

UNIVERSITE KASDI-MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité: Electro technique Industrielle

Présenté par :

Djemai Mohammed Ramzi Sais Mohamed Ikbal

Thème :

Etude d'un système hybride « éolienne- photovoltaïque »

Soumis au jury composé de:

M^r Taïbi Djamel

MCB

Président

UKM Ouargla

M^r Gadoum Abdelatif

Professeur

Encadreur/rapporteur

UKM Ouargla

M^r Khalifa Moussa

MCB

Examineur

UKM Ouargla

Année universitaire : 2023/2024

DÉDICACES

Les phrases se bousculent, les significations sont troublées, l'âme s'agite, la langue se dérobe et les mots se tiennent avec révérence et humilité en ce jour couronné de succès, par la grâce de Dieu. Après cinq années de dévouement, d'effort et de sacrifice, je dédie les fruits de ma réussite à celui qui a courbé son dos pour que je devienne ce que je suis aujourd'hui, mon pilier "mon père".

À celle dont les prières m'ont toujours accompagné, ma protection "ma mère". À ceux dont Dieu a dit : {Nous renforcerons ton bras par ton frère}, mes frères, mon soutien inébranlable.

À toute ma famille, je vous dédie les fruits de ma récolte.

À mes compagnons des premiers pas et à tous ceux que le destin m'a permis de rencontrer, mes amis et mes proches.

À mon compagnon de route, celui qui a partagé avec moi la plantation de ce travail modeste.

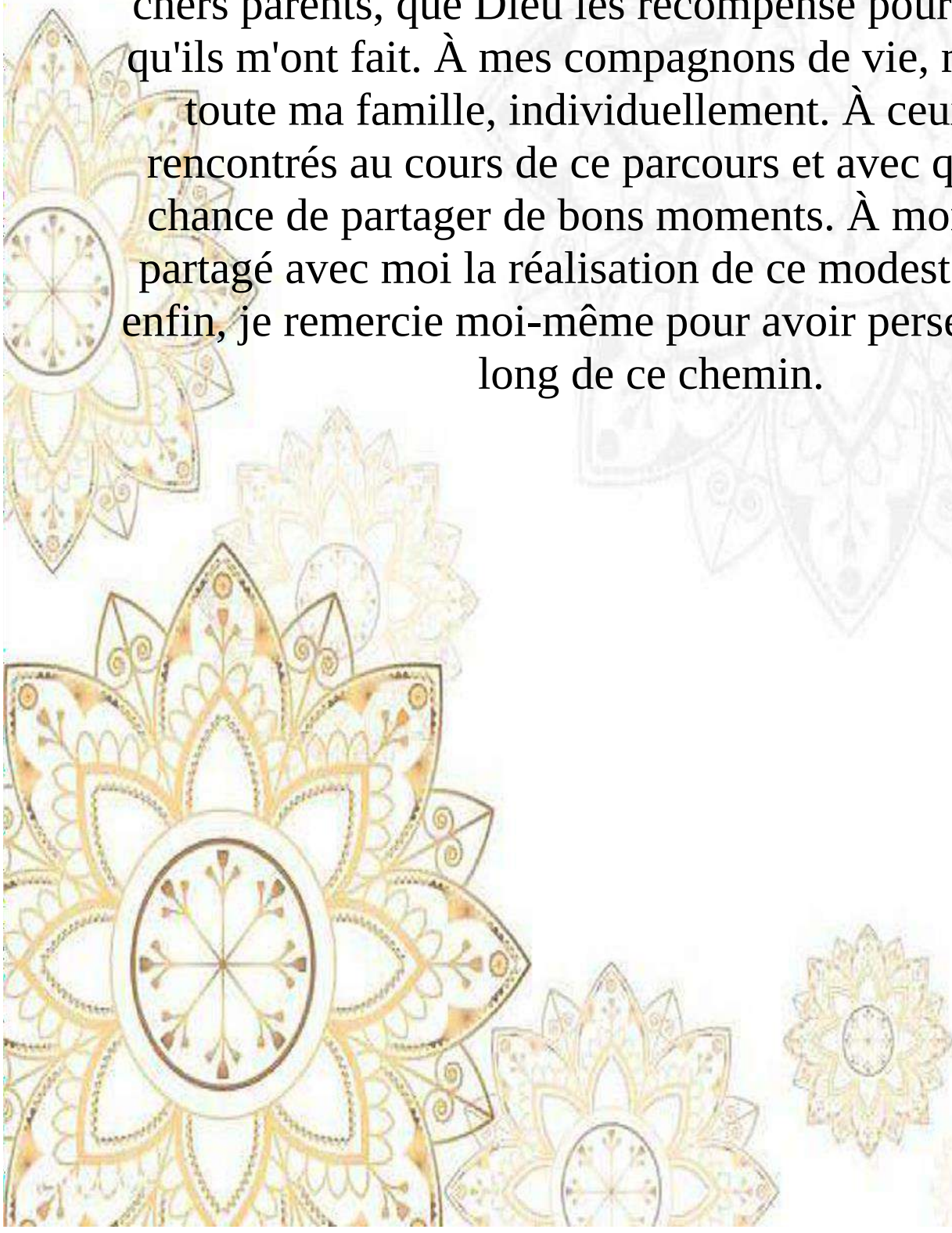
À moi-même, qui ai supporté les peines et les difficultés du chemin, et persévéré jusqu'à ce moment.

Djemai 2024

DÉDICACES

Les nuits se succèdent et les jours passent rapidement pour se tenir sur le seuil de ce jour qui couronne des années d'études, de travail acharné et de persévérance. Je ne peux que dédier le fruit de cette réalisation à ceux qui ont été à l'origine de mon succès, après Allah le Tout-Puissant : mes chers parents, que Dieu les récompense pour tout le bien qu'ils m'ont fait. À mes compagnons de vie, mes frères et toute ma famille, individuellement. À ceux que j'ai rencontrés au cours de ce parcours et avec qui j'ai eu la chance de partager de bons moments. À mon ami qui a partagé avec moi la réalisation de ce modeste travail. Et enfin, je remercie moi-même pour avoir persévéré tout au long de ce chemin.

Sais 2024



Remerciements

Louange à Allah qui a facilité et a béni et a permis d'atteindre le but final. Et comme il est dit : "Celui qui ne remercie pas les gens ne remercie pas Allah", donc un grand merci au professeur encadrant **Gadoum Abdelatif** qui nous a enrichis de ses conseils et de son savoir. Nous devons également remercier les membres du jury, chacun par son nom, pour leur aimable présence et leur statut éminent.

Nous n'oublions pas de remercier les professeurs et les cadres du département, ainsi qu'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué et participé avec nous à la réalisation de cette thèse.

Djemai / Sais

Liste des tableaux

Tableaux	Titre des tableaux	Pages
Chapitre I		
TableauI.1	Rendement des types de silicium	08
Chapitre II		
TableauII.1	Classification des SEH par gamme de puissance	24
Chapitre III		
TableauIII.1	Le montant de la consommation électrique du logement et les montants payés en 2023.	36
TableauIII.2	Appareils électriques utilisés dans la maison	37
TableauIII.3	Le rayonnement solaire horizontal mensuel moyen	40
TableauIII.4	Architecture du système PV-éolienne.	42
TableauIII.5	Energie annuelle produite.	42
TableauIII.6	Energie annuelle consommée	42
TableauIII.7	la quantité d'énergie annuelle	42
TableauIII.8	Résumé la production système et consommation de Sonelgaz.	43
TableauIII.9	Résumé électrique générique flat plat PV	44
TableauIII.10	Générique flat plate PV Statistiques	44
TableauIII.11	Résumé électrique générique de1kw	45
TableauIII.12	Générique éolienne 1kw Statistiques	46
TableauIII.13	Paramètres de fonctionnement du Batteries	47
TableauIII.14	Paramètres de fonctionnement du convertisseur	48
TableauIII.15	les prix de chaque matériel.	51
TableauIII.16	résumes tous les couts raccorder la maison	51

Liste des figures

Liste des figures

Figures	Titre des figures	Pages
Chapitre I		
Figure I.1	Marché des énergie renouvelables en Alegria 2015-2021	03
Figure I.2	Objectif d'énergie renouvelable, en mégawatt (MW), par source d'énergie, Algérie, 2015-2030	04
Figure I.3	Système photovoltaïque	05
Figure I.4	schéma synthétique de l'effet photovoltaïque.	06
Figure I.5	coup transversale d'une cellule PV typique.	07
Figure I.6	Principaux types de cellules.	08
Figure I.7	Schéma d'une cellule photovoltaïque.	09
Figure I.8	Association des cellules en série	09
Figure I.9	Association des cellules en parallèle.	10
Figure I.10	Installation photovoltaïque autonome	11
Figure I.11	Installation photovoltaïque couplée au réseau	11
Figure I.12	Conversion de l'énergie cinétique du vent	12
Figure I.13	Eléments constituant une éolienne	13
Figure I.14	Configuration à axe horizontal	14
Figure I.15	Eolienne de type Darrieus et Savonius	15
Figure I.16	Les Composante De L'aéro générateur.	15
Chapitre II		
Figure II.1	Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.	19
Figure II.2	Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride	20
Figure II.3	Architecture des systèmes hybrides d'énergie.	22
Figure II.4	Configuration du système hybride à bus continu.	23
Figure II.5	Configuration du système hybride à bus alternatif.	24
Figure II.6	Schéma synoptique du système hybride étudié.	25
Figure II.7	Circuit équivalent de la cellule solaire	26
Figure II.8	Caractéristiques $I=f(v)$ sous obscurité et sous obscurité éclairé d'une cellule photovoltaïque	27
Figure II.9	Notion de facteur de forme FF pour une cellule photovoltaïque	28
Figure II.10	Schémas équivalent électrique d'une génératrice à courant continu à excitation séparée.	31
Chapitre III		
Figure III.1	Le site de la maison	38
Figure III.2	Représente la température mensuelle du site.	39

Liste des figures

Figure III.3	Radiation globale horizontale mensuelle à Touggourt.	39
Figure III.4	Schéma de principe du système hybride étudié	40
Figure III.5	Résultats d'optimisation totaux pour le système hybride	41
Figure III.6	Le système optimal grâce à la classification Homer Pro	41
Figure III.7	Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source.	43
Figure III.8	Production journalière dépanne au photovoltaïque	45
Figure III.9	Production énergie l'éolienne	46
Figure III.10	état de charge sur une année	47
Figure III.11	Charge de la batterie pendant une année	47
Figure III.12	Comparaisons des résultats (PV/éolienne/batterie	48
Figure III.13	Résumé des couts	49
Figure III.14	Récapitulatif des opérations et des remplacements tout au long de la durée d'exploitation du système	50
Figure III.15	récapitulatif des appareils de remplacement	50

Liste des abréviations

Liste des abréviations

Les abréviations	Les définitions
MW	Mégawatt
NASA	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace
M&O	Maintenance et exploitation
MPP	point de puissance maximale
MPPT	suivi du point de puissance maximale
CA	Courant alternatif
CC	Courant continue
PV	Photovoltaïque
Éolienne	Éolienne
KW	Kilowatt
KWh	Kilowatt-hour
HA	Axe horizontal
VA	Axe vertical
HOMER	Modèle d'optimisation hybride pour les énergies renouvelables électriques
HRES	Système Hybride Energies Renouvelables
LCE	Énergie à coût nivelé
NPC	Coût actuel net
COE	Coût de l'énergie
SHE	système hybride d'énergie
GPV	Générateur Photovoltaïque
TNFC	Température nominale de fonctionnement de la cellule.
PV-E	Système hybride photovoltaïque-éolienne
n=ns	Nombre de cellules
Ns	l'assemblage.
IPH	Densité de courante photogénèse
IOBS	Densité de courant d'obscurité.
I_m	Coordonnées de point de fonctionnement.
Voc	tension de circuit ouvert
Icc	courant de court circuit
GS	Génératrices synchrones.
GAs	Génératrices asynchrones
P utile	Puissance utile (W)
Eg	Energie de gap
€	Euros

Liste des symboles

Liste des symboles

Symboles	Définitions	Unités
S	Surface de la cellule solaire	[m ²]
ϕ	Flux incident	[W/m ²]
Im	Coordonnées de point de fonctionnement.	[-]
U	Tension extraite de la génératrice	[Volt]
Ra	Résistance de l'induit	[Ω]
La	Inductance de l'induit	[Henry]
I	Courant extrait de la génératrice	[A]
Pem	Puissance électro magnétique	[Watt]
Ω	Vitesse angulaire	[rad/s]
E	Force électromotrice F.E.M	[Volt]
P	Nombre de paires de pôles	[-]
a	Nombre de paires de voies en parallèles	[-]
n	Vitesse	[tr/s]
N	Nombre total de conducteurs actifs	[-]
ID	Le courant traversant la diode	[A]
Rs	La résistance série de la cellule	[Ω]
V	La tension continue donnée par la cellule photovoltaïque	[A]
IL	Le photo-courant	[A]
IR	Le courant traversant la résistance parallèle	[A]

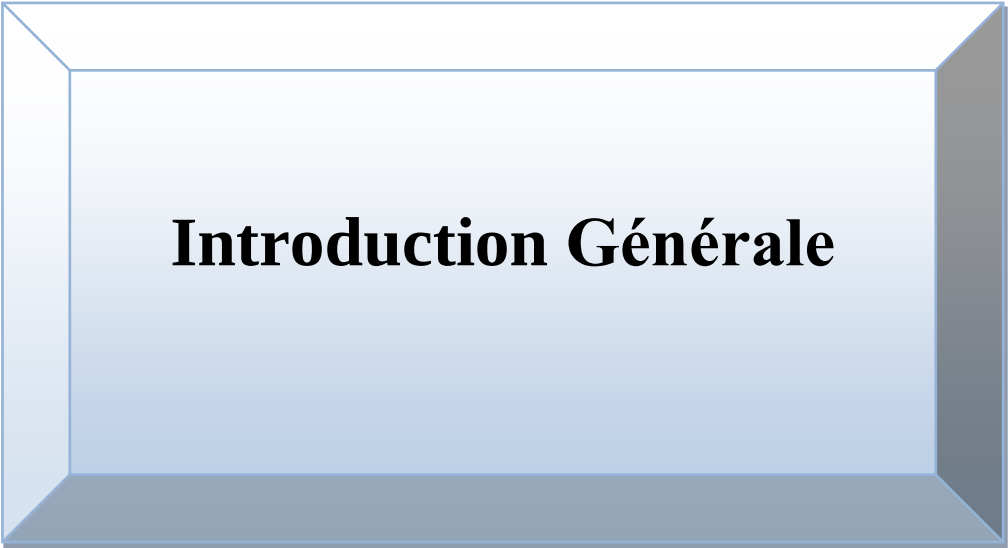
Sommaire

	Pages
Dédicace 1	
Dédicace 2	
Remerciement	
Liste des abréviations	
Liste des symboles	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Table des matières	
Introduction générale.....	01
Chapitre I :Généralités sur les énergies renouvelables	
I.1 Introduction.....	01
I.2 Etat de l'art des énergies renouvelables	01
I.3 Evaluation des énergies renouvelables en Algérie.....	03
I.4 Energiesolairephotovoltaïque.....	04
I.4.1.Définition.....	04
I.4.2. Effetphotovoltaïque.....	05
I.4.3.Electricité solaire par effet photovoltaïque.....	05
I.4.4 Les différents types des cellules photovoltaïques.....	07
I.4.5.Schéma simplifié d'une cellule photovoltaïque.....	08
I.4.6.Association des cellules PV.....	09
I.4.7.Systèmes photovoltaïque.....	10
I.4.8 Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques.....	11
I.5. Energie éolienne.....	12
I.5.1Définition.....	12
I.5.2 Constitution d'une éolienne.....	12
I.5.3 Les différents types générateurs éoliens.....	13
I.5.4 Principe De Fonctionnement.....	15
I.5.5 Eléments Constitutifs D'un Aérogénérateur (A Axe HORIZONTAL).....	15
I.5.6.Avantages et inconvénients des générateurs éoliens.....	16
I.6. Batteries.....	17
I.7. Conclusion.....	18
Chapitre II :Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien	
II.1 Introduction.....	18
II.2 Système d'énergie hybride	19
II.2.1. Définition.....	19
II.2.2. Etat de l'art des systèmes électriques hybrides.....	22

II.2.3 Configuration du bus dans les systèmes hybrides.....	22
II.2.4.Gamme de la puissance.....	24
II.2.5 Présentation du système hybride photovoltaïque-éolien.....	24
II.2.6.Principaux composantes du Système d'énergie hybride photovoltaïque –éolien.....	25
II.2.7.Descriptions des composantes du système hybride photovoltaïque-éolien.....	25
II.2.8.Avantages et inconvénients d'un système hybride.....	33
II.9 Conclusion.....	35

Chapitre III :Analyse et optimisation du système hybride par HOMER

III.1 Introduction.....	36
III.2 Evaluation de la consommation.....	36
III.3méthodes de dimensionnement.....	37
III.3.1. Présentation du logiciel Homer pro.....	37
III.3.2. domaines d'utilisations de logiciel HOMER PRO.....	38
III.3.3.Dimensionnement par logiciel HOMER PRO.....	38
III.4 Résultats optimisés.....	41
III.4.1.Puissance électrique du système.....	42
III.4.2.Puissance de sortie du générateur photovoltaïque (Generic flat plate).....	44
III.4.3.Puissance de sortie de l'éolienne (Générique 1kw).....	45
III.4.4.Batterie de stockage.....	46
III.4.5.Convertisseur.....	47
III.4.6.comparaisons des résultats (PV/éolienne/batterie).....	48
III.5 Résultats économique.....	49
III.6 Calcul du devis de raccordement de la maison selon les tarifs de Sonelgaz.....	50
III.7 Comparaison résultats avec devis de sonelgaz.....	51
III.8 Conclusion.....	52
Conclusion Générale.....	53
Références bibliographiques	



Introduction Générale

Introduction Générale

Une grande partie de la consommation mondiale d'énergie est assurée par les énergies d'origines fossiles (pétrole, gaz,...). La consommation excessive de ces ressources énergétiques limitées, conduit à l'épuisement progressif de ces réserves et intensifie les rejets de gaz à effet de serre et donc la pollution de l'atmosphère qui cause un changement climatique. Face à ces conséquences, il est nécessaire de prendre en considération le développement des énergies alternatives dites sources d'énergies renouvelables. Le soleil, le vent, les chutes d'eau et la biomasse sont des ressources naturelles accessibles et exploitées pour générer de l'énergie électrique. Leur flexibilité, leur simplicité d'utilisations et la multiplicité des domaines d'activités les ont rendues des énergies indispensables. [1]

L'utilisation d'un système photovoltaïque peut ne pas subvenir à lui seul aux besoins énergétiques souhaités. En effet, l'énergie éolienne ou l'énergie solaire peut nous faire défaut au moment où nous en avons le plus besoin. Pour assurer le fonctionnement d'une installation durant toute l'année, on envisage l'utilisation d'un système d'hybride.

Pour un développement d'un système d'hybride et économique, nous avons intéressé par la méthode du couplage d'un système photovoltaïque - éolien (PV-E).

L'objectif de ce travail est Les systèmes de production d'énergie hybrides PV-éolien, Se présentent comme l'une des options technologiques pouvant permettre d'opérer de façon progressive la transition entre les sources renouvelables (solaire et éolien). En particulier pour les zones isolées d'un potentiel important en ressource solaire et pour lesquelles la production d'énergie.

