

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences appliquées

Département de génie mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Option : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Energétique

Présenté Par :

Bayad Mustafa

-Thème-

***Etude et Optimisation d'un système microgrid
éolienne-photovoltaïqu-diésel : Etude de cas
M'Rara (El Oued)***

Soutenu Publiquement

Le :17/06/2021

Devant le jury :

Mme. S. Rahmouni

MCB UKM Ouargla

Président

Mr. MM. Drid

MCB UKM Ouargla

Examineur

Mr. Dr. Amhamed

MAA UKM Ouargla

Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH le tout puissant pour tout.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au **Mr. DERNOUNI AMHAMED** de la Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables, Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merba.

Je tiens également à exprimer ma gratitude aux membres du jury qui ont accepté d'étudier mon projet :

Mme. RAHMOUNI SOUMIA et Mr. DRID MOHAMED MEBROUK.

Je tiens à remercier l'Université de Ouargla, ainsi que mes professeurs, collègues, amis et tous ceux qui m'ont aidé à mener à bien cette étude, de près ou de loin, et tout au long de mon parcours académique.

Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à la famille, aux amis, aux camarades de classe et à tous ceux qui ont contribué à ce travail en nous fournissant un soutien et des encouragements continus tout au long des années d'études et pendant le travail de cette note.

Merci.

Dédicace

A ma mère et mon père

A tous les membres de la famille

A mon professeur le Tout Puissant : **Mr. DERNOUNI MHAMED**

A tous mes amis qui m'ont soutenu dans ce travail.

A tous mes chers

Je consacre cet humble travail.

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux.....	iv
Nomenclature.....	v
Introduction générale	1
chapitre I: Généralité des systèmes solaires photovoltaïques, éoliens et diesel	
.1 Introduction	4
2. Energie Photovoltaïque	4
.2.1 Définition	4
2.2. Configuration des modules photovoltaïques.....	4
2.3. Principe de fonctionnement	5
2.4. Technologies photovoltaïques	6
2.5. Avantages et inconvénients	7
3. L'énergie éolienne	8
3.1. Définition	8
3.2. Principe de fonctionnement	8
3.3. Différents types d'éoliennes	10
.3.4 Principaux composants d'une éolienne à axe horizontal	11
3.5. Avantages et inconvénients	12
3.6. Taille et puissances des turbines éoliennes.....	13
4. Générateur Diesel	14
.5 Convertisseurs	14
6. Stockage d'énergie électrique (Les batteries).....	15
.7 Charge.....	15
.8 Systèmes hybrides	16
.8.1 Définition	16
.8.2 Les principaux composants d'un système hybride	16
8.3. Architectures d'un système hybride	16
8.1. Classifications des systèmes d'énergies hybrides.....	17
.8.2 Etude des structures du système hybride	18
8.3. Avantages et inconvénients des systèmes hybrides.....	19
.9 Conclusion.....	20

chapitre II: Modélisation de système hybride (PV/éolienne/DG) avec le logiciel
HOMER® 21

.1	Introduction	22
.2	Modélisation des composants d'un système d'énergie renouvelable hybride	22
3.	Modèle de système hybride PV/éolien/diesel.....	23
3.1.	Modèle de générateur PV	23
3.2.	Modèle de système d'éolienne	24
3.3.	Modèle de banc de batterie	25
3.4.	Modèle de générateur diesel	26
3.5.	Onduleur/convertisseur	26
.4	Description du site et des données.....	27
.5	Profil de charge.....	28
6.	La structure électrique du système hybride	30
7.	Matériels et méthodes	31
.8	43Interfaces de HOMER Pro.....	33
9.	Données sur le rayonnement solaire, la vitesse du vent et la température par le logiciel HOMER®	34
.10	Conclusion	36
chapitre III: Résultats et discussion		37
.1	Système hybride (PV/ éolienne/ DG) avec stockage de batteries	38
1.1.	Interprétation des résultats de simulation	38
1.2.	Plaque plate générique (PV)	43
1.3.	Éolienne (Générique 1KW)	44
.1.4	Générateur diesel	47
2.	Système de générateur diesel hors réseau	48
2.1.	Interprétation des résultats simulation	48
3.	Comparaison du système hybride et du système de générateur diesel	52
3.1.	Côté économique	52
3.2.	Côté environnemental	53
4.	Conclusion	54
Conclusion Générale.....		56
Annexes		59
Références.....		64

Liste des figures

Figure I-1 Configuration des cellules photovoltaïques.....	5
Figure I-2 Structure et diagramme de bande d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure I-3 Cellule photovoltaïque monocristalline et polycristalline.	6
Figure I-4 Cellules photovoltaïques amorphe.....	7
Figure I-5 Conversion de l'énergie cinétique du vent.	8
Figure I-6 principe de la conversion de l'énergie éolienne.	9
Figure I-7 éoliennes à axes Vertical.	10
Figure I-8 Éoliennes à axe horizontal (EAH).	11
Figure I-9 Principales composants de l'éolienne à axe horizontal.	12
Figure I-10 Générateur Diesel.	14
Figure I-11 Classification des systèmes hybrides.....	19
Figure II-1 Configuration du système hybride.	22
Figure II-2 Caractéristique de vitesse du vent de puissance.	25
Figure II-3 Irradiation horizontale globale en Algérie.....	27
Figure II-4 Cartes de l'énergie éolienne en Algérie.	28
Figure II-5 Localisation de M'Rara (El Oued) par satellite.	28
Figure II-6 Profil de chargement quotidien de la maison.	30
Figure II-7 Schéma du système hybride.	30
Figure II-8 Flux de travail.....	32
Figure II-9 Organigramme du logiciel HOMER.	33
Figure II-10 Interface Homer Pro.	33
Figure II-11 Composants HOMER.....	34
Figure II-12 Profil annuel typique du rayonnement solaire.....	34
Figure II-13 Température moyenne quotidienne (c°).	35
Figure II-14 Données de vitesse moyenne mensuelle du vent.....	35
Figure III-1 Température moyenne quotidienne (c°).....	39
Figure III-2 récapitulatif des coûts du système hybride pendant 25 ans.	40
Figure III-3 résumé des opérations et des remplacements tout au long de la durée de vie du système.....	41
Figure III-4 Résumé des appareils de remplacement.....	41
Figure III-5 Énergie mensuelle totale produite par le système hybride pendant un an.	43
Figure III-6 Énergie quotidienne totale produite par le PV pendant un an.....	44
Figure III-7 Énergie quotidienne totale produite par le WT pendant un an.	45
Figure III-8 Etat de charge pendant un an.	46
Figure III-9 Charge de la batterie pendant un an.	47
Figure III-10 Puissance fixe du groupe électrogène (KW).....	48
Figure III-11 Installation électrique du système autonome DG.	48
Figure III-12 Résumé des coûts.	49
Figure III-13 Résumé de l'exploitation et de l'entretien et des remplacements tout au long de la durée de vie du système de générateur diesel.	50
Figure III-14 Résumé des coûts pour le système autonome.	50
Figure III-15 Capacité de sortie du groupe électrogène (KW).	52

Liste des tableaux

Table I-1 Classification des turbines éoliennes.	13
Table I-2 Architecture de système hybride.....	17
Table I-3 Classification des SEH par gamme de puissance.....	18
Table II-1 Potentiel solaire en Algérie.....	27
Table II-2 Détails du profil de consommation quotidien.....	29
Table III-1 L'architecture système optimale.	38
Table III-2 Coûts actuels nets (25 ans).	39
Table III-3 Coûts annualisés.	40
Table III-4 Production, consommation et quantité de système PV-éolien-DG.	42
Table III-5 Récapitulatif d'électricité PV à plaque plate générique.....	44
Table III-6 Platine générique PV Statistiques.....	44
Table III-7 Résumé électrique générique 1 kW.....	45
Table III-8 Statistiques génériques 1 kW.	45
Table III-9 Propriétés génériques de l'acide de plomb 1kWh.....	45
Table III-10 Données de résultat d'acide de plomb générique 1kWh.....	46
Table III-11 Statistiques génériques sur l'acide de plomb 1kWh.	46
Table III-12 Résumé électrique du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.	47
Table III-13 Résumé du carburant générique du groupe électrogène à capacité fixe de 10 kW.	47
Table III-14 Statistiques du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.....	48
Table III-15 Architecture du système.	48
Table III-16 Coûts actuels nets.	49
Table III-17 Coûts annualisés.	49
Table III-18 Excédent et non satisfait.....	51
Table III-19 Résumé de la production.	51
Table III-20 Résumé de la consommation.	51
Table III-21 Résumé électrique du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.	51
Table III-22 Résumé du carburant générique du groupe électrogène à capacité fixe de 10 kW.	51
Table III-23 Statistiques du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.....	51
Table III-24 Coûts totaux des différents systèmes hybrides et diesel.....	53
Table III-25 Emission de polluants pendant un an.	54

Nomenclature

HOMER : Hybrid optimization model for electric renewable.

HRES : système hybride énergie renouvelable.

SEH : Systèmes Énergétiques Hybrides.

GES : Gaz à effet de serre.

PV : Photovoltaïque.

L'électron volt(**eV**) : est une unité d'énergie.

Si : silicium.

C-Si : silicium cristallin.

Sc-Si : silicium cristalline simple.

Mc-Si : silicium multi cristalline.

A-Si : silicium amorphe.

A- μ Si : silicium micro-amorphe.

CdTe : tellure de cadmium.

CIS : sélénure de cuivre-indium.

CIGS : cuivre, indium-gallium diséléniure.

EAH : Éoliennes à axe horizontal.

CC et **AC** : courant continu et Courant alternatif.

DG : Générateur Diesel.

CSE : Énergie Solaire Concentrée.

CNP : coût actuel net.

DZD : Dinar monnaie algérienne.

M&E : Maintenance et exploitation.

COE : Coût de l'énergie.

NASA : Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace

Introduction Général

Introduction générale

De nombreux pays du monde dépendent des combustibles fossiles pour la plupart de leurs besoins énergétiques, mais cette dépendance est un défi dans un avenir proche. Les combustibles fossiles sont une ressource non renouvelable. Les ressources énergétiques renouvelables, telles que l'énergie éolienne, solaire et hydraulique, sont des alternatives propres. Parce que c'est une ressource écologique, elle est illimitée[1].

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus simple et la plus vitale à exploiter. Mais avant consommation ils doivent être produits, généralement dans des unités de production d'électricité de grande capacité, acheminés, puis distribués à chaque consommateur, ce qui représente une lourde charge financière pour l'électrification des bâtiments sur des sites isolés de notre pays[2].

Un défi important que l'Algérie doit relever est la mise en place de services de santé et d'éducation dans les régions côtières et montagneuses isolées du nord, les hautes plaines et les régions désertiques du sud. Les communautés qui y vivent manquent d'électricité pour la stérilisation de l'eau, l'usage domestique, les services médicaux, l'éducation et l'irrigation. Ces régions éloignées ne sont pas alimentées par des lignes électriques[3].

La connexion de zones isolées au réseau électrique national en Algérie est une solution inutile à plusieurs égards (économique, technique, environnemental, etc.). Certains d'entre eux sont résumés comme suit :

Augmentation de la tarification de l'électricité dans les zones urbaines en raison des dépenses liées à l'extension des zones isolées avec de l'électricité en raison du fait que les entreprises basées sur cela sont purement économiques[4].

La plupart des zones isolées d'Algérie, situées pour la plupart dans son grand désert sous forme de villages reculés, se distinguent par un climat désertique chaud et sec, qui impose des conditions inadaptées au transport de l'électricité (températures élevées, vents violents), en plus du sabotage et du vol de câbles qui provoquent la chute de tension électrique et une augmentation de la facture[5].

En plus du fait que les économies d'électricité grâce aux générateurs nécessitent une économie de carburant constante, le coût du transport du carburant augmente considérablement avec la distance. Cela en fait une solution inefficace d'un point de vue économique et environnemental[6].

Dans ce contexte, l'interconnexion de nombreuses sources d'énergie renouvelables (éoliennes, panneaux photovoltaïques ... etc) dans un système énergétique hybride (HES) pourrait être une alternative prometteuse à la problématique de la connexion de ces zones isolées à l'électricité en termes de coût et disponibilité.

De ces problèmes nous commençons nos travaux et études scientifiques visant à éliminer ces problèmes et obstacles afin de faciliter et de subvenir aux besoins complets de ces zones isolées, et parmi ces zones nous avons choisi la zone de M'Rara (El Oued) située au sud-est de l'Algérie, Où nous utiliserons le système d'énergie hybride renouvelable (éolienne et générateur photovoltaïque et diesel) avec stockage par batterie, dans une maison isolée.

Pour étudier le système hybride, nous avons divisé notre sujet en trois chapitres comme indiqué ci-dessous :

- Le premier chapitre : donne un aperçu des généralités du système hybride (turbines photovoltaïques, énergie éolienne et générateur diesel) pour avoir une idée complète des composants du système, des différents outils et des concepts de base.
- Le deuxième chapitre : Explication du plan de travail (explication des travaux d'HOMER®) et modélisation du système hybride, ainsi que définition de la zone d'étude et affichage de ses données météorologiques.
- Le troisième chapitre : Discuter des résultats de la simulation de la zone d'accueil en dehors du réseau et faire des comparaisons entre deux systèmes énergétiques sous plusieurs aspects pour connaître la faisabilité du système proposé pour résoudre le problème de notre étude.

chapitre I:
**Généralité des
systèmes solaires
photovoltaïques,
éoliens et diesel**

1. Introduction

Les systèmes d'énergie renouvelable hybrides (HRES) ont été largement utilisés ces dernières années pour alimenter des bâtiments résidentiels, économiser des combustibles fossiles et réduire les émissions de GES. Généralement, les HRES comprennent les sources renouvelables (solaire photovoltaïque (PV), éolien, biomasse, etc.), les systèmes de stockage d'énergie (tels que les systèmes hydroélectriques, les supercondensateurs et les piles à combustible, qui sont utilisés pour stocker l'excès d'énergie produite par des sources d'énergie renouvelables), et / ou des sources conventionnelles principalement des générateurs diesel et des réseaux électriques. Le choix de ces composants dépend principalement des données climatiques et du type d'application du HRES[7].

Ce chapitre était dédié à la modélisation des composants du HRES et des caractéristiques de chaque système. Le HRES proposé comprend des panneaux solaires photovoltaïques, une éolienne, une banque de batteries et un générateur diesel.

2. Energie Photovoltaïque

2.1. Définition

L'énergie solaire photovoltaïque fait référence à l'électricité produite en convertissant une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner un phénomène physique - l'effet photoélectrique - ou la technologie qui lui est associée. L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie[8].

2.2. Configuration des modules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont reliées électriquement en série et/ou en parallèle pour produire des tensions et/ou des courants plus élevés. Les modules photovoltaïques se composent par des cellules photovoltaïques liées entre eux, ces modules peuvent former une unité d'un panneau photovoltaïque complet. Les panneaux photovoltaïques incluent plus d'un module de PV assemblé comme unité pré câblée et peut s'installer sur place, qui est l'unité génératrice de puissance complète[9], Comme l'indique la (Figure I-1):

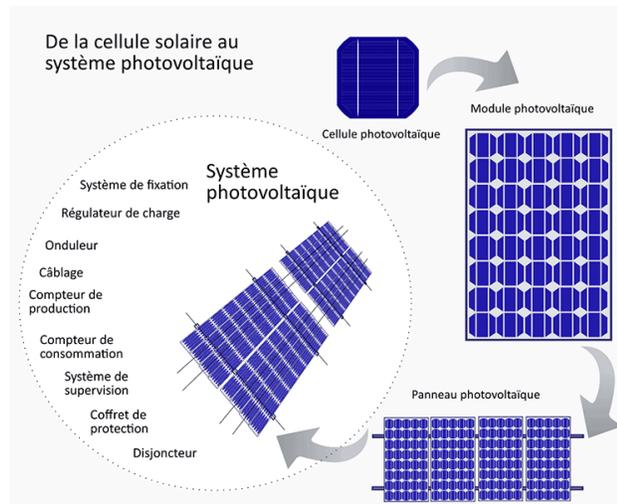


Figure I-1 Configuration des cellules photovoltaïques. [10]

2.3. Principe de fonctionnement

La conversion photovoltaïque met simultanément en jeu trois phénomènes physiques :

- l'absorption de la lumière dans le matériau.
- le transfert d'énergie des photons aux charges électriques.
- la collecte des charges.

La cellule solaire est notamment composée d'un semi-conducteur de silicium. Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres (électrons) est très faible par rapport aux métaux. Pour produire du courant à partir d'un semi-conducteur, il faut arracher un électron à son atome (bande de valence), et pour cela il faut une énergie, ici la lumière, lui permettant d'atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction). Cette énergie est appelée énergie de la bande interdite (gap) et est mesurée en électrons-volts (eV). L'énergie nécessaire à la séparation de l'électron à son atome varie en fonction du semi-conducteur : Elle est de 1,1 eV pour le silicium cristallin, et 1,7 eV pour le silicium amorphe.

