photovoltaïque à une vitesse fulgurante, notamment grâce aux nouvelles recherches et au développement qui permettent d'accroître la durabilité de ce type de cellules. Cette nouvelle technologie est une branche de l'électronique qui traite des polymères

organiques conducteurs, ou de petits modules organiques, afin que l'absorption de la lumière et le transport des charges aient lieu.

II.6. Modules photovoltaïques

Le module PV appelé aussi panneaux solaire est constitué de plusieurs cellules connectées en série et/ou en parallèle et disposées en rangées [16].

Cet assemblage de cellules solaire diffère selon les technologies et peut de ce fait entraîner des pertes supplémentaires en plus des pertes optiques et électriques. En effet, l'association des cellules PV ne se fait pas de la même manière pour un module en silicium cristallisé et un module en couches minces. Pour un panneau solaire le courant délivré peut s'exprimer par :

$$I_{module} = I_{Ph} - I_0 \exp\left[\frac{q}{nAKT} (V + R_{Se}I) - 1\right] - \frac{V + IR_{Se}}{R_{Pe}} \quad (\text{II-11})$$

Dans l'équation (II-11) les deux résistances R_{Se} et R_{Pe} représentent la résistance série et parallèle du module respectivement, et sont telles que:

$$R_{Se} = n \cdot R_S \quad (\text{II-12})$$

$$R_{Pe} = n \cdot R_P \quad (\text{II-13})$$

où:

A : est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < A < 3$).

I_{Ph} : le photo-courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident).

I_0 : il représente le courant de fuite interne à une cellule causée par la jonction p - n de la cellule.

R_P : la résistances shunt

R_S : la résistance série

q : la charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$)

K : la constant de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$).

T_C : la température de jonction en degré Kelvin

n représente le nombre de cellules connectées en série ou parallèle.

II.7.1. L'association en série

Lorsque l'on connecte N_s cellules solaires en série, leurs tensions respectives s'additionnent alors que courant généré est le même sur toute la chaîne photovoltaïque. La caractéristique résultante de l'association de ces cellules solaire en série est estimée en additionnant chacune de ces tension individuelles V_i pour les N_s cellules connectées en série pour un même courant. Pour plusieurs panneaux en série le courant reste constant alors que la tension totale est la somme des tensions individuelles de chacun des panneaux. On observe également que l'impédance optimale de cette association est N_s fois plus grande que celle de l'ensemble de la chaîne.

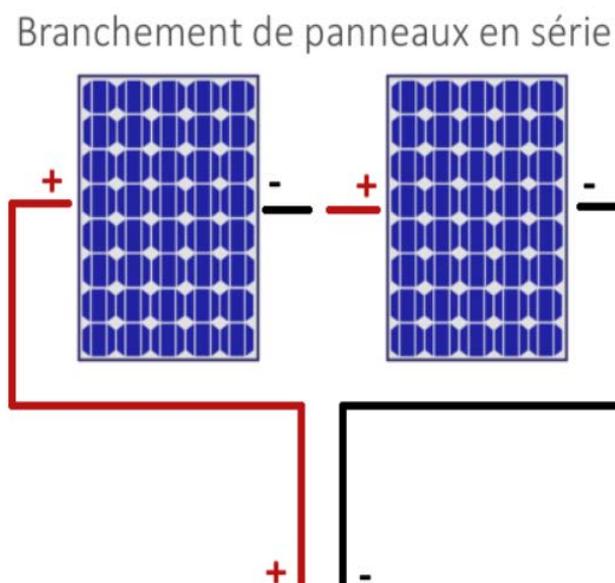


Figure II. 12: Branchement de panneaux solaires en série

Le courant généré par N_s cellules solaires connectées en série est constant tout au long de la chaîne photovoltaïque. Ce courant est limité par le courant de la cellule la plus faible. Par conséquent on ne connectera en série que les cellules solaires qui possèdent la même densité de courant et qui celle ayant la densité de courant le plus faible. Par conséquent, toutes les cellules en production sont généralement testées et triées en fonction de leur efficacité.

Pour réaliser une installation photovoltaïque, on connecte les panneaux en série ou/ et en parallèle, voire une combinaison des deux. Lorsque l'on veut additionner les tensions de chaque panneau tout en conservant un ampérage équivalent, il faut connecter les panneaux photovoltaïques en série. Les pôles positifs d'un panneau sont reliés aux pôles négatifs du panneau qui suit.

II.7.2. L'association en parallèle

Les tensions de chaque cellule doivent être les mêmes, et les courants doivent être additionnés. La nouvelle courbe est créée en ajoutant le courant de la cellule de base par N_p point par point pour chaque tension de référence. L'impédance optimale de l'organisation sera N_p fois plus faible que celle d'une seule cellule.

Branchement de panneaux en parallèle

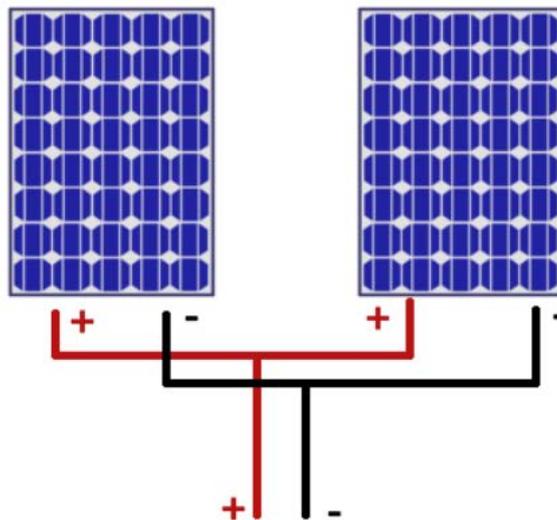


Figure II. 13: Branchement de panneaux solaires en parallèle

Le courant délivré par une association de N_s module en série et N_p modules en parallèle est tel que :

$$I = N_p \cdot I_{ph} N_s \cdot I_0 \left[\exp\left(\frac{q}{n \cdot A \cdot K \cdot T \cdot N_s} (V + R_S I_{mod})\right) - 1 \right] - N_p \frac{I_{mod} R_{se}}{R_{pe}} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

R_{Se} et R_{Pe} les résistances série et parallèle de cette association définis par :

$$R_{Se} = n \cdot \left(\frac{N_S}{N_P}\right) \cdot R_S \quad (\text{II.15})$$

$$R_{Pe} = n \cdot (N_P / N_S) \cdot R_P \quad (\text{II.16})$$

La connexion en parallèle des panneaux photovoltaïques additionne les courants tout en maintenant une tension constante. Par conséquent, ce type de connexion affecte l'ampérage plutôt que la tension. Les bornes positives et négatives de chaque panneau sont reliées entre elles. Lorsque l'on a besoin d'un courant élevé, on utilise ce type de connexion.

II.8. L'énergie solaire en Algérie

« *C'est une chance que le mix algérien soit principalement gazier et qu'on puisse améliorer en intégrant de nouvelles technologies de production d'électricité notamment le solaire dont l'Algérie est un eldorado pour le solaire avec le taux d'ensoleillement le plus élevé au monde* », a estimé Dr Boudjemadi, l'expert international en énergie électrique lors de son interview sur la chaîne nationale 3. Rappelons que le projet de la plus grande centrale de production d'électricité photovoltaïque en Afrique fut lancé en 2011 et est opérationnel depuis 2014, ce dernier vise à atteindre une exploitation de 22 GW à l'horizon de l'an 2030.

Afin de répondre aux besoins énergétique de notre pays et pouvoir exporter un excès assez important vers les pays du nord, l'Algérie prévoit de se tourner vers les énergies renouvelables et particulièrement le solaire photovoltaïque. En effet, l'objectif principal reste de se libérer de dépendance des hydrocarbures estimé disparu dans 10 ans.

Du fait de sa situation géographique, l'Algérie possède l'un des plus grands gisements solaires du monde. Les experts estiment que la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2000 heures par an et peut dépasser 3900 heures (Hauts Plateaux et Sahara). Sur la majorité du pays, l'énergie journalière reçue sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh.

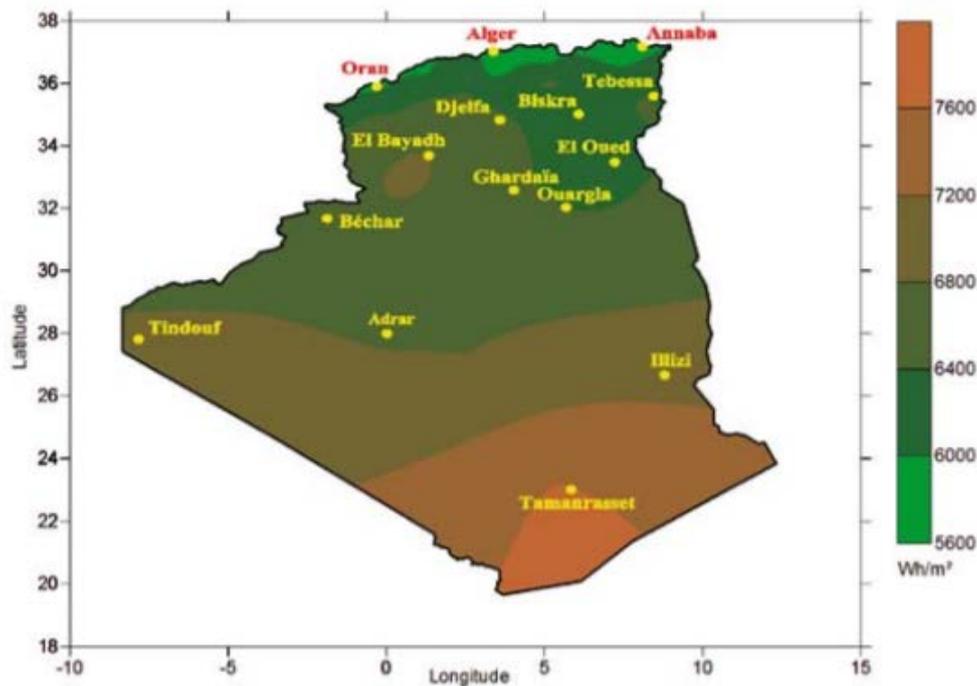


Figure II. 14: Distribution de l'industrie photovoltaïque en Algérie.

Notons que Condor , premier groupe privé Algérien spécialisé dans l'électronique pour le photovoltaïque , dont le siège est situé à Bordj Bou Arréridj, mise désormais sur les énergies renouvelables. Ainsi, son nouveau complexe de panneaux solaires photovoltaïques d'une capacité de 75 MW par an est entré en production.