Pour permettre d'exploiter au mieux ces sources d'énergie, le système doit être correctement dimensionné pour qu'il puisse fournir l'énergie d'une manière continue. Le dimensionnement d'un tel système implique la détermination des caractéristiques nominales des sources et du système de stockage, pour des ressources énergétiques et des contraintes d'utilisation données. Pour réaliser notre objectif, nous avons établi un modèle simple et fiable, avec une précision acceptable pour prévoir les performances d'un système hybride photovoltaïque-éolien avec des batteries de stockage.

Pour ce fait, une modélisation et simulation des différents éléments de système hybride dans ce travail, après une recherche parmi les différents concepts et techniques de ces composants.

Pour cette raison, notre travail sera divisé en 3 chapitres :

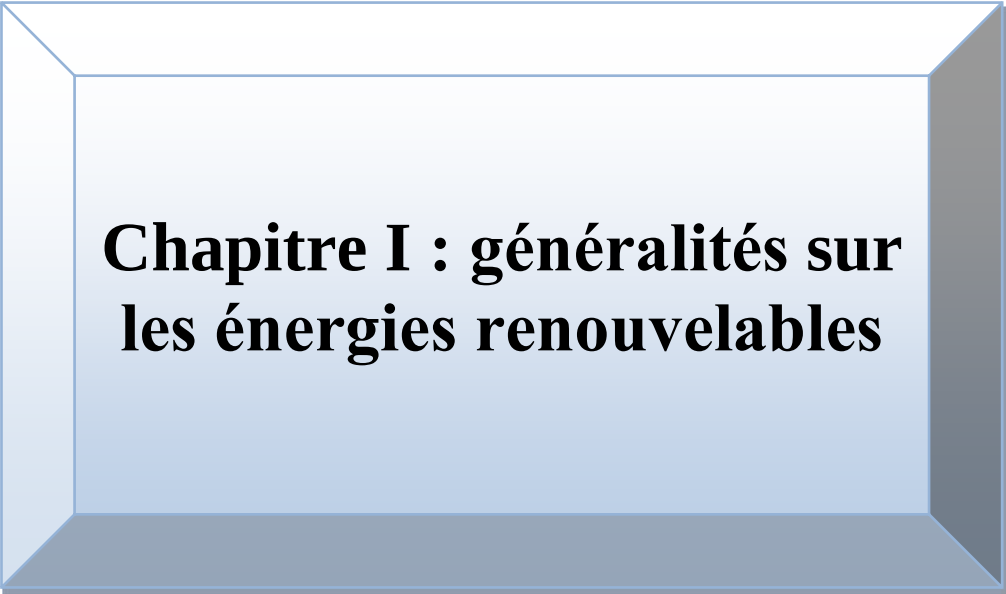
- Le premier chapitre : a été consacré à l'évaluation des énergies renouvelables en Algérie et à l'étendue de leur intérêt dans le domaine de l'énergie. Nous avons ensuite abordé les concepts

de base de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne et évoqué les avantages et les inconvénients de chacune.

- Le deuxième chapitre était consacré à l'explication du système énergétique hybride, en mentionnant ses caractéristiques, son principe de fonctionnement et le mécanisme de combinaison de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne et de la batterie.

- Dans le dernier chapitre, nous avons présenté un processus de simulation numérique utilisant le programme Homer (modèle hybride d'optimisation des énergies renouvelables) pour une maison isolée de la zone du Touggourt à travers les résultats obtenus par le programme « Homer ».

Les résultats et perspectives de ce travail de recherche sont présentés dans la conclusion générale.



Chapitre I : généralités sur les énergies renouvelables

I.1.Introduction :

L'énergie renouvelable est une énergie issue de sources naturelles qui se renouvelle à un rythme supérieur à ce qui est consommé. La lumière du soleil et le vent, par exemple, sont des sources qui se renouvellent constamment. Dans ce chapitre, nous présenterons les concepts de base et les diverses caractéristiques de l'énergie solaire et éolienne

I.2. Etat de l'art des énergies renouvelables :

L'état de l'art des systèmes hybrides à énergies renouvelables met en avant l'importance croissante de la recherche dans la conception, l'optimisation, le contrôle et l'opération de ces systèmes. Avec les développements récents, il est devenu clair que les énergies renouvelables, telles que le solaire et l'éolien, nécessitent des solutions de stockage d'énergie pour répondre à la demande des charges à tout moment, en raison de leur nature stochastique. Les technologies de stockage, telles que les batteries, les électrolyseurs et les piles à combustible, ainsi que les super condensateurs, sont essentielles pour assurer la fiabilité et les performances des systèmes hybrides à énergies renouvelables.

Selon José L. et ses collaborateurs [2], les systèmes autonomes hybrides à énergies renouvelables sont généralement préférés aux systèmes mono-source pour l'alimentation électrique des applications hors réseau, surtout dans les zones éloignées et difficiles d'accès. Ces systèmes hybrides offrent une fiabilité supérieure aux systèmes simples photovoltaïques (PV) ou éolienne. Les configurations hybrides les plus courantes sont celles combinant PV-Éolien-Batterie et PV-Diesel Batterie. Les batteries, généralement de type plomb-acide, sont souvent utilisées pour le stockage. Bien que le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène soit techniquement viable, il présente un inconvénient en termes d'efficacité, ainsi qu'un désavantage économique par rapport au stockage par batterie à l'heure actuelle [2]

En 2012, Prabodh Bajpai et Vaishalee Dash ont réalisé une revue de littérature sur les systèmes hybrides à énergies renouvelables destinés à la production d'électricité dans des applications autonomes [3]. Leur étude visait à examiner de près l'état de la recherche concernant le dimensionnement, l'optimisation, la gestion énergétique et la modélisation des composants de ces systèmes. Ils soulignent que ces systèmes offrent une alimentation continue en énergie et ne produisent aucune émission de gaz à effet de serre, ce qui constitue leur principal avantage. Ils estiment que l'adoption généralisée de

ces systèmes permettra de résoudre les problèmes énergétiques tout en favorisant un environnement plus vert et durable

En 2014, Madan A. et al. [4] ont réalisé une synthèse de l'état de la recherche sur les systèmes hybrides d'énergie. Leur analyse a porté sur divers travaux publiés par l'Institut des Ingénieurs en Électricité et Électronique (IEEE) dans des revues spécialisées et des actes de conférences. Il en ressort que l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont les sources les plus couramment utilisées pour la production d'électricité dans de nombreux pays en développement parmi les énergies renouvelables. Plusieurs systèmes hybrides d'énergie ont été étudiés, avec une analyse approfondie des différentes stratégies de commande et l'intégration d'algorithmes d'optimisation dans les sources d'énergie non conventionnelles. De nombreux chercheurs ont examiné ces systèmes à la fois par simulation et par expérimentation. En conclusion, les systèmes hybrides d'énergie sont jugés fiables, économiques et efficaces pour répondre aux besoins énergétiques.

Ces études révèlent que les systèmes hybrides utilisant des énergies renouvelables offrent une solution viable, économique et efficace pour les régions éloignées, difficilement accessibles et dépourvues de réseau électrique.

En 2013, une étude de C. Gopal et al. [5] a examinée l'utilisation des énergies renouvelables en combinaison avec les systèmes de pompage d'eau. Ils ont constaté que ces sources sont une alternative viable aux méthodes traditionnelles de pompage. Différentes combinaisons, telles que le pompage photovoltaïque, solaire thermique, éolien, avec biomasse et hybrides, ont été étudiées en détail, montrant que les performances des systèmes hybrides surpassent celles des systèmes éolien et photovoltaïque. Les auteurs ont souligné l'adaptabilité des systèmes hybrides pour les petites installations de pompage d'eau, soulignant leur flexibilité opérationnelle. Bien que le pompage photovoltaïque soit largement utilisé pour l'irrigation et les applications domestiques, suivi du pompage éolien, une attention particulière a été portée au système hybride photovoltaïque-éolien pour le pompage d'eau. Globalement, l'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes de pompage d'eau est cruciale pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, selon les auteurs.

Il est clair maintenant que les systèmes hybrides photovoltaïques-éoliens pour le pompage d'eau sont devenus flexibles, performants et efficaces. Cependant, un aspect qui ressort après cet examen approfondi est la rareté des études sur les systèmes hybrides à énergies renouvelables pour l'irrigation, en particulier sur la gestion de leur énergie. À

ce jour, il existe peu d'articles scientifiques sur la gestion de l'énergie des systèmes autonomes hybrides à énergies renouvelables pour l'irrigation. Par conséquent, nous allons concentrer nos efforts sur la gestion des systèmes hybrides photovoltaïques-éoliens pour les applications d'irrigation.

I.3. Evaluation des énergies renouvelables en Algérie :[6]

Les besoins énergétiques de l'Algérie dépendent fortement du gaz naturel, qui représente plus de 90 % de la production d'électricité du pays. Cependant, le pays dispose d'un énorme potentiel en matière d'énergie solaire. Le pays détient 65 % de la part de l'énergie solaire dans la capacité renouvelable totale en 2021.

Selon l'IRENA, la capacité totale installée de l'énergie solaire photovoltaïque en 2021 était de 423 MW. Pour exploiter le potentiel solaire du pays, le gouvernement a pris des initiatives, telles que le programme d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (lancé en 2011), dans le cadre duquel le pays vise à atteindre une capacité photovoltaïque totale de 13575 MW d'ici 2030.

En outre, le pays a également rejoint l'Initiative industrielle, qui vise à utiliser l'énergie solaire et éolienne du Sahara pour répondre à 15 % des besoins électriques de l'Europe d'ici 2050. Cela devrait augmenter les investissements dans les projets d'énergie solaire, stimulant ainsi le marché. Pour l'énergie solaire photovoltaïque à l'avenir.

Par ailleurs, en juillet 2022, selon la société publique Shaems, qui supervise le projet, le projet solaire algérien de 1 000 MW devrait produire sa première électricité d'ici la fin 2023. La première énergie sera générée par un système solaire photovoltaïque de 30 MW. Parc créé dans le cadre du projet Solaire de 1 000 MW à Beni Ounif (zone Béchar) d'ici fin 2023.

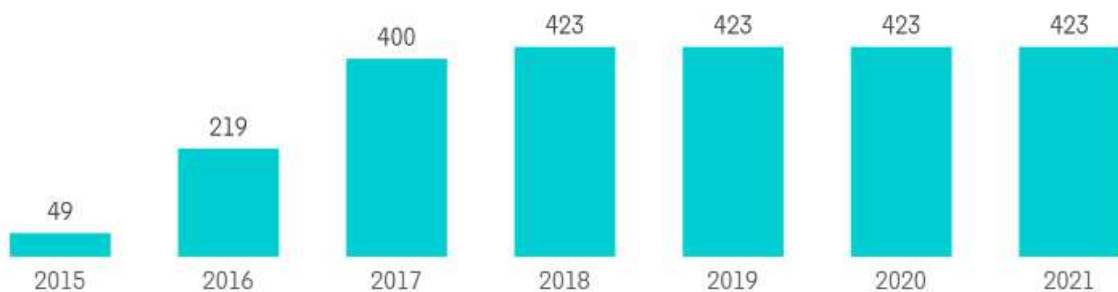


Figure.I.1:Marché des énergie renouvelables en Alegria 2015-2021

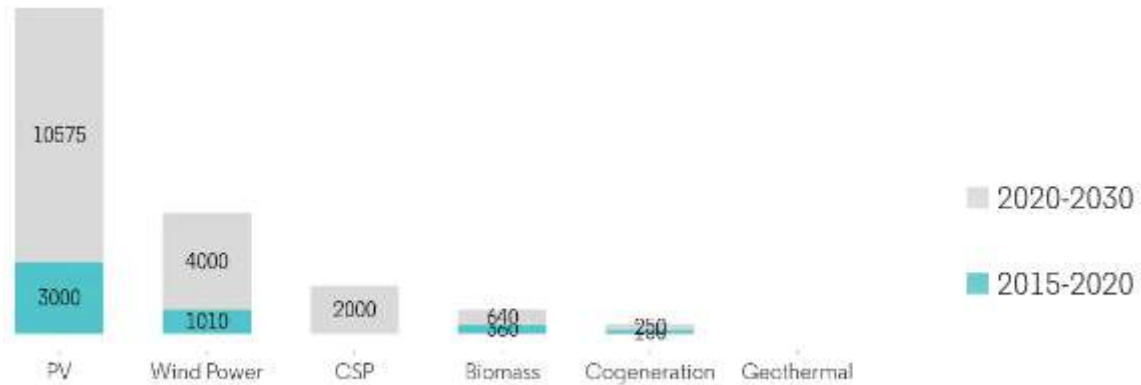


Figure.I.2 : Objectif d'énergie renouvelable, en mégawatt (MW), par source d'énergie, Algérie, 2015-2030

I.4. Energie solaire photovoltaïque :

I.4.1. Définition :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est produite par la conversion directe de l'énergie des photons présents dans le rayonnement lumineux en énergie électrique. Elle utilise des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'onde du visible pour réaliser cette conversion d'énergie. L'association de plusieurs cellules PV en série et/ou en parallèle forme un générateur photovoltaïque (GPV) dont la caractéristique courant-tension $I(V)$ est non linéaire et présente un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau de rayonnement solaire, de la température de la cellule et du vieillissement de l'ensemble[7]

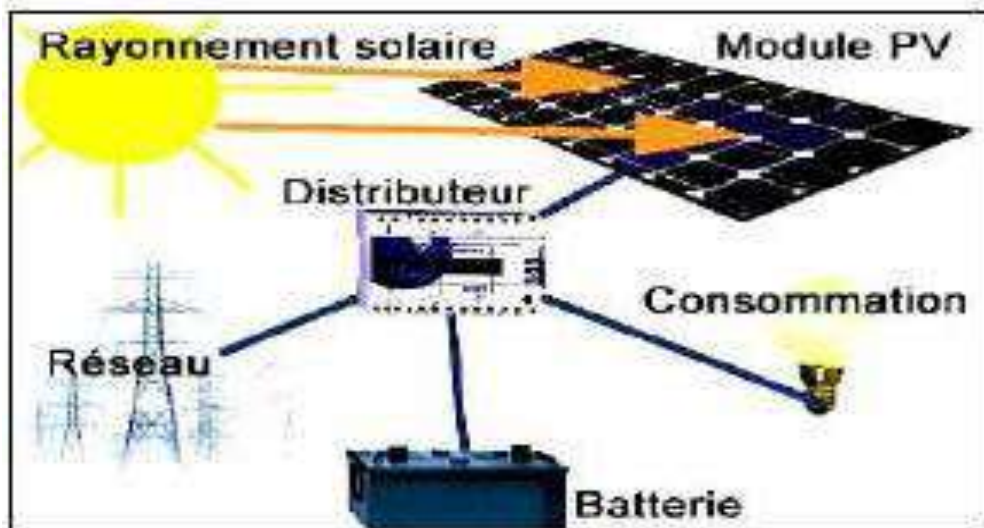


Figure. I.3 : système photovoltaïque [8].

I.4.2 Effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se produit lorsque la lumière est directement convertie en électricité, généralement en courant continu (CC). Ce phénomène implique la collision des photons lumineux avec les électrons libres et de valence dans un semi-conducteur, leur transférant de l'énergie. Si cette énergie est égale ou supérieure à l'énergie de bande interdite (E_g) du semi-conducteur, les électrons passent de la bande de valence à la bande de conduction, créant ainsi des paires électron-trou. Les photons avec une énergie bien supérieure à E_g peuvent provoquer une transition vers un niveau instable de la bande de conduction, où l'excès d'énergie est dissipé sous forme de chaleur. En revanche, les photons avec une énergie inférieure à E_g ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque car ils ne sont pas absorbés [9].

I.4.3 Electricité solaire par effet photovoltaïque :

I.4.3.1. Principe de fonctionnement :

L'énergie solaire photovoltaïque résulte de la transformation de la lumière en électricité. Ce phénomène, connu sous le nom d'effet photovoltaïque et rapporté par Edmond Becquerel en 1839, repose sur la génération d'une différence de potentiel aux extrémités d'un matériau semi-conducteur suite à l'absorption de la lumière

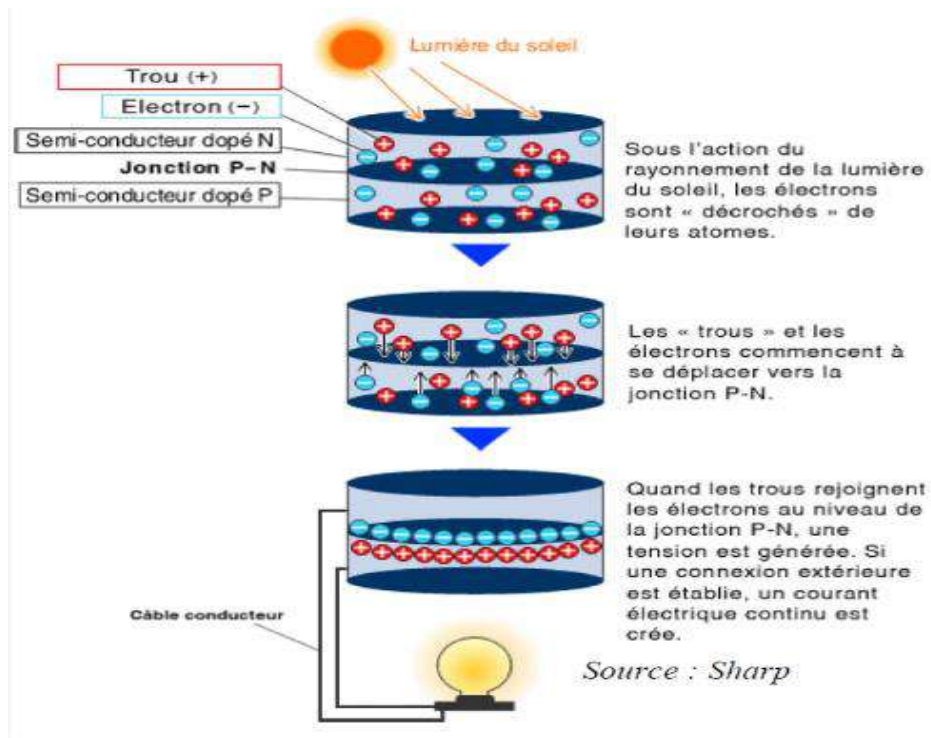


Figure.I.4 : schéma synthétique de l'effet photovoltaïque.

Plus précisément, selon la figure (I.4), l'effet photovoltaïque est inhérent à la cellule, l'unité de base de conversion. Dans le cas des panneaux photovoltaïques, les cellules sont composées de deux couches de silicium, l'une dopée P (généralement au bore) et l'autre dopée N (généralement au phosphore). Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction PN, libérant ainsi des électrons (charges N) et des trous (charges P). Cela crée une différence de potentiel entre les deux couches, mesurable entre les bornes positives et négatives de la cellule. Cette tension peut varier entre 0,3 V et 0,7 V en fonction du matériau utilisé, de sa disposition, de la température de la cellule et de son vieillissement [10].