Cependant, tous les rayons lumineux ne sont pas utilisés par la cellule : certains rayons lumineux sont déviés, soit par la couche antireflet, soit parce que leur énergie n'est pas suffisante pour arracher un électron, et d'autres passeront tout simplement à travers de la cellule[11].

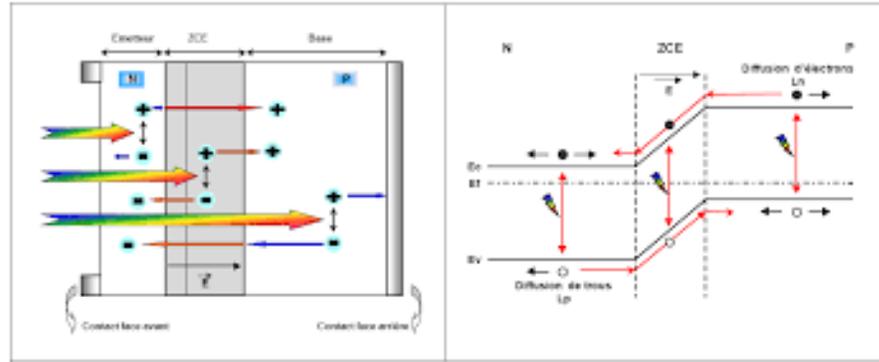


Figure I-2 Structure et diagramme de bande d'une cellule photovoltaïque. [12]

2.4. Technologies photovoltaïques

Les technologies PV sont regroupées en trois générations : la première contient des dispositifs utilisant des plaquettes de silicium (Si) ; le second comprend des technologies à couches minces ; et le troisième contient des cellules organiques sensibilisées aux colorants et d'autres technologies émergentes. Chaque génération renvoie à une pluralité de technologies, qui partagent des complémentarités techniques et industrielles[13].

a. Systèmes photovoltaïques de première génération (entièrement commerciaux) :

Qui utilisent la technologie du silicium cristallin (c-Si) aussi bien sous sa forme cristalline simple (sc-Si) que sous sa forme multi cristalline (mc-Si)[14].

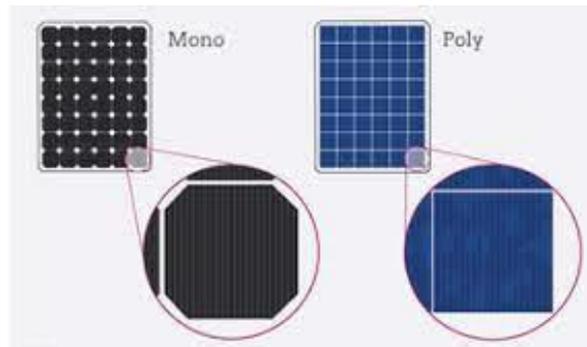


Figure I-3 Cellule photovoltaïque monocristalline et polycristalline. [15]

b. Les systèmes photovoltaïques de deuxième génération :

Sont basés sur des technologies photovoltaïques à couches minces et comprennent généralement trois grandes familles : (1) silicium amorphe (a-Si) et silicium micro-amorphe (a- μ cSi) ; (2) tellure de cadmium (CdTe) ; et (3) sélénure de cuivre-indium (CIS) et cuivre, indium-gallium diséléniure (CIGS)[14].



Figure I-4 Cellules photovoltaïques amorphe. [16]

c. Les systèmes photovoltaïques de troisième génération :

incluent des technologies photovoltaïques organiques qui sont encore en démonstration ou qui n'ont pas été largement commercialisées et de nouveaux concepts en développement[14].

2.5. Avantages et inconvénients

a. Avantages

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

- Ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux ;
- Ils sont très fiables ;
- Ils n'exigent presque aucun entretien ;
- Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales ;
- Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité ;
- Ils ont une longue durée de vie ;
- Le de réalisation d'une centrale PV est minimal ;
- Ils sont des systèmes décentralisés[17] ;

b. Inconvénients

- La production d'énergie qui dépend de la lumière du soleil est en constante évolution ;
- Le coût d'investissement élevé des panneaux photovoltaïques ;

- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le cout du système photovoltaïque augmente ;
- Le faible rendement de conversion de module[18] ;

3. L'énergie éolienne

3.1. Définition

L'énergie éolienne partie des énergies renouvelables les plus utilisées depuis l'Antiquité. l'énergie éolienne était utilisée à des fins d'irrigation et pour moudre le grain [19], elle connaît depuis environ 30 ans un essor remarquable notamment dû aux premiers chocs pétroliers[20] , De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif [21],

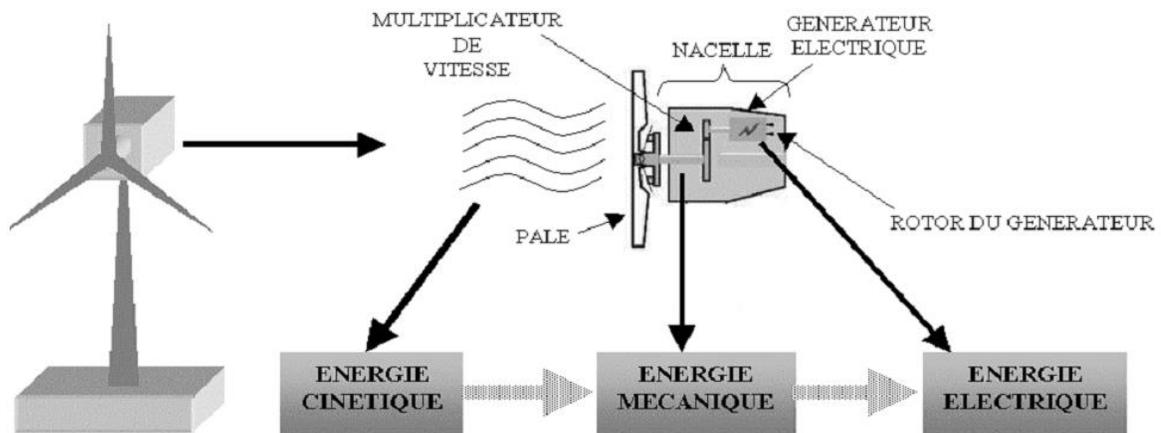


Figure I-5 Conversion de l'énergie cinétique du vent. [22]

L'énergie est produite par, Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne[23].

3.2. Principe de fonctionnement

L'électricité est produite par les éoliennes en convertissant l'énergie cinétique du vent en énergie électrique, en plusieurs étapes :

- ❖ Transformation de l'énergie par les pales : les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion. La différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force

Généralité des systèmes solaires photovoltaïques, éoliens et diesel

aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

- ❖ Accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur : les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1000 à 2000 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur.
- ❖ Production d'électricité par le générateur : l'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. En tournant à grande vitesse, le générateur produit de l'électricité à une tension d'environ 690 volts.

Traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur : l'électricité produite ne peut pas être utilisée directement. Elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est élevée à 20 000 volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation pour être injectée sur le réseau électrique[24].

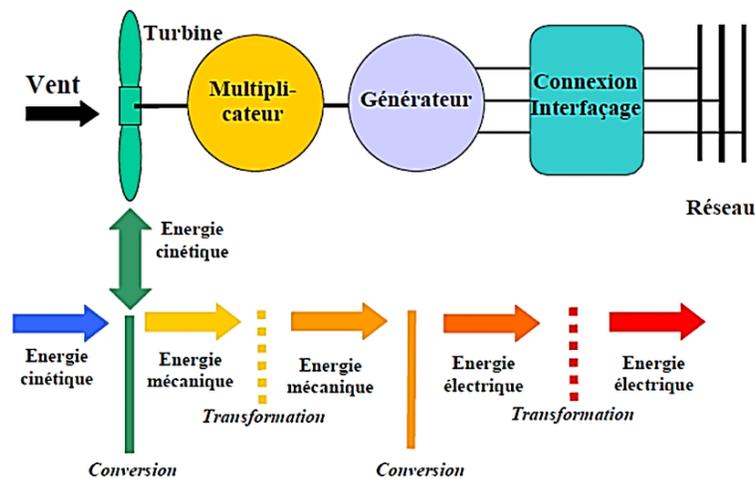


Figure I-6 principe de la conversion de l'énergie éolienne. [25]

Le processus général est illustré sur la (Figure I-6). La chaîne de transformation entière comprend une variété de domaines et pose des problèmes aérodynamiques, mécaniques, électriques ou mécaniques.

3.3. Différents types d'éoliennes

Les éoliennes sont divisées en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

a. Éoliennes à axe vertical

L'axe de rotation de ces turbines est vertical par rapport au sol et perpendiculaire à la direction du vent, elles sont les premières structures utilisées pour la production de l'énergie électrique. Ce type de turbine peut recevoir le vent de n'importe quelle direction, ce qui rend inutile tout dispositif d'orientation. Le générateur et la boîte d'engrenages sont disposés au niveau du sol, ce qui est plus simple et donc économique[26].

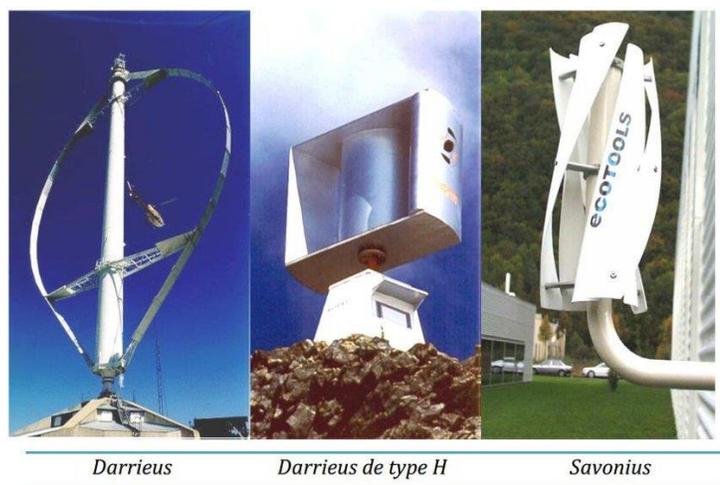


Figure I-7 éoliennes à axes Vertical. [25]

b. Éoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Ils sont constitués de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière d'ailes d'avion. Dans ce cas, la portance, qui est utilisée en aéronautique pour maintenir un aéronef en vol, sert à générer un couple entraînant la rotation de l'éolienne. Le nombre de pales utilisées pour la production d'électricité varie typiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il s'agit d'un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur de vent[27].

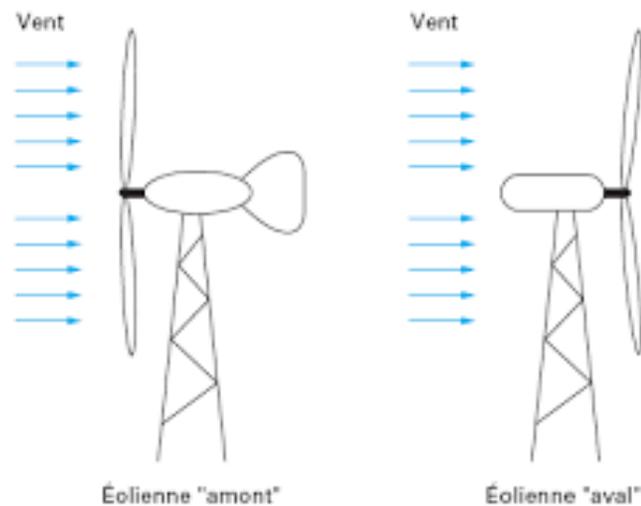


Figure I-8 Éoliennes à axe horizontal (EAH). [28]

3.4. Principaux composants d'une éolienne à axe horizontal

Les différents composants les plus importants d'une éolienne à axe horizontal sont indiqués sur la (Figure I-9) :

- 1- Pales en composite fibre de verre. Pas fixe, profil de type stall (décrochage Aérodynamique). Freins aérodynamiques d'extrémité pivotants.
- 2- Moyeu du rotor en fonte.
- 3- Structure de la turbine en fonte ductile ou en acier soudé galvanisé à chaud.
- 4- Paliers du rotor à double rangée de billes.
- 5- Arbre lent du rotor en acier haute résistance.
- 6- Multiplicateur de vitesse à 3 étages (1 train épicycloïdal et 2 trains parallèles).
- 7- Frein à disque sur l'arbre rapide avec témoin d'usure.
- 8- Accouplement avec la génératrice de type flexible.
- 9- Génératrice (800/200 kW) asynchrone refroidie à l'eau.
- 10- Radiateur de refroidissement intégré au système multiplicateur - génératrice.
- 11- Système de mesure du vent (anémomètre et girouette) transmettant les signaux au Système de contrôle de la turbine.

12- Système de contrôle surveillant et pilotant la turbine.

13- Système hydraulique pour les freins d'extrémité de pale et le système d'orientation.

14- Entraînement d'orientation de la tourelle à deux trains d'engrenages planétaires

Entraînés par des moteurs alimentés à fréquence variable.

15- Paliers du système d'orientation équipés d'un frein à disque.

16- Capot de la nacelle en structure acier recouverte de composite fibre de verre.

17- Tour en acier tubulaire (plusieurs hauteurs possibles)[29].

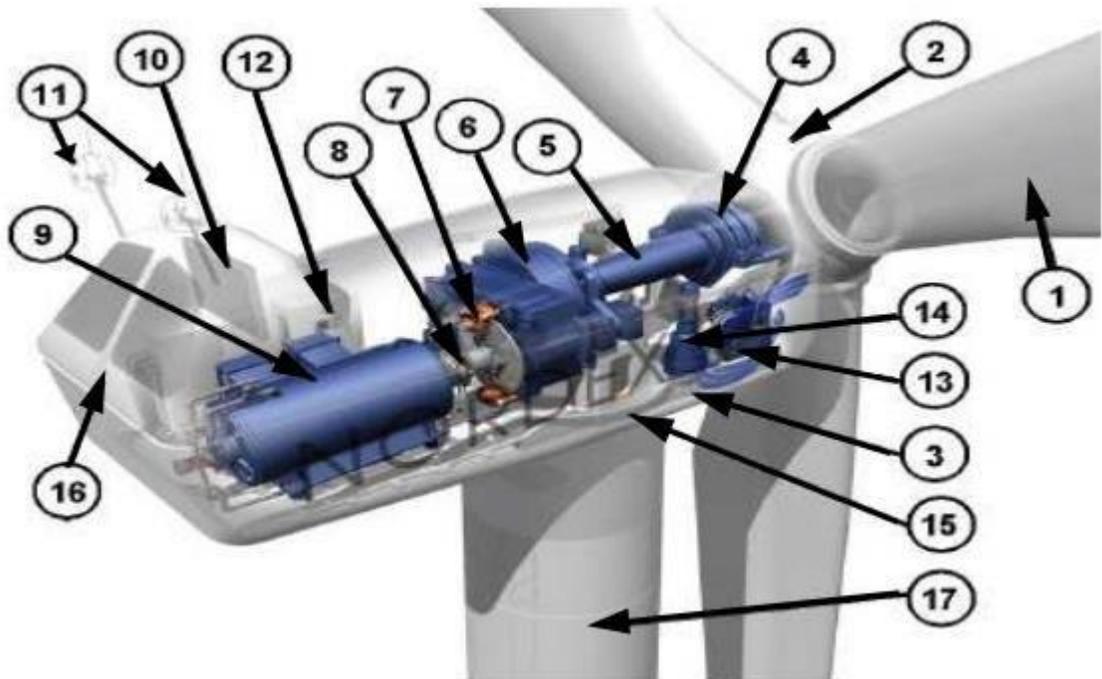


Figure I-9 Principales composantes de l'éolienne à axe horizontal. [25]

3.5. Avantages et inconvénients

a. Avantages

- ✓ L'énergie éolienne est respectueuse de l'environnement car aucun combustible fossile n'est brûlé pour produire de l'électricité à partir d'énergie éolienne.
- ✓ Les éoliennes prennent moins de place que la centrale électrique moyenne.

- ✓ Les technologies modernes rendent l'extraction de l'énergie éolienne beaucoup plus efficace. Le vent est gratuit, donc seuls les coûts d'installation sont impliqués et les coûts de fonctionnement sont faibles.
- ✓ L'énergie éolienne est la ressource la plus pratique pour produire de l'énergie électrique dans des endroits éloignés, où les lignes électriques conventionnelles ne peuvent pas être prolongées en raison de considérations environnementales et économiques[30].

b. Inconvénients

- Le principal inconvénient de l'énergie éolienne est la vitesse du vent variable et peu fiable. Lorsque la force du vent est trop faible pour supporter une éolienne, peu d'électricité est produite.
- Les grands parcs éoliens sont nécessaires pour produire de grandes quantités d'électricité, ce qui ne peut donc pas remplacer les centrales électriques à combustible fossile conventionnelles. L'énergie éolienne ne peut que remplacer la basse énergie demandes ou charges isolées de faible puissance.
- Les installations d'éoliennes plus importantes peuvent être très coûteuses et coûteuses pour la faune environnante pendant le processus de mise en service initial.
- La pollution sonore peut être un problème si des éoliennes sont installées dans les zones densément peuplées[30].