L'usine CONDOR produit des panneaux de 70 W et 284 W destinés à l'éclairage public, au pompage solaire, à l'usage résidentiel, à l'électrification rurale et à d'autres applications, et souhaite participer au développement d'une autre industrie basée sur les énergies renouvelables, ce qui est essentiel pour un grand pays comme l'Algérie, dont le climat est favorable à un tel secteur, ce qui permettra de fournir de l'énergie et

par conséquent de l'électricité aux citoyens des régions éloignées, notamment dans les régions du Sahara.

Conclusion

Dans ce chapitre consacré à la présentation des cellules solaires, nous avons tout d'abord présenté l'effet photovoltaïque, suite à quoi nous avons présenté les cellules solaires et leurs principales caractéristiques. Nous avons par la suite présenté différents types de cellules solaires disponibles sur le marché actuel, nous avons aussi discuté de l'association de cellules solaires menant aux panneaux solaire. A la fin de ce chapitre nous avons essayé de faire le point sur la situation de l'Algérie dans le monde des énergies renouvelables et ses perspectives.

***Chapitre III: Système d'alimentation d'une
installation photovoltaïque***

Introduction

Le champ d'application des générateurs solaires s'est diversifié ces dernières décennies. Les applications qui ont donné lieu au plus grand nombre d'applications sont les télécommunications, le pompage, l'électrification rurale, le chauffage de l'eau, et le spatial [23].

Un système photovoltaïque se compose généralement d'un ou plusieurs panneaux solaires dans la mesure du possible d'un système de poursuite du soleil et associés à d'autres équipements électriques et mécaniques qui utilisent l'énergie du soleil pour produire de l'électricité. Notons que la taille des systèmes photovoltaïques peut varier de manière considérable des systèmes installés sur les toits ou portables aux usines de production à grande échelle. Bien que les systèmes photovoltaïques puissent fonctionner de manière autonome en tant que systèmes PV hors réseau comme dans le cas des installations en site isolé, on peut aussi les connecter au réseau électrique en région urbaine.

III.1. Système photovoltaïque

L'installation solaire est généralement constituée d'une association d'éléments de base représentés en figure III.1. Les caractéristiques de chaque élément de l'installation photovoltaïque permettant d'alimenter notre charge doivent être déterminés avec précaution afin d'alimenter adéquatement la charge [23].

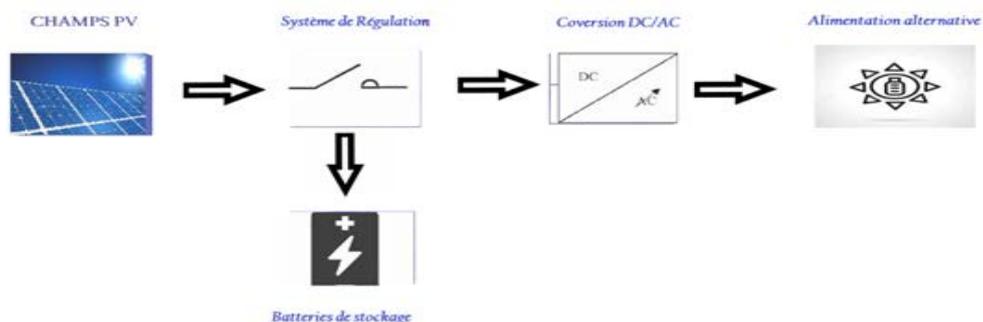


Figure III. 1:Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque .

L'ensemble des éléments constituant les installations photovoltaïques regroupe différents équipements on cite alors :

- Les panneaux solaires formant le champ photovoltaïque,
- Système de tracking au besoin
- Le régulateur de charge
- L'onduleur en cas de nécessité
- Les batteries d'accumulateur en cas de nécessité
- Le câblage prévu pour lier les différents constituants de l'installation, la boîte de jonction, les éléments de protection

Pratiquement, chaque système photovoltaïque utilise les éléments appropriés aux type de charge à alimenter et aux conditions locales

Pratiquement, la gamme de puissance admise pour les systèmes PV ne possède pas de borne. Elle peut s'étendre des systèmes comportant une installation de quelque dizaine de watts à des systèmes de puissances de plusieurs kilowatts et même des mégawatts.

III.2. Les différents types de systèmes photovoltaïques

Les principales applications des systèmes photovoltaïques sont les systèmes : autonomes ou hybrides qui sont tous les deux indépendants du service public de distribution d'électricité et des systèmes connectés au réseau. On les retrouve souvent en sites isolées.

III.2.1. Systèmes photovoltaïques autonomes

Ces systèmes ne dépendent que de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ainsi, L'énergie qui est produite par les panneaux solaires au cours de la journée est directement utilisée pour alimenter la charge

ou alors emmagasinée au niveau des batteries d'accumulateur afin d'être réutilisé en période de faible ensoleillement ou pendant la nuit permettant ainsi la couverture des besoins énergétiques de la charge. Dans ce type d'installation, la puissance électrique du champ de panneaux solaires et la capacité de stockage sont méticuleusement déterminées pour obtenir un rendement optimal.

III.2.2. Systèmes photovoltaïques hybrides

Les systèmes hybrides comprennent un générateur photovoltaïque qui est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou combiné aux deux à la fois. Un tel système convient pour les applications qui demandent une puissance assez élevée, dans des régions ayant des périodes de faible ensoleillement. Les systèmes hybrides sont indépendants des réseaux de distribution d'électricité.

III.2.3. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Dans le cas des systèmes photovoltaïques connectés au réseau, le système PV produit sa propre électricité, ainsi il satisfait ses besoins énergétiques et achemine son excédent d'énergie vers le réseau auprès duquel il s'approvisionne au besoin. Généralement ce type de système n'utilise pas de batterie. Les systèmes importants comportent même un onduleur qui peut être relié à plusieurs panneaux pour convertir le courant continu en courant alternatif.

III.3. Le champ photovoltaïque

L'un des principaux éléments des installations solaires sont les panneaux solaires que nous avons présentés au second chapitre. Nous avons ainsi expliqué précédemment que la lumière du soleil, composée de paquets d'énergie, tombe sur un panneau solaire constitué de plusieurs cellules et crée du courant par un processus appelé l'effet photovoltaïque, ainsi chaque cellule produit une quantité relativement

faible d'énergie, mais reliée à d'autres cellules et formant des panneaux on arrive à multiplier l'énergie produite.

III.4. L'onduleur

Le courant produit à partir d'un panneau solaire est en courant continu. Sachant que différentes charges d'une installation fonctionnent en alternatif une conversion du courant continu en courant alternatif est alors nécessaire, cette conversion est alors assurée par les onduleurs. L'onduleur assure les fonctions suivantes : tout d'abord il permet la conversion du courant continu en courant alternatif, il permet le couplage et découplage du réseau électrique et le suivi de la puissance maximum du champ photovoltaïque en fonction de l'ensoleillement et de la température.

III.5: Système de poursuite ou "Tracker" solaire

Un suiveur qui sera solidaire des panneaux solaires est un dispositif qui permettra de positionner les panneaux selon un angle par rapport au Soleil pour récolter un maximum d'énergie tout le long de l'année ainsi les panneaux photovoltaïques (PV) seront perpendiculaires aux rayons du soleil tout le temps. Les suiveurs solaires modifient l'angle d'orientation d'un panneau solaire en fonction du mouvement du soleil.

Ainsi le système de poursuite du soleil visera à orienter en temps réel les capteurs solaire vers le soleil, permettant ainsi de placer les panneaux dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire perpendiculaire au rayonnement solaire dans la mesure du possible, vu que tout au long de la journée et de l'année et pour chacune des saisons la position du soleil varie perpétuellement et différemment selon la latitude du lieu . Cette adaptation en temps réel permettra de d'augmenter la captation et la production de l'énergie.

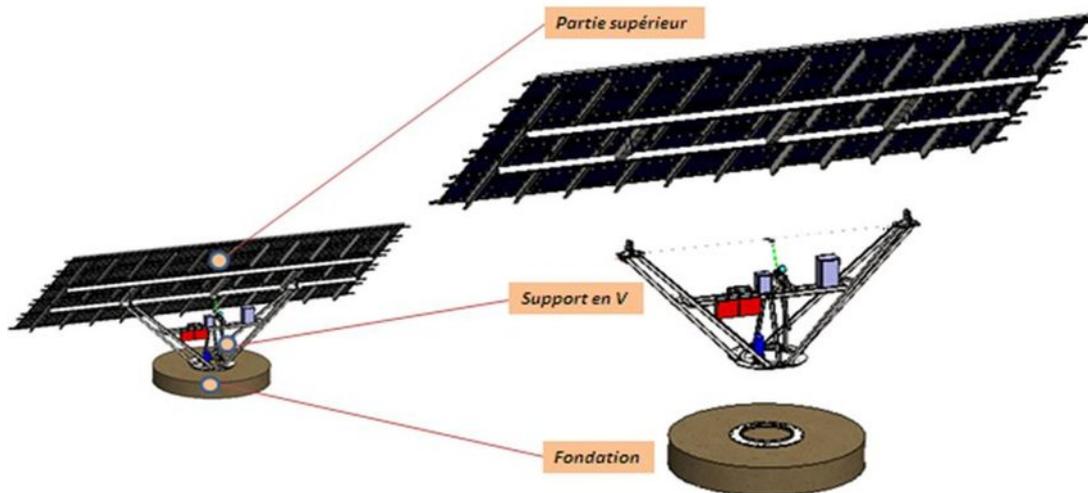


Figure III. 2: exemple de système de poursuite solaire

La puissance de sortie d'un panneau solaire est affectée par l'angle d'inclinaison du panneau. Un panneau solaire perpendiculaire au soleil produit plus d'énergie qu'un panneau solaire non perpendiculaire. Par ailleurs, l'angle du soleil change du nord au sud selon les saisons et de l'est vers l'ouest au quotidien. Les suiveurs solaires offrent des avantages considérables car ils permettent d'augmenter la production d'électricité de 30 à 40 %. En revanche, les suiveurs solaires présentent un certain nombre d'inconvénients majeurs. En effet, un panneau solaire statique peut bénéficier d'une garantie de plusieurs dizaines d'années ne nécessitant que peu ou pas d'entretien. Les pièces mobiles augmentent les coûts des installations et réduisent leur fiabilité. En plus, les systèmes de suivi actifs peuvent consommer une petite quantité d'énergie car ils utilisent des composants électroniques qui évoluent rapidement, les suiveurs solaires algorithmiques informatisés sont plus chers, nécessitent plus de maintenance et deviennent obsolètes beaucoup plus rapidement que les panneaux solaires statiques.

