

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : FERDJI Amina.
KADRI Nour El Houda.

Thème

**ETUDE D'UNE INSTALLATION HYBRIDE
(PHOTOVOLTAIQUE-RESEAU) :APPLICATION
L'AIRE DE REPOS LES ZIANIDES**

Soutenu publiquement, le 30/07/2022, devant le jury composé de :

Mme. BOUDGHENE STENBOULI Naoul	MAA	ESSA. Tlemcen	Présidente
Mme. LASSOUANI Fatiha	MCB	ESSA. Tlemcen	Encadrante
Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE	MCA	ESSA. Tlemcen	Co- Encadrante
Mme. FEKIH Zakia	MCB	Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent	Examinatrice
Mme. BOUKLI HACENE Souhila	MCA	Université Abou Beker Belkaid Tlemcen	Examinatrice

Année Universitaire : 2021/2022



سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت
العليم الحكيم



سورة البقرة: الآية: 31

اللهم إنا نسألك علما نافعاً وقلبا خاشعاً ولسانا ذاكراً

Remerciements

Ce mémoire est le fruit d'un dur travail, accompagné de beaucoup de sacrifices, surtout durant cette pandémie. Nos remerciements, vont tout d'abord au créateur de l'univers, qui nous a accordé la force et le courage et l'intelligence, pour mener à bien cette année.

On offre nos sincères et chaleureux remerciements, à nos encadreurs de mémoire madame **LASSOUANI Fatiha** et madame **KHERBOUCHE Djamila**, pour avoir accepté de diriger notre travail avec leurs précieux conseils. Aussi que les membres du jury trouvent ici nos remerciements les plus vifs, pour avoir accepté d'honorer par leurs jugements notre modeste travail.

Enfin, on ne peut pas achever sans exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail de près ou de loin.

On remercie très sincèrement nos professeurs monsieur **MESSIRDI Mohammed**, Monsieur **BEY Mohammed** et monsieur **CHIALI Aniss** qui nous ont beaucoup aidés.

On remercie également les membres de jury madame **BOUDGHENE STANBOULI Naoul**, madame **FEKIH Zakia** et madame **BOUKLI HACENE Souhila** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

MERCI !



Dédicaces

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie cet événement marquant de ma vie à la mémoire de mon père qui restera gravée dans mon cœur. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui n'a jamais lui oublié !

À la lumière de mes jours, à ma mère, qui m'a entouré d'amour, d'affection, et qui a fait tout pour ma réussite. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester fidèle à votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que dieu, te protège, préserve santé et longue vie.

À mes très chères sœurs : Soumia, Meriem, Houda et mon frère Abd-El-Allah, pour les souvenirs d'une enfance agréable et unique et spécialement à ma sœur Meriem qui m'a aidé beaucoup au cours de mes études.

À mes adorables nièces et neveux : Hiba, Abdallah, Hafsa, Céline et Mohamed.

ET à toute ma famille

À mes très chers amis et collègues, et spécialement KADRI Nour El Houda et BENRAHOU FARAH ; Imen ; Chaymaa pour l'amitié qui nous unit et les souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble. Merci d'être toujours à mes côtés. Vous serez à jamais dans mon cœur. A tous mes professeurs et la famille de l'ESSAT

FERDJI Amina



DEDICACE

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail A mes très chers parents Je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre amour, à votre patience et vos innombrables sacrifices. A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études.

Mon frères « Souheyb », ma sœurs « Hanna », je leurs souhaite une vie pleine de succès et de réussite.

Je le dédie aussi à mes grands-parents, à mes tantes, mes cousines Safaa et Wafaa.

A Toutes ma Famille

sdes meilleur 5ans avec eux qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir. Merci d'être toujours à mes côtés.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis et mes collègues de ESSAT.

KADRI Nour EL Houda

SOMMAIRE

Remerciements	II
Dédicaces.....	III
SOMMAIRE.....	V
Introduction générale.....	I
Chapitre I : l'énergie photovoltaïque	1
Introduction.....	2
I.1 L'historique de l'énergie photovoltaïque.....	2
a. La conquête du photovoltaïque 1954-2000	3
b. L'industrialisation du photovoltaïque 2000-2012	3
I.2 Conversion de la lumière en électricité.....	4
I.3 Technologies des cellules solaires	5
I.3.1 Silicium monocristallin	5
I.3.2 Silicium polycristallin	6
I.3.3 Silicium amorphe	6
I.4 Fabrication des cellules photovoltaïques	7
I.5 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque	8
I.6 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	9
I.6.1 Avantages	9
I.6.2 Inconvénients	10
I.7 Les différents types de système photovoltaïque	11
I.7.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	11
I.7.2 Systèmes photovoltaïques autonomes (SAPV)	12
Conclusion	13
Chapitre II : les systèmes hybrides.....	14
Introduction.....	15
II. Définition	15
II.1 Classification.....	15
II.1.1 Le régime du fonctionnement.....	15

II.1.2	La structure du système hybride	16
II.1.3	Type d'énergie renouvelable utilisée	16
II.2	Etudes des structures de systèmes hybrides	16
II.2.1.1	Système hybride avec source d'énergie conventionnelle	17
II.2.1.2	Système photovoltaïque/source conventionnelle	17
a.	Système hybride avec connexion série	17
b.	Système hybride à commutation.....	19
c.	Système hybride à connexion parallèle	20
II.2.1.3	Systèmes photovoltaïques connectés au réseau	21
II.2.1.3	Systèmes éolien/source conventionnelle.....	22
II.2.1.4	Systèmes hybrides éolien-diesel	22
II.2.1.5	Systèmes photovoltaïque-éolien-diesel.....	23
II.2.2	Systèmes hybrides sans source conventionnelle	24
II.2.2.1	Système hybride éolienne autonome (éolienne-stockage).....	24
II.2.2.2	Systèmes photovoltaïques autonomes (Photovoltaïque -stockage)	26
II.2.2.3	Système hybride photovoltaïque-éolienne-stockage.....	27
II.2.2.4	Système hybride photovoltaïque-éolien (PV-E) sans stockage	28
	Conclusion	29
Chapitre III : Dimensionnement de l'installation hybride PV-réseau		30
III. Dimensionnement de l'installation photovoltaïque		31
III.1	Objectif général.....	31
III.2	Etude technique.....	31
III.3	Collecte des données	32
III.4	Dimensionnement des équipements des systèmes photovoltaïques	32
III.4.1	L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité.....	32
III.4.2	Localisation du site	33
III.4.3	Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV	34
III.4.4	Dimensionnement du générateur photovoltaïque	34
III.4.4.1	Calcul de la puissance crête du système.....	35
III.4.4.2	Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser	36
III.4.5	Dimensionnement du parc de batteries.....	36
III.4.6	Dimensionnement du régulateur de charge	38
III.4.7	Dimensionnement de l'onduleur :	38

III.4.8	Le dimensionnement des câbles électriques solaires.....	39
III.5	Application.....	41
III.5.1	Consommation globale	41
III.5.2	Dimensionnement du générateur photovoltaïque	41
III.5.3	Choix des batteries.....	42
III.5.4	Choix du régulateur de charge.....	42
III.5.5	Choix de l'onduleur	43
III.6	Choix des câbles	43
Chapitre IV : Simulation et interprétation des résultats		47
Introduction.....		48
IV. Simulation du système par HOMER.....		48
IV.1	Présentation du logiciel.....	48
IV.2	Géographie et climat Description du cas étudié	50
IV.3	Simulation et interprétation des résultats	51
IV.3.1	Profil de charge.....	52
IV.3.2	Évaluation des ressources et collecte de données.....	54
IV.3.2.1	Données sur les ressources solaires.....	54
IV.3.3	Température ambiante	55
IV.4	La construction de système hybride photovoltaïque – réseau :	56
IV.4.1	Modélisation de panneaux solaires photovoltaïques	57
IV.4.2	Convertisseur	58
IV.4.3	Modélisation de la batterie	59
IV.4.4	Modélisation de réseau électrique	59
IV.5	Résultats et interprétation	60
IV.5.1	La production PV et la consommation du système	61
IV.5.2	Résultat de convertisseur	62
IV.5.3	Résultat sur les batteries.....	63
Conclusion		66
Conclusion générale		67
Bibliographie.....		69

Listes des figures

Figure I. 1 : conversion de l'énergie solaire en électricité.....	4
Figure I. 2 : Structure d'une cellule photovoltaïque.....	5
Figure I. 3: Différents types des cellules solaires.....	7
Figure I. 4 : Les différentes étapes du mode de fabrication des modules photovoltaïques à base de silicium cristallin.....	8
Figure I. 5 : Structure (gauche) & diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque.	9
Figure I. 6: Architecture électrique d'un système photovoltaïque connecté au réseau de distribution.....	12
Figure I. 7 : Système photovoltaïque autonome.....	13
Figure II. 1: Classification des systèmes hybrides.....	17
Figure II. 2: Système hybride avec connexion série.....	18
Figure II. 3: Système hybride à commutation.....	19
Figure II. 4: Système hybride à connexion parallèle.....	20
Figure II. 5: Système connecté au réseau public.....	22
Figure II. 8 : Présentation d'un système hybride PV-E-D.....	24
Figure II. 9: Stockage inertielle associé à une turbine éolienne (à gauche) « Leclerc [2004] », Volant d'inertie de type Beacon Power (à droite) « Beacon Power ».....	25
Figure II. 10: Système photovoltaïque autonome (Photovoltaïque –stockage).....	26
Figure II. 11: Schéma d'un système PV-E.....	27
Figure II. 12: Structure d'un système hybride PV-Eolien sans stockage.....	28
Figure III. 1: Localisation de l'aire de repos des zianides.....	33
Figure IV. 1 : Les trois capacités de base de Homer Pro.....	50
Figure IV. 2 : Carte aire de repos des zianides en vue par satellite [et carte géographique.....	51
Figure IV. 3 : Écran d'accueil HOMER Pro.....	52
Figure IV. 4: Profil de charge saisie dans HOMER Pro.....	52
Figure IV. 5: Profil de charge annuelle.....	53
Figure IV. 6: Profil de charge journalier suivant les saisons.....	53
Figure IV. 7 : Le rayonnement quotidien sur la région étudié.....	54
Figure IV. 8 : la température ambiante moyenne mensuelle du site.....	55
Figure IV. 9: schéma du système hybride PV-réseau simulé par HOMER Pro.....	56
Figure IV. 10 : caractéristiques de module solaires photovoltaïques SY-M330W.....	57
Figure IV. 11: convertisseur choisis parmi les modèles de HOMER Pro.....	59
Figure IV. 12: Batterie choisis parmi les modèles de HOMER Pro.....	59
Figure IV. 13 : Paramètres réseau introduit dans le modèle de HOMER Pro.....	60
Figure IV. 14 : les nombre de solutions simulé par HOMER Pro.....	60

Figure IV. 15: Les solutions les plus optimales.....	60
Figure IV. 16 : la production électrique totale mensuelle	61
Figure IV. 17: Energie électrique produite par le système	61
Figure IV. 18:Energie annuelle consommé	62
Figure IV. 19 : Histogramme de la répartition l'énergie annuelle consommé par le système ...	62
Figure IV. 20 : Puissance de l'onduleur	63
Figure IV. 21: La puissance d'entrée du convertisseur	63
Figure IV. 22: état de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries	64
Figure IV. 23:Puissance journalière moyenne délivré par les générateur PV	64
Figure IV. 24 : Indication puissance de réseau.....	65
Figure IV. 25 : la quantité des gaz émis par le système	66

Liste de tableau

Tableau III. 1: Relation entre latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.....	34
Tableau III. 2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête	36
Tableau III. 3: Consommation globale de l'aire de repos de zianides.....	41
Tableau III. 4: Tableau récapitulative des résultats obtenus	44
Tableau III. 5: Résultat obtenue après la décomposition du système.....	45
Tableau IV . 1: Les valeur de rayonnement solaire, indice d'écarté la température moyenne annuelle.....	56
Tableau IV . 2 : Fiche technique du panneau choisis	58

.

Liste d'abréviations :

(SH) : Système Hybride

(SHSER) : système hybride à sources d'énergie renouvelables

(AC) : courant alternatif (Alternative Current)

(DC) : courant continu (Direct Current)

(SHED) : système hybride éolienne-diesel

(SHEDAC) : système hybride éolienne-diesel avec stockage d'air comprimé

(PV) : Photovoltaïque

(PV-E-D): photovoltaïque-éolien-diesel

(GS) : Génératrice Synchronne

(MLI) : Modulation de la Largeur d'Impulsion

(MPPT) : Maximum Power Point Tracking

(PV-E) : photovoltaïque-éolien

(GPV) : Générateur photovoltaïque

(HOMER): Hybrid Optimization Model for Electric Renewables

(NREL): (National Renewable Energy Laboratory).

(GES) : Gaz à Effet de Serre

(DG) : Distributed Generatio

Introduction générale

La production de l'énergie a toujours constitué un défi de taille pour les sociétés humaine, en effet, leurs besoins en énergie ne cessent de progresser, par ailleurs la plus grande partie de cette énergie est produite actuellement à partir de gisements fossiles (pétrole, gaz, charbon ...) et qui de fait ne sont pas infinis, étant des sources très polluantes, leurs extractions ainsi que leur utilisation posent le nouveau problème de la préservation de la planète. Pour continuer et améliorer le développement de nos sociétés, il est impératif et de plus en plus urgent de trouver de nouvelles sources d'énergie qui se régénèrent suffisamment vite pour être considérer comme étant inépuisables et dont l'utilisation se doit être propre. Plusieurs idées ont été développées au cours du 20^{eme} et en début de ce 21^{eme} siècle mais le soleil est une importante source d'énergie et sa lumière est la plus grande source d'énergie sur terre. Les rayons du soleil atteignent la terre sous plusieurs formes, à savoir: 50% de lumière visible, 45% d'infrarouge et une petite quantité d'ultraviolets et quelques formes d'ondes électromagnétiques, alors que la terre perd une partie de la lumière du soleil qui atteint le territoire lorsque ces rayons passent à travers les nuages et l'atmosphère de la terre qui les absorbe ou les diffuse comme l'énergie solaire, la terre produit 200.000 fois plus d'électricité chaque jour que le monde produit, de sorte que l'électricité et le photovoltaïque est la consommation du monde le plus d'énergie, et l'un des plus importants facteurs de développement de tout pays.

L'Algérie est un pays en développement avec un nombre important de zones d'habitation isolées ou éloignées du réseau. Leur raccordement au réseau a un prix important, et il est parfois impossible de se raccorder. Les systèmes photovoltaïques autonomes jouent donc leur rôle pour répondre aux demandes d'énergie des habitants de ces zones, tandis qu'un système photovoltaïque raccordé au réseau pour les territoires proches du réseau.

Le travail effectuer dans cette étude est le dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque raccordé au réseau à l'aide d'un logiciel HOMER PRO. En intégrant de manière optimale l'énergie photovoltaïque dans ce réseau électrique au moindre coût et sans perte. On a choisi comme application l'aire de repos de zianides de la wilaya de Tlemcen.

Pour répondre au mieux à cette étude, cette thèse est encadrée par quatre chapitres principaux, en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur l'énergie photovoltaïque et son historique dans le développement. Nous décrivons, le principe de la conversion photovoltaïque, les différents types de cellules photovoltaïques ainsi que le principe de fonctionnement de ces cellules. Nous présentons aussi les différents types de systèmes photovoltaïques qu'ils soient autonomes ou connectés au réseau.

Nous avons présenté dans le deuxième chapitre les systèmes hybrides et leur classification puis les différentes structures de système avec ou sans source conventionnelle.

Le troisième chapitre, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque-réseau », comme le titre l'indique, nous dimensionnerons le système PV hybride avec la méthode itérative selon les données météorologiques (irradiation, inclinaison, température) du site étudié et selon les besoins énergétiques de la station.

Dans le quatrième chapitre nous présentons la simulation d'un système photovoltaïque connectée au réseau. Nous utilisons le logiciel HOMER PRO. Il s'agit d'un modèle d'amélioration d'un système alimenté par des énergies renouvelables. Nous expliquons aussi son fonctionnement. Ensuite, Nous présentons les différents résultats trouvés par le logiciel et leur interprétation.

Enfin, les résultats principaux de ce travail de recherche et les perspectives qui en découlent sont proposés ainsi qu'une conclusion générale.

Chapitre I

L'énergie photovoltaïque

Introduction

La demande de production d'énergie alternative renouvelable a fait l'objet de discussions dans de nombreux secteurs et de nombreux pays à travers le monde. Ces études visent à faire de cet outil non polluant l'axe de recherche de plusieurs chercheurs pour atteindre l'objectif principal de minimiser l'impact négatif des ressources conventionnelles de production d'énergie. La principale source d'énergie utilisée pour produire de l'électricité est celle d'énergie renouvelable qui est un ensemble d'inépuisables, disponibles à l'infini, surtout gratuits, et conformes à certaines considérations environnementales à l'échelle humaine. On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque.

L'énergie solaire est une source importante d'énergie renouvelable qui peut remplacer d'autres sources d'énergie classiques pour répondre aux demandes massives d'énergie à l'avenir. L'énergie photovoltaïque est la plus récente source d'énergie renouvelable. Elle présente les avantages d'être non polluante, flexible et fiable. Elle peut être utilisée pour la petite et moyenne consommation d'électricité dans les zones reculées et éloignées des lignes de distribution.

Nous présentons dans ce chapitre différentes notions fondamentales liées aux travaux de cette mémoire. Nous abordons d'abord la connaissance de l'énergie photovoltaïque, principes de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et les différents types de système photovoltaïque.

I.1 L'historique de l'énergie photovoltaïque

On utilise les systèmes photovoltaïques depuis 40 ans. Ils ont commencé à être utilisés dans le cadre de programmes spatiaux pour les radios émises par les satellites. Ils continuent d'utiliser des balises en mer et des équipements dans des endroits isolés dans tous les pays du monde, en utilisant des batteries pour stocker l'électricité pendant des heures sans Soleil [1].

Antoine Becquerel a mis l'accent sur l'effet photovoltaïque en 1839, mais ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du XXe siècle que l'on a vraiment commencé à développer cette découverte.

L'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu.

a. La conquête du photovoltaïque 1954-2000

- La première cellule photovoltaïque destinée à alimenter les appareils électroménagers a été présentée par Laboratoires Bell en 1954.
- Le premier satellite alimenté par des panneaux photovoltaïques a été Vanguard en 1958.
- La technologie optoélectronique est devenue courante dans les années 1960 sur les satellites. Embarqués sur des lanceurs puis déployés en orbite terrestre, les panneaux photovoltaïques ont démontré leur robustesse et leur fiabilité.
- Les panneaux photovoltaïques ont été développés pour des applications terrestres et marines depuis les années 1970. Ils peuvent alimenter des emplacements isolés sans service de réseau, tels que des balises en haute mer ou des stations relais de télécommunications dans le désert. Les panneaux photovoltaïques sont utilisés dans les conditions les plus extrêmes. En mer, ils sont exposés aux tempêtes et à la corrosion saline. Dans le désert, ils connaissent des températures extrêmes et des cycles thermiques très rudes, avec des nuits très froides et des journées très chaudes.
- En 1974, le premier bâtiment à être entièrement alimenté par l'énergie solaire a été construit à Albuquerque, au Nouveau-Mexique. La réalité est devenue impensable : l'énergie solaire peut répondre à tous les besoins énergétiques d'un bâtiment [2].

b. L'industrialisation du photovoltaïque 2000-2012

- À la suite de la signature de l'accord de Kyoto en 1997, les grands pays développés ont posé question après question, cherchant des solutions spécifiques au problème des émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit notamment de réduire notre consommation de combustibles fossiles. Le solaire photovoltaïque est considéré comme l'une des technologies les plus prometteuses. Pour compenser les coûts encore élevés, des incitations fiscales ont été introduites au Japon et en Allemagne à partir de 2000, puis progressivement mises en œuvre dans la plupart des grands pays développés.
- En général, ces incitants sont basés sur le principe du "prix d'achat de l'électricité" : l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques est achetée à un prix fixe supérieur au prix du marché pendant une période suffisante pour assurer la rentabilité de l'investissement". C'est le début du développement de l'énergie solaire connectée au réseau.

En France, après l'échec du premier mécanisme d'incitation, le "droit d'achat" a été réévalué en 2006, ce qui a permis au marché de redémarrer.

- Le mécanisme incitatif a accéléré le développement de la filière photovoltaïque. Entre 1996 et 2016, le nombre de panneaux solaires produits dans le monde a augmenté de 2 500. Cette croissance exponentielle du marché mondial a favorisé l'émergence de nouveaux constructeurs et conduit à des investissements substantiels en recherche et développement et permet d'améliorer le rendement des panneaux [2].

I.2 Conversion de la lumière en électricité

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. La tension obtenue est fonction de la lumière incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue. La tension générée peut varier entre 0.3 et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule [3].