I.4.3.2. Cellules photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque utilise l'effet photovoltaïque pour convertir la lumière en énergie électrique. Elle est composée de deux couches de silicium, l'une dopée P (au bore) et l'autre dopée N (au phosphore), formant une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction P-N, libérant des électrons (charges N) et des

trous (charges P), créant ainsi une différence de potentiel. Cette différence est mesurable entre les bornes positives et négatives de la cellule. En appliquant une charge continue, on peut récolter des porteurs. La tension maximale est d'environ 0,6V pour un courant nul, appelée tension de circuit ouvert (V_{oc}). Le courant maximal se produit lorsque les bornes sont court-circuitées, appelé courant de court-circuit (I_{cc}), dépendant du niveau d'éclairement[11]

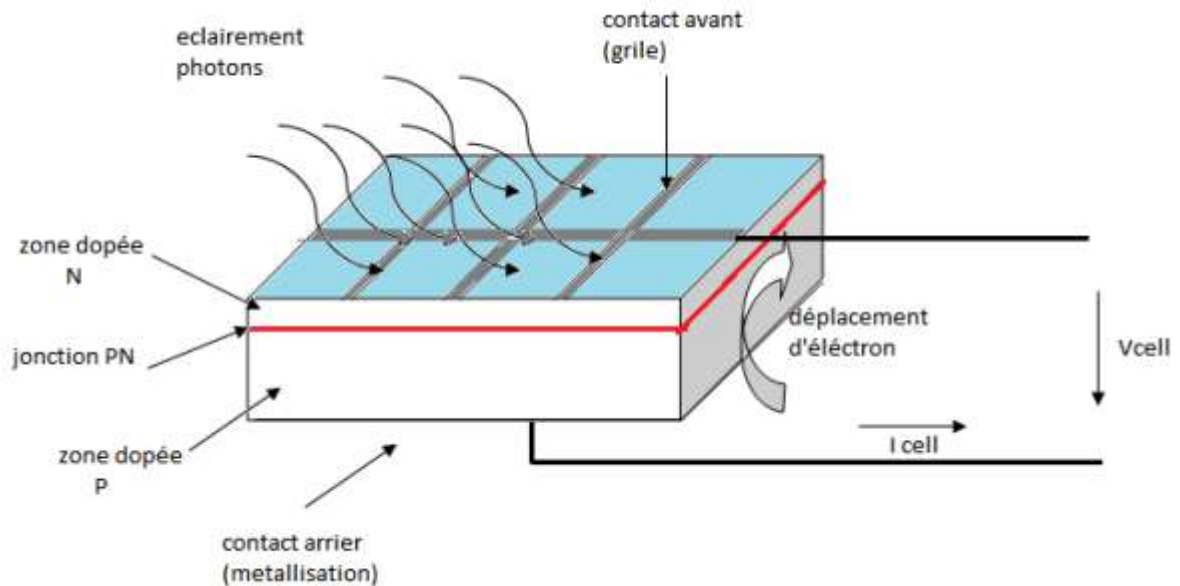


figure.I.5 : coup transversale d'une cellule PV typique.

I.4.3.3 Fonctionnement des cellules photovoltaïques :

La cellule photovoltaïque utilise un matériau semi-conducteur pour absorber l'énergie lumineuse et la convertir en courant électrique, fonctionnant selon le régime photovoltaïque où aucun potentiel n'est appliqué. Le processus implique l'absorption des photons par le matériau, la génération de porteurs de charges, puis la collecte de ces porteurs excités avant qu'ils ne reprennent leur énergie initiale[11]

I.4.4 Les différents types des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires en silicium (c'est-à-dire semi-conducteurs principalement utilisés dans la fabrication) [12]. Les cellules sont différenciables par Les rendements et les coûts varient.

I.4.4.1 Cellules amorphes :

Les cellules amorphes (Figure I-6.a) n'ont pas de structure cristalline. La productivité et l'efficacité sont inférieures aux autres variétés, et le rendement est faible.

Ils sont utilisés dans les produits de petite consommation (calculateurs solaires)

I.4.4.2 Cellules monocristallines :

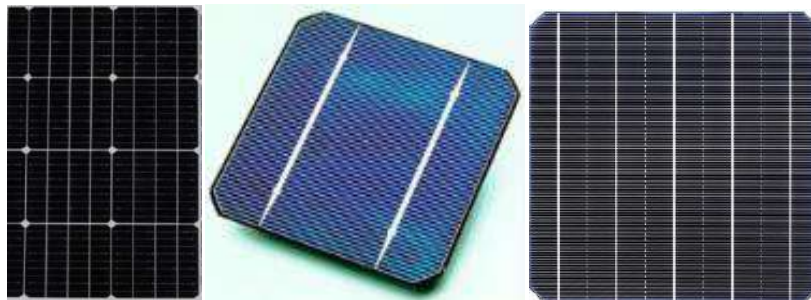
Les cellules les plus efficaces comprennent les cellules en silicium monocristallin (Figure I-6.b), le type avec le rendement de conversion le plus élevé.

I.4.4.3 Cellules polycristallines :

La conception des cellules en silicium polycristallines (Figure I-6.c) est plus simple que celle des autres types de cellules. Coûts de fabrication inférieurs, mais rendements inférieurs.

Types	Mono cristalline	Poly-cristalline	Amorphes
Rendement	13 à 17%	11 à 15%	6 à 10%

Tableau I.1: Rendement des types de silicium.



a) cellule amorphes

b) cellule monocristal

c) cellule poly-cristalline

Figure. I.6: Principaux types de cellules.

I.4.5 Schéma simplifié d'une cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est représentée comme un générateur de courant qui a une résistance montée en série et une résistance de shuntée qui est montée en parallèle par rapport à une diode et ce générateur Voir la figure ci-dessous :

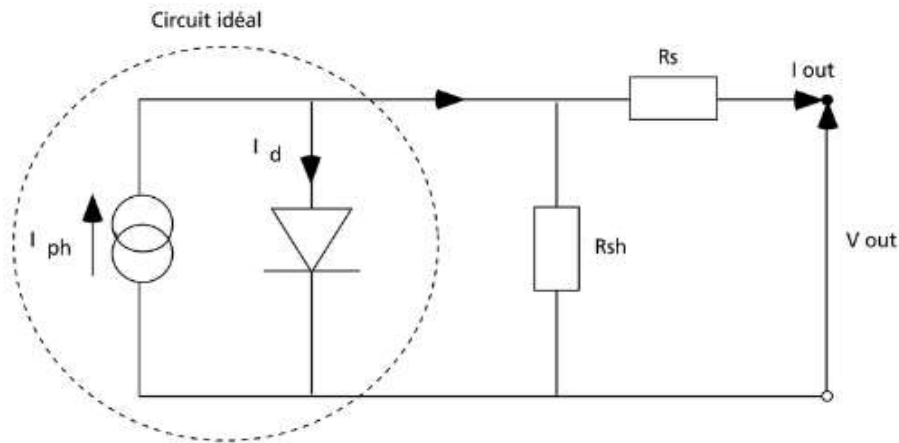


Figure. I.7 : Schéma d'une cellule photovoltaïque.

I.4.6 – Association des cellules PV :

I.4.6.1 – Association de cellules en série :

Si on assemble en série n cellules, la tension aux bornes de l'assemblage est égale à la somme des tensions délivrées par chacune des cellules.

$$V = nV_{co} \quad (\text{I.1})$$

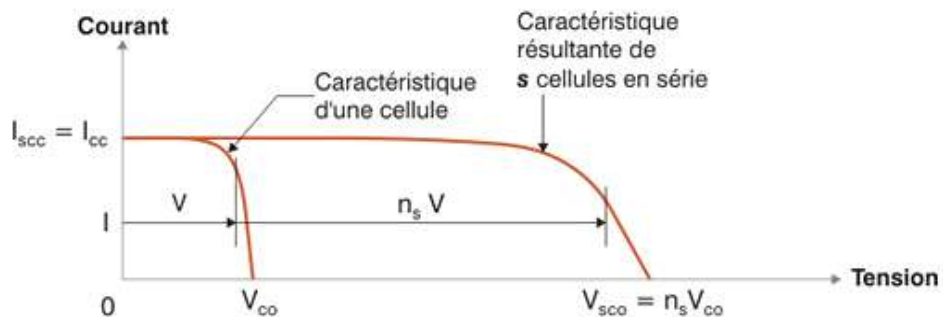


Figure.I.8 : Association des cellules en série.

$n = n_s$: Nombre de cellules

$V(V) = V_{sco}(V)$: Tension aux bornes de l'assemblage.

$V_{co}(V)$: Tension aux bornes de d'une cellule.

Dans le cas d'une association en série, les cellules délivrent le même courant mais elles peuvent fonctionner avec des tensions différentes.

I.4.6.2 – Association de cellules en parallèle :

Si on assemble en parallèle m cellules, le courant aux bornes de l'assemblage est égal à la somme des courants produits par chacune des cellules.

$$I = mI_{cc} \quad (\text{I.2})$$

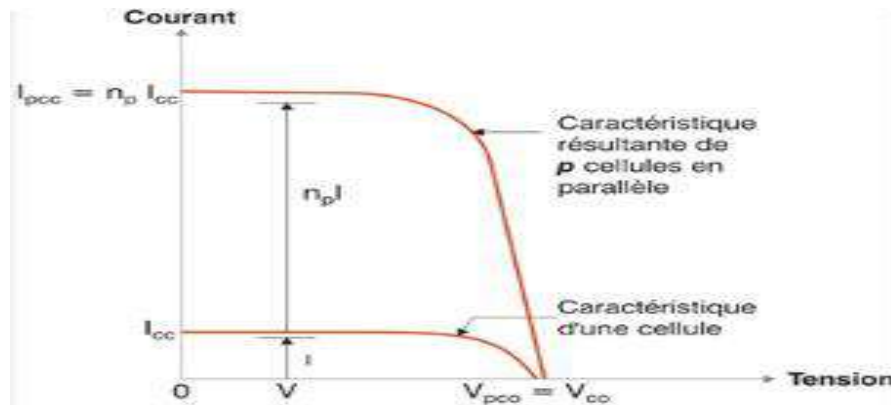


Figure.I.9 : Association des cellules en parallèle.

$m = np$: Nombre de cellules.

$I(A) = I_{pcc}$: Courant circulant dans l'assemblage.

$I_{cc}(A)$: Courant circulant dans chaque cellule.

Dans le cas d'une association en parallèle, les cellules délivrent la même tension mais elles peuvent fonctionner avec des courants différents. [13].

I.4.7 Systèmes photovoltaïques :

Bien qu'il y ait une diversité importante de systèmes photovoltaïques, ils peuvent néanmoins être classés en fonction de leur connexion au réseau électrique conventionnel : les systèmes autonomes et ceux connectés au réseau de distribution électrique. [14].

I.4.7.1 Systèmes autonomes :

Les systèmes autonomes sont généralement utilisés pour fournir de l'énergie à des endroits éloignés tels que les maisons, les chalets ou les champs, ainsi que pour le pompage de l'eau. Ils sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie. Les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés en fonction de l'utilisation ou non du stockage électrochimique, comme suit.

- **Systèmes autonomes avec stockage :**

La configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes implique l'utilisation de batteries pour stocker l'énergie électrique produite par les panneaux solaires pendant la journée. Ce stockage électrochimique dans les batteries est essentiel pour garantir le fonctionnement nocturne ou pendant une période de jours prédéfinie dans la conception des systèmes photovoltaïques.

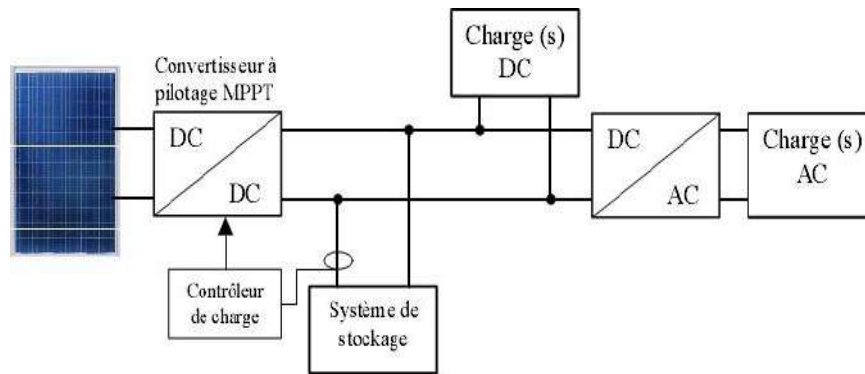


Figure.I.10 : Installation photovoltaïque autonome.[14]

- **Systèmes autonomes sans stockage :**

La configuration la plus répandue des systèmes photovoltaïques autonomes comprend des batteries chargées par le générateur photovoltaïque pendant la journée pour garantir un fonctionnement continu pendant la nuit ou sur une période définie de jours, ce qui nécessite un stockage électrochimique essentiel.

I.4.7.2 Systèmes raccordé ou réseaux :

Dans ce type de système, l'absence de stockage d'électricité le rend idéal pour les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité. Cependant, il est crucial de dimensionner correctement le générateur photovoltaïque pour fournir suffisamment de puissance, même sous un faible éclaircissement, afin d'alimenter l'appareil [14].

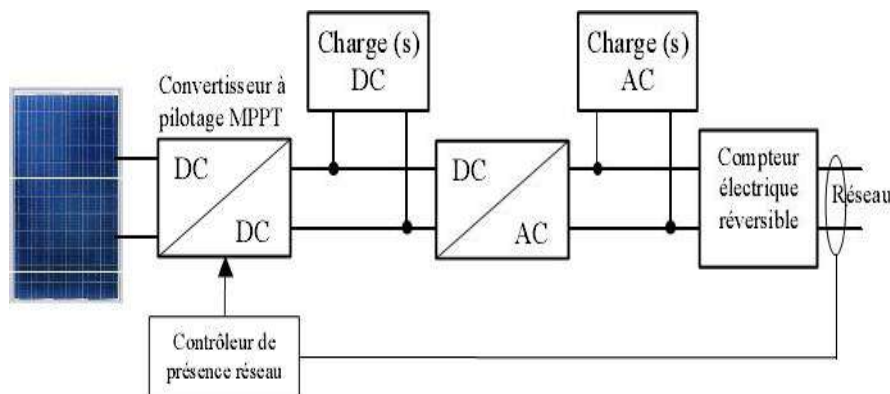


Figure.I.11 :

Installation photovoltaïque couplée au réseau.[14]

I.4.8 Avantages et inconvénients des générateurs photovoltaïques :

I.4.8.1 Avantage :

- La génération de cette électricité renouvelable est écologique et non toxique.
- Les installations photovoltaïques bénéficient d'une fiabilité exceptionnelle.

- L'énergie solaire photovoltaïque est particulièrement attrayante pour les zones urbaines en raison de sa taille relativement réduite et de son fonctionnement silencieux.
- Étant donné la disponibilité de la lumière du soleil partout, l'énergie solaire photovoltaïque peut être exploitée aussi bien dans des villages isolés que dans les centres des grandes villes. [15]

I.4.8.2 Inconvénients :

- L'énergie produite, dépendante de l'ensoleillement, reste fluctuante.
- Les investissements dans les panneaux photovoltaïques et les capteurs sont onéreux.
- L'utilisation de batteries pour le stockage de l'énergie entraîne une augmentation des coûts d'installation.
- Le rendement réel de conversion des modules est peu élevé [15].

I.5. Energie éolienne :

I.5.1 Définition :

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisées pour produire l'électricité.

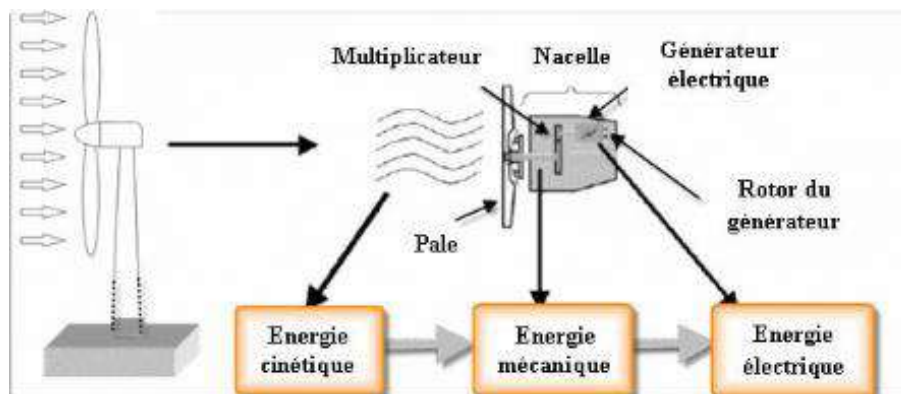


Figure.I.12 : Conversion de l'énergie cinétique du vent [16]

I.5.2 Constitution d'une éolienne :

L'énergie éolienne provient de la force du vent agissant sur les pales d'une éolienne, qui sont ensuite connectées à un générateur chargé de convertir cette énergie mécanique en électricité.

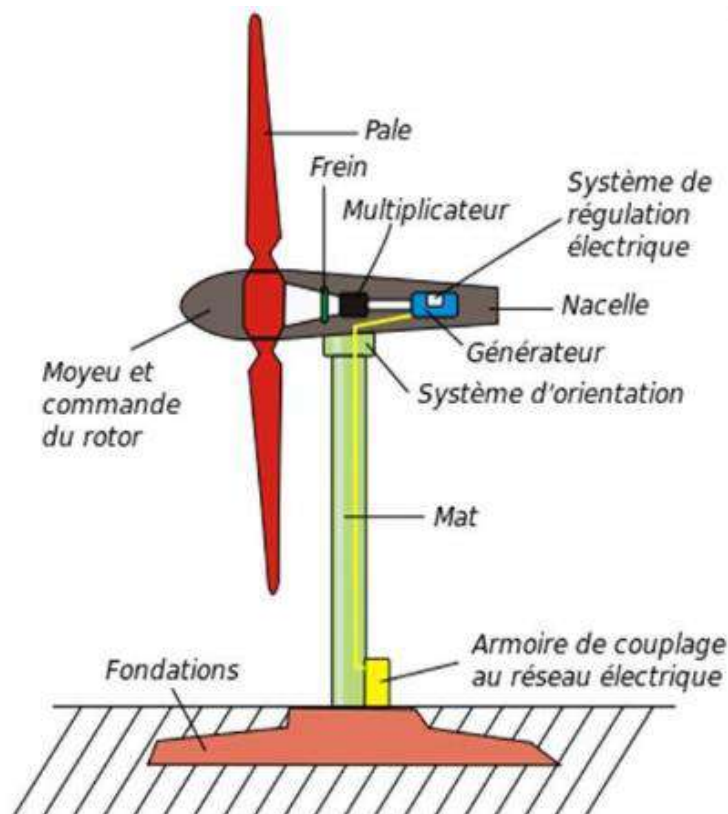


Figure.I.13 : Eléments constituant une éolienne [17]

I.5.3 Les différents types générateurs éoliens:

les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et à axe Horizontal [18]:

a) Les éoliennes à axe horizontal :

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de :

- Les éoliennes à axe horizontal ont un rendement supérieur à celui des autres machines éoliennes. Cela est dû à leur conception avec un axe de rotation horizontal, aligné avec la direction du vent.
- Les hélices comportent généralement deux ou trois pales, ou des hélices multiples pour le pompage de l'eau.
- La conception des éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) est simple.
- Elles possèdent un taux de rendement élevé.