III.6. Système de stockage

Les panneaux solaires collectent l'énergie du soleil et la convertissent en électricité, qui passe ensuite par un onduleur et est convertie en une forme utilisable

Chapitre 3 : Système d'alimentation d'une installation photovoltaïque

pour alimenter la charge. Généralement en période d'ensoleillement la charge est directement alimentée. Cependant les caractéristiques de l'énergie solaire obligent à stocker cette énergie car la demande énergétique de la charge est généralement décalée vis-à-vis de l'apport énergétique solaire rendant le stockage de cette énergie indispensable pour satisfaire les besoins en énergie de la charge en période de faible ensoleillement [17-19]. Le stockage de cette énergie se fait grâce aux batteries solaires. Sans stockage, l'énergie solaire doit être consommée directement ou injectée dans le réseau public autrement cette énergie serait perdue et vu que le photovoltaïque produit la majorité de l'électricité pendant la journée, l'utilisation directe de cette électricité est parfois impossible par exemple le soir ou la demande en énergie tend à atteindre son pic ou n'est parfois que partiellement possible. Les batteries solaires stockent l'énergie pour assurer l'alimentation électrique en continu. Généralement les batteries à décharge lente sont des batteries qu'on utilise en conjonction avec des panneaux solaires. Ces batteries sont conçues spécifiquement pour les applications solaires.

Les batteries d'accumulateur sont reliées au régulateur où elles sont chargées et alimentées par le ce dernier vu que ces batteries doivent se charger à courant continu. On peut connecter plusieurs éléments de batteries en série afin d'obtenir une tension utilisable, on peut aussi les connecter en parallèle pour obtenir la capacité et la puissance nécessaires à l'autonomie souhaitée.

Il existe différents types de batteries pour le solaire tels que les accumulateurs plomb-gel, plomb-acide et lithium-ion. Les accumulateurs au plomb ont un taux d'autodécharge très faible. Les accumulateurs au plomb ont eu un rendement allant jusqu'à 80 % en raison de leurs faibles pertes de charge. Cependant, les batteries lithium-ion ont tendance à les remplacer de plus en plus de nos jours. La capacité de stockage pour toute installation est déterminée suite au calcul de La consommation électrique quotidienne. La consommation électrique annuelle peut être calculée sur une moyenne sur cinq ans.

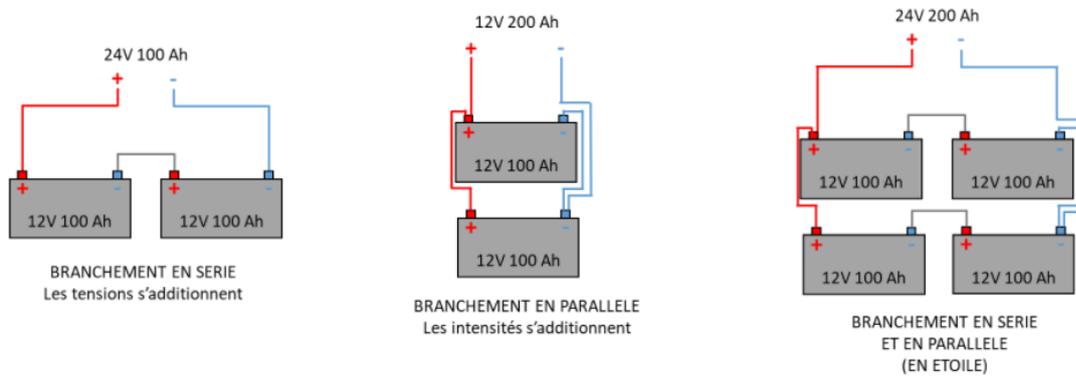


Figure III. 3: Différents branchement des batteries solaires.

III.6.1. Autonomie de la batterie et garantie

Les performances de la batterie se dégradent naturellement avec le temps. Chaque jour, la batterie solaire effectue un cycle de charge et décharge. La capacité de la batterie à maintenir une charge se détériore progressivement au fur et à mesure de son utilisation ainsi la batterie ne tient plus autant la charge que lorsqu'elle était neuve. Une batterie peut être garantie pour 5 000 tours ou 10 ans à 70 % de sa capacité initiale. La batterie solaire sera couverte par une garantie qui assurera un certain nombre de cycles et/ou d'années de service. Les fabricants des batteries garantissent également que la batterie pourra conserver, pendant la période de garantie, une certaine quantité de sa capacité .la garantie varie généralement en fonction du modèle de batterie et de la quantité de capacité qu'elle perdra au cours de son utilisation.

III.6.2. Caractéristiques de batteries solaires

La technologie des accumulateurs est très diversifiée, les considérations relatives au choix d'une batterie solaire pour une application spécifique incluent bien entendu le coût, mais aussi la durée de vie, la capacité de stockage et la profondeur de décharge.

III.6.2.1 La capacité de stockage des batteries solaires

Rappelons que l'énergie qui est stockée dans une batterie, appelée capacité de stockage de la batterie, est mesurée en wattheures (Wh), en kilowattheures (kWh) ou en ampères-heures (Ah), elle détermine le volume d'énergie pouvant être emmagasinée par la batterie solaire puis redistribuée à la charge. Cette capacité en wattheures (Wh) se calcule à partir de l'intensité de la batterie (donnée en ampère Ah) multiplié par la tension exprimée en volt.

III.6.2.2.La profondeur de décharge

Pour prolonger la durée de vie des batteries solaire, ces dernières ne devront jamais se décharger complètement. C'est la raison pour laquelle les batteries sont largement "surdimensionnées" par rapport à l'installation en place, pour qu'elles ne se déchargent pas au-delà d'un certain seuil.

III.6.2.3.L'espérance de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie est estimée en nombre de cycles qu'elle peut effectuer avant de ne plus être utilisable. On estime qu'une batterie devient inefficace lorsqu'elle perd environ 20% de sa capacité d'origine. Actuellement les batteries lithium sont les plus performantes avec une durabilité pouvant atteindre les 6000 cycles.

III.6.3. Les différents types de batteries solaires

III.6.3.1. Batteries au plomb

Les batteries plomb-acide sont l'option de stockage sur réseau la moins chère, ce qui en fait la plus rentable. Ces batteries sont également fiables. Par ailleurs, comme la technologie existe depuis longtemps. Ces batteries sont en fait faciles à éliminer et aussi faciles à recycler. Les batteries plomb-acide inondées ont besoin d'une ventilation et ont aussi besoin d'être entretenue régulièrement pour pouvoir fonctionner correctement, ce qui augmente la probabilité de fuite de la batterie. Les batteries au plomb-acide inondées ne peuvent pas être introduites sur le côté, ce qui

réduit leur mode d'installation. Ces batteries ont aussi une faible profondeur de décharge nécessitant des recharges assez fréquentes.

Les batteries au plomb sont extrêmement fiables, ce qui les rend idéales pour les systèmes solaires autonomes ainsi que pour le stockage de l'énergie.

III.6.3.2. Batteries lithium-ion

La technologie des batteries lithium-ion est la dernière technologie en date. Le marché de ce type de batterie pour le solaire est en pleine expansion. Ces batteries se sont rapidement imposées comme l'une des banques de batteries solaires les plus utilisées. Hautement sollicitées pour leur haute performance, ces batteries ont un rendement charge-décharge supérieur à 90%. et ne nécessitent pratiquement aucun entretien régulier. Elles ont également une densité énergétique supérieure à celle des batteries au plomb, ce qui implique que ces dernières peuvent stocker plus d'énergie dans un espace plus réduit. Ces batteries ont également un cycle de vie plus long, et une garantie d'au moins dix ans.

Cependant, l'un des principaux inconvénients de ce type de batteries est leur coût plus élevé que celui des autres technologies de stockage de l'énergie. par ailleurs ce type de batteries présentent un risque élevé de prendre feu en raison du phénomène d'emballement thermique. Toutefois, si elles sont correctement entretenue, les possibilités qu'elle s'enflamme spontanément sont à-peu-près nulles.

Ces batteries sont idéales pour les installations photovoltaïques industrielles légères car elles ont la possibilité de stocker plus d'énergie dans un espace plus réduit

III.6.3.3. Batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd)

Ces batteries ont fait leur apparition à la fin des années 1800, mais furent retouchées dans les années 1980, ce qui a permis d'augmenter considérablement la quantité d'énergie qu'elles pouvaient stocker. Ce type de batteries sont très populaires dans l'industrie aéronautique. Le principal avantage de ces accumulateurs est leur longue durée de vie. Elles ont aussi l'aptitude de fonctionner à des températures

élevées. elles ne nécessitent pas de systèmes complexes de surveillance et aucun entretien. L'inconvénient dans l'utilisation de ce type de batterie est la toxicité du cadmium. Cependant, en raison de leur durabilité, les batteries Ni-Cd demeurent très populaires.

III.6.3.4. Les batteries à flux

Les batteries à flux sont une nouvelle technologie de stockage de l'énergie. Ce type de batteries stockent l'électricité et la génèrent par réaction d'oxydoréduction. Les batteries à flux possèdent deux compartiments séparés par une membrane dite échangeuse de protons, où sont plongés des collecteurs de courant où électrodes.

Lorsque ces batteries sont chargées, des réactions chimiques se produisent, permettant de stocker l'énergie et de la décharger ensuite. Ces packs de batteries sont de plus en plus populaires. Toutefois, en raison de leur taille, ils sont plus chers.

Ces batteries Flow ont une profondeur de décharge de 100 %, ce qui est représenté leur meilleure caractéristique. Cela veut dire que l'utilisateur peut utiliser toute l'énergie stockée dans la batterie.

Aussi, le liquide que renferme la batterie étant ignifuge, il n'y a donc aucun risque de surchauffe. Ce type de batteries ont la plus longue durée de vie comparée aux autres batteries qui est d'environ 30 ans.

L'un des majeurs inconvénients de ces batteries est leur faible capacité de stockage ce qui signifie qu'elles doivent être énormes pour pouvoir contenir une quantité importante d'énergie. Leur taux de charge et de décharge très faibles, ce qui signifie qu'elles doivent être de grande taille pour être efficaces. Cependant, ces batteries de flux demeurent les plus appropriées pour les grandes installations. En raison de leur mode de fonctionnement, ces batteries doivent être très grandes pour contenir une quantité importante d'énergie, ce qui a pour conséquence l'augmentation de leur prix les rendant beaucoup moins populaires parmi les utilisateurs. Pour conclure, nous pouvons dire que les batteries au lithium-ion sont généralement les meilleures batteries pour les installations solaires électrique. En effet ces batteries

peuvent stocker plus d'énergie dans un espace plus réduit, et possèdent des rendements élevés. D'autre part, les batteries au plomb sont considérées comme le meilleur choix car elles sont peu coûteuses comparées aux autres, ainsi les batteries lithium-ion et plomb-acide sont les plus utilisées que les batteries Ni-Cd ou une batterie de flux

III.7. Système de régulation

Le régulateur de charge d'un système solaire photovoltaïque contrôle le processus de charge de la batterie. Le régulateur réduit la tension de la batterie pour éviter toute surcharge en déconnectant tout simplement les batteries des modules PV surchargés. Lorsque le niveau de charge de la batterie tombe en dessous d'un certain seuil, un déconnecteur automatique la met hors service pour la protéger d'une décharge profonde.