3.6. Taille et puissances des turbines éoliennes

Le tableau suivant présente la classification des éoliennes par Produire de la puissance et leur diamètre d'hélice[31].

Table I-1 Classification des turbines éoliennes. [31]

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 kW
Moyenne	m à 45 m 12	40 kW à 999 kW
Grande	m et plus 46	1.0 MW et plus

4. Générateur Diesel

Les énergies dites conventionnelles sont des formes d'énergie massivement employées pour répondre aux besoins de production et consommation humaines. Parmi ces énergies, les plus utilisées sont l'énergie nucléaire et l'énergie issue des combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel).

Parmi les systèmes de production d'électricité, largement utilisés dans les systèmes hybrides, on trouve le générateur diesel.

Un générateur diesel est un appareil capable de produire de l'électricité en brûlant du carburant diesel. Donc, cet appareil utilise une source principale qui est censée être disponible partout, à tout moment. L'utilisation de cet appareil dans des systèmes hybrides est destinée à compenser un éventuel déficit de production ou une panne de courant dû à un problème technique[32].



Figure I-10 Générateur Diesel.

5. Convertisseurs

Dans un système hybride de production d'énergie, des convertisseurs sont utilisés pour équilibrer le flux d'énergie entre les éléments CC et AC. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les systèmes hybrides de production d'énergie à savoir les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

- Les redresseurs réalisant la conversion AC/CC. Dans un système hybride de production d'énergie, ils sont souvent utilisés pour charger les batteries à partir d'une source à AC. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement.

- Les onduleurs convertissent le CC en AC. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à AC ou en parallèle avec des sources à AC. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à AC pour fonctionner.
- Les hacheurs, convertisseurs CC/CC utilisés pour adapter la tension entre deux sources différentes. L'efficacité de la conversion du courant continu en courant alternatif de la plupart des onduleurs est aujourd'hui d'environ 90 % ou plus. La taille du convertisseur varie en fonction de l'application[33].

6. Stockage d'énergie électrique (Les batteries)

Les batteries sont des accumulateurs électrochimiques qui fonctionnent grâce aux réactions électrochimiques aux électrodes. L'accumulateur électrochimique a la caractéristique intéressante de fournir une tension à ses bornes peu dépendantes de sa charge. Cette tension est de l'ordre de quelques volts pour un élément. Le principe de fonctionnement des batteries est basé sur la conversion et la transformation de l'énergie chimique en énergie électrique par une réaction électrochimique. La plupart des batteries utilisées dans les systèmes hybrides de production d'énergie sont de type plomb-acide. Le choix de la taille appropriée du pack batteries nécessite une analyse inclusive des exigences de charge et de décharge de la batterie[34].

7. Charge

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Ils existent deux types de charges, les charges résistives et les charges inductives. Les charges résistives contiennent les ampoules à incandescence, chauffe-eau, certains chauffages électriques etc. les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de l'énergie réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci les variations transitoires de la tension et de courant durant les changements dans le fonctionnement du système[17].

8. Systèmes hybrides

8.1. Définition

Le système hybride de production d'énergie est un système qui combine et exploite différentes sources d'énergies disponibles et facilement mobilisables. Ce type de système associe au moins deux technologies complémentaires, une source classique, qui est généralement un générateur diesel et une source ou plus d'énergie renouvelable en vue d'obtenir et de maintenir une production énergétique continue et durable. Les systèmes hybrides sont souvent autonomes vis à vis des grands réseaux interconnectés et fréquemment utilisés dans les régions isolées. Ces systèmes seront conçus dans l'intention d'économiser le carburant et la baisse de prix obtenue par la génération hybride doit au moins couvrir l'investissement envisagé d'énergie renouvelable et les autres composants auxiliaires du système[17].

8.2. Les principaux composants d'un système hybride

La composition du système hybride est divisée en Trois parties :

a. Les sources d'énergie :

- Les sources renouvelables :

Énergie éolienne, solaire, biomasse, hydraulique ,Géothermie, hydrogène et marine ... etc.

- Les sources conventionnelles :

Parmi ces énergies Le plus utilisé est l'énergie nucléaire et l'énergie provenant de combustibles fossiles (pétrole, Charbon et gaz naturel).

b. Éléments de contrôle et de gestion de l'énergie :

- Les batteries de stockage.
- Le système de supervision.
- Les convertisseurs.

c. Les charges électriques

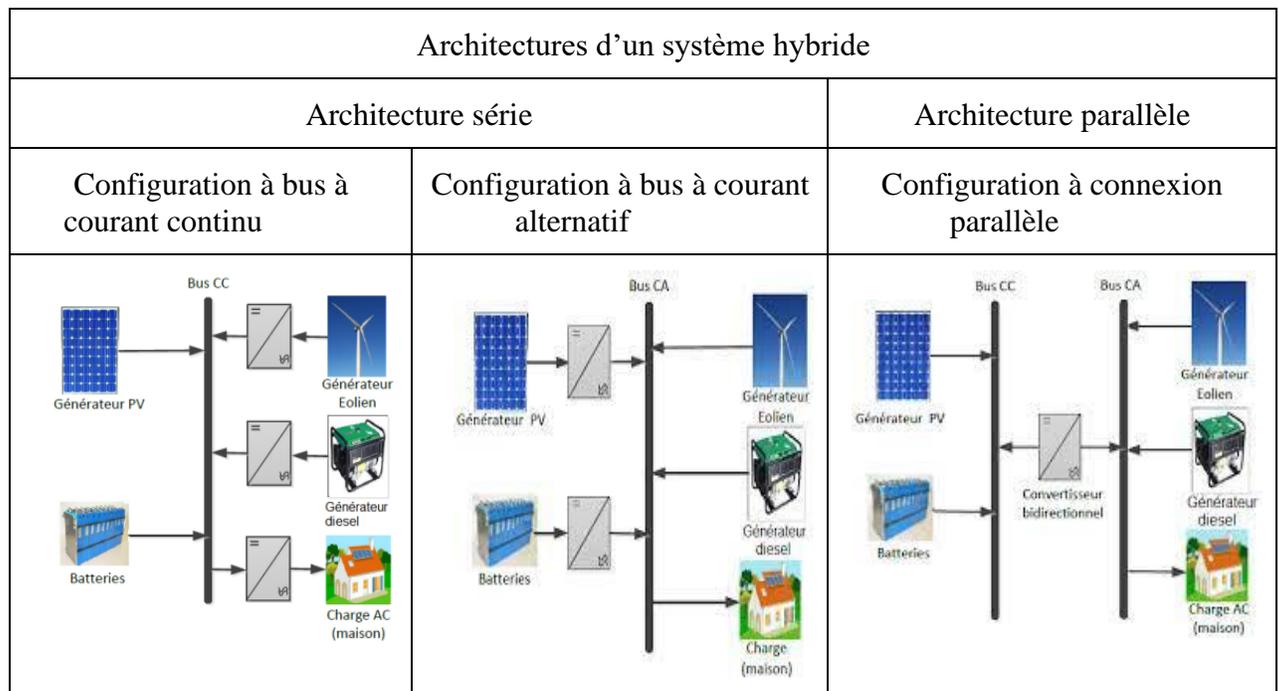
8.3. Architectures d'un système hybride

Afin de présenter les différentes architectures d'un système hybride autonome, nous considérons dans ce travail, un système composé d'un générateur photovoltaïque, d'une éolienne, de batteries

Généralité des systèmes solaires photovoltaïques, éoliens et diesel

de stockage et d'un groupe diesel. Les différentes architectures d'un système hybride se divisent en deux grandes familles : l'architecture série et l'architecture parallèle[32].

Table I-2 Architecture de système hybride.[32]



8.1. Classifications des systèmes d'énergies hybrides

a. Selon le régime de fonctionnement

- Système d'énergie hybride autonome

La station n'est pas connectée au réseau électrique pour la simple raison de l'éloignement des sites, par exemple, les refuges de montagne, les îles, les villages isolés ou bien dans le cas où les conditions topographiques sont ardues[35].

- Système d'énergie hybride connecté au réseau

L'interface entre le SEH et le réseau électrique peut être constituée par un convertisseur statique pour assurer la conversion de la puissance. L'énergie produite par le SEH est consommée et le surplus d'énergie est injecté vers le réseau et dans en cas de besoin, le réseau prend le relais entraînant l'inutilité d'un système de stockage[35].

b. Selon la Gamme de la puissance

Le champ d'application des systèmes hybrides est trop vaste à cause des multiples structures, on peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance selon le tableau suivant[36]:

Table I-3 Classification des SEH par gamme de puissance. [36]

Gamme de puissance	Utilisation
Faible : inférieur à 5 kW	Système autonome : petite 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.

8.2. Etude des structures du système hybride

Au regard de ces nombreux critères, il est facile d'imaginer la diversité des études sur les systèmes hybrides disponibles. Certains de ces critères peuvent être résumés dans le (Figure I-11)suivant[35], En conséquence, plusieurs configurations différentes de systèmes hybrides peuvent être construites, dont certaines peuvent être résumées comme suit:

- Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle :
 - Systèmes photovoltaïque/source conventionnelle.
 - Systèmes éolien/source.
 - Systèmes photovoltaïque/éolien/diesel[37].
- Systèmes hybrides sans source conventionnelle :
 - Systèmes hybrides photovoltaïque/stockage.
 - Système hybride éolien/stockage.
 - Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage.
 - Systèmes hybrides photovoltaïque/éolien sans stockage[37].

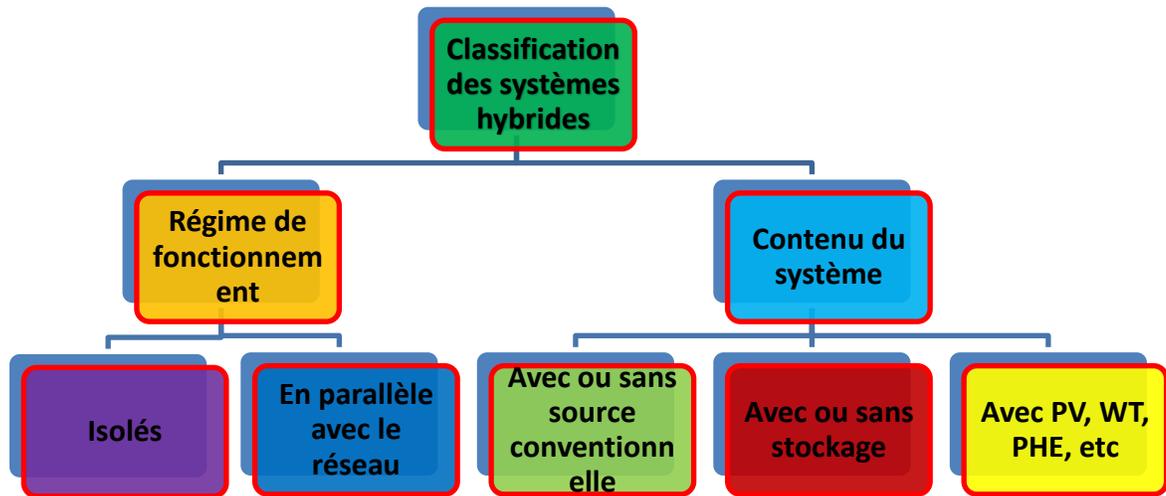


Figure I-11 Classification des systèmes hybrides. [35]

8.3. Avantages et inconvénients des systèmes hybrides

a. Avantages

- Deux sources d'énergie renouvelable ou plus peuvent être intégrées dans un seul système, en fonction du potentiel d'énergie renouvelable local.
- Aucune forme d'émission n'est produite à partir de tous les systèmes hybrides d'énergie renouvelable (comme le PV et l'éolienne).
- Modulaire (PV et système de vent) sont faciles à installer et dans la plupart des cas ne nécessite aucune conception pour un usage domestique.
- Les systèmes hybrides plus petits sont moins chers que les systèmes plus grands et complexes comme le système nucléaire.
- Le carburant pour SEH est abondant, gratuit et inépuisable, donc l'énergie électrique produite par ce système est indépendante du prix du carburant[38].

b. Inconvénients

- Augmentation de la complexité du système.
- Difficulté d'optimisation des divers organes du système.
- Plus complexe que les systèmes mono source et nécessite du Stockage.

- Coût capital élevé comparé aux générateurs diesel.
- La durée de vie des composants d'un SEH peut être beaucoup plus courte que la durée de vie normale des composants individuels (fonctionnement en connexion aux réseaux interconnectés). Les points les plus critiques sont en général la dégradation des batteries, l'endommagement des démarreurs diesel et du système mécanique de freinage des éoliennes et la carbonisation excessive des cylindres du moteur diesel[38].

9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de l'une des principales sources d'énergie renouvelable (énergie photovoltaïque et éolienne). En fait, nous avons révélé le principe de base et la structure générale du système utilisé pour exploiter ces deux sources d'énergie renouvelables. Après cela, nous avons introduit le système qui fonctionne sur l'hybridation entre l'énergie éolienne et photovoltaïque et une source conventionnelle (générateur diesel) qui fait l'objet de notre étude.

Par conséquent, ce chapitre est considéré comme une introduction détaillée à notre travail afin d'obtenir les aspects généraux et nécessaires pour pouvoir démarrer le but de notre étude, qui est de déterminer la taille des composants du système étudié et de l'améliorer.

chapitre II:
**Modélisation de
système hybride
(PV/éolienne/DG)
avec le logiciel
HOMER®**

1. Introduction

Nous avons choisi la zone de M'Rara (El Oued), pour faire l'objet de notre recherche car c'est l'une des zones isolées du désert algérien et parce que les conditions climatiques, notamment le rayonnement solaire et les températures, sont en constante évolution. , ce qui crée des fluctuations dans la stabilité de la production d'électricité à partir d'unités photovoltaïques, d'éoliennes et de générateurs diesel, et afin de répondre à ces besoins Une des solutions a été d'intégrer ce potentiel énergétique d'origine renouvelable dans un système intégré d'unités photovoltaïques, éoliennes, générateurs diesel et batteries d'énergie. Il est donc important de déterminer la taille de la conception idéale qui correspond aux contraintes imposées par le cas étudié.

2. Modélisation des composants d'un système d'énergie renouvelable hybride

Approches hybrides, Avec la complexité croissante du fonctionnement du système électrique, la technologie hybride est largement considérée pour résoudre les problèmes de non-convexité. Par conséquent, il existe un besoin urgent d'approches hybrides pour utiliser des techniques d'optimisation plus sophistiquées et plus précises pour suivre le rythme de l'évolution de l'utilisation de l'intégration des énergies renouvelables. Par conséquent, des efforts ont été faits récemment pour développer cette technique d'optimisation, appelée approches d'optimisation hybride, à appliquer dans le fonctionnement des énergies renouvelables[39]. Dans ce travail, l'intégration de deux systèmes d'énergies renouvelables différents est envisagée : les éoliennes, la production photovoltaïque avec générateur diesel et les batteries de stockage (Figure II-1).

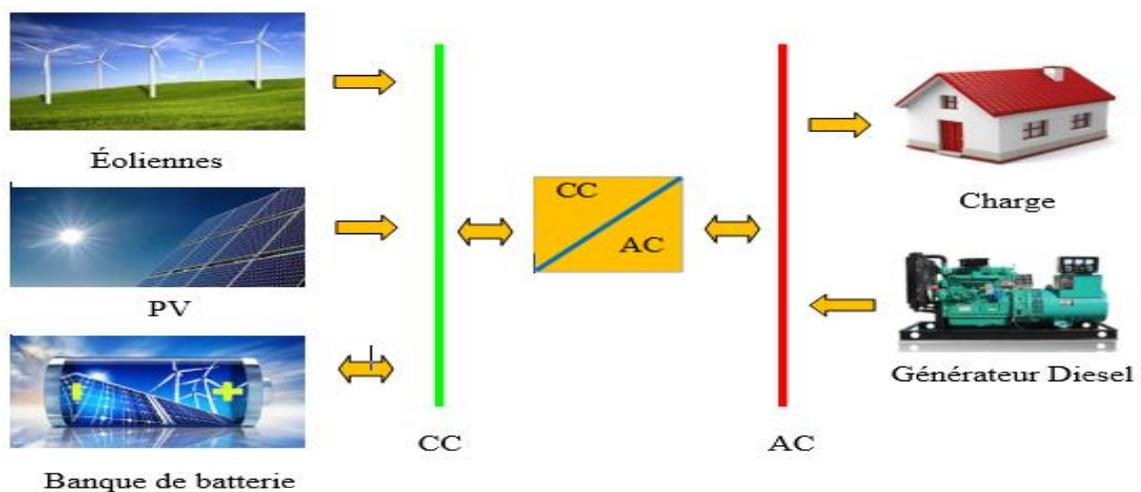


Figure II-1 Configuration du système hybride. [7]

Le module PV et l'éolienne fonctionnent ensemble pour répondre à la demande de charge. Lorsque les sources d'énergie renouvelables sont suffisantes, la puissance générée, après avoir satisfait la demande de charge, fournit de l'énergie au parc de batteries jusqu'à sa pleine charge. La batterie fournit la demande d'énergie pour aider le système à couvrir les besoins de charge, lorsque l'énergie des modules PV et de l'éolienne est inférieure à la demande de charge. La charge sera alimentée par des générateurs diesel si la production d'électricité par les éoliennes et les panneaux photovoltaïques est insuffisante et si le stockage est épuisé.