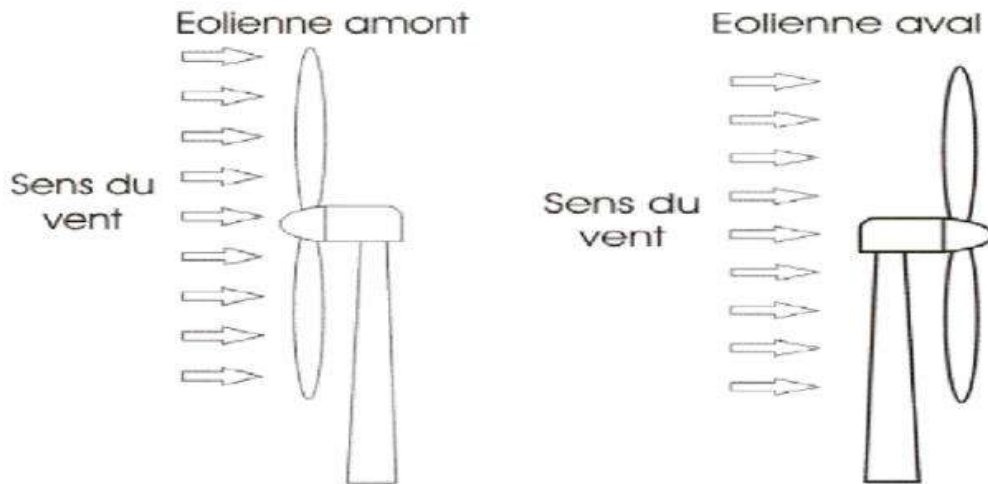


Figure. I.14 : Configuration à axe horizontal [18].

b) Les éoliennes à axe vertical :

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent

L'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles.

Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables : Savonius et Darrieux.

- ❖ L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi-cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à au bes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages :
 - Elle est simple à fabriquer
 - Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s
- ❖ L'éolienne inventée par le Français Darrieux est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs.

Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée.

Toutefois, cela devrait pouvoir être résolu si des efforts supplémentaires étaient faits dans la recherche sur ce sujet.



Éolienne de type Savonius. Éolienne de type Darrieus.

Figure. I.15: Eolienne de type Darrieus et Savonius [18].

I.5.4 Principe De Fonctionnement :

Le fonctionnement des éoliennes peut être résumé en deux étapes :

1. La turbine, également appelée rotor, extrait une partie de l'énergie cinétique du vent en utilisant des profils aérodynamiques. Cela crée une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
2. La génératrice reçoit l'énergie mécanique du rotor et la convertit en énergie électrique, qui est ensuite transmise au réseau électrique [19].

I.5.5 Eléments Constitutifs D'un Aérogénérateur (A Axe HORIZONTAL) :

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor :

Cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées.

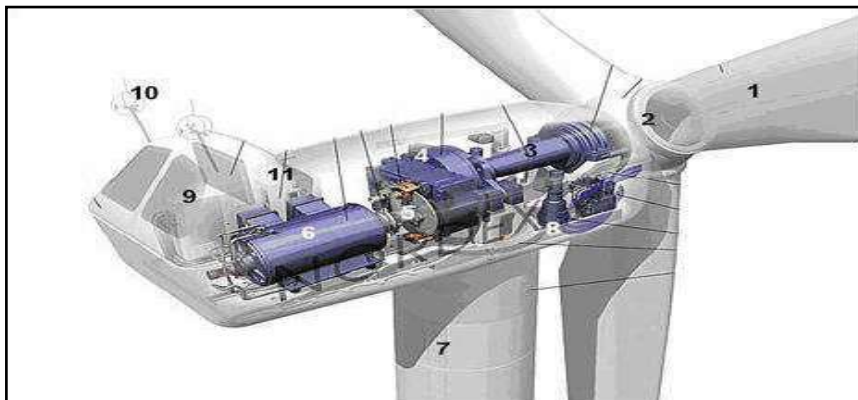


Figure I.16 : Les Composante De L'aérogénérateur.

1. **Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor.
2. **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
3. **L'arbre primaire** (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.
4. **Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
5. **L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
6. **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre Jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
7. **Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : Plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
8. **Le système d'orientation de la nacelle**: c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.
9. **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
10. **Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
11. **Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
12. Au pied du mât se trouve un transformateur

I.5.6. Avantages et inconvénients des générateurs éoliens :

I.5.6.1 Avantages :

- L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement[20].
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.
- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique[21].
- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux décroissance [22].

- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles [23].

I.5.6.2 Inconvenient :

- Le vent peut parfois souffler à des intensités irrégulières.
- Les éoliennes sont parfois bruyantes et modifient le paysage d'une région.
- La production dépend de l'intensité des vents et non de la demande en énergie [24].

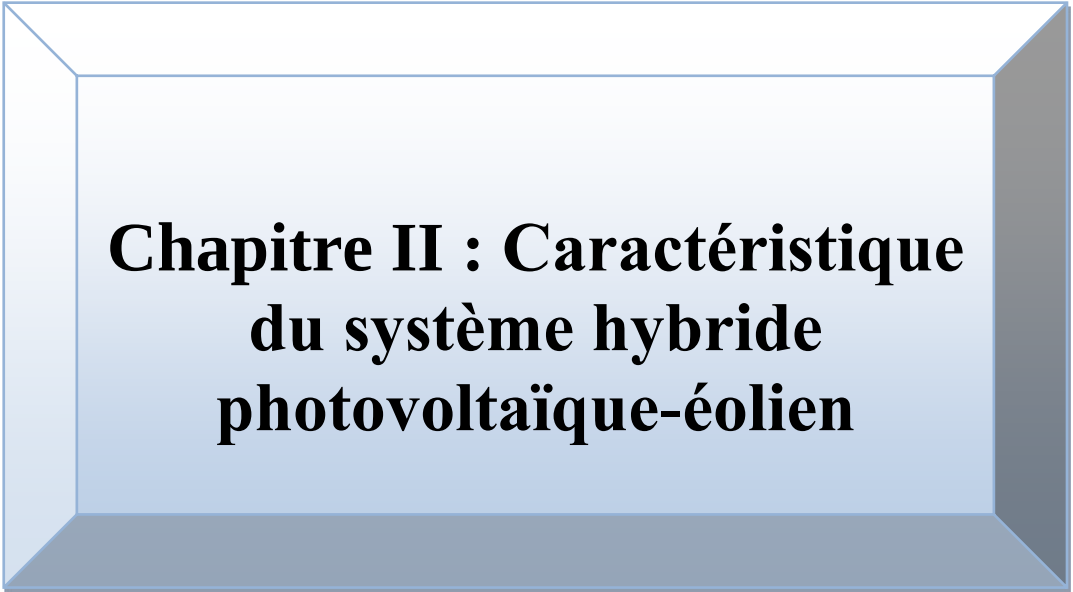
I.6.Batteries :

Un dispositif de stockage est un élément essentiel dans un système multi-sources. Sans lui, la garantie de l'autonomie du site ne peut pas être assurée. Ce dispositif sert de réservoir d'énergie lorsque les sources produisent en excédent et la restitue lorsque les sources ne produisent pas assez, mais au-delà de cet aspect de réservoir d'énergie, un dispositif de stockage est essentiel pour l'équilibre des puissances dans un réseau. Il existe plusieurs technologies et types de stockage qui peuvent être utilisés dans un système hybride autonome, nous citons : les batteries électrochimiques, les super condensateurs, les piles à combustible.

I.7. conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons évoqué le développement des énergies renouvelables en Algérie et l'ambition qu'elle recherche dans ce domaine, compte tenu de leur importance à notre époque, d'autant plus qu'il s'agit d'énergies alternatives et renouvelables

Nous avons ensuite abordé la notion d'énergie solaire et d'énergie éolienne, le principe de fonctionnement de chacune, ainsi que les avantages et inconvénients qui en découlent.



Chapitre II : Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

II.1.Introduction :

Pour parvenir à un développement durable, le recours à des systèmes énergétiques basés sur des sources d'énergie renouvelables est devenu essentiel.

En revanche, les nouvelles solutions technologiques proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes par rapport aux solutions mono sources existantes, nécessitent un dimensionnement précis au préalable basé sur une connaissance approfondie des ressources énergétiques renouvelables du site d'installation en amont, et une gestion stricte de l'énergie électrique produite en aval, une connaissance qui ne peut être assurée que par une expérience en ingénierie des systèmes électriques. Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes caractéristiques du système hybride photovoltaïque-éolien, en ce basant sur les différentes définitions des constitutifs de ce système.

II.2. système d'énergie hybride :

II.2.1. Définition :

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit (**Fig.II.1**). [25]



Figure.II.1: Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

A : Panneau Photovoltaïque a : Parafoudre

B : Éolienne m : Moniteur de batterie

R : Chargeur de batterie S : Sectionneur

1 : Disjoncteur de protection 2 : Régulateur charge/décharge ;

3 : Disjoncteur CC 4 : Batterie ;

5 : Onduleur ; 6 : Coffret de branchement électrique

7 : Charge électrique.

a : Para foudre :

- Le parafoudre ou « supprimeur de surtension » va protéger le système contre les surtensions d'origine atmosphérique comme la foudre, en dérivant le courant de surtension vers la mise à la terre. Il est habituellement placé après le panneau, dans la boîte de jonction, pour dissiper le surplus d'énergie et écrêter les hausses de tension. Dans le cas hybride il sera aussi placé dans la boîte de jonction associée à l'éolienne (Fig.2).

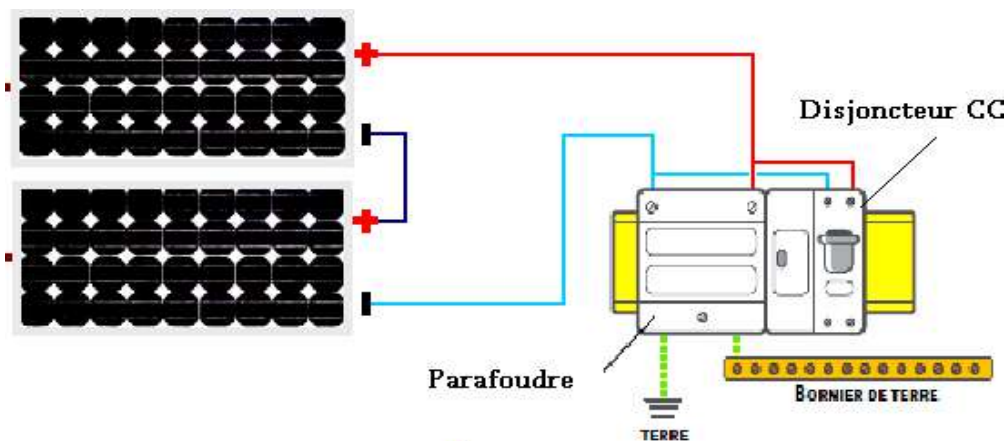


Figure.II.2 : Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride

m : Moniteur de batterie :

- Il affiche les valeurs de tension, de courant, et de capacité en ampère-heure de la batterie afin de vérifier et de contrôler son état.

R : Chargeur de batterie :

- Le rôle de cet appareil est de contrôler et réguler la charge de la batterie.

S : Sectionneur :

- C'est un interrupteur d'arrêt qui est placé après l'éolienne. Il a pour rôle d'isoler tout le système de l'éolienne, de façon à permettre l'entretien ou la réparation des équipements électriques. Il va assurer aussi la protection contre les surintensités dues à des défauts électriques.

1) Disjoncteur de protection :

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

- C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre le panneau photovoltaïque et le régulateur pour isoler et protéger le système lors de la maintenance du panneau ou quand survient un défaut électrique. Il doit pouvoir supporter le courant de court-circuit et la tension ouverte du panneau ou du champ PV.

2) Régulateur charge/décharge :

- Il est installé entre la batterie et le panneau Photovoltaïque, Il sert à contrôler le courant qui rentre ou qui sort de la batterie afin d'éviter qu'elle ne soit endommagée par un excès de charge ou de décharge.

3) Disjoncteur CC :

- C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre la batterie et l'onduleur pour isoler et protéger le circuit batterie onduleur contre des défauts électriques. Il est indispensable lorsque l'onduleur n'est pas lui-même équipé d'une protection à basse tension. On peut cependant utiliser à la place du disjoncteur, un fusible branché sur le conducteur non mis à la terre. Tous ces dispositifs doivent être conformes aux normes et aux codes en vigueur pour les installations CC et CA.

4) Batterie :

- La batterie doit être installée si possible dans une enceinte isolée ou un bac en plastique avec couvercle et entreposée dans un endroit bien ventilé, car elle est sensible aux variations de températures.

5) Onduleur :

- L'onduleur convertit le courant continu sortant de la batterie en courant alternatif nécessaire au fonctionnement de la majorité des appareils électriques domestiques. Faire attention dans le choix de l'onduleur car la forme d'onde qu'il reproduit peut ne pas convenir à certains appareils ; aussi l'onduleur doit pouvoir absorber le pic de puissance lors de leur allumage. Privilégier un onduleur à rendement élevé et installer le aussi près que possible de la batterie pour diminuer les pertes électriques dans les fils conducteurs.

6) Coffret de branchement électrique :

- Il contient le disjoncteur principal, les fusibles ou les disjoncteurs secondaires indispensables à la protection des appareils électriques de la maison. Les différents circuits électriques de la maison y sont rattachés pour être protégés (ex : le circuit de l'éclairage, celui des petits électroménagers et celui des gros électroménagers).

7) Charge électrique :

- La charge électrique est la quantité d'énergie que consomme l'ensemble des appareils présents dans la maison (ex : éclairage, électroménager, électronique, etc.). Il est conseillé choisir des appareils « éco énergie » et de changer sa façon de consommer l'électricité. Par exemple, éteindre les appareils que l'on n'utilise pas. Bien souvent les dysfonctionnements rencontrés sont dû à un choix inadapté d'appareils électriques à consommation trop élevée.

II.2.2. Etat de l'art des systèmes électriques hybrides :

Tout à fait, un système d'énergie hybride vise à maximiser l'utilisation des sources d'énergie renouvelable pour répondre à la demande énergétique. En combinant différentes sources d'énergie renouvelable, on peut optimiser à la fois l'efficacité technique et économique des systèmes de production d'électricité. Cela permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles, de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et de favoriser la durabilité à long terme.

Diverses architectures peuvent être utilisées pour connecter toutes ces composantes, comme illustré dans la figure (I.14). En général, les systèmes hybrides se composent de deux bus principaux : un bus CC pour les sources d'alimentation, les charges CC et les batteries, et un bus CA pour les générateurs CA et le système de distribution [26].

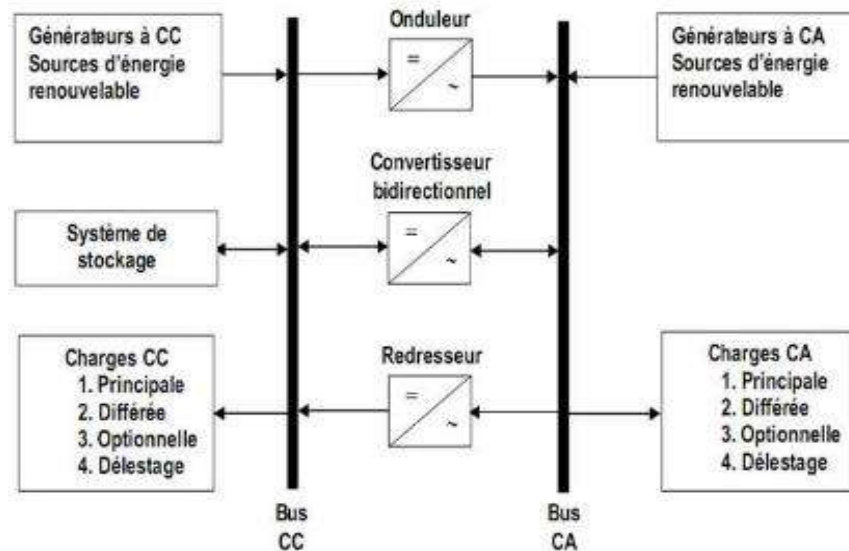


Figure.II.3 : Architecture des systèmes hybrides d'énergie. [26]

II.2.3 Configuration du bus dans les systèmes hybrides :

Les générateurs électriques dans un système hybride peuvent être connectés de diverses manières, qu'ils soient basés sur des sources d'énergie renouvelable pure, non renouvelable pure ou mixte. Deux configurations principales émergent parmi les systèmes d'énergie hybride utilisant des sources d'énergie renouvelable, avec ou sans stockage [26].

II.2.3.1 Architecture à bus continu CC :

Dans le système hybride illustré dans la figure (II.4), la puissance fournie par chaque source est concentrée sur un bus continu. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie en courant alternatif (CA) acheminent d'abord leur puissance vers un redresseur pour la convertir ensuite en courant continu (CC). Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alors alimenter les charges alternatives à partir du bus continu

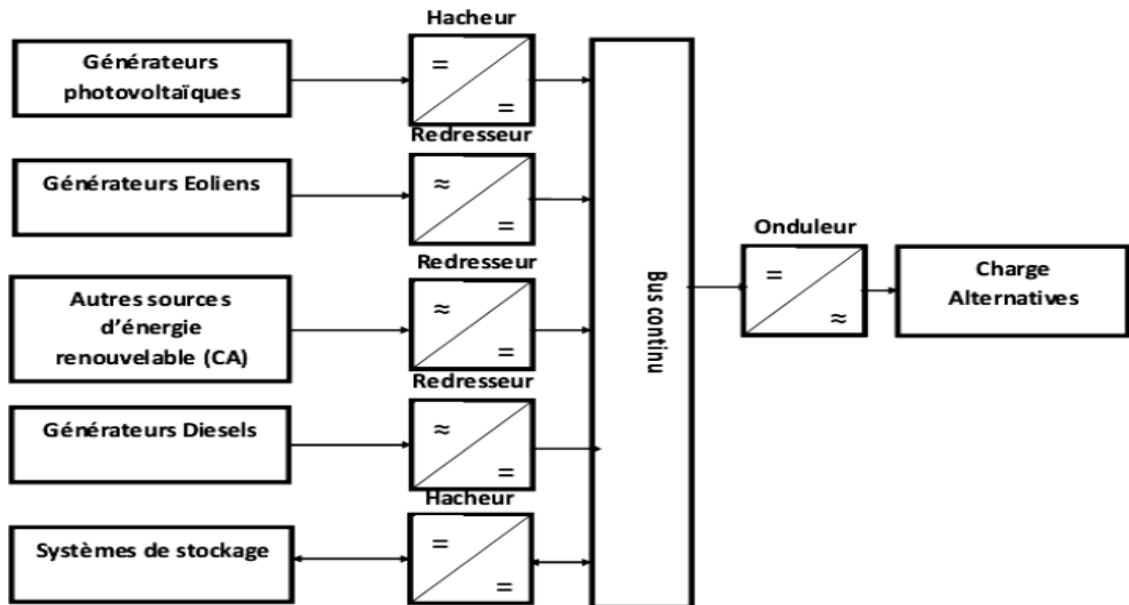


Figure.II.4 :configuration du système hybride à bus continu. [26]

II.2.3.2 Architecture à bus alternatif AC :

Dans cette topologie, tous les composants du système hybride sont connectés à la charge alternative, comme illustré sur la figure (II.5). Cette configuration offre des performances supérieures à celle précédente, car chaque convertisseur peut être synchronisé avec son générateur pour alimenter la charge de manière indépendante et simultanée avec les autres convertisseurs. Cela offre une flexibilité permettant aux sources d'énergie de répondre à la demande de la charge. Cependant, la mise en œuvre de ce système est relativement complexe en raison du fonctionnement en parallèle et de la synchronisation des tensions de sortie avec les tensions de charge [26].