Le régulateur, permet de protéger les accumulateurs contre des pertes d'eau, entraînant un processus de vieillissement et une sulfatation des plaques. Dans une installation solaire, le régulateur peut également jouer le rôle de compensation thermique. Il est positionné entre les panneaux solaires et les batteries, ainsi le rôle du régulateur est crucial car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (moins de 40 %) ni trop élevé (plus de 95 %).

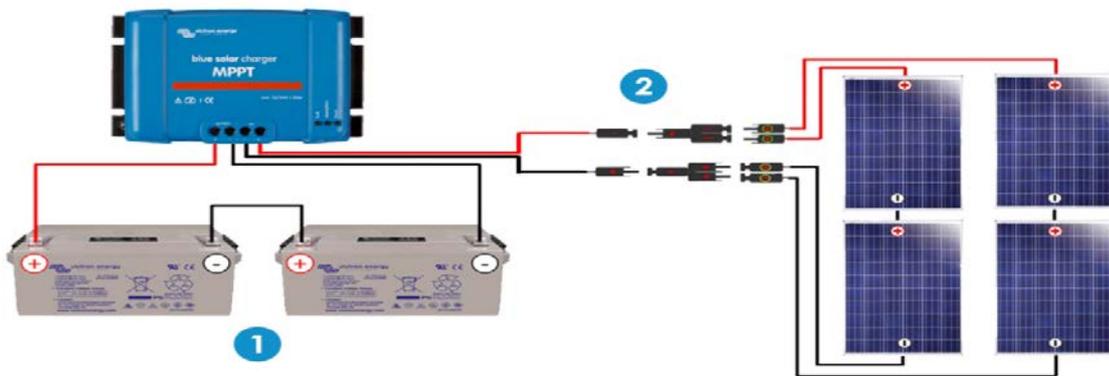


Figure III. 4: Système photovoltaïque constitué de panneaux, régulateur et batteries.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des différents éléments de toute installation photovoltaïque soit les panneaux, le régulateur, les batteries. Nous avons aussi présenté les différents types de systèmes photovoltaïques, et parlé des différentes batteries solaires. Ce qui nous permettra d'aborder au prochain chapitre de déterminer le nombre de panneaux et la capacité de stockage d'une installation solaire alimentant une exploitation agricole.

Chapitre IV : Etude et dimensionnement du système photovoltaïque satisfaisant aux besoins énergétique d'une exploitation agricole

Introduction

Ce travail a consisté à l'étude de la possibilité de satisfaire aux besoins énergétiques d'une exploitation agricole autonome en utilisant de l'énergie solaire produite par effet photovoltaïque [20] , ce qui revient à déterminer en fonction des besoins énergétiques de cette exploitation agricole et en fonction d'autres sollicitations telle que l'ensoleillement ect.....la taille du générateur et la capacité de stockage [21-23].

Quelques soit la méthode utilisée pour ce type d'étude on sera toujours confronté aux problèmes liés à la charge qui peut subir des changements, ainsi qu'aux problèmes liés au manque crucial d'informations concernant le gisement solaire sur le site ou on souhaite établir l'installation [23].

Généralement quelle que soit la méthode utilisée pour dimensionner une installation PV, on doit étudier au départ les besoins énergétiques de l'installation et par conséquent bien connaître la charge à alimenter [23].

III.1. Principe de dimensionnement

Ainsi pour dimensionner toute installation photovoltaïque, il est impératif de:

- ✓ Bien connaître la charge à alimenter ce qui revient à dire de bien calculé les besoins énergétiques de la charge
- ✓ Bien connaître la nature de l'installation à savoir autonome, hybride ou en réseau,
- ✓ Bien connaître l'énergie solaire reçue sur le site de l'installation,
- ✓ Connaître Le type de panneaux que nous voulons utiliser (monocristallin, polycristallin, amorphe.....) et ses caractéristiques.

L'objectif final du dimensionnement sera de déterminer la surface nécessaire en panneaux photovoltaïques et la capacité de stockage permettant de répondre aux besoins en énergie d'une exploitation agricole.

IV.2. Constituants de l'exploitation agricole permettant l'estimation des besoins énergétiques de cette exploitation.

Cette étude a été réalisée en considérant une exploitation agricole réelle ou on trouve :

- Un hangar pour poules pondeuses et poules de chair.
- Un hangar pour l'élevage des bovins.
- Un local technique avec magasin.
- Un champ de LUZERNE (un champ d'herbe servant de nourriture des animaux)

IV.2.1. Assiette du projet

- surface totale du projet : 250 000 m^2
- surface couverte : 4000 m^2

IV.2.2. Délai d'exécution des travaux

- Le délai maximum pour la réalisation de ce projet est de 36 mois.

IV.2.3. Consistance du projet

- Lors du dimensionnement de l'installation agricole , on doit respecter les principes du développement durable pour s'inscrire comme il se le doit dans la démarche écologique sans compromettre les ressources et qualité de l'environnement des générations futures.

IV.2.4: Consommation

- Consommation en eau: 3000 L/J. soit une consommation de 1,5Kw.
- Consommation électricité : 25 kWh/J

IV.2.5. Cahier des charges

L'exploitation agricole que nous voulons alimenter par énergie solaire comprend des vaches laitières, des génisses, des veaux et bovins (engraissement), volailles, des surfaces ou on sème du luzerne (fourrage), et des hangars de stockage. Au niveau du tableau III.1, sont donnés les surfaces individuelles nécessaires pour chacune des espèces peuplant l'exploitation agricole.

A. Projet vaches, veaux, bovins

Les consistances du projet	surfaces nécessaire par unité d'espèce
vaches laitières	10 à 15 m^2
Génisses	2,5 à 8.3 m^2
veaux et bovins (engraissement)	1,5 à 6,6 m^2
stockage fourrages	6 à 11 m^2 par bovin

Tableau IV.1. projet vaches, veaux, bovins, surface nécessaire par unité d'espèce.

On peut alors calculer la surface globale nécessaire à cette exploitation et qui est telle que:

Les charges	surfaces
60 vaches	600 à 900 m^2
50 génisses	415 m^2
surface de fourrage	960 m^2
surface matériel	350 m^2
surdimensionnement	325 m^2
Surface globale	3000 m^2

Tableau IV.2. projet vaches, veaux, bovins, surface nécessaire globale.

A. Projet de volaille

charges	surfaces totale
5000 volailles	500m ²
stockages céréales en cellules	432m ²
TOTAL	1000m ²

Tableau IV.3. Volaille, surface nécessaire globale

B. Projet d'espace agricole destiné à la consommation des bovins (LUZERNE)

Surfaces	charges
10 ares (1000 m ²)	9 tonnes
200 ares (20000m ²)	180 tonnes

D. Consommation d'énergie globale

Cette consommation énergétique globale est déterminée en fonction des besoins des occupants de la ferme, en effet, chaque espèce animale a ses propres besoin en eau, en électricité, en fourrage, ect.....par exemple pour la volaille, le besoin en électricité pour une poussinière est plus important que pour le bovin en terme de lampes et de chauffage. Ainsi le calcul des besoins énergétiques global pour le bon fonctionnement de l'exploitation nous permet d'avancer les informations sur nos besoins énergétiques que nous présentons comme suit :

charges	consommation / jour
---------	---------------------

20 chauffages	880 watt
150 lampes	18 900 watt
20 ventilateurs	180 watt
pompe à eau	3000L (1.5kw)
10 machines à traire	3 400 watt
réfrigérateur	144 watt
Total	25 000 watt

Tableau IV.5. Besoin énergétiques pour les différents appareils électriques exploités au niveau de l'exploitation agricole.

IV.4: Dimensionnement de l'exploitation agricole

Toute installation en site isolé a la configuration présentée en figure IV.1.

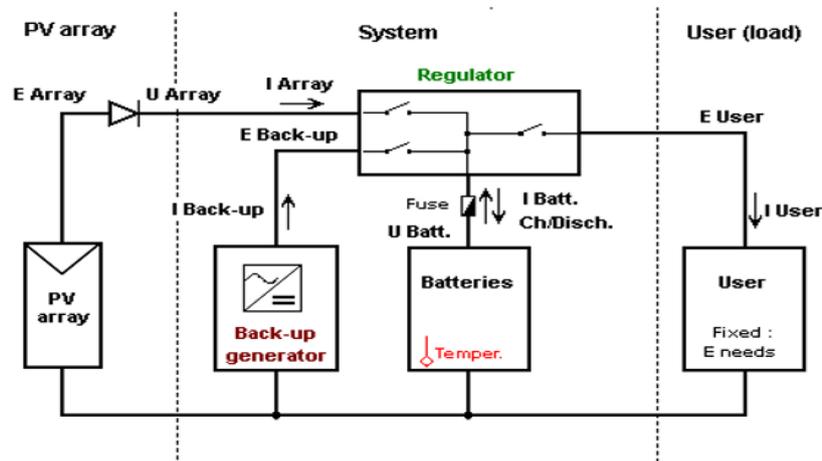


Figure IV. 1 : Configuration typique d'une installation en site isolé.

Afin de dimensionner notre installation agricole en site isolé, nous avons deux approches possibles, la première a consisté à utiliser le logiciel PVsyst , la seconde approche à consister à élaborer notre propre programme permettant ce dimensionnement par une méthode de dimensionnement simple . Une étude

comparative permettra alors d'examiner dans quelle mesure l'utilisation de l'une ou l'autre des deux méthodes est la plus appropriée.

Cette étude a été réalisée pour une même exploitation agricole pouvant être dimensionnée sur 4 sites différents Tlemcen, Alger, Constantine, Adrar.

IV.4.1. Dimensionnement de l'installation sous environnement PVsyst

PVsyst dont l'interface principal est présentée en figure IV.2 est un logiciel très performant pour étudier les systèmes photovoltaïques il est conçu pour étudier les systèmes PV. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui permet donc d'expliquer la procédure et les modèles utilisés et offre aussi une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVsyst permet aussi d'importer des données météo de plusieurs sources ainsi que des données personnelles.