3. Modèle de système hybride PV/éolien/diesel

3.1. Modèle de générateur PV

La puissance CC d'un générateur PV peut être estimée à [40] :

$$P_{pv_cc} = I_{n_eff} * \eta_g * A_g \quad (1)$$

Où,

I_{n_eff} : éclairement effectif incident.

η_g : efficacité du générateur PV.

A_g : surface utile du générateur PV.

Au STC, la puissance générée par le générateur photovoltaïque peut être écrite comme suit :

$$P_{pv_peak} = I_n^* * \eta_g^* * A_g \quad (2)$$

Où,

P_{pv_peak} : pic de puissance CC du générateur PV.

$$I_n^* = 1000 \frac{W}{m^2}$$

En substituant la valeur de A_g à partir de l'Eq. (2) à (1), on peut écrire :

$$P_{pv_dc} = P_{pv_peak} * \frac{I_{n_eff}}{I_n^*} * \frac{\eta_g}{\eta_g^*} \quad (3)$$

Le rapport $\frac{\eta_g}{\eta_g^*}$ est défini comme la perte thermique du module due à la température de

fonctionnement de la cellule. Cela peut être exprimé comme :

$$\frac{\eta_g}{\eta_g^*} = 1 - \beta(T_c - T_c^*) \quad (4)$$

Où,

$$T_c = T_a + C_T * I_{n_eff} \quad (5)$$

$$C_T = \frac{NOCT - 20}{0.8 * I_n^*} \quad (6)$$

$$T_c^* = 25 \hat{A} \text{ } ^\circ\text{C}$$

T_a : Température ambiante.

β : Coefficient de perte de température.

$NOCT$: Température nominale de fonctionnement de la cellule.

3.2. Modèle de système d'éolienne

La puissance de sortie d'une éolienne dépend principalement de la courbe de puissance d'une éolienne, de la fonction de répartition de la vitesse du vent dans un site particulier et de la hauteur du moyeu du mât. La puissance de sortie d'une éolienne s'écrit [41]:

$$\begin{aligned} P_w(v) &= P_R * \frac{v - v_C}{v_R - v_C} \quad (v_C \ll v \ll v_R) \\ &= P_R \quad (v_R \ll v \ll v_F) \\ &= 0 \quad (v \ll v_C \text{ et } v \gg v_F) \end{aligned} \quad (7)$$

Où,

P_R : puissance électrique nominale de sortie.

v_C : vitesse du vent d'enclenchement.

v_R : vitesse du vent nominale.

v_F : vitesse du vent de coupure.

La variation de la hauteur du moyeu de l'éolienne affecte de manière significative la vitesse du vent et donc la puissance de sortie. Le modèle mathématique est utilisé pour estimer le profil vertical du vent sur un contour plat homogène est décrit comme :

$$\frac{V_n}{V_o} = \left(\frac{H_n}{H_o} \right)^\alpha \quad (8)$$

V_n : vitesse du vent à la nouvelle hauteur.

V_o : vitesse du vent à la hauteur d'origine.

H_n : nouvelle hauteur.

H_o : hauteur d'origine.

∞ : exposant de la loi de puissance.

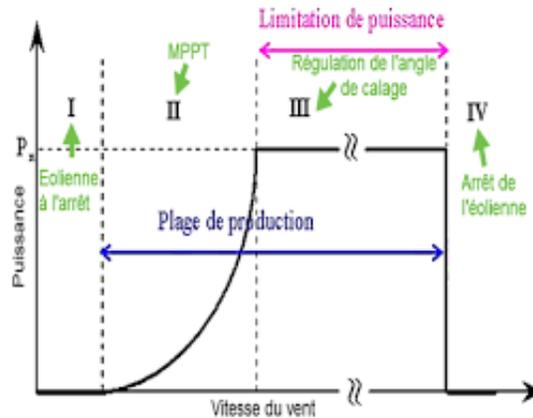


Figure II-2 Caractéristique de vitesse du vent de puissance. [42]

3.3. Modèle de banc de batterie

Le but de la batterie est de fournir de l'énergie électrique en cas de pénurie des centrales électriques (éolienne, photovoltaïque ou générateur). Les paramètres et équations suivants peuvent être utilisés pour décrire l'état de la batterie[43] :

$$SOC(t) = \frac{C_{bat}(t)}{C_{bat\ max}(t)} \quad (8)$$

Où, $(0 \leq SOC \leq 1)$

C_{bat} Représente la capacité de la batterie au temps (t), $C_{bat\ max}$ est la capacité maximale de la batterie. Si $SOC = 1$, alors la batterie est complètement chargée, le $SOC = 0$, cela indique que la batterie est vide.

L'état de charge – SOC.

Capacité nominale Batman.

Les processus de charge et de décharge de la batterie peuvent être calculés à l'aide de l'équation. (8) et (9) respectivement :

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + ((P_{tot}(t) - P_{cha}(t)) + P_{ge}(t)) * \eta_{ac/dc} * \eta_{cha} * \Delta t \quad (9)$$

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + (P_{tot}(t) - P_{cha}(t)) * \Delta t / \eta_{ac/dc} * \eta_{decha} \quad (10)$$

Où, P_{cha} représente la puissance appelée, P_{ge} est la puissance produite par le générateur diesel, η_{decha} est le rendement de la batterie en décharge. L'état de charge est donné selon l'Eq (11) :

$$C_{bat\ min}(t) \leq C_{BAT}(t) \leq C_{bat\ max}(t) \quad (11)$$

3.4. Modèle de générateur diesel

Le générateur diesel est utilisé lorsque la puissance de sortie des modules PV, des éoliennes et des batteries n'est pas suffisante pour répondre aux exigences de la charge. En utilisant les expressions suivantes, la quantité de carburant consommée et son coût peuvent être calculés [44]:

$$C_{dg} = C_f \sum_{t=1}^{t=\frac{365\ \text{journ}}{10\ \text{min}}=52560} F(t) \quad (12)$$

Où C_f est le coût du carburant par litre et $F(t)$ est la quantité de carburant consommée pour chaque heure, et la formule de $F(t)$ est indiquée ci-dessous :

$$F(t) = AP_{dg} + BP_r \quad (13)$$

Où A et B sont respectivement 0,246 l/kWh et 0,0845 l/kWh, P_{dg} est la puissance de sortie du générateur diesel à l'instant t et P_r est la capacité nominale du générateur diesel.

3.5. Onduleur/convertisseur

Des onduleurs ainsi que des convertisseurs sont nécessaires pour équilibrer le flux d'énergie entre les éléments AC et DC. Les onduleurs transfèrent l'énergie électrique du courant continu au courant alternatif et les convertisseurs transfèrent le courant alternatif au courant continu. le nombre d'onduleurs et de convertisseurs requis pour le système hybride hors réseau peut être calculé par les équations suivantes [45]:

$$N_{inv} = \frac{P_l}{P_{inv}} \quad (14)$$

$$N_{conv} = \frac{P_{WT}}{P_{conv}} \quad (15)$$

Où N_{inv} et N_{conv} sont le nombre d'onduleurs et de convertisseurs requis en conséquence. P_1 est la puissance de charge maximale, P_{inv} est la puissance de l'onduleur, P_{WT} est la sortie totale de l'éolienne et P_{conv} est la puissance du convertisseur.

4. Description du site et des données

En raison de la grande superficie et de la diversité climatique, l'Algérie dispose d'un fort potentiel d'énergie solaire en particulier dans la région saharienne (régions du sud), qui convient aux applications de l'énergie solaire comme le photovoltaïque (connecté au réseau, électrification des villages, pompage d'eau.) Énergie Solaire Concentrée (CSE)[46]. Les détails de ce potentiel sont donnés dans le (Figure II-3) et la (Table II-1) :

<i>Table II-1 Potentiel solaire en Algérie.</i>			
Zones	Zone côtière	Hautes plaines	Sahara
Surface (%)	4	10	86
Superficie (km ²)	95.27	238.174	2.048.297
Durée d'ensoleillement quotidienne moyenne (h)	7.26	8.22	9.59
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650
Densité d'énergie solaire journalière (kWh/m ²)	4.66	5.21	7.26
[47]			

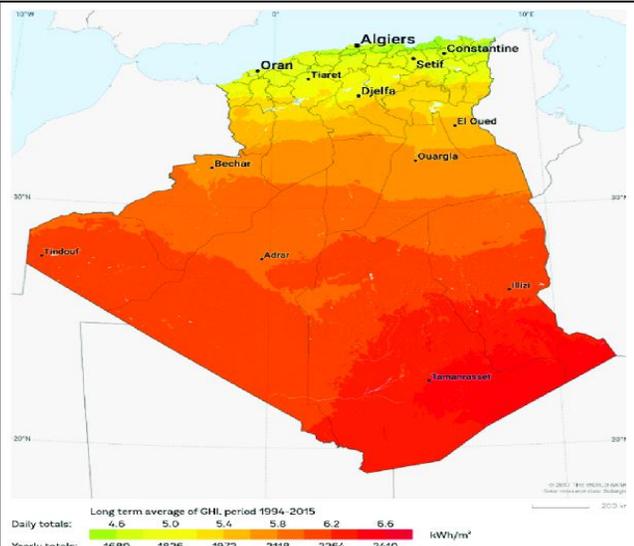


Figure II-3 Irradiation horizontale globale en Algérie.

[48]

La ressource éolienne en Algérie est caractérisée par de grandes variations d'un endroit à l'autre (Figure II-4), 78% de la surface de l'Algérie est caractérisée par des vitesses supérieures à 3 m/s avec environ 40% de ces vitesses dépassant 5 m/s. La région Sud se caractérise par des vitesses plus élevées (plus de 6 m/s) que le Nord, ce qui la rend favorable à l'utilisation de l'énergie éolienne comme les parcs éoliens ou les systèmes hybrides[46].

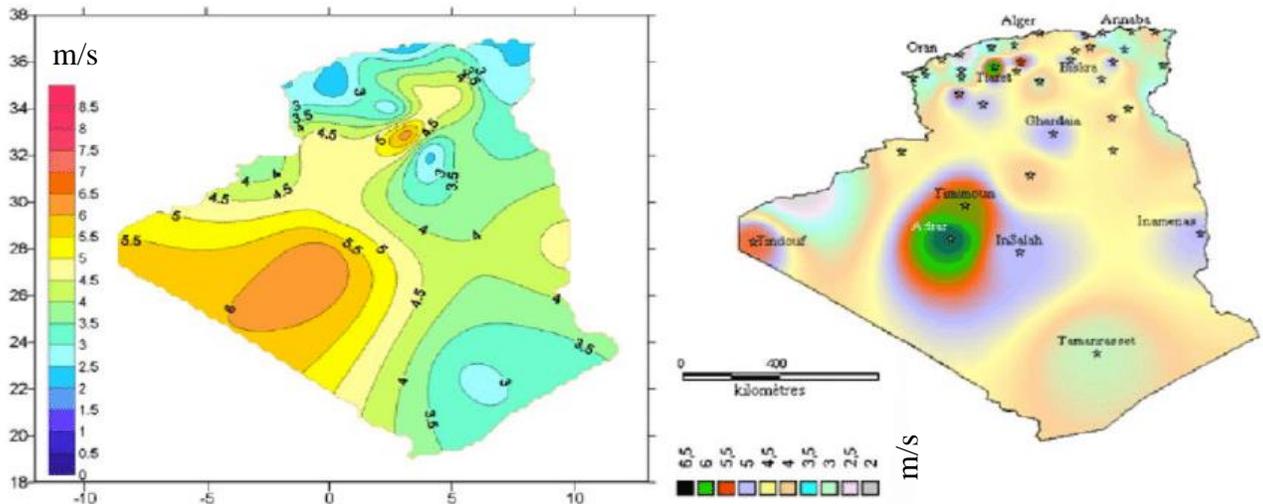


Figure II-4 Cartes de l'énergie éolienne en Algérie. [49].

La région de M'Rara (El Oued) est utilisée comme source d'énergie éolienne et solaire à ($33^{\circ}28,6'N$, $5^{\circ}39,6'E$).



Figure II-5 Localisation de M'Rara (El Oued) par satellite.

5. Profil de charge

Une considération importante de tout système de production d'électricité est les exigences et les caractéristiques de charge, non seulement pour la charge elle-même mais aussi pour l'efficacité et la fiabilité de la transmission d'énergie. Le facteur de charge du projet est important dans le processus de conception.

Modélisation de système hybride (PV/éolienne/DG) avec le logiciel HOMER®

Table II-2 Détails du profil de consommation quotidien. [50]

Time	Réfrigération	Machine à laver	Four électrique	TV LCD	Eclairage économique	Chargeur de téléphone portable	Fer à repasser	L'ordinateur	Climatisation	Réveil	Pompe à eau	Charge AC (Wh/jour)
00 :00	200				12	5			500	6		723
01 :00	200				12	5			500	6		723
02 :00	200				12	5			500	6		723
03 :00	200				12	5			500	6		723
04 :00	200				12	5			500	6	380	1103
05 :00	200				12	5			500	6	380	1103
06 :00	200								500	6	380	1086
07 :00	350		2000	260						6		2616
08 :00	350									6		356
09 :00	350							75		6		431
10 :00	350	3000						75		6		3431
11 :00	350	3000		260				75		6		3691
12 :00	350		2000	260						6		2616
13 :00	350								500	6		856
14 :00	350								500	6		856
15 :00	350								500	6		856
16 :00	350								500	6		856
17 :00	350						1100	75		6		1531
18 :00	350			260		5		75		6		696
19 :00	350		2000	260	60	5				6		2681
20 :00	350		2000	260	60				500	6	370	3546
21 :00	200			260	60				500	6		1026
22 :00	200			260	60	5		75	500	6		1106
23 :00	200			260	60	5		75	500	6		771
Charge totale AC (Wh/jour)												34106

Table II-2 montre la charge quotidienne moyenne, la maison a besoin d'électricité pour fournir l'éclairage et le refroidissement et pour faire fonctionner de nombreux appareils ménagers tels que la télévision LCD, la machine à laver, le four électrique, le chargement de téléphone portable, le fer à lisser, l'ordinateur, la radio, le réveil et pompe à eau La demande totale pour cette maison est de plus de 34 000 wattheures par jour.

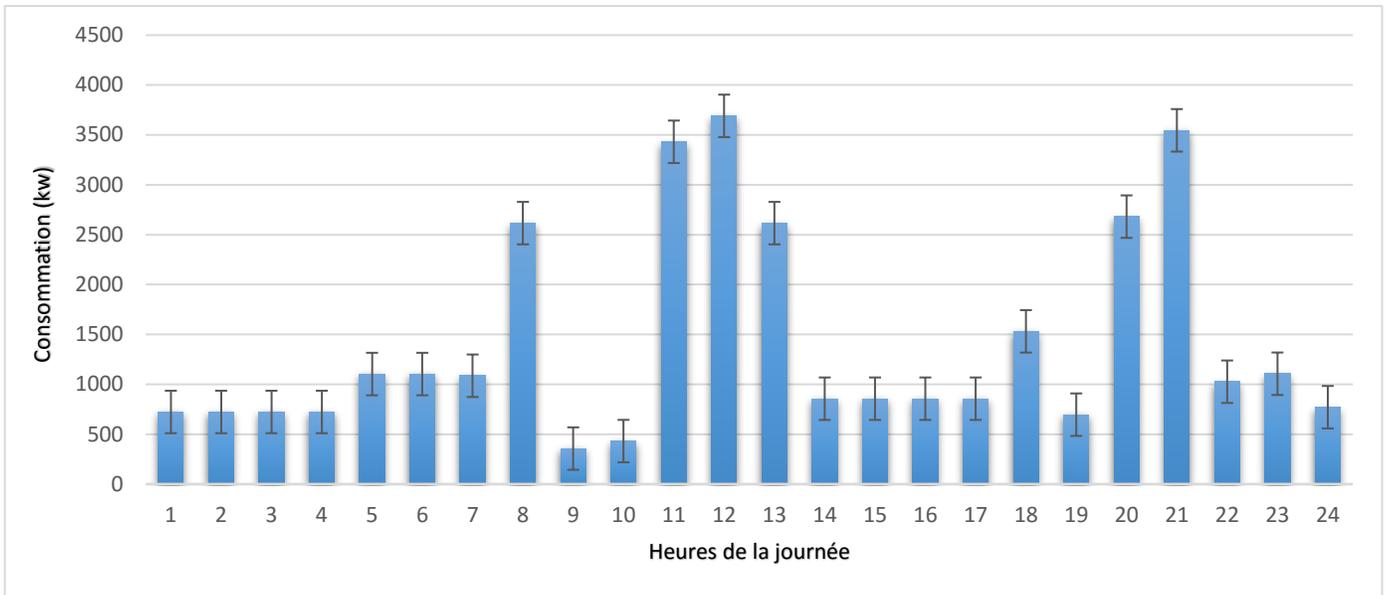


Figure II-6 Profil de chargement quotidien de la maison.