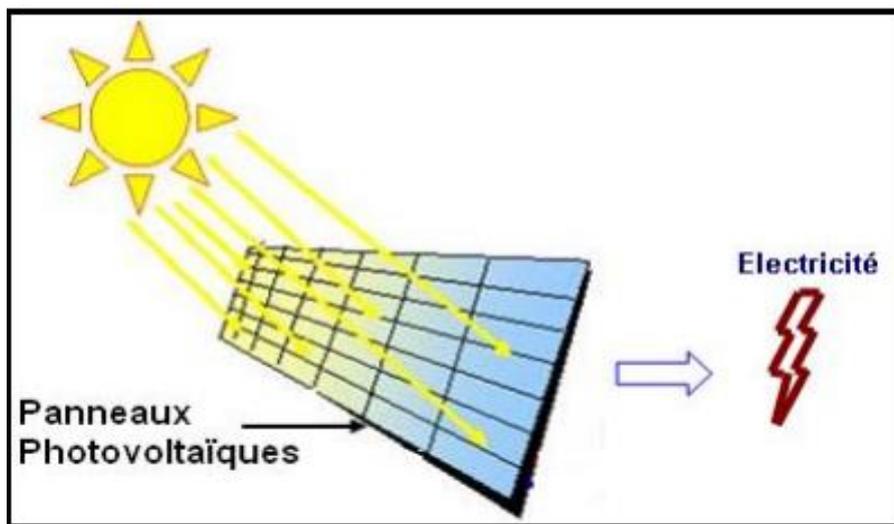


Figure I. 1 : conversion de l'énergie solaire en électricité.

Les cellules photovoltaïques sont des jonctions PN composées de semi-conducteurs de type n et de type p, tels que le silicium dopé au phosphore et le silicium dopé au bore. Sous l'influence d'un champ électrique dans une jonction PN connectée sur un circuit externe, la paire électron-trou se sépare et les électrons excités commencent à se déplacer dans une direction spécifique : un courant électrique est généré [4],[5].

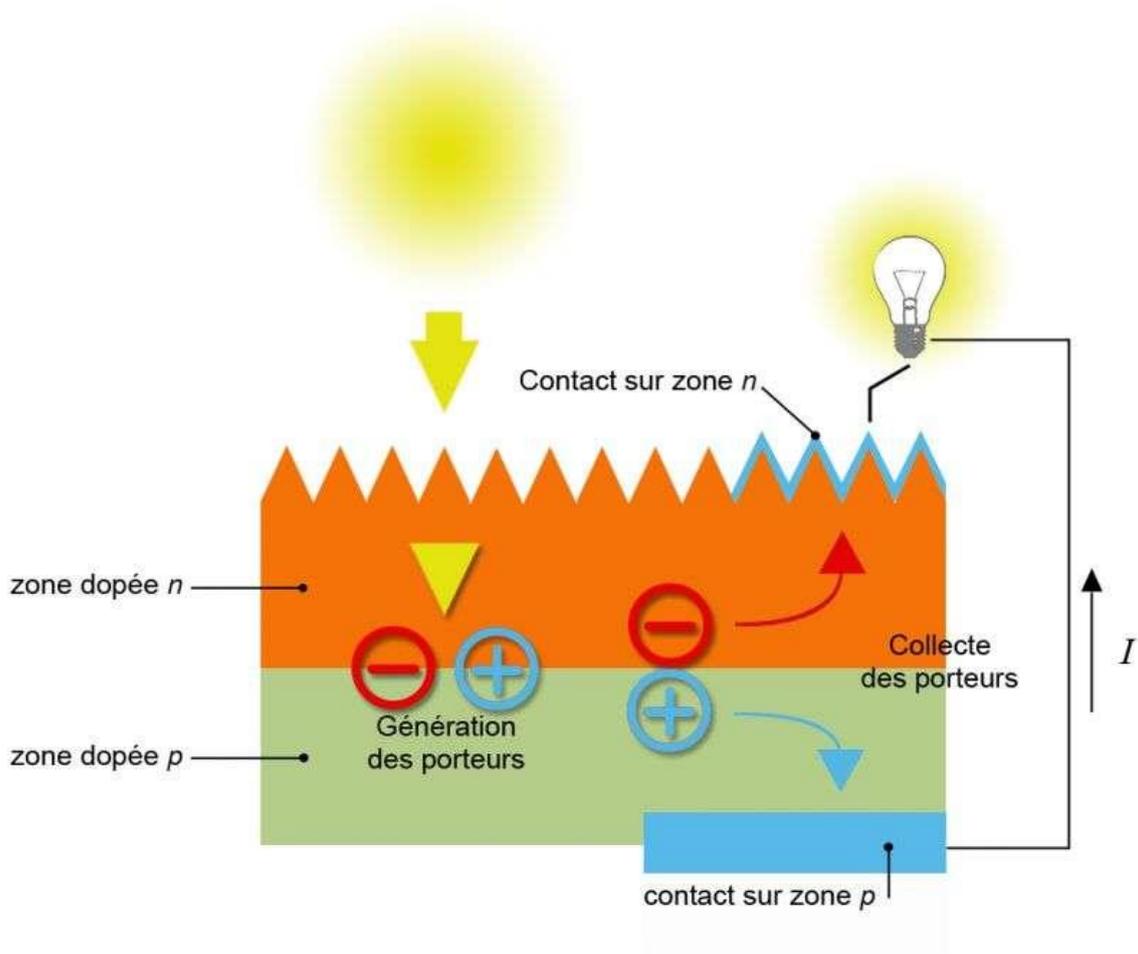


Figure I. 2 : Structure d'une cellule photovoltaïque.

I.3 Technologies des cellules solaires

Le silicium est l'un des matériaux les plus courants sur terre, c'est du sable, mais La fabrication de cellules photovoltaïques nécessite une grande pureté et le processus est cher. Selon la technologie utilisée, on trouve [6]:

I.3.1 Silicium monocristallin

Il s'agit de la première cellule constituée de blocs de silicium cristallisés en monocristaux. Après refroidissement, le silicium fondu se solidifie pour former un seul grand cristal. Ensuite, le cristal est découpé en fines lamelles pour obtenir des alvéoles. Ces cellules sont généralement de couleur uniforme, généralement noires. Leur efficacité standard est de 12 à 20 %.

La durée de vie des cellules en silicium monocristallin est de plus ou moins 30 ans. Les données sur la durée de vie sont liées au fait que la production de cellules diminue avec l'âge. Les

fabricants diminuent généralement leur production de 0,5 % par an, et après 25 ans, la performance minimale est d'environ 85 %. Ils présentent deux inconvénients :

- ✓ Prix élevé ;
- ✓ Retour sur investissement énergétique élevé (jusqu'à 6 ans dans les zones moins favorables).

I.3.2 Silicium polycristallin

Ces cellules sont constituées d'un morceau de silicium qui s'est cristallisé en plusieurs cristaux. L'orientation est différente. Au fur et à mesure que le silicium refroidissait, plusieurs cristaux se formaient. Ces cellules sont généralement bleues et le motif montre de gros cristaux enchevêtrés. Leur durée de vie est également de plus ou moins 30 ans. Leur efficacité est de l'ordre de 11 à 15 %, mais leurs coûts de production sont inférieurs à ceux des cellules monocristallines.

I.3.3 Silicium amorphe

Leurs coûts de production sont faibles, mais malheureusement leur rendement est très faible (8 à 10 %). La cellule est gris foncé. Cette technologie permet d'utiliser des couches de silicium très minces, ou des couches de silicium amorphe très minces peuvent être appliquées sur du verre, des plastiques souples ou des métaux. C'est le silicium amorphe le plus courant dans les petits produits de consommation tels que les calculatrices et les montres. Mais depuis peu, il est également utilisé sur de grandes surfaces en toiture.

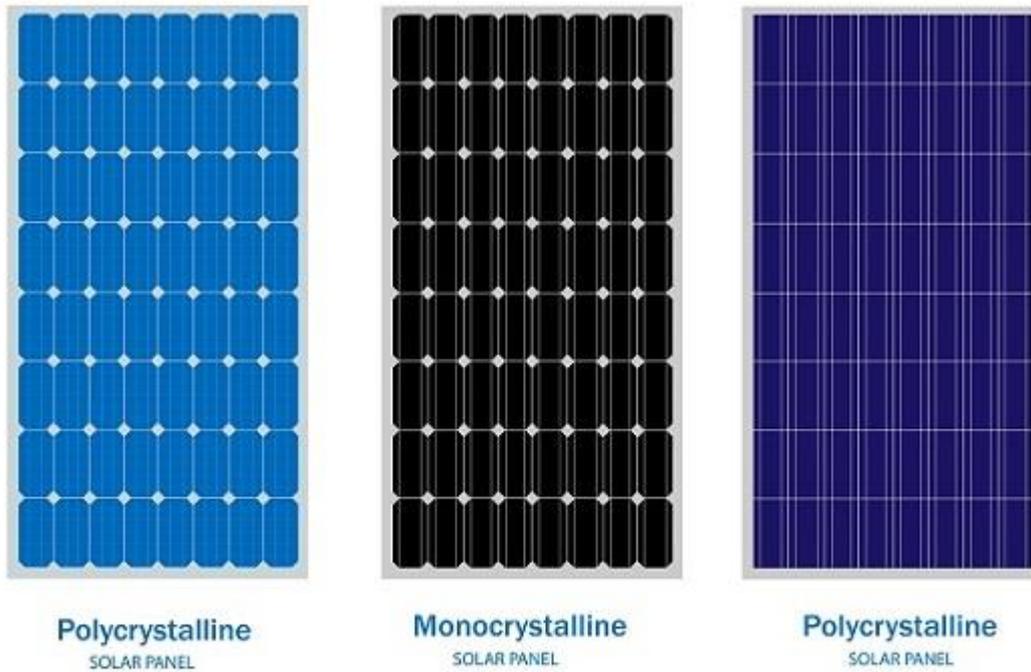


Figure I. 3: Différents types des cellules solaires.

D'autres matériaux sont utilisés commercialement et se partagent les parts de marché laissés par le silicium : le tellure de cadmium (CdTe), les chalcopyrites comme le Cu (In, Ga) Se₂ dit CIGS (cuivre, indium, gallium et sélénium) et le silicium amorphe hydrogéné [7].

I.4 Fabrication des cellules photovoltaïques

Actuellement, le silicium est le matériau le plus utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques. Il est obtenu à partir de la réduction de la silice, le composé le plus abondant de la croûte terrestre, surtout dans le sable ou le quartz. Il s'agit d'abord de produire du silicium dit métallurgique, pur à 98 % seulement, provenant de paillettes de quartz issues de galets. Le silicium de qualité photovoltaïque doit être purifié à plus de 99,999%, ce qui s'obtient en convertissant le Silicium en un composé chimique qui sera distillé puis transformé en Silicium. Il est réalisé sous forme de joncs appelés « lingots », de section ronde ou carrée. Ces lingots sont ensuite sciés en fines feuilles 200 microns d'épaisseur s'appelle wafers. Après un traitement, les éléments sont dopés pour obtenir du silicium semi-conducteur de type P ou de type N et les wafers sont métallisée : des bandes métalliques sont incrustées dans la surface et reliées à des contacts électriques. Une fois métallisés les wafers sont devenus des cellules photovoltaïques [8], [9].

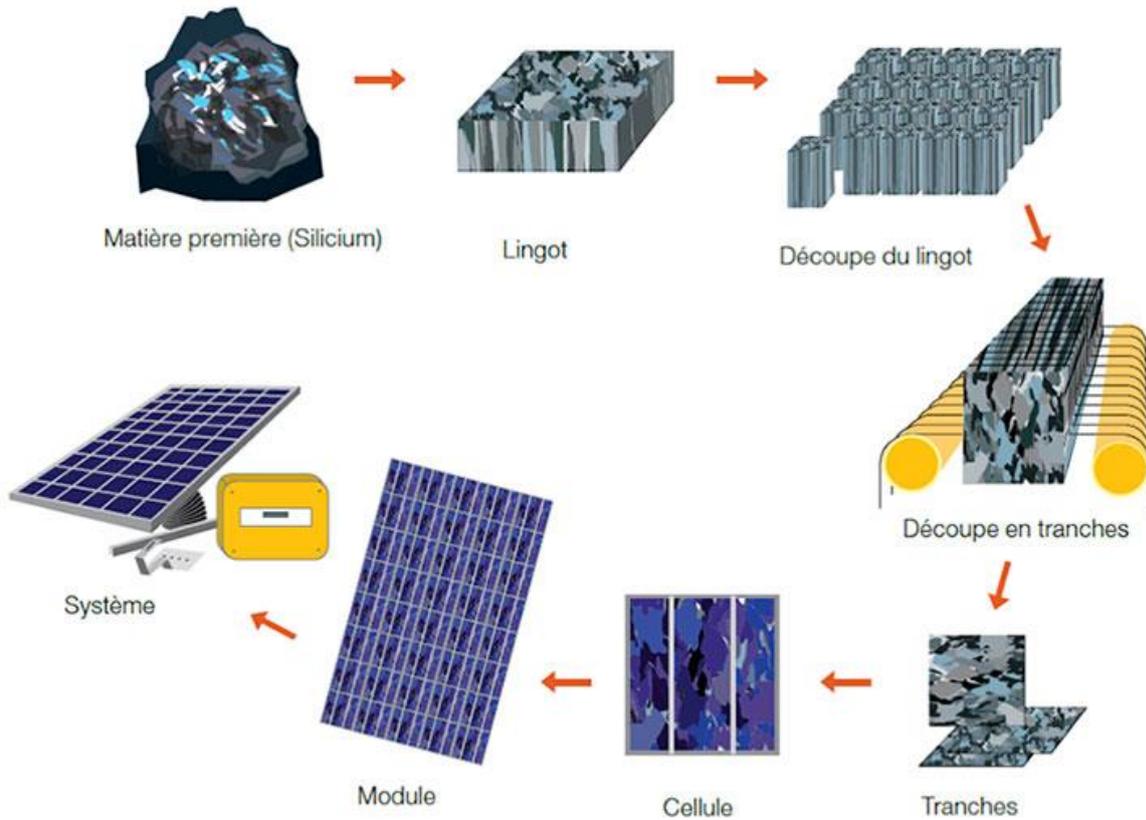


Figure I. 4 : Les différentes étapes du mode de fabrication des modules photovoltaïques à base de silicium cristallin.

I.5 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des dispositifs qui convertissent l'énergie solaire en électricité. Cette transition repose sur trois mécanismes :

- L'absorption des photons (dont l'énergie est supérieure à l'entrefer) par le matériau constituant le dispositif ;
- Conversion de l'énergie photonique en énergie électrique, correspondant à la génération de paires électron/trou dans les matériaux semi-conducteurs ;
- Recueillir les particules générées dans l'appareil.

Par conséquent, les matériaux qui composent les cellules photovoltaïques doivent avoir deux niveaux d'énergie et être suffisamment conducteurs pour permettre le passage du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.[10]

Afin de collecter les particules générées, il faut un champ électrique capable de dissocier les paires électron/trou générées. Les jonctions P-N sont les plus couramment utilisées. D'autres

structures telles que l'hétérojonction et Schottky peuvent également être utilisées. Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure 5 [11].

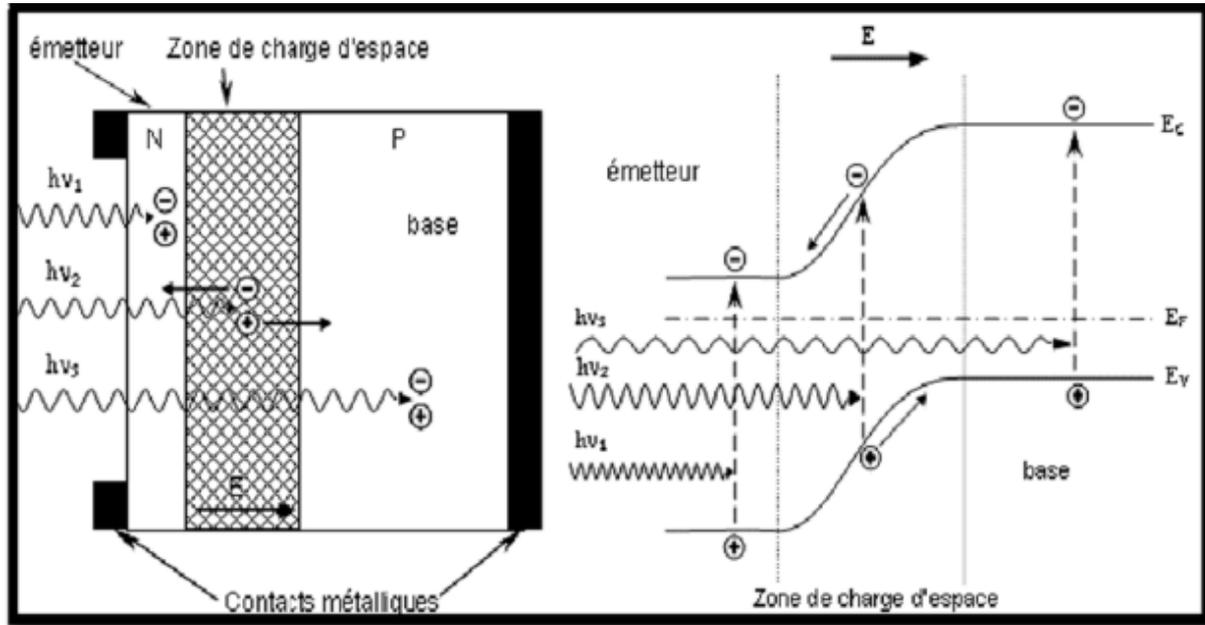


Figure I. 5 : Structure (gauche) & diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque.

Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

- Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont "envoyés" par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura une photo courant de diffusion.
- Dans la zone de charge d'espace, le pair électron/ trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura une photo courant de génération [11].

I.6 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques possèdent beaucoup d'avantages et d'inconvénients qui sont [12],[14] :

I.6.1 Avantages

-
- Les systèmes photovoltaïques ne consomment aucun carburant et convertissent directement en électricité la lumière du soleil disponible gratuitement.
 - Les systèmes PV produisent de l'électricité sans émettre de gaz d'échappement ou de polluants.
 - Les systèmes PV nécessitent relativement peu d'entretien. Les modules solaires n'ont pas de pièces mobiles et durent plus de 20 ans.
 - Les systèmes PV sont particulièrement économiques pour les petites applications. Les applications pour lesquelles la demande d'électricité est inférieure à 3-5 kWh/jour sont particulièrement rentables grâce au système photovoltaïque.
 - Les systèmes PV peuvent être adaptés à la taille de l'application requise, qu'il s'agisse d'éclairage, de pompage ou d'audiovisuel, et ils peuvent être facilement étendus lorsque la demande augmente.
 - Les systèmes PV sont sûrs lorsqu'ils sont correctement installés. Les risques de chocs électriques sont faibles avec les systèmes à courant continu de 12 et 24 volts, et les risques d'incendie sont bien moindres que pour les solutions à base de kérosène ou de générateur [12].

I.6.2 Inconvénients

- Les systèmes PV ont souvent des coûts initiaux plus élevés que les autres solutions. Même si le coût d'un système photovoltaïque est plus économique que celui des générateurs ou du kérosène sur toute sa durée de vie, il est souvent difficile pour les personnes à faibles revenus d'avoir accès à des fonds pour acheter le système au départ.
- La plupart des systèmes photovoltaïques hors réseau nécessitent des batteries pour stocker l'énergie électrique. Les batteries nécessitent un entretien et doivent être remplacées à la fin de leur vie. Les performances des systèmes PV dépendent de la qualité des batteries disponibles sur le marché local ou de la disponibilité de batteries importées.
- Les petits systèmes PV nécessitent souvent des appareils efficaces ou à courant continu (CC). Ceux-ci coûtent souvent plus cher que les appareils à courant alternatif (CA) couramment disponibles.
- Les systèmes PV doivent être conçus et installés par des techniciens qualifiés. Les systèmes PV mal conçus ou mal installés sont moins efficaces que les autres solutions.

-Les grands systèmes photovoltaïques autonomes doivent souvent être soutenus par des générateurs fonctionnant au pétrole (ou des systèmes éoliens) pour fournir de l'énergie pendant les pics de consommation ou les périodes nuageuses.

-Les systèmes électriques solaires ne sont pas économiques pour les charges thermiques telles que la cuisine, le chauffage de l'eau ou le repassage du linge [14].

I.7 Les différents types de système photovoltaïque

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie est utilisée pour produire de l'électricité à partir de cellules photovoltaïques utilisant le rayonnement solaire. Le rayonnement solaire direct est considéré comme une source d'énergie prometteuse dans de nombreuses régions du monde. Les systèmes photovoltaïques pour la production d'énergie comprennent généralement un GPV (générateur photovoltaïque), un ou plusieurs étages d'adaptation de puissance et dans certains cas un stockage. Les installations de système PV peuvent être autonomes ou connectées au réseau [13].

I.7.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

La figure 6 représente un système photovoltaïque connecté au réseau dont le rôle principal est de faciliter la génération de sources d'énergie renouvelables sur le réseau. D'un point de vue physique, l'énergie produite par les panneaux est consommée directement par les charges locales de l'habitation. Tout excédent de production par rapport à la consommation instantanée est injecté dans le réseau. En cas de coupure du réseau, l'onduleur arrête l'injection de puissance photovoltaïque générée sur le réseau et bascule la production sur un circuit de secours parallèle constitué d'un ensemble de cellules. La protection de découplage élimine tout risque d'électrocution pour le personnel en cas de coupure de courant. Cette fonction est garantie par l'arrêt automatique de l'onduleur lorsque le réseau est déconnecté [15].