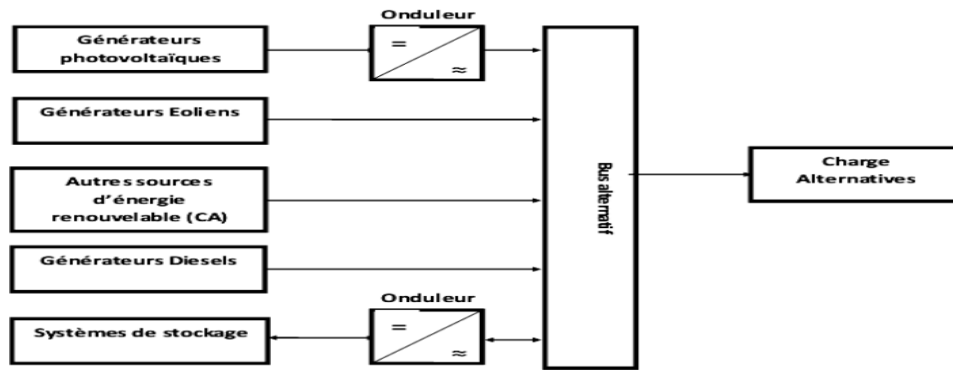


Figure.II.5 :configuration du système hybride à bus alternatif.[26]

II.2.4.Gamme de la puissance :

Les systèmes énergétiques hybrides (SEH) peuvent fournir une gamme de puissances allant de quelques watts à plusieurs mégawatts. Les SEH utilisés pour des applications de faible puissance (< 5 kW) sont souvent destinés à alimenter de petites maisons. En revanche, les systèmes plus grands (puissance > 500 kW) sont conçus pour être connectés à de vastes réseaux. Ainsi, le champ d'application des SEH demeure très étendu.

Cependant, il est possible d'effectuer une classification en fonction de la gamme de puissance, comme indiqué dans le tableau (II.1).

Gamme de puissance	Utilisation
Faible : inférieur à 5KW	Système autonome : petit maison, pompage d'eau
Moyenne : entre 10 à 250 KW	Alimentation d'un village isolé, des zones rurales...
Grande : supérieure à 500 KW	Grands réseaux isolés.

Tableau II.1 :Classification des SEH par gamme de puissance [27].

II.2.5 Présentation du système hybride photovoltaïque-éolien :

Dans notre cas précis, on s'intéresse aux systèmes de petites puissances qui regroupent deux parties à savoir l'éolienne et les panneaux solaires. Ces deux sources de production de l'énergie passent par un stockage électrochimique (Voir Figure I.17), et produisent du courant continu facilement convertible en courant alternatif, grâce à l'intégration d'un onduleur autonome dans le circuit [28]. En couplant ces systèmes et en les associant à un dispositif de stockage de l'énergie, nous aurons alors les avantages suivants :

- Exploitation du système sans interruption.
- Possibilité de préserver le surplus d'énergie produite par ce système.
- Sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques [29].

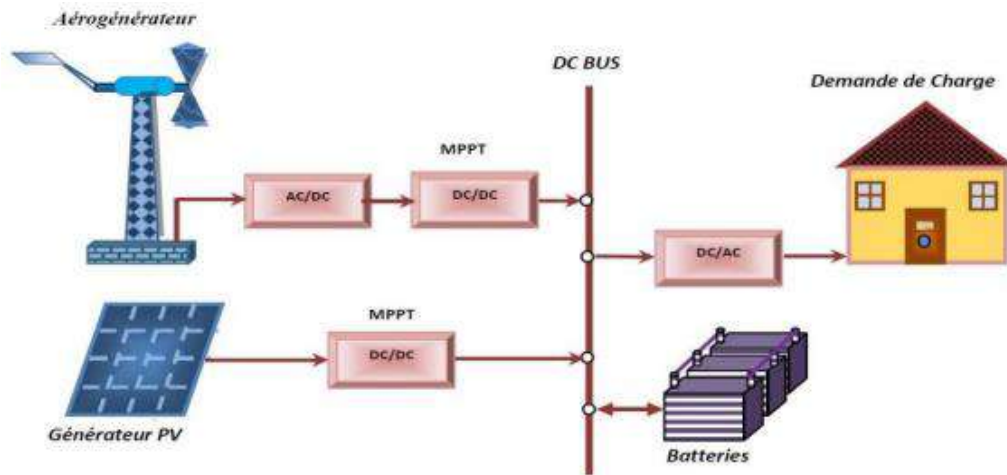


Figure.II.6 : Schéma synoptique du système hybride étudié. [29]

II.2.6.Principaux composantes du Système d'énergie hybride photovoltaïque –éolien :

Les systèmes hybrides photovoltaïque-éolien comprennent généralement :

- Un system generator.
- Un système de régulation.
- Un système de stockage.
- Des équipements de puissance.
- Une charge.

Le système générateur est composé par les modules photovoltaïques et les aérogénérateurs. Il est indispensable que les deux fonctionnent à la même tension nominale 12 ou 24 V et en courant continu.

La régulation doit tenir compte du fait qu'il s'agit de deux courants de nature différents :

- Le photovoltaïque assez constant et d'un seuil bas [30],
- L'éolien, très variable.

Le système de régulation se chargera donc de faire fonctionner le système générateur en un point optimal pour la charge des batteries.

II.2.7.Descriptions des composantes du système hybride photovoltaïque-éolien :

II.2.7.1 Générateurs photovoltaïques [25] :

Un générateur photovoltaïque est constitué à la base par des cellules photovoltaïques. Elles produisent de l'électricité du moment où elles sont exposées au rayonnement solaire. Elles ne polluent pas, n'ont aucune pièce mobile, ne nécessitent pratiquement aucun entretien et

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

ne produisent aucun bruit. La cellule photovoltaïque est donc un moyen sûr et écologique de produire de l'énergie.

II.2.7.1.1 Modèle d'une cellule solaire photovoltaïque :

Dans la littérature, une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_{sh} . (Fig.7)

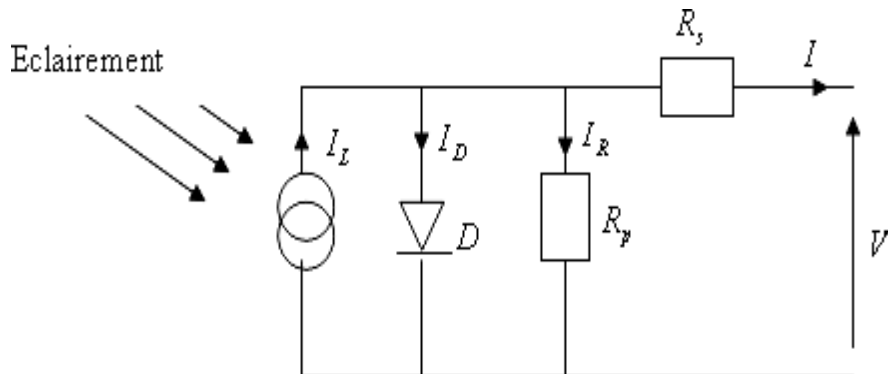


Figure.II.7 : Circuit équivalent de la cellule solaire

La cellule comporte une résistance série R_s et une résistance en dérivation ou Shunt R_p . Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la photopile :

- La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt est une conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule ; elle est réduite à la suite de pénétration des impuretés métalliques dans la jonction (surtout si elle est profonde), lors du dépôt de la grille métallique ou des prises de contacts sur la face diffusée de la cellule.

II.2.7.1.2 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque :

Le courant délivré sur une charge par une cellule PV éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{PH}(V) - I_{OBS}(V) \quad (II.1)$$

Avec :

I_{PH} : Densité de courante photogénèse

I_{OBS} : Densité de courant d'obscurité.

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

Dans une cellule photovoltaïque, deux courants s'opposent : le courant photogénèse et un courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant. La caractéristique d'une cellule sous obscurité est identique à la cellule d'une cellule sous éclaircissement (Fig.8).

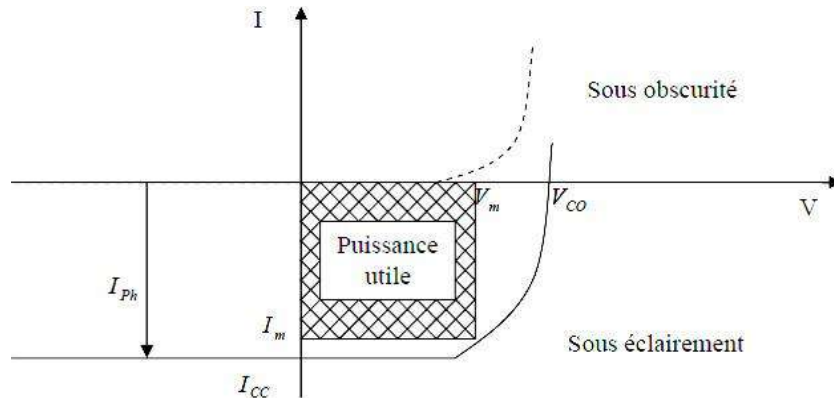


Figure.II.8 : Caractéristique $sI=f(v)$ sous obscurité et sous obscurité éclaircissement d'une cellule photovoltaïque

II.2.7.1.3 Paramètres externes d'une cellule photovoltaïque :

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de L'équation caractéristique. Les plus usuels sont les suivantes :

- **Courant de court-circuit ICC :** C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule est nulle. Dans le cas idéal (R_s est nulle et R_{sh} infinie), Devant I_{ph} L'expression approchée du courant de court-circuit est alors :

$$I_{CC} \cong \frac{I_{PH}}{\left(1 + \frac{R_S}{R_{SH}}\right)} \quad (\text{II.2})$$

- **Tension en circuit ouvert VCO :** C'est la tension pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque). Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieur à :

$$V_{CO} = V_T \ln\left(\frac{I_{PH}}{I_0} + 1\right) \quad (\text{II.3})$$

- **Puissance optimale :** La puissance utile maximale s'obtient en optimisant le produit courant tension, soit :

$$\frac{I_M}{V_M} = -\left(\frac{dI}{dV}\right) M \quad (\text{II.4})$$

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

La puissance des modules photovoltaïques s'exprime en Watts crête. Cette dernière représente la puissance que peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale), sous un éclairement de $1000W/m^2$ et à une température de 25° .

➤ Facteur de forme FF :

Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_m (Fig.9), et la puissance formée par le rectangle $I_{CC}V_{CO}$ (puissance optimale) :

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{opt}} = \frac{I_M \cdot V_M}{I_{CC} \cdot V_{CO}} \quad (II.5)$$

Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales.

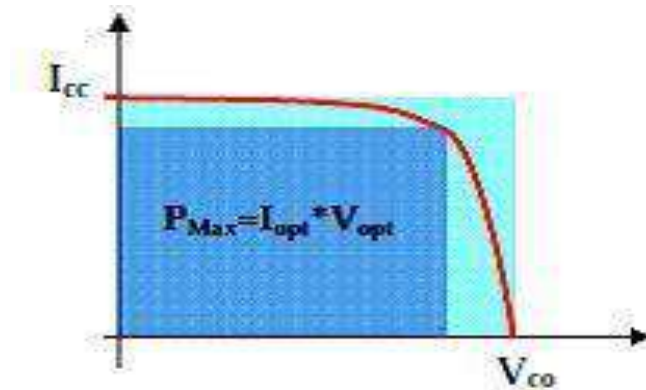


Figure.II.9 :Notion de facteur de forme FF pour une cellule photovoltaïque

➤ Rendement énergétique maximum η_m :

Le rendement énergétique maximum η_m des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport de la puissance maximale (P_m) fournie par la cellule sur la puissance du rayonnement solaire incident (P_i) :

$$\eta_m = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_M \cdot V_M}{S \phi} = \frac{P_{max}}{P_{opt}} = \frac{FF \cdot I_{CC} \cdot V_{CO}}{P_i} \quad (II.6)$$

S : Surface de la cellule solaire (m^2) ;

ϕ : Flux incident (W/m^2) ;

I_m : Coordonnées de point de fonctionnement.

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

II.2.7.2.Générateur éolien [25] :

Un système éolien ou un aérogénérateur ou encore une éolienne peut être défini comme étant : un système composé d'éléments aptes à transformer une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique puis en énergie électrique.

La plupart des aérogénérateurs commerciaux, surtout les grands, sont à axe horizontal. La part de marché représentée par les systèmes à axe vertical est minuscule. Les aérogénérateurs de grande taille sont parfois construits isolément ou rassemblés en groupes (parcs d'éoliennes) comportant dix éléments ou plus, parfois même des centaines.

Les différents éléments d'une éolienne sont conçus d'une manière à maximiser la conversion énergétique, pour cela, une bonne adéquation entre les caractéristiques couple/vitesse de la turbine et de la génératrice électrique est nécessaire.

II.2.7.2.1 Types d'aérogénérateur dans les systèmes éoliens :

La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique peut être identifiée selon le générateur électrique utilisé

❖ Générateur asynchrone :

Cette machine à induction asynchrone transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. Pour générer de l'énergie électrique, elle doit être entraînée au-delà de la vitesse de synchronisme, qui varie en fonction de la charge. Dans le cas d'une génératrice à cage d'écureuil, son rotor peut être soit à cage d'écureuil, soit bobiné. L'énergie nécessaire à sa magnétisation est fournie par le réseau électrique lorsqu'elle est couplée en parallèle, ou par une batterie de condensateurs lorsqu'elle est utilisée de manière isolée. Pour les petites puissances, le rotor est à cage d'écureuil, tandis que pour des puissances plus importantes, le rotor est bobiné et relié à l'extérieur via un collecteur simplifié à trois bagues, tout en étant court-circuité en fonctionnement normal. De plus, il est possible de modifier les propriétés électromécaniques du générateur en agissant sur le rotor par des connexions appelées "Machine Asynchrone Double Alimentée (MADA)".

Cependant, pour les machines asynchrones à cages, il faut néanmoins fournir la Puissance de magnétisation "puissance réactive" correspondant à une composante du courant réactif. Ce courant peut être emprunté au réseau mais peut aussi bien être obtenu de façon statique en branchant en parallèle à la machine une batterie de condensateurs. En outre, en ajustant ces condensateurs de façon précise, il est possible, dans certaines conditions, d'utiliser une génératrice asynchrone en dehors d'un réseau, en fonctionnement autonome, pour alimenter une charge isolée. Son emploi est réservé aux générateurs de puissance moyenne dont l'arbre

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

d'entraînement tourne à des vitesses fortement variables : mini centrale hydraulique, éolienne, turbine ou moteur à gaz de récupération, certains groupes électrogènes,...etc.

Asynchronous wound rotor machines, through dynamic adjustment of slip, allow them to adapt to variations in power supplied by the turbine. The mechanical part can generally withstand sudden variations in wind speed, but such constraints become unacceptable for high powers. Speed variation becomes increasingly justified as wind turbine power increases.

Les machines asynchrones à rotor bobiné permettent d'adapter dynamiquement le glissement pour s'ajuster aux variations de puissance fournies par la turbine. Cependant, les fortes variations de régime de vent peuvent rendre ces contraintes inacceptables pour les puissances élevées. Ainsi, la variation de vitesse devient de plus en plus justifiée à mesure que la puissance de l'éolienne augmente.

❖ Générateur synchrone :

La génératrice synchrone, ou alternateur, ne nécessite pas de magnétisation extérieure pour créer son champ magnétique. Ce champ est généré par des bobines ou des aimants permanents placés sur le rotor, ce qui induit un courant dans le stator bobiné. Cette génératrice fonctionne de manière autonome par rapport au réseau, ce qui signifie qu'elle fournit une fréquence variable en fonction de la vitesse de rotation, donc du vent. Pour la connecter au réseau, qui nécessite une fréquence fixe, on utilise un convertisseur comprenant un étage redresseur, un bus continu et un onduleur. Cela permet de reconstruire une onde sinusoïdale parfaite, facilitant ainsi la gestion de la qualité de l'énergie produite.

La régulation de puissance est en partie assurée par le convertisseur. Cela permet un fonctionnement à vitesse variable, donc à rapport d'avance constant et rendement optimal. De plus, cela permet de limiter les efforts dynamiques en autorisant le rotor à accélérer en cas de forte rafale, ce qui permet de stocker une partie de l'énergie cinétique du vent dans l'inertie du rotor. Cependant, en raison de sa complexité de construction et de son coût plus élevé (en raison notamment de l'utilisation d'aimants permanents et du convertisseur), la génératrice synchrone est relativement peu utilisée.

❖ Génératrice électrique à courant continu :

La génératrice à courant continu, dotée d'une excitation séparée, est un type de machine rotative qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique sous forme de tension et de courant continu. Elle est constituée de deux circuits bobinés, comme illustré dans la figure 9.

1. Le premier circuit, situé sur le stator, est un circuit inducteur qui génère un champ magnétique de direction fixe sous les pôles de la machine. Il est également connu sous le nom de "circuit de champ" ou de "circuit d'excitation".

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

2. Le deuxième circuit, situé sur l'armature du rotor, est un circuit induit également appelé circuit d'armature. Il génère des forces électro motrices induites (F.E.M).

La force électromotrice (F.E.M) peut être définie par la relation suivante :

$$E = \frac{P}{a} \cdot N \cdot n \cdot \phi \quad (\text{II.7})$$

E : Force électromotrice F.E.M (Volt) .

P: Nombre de paires de pôles.

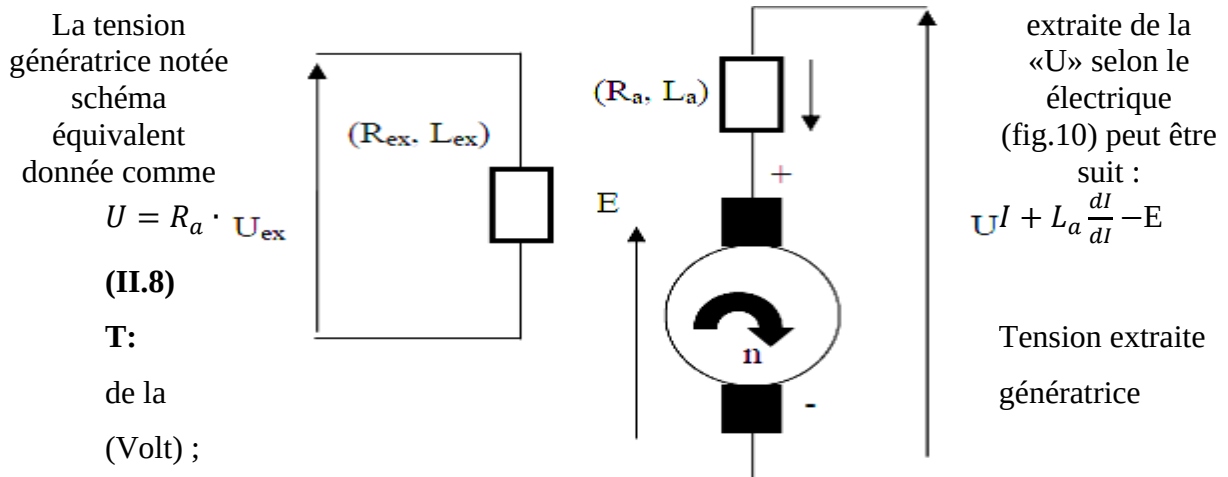
a: Nombre de paires de voies en parallèles.

n: Vitesse (tr/s).