6. La structure électrique du système hybride

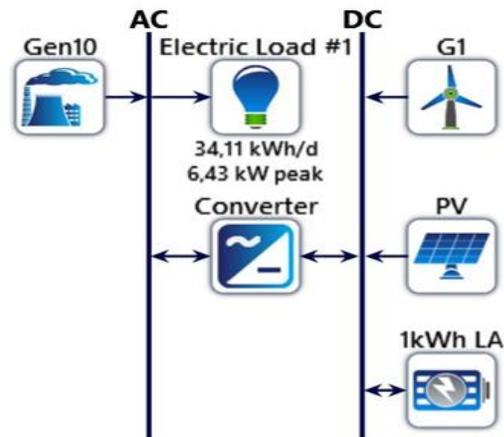


Figure II-7 Schéma du système hybride.

Nous avons choisi un système de production d'électricité hybride renouvelable hors réseau qui comprend des panneaux solaires, des éoliennes, un générateur diesel et un transformateur électrique avec des batteries de stockage, comme indiqué dans le schéma (Figure II-7).

7. Matériels et méthodes

Le logiciel HOMER est un outil d'optimisation utilisé pour simuler plusieurs technologies d'énergies renouvelables. Il évalue le potentiel technico-économique d'une énergie renouvelable particulière en vérifiant si les charges électriques et thermiques peuvent être satisfaites par la technologie proposée. Il évalue également la viabilité économique et l'analyse de sensibilité du projet. Ce logiciel d'optimisation a été largement utilisé pour évaluer plusieurs systèmes énergétiques hybrides précédents dans plusieurs pays. Les données d'entrée pour HOMER comprennent les ressources renouvelables (vitesse du vent et rayonnement solaire), la charge électrique (demande d'énergie), les détails/coûts techniques, entre autres. Le logiciel effectue des centaines ou des milliers de simulations horaires pour permettre une correspondance probable optimale entre la demande et l'offre pour aider à concevoir le meilleur système. La (Figure II-9) montre l'organigramme du logiciel HOMER[43].

La préoccupation commence par l'exigence de charge électrique ou thermique pour les individus, les sociétés, les organisations et les industries selon les besoins. Après cela, les ressources disponibles sur un terrain spécifique sont prises en compte. L'analyse des actifs aide à déterminer la sélection des composants pour le réseau d'énergie hybride. La taille de la pièce peut être ajustée en utilisant différentes méthodes de simulation pour le système énergétique hybride ou en utilisant l'algorithme d'optimisation. HOMER Pro est utilisé comme outil d'optimisation pour cette analyse. Flux de travail dans la (Figure II-8)[51].

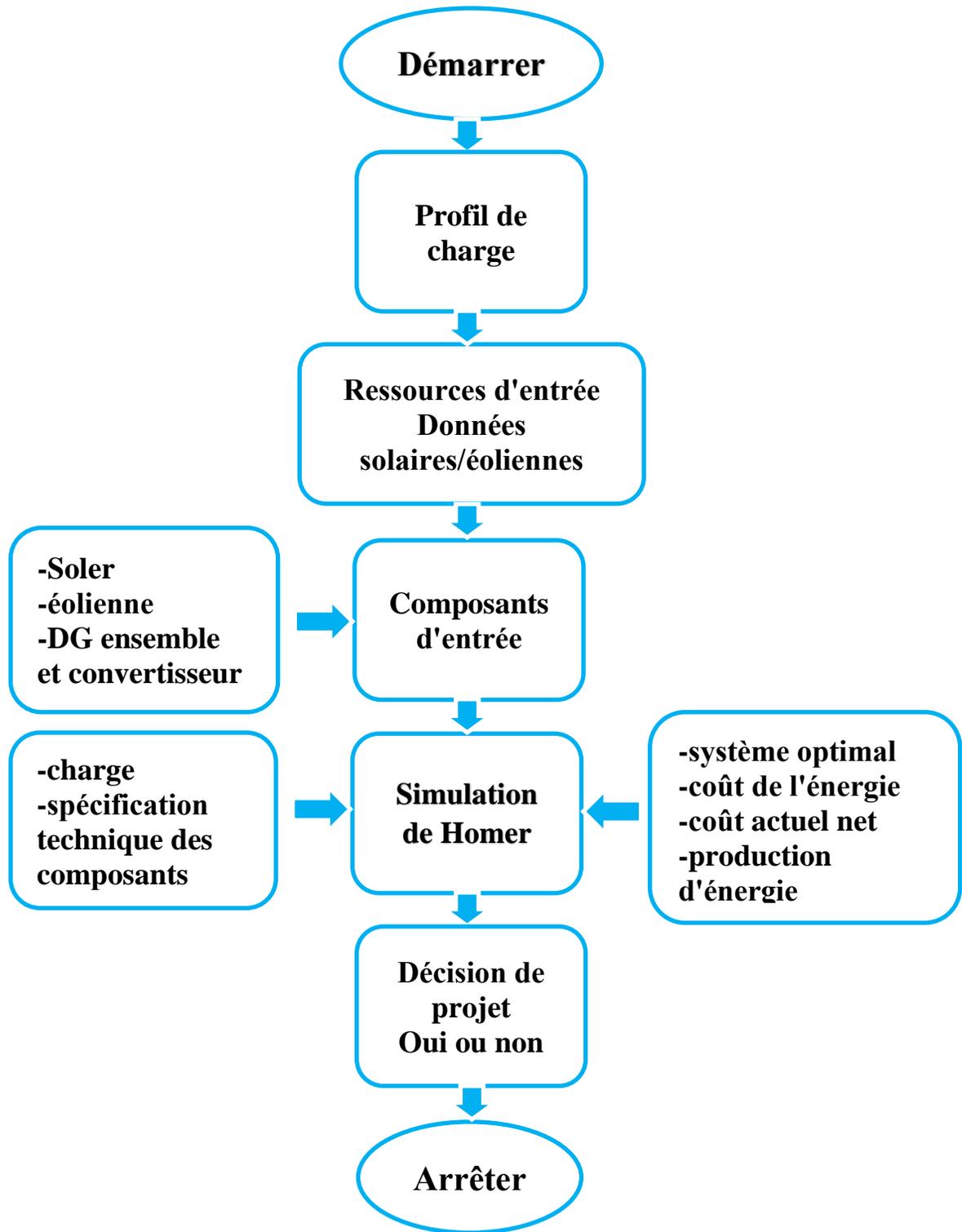


Figure II-8 Flux de travail.

[51]

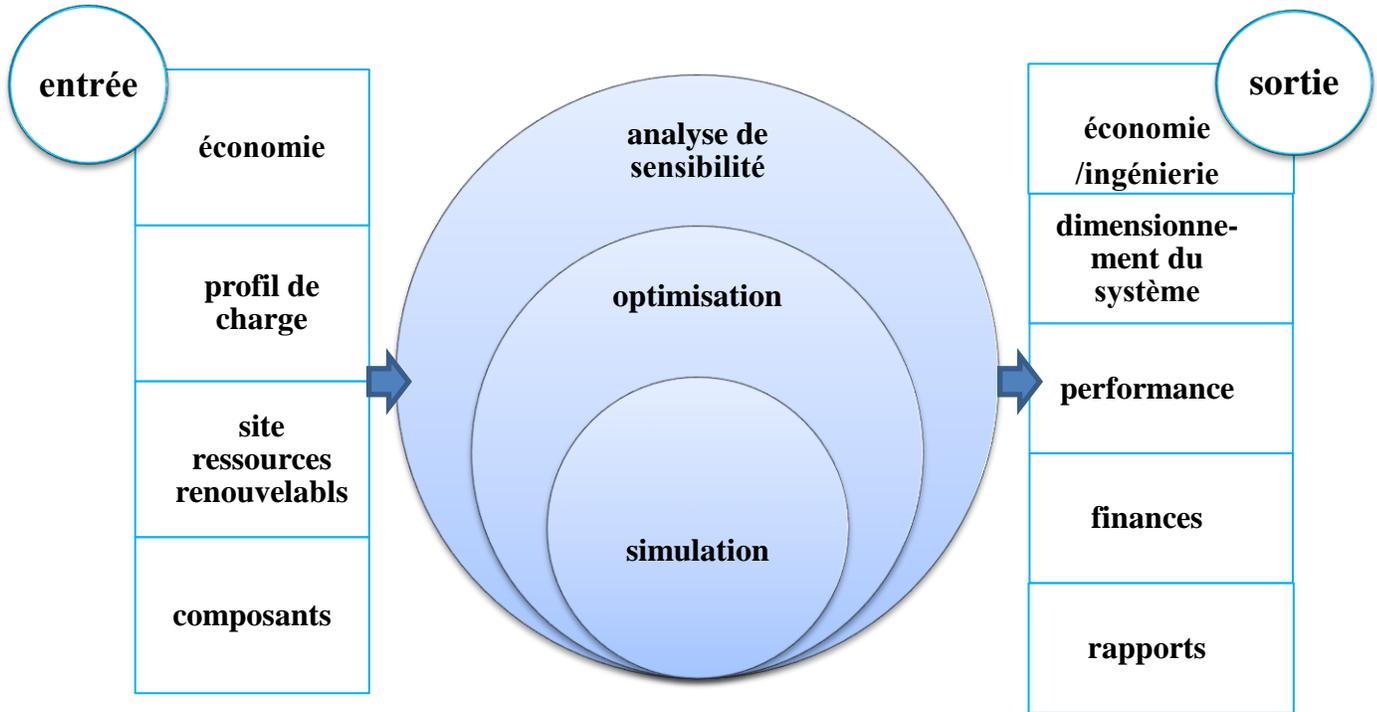


Figure II-9 Organigramme du logiciel HOMER. [43]

8. 43 Interfaces de HOMER Pro

Le logiciel HOMER est simple d'utilisation et son interface est similaire aux logiciels habituels, il dispose donc d'un menu en haut ainsi que d'icônes utilisables sans aller dans les menus. L'interface HOMER peut être considérée comme ayant trois zones importantes (Figure II-10), la zone de définition du système (maison), la zone de définition des ressources (Conception) et la zone de résultats (Résultats).

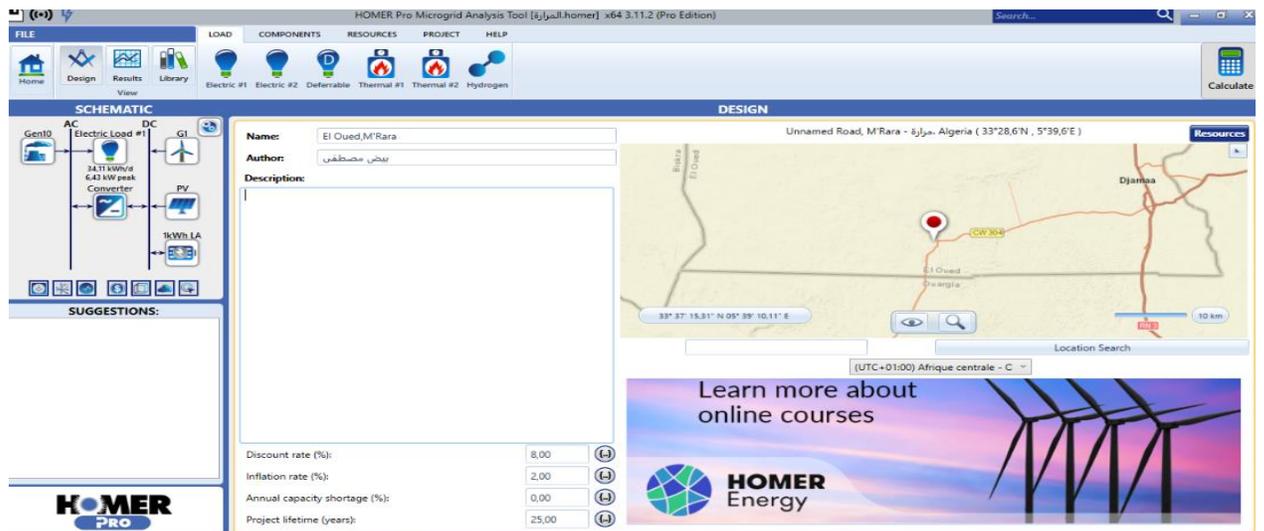


Figure II-10 Interface Homer Pro.

Cette bande contient un ensemble de tâches, de composants de chargement, de ressources de projet et d'instructions.

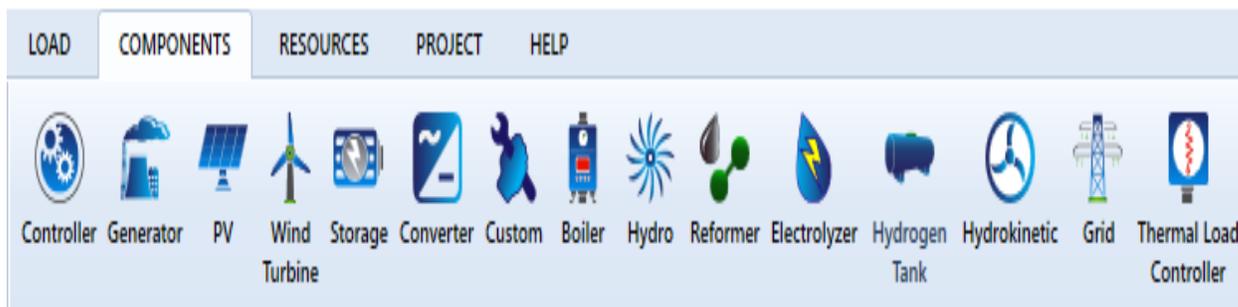


Figure II-11 Composants HOMER.

9. Données sur le rayonnement solaire, la vitesse du vent et la température par le logiciel HOMER®

HOMER possède sa propre base de données éolienne et solaire qui donne des moyennes horaires, quotidiennes, mensuelles et annuelles. Cependant, les ressources éoliennes sont un peu plus compliquées que les ressources solaires en raison de leur incohérence et de leurs variations. Les données de vitesse et de direction du vent d'au moins dix ans de mesures sont nécessaires afin d'avoir une bonne évaluation et estimation des ressources éoliennes (Figure II-14) Affiche les données mensuelles de vitesse moyenne du vent, tandis que (Figure II-12) donne le rayonnement solaire pour un lieu sélectionné, Et tandis que la figure (Figure II-13) montre la température moyenne quotidienne (°C).

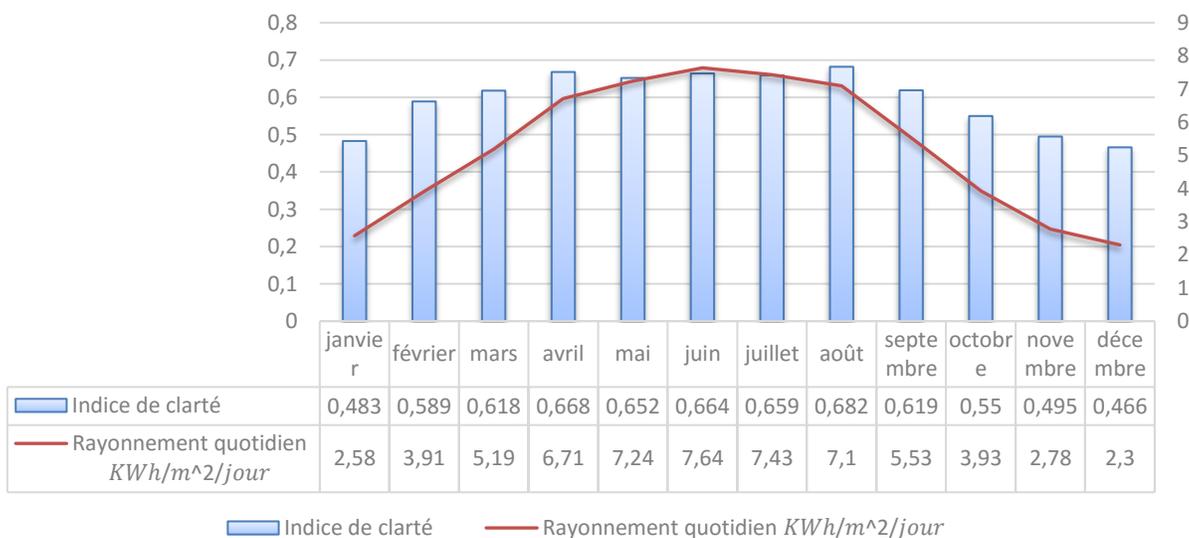


Figure II-12 Profil annuel typique du rayonnement solaire. [52]