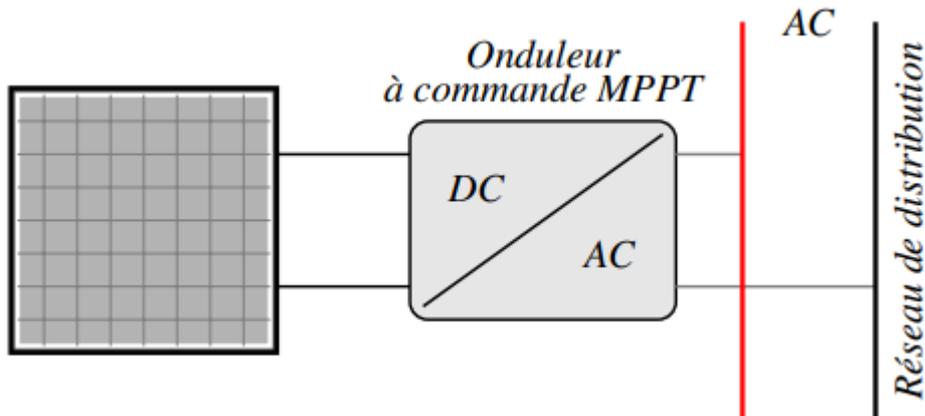


Figure I. 6: Architecture électrique d'un système photovoltaïque connecté au réseau de distribution.

Les panneaux PV fournissent sur un bus de tension continue via un convertisseur, qui effectue la conversion DC-AC et garantit que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (puissance maximale). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques sont liées aux conditions météorologiques, et ce convertisseur augmente la rentabilité de l'ensemble du système.

Dans notre recherche nous nous intéresserons plus à ce type de système hybride car c'est le plus performant de notre région grâce à la disponibilité de l'énergie solaire et grâce au faible coût de raccordement au réseau [15].

I.7.2 Systèmes photovoltaïques autonomes (SAPV)

La seule production d'électricité pour de tels systèmes est d'origine photovoltaïque. La figure 7 représente un schéma d'un système photovoltaïque autonome. Du fait de la décorrélacion entre l'approvisionnement en production PV et les charges de consommation, le système de stockage est utilisé comme tampon, ce dernier étant chargé en cas de surproduction et déchargé en cas de surconsommation.

Du fait de sa maturité technologique et de son faible coût d'investissement, le support de stockage couramment utilisé pour de telles applications est du type électrochimique plomb-acide. Cependant, de nouvelles technologies, telles que celles utilisant le lithium, sont actuellement envisagées. La performance de tels systèmes est directement liée à leur taille. Le sous-dimensionnement, en particulier, peut entraîner un vieillissement prématuré des systèmes de

stockage et une augmentation de la consommation et une réduction de la charge de production, tandis que le surdimensionnement peut entraîner des coûts économiques supplémentaires [16].

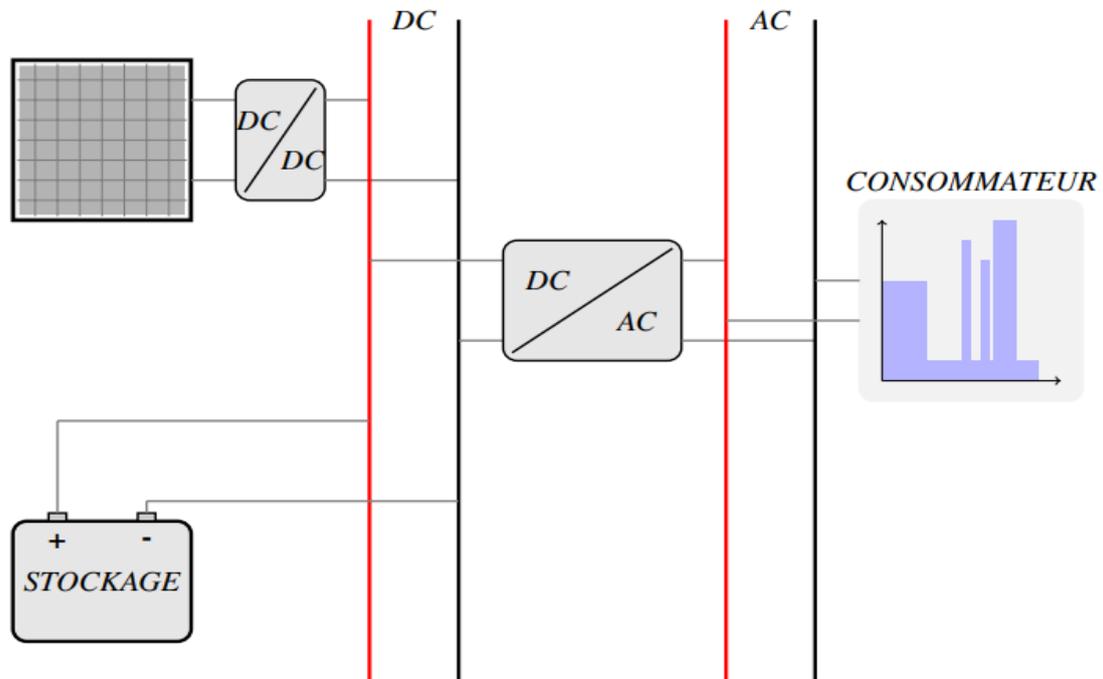


Figure I. 7 : Système photovoltaïque autonome.

Conclusion

Il est rappelé dans ce chapitre les concepts généraux de la cellule photovoltaïque, ainsi quelques notions sur le rayonnement solaire et son application en photovoltaïque. Nous nous sommes intéressés au fonctionnement de ces cellules ainsi qu'à leurs principales caractéristiques. Ensuite nous avons abordé les différents types de SPV.

Chapitre II

Les systèmes hybrides

Introduction

L'énergie électrique provenant de sources renouvelables, en particulier le vent et le soleil, est considérée comme une alternative de production intéressante dans les systèmes d'énergie électrique du monde d'aujourd'hui. Cependant, leur utilisation est limitée par la variabilité des ressources qui risque de diminuer leur fiabilité. En plus, les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières ne sont pas forcément corrélées avec les ressources énergétiques disponibles. Pour surmonter cette limite, la solution à retenir, en particulier pour les sites isolés, est certainement le recours et la combinaison de plusieurs sources, telles que les systèmes hybrides éolien-photovoltaïques avec stockage.

D'un point de vue technique et économique, la combinaison de plusieurs sources d'énergie renouvelables permet d'optimiser au maximum le système de production d'électricité.

Il existe plusieurs combinaisons de systèmes électriques hybrides, à savoir : éolien-diesel, photovoltaïque-diesel, éolien-photovoltaïque-diesel, etc. Ces mêmes sources d'énergie peuvent être combinées avec d'autres sources d'énergie (comme l'énergie hydraulique) [17].

II. Définition

Le plus grand problème des énergies renouvelable est l'intermittence de la source. Ce peut être résolu en couplant des sources d'approvisionnement et en formant un système dit hybride (SH). Un système hybride d'énergie renouvelable (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, dont au moins une est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage. D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride [18].

II.1 Classification

On peut distinguer pas mal de classification de systèmes hybrides selon les critères choisis, on va citer par la suite les classifications les plus répandues [18], [19] :

II.1.1 Le régime du fonctionnement

Selon le mode de fonctionnement, les SH peuvent être divisés en deux catégories :

- Systèmes hybrides fonctionnant **en parallèle avec le réseau** (connectés au réseau). Ce dernier permet de répondre à la charge du système électrique du pays.

• Systèmes hybrides fonctionnant **en mode autonome** (régime isolé). Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs d'une part. D'autre part ils doivent satisfaire la demande des consommateurs dans des lieux hors réseau : refuges de montagne, îles, villages reculés, etc.

II.1.2 La structure du système hybride

Les critères pris en compte lors de la classification selon la structure du système sont :

• **Présence de sources d'énergie conventionnelles**

Ces sources traditionnelles peuvent être des générateurs diesel, des micro-turbines ou dans le cas d'études de réseau complet des centrales électriques entières.

• **Présence ou absence de périphérique de stockage :**

La présence de stockage assure un meilleur paiement des factures d'électricité pendant les périodes d'utilisation où les ressources primaires transformables en électricité font défaut. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec des réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc...

II.1.3 Type d'énergie renouvelable utilisée

La structure du système peut comprendre des systèmes photovoltaïques, des éoliennes, des convertisseurs d'énergie hydroélectrique (utilisés par les centrales hydroélectriques) ou une combinaison de ces sources. Les Critères importants pour le choix des sources est le gisement énergétique où le système hybride est installé et la consommation électrique de l'alimentation.

II.2 Etudes des structures de systèmes hybrides

En utilisant ces nombreux critères, il est facile d'imaginer la diversité des recherches sur les SH disponible. La figure ci-dessous montre un aperçu de la classification des SH [18], [19], [20].

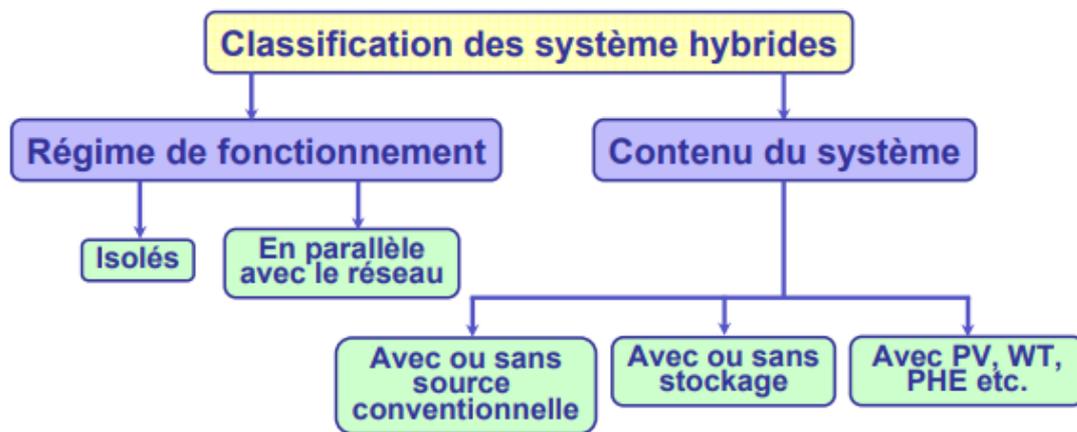


Figure II. 1: Classification des systèmes hybrides.

II.2.1.1 Système hybride avec source d'énergie conventionnelle

II.2.1.2 Système photovoltaïque/source conventionnelle

Ce type de système hybride est le plus couramment utilisé dans les climats chauds comme l'Algérie, les Maldives et l'Arabie Saoudite. Car le potentiel de l'énergie solaire est énorme. Lorsqu'ils fonctionnent en mode autonome, ces systèmes ont pour but de fournir une alimentation électrique ininterrompue aux habitations, aux bâtiments résidentiels ou administratifs ou aux villages. D'autres systèmes alimentent des centres de recherche également connectés au réseau. Les systèmes autonomes contiennent généralement des batteries, mais aussi d'autres dispositifs de stockage. Les batteries et les panneaux photovoltaïques génèrent du courant continu. Les moteurs diesel, en revanche, peuvent entraîner des générateurs à courant continu ou à courant alternatif. Dans la plupart des cas, le consommateur a besoin de courant alternatif ; ensuite, différentes configurations de système peuvent être distinguées en fonction du type de moteur électrique connecté au moteur diesel. Ces structures ont été décrites et classifiées selon le type de flux énergétiques en plusieurs configurations chaque une à des avantages et des inconvénients [18], [19].

a. Système hybride avec connexion série

Tout d'abord, nous commençons par la première configuration, la connexion série. Dans ce cas, le générateur diesel est connecté au bus DC. La connexion peut être directe (dans le cas d'un générateur de courant continu) ou via un redresseur. Les systèmes photovoltaïques et les batteries sont également connectés à ce bus. Les consommateurs sont alimentés par des onduleurs. Un

schéma fonctionnel d'un système hybride avec cette configuration est illustré à la figure II-2. Dans cette configuration, le générateur diesel peut alimenter la charge ou charger la batterie via un convertisseur électronique. Selon la stratégie de gestion du système hybride, l'énergie générée par l'installation photovoltaïque peut être fournie directement à la charge ou via la batterie. Le rôle de cette dernière est de réguler la tension du bus DC et de réduire l'utilisation des générateurs diesel (minimiser le coût du diesel) [18], [19].

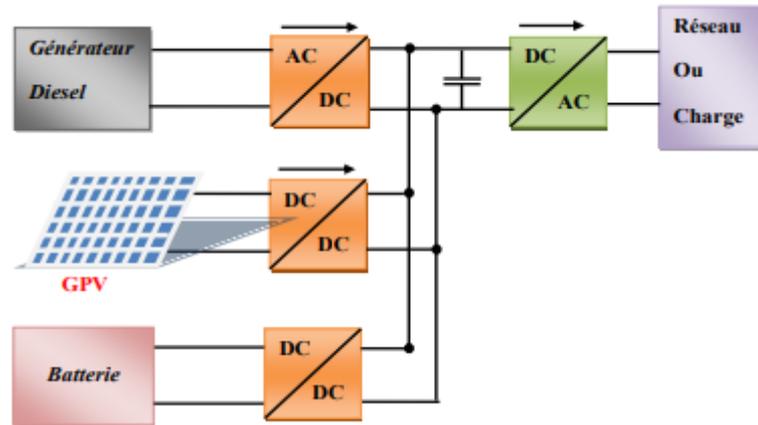


Figure II. 2: Système hybride avec connexion série.

Cette structure de système présente plusieurs **avantages**:

- dimensionnement simple des générateurs diesel.
- Schéma électrique simplifié grâce à l'absence de commutation de courant alternatif.
- Les générateurs diesel démarrent indépendamment des coupures de courant.
- À l'aide d'un onduleur, l'utilisateur peut disposer de tensions de forme, de valeur et de fréquence de signal approprié.

Mais il présente également des **inconvénients** suivants:

- L'onduleur ne peut pas fonctionner en parallèle avec des générateurs diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à pouvoir couvrir la plus grande charge possible.
- La batterie doit avoir une grande capacité.
- Dans le cas d'un générateur diesel à alternateur, le rendement est relativement faible, car la puissance fournie subit deux conversions avant d'atteindre le consommateur.

- Tout dommage à l'onduleur entraînera une coupure de l'alimentation électrique.

b. Système hybride à commutation

Malgré quelques inconvénients, cette configuration est souvent utilisée. Les consommateurs peuvent fournir de l'énergie à partir de sources d'alimentation conventionnelles ou à partir de photovoltaïques et de batteries via des onduleurs. Il est impossible de fournir une alimentation par les deux en même temps. Le générateur diesel peut charger la batterie via le redresseur. En raison de la complexité du système hybride, la gestion du système doit être automatique. Le schéma du système est illustré à la figure II-3 [18], [19].

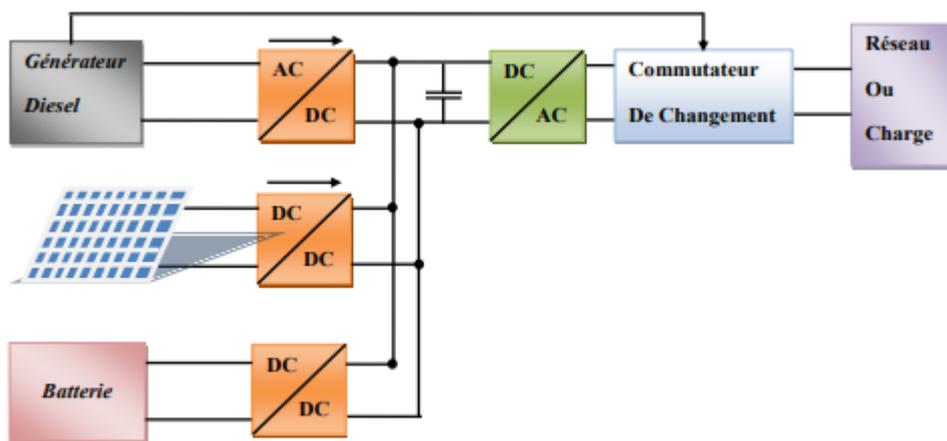


Figure II. 3: Système hybride à commutation.

Les **avantages** de cette configuration sont:

- Plus grande efficacité du système, car les générateurs diesel peuvent alimenter directement la charge, réduisant ainsi la consommation de fuel.
- Les onduleurs sont capables de fournir aux consommateurs la tension requise en forme et en valeur.
- Une défaillance de l'onduleur n'entraînera pas un arrêt complet de l'alimentation électrique car la charge peut être satisfaite par le générateur diesel.

Les **inconvénients** de cette configuration sont:

- Une panne de courant momentanée se produit lors du changement de sources d'alimentation.
- Les générateurs et les onduleurs doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système. En tant que tels, ils fonctionnent moins efficacement pendant les périodes de faible charge.

- Une construction complexe.

c. Système hybride à connexion parallèle

La configuration finale pour un système hybride PV/source conventionnelle est la mise en parallèle. Ici, le générateur diesel est connecté sur le bus AC. L'installation PV et les batteries sont connectés sur un autre bus DC. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut fonctionner en redresseur lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe à la charge de la batterie, ou en onduleur lorsque les panneaux photovoltaïques et/ou les batteries alimentent la charge (ou une partie de la charge). De cette façon, la charge peut être alimentée par les deux bus en même temps. Un schéma d'un tel système hybride est illustré à la figure II-4 [18], [19].

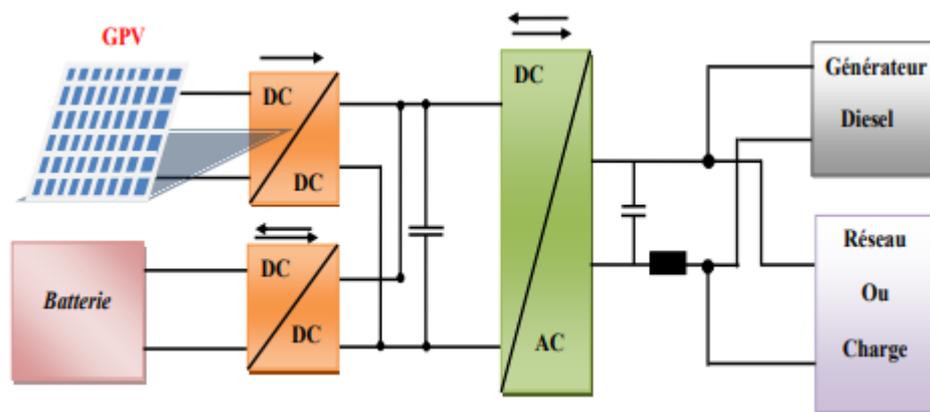


Figure II. 4: Système hybride à connexion parallèle.

Cette configuration présente plusieurs **avantages** qui sont :

- Les composants du système n'ont pas besoin d'être dimensionnés pour la charge totale, car le consommateur peut être alimenté par deux sources en même temps.
- Rendement supérieur car l'alimentation fonctionne à une puissance plus proche de sa puissance nominale. De plus, l'énergie produite par le générateur diesel n'est pas convertie.
- Une réduction du nombre de convertisseurs électroniques, réduisant ainsi l'investissement initial dans le câblage nécessaire et la construction de systèmes hybrides.
- Une défaillance du convertisseur électronique n'entraînera pas de perte de puissance de la charge.

Les **inconvénients** de la configuration sont:

- Le contrôle automatique est nécessaire au bon fonctionnement du système.
- Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale afin de se synchroniser avec le générateur diesel.
- Le personnel responsable du bon fonctionnement du système doit être qualifié.
- Les batteries vieillissent rapidement (sans chargeur).
- Le bus DC est plus difficile à contrôler.

II .3.1.1.1. Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau est un système dans lequel le champ photovoltaïque est directement couplé au réseau à l'aide d'un convertisseur DC-AC.

Le convertisseur ou l'onduleur remplit les fonctions suivantes :

- Conversion de DC en AC compatible avec la tension secteur.
- Optimisation de la tension continue pour que le champ du module fonctionne dans les meilleures conditions de puissance.

Il s'agit généralement de grosses unités (100 kWc à plusieurs MWc) raccordées au réseau. Cela se fait généralement à moyenne tension et les compagnies d'électricité sont souvent impliquées dans le projet. L'énergie est envoyée immédiatement au réseau public, elle n'a donc rien à voir avec les consommateurs locaux. Mais grâce à sa nature modulaire, des systèmes photovoltaïques plus petits peuvent également être connectés au réseau public. Ces systèmes sont alors disposés de manière décentralisée sur les toitures des habitations, des immeubles de bureau, des murs antibruit le long des autoroutes, ... [21].

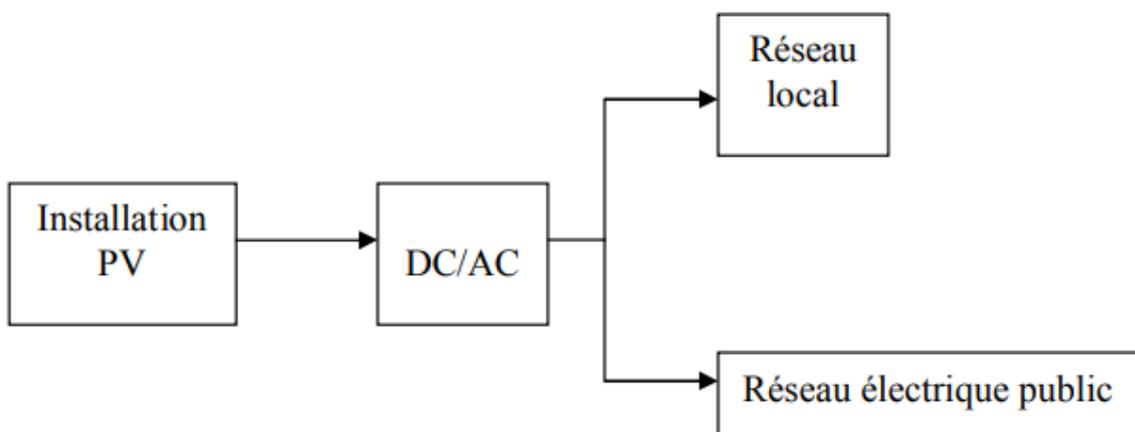


Figure II. 5: Système connecté au réseau public.**II.2.1.3 Systèmes éolien/source conventionnelle**

L'étude des systèmes hybrides éolien/diesel diffère de celle des systèmes hybrides photovoltaïques car les éoliennes peuvent générer le même courant alternatif que les générateurs diesel. Par conséquent, il n'y a pas de configurations de systèmes hybrides différentes.