N: Nombre total de conducteurs actifs.

ϕ : Le flux par pôle en Wb

Figure.II.10 :Schémas équivalent électrique d'une génératrice à courant continu à excitation séparée.



R_a : Résistance de l'induit (Ω) ;

L_a : Inductance de l'induit (Henry) ;

I: Courant extrait de la génératrice (A) ;

E: Force électromotrice (Volt).

La puissance électromagnétique P_{em} donnée par :

$$P_{em} = E \cdot I \quad (\text{II.9})$$

Avec :

P_{em} : Puissance électromagnétique (Watt).

Le couple électromagnétique **C_{em}** de la génératrice s'exprime par :

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} \quad (II.10)$$

Avec :

Ω : Vitesse angulaire (rad/s).

La puissance électrique générée s'écrit :

$$P = U \cdot I \quad (II.11)$$

❖ Générateur à structures spéciales :

Des machines à structures spéciales avec un principe de fonctionnement spécial aussi. Le but de leurs fabrications est la réponse au besoin actuelle, mentionnant par exemple : la machine à réluctance variable, la Machine Asynchrone Double Stator, ...etc.

II.2.7.3. Systèmes de stockage :

Le stockage d'énergies est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides à fin de Pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à des grands réseaux de courant alternatif isolés. Dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme [31].

Le stockage d'énergies est généralement réalisé grâce aux batteries. Les batteries sont, habitude, du type plomb – acide. Les batteries nickel – cadmium sont rarement utilisées. Il y a d'autres formes de stockage, mais peu utilisées, comme le pompage de l'eau, les volants d'inertie et le stockage d'hydrogène.

Dans le cas de stockage par pompage de l'eau, l'énergie produite sert à remplir un réservoir de stockage dont l'eau sera turbinée pour restituer l'énergie [32].

Le principe du volant d'inertie est simple. Il s'agit d'emmagasiner l'énergie en mettant en rotation une masse importante [33]. L'énergie cinétique obtenue peut être restituée à la demande sous forme d'énergies électrique, en utilisant une machine électrique en régime générateur.

L'hydrogène alimente les piles à combustible. Il possède un grand pouvoir énergétique gravimétrique (120 MJ/kg) en comparaison au pétrole (45 MJ/kg), au méthanol (20 MJ/kg) et au gaz naturel (50 MJ/kg). Cependant, il est aussi le gaz le plus léger. Ceci pose un véritable problème de stockage. La densité énergétique volumétrique de l'hydrogène n'est intéressante qu'à l'état liquide ou comprimé (700 bars). Il existe de multiples modes de stockage de l'hydrogène : comprimé, liquéfié, hydrures métalliques, charbon actif, nano fibres et nanotubes en carbone etc. Si les deux premiers modes de stockage sont actuellement les plus utilisés, ils sont loin d'être satisfaisants.

II.2.7.4. Convertisseurs :

Chapitre II Caractéristique du système hybride photovoltaïque-éolien

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le CC en CA et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement. Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsque ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais sont aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil.

II.2.7.5 Charges :

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eaux etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont, les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système.

II.2.8. Avantages et inconvénients d'un système hybride :

II.2.8.1 Avantage :

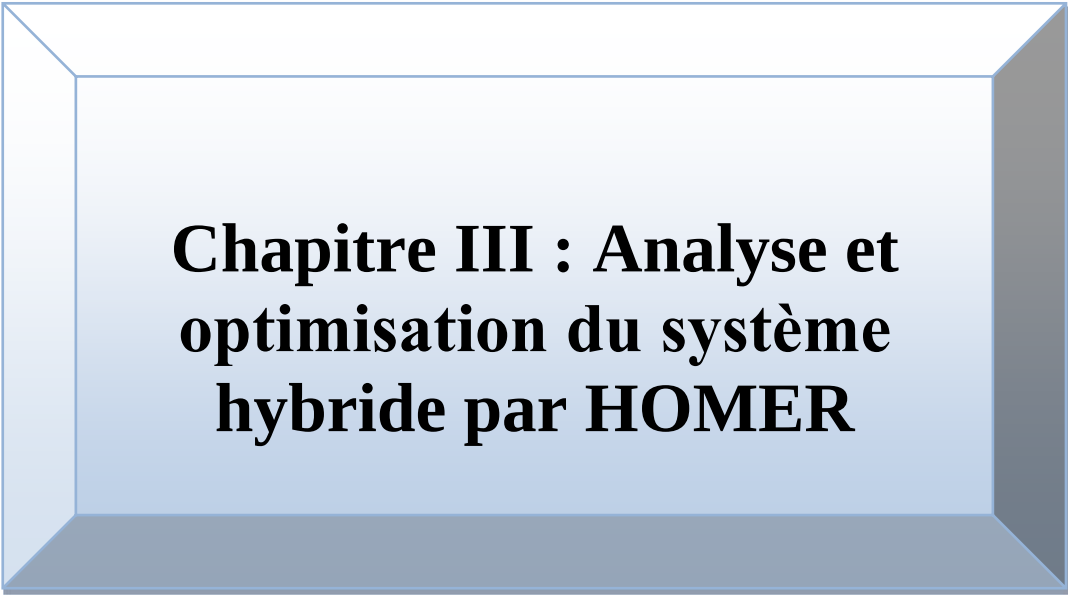
- Flexibilité, extensibilité et capacité à répondre à des charges évolutives.
- Facilité d'exploitation, réduction des travaux de maintenance et de révision.
- Indépendance vis-à-vis d'une seule source d'énergie.

II.2.8.2 Inconvénients:

- Coût de capital élevé comparé aux générateurs diesel.
- Plus complexe que les systèmes électriques isolés, nécessite le stockage de batterie et le conditionnement de l'électricité.
- Pas encore entièrement en production commerciale peu de fournisseurs.

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté du concept du système hybride, décrit ses composants, son mécanisme de fonctionnement et toutes les informations associées afin de réaliser une simulation à l'aide de l'application Homer pro dans le chapitre suivant.



Chapitre III : Analyse et optimisation du système hybride par HOMER

III.1 Introduction :

Le système hybride se compose de différents systèmes de génération et systèmes de stockage, de sorte que la méthode de calcul manuel est compliquée pour choisir l'assortiment optimal parmi les nombreuses combinaisons disponibles qui nous permettent de modéliser et de concevoir un système hybride. La réalisation de l'étude à l'aide d'un logiciel spécialisé tel que le programme HOMER Pro donne des résultats proches de la réalité. La conception optimale du système est proposée.

L'objectif d'un système d'alimentation (PV/ éolienne/batteries) est de produire autant d'électricité que possible à partir des sources d'énergie renouvelables pour répondre à la demande de charge.

Dans ce chapitre, on présente les résultats de simulation obtenus par la méthode avec les interprétations et les discussions.

III.2 Evaluation de la consommation :

Sur la base des factures d'électricité de l'année dernière (2023), le tableau suivant a été

Obtenu :

	Consommation (kWh)	Montant (DA)
1 ère Trimestre	597,00	2829,35
2 ème Trimestre	1104,00	3072,20
3 ème Trimestre	1223,00	4803,14
4 ème Trimestre	887,00	2702,38
Total	3811,00	13407,07

Tableau.III.1 : le montant de la consommation électrique du logement et les montants payés en 2023.

Nous avons pu connaître le nombre d'appareils et de moyens électriques utilisés dans la maison et enregistrer leurs caractéristiques techniques (énergie), que nous présentons dans le tableau1.

Les appareils	Puissance total(w)	Durée de fonctionnement(h)
Fer à repasser	1200	1
Climatiseur	1760	15
Television	190	13
Machine à laver	240	2
Frigidaire	398	24
Lave-vaisselle	1200	2
Pompe	250	8
Four électrique	1200	1
Les lampes	459	13
Computer	60	3
Congélateur	300	24
Chaudière	340	10
Total	7597	

Tableau.III.2 : appareils électriques utilisés dans la maison

III.3 méthodes de dimensionnement :

Il existe plusieurs méthodes et techniques pour étudier la taille d'un système hybride. Parmi elles :

- Méthode algorithme d'optimisation des baleines (whale optimisation algorithme WOA)
- Méthode d'optimisation par swarme particule (PSO)
- Méthode d'optimisation du loup gris (GWO)

Dans cette étude, nous utiliserons le programme HOMER PRO

III.3.1. Présentation du logiciel Homer pro:

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybride Optimisation Model for Electric Renewable), est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, des systèmes photovoltaïques, des systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et autres systèmes .

HOMER est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée sur une année.

Ainsi les possible de prendre en compte la variation de paramètres comme la demande en électricité, l'apport d'énergie solaire ou d'énergie éolienne. Il est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers formatés correctement.

HOMER a été initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale. Depuis 2009, il est disponible sous la licence HOMER Energie.

Il existe plusieurs versions du programme Homer et j'utiliserai dans cette étude la version de HomerPro3.14 qui a été développée le (10 août 2020). [34]

III.3.2. domaines d'utilisations de logiciel HOMER PRO :

Il existe plusieurs méthodes et techniques pour étudier le dimensionnement d'un système hybride, et dans cette étude, j'utiliserai les méthodes de prévision et logiciel Homer Pro.

Homer Pro est un programme de simulation et d'optimisation des systèmes hybrides, et ils spécialisent selon l'étude dans les domaines suivants : Industriel, Commercial, Résidentiel Communauté.

Il a été utilisé dans de nombreuses études de systèmes hybrides, notamment industriels (comme l'irrigation) et résidentiels (comme l'électrification d'un village rural) et aussi communautaires (par exemple l'électrification d'une mosquée ou d'une école...etc.).

III.3.3. Dimensionnement par logiciel HOMER PRO :

Les étapes utilisées pour le dimensionnement et la simulation par Homer Pro:

a) Présentation du site et les ressources

La maison se situe dans la commune Nezla - wilayat -Touggourt, se situe aux latitudes 33° et $4,9^{\circ}$ N, et aux longitudes 6° et $3,3^{\circ}$ E.



Figure.III.1 :Le site de la maison

Sur l'interface du programme Homer Pro, puis nous téléchargeons les ressources directement depuis Internet en appuyant sur la touche Ressources à côté de la carte et en choisissant les sources en fonction de l'emplacement de l'étude qui a été choisie.

Après traitement, Homer Pro donne les données présentées dans la figure III.2 et le tableau III.3.

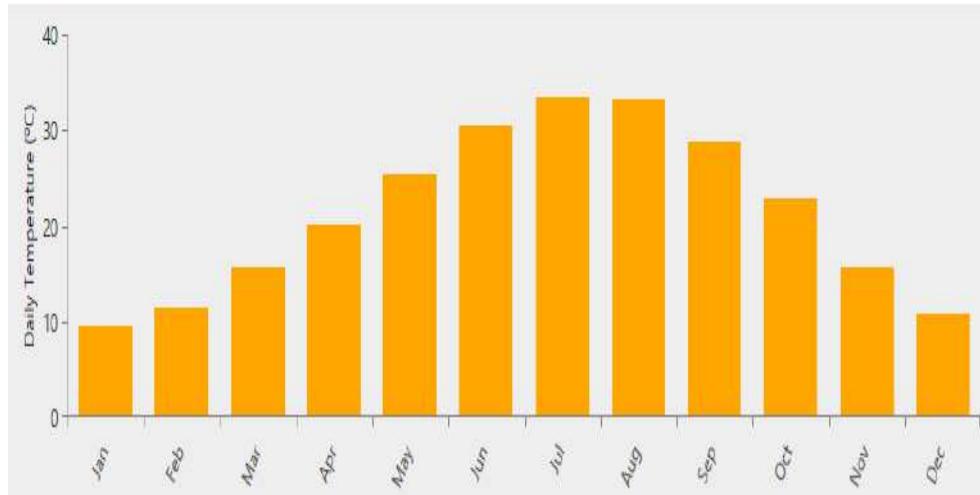


Figure III.2 : Représente la température mensuelle du site.

Commentaire :

La figure montre les changements de température au cours de l'année.

Car la température est très élevée pendant l'été, notamment pendant les mois de juillet et août, et dans le reste des serres à des degrés divers.

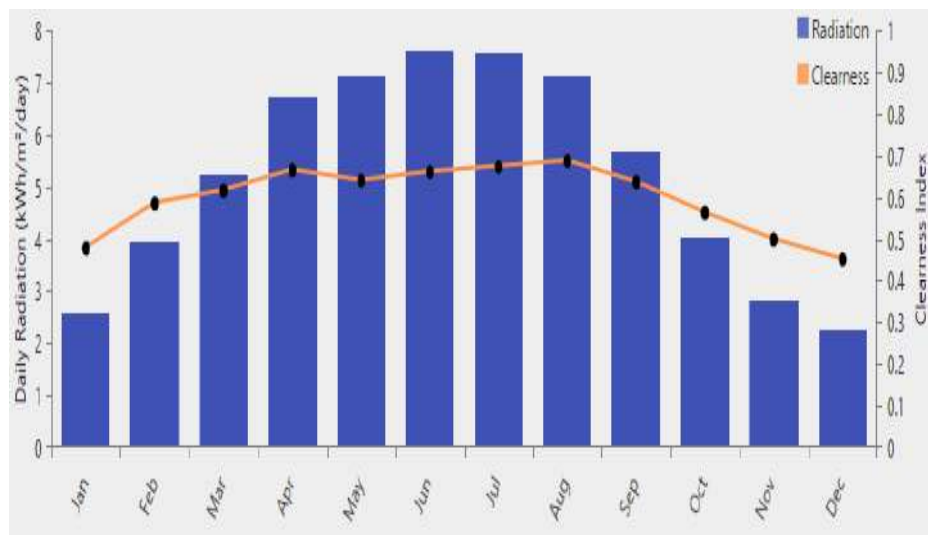


Figure III 3 : Radiation globale horizontale mensuelle à Touggourt.

Mois	Indice de clarté	Rayonnement quotidien(KWh/m ² /jour)
Jan	0,478	2,58
Feb	0,587	3,93
Mar	0,619	5,22
Apr	0,667	6,71
May	0,64	7,11
Jun	0,659	7,58
Jul	0,671	7,57
Aug	0,683	7,12
Sep	0,631	5,66
Oct	0,558	4,01
Nov	0,495	2,81
Dec	0,451	2,25

Tableau.III.3 : le rayonnement solaire horizontal mensuel moyen

Commentaire :

La figure ci-dessus montre le rayonnement mensuel moyen pour la ville de Touggourt, car pendant la période hivernale, le potentiel solaire est moindre par rapport aux saisons d'hiver et d'automne, et son pic se situe dans les mois (juin/juillet).

b) Montage du system Hybride:

Dans le programme HOMER, nous avons défini chaque composant de notre installation :

Panneaux solaires, éoliennes, onduleur, batterie de stockage et charge utile à alimenter. Le système d'alimentation proposé doit répondre à la charge de la maison.

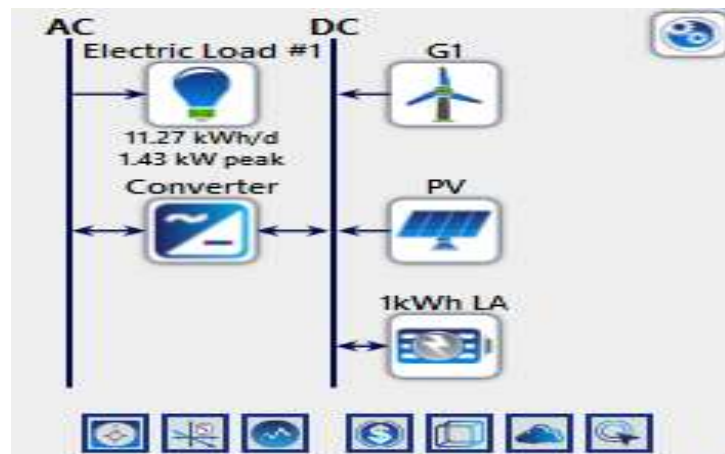


Figure III 4 : Schéma de principe du système hybride étudié

III.4. Résultats optimisés :

Grâce à la simulation par HOMER, on arrive à visualiser le comportement horaire de chaque appareil de l'installation pour toutes les configurations simulées. Sur la base de ces résultats, HOMER fournit une analyse financière et classe les différents paramètres par ordre croissant de paiements nets.

Pour chaque solution possible, HOMER fournit tous les paramètres de fonctionnement des composants installés (panneaux solaires, éoliennes, onduleurs, batteries) et propose plusieurs configurations comme suit :

Export...

Export Details...

Optimization Results

Double click on a system to see its Simulation Details.

Categorized

Overall

Architecture										Cost			System		PV		G1	
				PV (kW)	G1	1kWh LA (#)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (DA)	LCOE (DA/kWh)	Operating cost (DA/yr)	CAPEX (DA)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)
				2.97	2	30	1.51	CC	DA45,937	DA0.865	DA1,164	DA30,887	100	0	7,433	4,889	14,000	3,794
				7.36		42	1.66	CC	DA47,672	DA0.897	DA1,251	DA31,498	100	0	18,400	12,102		
					6	68	2.00	CC	DA98,849	DA1.86	DA2,773	DA63,000	100	0			42,000	11,382

Figure III.5 : Résultats d'optimisation totaux pour le système hybride

Nous choisissons le système optimal grâce à la classification d'Homer comme le montre la figure III.6.

RESULTS

Summary

Tables

Graphs

Calculation Report

Export..

Export All..

Sensitivity Cases

Compare Economics

Column Choices..

Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.

Architecture				Cost				System		PV		G1			
PV (kW)	G1	1kWh LA (#)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (DA)	LCOE (DA/kWh)	Operating cost (DA/yr)	CAPEX (DA)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CAPEX	Energy Production (kWh/yr)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)	QB/M (DA)
2.97	2	30	1.51	CC	DA45,937	DA0.865	DA1,164	DA30,887	100	0	7,433	4,889	14,000	3,794	140

Figure III.6 : Le système optimal grâce à la classification Homer Pro

Nous avons choisi la première solution car elle représente le coût le plus bas par rapport au reste des options en plus est compatible avec notre étude avec le système hybride (énergie solaire et éolienne).

Composants	Capacités
Panneauphotovoltaïque	2.97Kw
Eolienne	2 kW
Batterie de Stockage	30kWh
Convertisseur	1.51 kW

Tableau.III.4: Architecture du système PV-éolienne.

III.4.1.Puissance électrique du système :

Concernant les résultats électriques, on constate que le taux de production de cette énergie, qui a été obtenue par : (PV, éolienne, avec parc de batteries) est distribué comme suit :

Production	kWh/an	%
PV (Generic flat plate PV)	4889	56.3
Eolienne (Generic 1KW)	3794	43.7
Total	8683	100

Tableau.III.5 :Energie annuelle produite.