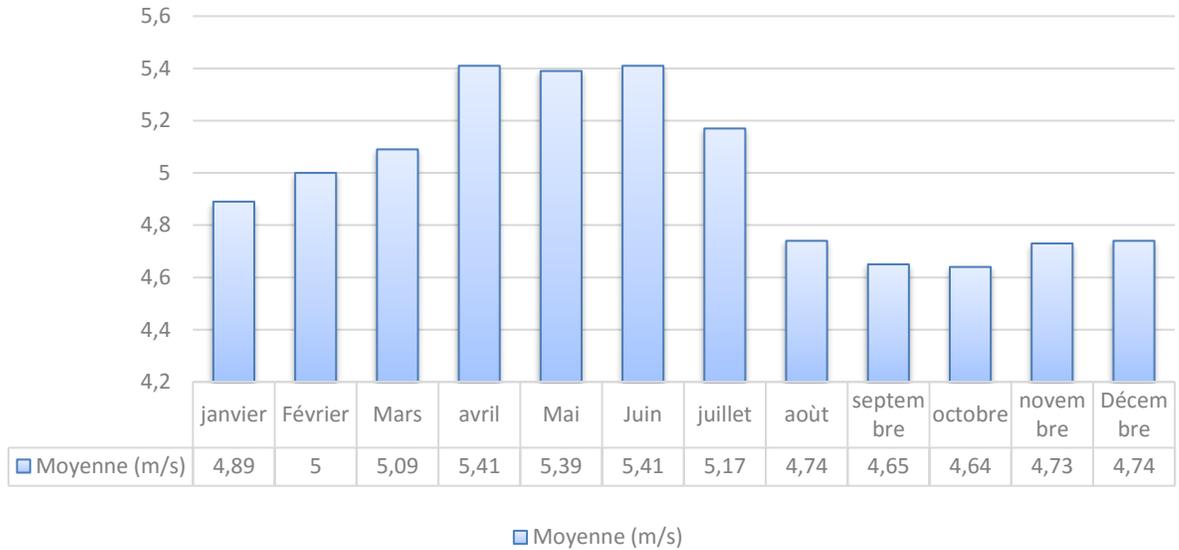


Figure II-13 Données de vitesse moyenne mensuelle du vent. [53]

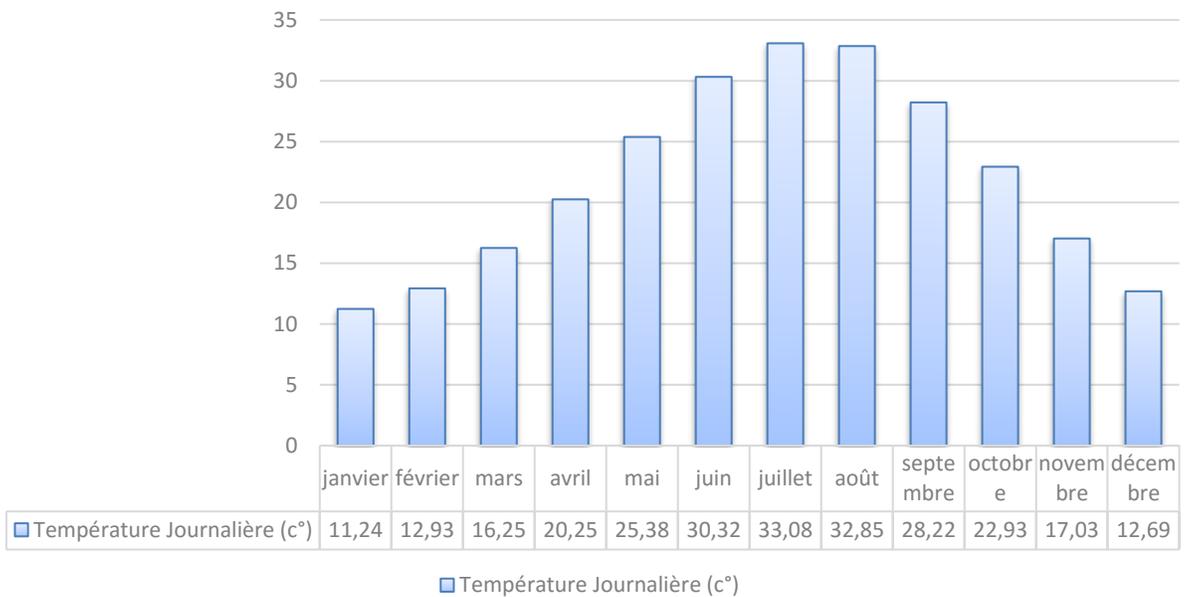


Figure II-14 Température moyenne quotidienne (c°). [54]

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons déterminé la forme du système et de ses composants en fonction des besoins de la recherche et de ses objectifs en modélisant tous ses composants au moyen des équations mathématiques qui les décrivent, puis nous avons déterminé la zone d'étude géographiquement et préparé tous les intrants dont nous avons besoin dans l'étude (demande d'énergie, vitesse du vent et rayonnement solaire...) qui concernent la région, puis nous avons défini le programme Homer et son plan de travail.

chapitre III:
**Résultats et
discussion**

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons discuter des résultats obtenus par deux systèmes, le premier est un système hybride hors réseau (un système hybride de générateur photovoltaïque / éolien / diesel avec des batteries de stockage indépendantes), et le second système hors réseau est représenté dans les générateurs diesel. Seulement, à partir de ces résultats, nous choisirons le meilleur Un résultat approprié pour fournir l'amortissement nécessaire pour une maison individuelle à M'Rara (El Oued)., nous avons calculé ces résultats par le code HOMER® pour le programme de simulation de micro-réseau ; Qui sélectionne les meilleurs modèles et options pour la technologie appropriée en fonction des coûts, des économies d'énergie et de la fiabilité.

Nous analysons et simulons le fonctionnement du système avec HOMER® en fonction des composants choisis par le concepteur. Dans ce processus, HOMER® effectuera le calcul du bilan énergétique basé sur la configuration du système composé de plusieurs nombres et tailles de composants. Dans ce cas de notre étude : système de panneaux photovoltaïques, éolienne, générateur diesel avec batterie et convertisseur sont les composants choisis pour l'analyse.

1. Système hybride (PV/ éolienne/ DG) avec stockage de batteries

1.1. Interprétation des résultats de simulation

Après avoir sélectionné les composants du système d'alimentation hybride (PV, éoliennes et générateur diesel avec batteries de stockage), la simulation du programme HOMER® nous a donné le nombre et la quantité de la puissance électrique pour chaque limite. Comme indiqué dans le tableau suivant :

Table III-1 L'architecture système optimale.

Composant	Nom	Taille	Unité
Générateur	Groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW	10,0	KW
PV	Plaque plate générique PV	8,75	KW
Stockage	Plomb Acide Générique 1kWh	43	Strings
Éolienne	Générique 1 kW	1	ea.
Convertisseur de système	Convertisseur de système	5,83	KW
Stratégie d'expédition	Suivi de charge HOMER		

Résultats et discussion

c. Discussion sur l'aspect économique

Les questions transversales de coût et de fiabilité sont les questions les plus importantes dans l'esprit des responsables des services technologiques, où le coût économique joue un rôle important dans la sélection et l'évaluation de ce projet.

Comme nous notons que le système des proverbes hybrides en terme économique est techniquement analysé à travers les résultats obtenus pour concevoir le modèle de système hybride à une maison hors réseau.

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

Coût total estimé : le plus petit coût (CNP) est de (97 067 €) (15759677,75692DZD) avec une valeur (capital initial) de (48 525 €) (7878458,829DZD), ce qui justifie en fait cette position du côté du classement et du choix.

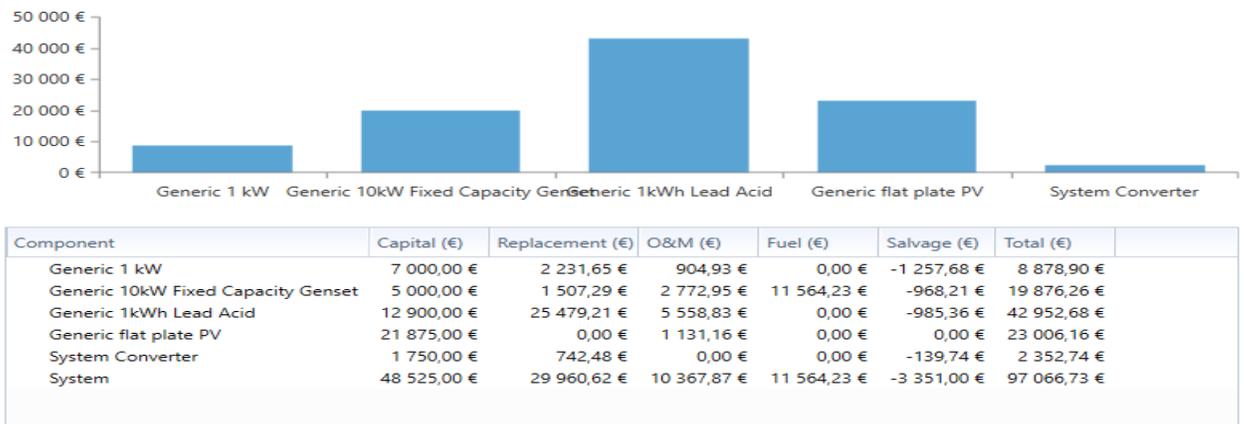


Figure III-1 Température moyenne quotidienne (c°).

Le coût total estimé sur 25 ans de travaux à tous les coûts du projet (Capital, Remplacement, O&E, Récupération) est de 97 067 € (15759677,75692DZD) avec un coût actualisé de l'énergie de 0,209 €/KWh. Les résultats ont été répartis comme suit :

Table III-2 Coûts actuels nets (25 ans).

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 1 kW	7 000 €	904,93 €	2 232 €	-1 258 €	0,00 €	8 879 €
Generic 10kW Fixed Capacity Genset	5 000 €	2 773 €	1 507 €	-968,21 €	11 564 €	19 876 €
Generic 1kWh Lead Acid	12 900 €	5 559 €	25 479 €	-985,36 €	0,00 €	42 953 €

Résultats et discussion

Generic flat plate PV	21 875 €	1 131 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	23 006 €
System Converter	1 750 €	0,00 €	742,48 €	-139,74 €	0,00 €	2 353 €
System	48 525 €	10 368 €	29 961 €	-3 351 €	11 564 €	97 067 €

Ce tableau montre que le coût total du projet pendant 25 ans était de 97 067 € sur la base de (Capital) de 48 525 € (7878458,829DZD) suivi de (Remplacement) de 29 961 € (4864430,80836DZD) après (O&E) de 10 368 € (1683335,62368DZD) et (Salvage) de -3 351 € (-544064,20476DZD).

Table III-3 Coûts annualisés.

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 1 kW	541,48 €	70,00 €	172,63 €	-97,29 €	0,00 €	686,82 €
Generic 10kW Fixed Capacity Genset	386,77 €	214,50 €	116,60 €	-74,90 €	894,54 €	1 538 €
Generic 1kWh Lead Acid	997,87 €	430,00 €	1 971 €	-76,22 €	0,00 €	3 323 €
Generic flat plate PV	1 692 €	87,50 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1 780 €
System Converter	135,37 €	0,00 €	57,43 €	-10,81 €	0,00 €	181,99 €
System	3 754 €	802,00 €	2 318 €	-259,21 €	894,54 €	7 509 €

Le coût total estimé sur un an de travaux à tous les coûts du projet : (Capital, Remplacement, O&E, Récupération) est de 7 509 € (1219151,92884DZD) avec coût actualisé énergie 0,603 €/kWh (97,90233228DZD/KWh).

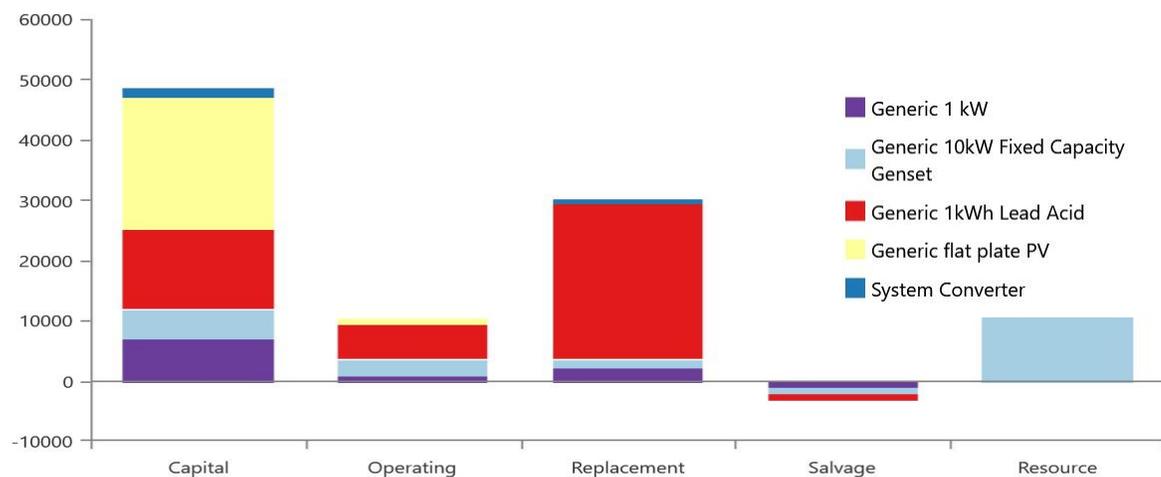


Figure III-2 récapitulatif des coûts du système hybride pendant 25 ans.

Résultats et discussion

=Nous avons utilisé l'équipement près de 25 ans ; et nous avons constaté que le projet n'a pas complètement changé tous les composants comme nous l'avions prévu au début du projet. Hormis quelques petites pièces tous les 5 ans environ comme les batteries qui ne gardent pas leur efficacité plus de 5 ans, quelques autres petits équipements comme le câblage électrique et certains entretiens sur générateur diesel...etc.

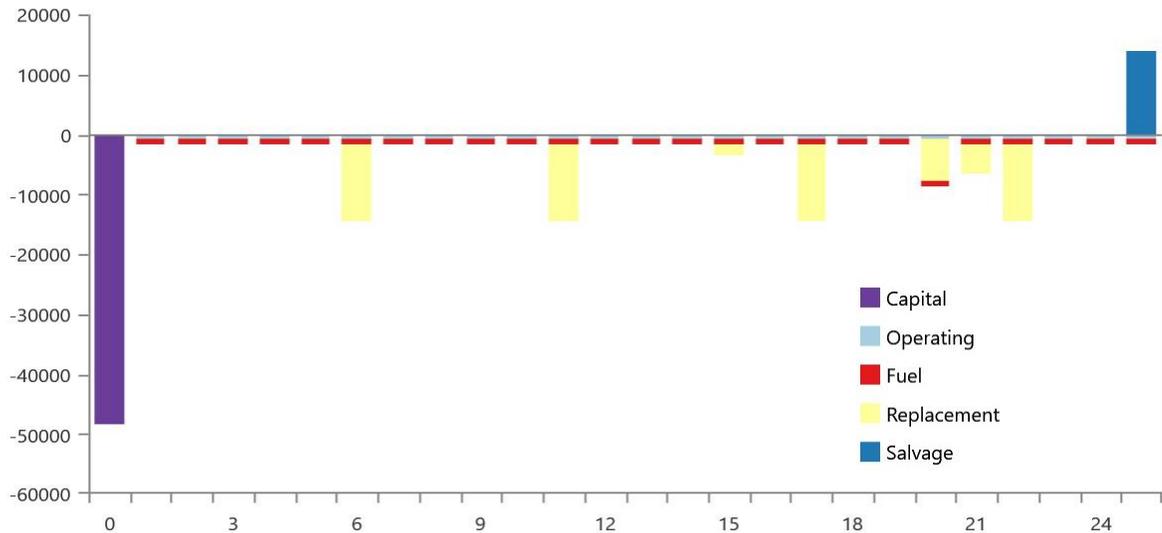


Figure III-3 résumé des opérations et des remplacements tout au long de la durée de vie du système.

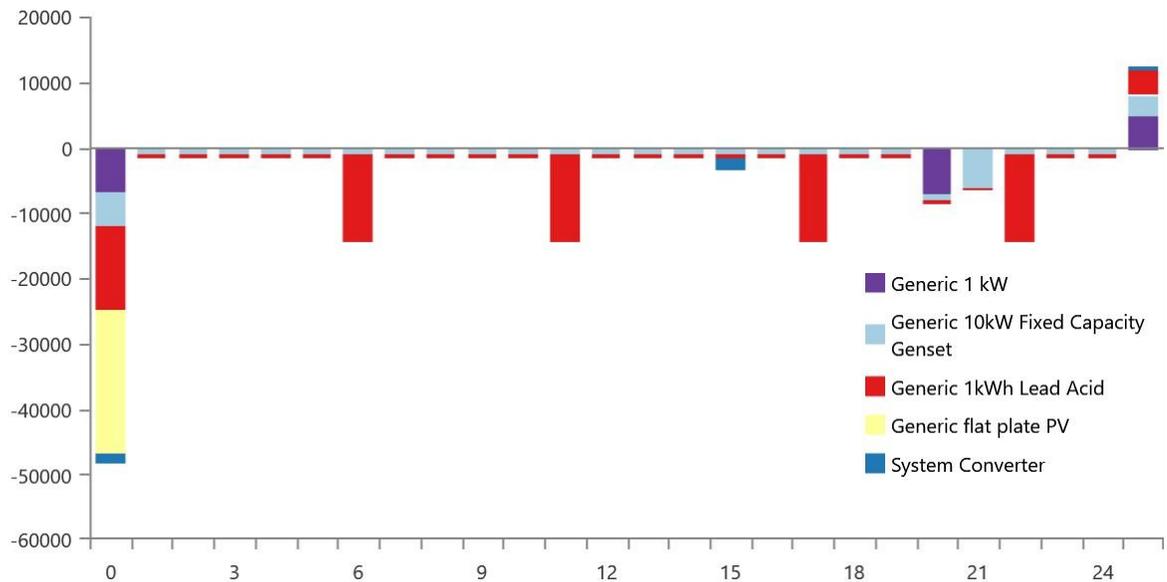


Figure III-4 Résumé des appareils de remplacement.