Ces systèmes sont plus courants sur les îles, où les brises marines et le vent aident à exploiter l'énergie éolienne pour produire de l'électricité. Des études ont été menées sur des systèmes installés sur des îles de différentes tailles - des petites îles comme les îles Canaries aux îles de taille moyenne comme la Corse et les grandes îles comme l'Angleterre.

II.2.1.4 Systèmes hybrides éolien-diesel

La conception préliminaire du système hybride éolien-diesel (SHED) (Figure II-6) envisage l'utilisation parallèle d'une centrale diesel et d'une centrale éolienne existante composée de turbines simples pour produire de l'électricité. En plus de ces deux composants principaux, le SHED peut contenir des systèmes de distribution d'énergie à courant alternatif (AC), des systèmes de distribution d'énergie à courant continu (DC), la logique et les composants nécessaires au double fonctionnement du système : convertisseurs, charges, charges de lissage secondaires (moins charge), des systèmes de stockage, des régulateurs et des automatismes, des options de gestion de la charge ou des systèmes de surveillance, etc. Tous ces composants peuvent être connectés selon différentes architectures. Ceux-ci sont résumés dans la figure II-6 [22], [23].

Dans un système de production d'énergie hybride, l'utilisation du stockage peut reporter l'utilisation de l'énergie excédentaire de l'un des sous-systèmes. L'énergie stockée est restituée directement ou indirectement sous forme d'énergie électrique. Typiquement, des cellules électrochimiques complètent le couple éolien et diesel. Une bonne compréhension de ce type de stockage explique pourquoi la plupart des recherches ont tendance à l'utiliser souvent.

Bien que les batteries soient les composants les plus utilisés pour stocker l'énergie électrique, elles présentent des problèmes techniques et économiques.

Le stockage sous forme d'air comprimé est une alternative intéressante aux systèmes diesel éoliens car il permet un mélange pneumatique pour améliorer les performances du diesel lorsque cela est nécessaire pour son fonctionnement. En fait, la technologie semble être la meilleure par

rapport aux autres systèmes de stockage en termes de coût, de facilité d'utilisation, de contribution à la réduction de la consommation de carburant et des émissions de GES, de longévité et d'autres facteurs techniques et économiques. Plusieurs études récentes ont porté sur le développement et l'optimisation des systèmes hybrides air diesel avec stockage d'air comprimé (SHEDAC). En fait, cette méthode de stockage est l'une des moins chères, des plus simples et celle qui contribue le plus à réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. Comparé à d'autres systèmes de stockage, il est le meilleur en termes de durée de vie et d'autres facteurs technico-économiques [24].

II.2.1.5 Systèmes photovoltaïque-éolien-diesel

L'installation d'un système énergétique multi-sources photovoltaïque-éolien-diesel (PV-E-D) vise à diversifier les sources d'énergie renouvelable. Par conséquent, des réductions supplémentaires de la consommation de carburant sont recherchées, car les sources d'énergie renouvelables peuvent se compléter et générer plus d'énergie.

L'objectif d'un système PV-E-D multi-sources est d'assurer l'énergie requise par la charge et de générer un maximum d'énergie à partir de sources renouvelables tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie. En outre, les économies de carburant et les réductions de prix réalisées grâce à la production hybride doivent au moins couvrir les investissements dans les générateurs d'énergie renouvelable et d'autres composants du système auxiliaire.

Le multi sources PV-E-D un ou plusieurs générateurs diesel, un aérogénérateur (l'aérogénérateur est un générateur qui génère du courant électrique à partir de l'énergie cinétique du vent. Il s'agit souvent d'une éolienne utilisée pour produire de l'électricité), un champ photovoltaïque, des systèmes de stockage, des convertisseurs, des charges, des options de délestage et de gestion des charges ou des systèmes de supervision (Figure II-8). Tous ces composants peuvent être connectés dans différentes architectures. Dans la plupart des cas, un système hybride typique contient deux bus : un bus DC pour la source d'alimentation, les charges DC et les batteries, et un bus AC pour générateur AC et le système de distribution [25].

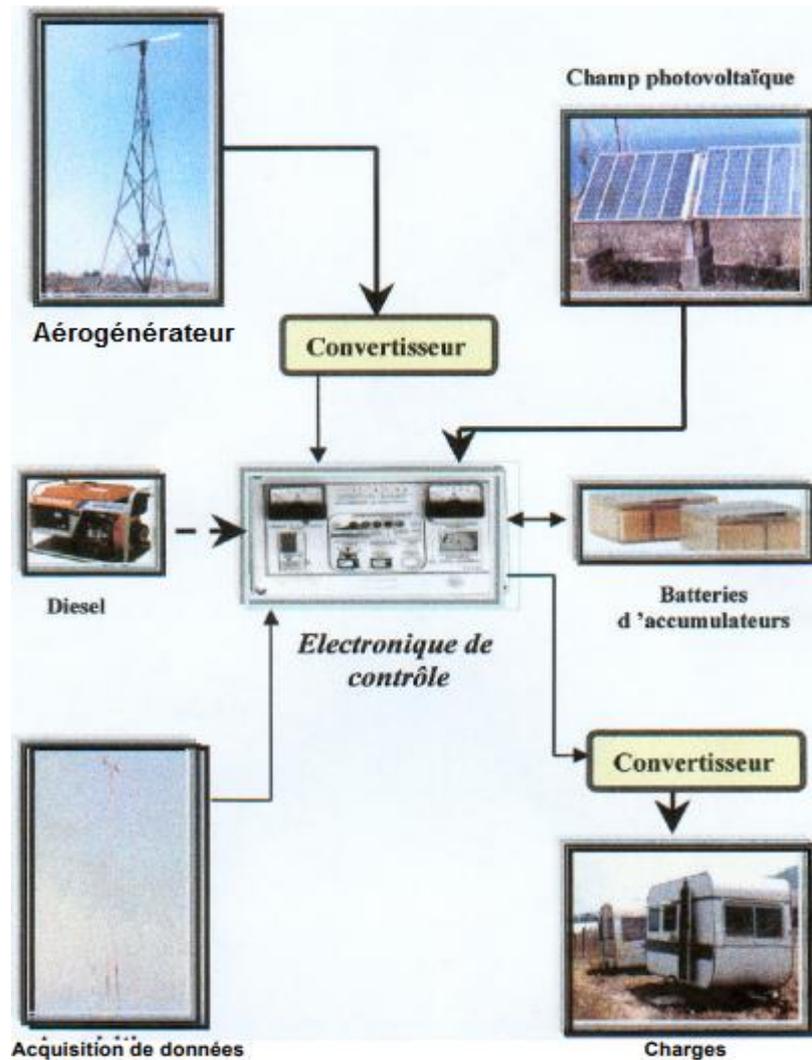


Figure II. 6 : Présentation d'un système hybride PV-E-D.

II.2.2 Systèmes hybrides sans source conventionnelle

Ces systèmes hybrides fonctionnent souvent en mode autonome dans des endroits isolés où l'approvisionnement en carburant ou la connexion au réseau est parfois difficile, voire impossible. On va présenter par la suite les configurations de systèmes hybrides avec ou sans stockage [18].

II.2.2.1 Système hybride éolienne autonome (éolienne-stockage)

Nous pouvons trouver différents systèmes de stockage éolien tels que : éolien - volant d'inertie, éolien - stockage d'hydrogène, éolien sous forme d'air comprimé, éolien - stockage gravitaire hydraulique, batteries éoliennes. Dans cette partie nous choisirons le système hybride éolienne volant puis éolienne batterie [26].

❖ Système hybride éolien-volant d'inertie

Le volant (Figure II-9) a une meilleure capacité à absorber les changements rapides de production et de charge. Cependant, la quantité d'énergie qu'ils peuvent stocker n'est pas suffisante pour leur permettre par exemple d'absorber l'électricité excédentaire des parcs éoliens et la fournir ensuite au réseau pendant les périodes de pointe.

D'un point de vue pratique, les batteries électromécaniques ont l'impact le plus immédiat dans le domaine de la production d'électricité dans les zones reculées. Par exemple, en Ecosse et au Pays de Galles, des équipements ont été installés pour alimenter des maisons et des îles clairsemées. Dans le premier cas, la fonction principale de la batterie est de réguler le courant pour améliorer sa qualité (la stabilité et la continuité de la tension). Lors de l'alimentation de l'île, l'objectif principal était d'assurer une consommation énergétique maximale des éoliennes installées sur le site. Par conséquent, lorsque la production dépasse la demande, il s'agit d'un problème d'accumulation d'énergie. Cependant, la constante de temps est trop grande pour les fluctuations du vent et de la demande pour améliorer la qualité de l'alimentation électrique. Par conséquent, lorsque la production de l'énergie éolienne est proche de la charge (consommation), des batteries électromécaniques sont utilisées pour améliorer la qualité de l'alimentation électrique [26].

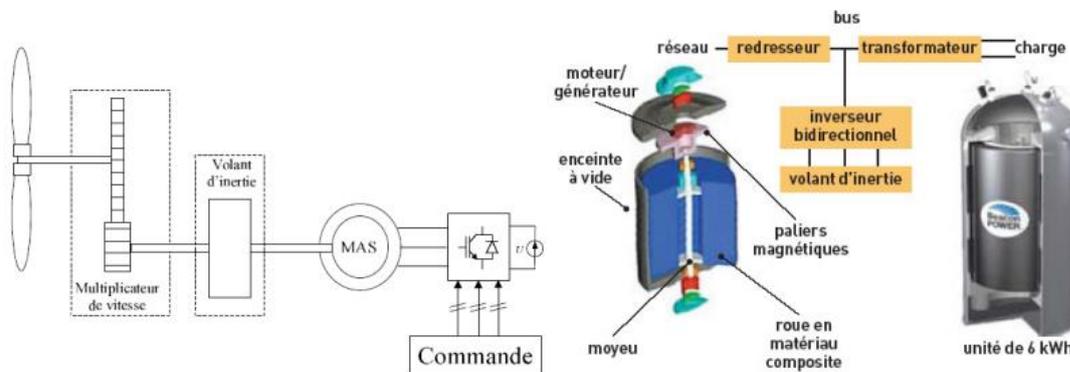


Figure II. 7: Stockage inertiel associé à une turbine éolienne (à gauche) « Leclerc [2004] », Volant d'inertie de type Beacon Power (à droite) « Beacon Power ».

❖ Système hybride éolien-batteries

Dans la catégorie des petits systèmes isolés utilisant des énergies renouvelables intermittentes comme les éoliennes, le critère de base est l'autonomie ; les batteries au plomb restent le meilleur compromis entre performance et coût, mais elles présentent de nombreux inconvénients, comme une durée de vie limitée, un manque de fiabilité et difficile à recycler. Les performances en termes de durée de vie doivent être améliorées pour mieux répondre aux demandes de puissance. Le

lithium-ion a de meilleures performances mais un coût plus élevé. Les batteries Redox sont immatures et leur intégration à l'éolien n'est pas encore prouvée [18].

II.2.2.2 Systèmes photovoltaïques autonomes (Photovoltaïque -stockage)

La principale fonction des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs utilisateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. On remarque dans la figure II-10 qui représente un système PV autonome la présence du stockage qui est associé aux générateurs PV pour assurer un approvisionnement en énergie électrique à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système est utilisé en tampon, celui-ci étant déchargé dans le cas de surconsommation et rechargé en cas de surplus de production [27].



Figure II. 8: Système photovoltaïque autonome (Photovoltaïque –stockage).

Les systèmes de stockage représentent une part importante des coûts d'installation et ces conditions d'exploitation sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés pour optimiser la durée de vie des systèmes de stockage et réduire les coûts d'exploitation. Le sous-dimensionnement, en particulier, peut entraîner un vieillissement prématuré des systèmes de stockage et une augmentation de la consommation et une réduction de la charge de production, tandis que le surdimensionnement peut entraîner des coûts économiques supplémentaires.

D'autre part l'ajout d'un aérogénérateur dans le système photovoltaïque-batteries se traduit par une diminution de la dimension de stockage sur tous pour les systèmes de grande puissance.

II.2.2.3 Système hybride photovoltaïque-éolienne-stockage

L'avantage de ce couplage PV-éolienne est d'avoir plus d'énergie, cependant, comme pour tout système solaire, il y a toujours un risque d'avoir trop d'énergie à certains moments et pas assez à d'autres moments (par exemple les jours nuageux sans vent). Donc grâce à un système de stockage qui stocke l'énergie excédentaire lorsqu'elle est présente et la restitue lorsque l'apport fait défaut. Pour effectuer cette analyse, nous définissons un système de conversion entièrement intégré qui combine les deux énergies [28]. Le système contient la conversion de l'énergie solaire et éolienne, qui est ensuite connectée au stockage et à la demande, comme le montre la figure II.11.

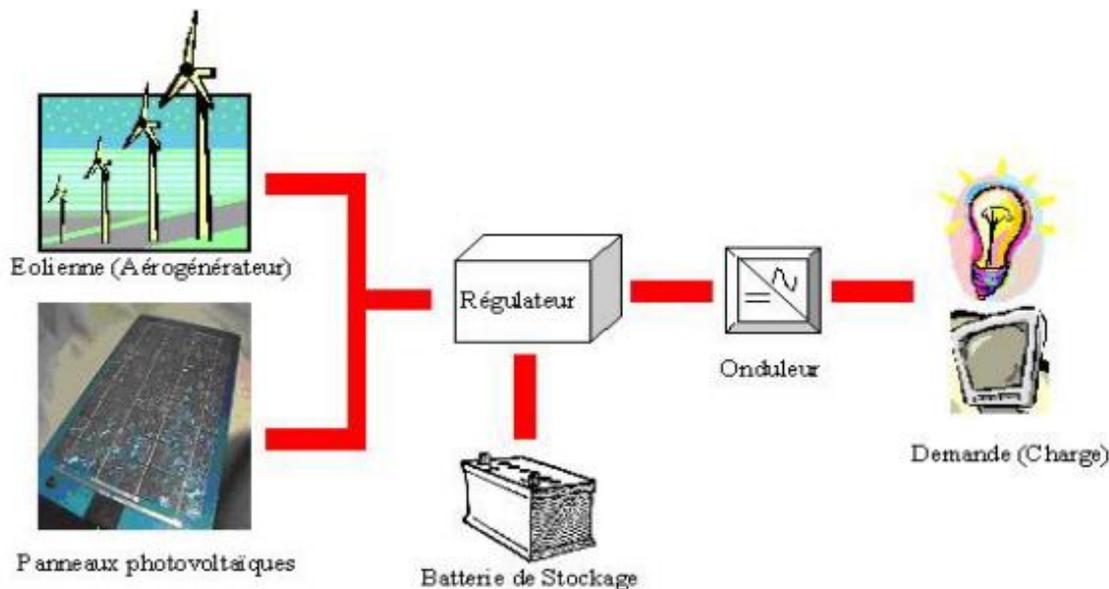


Figure II. 9: Schéma d'un système PV-E.

Composition du système: système de générateur, système de régulation, système de stockage d'énergie, équipement de puissance, charge.

Le système de générateur se compose de modules photovoltaïques et des aérogénérateurs. Les deux doivent fonctionner à la même tension nominale de 12 ou 24 V et DC. La régulation doit tenir compte du fait qu'il s'agit de deux types de courant différents :

- Du photovoltaïque assez constant et d'un seuil bas,

- Énergie éolienne, très variable.

Par conséquent, le système de régulation sera chargé de faire fonctionner le système de générateur au point optimal pour charger la batterie [28].

II.2.2.4 Système hybride photovoltaïque-éolien (PV-E) sans stockage

La combinaison de ces deux sources (PV-E sans stockage d'énergie) permet de réduire les besoins en stockage d'énergie et de réduire encore la consommation de diesel. Cet hybride permet également de réduire le coût d'investissement du stockage, qui est très onéreux et présente de nombreux inconvénients.

La chaîne de conversion de l'énergie éolienne est constituée d'une éolienne qui entraîne directement une génératrice synchrone triphasée (GS) à aimants permanents. L'éolienne est connectée à un redresseur MLI (Modulation de la Largeur d'Impulsion) équipé d'un contrôle de couple et d'un algorithme MPPT (Maximum Power Point Tracking), qui établit la consigne de couple optimale pour toute vitesse de rotation de la roue.

Les systèmes photovoltaïques fonctionnant dans des conditions climatiques variables, il est nécessaire d'adapter le point de fonctionnement de la charge aux caractéristiques du générateur photovoltaïque afin d'extraire un maximum de puissance. En ajustant le rapport cyclique, le hacheur contrôlé dynamiquement assure une puissance maximale. Cette commande peut être exécutée en mode MPPT et son but est de trouver immédiatement la meilleure puissance fournie par le générateur PV [29].

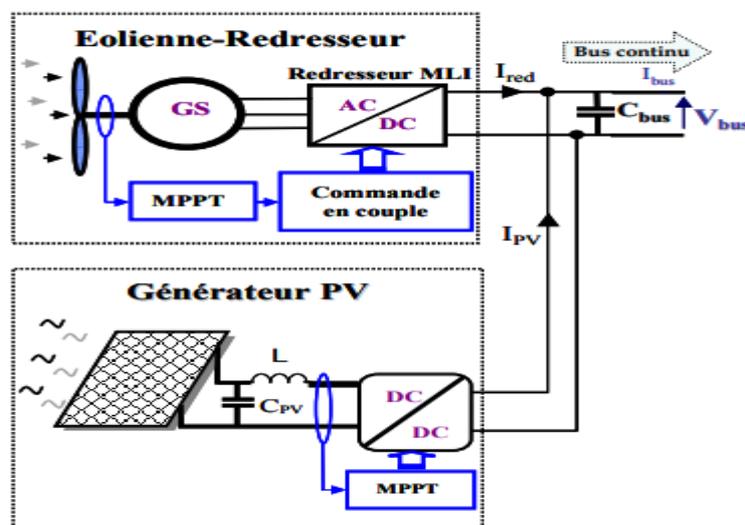


Figure II. 10: Structure d'un système hybride PV-Eolien sans stockage.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux concepts liés à la technologie des systèmes hybrides. On distingue différentes combinaisons de systèmes hybrides composés principalement d'éoliennes, de panneaux photovoltaïques et de sources d'énergie conventionnelles (diesel). On a également parlé sur le stockage et différents types d'architectures existantes. Dans la suite, nous nous concentrerons uniquement sur les systèmes PV hybrides connectés au réseau.

Chapitre III

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque-réseau

Introduction

L'énergie solaire est largement dépendante des conditions météorologiques (ensoleillement, température) où le système énergétique est installé. Dans ce chapitre, nous définissons les différents besoins des installations industrielles, conçu pour régler et optimiser les systèmes photovoltaïques par différentes méthodes. A cet effet, on doit tenir compte de la demande énergétique à satisfaire, nous déterminons la puissance crête des panneaux photovoltaïques qui fournissent l'électricité nécessaire pendant la journée et la période de demande d'électricité ensuite de la consommation requise. Cette étape implique très peu de calcul.

III. Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

III.1 Objectif général

Il s'agit de produire de l'électricité à l'aire de repos des zianides à partir de l'énergie solaire à l'aide de systèmes photovoltaïques. Ce sera donc une question qui aidera à protéger l'environnement [30].

Les objectifs spécifiques sont :

- Identifier et sélectionner les charges que nous souhaitons produire de l'électricité à partir du système photovoltaïque.
- Étudier la viabilité technique et financière des microcentrales photovoltaïques.
- Réaliser une étude de faisabilité économique du projet et résumer l'étude d'impact environnemental.
- Analyser la généralité du projet dans d'autres administrations.

III.2 Etude technique

Afin de rendre réalisable l'installation PV que nous avons étudié, il est préférable de prendre en considération qu'une partie de cette installation.

C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, nous avons visé juste :

L'éclairage de la division

Les équipements

L'éclairage extérieur

Les pompes

Bloc de prière

III.3 Collecte des données

A l'image de toute étude de conception d'un système photovoltaïque, il est primordial de mesurer certaines données du site :

L'ensoleillement

L'inclinaison nécessaire du panneau

L'irradiation

III.4 Dimensionnement des équipements des systèmes photovoltaïques

III.4.1 L'estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité

Basé sur les caractéristiques affichées sur le récepteur : tension, puissance et durée d'utilisation il est facile d'estimer ces besoins. La consommation d'énergie quotidienne totale est la somme de la consommation d'énergie quotidienne totale en courant continu (CC) et en alternatif (CA). La consommation de courant alternatif doit tenir compte de l'efficacité de l'onduleur [31].

$$E = Pxt \quad 3.1$$

E : Energie (Wh/jours)

P :la puissance(w).

t :durée d'utilisation(heure).

Pour la consommation totale d'une installation, on calcule d'abord l'énergie électrique consommée dans la durée d'utilisation par chaque équipement ou chaque fonction électrique et ensuite on les additionne.

$$E(t) = \sum P. t \quad 3.2$$

$E(t)$: Energie total

III.4.2 Localisation du site

Wilaya : Tlemcen

Site : XQPJ+284, Amieur

Latitude: 34°.59 N

Longitude: 1°.13 W

Latitude: 500 m

Température ambiante min: + 3°C

Température ambiante max: +38°C



Figure III. 1: Localisation de l'aire de repos des zianides

D'après le tableau suivant [35] :

Latitude φ (°)	Inclination β (°)
$\varphi < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	Φ
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

Tableau III. 1: Relation entre latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle

On prend l'inclinaison comme suit : $\beta (^{\circ}) = \varphi + 10^{\circ}$

Ce qui donne : $\beta (^{\circ}) = 34^{\circ}.59 + 10^{\circ} = 44^{\circ}, 59$

III.4.3 Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur PV

Les données d'ensoleillement (en kWh/m² /j) peuvent être lu sur le site ou enregistré sur une carte d'ensoleillement de la région ou obtenu de la station météo la plus proche de la région.