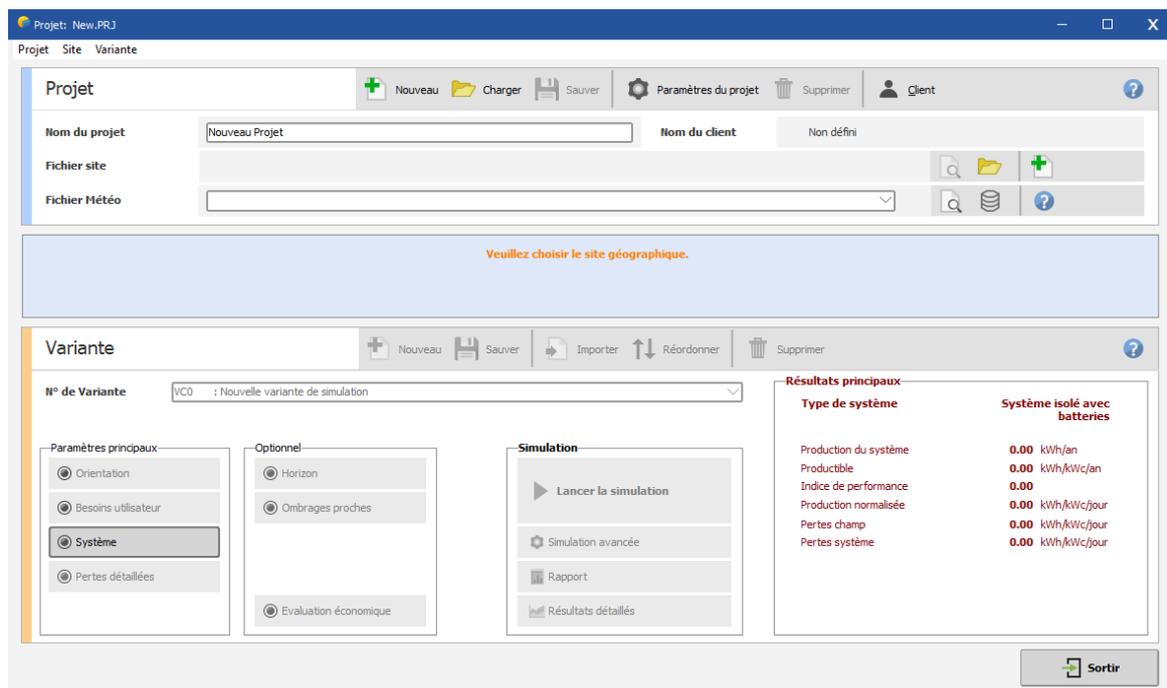


Figure IV . 2: L'interface principal du logiciel PVsyst.

Afin d'avoir une irradiation maximale tout le long de l'année et éviter le système de poursuite, les panneaux solaires doivent être inclinés d'un angle d'inclinaison

optimal, ainsi l'interface utilisée pour choisir l'angle optimum d'inclinaison des panneaux photovoltaïques est donnée en figure IV.3.

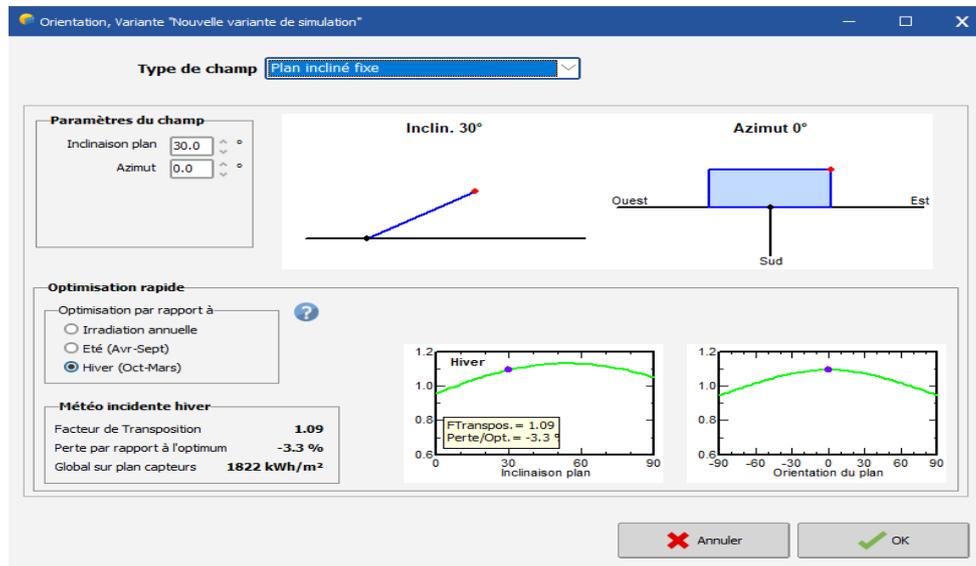


Figure IV. 3 :: L'interface permettant d'optimiser l'angle d'orientation des panneaux photovoltaïques.

Afin de dimensionner l'installation étudiée, nous commençons d'abord par spécifier les **données d'entrée** du logiciel et qui sont :

- La localisation
- Type de panneaux solaires utilisés
- L'inclinaison des panneaux
- type de batteries
- Type de régulateur

Les résultats obtenus suite à la simulation sont bien entendu : le nombre de panneaux(champs photovoltaïque), la capacité des batteries ,la production du système global, les pertes énergétiques diverses. On a aussi une information concernant l'autonomie du système.

Pour ce dimensionnement nous avons utilisés les éléments suivants:

1. Le module PV : SIT dont les caractéristique sont directement récupérés à partir du logiciel PVsyst et donnés en figure IV.4.

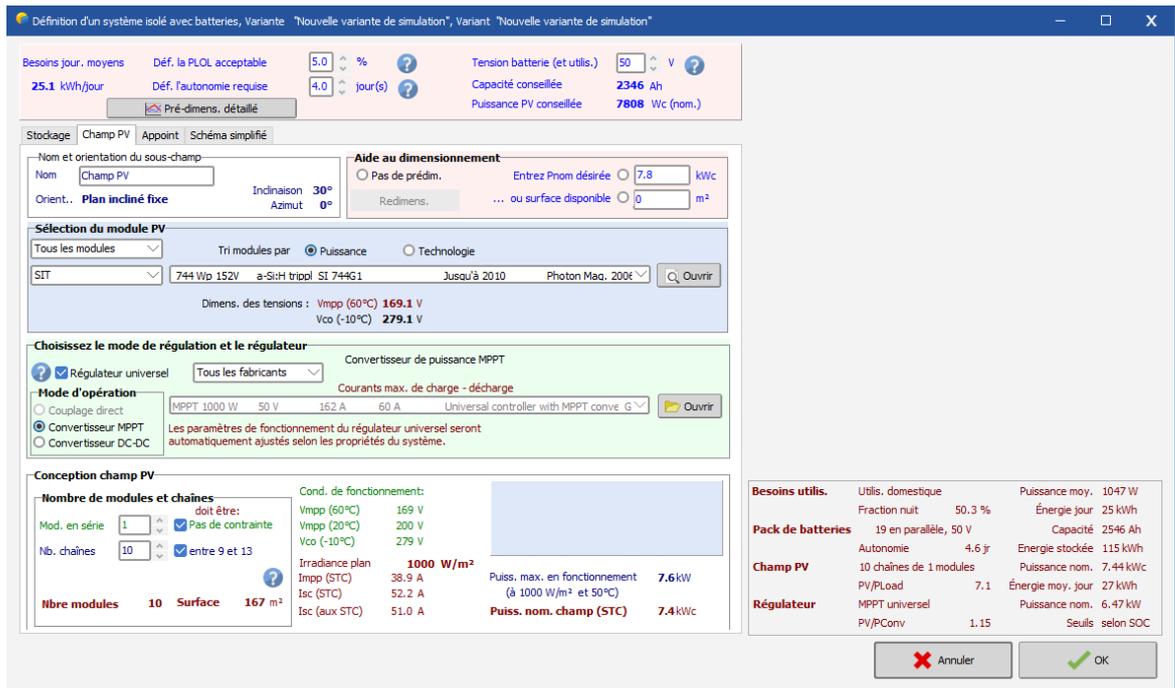


Figure IV . 4: L'interface permettant le choix des panneaux photovoltaïques.

On peut ainsi sélectionner la nature des panneaux que nous voulons utiliser dans nos simulations, dans notre cas il s'agit des modules à silicium amorphe soit le SI 744G1 dont les caractéristiques sont visibles en figure IV.5.

- Modèle :SI 744G1
- Technologie : a-Si
- Puissance nominale : 744 WC
- Courant de charge : 3.89 A

Modèle	SI 744G1		Fabricant	SIT	
Nom fichier	SIT_SI744.PAN		Source données	Photon Mag. 2006	
Base de données PVsyst originale			Prod. depuis 2004 à 2010		

Puissance nom. Wc Tol. -/+ %
 (aux STC)
 Technologie

Spécifications fabricant ou autres mesures				
Cond. de référence	GRef	<input type="text" value="1000"/> W/m ²	TRef	<input type="text" value="25"/> °C
Courant de court-circuit	Isc	<input type="text" value="5.100"/> A	Circuit ouvert Vco	<input type="text" value="252.00"/> V
Point de Puissance max.	Imp	<input type="text" value="4.130"/> A	Vmpp	<input type="text" value="180.00"/> V
Coefficient de tempér.	muIsc	<input type="text" value="5.1"/> mA/°C	Nbre cellules 120 en série	
	ou muIsc	<input type="text" value="0.100"/> %/°C		

Résumé du modèle	
Paramètres principaux	
R parall.	327 Ω
Rparall(G=0)	3927 Ω
R série model 3.82 Ω	
R série max.	5.53 Ω
R série apparent	7.28 Ω
Paramètres modèle	
Gamma	4.183
IoRef	11.31 nA
muVco	-793 mV/°C
muPMax fixé	-0.21 /°C
pour les amorphes	
d ² μTau	15.8 /V
Corr. spectrale	ON

Résultats du modèle interne				
Cond. de fonctionnement	GOper	<input type="text" value="1000"/> W/m ²	TOper	<input type="text" value="25"/> °C
Point de Puissance max.	Pmpp	763.6 W	Coeff. de température	-0.18 %/°C
Courant	Imp	3.89 A	Tension Vmpp	196.2 V
Courant de court-circuit	Isc	5.10 A	Circuit ouvert Vco	252.0 V
Efficacité	/ Surf. cellules	7.48 %	/ Surf. module	4.58 %

Figure IV . 5: Caractéristiques du Panneau solaire SI 744G1 utilisé pour nos simulations

2. Les Batteries utilisés sont en lithium-ion du constructeur Tesla, les caractéristiques de la batterie utilisée sont aussi directement fournis par le logiciel PVsyst.

Figure IV . 6: l'interface de batteries de stockage

Concernant les batteries que nous avons utilisées leurs caractéristiques sont tel qu'illustré en figure IV.7 et sont tels que :

- Model : Powerwall

- Technologie : Lithium-ion, NCA
- Capacité : 134 Ah
- Tension nominale : 50.4 V

Figure IV . 7: Caractéristiques de la batterie Powerwall.

❖ Régulateur : Generic

- Modèle : Universal Controllerwith MPPT converter.
- Technologie : MPPT converter
- Puissance nominale : 4762 W
- Courant générateur Max : 60.1 A

Les caractéristiques du régulateur sont aussi récupérées à partir du logiciel PVsyst comme illustré en figure IV.8

Figure IV . 8:Caractéristiques du régulateur MPPT.