Résultats et discussion

Remarqué que le coût le plus important du projet était au début (coût en capital). Certains changements se sont produits régulièrement au cours des 25 années du projet, ces changements comprenant :

- Coûts d'exploitation et d'entretien légers du générateur diesel et fraction des batteries chaque année pendant la période du projet.
- Changer les piles tous les 5 ans.
- Changer de convertisseur tous les 15 ans.
- Changer d'éolienne après 20 ans.

A la fin du projet, les éoliennes, les batteries et le convertisseur ont gagné comme bénéfice de ce projet (sauvetage).

d. Sortie électrique du système

Par contre, quand on parle de résultats électriques, on constate que le taux de production de cette énergie, qui a été obtenu par : (PV, éolienne, DG, avec banc de batteries) se répartit comme suit :

Table III-4 Production, consommation et quantité de système PV-éolien-DG.

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	14 440	84,5
Generic 10kW Fixed Capacity Genest	1 928	11,3
Generic 1 kW	731	4,27
Total	17 098	100
Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	12 449	100
DC Primary Load	0	0
Total	12 449	100
Quantité	Value(kWh/yr)	Percent
Excess Electricity	2 628	15,4
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Remarqué que la quantité d'énergie produite par le système hybride est (17 098kWh/an) divisée en :

- ✚ Le PV a produit la plus grande quantité qui est (14 440 KWh/an) avec 84,5%.
- ✚ Éolienne produite (731KWh/an) avec 4,27%.
- ✚ Groupe électrogène diesel produit (1 928KWh/an) avec 11,3%.

Résultats et discussion

Remarqué que l'énergie électrique totale produite est (17 098 kWh/an) consommée comme suit :

- ✚ La maison consommant (12 449KWh/an).
- ✚ La quantité restante qui est (4649KWh/an), utilisée dans d'autres services (irrigation).

Noter

La surcharge de la production électrique dans notre étude (Excès Electricité) est causée par le générateur diesel produit (10 KWh). Ceci est dû à l'absence d'un groupe électrogène diesel (5 KWh) dans les options du programme HOMER® (5 KWh suffisent pour le système).

Lorsque la hauteur des chiffres suivants montre la production électrique pour chacun des (PV, éolienne et générateur diesel) au cours des mois de l'année, nous disons que la plus grande valeur de la production sera en avril, jusqu'à environ (2,12 KWh), et la valeur la plus basse en décembre environ (1,1 KWh) Cette baisse est due au changement du rayonnement solaire au cours de l'année dans la région de M'Rara.

Ces différences dans la production électrique du système hybride font qu'en avril nous avons une production électrique maximale en générateur d'éolienne, et en décembre nous avons une production électrique minimale par système PV.

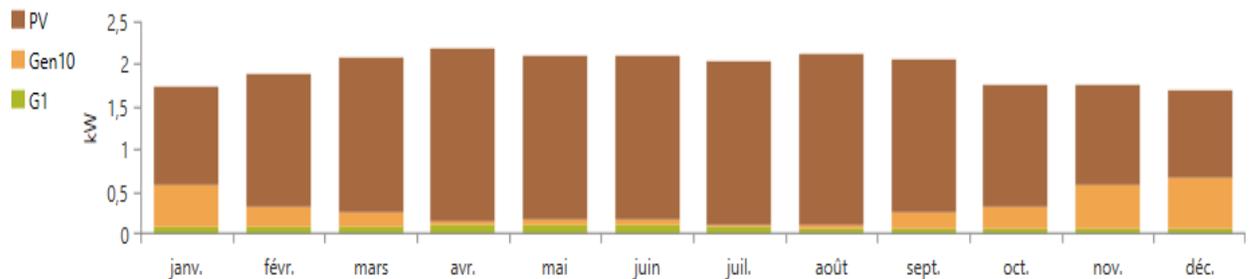


Figure III-5 Énergie mensuelle totale produite par le système hybride pendant un an.

1.2. Plaque plate générique (PV)

La production d'électricité commence après le lever du soleil. En hiver et en automne, le lever du soleil se situe entre (6 :00h/7 :30h) Dans cette période, la puissance électrique a des valeurs différentes. Au printemps et en été, le lever du soleil se situe entre (4 :30h /6 :00h). La production est également variable.

Une faible énergie électrique est produite au début du lever du soleil vers 5 :00 h à 7 :30h avec une valeur différente (0,45 KW) jusqu'à (1,36 KW), puis la production est augmentée de 9h30 à

Résultats et discussion

12h00 pour atteindre le maximum valeur (5, 26 KW), et à partir de 14h00 jusqu'au coucher du soleil la faible production diminue progressivement.

Table III-5 Récapitulatif d'électricité PV à plaque plate générique.

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	9,00	kW
PV Penetration	116	%
Hours of Operation	4 350	hrs/yr.
Levelized Cost	0,123	€/kWh

Table III-6 Platine générique PV Statistiques.

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	8,75	kW
Mean Output	1,65	kW
Mean Output	39,6	kWh/d
Capacity Factor	18,8	%
Total Production	14 440	kWh/yr

1.3. Éolienne (Générique 1KW)

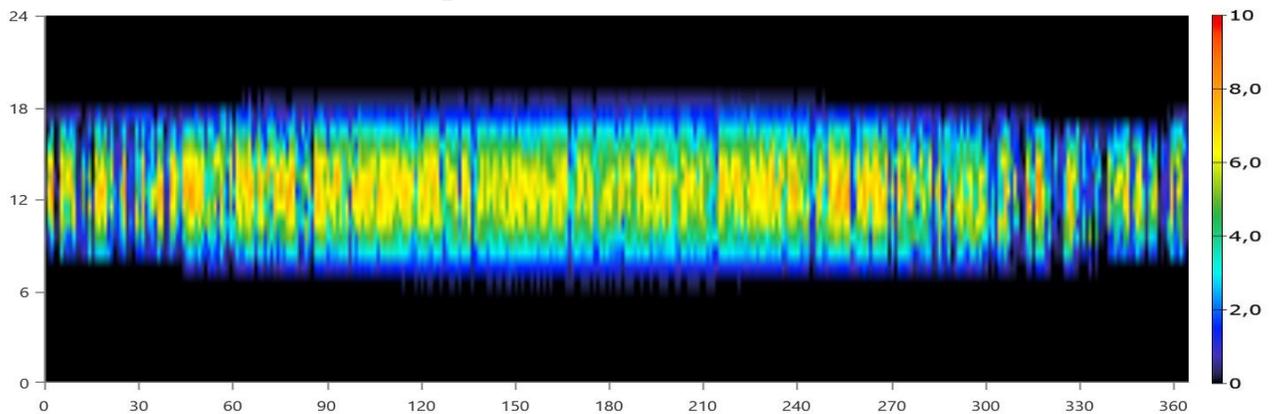


Figure III-6 Énergie quotidienne totale produite par le PV pendant un an.

Les éoliennes produisent moins d'électricité en hiver qu'en d'autres saisons. La disponibilité de l'énergie éolienne est limitée de (18h00 à 6h00). Pendant cette période, la production varie de (0 à 1 kWh). Alors que nous enregistrons la plus grande capacité de production dans les mois d'avril, mai et juin (environ 0,87 kilowatts) dans la période d'exploitation s'élève à (7651 heures / an).

Résultats et discussion

Table III-7 Résumé électrique générique 1 kW.

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1,00	kW
Wind Penetration	5,87	%
Hours of Operation	6 026	hrs/yr
Levelized Cost	0,940	€/kWh

Table III-8 Statistiques génériques 1 kW.

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	1,00	kW
Mean Output	0,0834	kW
Capacity Factor	8,34	%
Total Production	731	kWh/yr

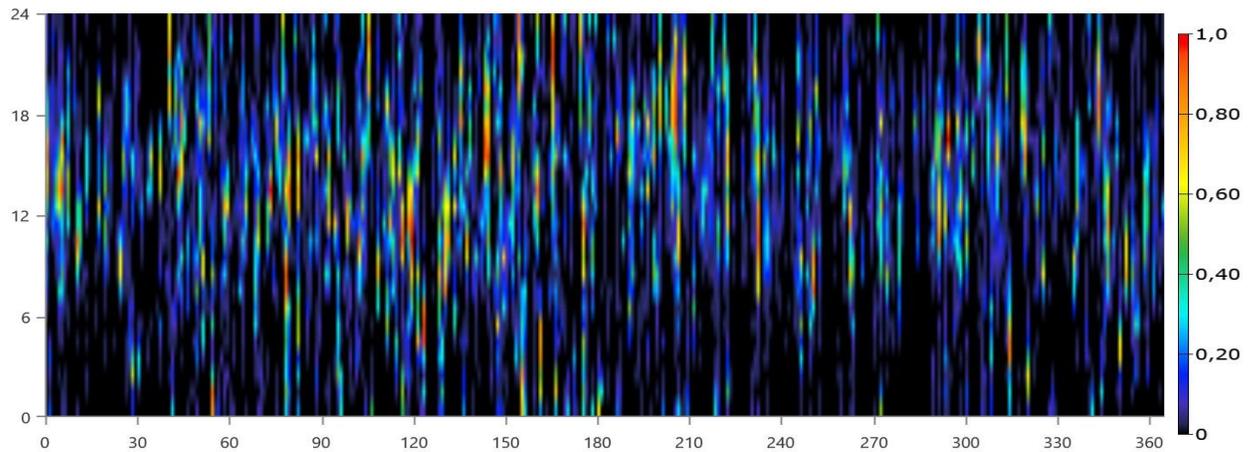


Figure III-7 Énergie quotidienne totale produite par le WT pendant un an.

Batteries de stockage (Plomb Acide 1Kwh)

La batterie est un élément important et fondamental de ce système en économisant l'énergie électrique. Les batteries sont utilisées en permanence pendant toute la journée. Son niveau de charge est compris entre 40 et 100% durant les jours de l'année (2313 et 1855 KWh/an).

Table III-9 Propriétés génériques de l'acide de plomb 1kWh.

Quantity	Value	Units
Batteries	43,0	qty.
String Size	1,00	batteries
Strings in Parallel	43,0	strings
Bus Voltage	12,0	V

Résultats et discussion

Table III-10 Données de résultat d'acide de plomb générique 1kWh.

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	€/kWh
Energy In	7 173	kWh/yr
Energy Out	5 761	kWh/yr
Storage Depletion	25,3	kWh/yr
Losses	1 437	kWh/yr
Annual Throughput	6 441	kWh/yr

Table III-11 Statistiques génériques sur l'acide de plomb 1kWh.

Quantity	Value	Units
Autonomy	18,2	hr
Storage Wear Cost	0,419	€/kWh
Nominal Capacity	43,0	kWh
Usable Nominal Capacity	25,8	kWh
Lifetime Throughput	34 400	kWh
Expected Life	5,34	yr

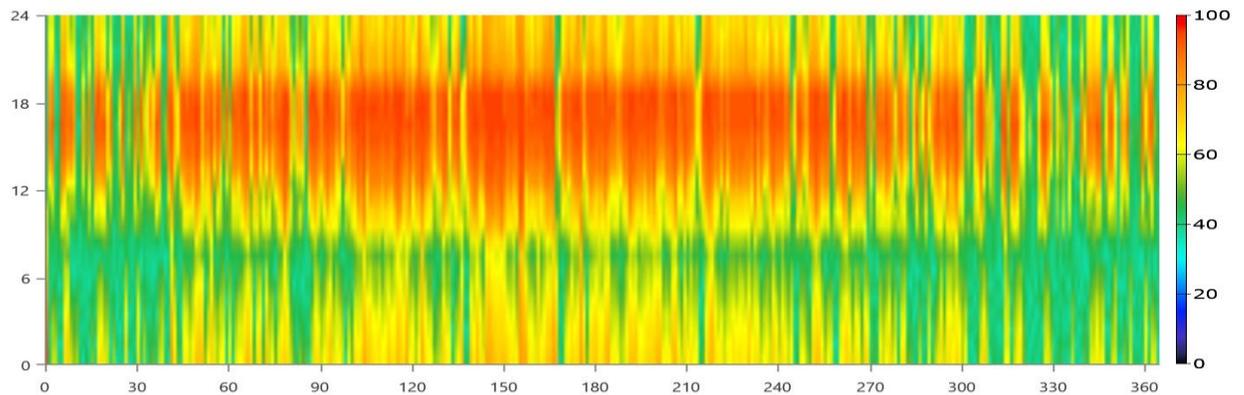


Figure III-8 Etat de charge pendant un an.

Résultats et discussion

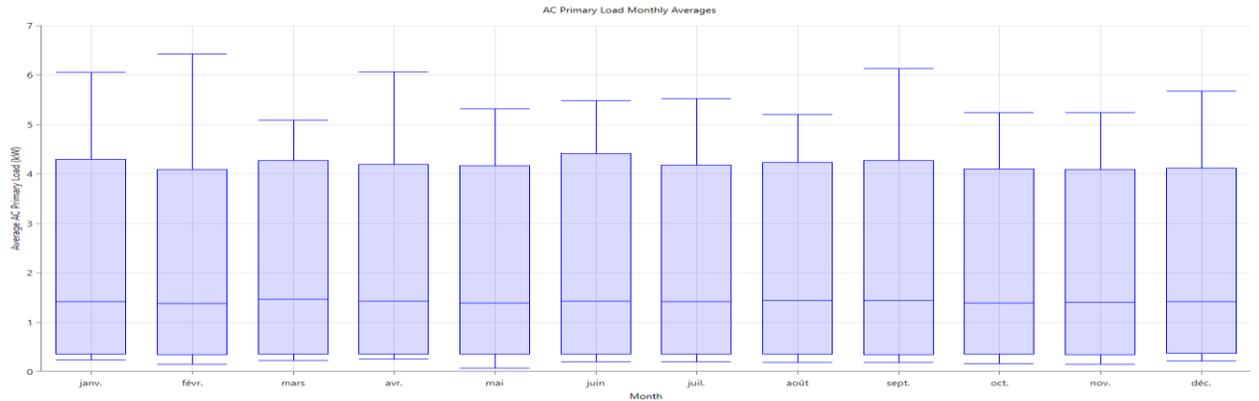


Figure III-9 Charge de la batterie pendant un an.

Il est utilisé comme élément essentiel fondamental pour la génération d'énergie et ce à cause du manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'une part et du diesel moine d'autre part pour diverses raisons, la difficulté du lien avec cette région reculée de production de carburant domaines. Et donc, c'est le plus important et le seul projet de loi dans la poursuite des travaux et l'avancement du projet.

1.4. Générateur diesel

Une analyse de la puissance électrique du générateur diesel a été enregistrée tout au long de l'année, qui fonctionne en parallèle avec les batteries de stockage. Les périodes de travail du générateur sont de (6h00-8h00), (10h00-12h00) et (18h00-22h00) ce qui est similaire pendant les mois de l'année avec un total de (1422h) par an.

La puissance maximale produite par le générateur est estimée à (5,79Kwh), à la période de 19h00 à 21h00.

Table III-12 Résumé électrique du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Electrical Production	1 928	kWh/yr
Mean Electrical Output	2,70	kW
Minimum Electrical Output	2,50	kW
Maximum Electrical Output	6,07	kW

Table III-13 Résumé du carburant générique du groupe électrogène à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	895	L
Specific Fuel Consumption	0,464	L/kWh
Fuel Energy Input	8 802	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	21,9	%

Résultats et discussion

Table III-14 Statistiques du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	715	hrs/yr
Number of Starts	541	starts/yr
Operational Life	21,0	yr
Capacity Factor	2,20	%
Fixed Generation Cost	1,11	€/hr
Marginal Generation Cost	0,286	€/kWh

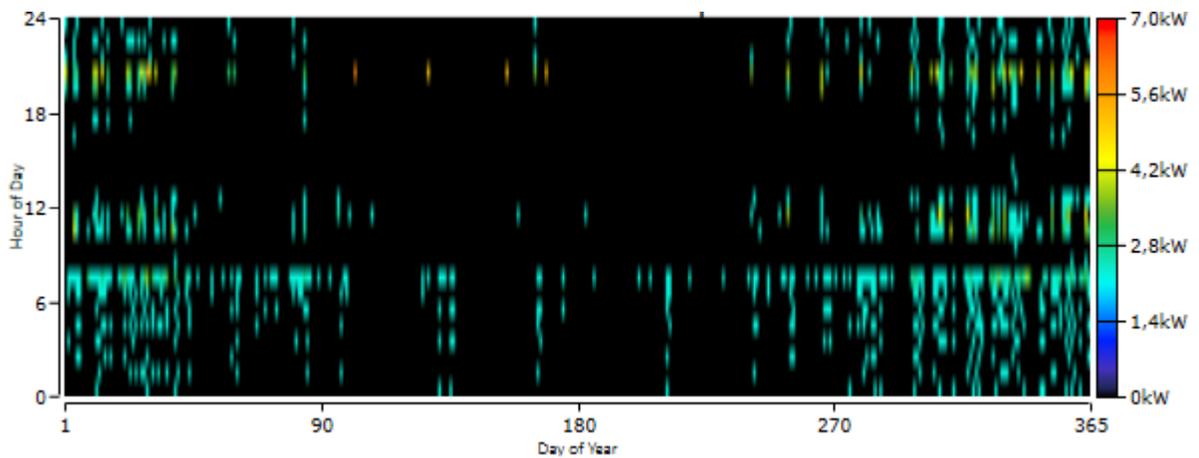


Figure III-10 Puissance fixe du groupe électrogène (KW).