Afin d'avoir une autonomie complète et d'éviter les variations saisonnières de consommation, il faut choisir comme référence l'ensoleillement du mois ensoleillé [32].

En Algérie :

L'éclairement : 4.92KW/m²/jour

La durée d'ensoleillement journalière minimale est de : 2 h/jour

La durée d'ensoleillement journalière maximale est de : 8h/jour

En général on prend la moyenne de : 5 h/jour

III.4.4 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Les lampes disponibles sur le marché fonctionnent soit en alternatif, soit en continu mais avec des tensions inférieures à 24V.

Afin d'éviter d'ajouter des convertisseurs qui augmentaient la consommation, et donc les coûts de l'installation, Il est préférable de répartir les consommateurs en deux catégories, ceux fonctionnant en continu (bloc prière + éclairage extérieur) et ceux fonctionnant en alternatif (pompes).

On remarque que l'éclairage extérieur à une grand consommation par rapport au bloc prière donc on va le décomposer en deux sous-systèmes afin de trouver des solutions optimales pour chacune des deux.

Ensuite, on procède au dimensionnement de chacun d'eux.

III.4.4.1 Calcul de la puissance crête du système

La principale caractéristique d'un module PV est sa puissance de crête PC (la puissance dans des conditions standard 1000 W/m² à 25°C), si le module est exposé à ces conditions standards, il va générer une puissance crête à un instant donné, et s'il dure N heures, il va générer une énergie électrique égale au produit de la puissance E par le temps écoulé jusqu'au pic.

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir les besoins en électricité.

La puissance crête d'un générateur photovoltaïque dépend de l'irradiation du lieu d'installation. Elle est calculée en appliquant la formule suivante :

❖ Puissance crête du GPV

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k I_r} \quad 3.4$$

P_{ch} : Puissance crête de champs photovoltaïques (W_c)

E_c : Energie consommée par jour (Wh/jour)

I_r : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

En Algérie : $2 \leq I_r \leq 8$. On prend la moyenne de 5 h/Jour

k : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Pertes de câble et de connexion pour les systèmes avec batteries. k est généralement compris entre 0,55 et 0,75. Une valeur courante pour les calculs du système de batterie est $k = 0,65$ [35].

❖ Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

La tension des modules est choisie par rapport à la puissance crête du champ photovoltaïque considéré [35]:

Puissance crête (W_c)	Moins de 500 W_c	De 501 W_c à 2000 W_c	De 2001 W_c à 10000 W_c	Plus de 10000 W_c
Tension de champs (V)	12	24	48	96

Tableau III. 2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête

III.4.4.2 Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

Le nombre de panneaux nécessaires à l'installation est déterminé à partir de la puissance crête du champ et du module.

- **Nombre des panneaux :**

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crête unitaire panneau}}$$

- **Nombre de panneaux en séries :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n}$$

Avec :

V_{ch} : Tension totale du champ.

V_n : La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

- **Nombre de branches en parallèles :**

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Avec :

N_m : Nombre total de panneaux photovoltaïques

N_s : Nombre de panneaux connectés en série

III.4.5 Dimensionnement du parc de batteries

Dimensionner la batterie va nous permettre de choisir le dispositif de stockage qui répond au besoin énergétique durant la nuit [33].

Pour réaliser le dimensionnement des batteries, on procède de la façon suivante :

- On calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs.
- On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaires (l'autonomie est le nombre de jours pendant lesquels l'appareil peut être alimenté par la batterie seule à tout moment de l'année) Nous calculerons sur cette base Les caractéristiques batterie.[34]
- On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé (la décharge de la batterie ne doit pas descendre en dessous d'un certain seuil. Sinon, on risque de l'endommager).

La capacité nominale d'une batterie est donnée par la formule ci-dessous:

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U}$$

C_{ch} : Capacité du champ de batterie en Ampère. Heure (Ah).

E_c : Energie consommée par jour (Wh/j).

N: Nombre de jour d'autonomie.

D: Décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb).

U: Tension de la batterie (V).

- **Nombre de batteries en séries**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

V_{ch} : Tension du champ.

$V_{batterie}$: La tension de la batterie.

- **Nombre de batterie en parallèles**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}}$$

C_{ch} : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

$C_{batterie}$: Capacité d'une batterie.

III.4.6 Dimensionnement du régulateur de charge

Le régulateur est dimensionné en fonction des paramètres suivants: tension, courant d'entrée et courant de sortie [35].

Tension nominale : Doit être la tension du champ photovoltaïque.

Courant d'entrée I_e : C'est le courant de charge maximal que le module peut fournir. Les régulateurs doivent le soutenir sans problème. Le moyen le plus sûr d'estimer ce courant est de prendre 1,5 fois le courant maximum [36].

Courant de sortie I_s : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que le récepteur peut absorber simultanément. Il peut être déterminé par la formule suivante [37].

$$I_{max} = \frac{P_{ch}}{U}$$

P_{ch} : La puissance crête du champ photovoltaïque qui est calculé comme suit :

$$P_{ch} = P_c \cdot N_p \cdot N_s$$

P_c : la puissance crête du PV.

N_p : nombre du PV en parallèle.

N_s : Nombre de PV en série.

III.4.7 Dimensionnement de l'onduleur :

Un onduleur est un appareil électronique qui permet de convertir le courant continu en courant alternatif avec fréquence sélectionnée avec précision. Le signal généré est une onde Carrée, sinusoïdal (parfait) [33].

Le choix d'onduleur repousseur de courant selon plusieurs critères :

La tension d'entrée : Identique à la batterie ou au régulateur de tension (12, 24 ou 48V DC).

La tension de sortie : En Algérie nous utilisons 220/230 V, 50Hz.

La puissance nominale : Il s'agit de la puissance consommée par l'appareil fonctionnant de manière « normale ». Pour trouver cette puissance nominale, il suffit d'additionner la puissance des équipements électriques éventuellement utilisés en même temps. Choisissez toujours un convertisseur avec une puissance légèrement supérieure à la puissance de l'équipement.

La puissance maximale : L'onduleur doit pouvoir fournir une puissance élevée (généralement 2 ou 3 fois de la puissance nominale). Cette fonctionnalité est utile pour les appareils à moteur (réfrigérateurs, micro-ondes, lave-linge, etc.), car leur consommation augmente considérablement au démarrage. De manière générale, la puissance maximale fournie par ces onduleurs est suffisante si vous avez correctement dimensionné la puissance.

De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas (stand-by). Certaines sont équipées d'un système on/off, ce qui permet de faire des économies considérables sur le coût des petites installations photovoltaïques [35].

$$P_{\text{onduleur}} = \sqrt{(P^2 + P_r^2)}$$

Avec :

$$P_r = p \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta}$$

Pr: Puissance réactive [KVAR].

P: Puissance crête du champ photovoltaïque.

III.4.8 Le dimensionnement des câbles électriques solaires

Pour assurer le transfert d'énergie du module au régulateur de charge, on n'utilise pas n'importe quels câbles. Les câbles solaires sont conçus pour résister aux conditions particulières liées à l'utilisation. Ce sont les seuls qui peuvent assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie [33].

La résistance d'un câble ne dépend pas de la tension ou de l'intensité du courant qui le traverse, mais elle dépend de la résistivité (ρ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer...), de la longueur du câble, de sa section et de sa température.

Le cuivre est de loin le conducteur le plus utilisé, avec une résistivité variante entre $16 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $0^\circ C$ et $17 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $25^\circ C$ [35]. La résistance est déterminée par la formule suivante:

$$R = \frac{\rho \times L}{S}$$

Avec:

R: La résistance en (Ω)

ρ : La résistivité en ($\Omega \cdot m$)

L: La longueur du câble en (m)

S: La section du câble s en (mm^2)

- **Calcul de la Section des câbles**

Le choix de la section de câble se fait selon deux critères principaux [33]:

- Courant admissible I dans le câble.
- Chute de tension.

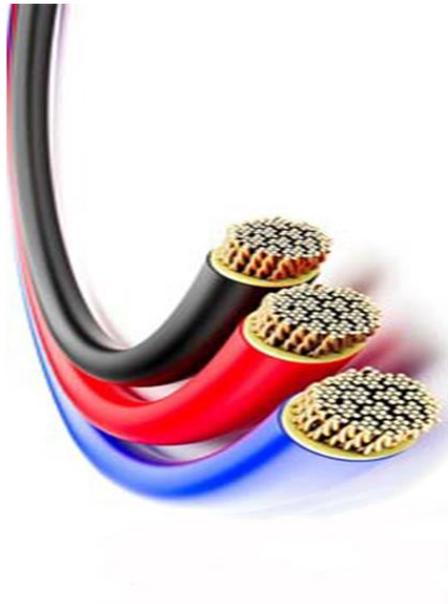


Figure III-1: câble solaire

III.5 Application

III.5.1 Consommation globale

Appareils	Nombre de charge	Puissance nominale (W)	Total de puissance (W)	Heures d'utilisation (H)	Energie (Wh/jours)	Rendement de conversion	Energie corrigée du rendement (Wh/jours)
Pompe GPL/C	1	7500	7500	8	60000	0.95	57000
Volucompteur	6	700	4200	3	12600	0.95	11970
Pompe incendie	1	22000	22000	1	22000	0.95	20900
Salle de prière hommes + sanitaire	30	10	300	12	3600	-	3600
Salle de prière femmes + sanitaire	26	10	260	12	3120	-	3120
Candélabre 3 mètre avec lampe 50 W	28	50	1400	12	16800	-	16800
Candélabre 6 mètre avec lampe 150W	62	150	9300	12	111600	-	111600
Projecteur encastré 40W	32	40	1280	12	15360	-	15360
Totma de prix et géant	2	100	200	12	2400	-	2400
Total							242750

Tableau III. 3: Consommation globale de l'aire de repos de zianides

III.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Puissance crête du GPV:

$$P_{ch} = \frac{E_c}{kI_r} = \frac{242750}{5 \times 0.65} = 74692,31 W_c$$

- **Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque**

D'après la puissance crête, en se référant au tableau (3.2) on détermine la tension de champs qui est égale à 96 V.

- **Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser**

Les panneaux solaires nécessaires à l'installation:

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crete unitaire panneau}} = \frac{74692,31}{330} = 226,34 \cong 227$$

- **Le nombre de modules connectés en série sera égale à:**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} = \frac{96}{37.5} = 2.56 \cong 3$$

- **Le nombre de modules connectés en parallèles s'exprime par:**

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} = \frac{227}{3} = 75,66 \cong 76$$

III.5.3 Choix des batteries

Le choix des batteries est selon la valeur de la capacité totale du champ:

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} = \frac{242750 \times 0,5}{0,8 \times 96} = 1580,40 \text{ Ah} = 1581 \text{ Ah}$$

- **Les batteries en series**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} = \frac{96}{12} = 8$$

- **Les batteries en parallèles**

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} = \frac{1580,40}{107} = 14.766 \cong 15$$

120 Batterie : 12V/107Ah

III.5.4 Choix du régulateur de charge

$$P_{ch} = P_c \cdot N_p \cdot N_s = 330.3.76 = 75240W$$

$$I_{max} = \frac{P_c}{U} = \frac{75240}{96} = 783,75A = 784A$$

Type de régulateur : 96V/784A

III.5.5 Choix de l'onduleur

$$P_r = P \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = 74692,31 \cdot \frac{0,6}{0,8} = 56019,23VAR$$

$$P_{onduleur} = \sqrt{(P^2 + P_r^2)} = \sqrt{74692,31^2 + 56019,23^2} = 93365,39VA = 93KVA$$

III.6 Choix des câbles

Dans cette partie, on donne un aperçu de calcul des câbles nécessaires à la connexion des différents panneaux photovoltaïques, quant aux autres connexions (régulateur, appareils, onduleur) elles restent tributaires des conditions de réalisation sur le site.

La chute de tension admissible à travers un câble étant de 2% de la tension appliquée sur le champ de batteries de stockage, il vient que la différence de potentiel admissible aux bornes d'un câble de connexion correspond à:

$$\Delta U = \text{Tension appliquée} \times 0,02$$

La tension du champ de batteries étant de 12V, la chute de tension admissible pour les câbles de connexion sera alors:

$$\Delta U = 96 \times 0,02 = 1,92V$$

Tenant compte de la valeur de l'intensité optimale délivrée par un panneau solaire

$$I_{max} = 8,81A$$

Il vient que pour 46 panneaux connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{max} = 8,81 \times 46 = 405,26A$$

$$R = \frac{\Delta U}{I_{max}} = \frac{1,92}{405,26} = 4,7m\Omega$$

Considérant que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à la largeur des 46 panneaux en parallèles, il vient que:

$$L = 1 \times 46 = 46\text{m}$$

$$S = \rho \cdot \frac{L}{R} = 1,6 \cdot 10^{-8} \times \frac{46}{4,7 \cdot 10^{-3}} = 1,55 \times 10^{-4} \text{m}^2 = 155 \text{mm}^2$$

En se référant au Tableau (3.4) la section normalisée correspond à: 155 mm²

Dimensionnement		Aire de repos de zianides
Puissance crête à installer (Wc)		74692,31
Tension de l'installation (V)		96
Nombre de modules (330W)	Total	228
	Série	3
	Parallèle	76
Batteries	Capacité totale (Ah)	1581Ah
	Nombre total	120
	Série	8
	Parallèle	15
	Type	12V/107Ah
Régulateur de charge		96V/784A
Type de câble (mm ²) / et longueur (m)		155mm ²
Puissance de l'onduleur (KVA)		93KVA

Tableau III. 4: Tableau récapitulative des résultats obtenus

❖ Interprétions

D'après les résultats obtenus on observe que la consommation journalière de l'aire de repos est grande, la tension du champ est de 96 V alors que dans le marché Algérien les équipements de 96 V ne sont pas disponibles. L'idée proposée pour réduire la tension du champ est de décomposer le système en deux sous-systèmes :

- Le premier sous-système contient le bloc prière plus l'éclairage extérieur.

- Le second sous système ne contient que les pompes.

on répartit les consommateurs en deux catégories, ceux fonctionnant en continu (bloc prière + éclairage extérieur) et ceux fonctionnant en alternatif (pompes).

Pour le premier sous système, l'éclairage extérieur à une grande consommation par rapport au bloc prière donc pour trouver des solutions optimales nous faisons le dimensionnement de chacun d'eux.

Dimensionnement		Bloc prière	Eclairage extérieur	Volucompteur
Puissance crête à installer (Wc)		2067.69	44972.31	3683.07
Tension de l'installation (V)		48	96	48
Nombre de modules (330W)	Total	8	138	12
	Série	2	3	2
	Parallèle	4	46	6
Batteries	Capacité totale (Ah)	88	951.56	38.96
	Nombre total	4	7	4
	Série	4	1	4
	Parallèle	1	7	1
	Type	12V/100Ah	96V/150Ah	12V/75Ah
Régulateur de charge		48V/50A	96V/475A	48V/50A
Puissance de l'onduleur (KVA)		3000-48V/220V	57KW-96V/400V	5000-48V/380V

Tableau III. 5: Résultat obtenue après la décomposition du système.

- Pour les pompes volucompteur et le bloc de prière la solution solaire sera réalisable et plus efficace en produisant une énergie propre, les équipements disponibles sur le marché et leurs prix est raisonnable
- Pour les pompes on doit rajouter un variateur de vitesse pour que les panneaux puissent supporter le courant de démarrage.
- Mais pour l'éclairage extérieur la consommation est très grande donc on propose d'utiliser des capteurs de mouvement pour réduire la consommation. Ou alors on propose

d'utilisé une solution automatisé qui permet d'allumer la moitié des candélabres et éteindre le reste en alternance ' deux paire par deux '

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une installation connectée au réseau, le dimensionnement peut se faire de la façon suivante :

Étape 1: Évaluer les besoins énergétiques du site d'alimentation.

Étape 2: Déterminer l'emplacement du site pour l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires.

Étape 3: Données météorologiques, le temps d'ensoleillement quotidien moyen peuvent être défini

Étape 4: Déterminer le nombre de panneaux solaires photovoltaïques à installer en série et en parallèle.

Étape 5: Choisir une batterie.

Étape 6 : Sélectionner du régulateur de charge.

Étape 7 : Sélectionner un onduleur qui convertit le courant continu en courant alternatif.

Étape 8: Ajuster la taille du câble à vos besoins de connexion.

Pour les besoins de l'application, il est recommandé d'effectuer des calculs pour les installations photovoltaïques résidentielles. Ces différentes étapes permettent de déterminer les éléments nécessaires à cette installation.

Chapitre IV

Simulation et interprétation des résultats

Introduction

Un système hybride se compose de divers composants. Lors de la conception d'un système d'alimentation hybride, la taille des composants, la configuration du système, l'applicabilité de diverses sources d'énergie renouvelables dans la région, l'économie du projet des changements de charge et de coût des composants, le cycle de vie du système, le coût actuel net du système, l'utilisateur final du système hybride Énergie les coûts, les coûts de maintenance et les coûts d'exploitation annuels aideront les décideurs à déterminer la solution de système hybride la plus rentable pour répondre aux charges électriques pour lesquelles ils sont conçus. [43]

Dans cette partie, nous étudierons les systèmes hybrides dans le cadre du logiciel HOMER. Le rôle du logiciel est, d'une part, de permettre la simulation du comportement énergétique considéré dans un environnement donné, et, d'autre part, de sélectionner le meilleur système pour des besoins types [39].

IV. Simulation du système par HOMER

IV.1 Présentation du logiciel

Le logiciel HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) est un logiciel de simulation et d'optimisation conçu pour concevoir et analyser des systèmes hybrides de production d'électricité (PV, GE, batterie, éolien). Il a été développé en 1993 par le NREL américain (National Renewable Energy Laboratory). Il vous permet d'analyser et de combiner différentes sources d'énergie pour montrer la meilleure configuration [39].

Le modèle doit comprendre les ressources disponibles, les options technologiques, les coûts et les charges que le système doit prendre en compte. HOMER Pro utilise ces entrées pour simuler différentes configurations de systèmes ou combinaisons de composants et génère des résultats qui peuvent être analysés sous la forme d'une liste de configurations réalisables triées par coût actuel net. Les composants pouvant être modélisés dans les différentes configurations sont les modules photovoltaïques, les éoliennes, les générateurs diesel, les batteries, les convertisseurs AC/DC, les électrolyseurs, les reformeurs, les réservoirs d'hydrogène [39],[40].

La mission d'HOMER Pro est de simplifier la tâche de conception des systèmes de production distribuée (distributed generation DG) - à la fois sur et hors réseau. Les algorithmes

d'optimisation et d'analyse de sensibilité d'HOMER Pro permettent d'évaluer la faisabilité économique et également technique d'un grand nombre d'options technologiques et de tenir compte des variations des coûts actuels des technologies et de la disponibilité des ressources énergétiques [41].

Pour travailler efficacement avec HOMER Pro, il est nécessaire de comprendre ses trois capacités principales [41] :

❖ **Simulation**

HOMER Pro peut simuler le fonctionnement d'un système en effectuant des calculs de bilan énergétique à chaque pas de temps de l'année. Pour chaque intervalle de temps, HOMER Pro compare la charge et la demande thermique à l'énergie que le système peut fournir dans ce même intervalle de temps, et calcule les flux d'énergie vers et depuis chaque composant du système. Pour les systèmes micro-réseaux qui utilisent des batteries ou des générateurs alimentés par du carburant, HOMER Pro décide également à chaque pas de temps comment faire fonctionner les générateurs et quand les batteries doivent se charger ou se décharger. HOMER Pro effectue ces calculs de bilan énergétique pour chaque configuration de système que le concepteur souhaite envisager. Il détermine ensuite si une configuration est disponible (c'est-à-dire si elle peut répondre à la demande électrique dans les conditions spécifiées par le concepteur), et estime le coût d'installation et d'exploitation du système pour l'ensemble de la durée de vie du projet. Les calculs du coût du système tiennent compte des coûts tels que le capital, le remplacement, le LCOE, l'exploitation et la maintenance, le carburant et les intérêts [42].

❖ **Optimisation**

HOMER Pro dispose de deux algorithmes d'optimisation. L'algorithme original de recherche sur grille simule toutes les configurations possibles du système définies par l'espace de recherche. Le nouvel optimiseur HOMER Pro utilise un algorithme propriétaire sans dérivation pour rechercher le système le moins coûteux. HOMER Pro affiche ensuite une liste de configurations après calcul et triées par coût actuel net ou LCOE, qui peut être utilisée pour comparer les options de conception du système [42].

❖ **Analyse de sensibilité**

Lorsqu'on définit des variables de sensibilité comme entrées, HOMER Pro répète le processus d'optimisation pour chaque variable de sensibilité que le propriétaire spécifie. Par exemple, si

l'utilisateur définit la vitesse du vent comme variable de sensibilité, HOMER Pro simulera les mêmes configurations de système pour la gamme de vitesses de vent différentes qui peuvent être spécifiées [42].