IV.4.2. Résultats de simulations obtenus par PVsyst

Les sites Choisis pour cette étude sont :

- Tlemcen .
- Adrar .
- Constantine .
- Bouzareah (Alger) .

Les résultats directement obtenus par le logiciel PVsyst sont donnés pour chacun des sites dans ce qui suit et résumés aux tableaux IV.6, IV.7, IV.8 et IV.9.

❖ Tlemcen :

Latitude : 34.87 °N

Altitude : 454 m

Longitude : -1.69 °W

Inclinaison : 33°

Résultats annuels	GLOBHOR KWh/m ²	Globeff KWh/m ²	E_avail kWh	EUnused kWh	E_miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	rapport SolFrac
Janvier	92.1	141.4	704	0.0	69.7	705.6	775.3	0.910
Fevrier	108.2	147.8	740	0.0	15.4	684.8	700.2	0.978
Mars	160.6	192.4	960	83.4	0.0	775.3	775.3	1.000
Avril	187.8	194.7	982	196.2	0.0	750.3	750.3	1.000
Mai	210.5	197.8	991	179.8	0.0	775.3	775.3	1.000
Juin	227.4	204.6	1011	224.4	0.0	750.3	750.3	1.000
Juillet	227.6	210.3	1025	213.8	0.0	775.3	775.3	1.000
Aout	208.9	209.9	1021	207.3	0.0	775.3	775.3	1.000
Septembre	164.8	186.2	910	126.1	0.0	750.3	750.3	1.000
Octobre	134.6	175.2	859	50.0	0.0	775.3	775.3	1.000
Novembre	98.6	150.8	736	0.0	0.0	750.3	750.3	1.000
Decembre	85.5	137.6	679	0.0	112.8	662.5	775.3	0.854
Année	1906.7	2148.8	10618	1280.9	197.9	8930.2	9128.1	0.978

Tableau IV.6 : resultats obtenus par PVsyst pour l'exploitation domiciliée à Tlemcen

Ici:

GlobHOR :est l'irradiation sur plan horizontal

Globeff : est l'irradiation sur plan incliné affecté par les pertes et les ombrages

E_Avail: Energie solaire disponible

E_unused:est l'énergie non utilisé suite à la charge totale de la batterie

E_miss: Energie perdue

E_user:Energie fournie à l'utilisateur

E_load: besoin énergétique de l'utilisateur (pour alimenter sa charge)

SolFrac est la fraction solaire qui correspond au rapport E_user/ E_load

PV module		Battery	
Manufacturer	SIT	Manufacturer	Tesla
Model	SI 744G1	Model	Powerwall
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, NCA
Unit Nom. Power	744 Wp	Nb. of units	17 in parallel
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	5.95 kWp	Stored energy	104.2 kWh
Modules	8 Strings x 1 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	50 V
Pmpp	5.77 kWp	Nominal Capacity	2278 Ah (C10)
U mpp	177 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	33 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	6 kWp		
Total	8 modules		
Module area	133 m ²		
Cell area	81.7 m ²		

Figure IV. 9:Caractéristiques du générateur photovoltaïque de Tlemcen.

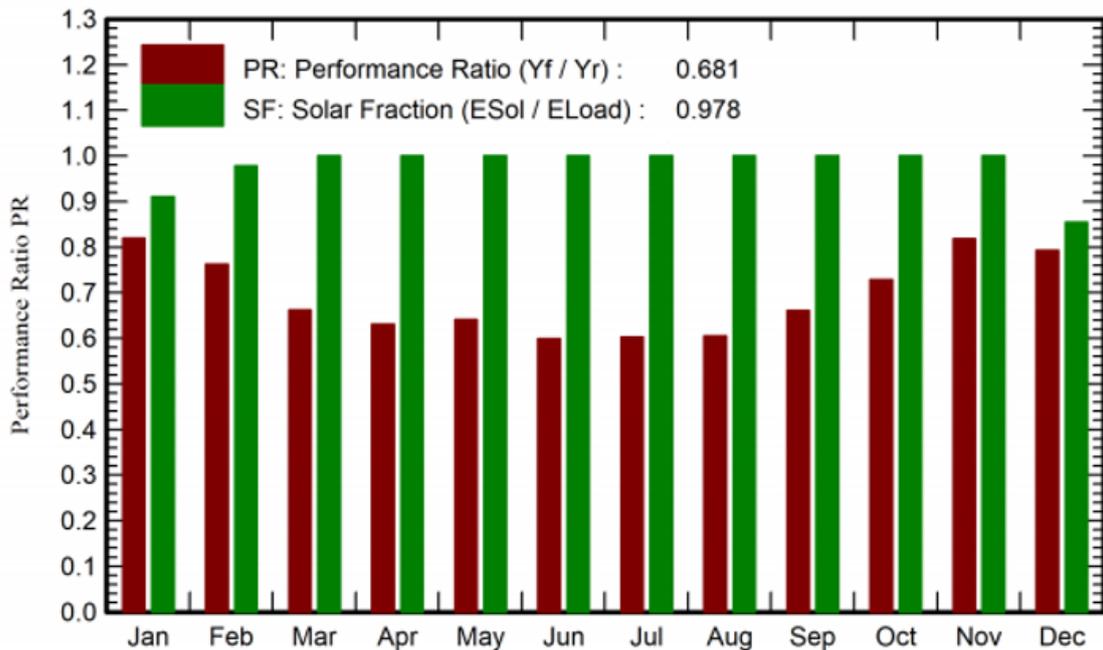


Figure IV. 10: Rapport de performance PR pour Tlemcen

Le rapport de performance noté PR est aussi obtenu par le logiciel PVsyst et représente le rapport entre l'énergie effectivement produite (utilisée) par rapport à l'énergie qui serait produite si le système fonctionnait en permanence à son efficacité nominale sous une irradiation de 1000W/m².

❖ **Pour le site de Adrar :**

Latitude : 26.57 °N

Altitude : 273 m

Longitude : -0.94 °W

Inclinaison : 35°

Les résultats sont donnés au tableau IV.7 qui suit:

Résultats annuels	GlobHor KWh/m ²	GlobEff KWh/m ²	EUnused kWh	E_miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	rapport SolFrac
Janvier	110.8	756.5	285.9	507.1	429.9	937.0	0.459
Fevrier	124.7	775.3	336.2	450.1	396.2	846.3	0.468
Mars	166.4	916.0	422.8	493.5	443.5	937.0	0.473
Avril	192.7	935.6	435.5	449.0	457.7	906.7	0.505
Mai	209.5	921.0	385.8	451.0	486.0	937.0	0.519
Juin	218.3	909.0	398.3	447.3	459.5	906.7	0.507
Juillet	226.5	945.4	435.9	477.8	459.2	937.0	0.490
Aout	199.7	903.9	405.4	488.5	448.5	937.0	0.479
Septembre	171.1	865.2	379.9	462.4	444.3	906.7	0.490
Octobre	145.0	826.4	341.0	492.5	444.5	937.0	0.474
Novembre	120.1	796.9	337.1	487.9	418.8	906.7	0.462
Decembre	103.2	722.4	254.8	512.9	424.1	937.0	0.453
Année	1987.9	10273.7	4418.7	5719.8	5312.2	11031.9	0.482

Tableau IV.7 : resultats obtenus par PVSyst pour l'exploitation domiciliée à Adrar

PV module			Battery	
Manufacturer	Generic		Manufacturer	Generic
Model	SI 744G1		Model	Powerwall
(Original PVsyst database)			Technology	Lithium-ion, NCA
Unit Nom. Power	744 Wp		Nb. of units	2 in parallel
Number of PV modules	8 units		Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	5.95 kWp		Stored energy	12.3 kWh
Modules	2 Strings x 4 In series		Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)			Voltage	50 V
Pmpp	5.77 kWp		Nominal Capacity	268 Ah (C10)
U mpp	708 V		Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	8.1 A			
Controller			Battery Management control	
Universal controller			Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.		Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter				
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %			
Total PV power				
Nominal (STC)	6 kWp			
Total	8 modules			
Module area	133 m ²			
Cell area	81.7 m ²			

Figure IV . 11: Caractéristiques du générateur photovoltaïque d'Adrar.

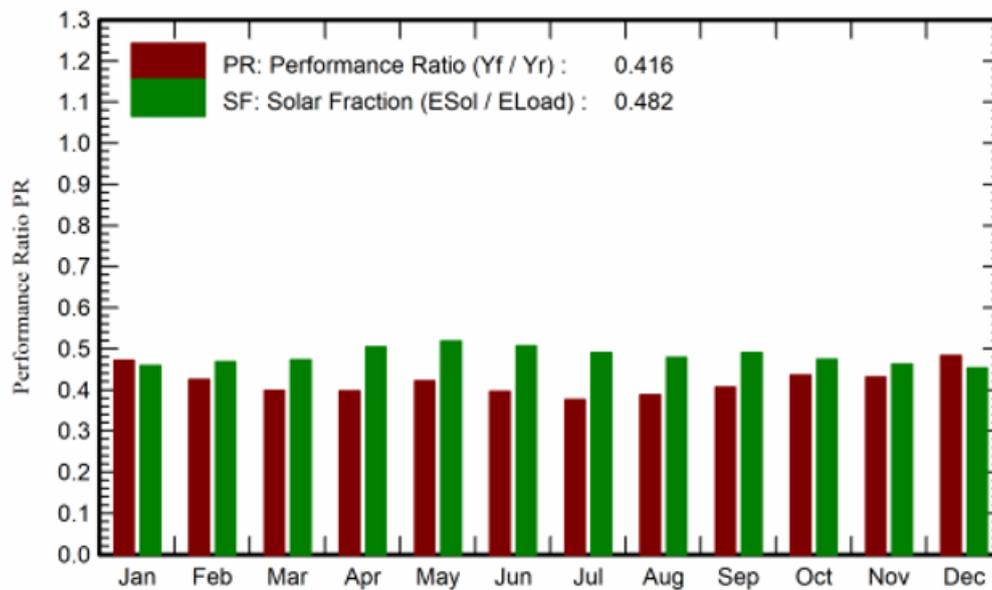


Figure IV . 12: Rapport de performance PR pour Adrar.