Consommation	kWh/an	%
Charge primaire AC	4110	100
Charge primaire DC	0	0
Charge Reportable	0	0
Total	4110	100

Tableau.III.6 :Energie annuelle consommée

Quantité	kWh/an	%
Excès d'électricité	3989	45.9
Charge électrique non satisfaite	2.79	0.0678
Pénurie de capacité	4.00	0.0973

Tableau.III.7 : la quantité d'énergie annuelle

Commentaire :

On remarque que la quantité d'énergie produite par le système hybride(18353KWh/an) divisé comme :

-PV produit (4889KWh/an) avec 56.3%

-L'éolienne a produit (3794 KWh/an) avec 43.7%

-On remarque que l'énergie électrique totale produite est (8683 KWh/an) consommée comme suit :

-La maison consomme (4110 KWh/an).

-La quantité restante qui est de (3989 KWh/an), sera stockée dans les batteries, Avec une perte d'énergie.

Dans la Figure III.7, nous donnons la puissance mensuelle moyenne produite Par chaque source

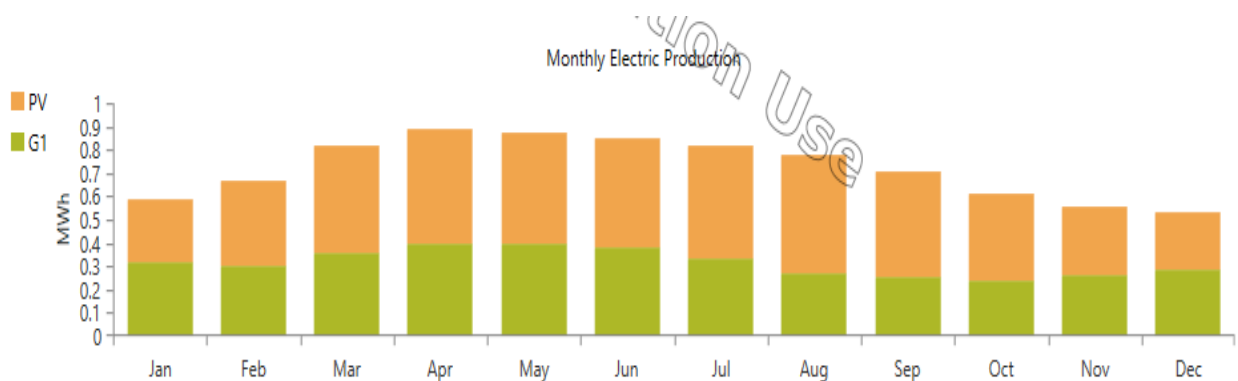


Figure.III.7 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source.

-La production d'énergie est permanente et tout au long de l'année, mais le rythme de production varie de mois en mois.

-Le taux de production idéal au printemps est de 0,9 MWH

Production moyenne du système étudié(KWh)	Consommation maison selon facture Sonelgaz(KWh)
T1= 2040	T1= 597
T2= 2620	T2= 1104
T3=2320	T3= 1223
T4=1910	T4= 887
TOTAL =8890	TOTAL = 3811

Tableau.III.8 : Résumé la production système et consommation de Sonelgaz.

Commentaire :

Le tableau ci-dessus présente la quantité d'énergie produite pour le système isolé étudié et la quantité d'énergie consommée connectée au réseau pour une même charge.

Nous avons remarqué que la quantité de production du système hybride est supérieure à l'énergie consommée, et cela s'explique ainsi :

$$E_{PT1} = 2040 > E_{CT1} = 597$$

$$E_{PT2}=2620 > E_{CT2}=1104$$

$$E_{PT3}=2320 > E_{CT3}=1223$$

$$E_{PT4}=1910 > E_{CT4}=887$$

$$E_{PTOTAL}=8890 > E_{CTOTAL}=3811$$

Après cette étude, nous pouvons dire que le système répond aux besoins de la charge, et c'est parce que l'énergie produite au cours de l'année est supérieure à la consommation ($8890 > 3811$), et l'excès d'énergie est stocké dans des batteries pour utiliser en cas de besoin

III.4.2. Puissance de sortie du générateur photovoltaïque (Generic flat plate) :

Les deux tableaux ci-dessous résument tous les paramètres de fonctionnement des générateurs PV étudié:

Quantité	Valeur	Unités
Sortie minimale	0	kW
Sortie maximale	2.93	kW
Pénétration PV	119	heures/an
Heures d'ouverture	4384	€/kWh
Cout actualisé	0	KWh

Tableau.III.9 :Résumé électrique générique flat plat PV

Quantité	Valeur	Unités
Capacité nominale	2.97	KW
Production moyenne	0.558	kW
Production moyenne	13.4	kWh/d
Facteur de Capacité	18.8	%
Production totale	4889	kWh/an

Tableau.III.10:Générique flat plate PV Statistiques

D'après les résultats ,nous avons constaté que le nombre total d'heures annuelles durant les quelles les panneaux solaires fonctionnent réellement est de 2.93 kW(119 heures/an)

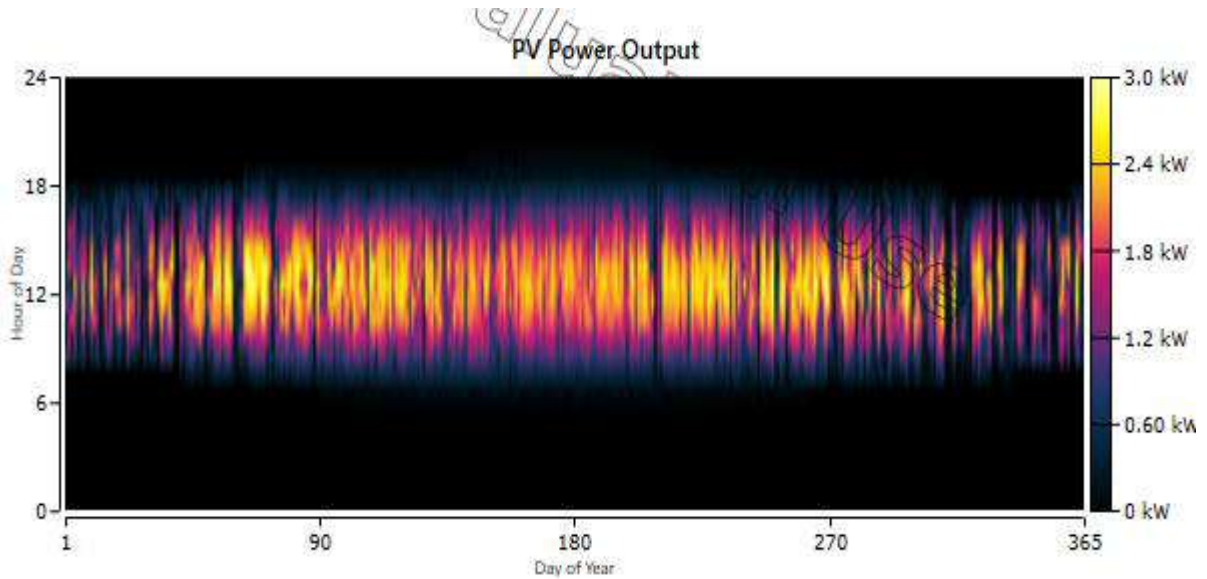


Figure.III.8 : Production journalière de panneau photovoltaïque

- La figure suivante montre la production d'électricité (photovoltaïque) au cours des mois de l'année.
- On constate que la production est quasi quotidienne, mais le montant de la production varie d'une saison à l'autre.
- La production atteint son apogée en été et au printemps et atteint (3 kW) par jour, tandis qu'en hiver et en automne, la production diminue et est parfois presque inexistante en raison des fluctuations météorologiques.
- Le moment idéal pour la production se situe en milieu de journée (de 10h00 à 15h30 environ), et est totalement absent le soir en raison de l'absence de soleil.

III.4.3. Puissance de sortie de l'éolienne (Générique 1kw) :

Les deux tableaux ci-dessous résument tous les paramètres de fonctionnement des éoliennes étudiées :

Quantité	Valeur	Unités
Sortie minimale	0	Kw
Sortie maximale	2.00	kW
Pénétration du vent	92.2	%
Heures d'ouverture	7163	heures/an
Cout actualisé	0.362	€/kWh

Tableau.III.11 : Résumé électrique générique de 1kw

Quantité	Valeur	Unités
Capacité nominale	2.00	KW
Production moyenne	0.433	kW
Facteur de Capacité	21.7	%
Production totale	3794	kWh/an

Tableau.III.12 : Générique éolienne 1kw Statistiques

- La photo montre l'énergie électrique produite par les éoliennes.
- La production fluctue tout au long de l'année et cela est dû aux fluctuations météorologiques, de sorte qu'elle sera incontrôlée et perturbée.
- La production totale au cours de l'année est de (3794 kWh).

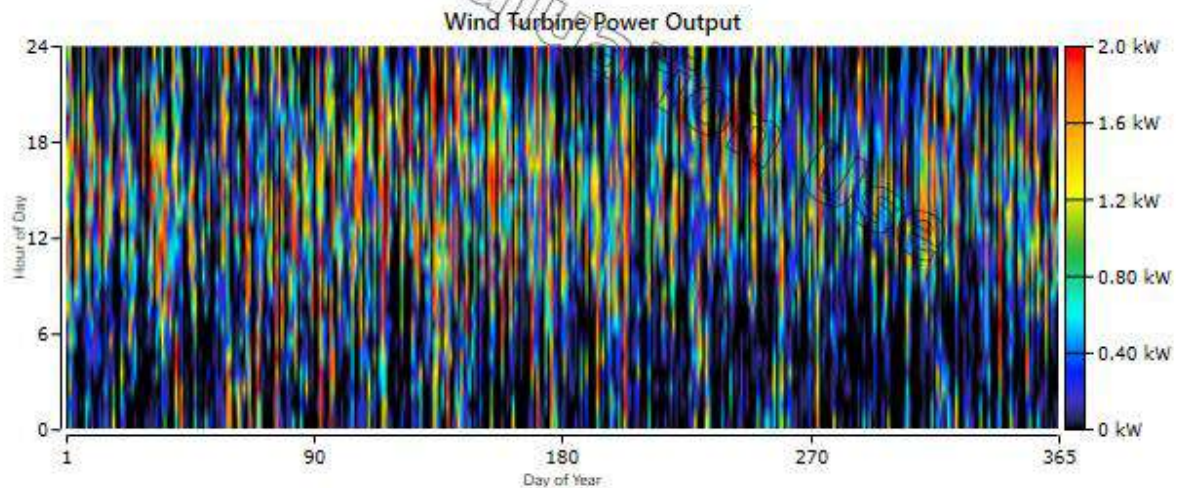


Figure.III.9: Production énergie l'éolienne

II.4.4.Batterie de stockage :

Les Batteries à une capacité de 92.1kWh, son énergie d'entrée est de 7258 kWh/an, son énergie de sortie est de 5822 kWh/an et ses pertes sont de 1453 kWh/an. Vie de la batterie 10ans et a débit à vie 65095kWh.

Quantité	Valeur	Unités
Sortie d'énergie	1499	kWh/an
Energie d'entrée	1866	kWh/an
Capacité	30	kW
Pertes	374	kWh/an
Epuisement du stockage	6.50	kWh/an
Durée des vides batteries	10	Ans
Débitàvie	16755	kWh

Tableau.III.13:Paramètres de fonctionnement du Batteries

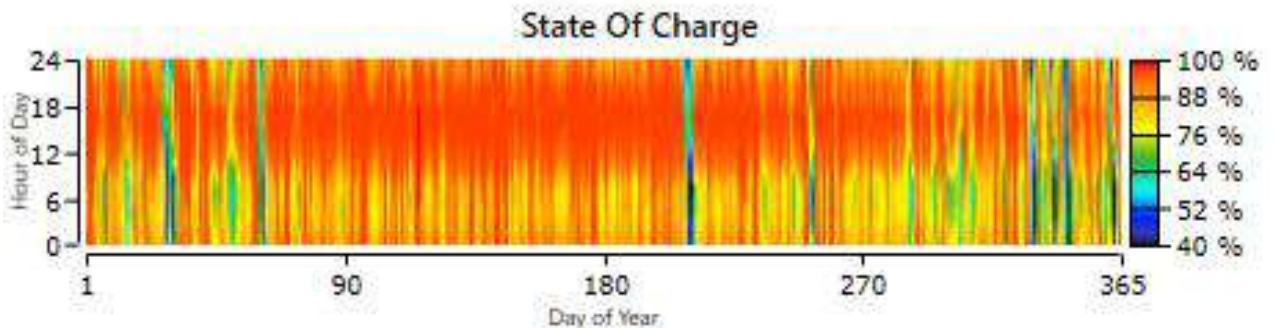


Figure.III.10 : état de charge sur une année

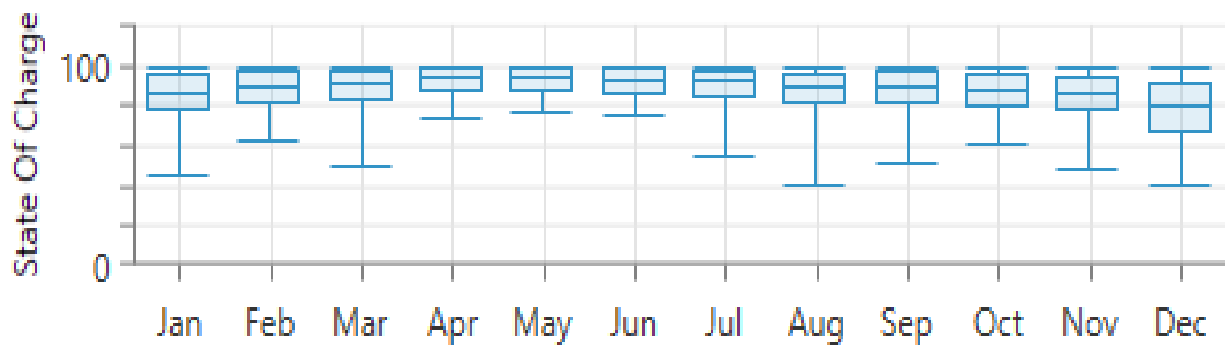


Figure .III.11: Charge de la batterie pendant une année

La batterie est utilisée comme composant essentiel tout au long de l'année pour stocker l'énergie électrique produite afin d'assurer la continuité du système et la continuité de l'approvisionnement de la maison en énergie nécessaire.

III.4.5.Convertisseur :

Le convertisseur a une capacité de 31 kW, son énergie d'entrée est de 4.32 kWh/an, son énergie de sortie est de 4.110 kWh/an et ses pertes sont de 216 kWh/an. Le convertisseur fonctionne 16.755 h/an et a une capacité de 31 %

Quantité	Valeur	Unités
Sortie maximale	1.41	kW
Sortie minimale	0	kW
Sortie d'énergie	4110	kWh/an
Energie d'entrée	4326	kWh/an
Pertes	216	kWh/an
Facteur de capacité	31	%
Heures d'ouverture	8755	h/an

Tableau .III.14: Paramètres de fonctionnement du convertisseur

III.4.6.comparaisons des résultats (PV/éolienne/batterie) :

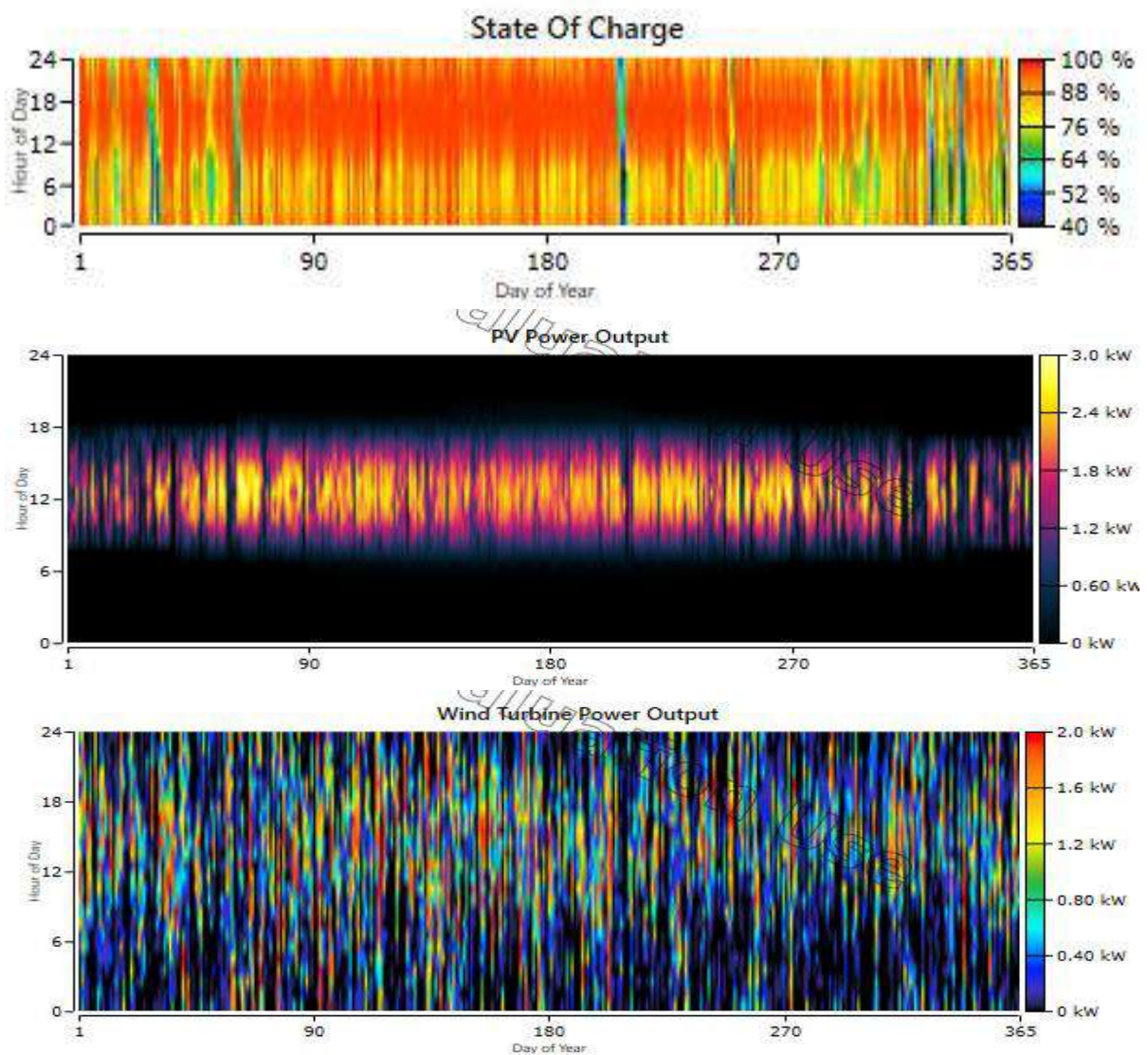


Figure.III.12 : Comparaisons des résultats (PV/éolienne/batterie)

A travers les résultats obtenus dans Homer Pro au cours de l'année, on constate que :

La production électrique de l'énergie solaire est dans la période du matin pour être stockée dans des batteries et conservée pour les périodes du soir pour une consommation lorsque la production électrique est faible. Il existe également une production d'énergie éolienne, mais elle est irrégulière et en fonction des changements climatiques. Cependant, la production qu'elle fournit au cours de l'année a une valeur très importante

III.5 Résultats économique :

Les responsables des services technologiques sont toujours à la recherche de coût et de fiabilité, où le coût économique joue un rôle important dans la sélection et évaluation de tel projet. Comme nous le constatons, le système d'optimum hybrides en termes économiques est analysé techniquement à travers les résultats obtenus pour concevoir le modèle de système hybride pour une maison hors réseau.