La figure IV -1 illustre la relation entre simulation, optimisation et analyse de sensibilité. L'ovale d'optimisation englobe l'ovale de simulation pour représenter le fait qu'une seule optimisation consiste en plusieurs simulations. De même, l'ovale d'analyse de sensibilité englobe l'ovale d'optimisation, car une analyse de sensibilité unique consiste en plusieurs optimisations [42].

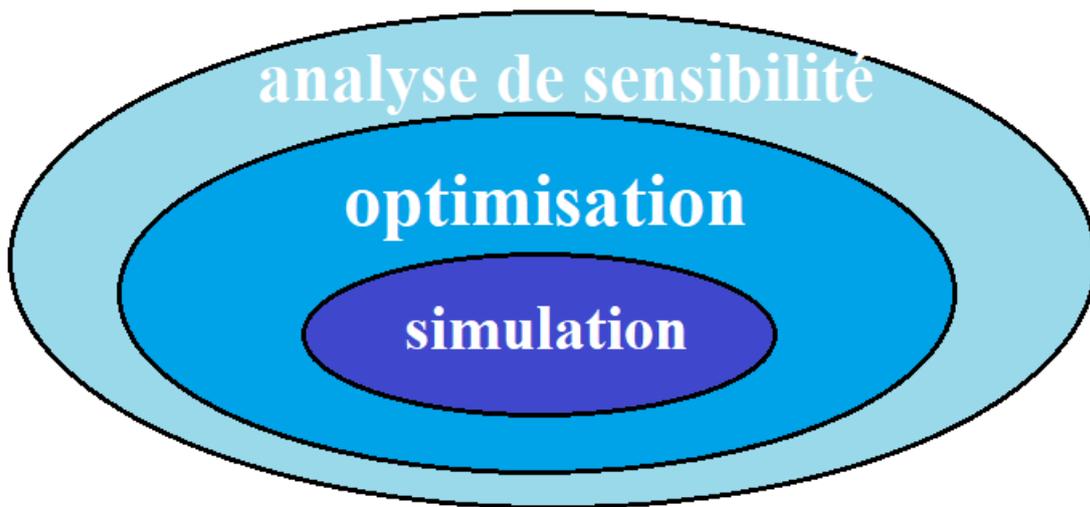


Figure IV. 1 : Les trois capacités de base de Homer Pro.

IV.2 Géographie et climat Description du cas étudié

Le site étudié dans notre thèse est une zone dans la wilaya de Tlemcen qui est situé dans la wilaya de Tlemcen. Cette aire de repos couvre une grande superficie. En effet, elle est décomposée en deux blocs : Blocque prière et bloque gérance



Figure IV. 2 : Carte aire de repos des zianides en vue par satellite et carte géographique.

IV.3 Simulation et interprétation des résultats

Dans cette partie on va lancer la simulation par le logiciel HOMER Pro. Lorsque HOMER Pro démarre, et on peut maintenant entrer le nom du projet, l'auteur et une petite description du projet. Ensuite on sélectionne l'emplacement du projet ou alors on peut entrer l'adresse de l'emplacement dans la barre de recherche. Dans l'écran d'accueil au-dessous s'affiche quatre entrées clés : le taux d'actualisation, le taux d'inflation, le déficit de capacité annuel maximum et la durée de vie du projet. La zone fonctionnelle contient six onglets : Charge, Composants, Ressources, Projets, Système et Aide. Cependant, l'interface HOMER Pro est organisée en : Conception, Résultats et Bibliothèques. [46]

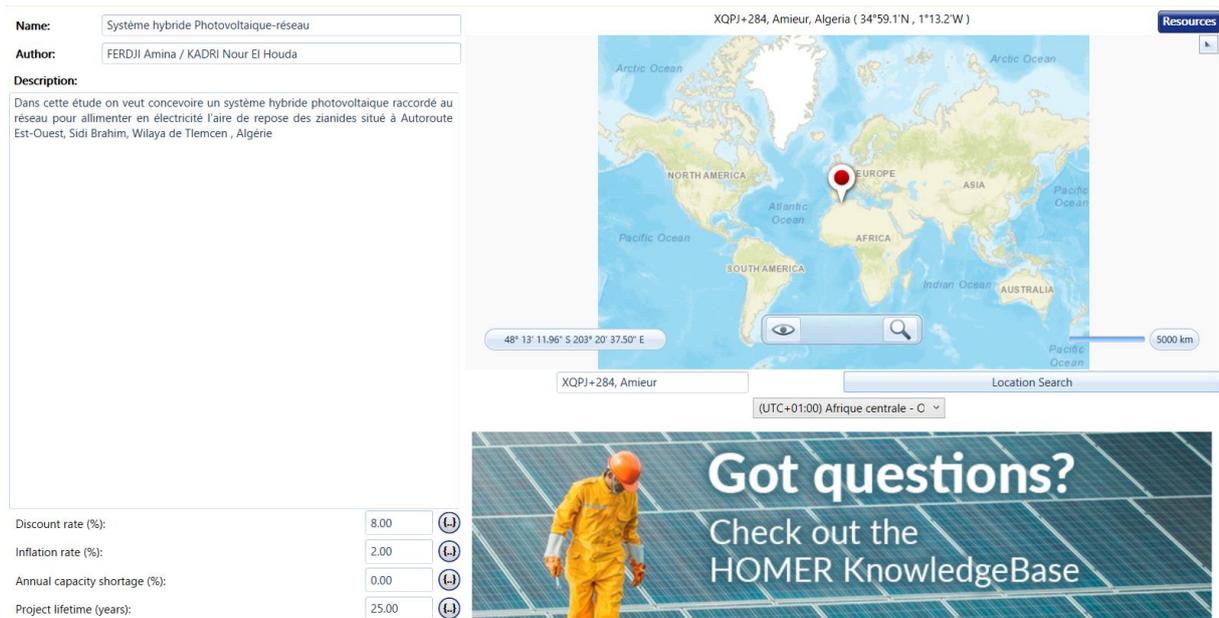


Figure IV. 3 : Écran d'accueil HOMER Pro.

IV.3.1 Profil de charge

Le dimensionnement d'un système de production d'énergie pareil est déterminé à partir de la consommation à satisfaire. On a déjà mentionné la consommation journalière du site à étudier dans le chapitre précédent. On introduit le détail de la consommation dans HOMER Pro qui vas les traduire sous forme de courbe de charge annuelle comme indique la figure

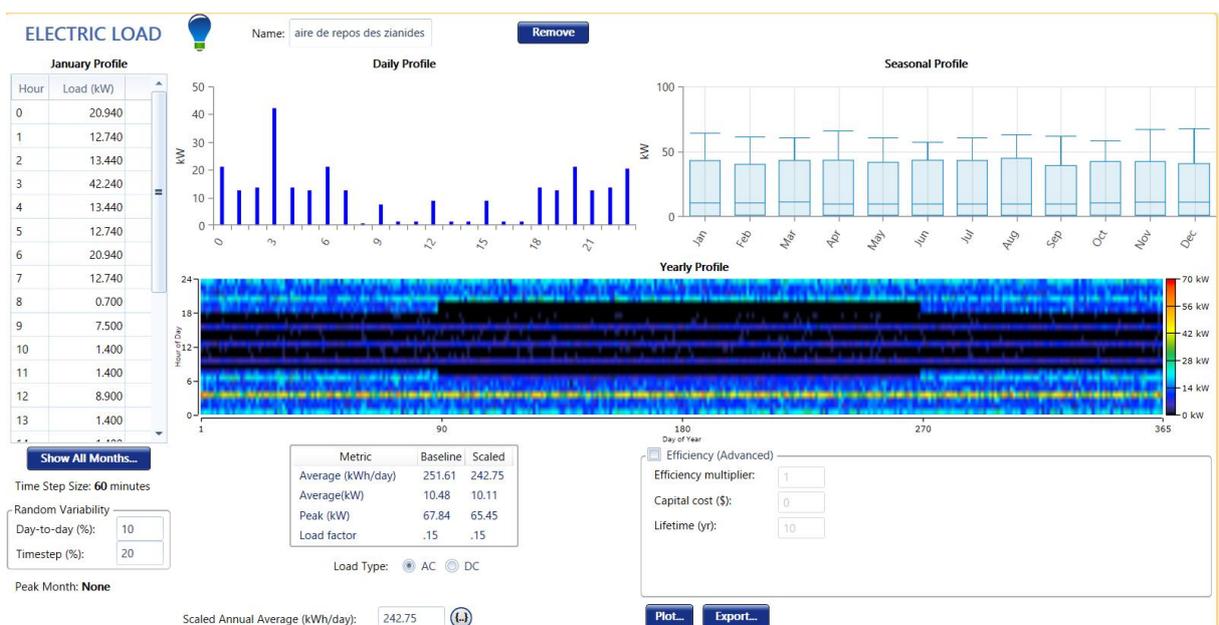


Figure IV. 4: Profil de charge saisie dans HOMER Pro.

HOMER Pro traduit les données qu'on a introduit en graphes Il nous donne le profil de charge annuelle et journalier

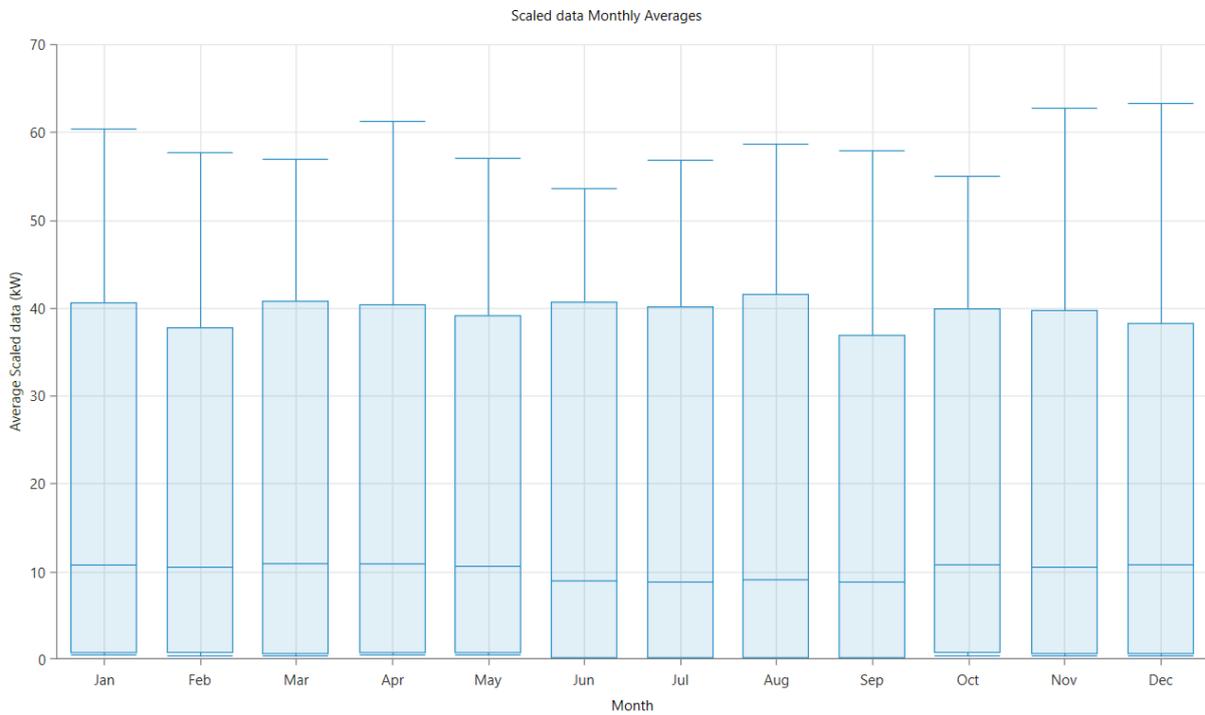


Figure IV. 5: Profil de charge annuelle

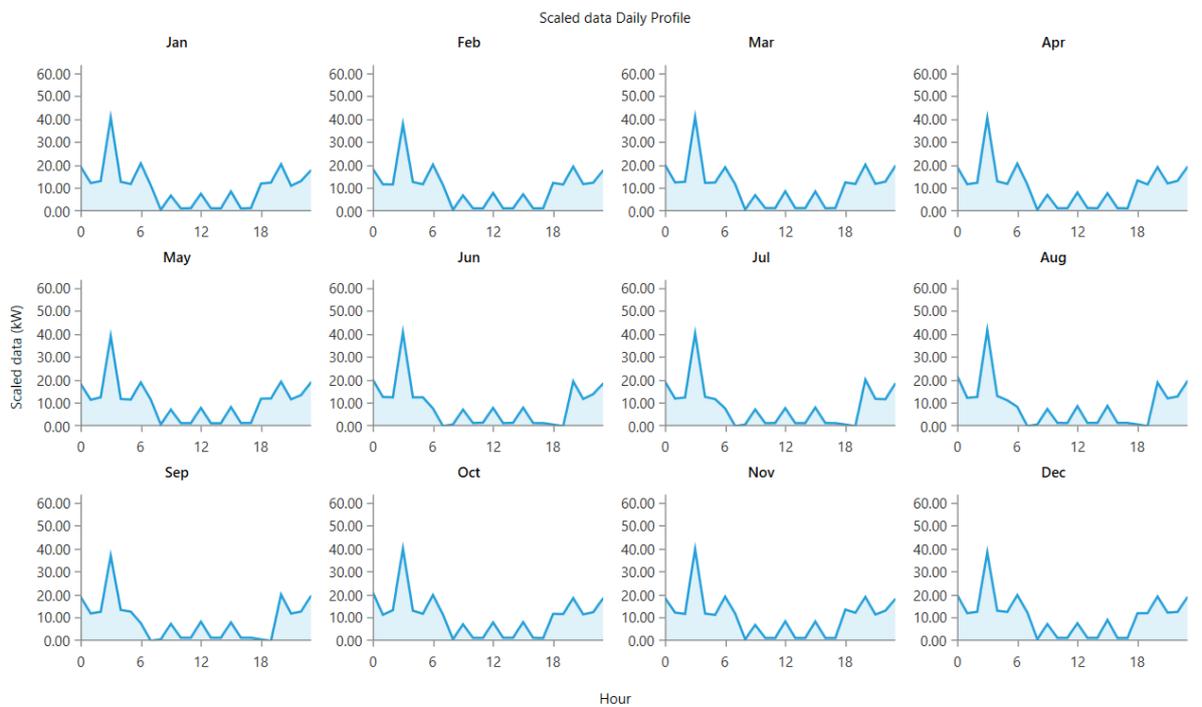


Figure IV. 6: Profil de charge journalier suivant les saisons.

On remarque que le profil de consommation a toujours presque la même allure. Avec un pic de consommation le soir ceci est à cause de l'utilisation de tous les équipements de l'éclairage le soir, durant la journée la consommation n'est pas trop grande mais à partir de 19h la consommation commence à augmenter.

IV.3.2 Évaluation des ressources et collecte de données

IV.3.2.1 Données sur les ressources solaires

Les stations météorologiques enregistrent l'irradiance totale sur les surfaces horizontales, également connue sous le nom d'irradiance globale horizontale (GHI). D'autre part, GHI représente la somme du rayonnement solaire directement incident sur la surface de la Terre et de l'irradiance horizontale diffuse (DHI). C'est un paramètre important pour la conception de systèmes photovoltaïques. L'irradiance horizontale diffuse est le rayonnement du soleil qui ne frappe pas directement la surface de la Terre, mais qui est diffusé par des molécules, des nuages, de la poussière ou d'autres particules dans l'atmosphère terrestre et qui provient de toutes les directions. Les résultats sur les ressources solaires de la zone étudiée sont obtenus à partir de la base de données NASA World Energy Ressources Projection (POWER) [47].

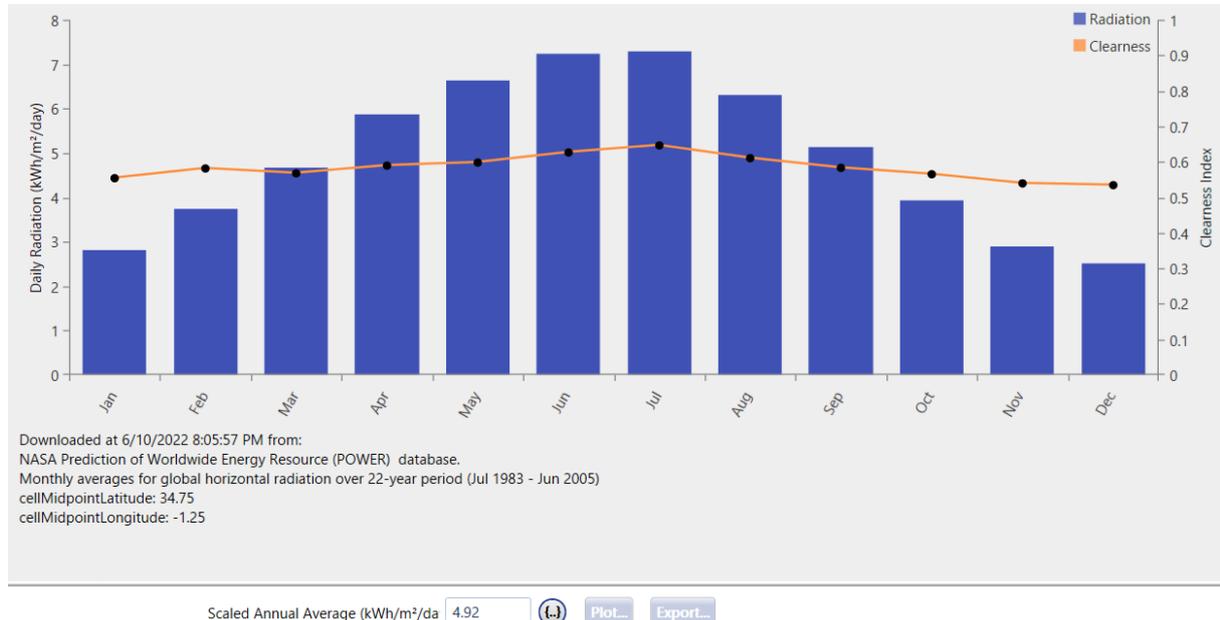


Figure IV. 7 : Le rayonnement quotidien sur la région étudié

On remarque ce graphe représente l'évolution de l'irradiation et l'indice d'écarté :

- L'irradiation quotidienne maximale durant toute l'année est marquée en mois de juillet et de juin respectivement car ce sont les périodes les plus chaudes d'année or que la plus basse correspond au mois de décembre
- L'indice d'écarté maximal marqué est en mois de juillet or que le plus bas est marqué en mois de décembre
- La moyenne annuelle mise à l'échelle obtenue est 4.92 kWh/m² /jour

IV.3.3 Température ambiante

La Température est un paramètre très important qui influence sur la production de l'énergie solaire photovoltaïque donc il est nécessaire de connaître les variations des températures sur le site de l'étude :

- La température moyenne journalière annuelle est de 16.09 °C .
- La température journalière la plus élevé est marqué en mois de juillet et aout et correspond à 26.27 et 26.39 respectivement. D'autre part La température la plus basse est celle du mois de janvier 7.49

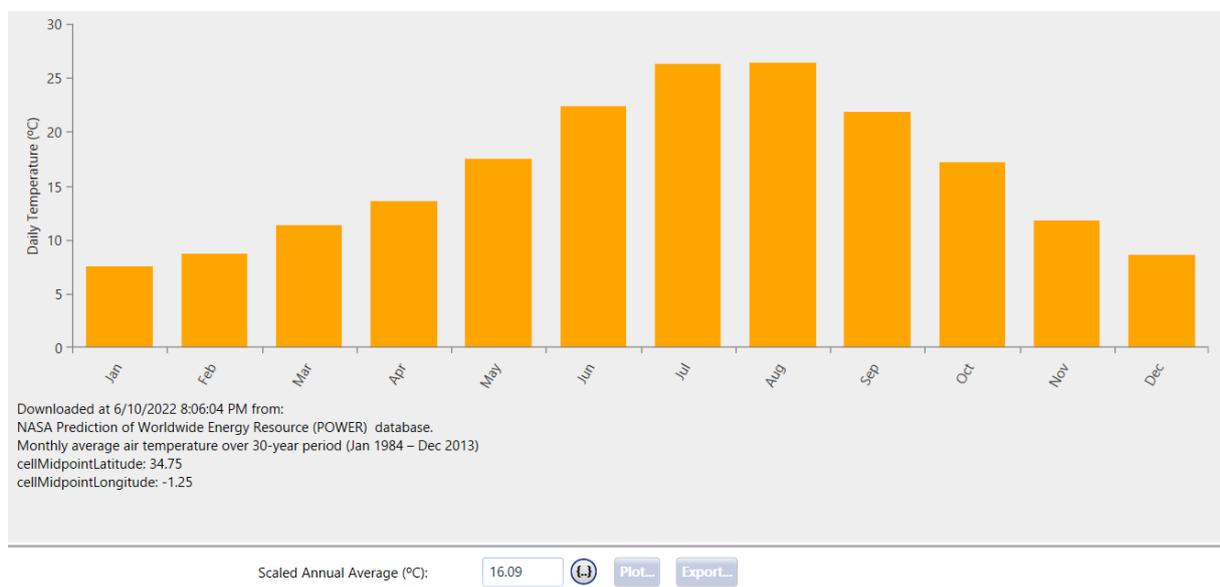


Figure IV. 8 : la température ambiante moyenne mensuelle du site

Le Tableau suivant résume toutes les données de ressources qu'on a obtenue par HOMER Pro :