❖ Pour Constantine

Latitude : 36.37 °N

Altitude : 596 m

Longitude : 6.62 °E

Inclinaison : 30°

Résultats annuels	GLOBHOR KWh/m ²	Globeff KWh/m ²	E_avail kWh	EUnused kWh	E_miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	rapport SolFrac
Janvier	75.1	116.4	724	0.0	0.00	775.2	775.2	1.000
Fevrier	86.6	113.5	721	0.0	66.14	634.0	700.1	0.906
Mars	136.1	158.4	1006	50.7	0.00	775.2	775.2	1.000
Avril	166.2	174.0	1107	333.2	0.00	750.2	750.2	1.000
Mai	192.6	182.3	1157	323.7	0.00	775.2	775.2	1.000
Juin	212.4	192.0	1198	409.1	0.00	750.2	750.2	1.000
Juillet	218.7	202.8	1242	425.7	0.00	775.2	775.2	1.000
Aout	201.6	203.6	1244	426.0	0.00	775.2	775.2	1.000
Septembre	153.3	173.9	1079	298.2	0.00	750.2	750.2	1.000
Octobre	122.7	160.7	989	171.8	0.00	775.2	775.2	1.000
Novembre	83.4	122.4	761	29.2	0.00	750.2	750.2	1.000
Decembre	69.1	110.1	680	0.0	0.00	775.2	775.2	1.000
Année	1717.8	1910.1	11906	2467.7	66.14	9060.8	9126.9	0.993

Tableau IV.8 : résultats obtenus par PVsyst pour l'exploitation domiciliée à Constantine.

PV module		Battery	
Manufacturer	SIT	Manufacturer	Tesla
Model	SI 744G1	Model	Powerwall
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, NCA
Unit Nom. Power	744 Wp	Nb. of units	18 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	10 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	7.44 kWp	Stored energy	220.7 kWh
Modules	10 Strings x 1 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	101 V
Pmpp	7.21 kWp	Nominal Capacity	2412 Ah (C10)
U mpp	177 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	41 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	7 kWp		
Total	10 modules		
Module area	167 m ²		
Cell area	102 m ²		

Figure IV. 13: Caractéristiques du générateur photovoltaïque de Constantine.

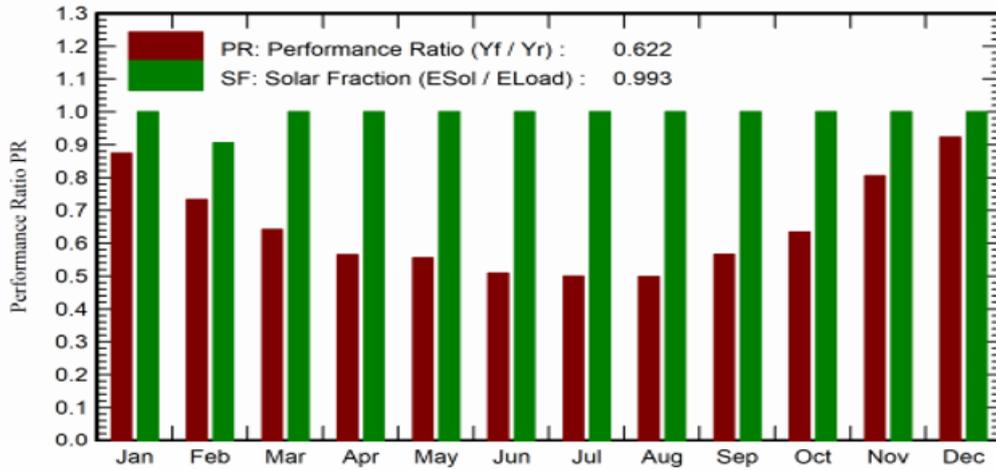


Figure IV.14: Rapport de performance PR pour Constantine.

❖ **Bouzareah(Alger) :**

Latitude : 36.79°N

Altitude : 265 m

Longitude : 3.03°E

Inclinaison : 32°

Résultats annuels	GLOBHOR KWh/m ²	Globeff KWh/m ²	E_avail kWh	EUnused kWh	E_miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	Rapport SolFrac
Janvier	72.2	110.2	679	0.0	85.7	689.4	775.2	0.889
Fevrier	86.0	114.0	718	0.0	61.3	638.8	700.1	0.912
Mars	130.6	151.9	961	98.8	0.0	775.2	775.2	1.000
Avril	158.5	163.2	1042	255.9	0.0	750.2	750.2	1.000
Mai	188.3	177.5	1129	325.2	0.0	775.2	775.2	1.000
Juin	213.8	195.3	1223	430.3	0.0	750.2	750.2	1.000
Juillet	217.8	203.0	1252	439.4	0.0	775.2	775.2	1.000
Aout	197.9	200.7	1235	421.6	0.0	775.2	775.2	1.000
Septembre	147.6	165.1	1023	236.5	0.0	750.2	750.2	1.000
Octobre	115.2	148.1	912	113.2	0.0	775.2	775.2	1.000
Novembre	73.3	103.4	640	0.0	71.8	678.4	750.2	0.904
Decembre	65.4	101.3	624	0.0	206.6	568.6	775.2	0.734
Année	1666.5	1833.7	11437	2320.9	425.4	8701.5	9126.9	0.953

Tableau IV.9 : résultats obtenus par PVsyst pour l'exploitation domiciliée à

Alger.

PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	SI 744G1	Model	Powerwall
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, NCA
Unit Nom. Power	744 Wp	Nb. of units	19 in parallel
Number of PV modules	10 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	7.44 kWp	Stored energy	116.5 kWh
Modules	10 Strings x 1 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	50 V
Pmpp	7.21 kWp	Nominal Capacity	2546 Ah (C10)
U mpp	177 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	41 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	7 kWp		
Total	10 modules		
Module area	167 m ²		
Cell area	102 m ²		

Figure IV. 15: Caractéristiques du générateur photovoltaïque d'Alger.

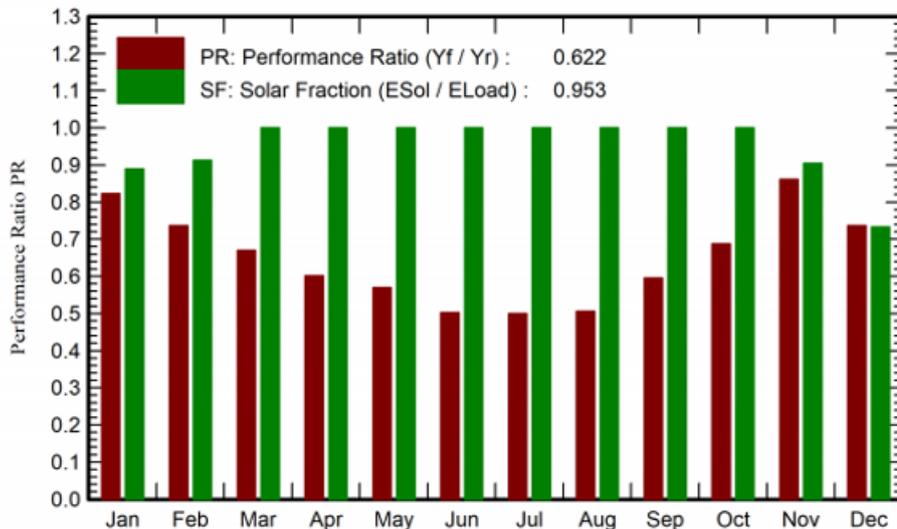


Figure IV. 16 : Rapport de performance PR pour Alger.

Les résultats de dimensionnement concernant le nombre de panneaux et la capacité de stockage que nous avons obtenus pour des panneaux solaires aux silicium amorphe sont regroupés dans ce qui suit :

Site	Autonomie (jours)	Puissance nominale du système complet en Kw	Nombre de panneaux	Puissance crete du panneau Watt crête	Nombre de batteries
Tlemcen	4	6	8	744	17
Adrar	1	6	8	744	2
Constantine	4	7	10	744	36
Bouzarea (Alger)	3	7	10	744	19

Tableau IV.10: Tableau récapitulatif englobant les résultats de simulation en teme de nombre de panneaux et capacité de stockage pour la même exploitation agricole domiciliée dans les quatres différents sites Tlemcen Adrar, onstantine et Alger .

Les différentes pertes énergétiques sont regroupés dans le tableau qui suit:

site	Pertes thermiques (W/m ² K)	Pertes dûes aux raccordemen t	Pertes dûes aux résistances séries	Pertes dûes à la qualité du module	Pertes dues à l'incomparibil ité
Tlemcen	20.0	1.5%	0.4%	5.0%	2.1%
Adrar	20.0	1.5%	0.1%	5.0%	2.1%
Constantine	20.0	1.5%	0.4%	5.0%	2.1%
Bouzarea (Alger)	20.0	1.5%	0.4%	5.0%	2.1%

Tableau IV.11.: Bilan des pertes énergétique de l'installation.

IV.4.2. Dimensionnement l'installation par méthode simple

Dans cette partie nous présentons les résultats de simulations que nous avons obtenus par une méthode de dimensionnement simple, pour cela nous avons écrit notre propre programme qui permet de déterminer le nombre de panneaux et la capacité de stockage nécessaire à l'alimentation de l'installation.

Afin e déterminer le nombre de panneaux on procède comme suit :

- La première étape consiste à calculer l'énergie à produire par l'expression :

$$E_P = \frac{E_C}{K} \quad (IV.1)$$

k est un coefficient correctif qui tient compte des facteurs suivant :

- ✓ L'incertitude météorologique ;
 - ✓ L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
 - ✓ Le point de fonctionnement des modules influencé par : vieillissement et poussières ;
 - ✓ Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie ;
 - ✓ Le rendement du chargeur et de l'onduleur ;
 - ✓ Les pertes dans les câbles et connexions Pour les systèmes avec parc batterie
- La seconde étape permet de calcul de la puissance crête nécessaire au fonctionnement de l'installation qu'on calculera par :

$$P_C = \frac{E_P}{I_R} \quad (IV.2)$$

- Ainsi le nombre total de panneaux solaire N sera déterminé par :

$$N = \frac{P_C}{P_{Panneau}} \quad (IV.3)$$

❖ Calcul du nombre de batteries

- Calcul de la capacité des batteries :

$$C_{Charges} = \frac{E_C \cdot N}{D \cdot U} \quad (IV.4)$$

- Calcul du nombre de batteries :

$$N_B = \frac{C_{Charges}}{C_{Batteries}} \quad (IV.5)$$

Les résultats de simulation que nous avons obtenus par l'utilisation de cette méthode de dimensionnement sont regroupés au tableau IV. 11 suivant.

Site	Consommation énergétique journalière (w)	Autonomie (jours)	Puissance crête du panneau Watt-crete	Nombre de panneaux	Capacité de la batterie (Ah)	Nombre de batteries
Tlemcen	25000	4	744	9	134	18
Adrar	25000	1	744	8	134	3
Constantine	25000	6	744	9	134	27
Alger	25000	5	744	10	134	22

Tableau IV 11: Résultats de dimensionnement par méthode simple

IV.5.Etude comparative

On va dans ce qui suit faire une étude comparative entre les deux méthodes de dimensionnement que nous avons utilisés dans ce travail. On remarque qu'il n'y a qu'une différence minimale entre les deux méthodes dimensionnements due au fait que:

- Le logiciel limite la taille du champ photovoltaïque, et optimise l'économie d'énergie.
- Le calcul du nombre de batteries dépend du nombre de jour d'autonomie (jour sans ensoleillement) , le logiciel prend en compte des données de la dernière mise à jour climatique faite en 2002 en considérant la moyenne de nombres de jour d'ensoleillement sur toute l'année alors que dans le programme que nous avons développé nous choisissons cette autonomie en faisant appel aux données météo en choisissant le mois le plus défavorable en terme d'ensoleillement .