Ainsi, afin d'évaluer économiquement ce projet, il doit être étudié selon les critères économiques du système d'énergies renouvelables.

Coût total estimé : le moindre coût (NPC) est de 45937.03€ avec une valeur (Capital initial) 30887.26 € qui justifie en fait cette position du côté du classement et du choix.



Figure.III.13 : Résumé des couts

L'équipement est utilisé depuis environ 25 ans et nous avons veillé à ce que le projet n'aura pas modifié complètement tous les composants comme nous l'espérions au début du projet. Sauf pour certaines pièces tous les 10 ans environ comme les batteries qui ne conservent pas leur efficacité plus longtemps que certains autres petits équipements comme les fils électriques...etc.

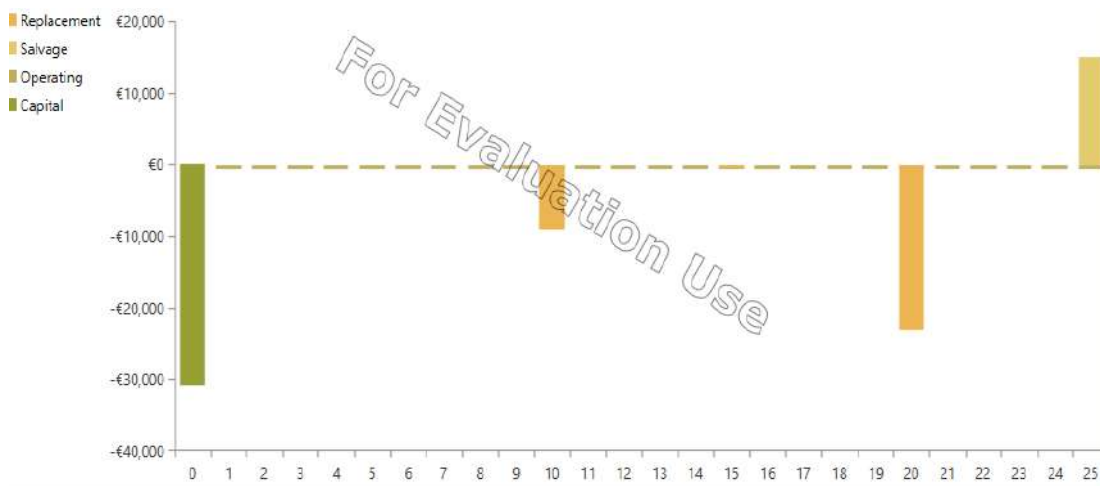


Figure.III.14 : Récapitulatif des opérations et des remplacements tout au long de la durée d'exploitation du système

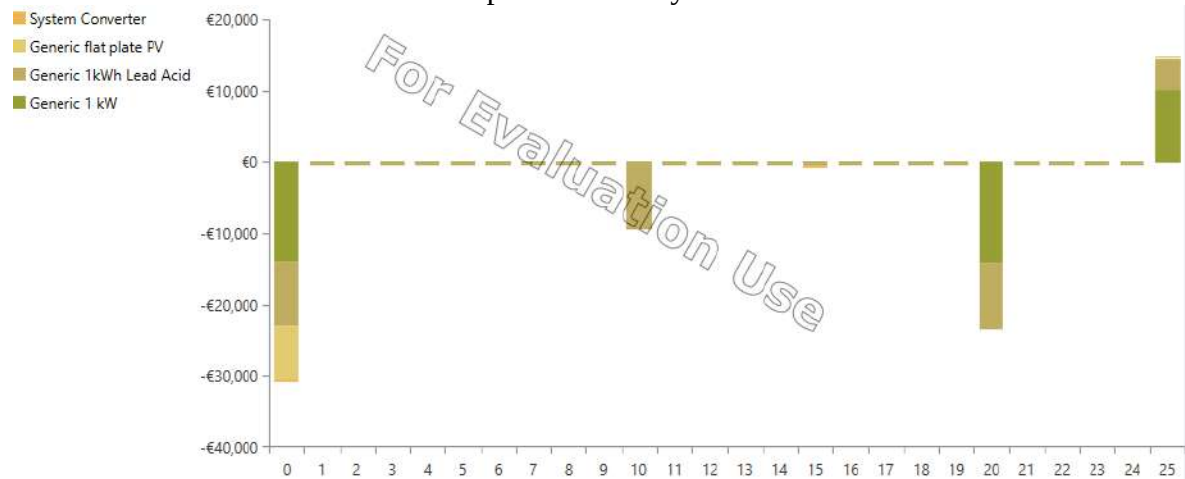


Figure.III.15 : récapitulatif des appareils de remplacement

L'image ci-dessus représente un résumé des dispositifs alternatifs, car certains changements se produisent régulièrement au cours des 25 années de vie de ce projet, et parmi ces changements on cite :

- Changement des batteries durant environ tous les 10 ans.
- Changement des éoliennes après 20 ans de vie du projet

III.6 Calcul du devis de raccordement de la maison selon les tarifs de Sonelgaz :

Suite à une visite ou service de Sonelgaz et après discussion ingénieur d'étude les tarifs de raccordement considérés par Sonelgaz sont résumés ou tableau suivant :

Matériel	Prix unitaire (€)
Poteau électrique	82.10
Fil électrique	13.68
Compteur électrique	78.72
Disjoncteur électrique	61.58
Equipement et main d'œuvre	615.87

Tableau.III.15 : les prix de chaque matériel.

Remarque : les tarifs : "Equipement et main d'œuvre, disjoncteur, compteur, et consommation de 25 ans " sont des tarifs fixes et vau 3046.20 €
La maison prise ou charge d'une cette étude est loin du réseau de 3 km, alors les ferais de raccordement salon les tarifs de sonelgaz sont résumes dans le tableau suivant :

Matériel	Prix unitaire (€)	Distance (m)	Nombre	Prix(€)
Poteau électrique	82.10	/	82	6725.64
Fil électrique	13.68	3300	/	45150.60
tarifs fixes	3046.20	/	/	3046.20
Total	/	/	/	115548.69

Tableau.III.16: résumes tous les couts raccorder la maison

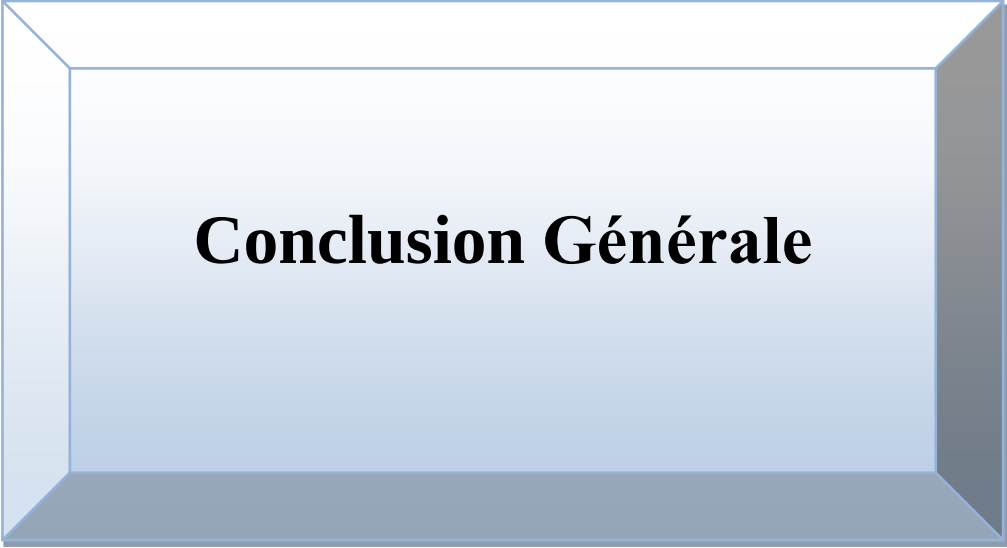
III.7 Comparaison résultats avec devis de sonelgaz :

Ou comparant le total de devis de raccordement par sonelgaz ou prix trouve préce par Homer pro dans le table III.12

La différence est de : 69611.66 €

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, après avoir mené une étude théorique sur notre système hybride composé de panneaux solaires, les éoliennes et les batteries à l'aide du programme Homer Pro ; nous avons obtenu un système hybride de production d'énergie pendant 25 ans au moindre coût. La comparaison de ces résultats avec le devis de raccordement réaliser par SONELGAZ nous confirme que la différence de prix est énorme. En outre de cette différence de prix, le grand bénéfice se réside dans la préservation de notre environnement.



Conclusion Générale

Conclusion générale

Les ressources mondiales éoliennes et photovoltaïques sont extrêmement importantes, car elles contribuent de manière significative à l'approvisionnement mondial en électricité.

Les travaux présentés dans cette thèse portent sur la production d'électricité à partir d'un système énergétique hybride (éolien et photovoltaïque) avec un système de stockage (batteries). L'objectif est d'utiliser diverses sources d'énergie renouvelables sans le réseau électrique, et de rechercher la meilleure solution en termes de coûts économiques et matériels pour couvrir une maison isolée de la ville de 3 kilomètres.

-Dans une première partie, nous avons fait une étude générale sur les énergies renouvelables en plus du principe et de l'effet de chaque composante (éolien/PV).

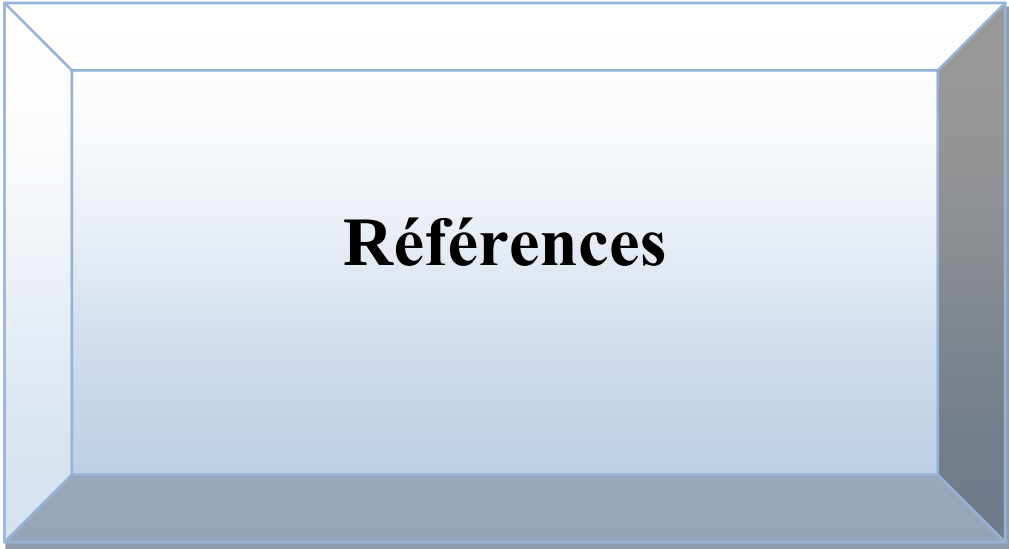
- Dans la deuxième partie de la thèse, nous avons présenté les caractéristiques de chacun d'entre eux ainsi que les avantages et inconvénients du système hybride étudié.

-Dans la dernière partie, après avoir mené une étude analytique à l'aide du programme Homer, nous avons obtenu un système hybride de production d'énergie pendant 25 ans au coût le plus bas possible.

Après avoir comparé les résultats obtenus dans le système étudié avec le réseau électrique de Sonelgaz, nous avons constaté que le système énergétique hybride donne de bonnes estimations et à un coût inférieur à celui de Sonelgaz, ce qui constitue un indicateur positif.

De plus, l'exploitation des sources d'énergie renouvelables réduit les émissions de gaz à effet de serre et préserve l'environnement.

En conclusion, nous disons que l'efficacité du système hybride est couronnée de succès sur les plans économique et social.



Références

Références bibliographiques

- [1] Mezzai Sonia.TADJINE Katia "Etude D'un système hybride (Eolien-photovoltaïque) " Mémoire de fin cycle, Université Abderrahmane Mira-Bejaia,2015.
- [2] 1. L. Bernal-Agustin and R. Dufo-Lapez, "Simulation and optimisation of standalone Hybrid renewable energy systems," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 13, pp. 2111 - 2118, 2009. Doi: 10.1016/j.rser.2009.01.010
- [3] P. Bajpai and V. Dash, "Hybrid renewable energy systems for power generation in Stand-alone applications: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 5, pp. 2926-2939, 2012. Doi: 10.1016/j.rser.2012 .02.009
- [4] M. A. Sendhil, S. Balasubramanian, and G. Arunkumar, "Current Status of Research On Hybrid Power Generation Systems," Res. 1. Appl. Sei. Eng. Technol. vol. 8, no. 14, pp. 1684-1690, 2014.
- [5] C. Gopal, M. Mohan raj, P. Chandra Mohan, and P. Chandrasekar, "Renewable Energy source water pumping systems - A literature review," Renew. Sustain. Énergie Rev. , vol. 25, pp. 351-370, 201
- [6] www.neal-dz.net: New Energy Algeria, 2009
- [7] : C. DARRAS, " Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site Isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE", Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011
- [8] : A. MIRECKI, « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de Petite puissance », thèse de doctorat, de l'institut national polytechnique de Toulouse, 5 avril 2005
- [9] : R. MAOUEJ, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzaréah ». Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd. Département de Physique, 2005
- [10] Clément Tranain « Etude comparative de panneaux solaires photovoltaïques » Rapport de stage de fin de D.U.T. Mesures Physiques Université Paris VII 2,place Jussieu 75005 Paris Mai 200
- [11] Mémoire finale étude d'un système hybride (PV/éolienne).
- [12] M. Bouafia and L. Deblaoui, "Modélisation et simulation d'une cellule solaire en couche mince à base de disélénure de Cuivre, d'Indium et de Gallium (CIGS)," Mémoire Master Prof. Univ. Kasdi Merbah. Ouargla, 2012
- [13] :Mr.KHALFAOUI MOHAMED AMINE « Analyse Economique Et Comparaison Des Systèmes Photovoltaïques Autonomes Et Connectés Au Réseau électrique » Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2022
- [14] A. HAMIDAT, B. BENYOUCEF and T. HARTANI, « Small-scall irrigation with Photovoltaic water pumping system in Sahara regions ». Renewable Energie, Vol. 28, pp.1081 1096, 2003

- [15] L. LAZARI, N. MEBARKI, «Etude d'un système photovoltaïque», Mémoire Master2, de l'université de Béjaia, 2014
- [16] HASSINI née BELGHITRI HOUDA, «modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque», université Abou-bakr belkaid de Tlemcen, 2010.
- [17] En ligne : <http://www.wikipedia.org>
- [18] Energie éolienne, Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980.
- [19] N. Laverdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes éoliens –Intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004.
- [20] J. Chen, C. Nayar, L. XU, « Design and FE analysis of an outer-rotor PM generator for directly coupled wind turbine applications », proceeding of the IEEE industry applications conference, New York, USA, 1998, vol 1, pp. 387-394.
- [21] S El Aimani, « Modélisation des différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension », thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de Lille (USTL)
- [22] R. Michaux, P. Letellier, « Les machines discoïdes à champs axial dans les systèmes de production électrique », revue de l'électricité et de l'électronique, N° 3, mars 1997, pp. 37-42.
- [23] J.W. Smith, J.A. Taylor, D. L. Books, R.C. Dugan, « Interconnection studies for wind generation », conference papers IEEE2004, paper N° 04 C3, pp. C3-1.C3-8.
- [24] : N. ZIDANE, «Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Energies Renouvelables ». Mémoire Magister, université farhat abbas setif ,2014
- [25] MEMOIRE étude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien) de université badji Mokhtar Annaba.
- [26] Tiar Mourad, « commande optimale d'un système de génération photovoltaïque Hybride»
- [27] Ionel Vechui, « Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thème de doctorat de l'université du havre, soutenue le 15 décembre 2005.

- [28]** A. KAABECHE, M. BELHAMEL, R. IBTIOUEN, S. MOUSSA et M. R. BENHADDADI, « Optimisation d'un système hybride (éolien – photovoltaïque) totalement autonome », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, N°3 199 – 209, 2006
- [29]** B. BOURGESM, « Improuvement in Solar Déclinaison Computation », Solar Energie, Vol. 35, N°4, pp. 367 - 369, 1985.
- [30]** A. EL KHADIMI, « Modélisation de l'irradiation Solaire Globale d'un Plan Horizontal et de la Vitesse du Vent en Vue de leur Utilisation dans le Dimensionnement d'un Système Hybride », Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc, 1998.
- [31]** V .ROGEZ, « Modélisation simplifiée de sources de production décentralisée pour des Études de dynamique des réseaux. Application à l'intégration d'une production éolienne dans un réseaux de distribution insulaire », Thèse de Doctorat, Université d'Artois, France, 2004.
- [32]** S. EL AIMANI, « modélisation de différentes technologies d'éoliennes intégrées dans Réseaux de moyenne tension », Thèse de Doctorat, Université Lille, France, 2004.
- [33]** I. CRUZ, F. ARIAS, F. AVIA, L. M. ARRIBAS, R. P. FIFFE, « Assessment of different energy storage systems for wind energy integration », European Wind Energy Conference, 2001.
- [34]** Chibani Oualid abd afghani et bouramdan abderraouf "Dimensionnement d'un système hybride de pompage de l'eau", Mémoire MASTER - UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2020/2021.

الملخص:

هذا العمل جزء من استغلال مصادر الطاقة المتجددة في مجال الكهرباء، حيث ناقشنا في هذه الأطروحة الطاقة الكهروضوئية وطاقة الرياح والبطارية وكيفية استغلال النظام الهجين لتزويد منزل معزول بالكهرباء. حيث قدمنا دراسة تحليلية باستخدام برنامج الهومر لتحديد نتائج وأبعاد هذا النظام ومقارنتها مع نتائج شبكة الكهرباء سونلغاز.

الكلمة المفتاحية: نظام هجين pv, sonelgaze, Homer, Batterie, éolienne .

Résumé :

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de l'exploitation des sources d'énergies renouvelables dans le domaine de l'électricité. Dans cette thèse, nous avons discuté de l'énergie photovoltaïque, de l'énergie éolienne, de l'énergie des batteries et de la manière d'exploiter le système hybride pour alimenter en électricité une maison isolée. Nous avons présenté une étude analytique utilisant le programme Homer pour déterminer les résultats et les dimensions de ce système et les comparer avec les résultats du réseau électrique de Sonelgaz.

Mot clés: . pv, sonelgaze, Homer, Batterie, éolienne.

Abstract :

This work is part of the exploitation of renewable energy sources in the field of electricity. In this thesis, we discussed photovoltaic energy, wind energy, battery energy, and how to exploit the hybrid system to supply an isolated house with electricity. We presented an analytical study using the Homer program to determine the results and dimensions of this system and compare them with the results of the Sonelgaz electricity network.

Key words: . PV, Sonelgas, Homer, battery, wind turbine