Mois	Indices d'écarté	Rayonnement solaire [KWh/m ² /jour]	Température moyenne

			[°C]
Jan	0.554	2.820	7.490
Feb	0.581	3.730	8.710
Mar	0.568	4.670	11.330
Apr	0.590	5.870	13.620
May	0.598	6.640	17.450
Jun	0.627	7.230	22.320
Jul	0.647	7.300	26.270
Aug	0.611	6.320	26.390
Sep	0.583	5.130	21.850
Oct	0.565	3.920	17.220
Nov	0.540	2.900	11.770
Dec	0.535	2.500	8.630

TableauIV.1: Les valeur de rayonnement solaire, indice d'écarté la température moyenne annuelle

IV.4 La construction de système hybride photovoltaïque – réseau :

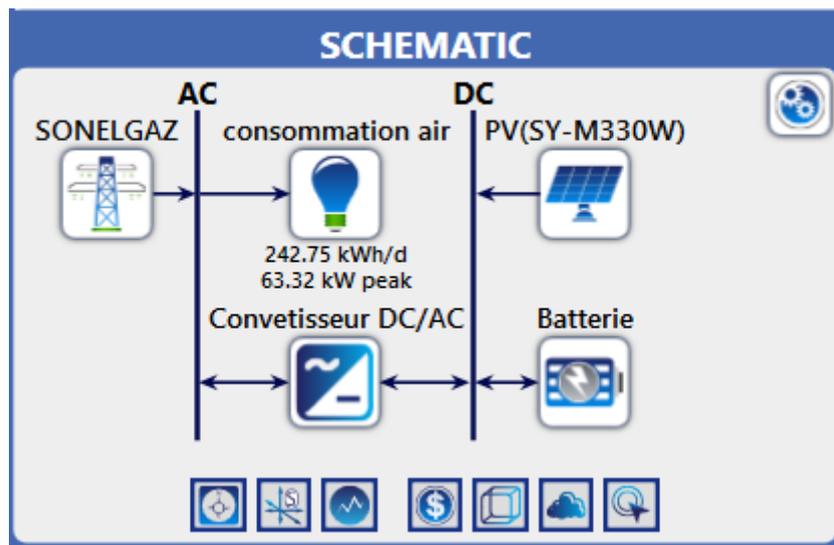


Figure IV. 9: schéma du système hybride PV-réseau simulé par HOMER Pro

IV.4.1 Modélisation de panneaux solaires photovoltaïques

On a choisi un panneau solaire disponible sur le marché Algérien (Modèle SY-M330W) constitué de 72 cellules solaire en silicium multicristallin. Ce panneau possède une efficacité élevée 17%

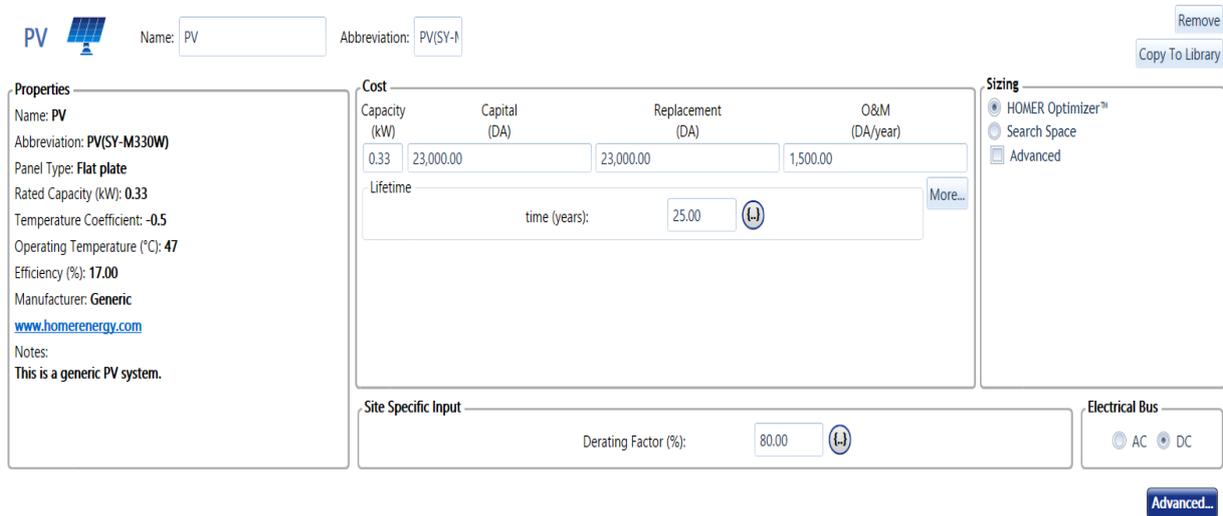


Figure IV. 10 : caractéristiques de module solaires photovoltaïques SY-M330W

Modèle	SY-M330W
Puissance de crête (Pmax)	330 W
Efficacité du Module	17.00%
Tension de puissance maximale (Vmp)	37.5V
Courant de puissance Maximum (Imp)	8.81A
Tension de Circuit ouvert (Vco)	46.2V

Courant de court-Circuit (Isc)	9.38A
Tolérance de puissance	+ou - 3%
Température de fonctionnement	-40 ~ + 85 °C
Tension maximale Du Système	DC 1000 V
Température nominale De La Cellule en Fonctionnement	45±2°C
Cellules	Silicium multicristallin
Dimensions et poids	1956mm× 992mm*44mm 20.5kg

Tableau IV.2 : Fiche technique du panneau choisis

IV.4.2 Convertisseur

L'onduleur couplé au réseau est utilisé pour les installations photovoltaïques, Il permet de transformer le courant continu produit par les modules solaires PV en un courant ondulé conforme à celui du réseau. Il adapte également le courant produit à la fréquence et à la tension du réseau. L'installation d'un onduleur couplé au réseau électrique se fait avec l'accord de l'organisme de distributeur d'énergie électrique. Pour des raisons de sécurité, cet onduleur couplé au réseau doit constamment surveiller ces perturbations et interrompre immédiatement l'injection en cas de défaillance ou de coupure. Ceci est absolument nécessaire pour permettre une intervention sans danger sur le réseau.

Le modèle qu'on a conçu sur HOMER Pro on a choisi un convertisseur parmi les modèles de HOMER Pro (Princeton BIGI-250) de 100KW. Les caractéristiques du convertisseur sont mentionnées sur la figure IV-11

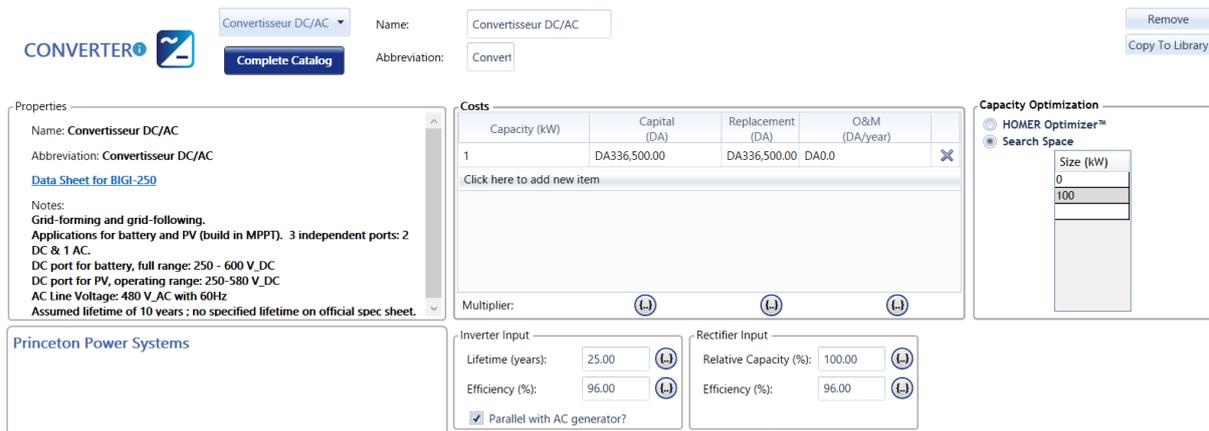


Figure IV. 11: convertisseur choisit parmi les modèles de HOMER Pro

IV.4.3 Modélisation de la batterie

Dans ce système hybride Lorsque la demande de la charge dépasse la puissance générée par le réseau électrique et le PV, l'énergie stocké dans les batteries couvre la demande temporairement. Le modèle de batterie choisit est (CROWN 12CRV100 AGM DeepCycl) de 12V/107Ah . On a pris le nombre de batterie calculer dans le chapitre précédent. Le détail des caractéristiques des batteries choisit est sur la figure IV-12

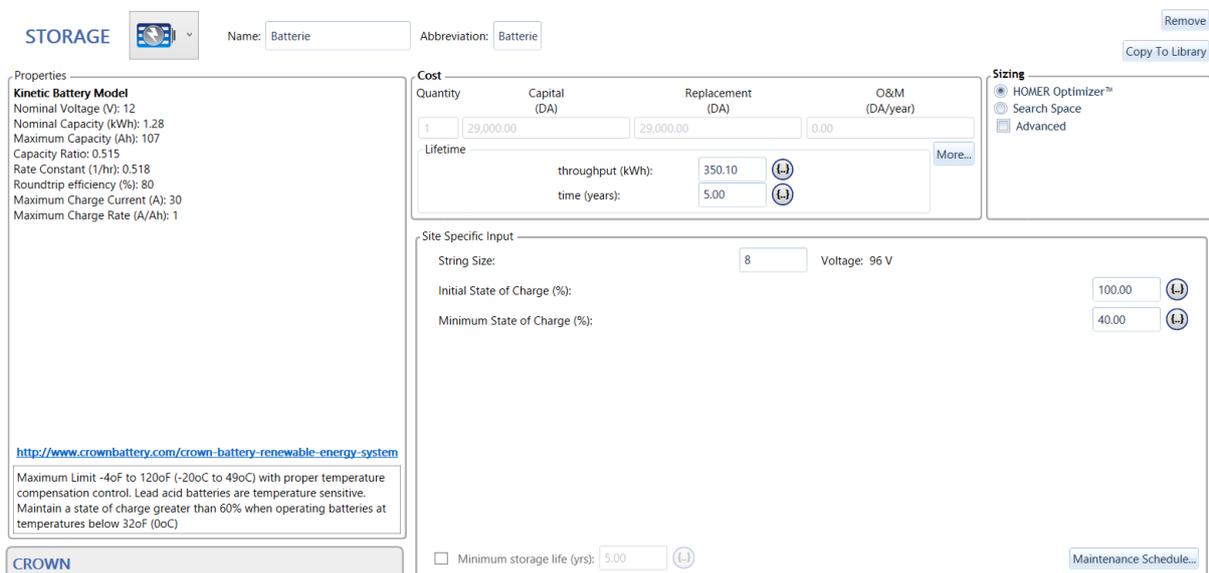


Figure IV. 12: Batterie choisit parmi les modèles de HOMER Pro

IV.4.4 Modélisation de réseau électrique

Les valeurs d'entrée sont divisées en sections : l'onglet paramètre, qui regroupent trois étapes, qui sont :

- Etape 1 : Définir le prix de vente de réseau

-Étape 2 : Définir le prix de revente du réseau

- Étape 3 : facturation Net

Puis l'onglet émissions qu'on peut sur cet onglet définir des facteurs d'émission pour le réseau électrique afin de tenir compte des gaz à effet de serre émis par le réseau.



Figure IV. 13 : Paramètres réseau introduit dans le modèle de HOMER Pro

IV.5 Résultats et interprétation

HOMER Pro a simulé 282 solutions qui sont tous réalisable parmi eu 32 été négliger car : 6 parmi ces 32 manquante de convertisseur et 18 ont un convertisseur inutile (figure IV-13). Les solutions les plus optimales sont mentionner sur la figure (figure IV-14) mais le système qui nous intéresse est le système PV-réseau avec stockage



Figure IV. 14 : les nombre de solutions simulé par HOMER Pro

Architecture				Cost				System				PV(SY-M330W)		Batterie	
PV(SY-M330W) (kW)	Batterie (kW)	SONELGAZ (kW)	Convertisseur (kW)	Dispatch	NPC (DA)	COE (DA)	Operating cost (DA/yr)	Initial capital (DA)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Nominal C (kW)
		999,999		CC	DA641M	DA5.60	DA496,181	DA0.00	0	0					
228		999,999	100	CC	DA21.3M	DA4.72	-DA2.19M	DA49.5M	78.8	0	15,877,841	340,763			
228	8	999,999	100	CC	DA22.0M	DA4.88	-DA2.15M	DA49.8M	78.8	0	15,877,841	340,763	0.609	0	10.3
	8	999,999	100	CC	DA40.8M	DA35.60	DA533,135	DA33.9M	0	0			0.609	0	10.3

Figure IV. 15: Les solutions les plus optimales

Le système optimal simulé par le logiciel qui nous intéresse est composé : d'un champs PV qui délivre 228KW composé de 8 batteries un convertisseur de 100KW et réseau qui a une capacité de 999.999KW.

IV.5.1 La production PV et la consommation du système

La production photovoltaïque représente 82.2% de la production totale du système or que le réseau ne fournit que 17.8% de la production total. La production photovoltaïque varie tout au long de l'année et est directement liée au rayonnement solaire. La figure IV-15 montre la production totale mensuelle moyenne d'électricité tout au long de l'année. Il précise même que les besoins énergétiques du site sont assurés par le champ photovoltaïque.

Production	kWh/yr	%
PV	340,763	82.2
Grid Purchases	73,800	17.8
Total	414,563	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	88,604	25.4
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	259,885	74.6
Total	348,489	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	54,629	13.2
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	78.8	%
Max. Renew. Penetration	218	%

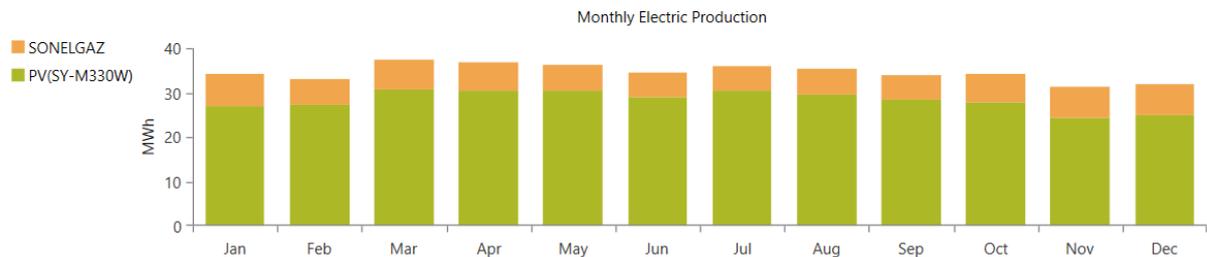


Figure IV. 16 : la production électrique totale mensuelle

Production	kWh/yr	%
PV	340,763	82.2
Grid Purchases	73,800	17.8
Total	414,563	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	54,629	13.2
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Figure IV. 17: Energie électrique produite par le système

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	88,604	25.4
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	259,885	74.6
Total	348,489	100

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	78.8	%
Max. Renew. Penetration	218	%

Figure IV. 18:Énergie annuelle consommé

Le graphe traduit les données essentielles du premier tableau :

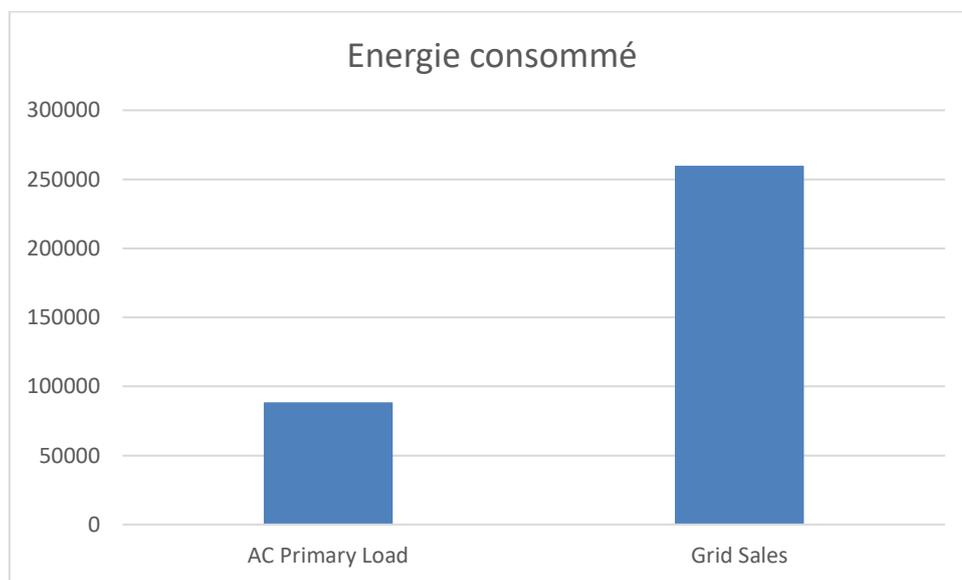


Figure IV. 19 : Histogramme de la répartition l'énergie annuelle consommé par le système

On remarque que la production de l'énergie PV couvre la charge et le surplus sera injecter sur le réseau pour être vendu.

IV.5.2 Résultat de convertisseur

Les figures « IV-16 etIV-17 » montrent que les pertes annuelles de l'onduleur ne dépassent pas 4% ce qui est équivalent à un rendement de 96% car : L'énergie d'entrée de l'onduleur est 286134 KWh/ans or que l'énergie de sortie de l'onduleur 274689KWh/ans . L'énergie à injecter sur le réseau varie suivant les saisons et l'ensoleillement

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	100	100	kW
Mean Output	31.4	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	100	0	kW
Capacity Factor	31.4	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	4,385	0	hrs/yr
Energy Out	274,689	0	kWh/yr
Energy In	286,134	0	kWh/yr
Losses	11,445	0	kWh/yr

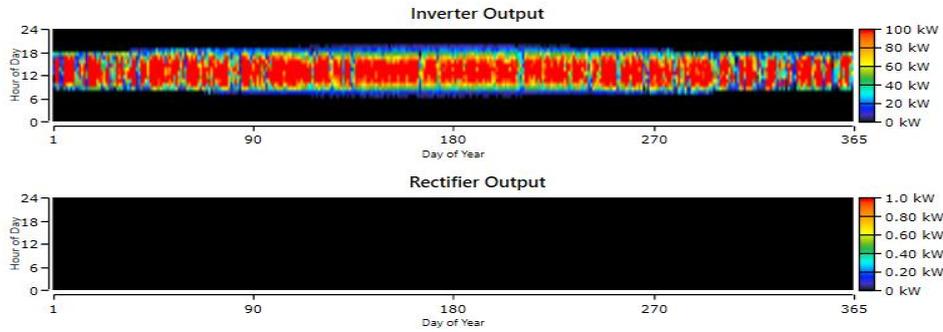


Figure IV. 20 : Puissance de l'onduleur

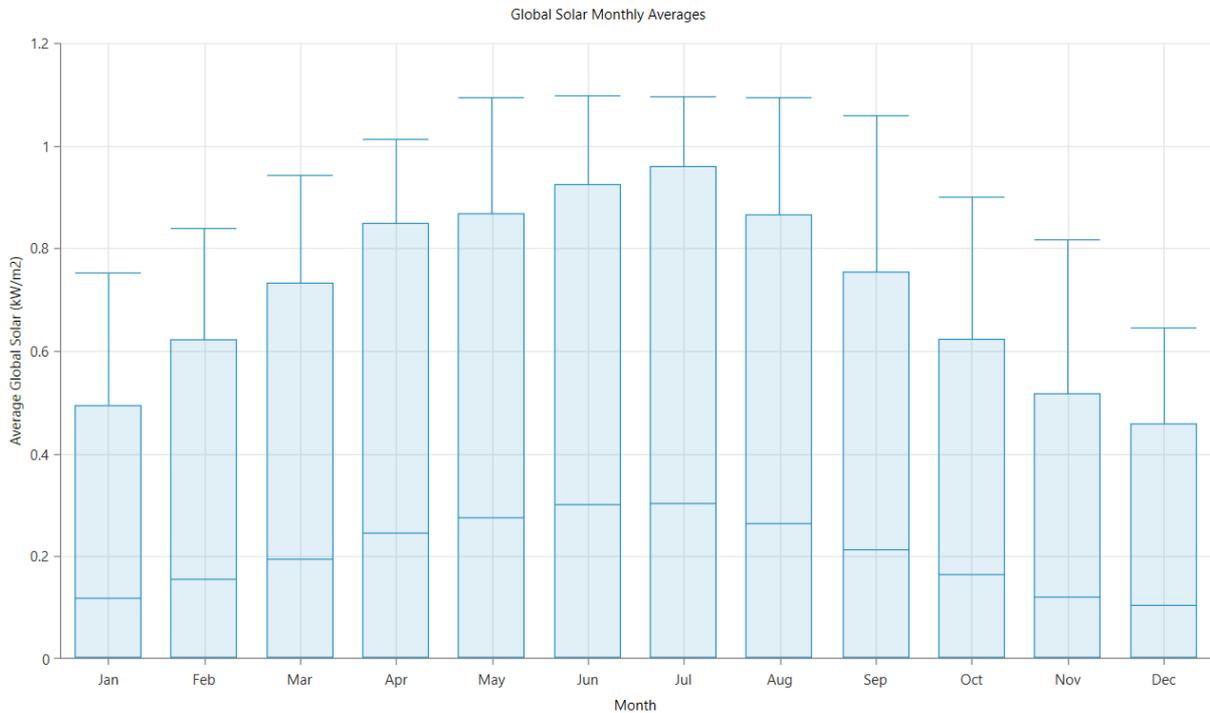


Figure IV. 21: La puissance d'entrée du convertisseur

IV.5.3 Résultat sur les batteries

HOMER Pro propose d'installer une série de 8 batteries relié '8série pour atteindre la tension de champs photovoltaïque qui est égale à 96V et 1 parallèle'. Le profil de la distribution journalière moyenne de l'état de la charge est constant durant toute l'année, les batteries se charge tous les jours à 100% en cas d'absence de l'énergie PV accompagné à une coupure de

réseau les batteries jouent le rôle d’appoint pour cela les batteries doivent être toujours chargé. L’autonomie des batteries est de 0.609 heures

Quantity	Value	Units
Batteries	8.00	qty.
String Size	8.00	batteries
Strings in Parallel	1.00	strings
Bus Voltage	96.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	0.609	hr
Storage Wear Cost	92.6	DA/kWh
Nominal Capacity	10.3	kWh
Usable Nominal Capacity	6.16	kWh
Lifetime Throughput	0	kWh
Expected Life	5.00	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	DA/kWh
Energy In	0	kWh/yr
Energy Out	0	kWh/yr
Storage Depletion	0	kWh/yr
Losses	0	kWh/yr
Annual Throughput	0	kWh/yr

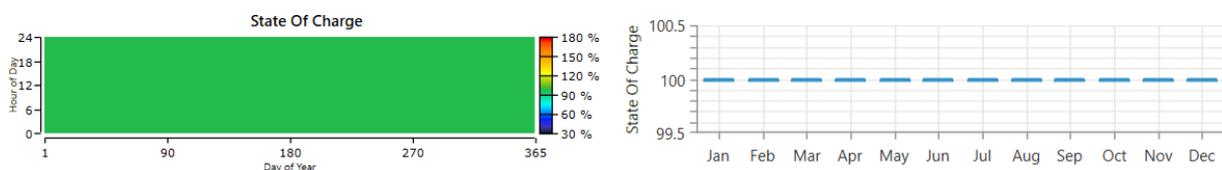


Figure IV. 22: état de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries

IV.5.4 Résultats du champs PV

La production de l’énergie électrique commence après le lever de soleil à tout moment entre 6h et 7h en automne et hiver et entre 5h et 6h en été et printemps. La production par PV est nulle en période de pic de consommation électrique ce qui nécessite soit le recours au réseau électrique soit de l’énergie stocké dans les batteries.