Selon les résultats que nous avons obtenus, Tlemcen reste le meilleur emplacement pour la réalisation de ce projet, grâce aux dimensionnement le plus optimal qu'on a eu avec (8 panneaux photovoltaïques et 17 batteries). Sachant

qu'on a pris en compte les conditions de l'exploitation (sources d'eau, conditions d'élevage des animaux et les données météorologique les plus défavorables).

IV.6. Estimation du cout de l'installation

Pour estimer le cout de réalisation d'un tel projet, nous avons choisi un site isolé sur les frontières ouest du pays, plus précisément une exploitation agricole affiliée à la commune de SOUANI de la willaya de Tlemcen ; Où nous avons calculé le bilan énergétique et pris en considération les données météorologique pour effectuer un dimensionnement optimal de l'installation .



Figure IV . 17: Carte graphique du site choisi.

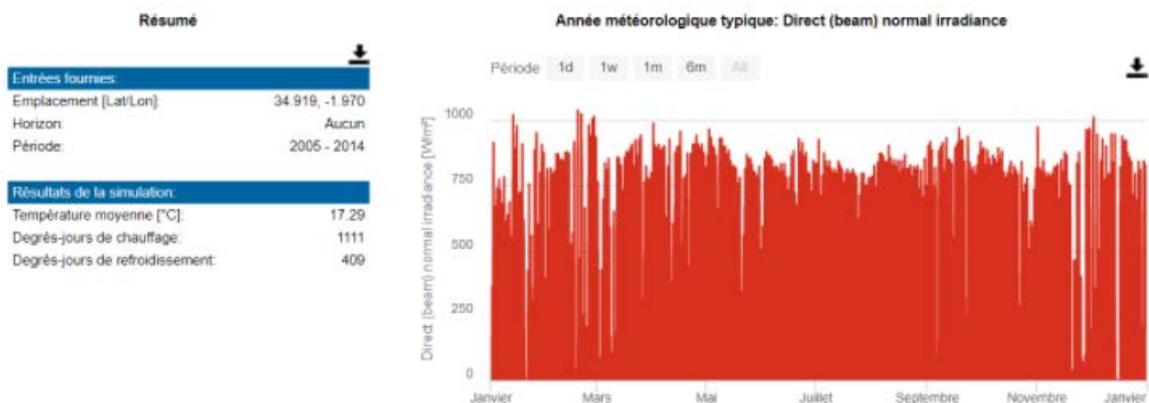


Figure IV . 18: Bilan énergétique du site choisi.

IV.7.Coût d'installation

Selon les caractéristiques prises en compte dans cette étude, le coût d'installation va dépendre des paramètres choisis.

Le prix de watt varie entre 95 DA et 350 DA selon la technologie adoptée et les besoins de l'utilisateur.

Prix d'installation	Prix unitaire	Prix globale
Panneaux solaires	196 980 DA	1 575 835 DA
Batteries	402 000 DA	6 834 000 DA
Régulateurs	31867 DA	254 936 DA
Raccordement électrique	150 000 DA	150 000 DA
Frais d'installation	780 847 DA	8 814 771 DA

Tableau IV.12 : Coûts de l'installation photovoltaïque.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de dimensionner une installation agricole, pour cela nous avons utilisé deux méthodes de dimensionnement, la première consistant à utiliser un free software qui est disponible sur le Web il s'agit du logiciel PVsyst qui est facile à utiliser et permet un grand éventail de choix concernant la nature des panneaux et des batteries, Le dimensionnement réalisé par ce logiciel est considéré comme étant optimal. Une seconde approche nous a permis de dimensionnement l'installation en utilisant une méthode simple pour cela nous avons utilisé un simple programme que nous avons réalisé, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence entre les résultats obtenus dans les deux cas. Dans ce cas une estimation du cout de l'installation a aussi été effectuée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail bien que non exhaustif nous a permis d'étudier une installation solaire alimentant une installation agricole en site isolé.

Ce travail nous a été très bénéfique dans le sens où nous avons pu faire une étude sur le terrain, visiter différentes exploitations agricoles, évaluer les besoins énergétiques de ce type d'installation afin de pouvoir dimensionner une installation solaire alimentant une exploitation agricole.

C'est ainsi que cette étude nous a permis d'étudier les cellules solaires, les différentes technologies de cellules PV existante, les batteries, les régulateurs et les installations solaires qui nous étaient méconnues jusqu'à présent.

Nous avons aussi appris comment procéder pour dimensionner une installation solaire , pour cela nous avons utilisé deux méthodes de dimensionnement, la première consistant à utiliser PVsyst qui un logiciel gratuit disponible sur le web Une seconde approche nous a permis de dimensionnement l'installation en utilisant une méthode simple pour cela nous avons utilisé un simple programme que nous avons réalisé, nous remarquons qu'il n'y a pas une grande différence entre les résultats obtenus dans les deux cas. Dans cette étude une estimation du cout de l'installation a aussi été effectuée.

Références

- [1]Salim Djriou, « Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone », thèse magistère, université Ferhat Abbas-Sétif, 2011.
- [2]Belhadj Mohammed , "Modélisation D'un Système De Captage photovoltaïque Autonome " ,Mémoire de Magister2007/2008, Universitaire de Bechar.
- [3]C. Bernard , " station solaire autonome pour l'alimentation d'une station pompage " l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006
- [4]<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/> .
- [5]Salaheddine Bensalem,," Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire ", université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011
- [6]Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, " Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque " , mémoire de master, université Kasdi Marbah-Ouargala, 2012
- [7]Sylvain et Brigand, " Installation solaire photovoltaïque ",Février 2011
- [8]Soltane Belakehal, " Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables ", thèse doctorat, université de Constantine.
- [9]Intelligent énergie Europe .énergie bits.com
- [10] Dr. Sofia BelaidLalouni, "Cours Energie Solaire Photovoltaïque ", Université A .Mira de Bejaia, 2015.
- [11]ASAL. (l'Atlas Solaire de l'Algérie par l'Agence Spatiale Algérienne). Energie nouvelle et renouvelable)
- [12]R. Khezzar et al, "Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique I-V d'un module photovoltaïque ". revue des Energie Renouvelables Vol.13 N° 3, pp 379-388, 2010
- [13]Abdelkader Mekemeche, " Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes ", Thèse de Doctorat, L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017

[14] Mr BOUZID Allal El Moubarak, Mr AZIZI Mohammed, " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme - Étude de l'onduleur triphasé Lié à cette application" ,Mémoire, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2008

[15] http://bibfac.univ-tlemcen.dz/bibfs/opac_css/doc_num.php?explnum_id=343

[16] <https://energieplus-lesite.be/techniques/photovoltaique3/modules-photovoltaiques/>

[17] <https://www.electronique-mixte.fr/wp-content/uploads/2018/07/Batterie-panneaux-solaire-8.pdf>

[18] <https://repository.usthb.dz/bitstream/handle/123456789/3124/TH2623.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

[19] <https://www.univ-tlemcen.dz/~benouaz/memoires/behadj.pdf>

[20] <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/what-is-solar-energy/photovoltaic-systems/#gref>

[21] <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/autoconsommation.html>

[22] [Conception-assistee-par-ordinateur-des-systemes-photovoltaiques-Modelisation-dimensionnement-et-simulation.pdf](#)

[23] GUEN Ahlam ,Contribution à l'étude des systèmes de télécommunications mobiles alimentés par énergie solaire , Thèse de Magister , février 1992

Résumé

le principe de l'énergie photovoltaïque découvert par le physicien Henri Becquerel en 1839, consiste à produire du courant continu à partir du rayonnement solaire. De nos jours, la demande en énergie ne cesse d'augmenter afin de satisfaire aux besoins énergétiques des occupants de notre planète, tout en se libérant de toute dépendance des énergies fossiles, polluantes, qui s'épuisent et ne se renouvellent pas au cours du temps. C'est ainsi que ce travail a consisté à étudier la possibilité d'alimenter une exploitation agricole par énergie photovoltaïque. Ce travail bien que non exhaustif nous a permis d'étudier un système PV comprenant des panneaux solaires, des batteries d'accumulateurs et un régulateur pour alimenter une installation agricole en site isolé, suite à quoi le dimensionnement de cette station fut effectué par le biais du logiciel PVsyst et par un programme que nous avons développé pour cette étude.

mot clés: énergie solaire, système photovoltaïque, dimensionnement, logiciel de simulation PVsyst

abstract

The principle of photovoltaic energy discovered by the physicist Henri Becquerel in 1839, is to produce direct current from solar radiation. Nowadays, the demand for energy is constantly increasing in order to meet the energy needs of the occupants of our planet, while freeing ourselves from any dependence on fossil fuels, polluting, which are exhausted and not renewed over time, so this work has consisted of studying the possibility of supplying a farm by photovoltaic energy. This work although not exhaustive allowed us to study a PV system including solar panels, storage batteries and a regulator to supply an agricultural installation in isolated site, following which the dimensioning of this station was carried out by the means of the software PVsyst and by a program which we developed for this study.

keywords: solar energy, photovoltaic system, dimensioning, PVsyst simulation software

مبدأ الطاقة الكهروضوئية التي اكتشفها الفيزيائي هنري بيكريل عام 1839 ، تتمثل في إنتاج تيار مباشر من الإشعاع الشمسي في الوقت الحاضر يستمر الطلب على الطاقة في الزيادة من أجل تلبية احتياجات الطاقة لشاغلي كوكبنا ، مع تحرير نفسها من أي اعتماد على الوقود الأحفوري ، الملوثة ، التي تُستنفد ولا تتجدد بمرور الوقت ، هكذا تكوّن هذا العمل من دراسة إمكانية إمداد مزرعة بالطاقة الكهروضوئية. سمح لنا هذا العمل ، على الرغم من أنه ليس شاملاً ، بدراسة نظام الكهروضوئية الذي يشتمل على الألواح الشمسية وبطاريات المركب والمنظم لتزويد منشأة زراعية في موقع معزول ، وبواسطة برنامج قمنا بتطويره لهذه الدراسة PVsyst وبعد ذلك تم تنفيذ تحجيم هذه المحطة من خلال برنامج الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية ، النظام الكهروضوئي ، برامج محاكاة الكهروضوئي

Chapitre IV : Etude et dimensionnement du système photovoltaïque satisfaisant aux besoins énergétiques d'une exploitation agricole