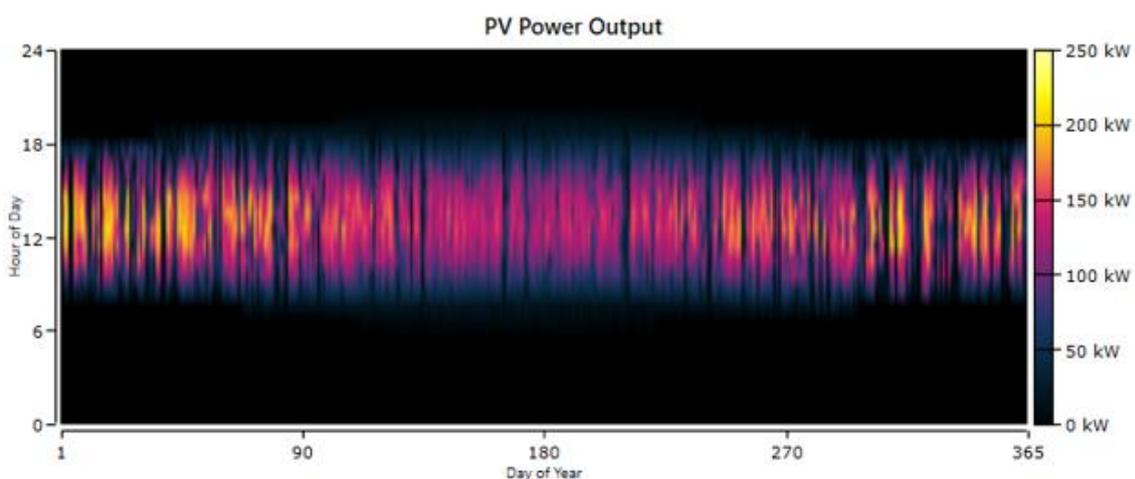


Figure IV. 23: Puissance journalière moyenne délivré par les générateur PV

IV.5.4 Résultats sur le réseau

Le producteur injecte sur le réseau le surplus d'énergie, on remarque que la valeur maximal de l'énergie nette vendu sur le réseau est en mois de de juin, juillet et aout car le rayonnement solaire est concentré dans cette période par conséquence la production de l'énergie photovoltaïque est maximal .D'autre part on remarque que le réseau ne produit pas l'énergie durant la journée et le PV injecte une grande quantité énergie sur le réseau par contre le réseau sera utilisé comme appoint du système le soir et la production d'électricité sera basé que sur le réseau durant la nuit

Rate Schedule: All ▾

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Load (kW)	Energy Charge DA	Demand Charge DA
January	7,083	18,812	-11,728	60	-DA148,44	DA0
February	5,940	19,421	-13,481	58	-DA160,94	DA0
March	6,597	22,213	-15,615	57	-DA185,18	DA0
April	6,102	23,113	-17,011	61	-DA196,95	DA0
May	5,907	23,621	-17,713	57	-DA203,12	DA0
June	5,323	23,990	-18,667	54	-DA210,09	DA0
July	5,406	25,377	-19,971	57	-DA223,49	DA0
August	5,673	23,822	-18,148	59	-DA206,44	DA0
September	5,345	21,819	-16,474	58	-DA188,26	DA0
October	6,646	21,577	-14,931	55	-DA178,54	DA0
November	6,716	18,000	-11,283	63	-DA142,38	DA0
December	7,061	18,121	-11,061	63	-DA141,67	DA0
Annual	73,800	259,885	-186,085	63	-DA2,185,5	DA0

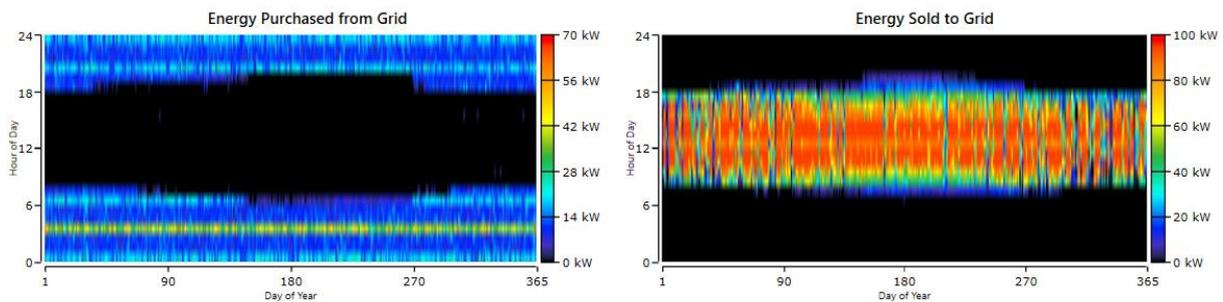


Figure IV. 24 : Indication puissance de réseau

IV.5.5 Résultats sur les émissions (aspect écologique et environnemental)

La production de l'énergie électrique à partir du PV-réseau provoque une émission d'une grande quantité des Gaz à Effet de Serre (GES) qui est due au réseau, parmi ces gaz on peut citer le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre et l'Oxydes d'azote ... etc. Dans notre système PV-réseau le champ PV produit une grande portion de l'énergie électrique vente cette dernière sur le réseau donc le système PV aide à réduit la production du réseau ce qui implique une réduction des émissions des GES

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	46,642	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	202	kg/yr
Nitrogen Oxides	98.9	kg/yr

Figure IV. 25 : la quantité des gaz émis par le système

Conclusion

L'optimisation des ressources est un facteur majeur dans l'évaluation de l'efficacité des systèmes d'énergie renouvelable. Diverses méthodes ont été utilisées par différents chercheurs lors de la planification et du dimensionnement de systèmes hybrides photovoltaïques connectés au réseau. Dans ce chapitre, à l'aide de modèles informatiques issus du logiciel HOMER, nous avons identifié une source d'énergie hybride efficace utilisant l'énergie solaire. Sur la base des résultats du processus d'optimisation, le système énergétique optimisé qui nous intéresse se compose de modules PV de 228 kW, d'un réseau d'une capacité maximale de 999999 kW, d'un convertisseur de 100 kW et d'un banc de 8 batteries.

Les résultats de la simulation montrent que la production d'électricité annuelle totale du système est de 414,563 kWh/an, dont l'énergie totale générée par le générateur photovoltaïque (82,2 %) est supérieure à l'énergie générée par le réseau (17,8 %).

Conclusion générale

Les énergies renouvelables apparaissent comme des solutions idéales pour réduire la pollution. Parmi les modes de production prometteurs (éolien, hydraulique, etc.), le photovoltaïque (PV) se présente aujourd'hui comme la forme la plus adaptée et la plus efficace de production d'électricité renouvelable.

Il nous a été donné comme tâche, « Etude d'une installation hybride (photovoltaïque -réseau) : application l'aire de repos les zianides ». Un dimensionnement ainsi qu'une simulation avec le Logiciel HOMER Pro de l'installation hybride ont été faits. L'étude s'appuie sur des bilans de consommation journaliers établis sur le site. Cette installation est un système de production d'énergie conçu pour effectuer une tâche bien définie. En d'autres termes, il est utilisé pour répondre aux besoins énergétiques du site

Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau peuvent être utilisés pour fournir une grande quantité d'énergie, mais cela nécessite un investissement énorme, ce qui rend le coût de production de l'électricité très élevé car les équipements utilisés dans les grandes installations de ce genre sont très chers et parfois ne sont pas disponibles dans le marché Algérien car les fournisseurs sont très peu. Mais pour les petites installations les équipements sont disponibles donc on a proposé comme solution pour les grandes installations de décomposer le système en plusieurs blocs, celle qui fonctionnent en alternatif et celle qui fonctionnent en continue pour ne pas ajouter des convertisseurs qui augmentent le coût de l'installation et pour avoir des configurations moins complexes.

L'étape de l'intégration des énergies renouvelables dans les installations électriques actuelles est devenue très importante pour plusieurs raisons :

- Réduire les émissions des gaz à effet de serre émises par le réseau électrique
- Aider le réseau électrique en réduisant la charge dans les heures de pointe
- Avancer dans le programme de transition énergétique en Algérie et avoir de meilleurs résultats

Les solutions proposées pour avancer dans le domaine des énergétiques renouvelables en Algérie est de faire varier les fournisseurs des équipements des énergies renouvelables ceci peut

CONCLUSION GENERALE

se faire par la création des petites start-ups partout dans l'Algérie. De plus, la libéralisation du marché de l'électricité va entraîner des changements majeurs dans le secteur de l'énergie.

Bibliographie

- [1] BOUVIER Yves, SOPHIE Pehlivanian. « Une histoire à écrire : le photovoltaïque », Sciences humaines et sociales et photovoltaïque (2017).
- [2] MOUSSA Achouak, BOUSBAA Maïssa, A. MERZOUGUI, « Etude en Température des performances des cellules PV », Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master en physique appliquée, Université Larbi Ben Mhidi O.E.B 2021.
- [3] EL BAGOR Khawla, GRAINE Manal, « Transfert de chaleur de l'écoulement d'un nano fluide dans le tube d'un panneau photovoltaïque hybride », Mémoire l'obtention du diplôme de l'université M'sila, 2021.
- [4] CHABANE Houda, « Etude d'une cellule solaire à base de structure PIN », Mémoire Présenté Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER EN ELECTRONIQUE Option Instrumentation, université de Batna 2, 2015.
- [5] QUENTIN Mauguit, « developpement-durable-cellules-photovoltaïques-coeur-panneaux-solaires », futura-sciences 2013-2015.
- [6] ADRIEN Maridet, « Panneaux photovoltaïques/ panneau solaire monocristallin- polycristallin », habitat presto 2022.
- [7] DJEDJIGA Lalam, « *Etude et optimisation des cellules solaires en couches minces CdTe/CdS* », thèse de doctorat dissertation. Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [8] MEZIANE Manal, BENKARA Salima, « Conception Et Réalisation D'un Système Photovoltaïque A Base D'une Carte Arduino », Université Oum El Bouaghi,2021.
- [9] JOLY Jean-Pierre, « Solaire photovoltaïque : les technologies et leurs trajectoires », Encyclopédie - énergie 2019.
- [10] BELABDI Karim, AITOUARAB Hayet. « Etude du processus de dégradation d'une cellule photovoltaïque », Diss. Université Mouloud Mammeri, 2015.
- [11] AMARA Sayad, OUADA Amine, « Etude et simulation d'une cellule photovoltaïque », Mémoire master, Génie Electrique, L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued ,2016.
- [12] HANKINS Mark. « Stand-alone solar electric systems: the Earthscan expert handbook for planning, design and installation ». Routledge, 2010.
- [13] AMOUSSOU, Isaac. « Dimensionnement technico-économique d'une centrale de production d'énergie solaire photovoltaïque connectée au réseau », Mémoire d'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Génie électrique, Contrôle de processus industriels, Ecole polytechnique d'Abomey-calavi,2017.
- [14] HANKINS Mark. « Installations solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non raccordées au réseau. » Dunod, 2012.

- [15] FELLOUAH Sofiane, MESBAHI Siham, « Etude d'un système photovoltaïque connecté au réseau », Mémoire master académique, Génie électrique et d'informatique, Tizi-Ouzou, 2015.
- [16] THIAUX yaël, « Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides - Evaluation de la technologie Li-ion ». Sciences de l'ingénieur. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2010. Français.
- [17] M. BELHAMEL, S. MOUSSA, A. KAABECHE, « Production d'Electricité au Moyen d'un Système Hybride (Eolien-Photovoltaïque-Diesel) » Revue Énergies Renouvelables : Zones Arides, 2002.
- [18] STOYANOV Ludmil, « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Mémoire doctorat en énergétique, Electrotechnique, Electronique et Automatique, Université Pascal Paoli, 2011.
- [19] BORNİ Abdelhalim, « Etude et optimisation d'un multi système hybride de conversion d'énergie électrique », Thèse Doctorat en sciences en électrotechnique, Modélisation des machines électriques, Université Constantine 1, 2015.
- [20] BADACHE El Hachemi, BOUKENDAKDJI Mustapha, « Etude de système hybride CSP-EOLIEN », mémoire master, génie mécanique, énergétique, Blida, 2018.
- [21] N. BENAMROUCHE, L. HASSAINE, « ETUDE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE CONNECTE AU RESEAU », Mémoire obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, Réseaux électriques, Tizi-Ouzou, 2008
- [22] BASBOUS Tammam, « Hybridation pneumatique d'un moteur diesel en vue de son utilisation dans un système hybride éolien-diesel avec stockage d'énergie sous forme d'air comprimé », Université du Québec à Chicoutimi, 2013.
- [23] HUSSEIN Ibrahim, « Étude et conception d'un générateur hybride d'électricité de type éolien-diesel avec élément de stockage d'air comprimé », Doctorat en ingénierie, Université du Québec à Chicoutimi, 2010.
- [24] Saad, Youssef, « Gestion optimale des systèmes hybrides pour la production de l'énergie dans les sites isolés », Doctorat Énergétique, Université de Technologie Belfort-Montbéliard, 2018.
- [25] M. BENAOUADJ, «Energy flow control of Wind/PV/Batteries/Supercapacitors autonomous hybrid power sources using the flatness concept», 3rd International conference on systems and Control. IEEE, 2013.
- [26] IBRAHİM Hussein, « Investigation des diverses options de stockage d'énergie face à l'intégration des parcs éoliens dans les réseaux." 1ère Conférence Franco-Syrienne sur les énergies renouvelables. » 2010.
- [27] DANG Xuan-Linh. « Contribution à l'étude des système Photovoltaïque/Stockage distribués. Impact de leur intégration à un réseau fragile ». Doctorat électronique-électrotechnique-automatique, Ecole Doctorale Sciences Pratiques de Cachan, 2014.

BIBLIOGRAPHIE

- [28] A. EL KHADIMI, L. BCHIR, A. ZEROUAL, « Dimensionnement et Optimisation Technico-économique d'un système d'Energie Hybride photovoltaïque-Eolien avec Système de stockage », *Energies Renouvelable* 7,2004.
- [29] TURKI Mehdi, BELHADJ Jamel, XAVIER Roboam, « Analyse des performances d'un processus de dessalement par 'osmose inverse' alimenté par un système hybride (PV-Eolien) sans stockage électrochimique ». The 1st Maghreb conférence on desalination and Water Treatment (CMTDE). 2007.
- [30] H.YOTTO, « Etude et conception d'une mini centrale PV », mémoire fin d'études master 2, IE Bénin 2011.
- [31] M. Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque », Boumerdes,2017.
- [32] S. PETIBON, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2009.
- [33] A.YAKER, B. BELAID,« Dimensionnement d'une central photovoltaïque». Tizi-Ouzou, 2015.
- [34] CHERFAOUI Azouaou, « Simulation d'un système hybride photovoltaïque-eolienne totalement autonome», mémoire d'obtention de diplôme d'ingénieur d'état, 2010.
- [35] BELABED Rafik,« Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque», Mémoire d'obtention du diplôme de master académique en génie mécanique option énergétique,Tizi-Ouzou, 2016-2017.
- [36] M. J. T. Nkouimi, « Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Mémoire Online 2000-2010.
- [37] A.LABOURET, M. VILLOZ, « Energie solaire photovoltaïque », 3 -ème édition, Edition Dunod 2005.
- [38] https://earth.google.com/web/search/XQPJ%2b284,+Amieur/@34.98548761,-1.21868514,497.82671758a,356.69154946d,35y,167.18699357h,44.99688338t,360r/data=CIQaKhIkGVrTvOMUfkFAISM862S6gfO_KhBYUVBKKzI4NCwgQW1pZXVYGAEGASImCiQJhzIFAI2uQkAR2rN9gqeeP0AZIKzLbjql-T8hCOKYctJ7HcA
- [39] SIKIROU, Djawad, « Electrification d'un marché moderne avec un système hybride de production d'énergie électrique», Mémoire d'obtention de diplôme d'ingénieur de conception, Génie électrique, Contrôle de processus industriels, Bénin, 2018.
- [40] BENCHERIF Mohemmed, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Doctorat en physique,Physique énergétique et matériaux,Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen,2014.
- [41] PHUOC Tri Le, « Simulate and experimentally evolve a specific PV-based microgrid system for replication in Vietnam»,Applied project for the requirements of the professional master's degree , Solar energy engineering and commercialization, Arizona state university

BIBLIOGRAPHIE

[42] LAMBERT Tom, PAUL Gilman, PETER Lilienthal, «Micropower system modeling with HOME», Integration of alternative sources of energy,2006.

[43] Chakor Rania, « Modélisation, simulation et analyse d'un Système de stockage hybride photovoltaïque-éolienne dans un site isolé », Mémoire master en physique, Physique énergétique et énergies renouvelables , Tlemcen ,2021.

[44] http://umap.openstreetmap.fr/fr/map/visiter-tlemcen_738997#18/34.98503/-1.21945

[45]<https://mapcarta.com/fr/W293133211>.

[46] BENBOUABDELLAH Zakaria, HADJAL El Mehdi, « Modelisation et simulation d'un système de stockage dand une alimentation hybride »,Mémoire fin d'etude d'obtenation de diplôme d'ingénieur, electrotechnique, Energie et environnement, 2021

[47] GHENAIM Sabah, SEBKHI Yasmine, «Simulation d'une Central PV connecté au réseau électrique par deux logiciels «PVSYSY» et'HOMER Pro' », Mémoire master ,Réseau Electrique ,Biskra ,2020

Résumé :

Aujourd'hui, les énergies renouvelables sont de plus en plus utilisées dans les sites urbains. Cette évolution est due à l'épuisement des ressources limitées en combustibles fossiles et au réchauffement climatique.

On a présenté dans ce mémoire les systèmes hybrides photovoltaïque raccordé au réseau, pour cela une étude pratique a été faite sur l'aire de repos des zianides situé à Tlemcen pour fournir l'énergie électrique nécessaire pour alimenter la station.

Le logiciel HOMER pro a été utilisé pour simuler et d'optimiser la faisabilité technique et économique du système. Cela nous permet de déterminer la configuration du système hybride photovoltaïque-réseau ainsi qu'un bref aperçu sur les émissions des gaz à effets de serre.

Summary:

Nowadays, renewable energies are increasingly used in urban sites. This development is due to the depletion of limited fossil fuel resources and global warming.

In this paper, photovoltaic hybrid systems connected to the grid have been presented, for this a practical study has been made on the Zianides located in Tlemcen rest area to provide the necessary electrical energy to supply the station.

The HOMER pro software was used to simulate and optimize the technical and economic feasibility of the system. This allows us to determine the configuration of the hybrid photovoltaic-grid system as well as a brief overview of the greenhouse gas emissions.

ملخص:

في وقتنا الحالي، يتم استخدام الطاقات المتجددة بشكل متزايد في المواقع الحضرية. ويرجع هذا التطور إلى استنفاد موارد الوقود الأحفوري المحدودة والاحتباس الحراري.

قدمنا في هذه المذكرة الأنظمة الهجينة الكهروضوئية المتصلة بالشبكة، لذلك تم عمل دراسة عملية على منطقة فضاء الراحة الزيانيين بولاية تلمسان وذلك لتوفير الطاقة الكهربائية اللازمة لتزويد المحطة.

تم استخدام برنامج HOMER pro لمحاكاة الجدوى التقنية والاقتصادية للنظام وتحسينها. يتيح لنا ذلك تحديد تكوين النظام الهجين للشبكة الكهروضوئية بالإضافة إلى لمحة موجزة عن انبعاثات الغازات المتسببة في الاحتباس الحراري.