2. Système de générateur diesel hors réseau

2.1. Interprétation des résultats simulation

Après avoir choisi un groupe électrogène diesel qui produit (10 kWh). Nous avons enregistré les résultats de la simulation avec HOMER® et la grandeur électrique de sortie.

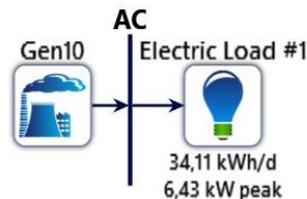


Figure III-11 Installation électrique du système autonome DG.

Table III-15 Architecture du système.

Component	Name	Size	Unit
Generator	Generic 10kW Fixed Capacity Genset	10,0	kW

Résultats et discussion

a. Discussion sur l'aspect économique

A noter que ce système a été techniquement analysé à travers les résultats obtenus auprès d'une Maison hors réseau, et afin d'évaluer économiquement ce projet, nous étudions les coûts de ce projet, et les résultats sont les suivants :

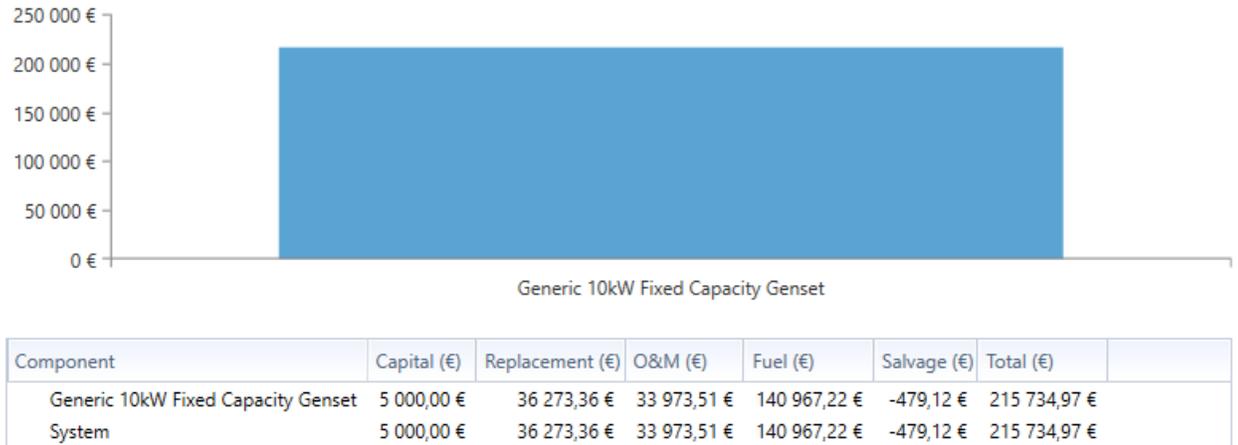


Figure III-12 Résumé des coûts.

Ce tableau montre que le coût total du projet pendant 25 ans était de 215 735 € (35026467,0886DZD) basé sur (Capital) de 5 000 € (811793,8DZD) suivi de (Remplacement) de 36 273 € (5889239,30148DZD) après (O&E) de 33 974 € (5515976,51224DZD) et (Salvage) de -479,12 € (-77789,3290912DZD).

Le résultat a été réparti comme suit :

Table III-16 Coûts actuels nets.

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10kW Fixed Capacity Genset	5 000 €	33 974 €	36 273 €	-479,12 €	140 967 €	215 735 €
System	5 000 €	33 974 €	36 273 €	-479,12 €	140 967 €	215 735 €

Table III-17 Coûts annualisés.

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10kW Fixed Capacity Genset	386,77 €	2 628 €	2 806 €	-37,06 €	10 904 €	16 688 €
System	386,77 €	2 628 €	2 806 €	-37,06 €	10 904 €	16 688 €

Résultats et discussion

Nous avons remarqué que le coût le plus bas du projet était au début du projet, au début nous avons remarqué une énorme quantité de réparations, et la consommation de carburant a considérablement augmenté avec les changements et les variétés au cours des 25 années.

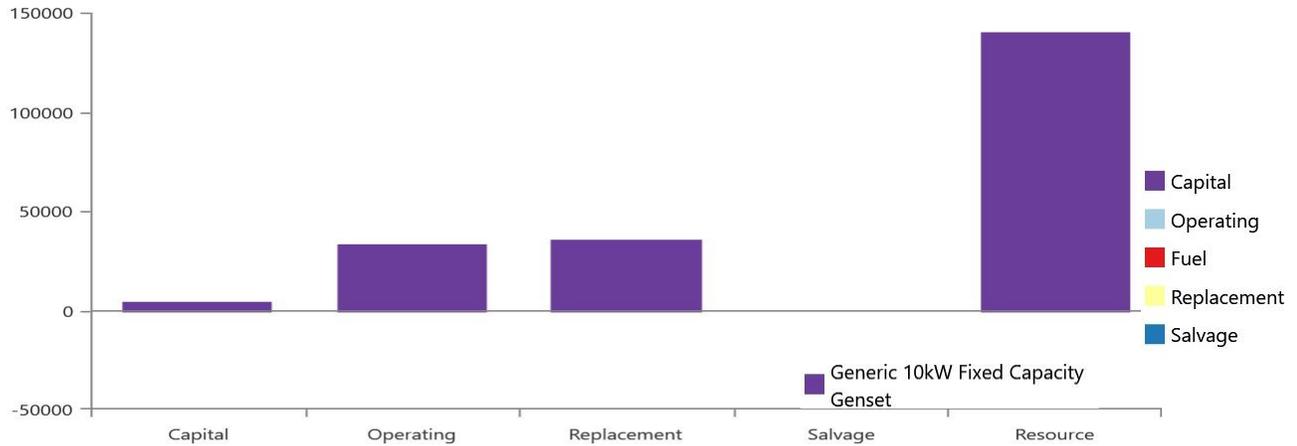


Figure III-14 Résumé des coûts pour le système autonome.

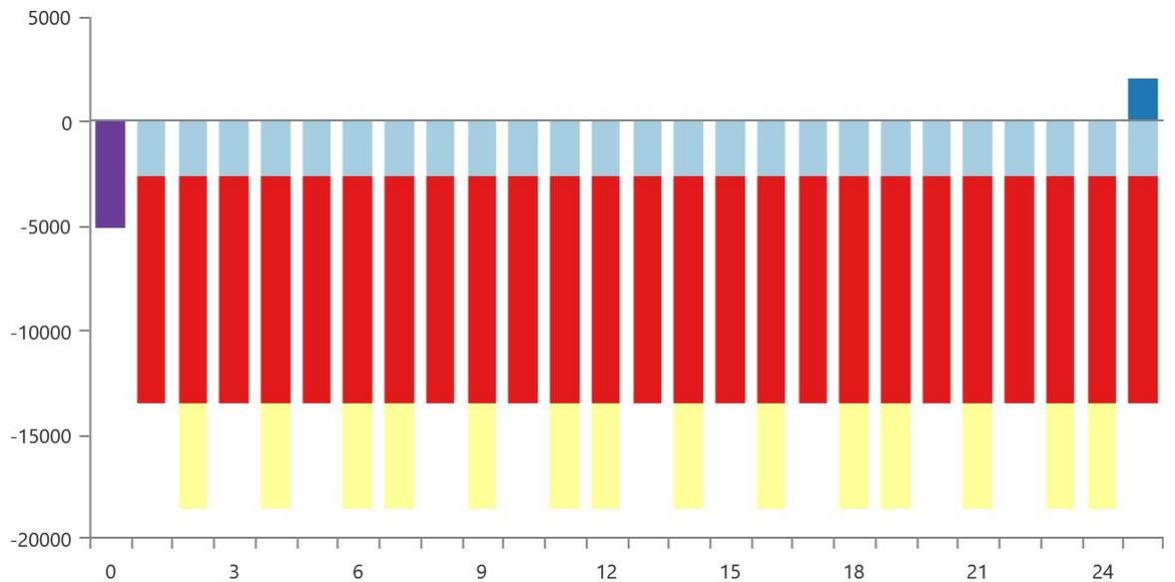


Figure III-13 Résumé de l'exploitation et de l'entretien et des remplacements tout au long de la durée de vie du système de générateur diesel.

b. Sortie électrique du système

D'autre part, nous avons constaté que le taux de puissance électrique produite par le générateur Diesel se répartit comme suit :

Résultats et discussion

❖ Résumé électrique

Table III-18 Excédent et non satisfait.

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	10 977	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

Table III-19 Résumé de la production.

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic 10kW Fixed Capacity Genset	23 425	100
Total	23 425	100

Table III-20 Résumé de la consommation.

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	12 449	100
DC Primary Load	0	0
Total	12 449	100

❖ Générateur : Groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW (Diesel)

Table III-21 Résumé électrique du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Electrical Production	23 425	kWh/yr
Mean Electrical Output	2,67	kW
Minimum Electrical Output	2,50	kW
Maximum Electrical Output	6,43	kW

Table III-22 Résumé du carburant générique du groupe électrogène à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	10 904	L
Specific Fuel Consumption	0,465	L/kWh
Fuel Energy Input	107 300	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	21,8	%

Table III-23 Statistiques du groupe électrogène générique à capacité fixe de 10 kW.

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	8 760	hrs/yr
Number of Starts	1,00	starts/yr
Operational Life	1,71	Yr
Capacity Factor	26,7	%
Fixed Generation Cost	1,11	€/hr
Marginal Generation Cost	0,286	€/kWh

Résultats et discussion

Nous remarquons que la quantité d'énergie produite par le système de générateur diesel est (23 425Kwh), (12 449KWh) est consommée et (10976KWh) est le surplus de production restant.

- La valeur minimale produite par le générateur est (2,50KWh) et la valeur maximale produite par le générateur est (6,43Kwh).

L'image montre les périodes de travail du générateur ; à partir de (6 :00 h -8 :00 h), (10 :00 h - 12 :00 h) et (18 :00 h -22 :00 h), ce qui est le même pendant les mois de l'année avec un total de (8760 h) par an.

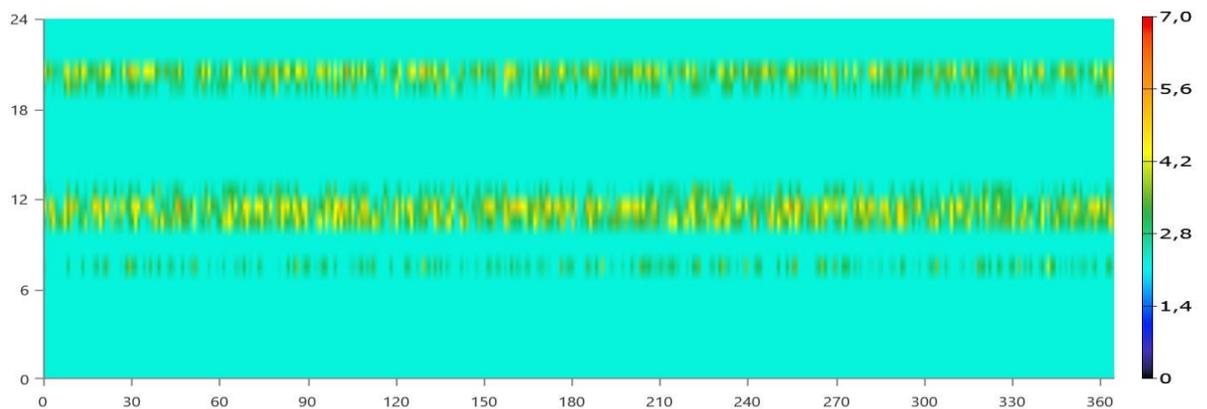


Figure III-15 Capacité de sortie du groupe électrogène (KW).

3. Comparaison du système hybride et du système de générateur diesel

Nous avons fait une comparaison entre un système hybride et un système de générateur diesel, et nous prenons en considération deux aspects : économique et environnemental (coûts du projet et ratio d'émissions de gaz), visant à choisir le meilleur système économique pour la maison Off-grid.

3.1. Côté économique

Panneaux solaires, éoliennes, générateurs diesel avec batteries de stockage sont autant de solutions idéales pour la production et la fourniture d'électricité dans des zones isolées. Après les résultats obtenus au cours des 25 années de cette étude, nous avons constaté que :

-Le coût du système hybride utilisé par le prix total (97 067 €) est le suivant :

- (Capital) de 48 525 € (7878458,829DZD) suivi de (Remplacement) de 29 961 € (4864430,80836DZD) après (O&E) de 10 368 € (1683335,62368DZD) et (Salvage) de -3 351 € (-544064,20476DZD).

Résultats et discussion

- Combustible utilisé total au cours de l'année (895L).
- Le carburant moyen par jour est de (2,45 L/jour).
- Le carburant moyen par heure est de (0,102L/h).
- Coût nivelé de l'énergie (0,603 €/KWh) (97,90233228DZD).

- Le coût pendant 25 ans de cette étude pour le système de générateur diesel hors réseau est représenté par le prix total (215 735), qui s'explique comme suit :

- (Capital) de 5 000 € (811793,8DZD) suivi de (Remplacement) de 36 273 € (5889239,30148DZD) après (O&E) de 33 974 € (5515976,51224DZD) et (Salvage) de -479,12 € (-77789,3290912DZD).
- Combustible utilisé total au cours de l'année (10 904L).
- Le carburant moyen par jour est de (29,9 L/jour).
- Le carburant moyen par heure est de (1,24 L/h).
- Coût nivelé de l'énergie (1,34 €/KWh) (217,5607384DZD).

-Les résultats de la comparaison entre système hybride et générateur diesel des coûts totaux après 25 ans estimés par HOMER®, ont été illustrés comme suit dans le Table III-24:

Table III-24 Coûts totaux des différents systèmes hybrides et diesel.

Composant	Capital € (DZD)	Remplacement € (DZD)	O&E € (DZD)	Ressource € (DZD)	Récupération € (DZD)	Total € (DZD)
Système hybride PV/eolienne/diesel	48 525 € (7878458,829DZD)	29 961 € (4864430,80836DZD)	10 368 € (1683335,62368DZD)	11 564 € (1877516,70064 DZD)	-3 351 € (-544064,20476DZD).	97 067 € (15759677,75692DZD)
Système de générateur diesel	5 000 € (811793,8DZD)	36 273 € (5889239,30148DZD)	33 974 € (5515976,51224DZD)	140967€ (22887227,32092 DZD)	-479,12 € (-77789,3290912DZD).	215 735 € (35026467,0886DZD)

3.2. Côté environnemental

De nombreuses banlieues ont besoin d'électricité ; par conséquent, ils sont obligés d'utiliser les générateurs diesel. Dans cette étude, nous avons utilisé le générateur diesel dans deux systèmes différents. Les émissions de gaz ont été enregistrées par le programme HOMER® pour chaque système, comme indiqué dans les tableaux ci-dessous :

Résultats et discussion

Table III-25 Emission de polluants pendant un an.

Pollutant	Emission hybrid system	Emission diesel generator	Unit
Carbon Dioxide	2 337	28 488	kg/yr
Carbon Monoxide	17,7	215	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0,644	7,85	kg/yr
Particulate Matter	1,07	13,1	kg/yr
Sulfur Dioxide	5,73	69,9	kg/yr
Nitrogen Oxides	20,1	245	kg/yr

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous analysons les résultats de mise à l'échelle et de simulation obtenus. Nous avons constaté que le système hybride (PV/ Eolienne /GD/ avec stockage par batterie) d'une durée de vie d'environ 25 ans correspond aux caractéristiques de la région et est donc utilisé correctement par rapport au générateur diesel seul, en termes de coût économique et environnemental. A l'instar du coût actualisé de l'énergie (0,603 €/kWh) (97,90233228DZD),

Nous concluons que le coût et la maîtrise de l'énergie dépendent largement de la qualité potentielle des énergies renouvelables.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans notre étude des systèmes hybrides, en les mettant à l'échelle et en les améliorant, nous avons trouvé une solution au réseau électrique national en Algérie, qui faisait face à de nombreux problèmes d'approvisionnement en électricité des zones isolées et rurales, car nous avons atteint la solution économique optimale pour l'énergie renouvelable hybride proposée. Système qui permet d'élever le niveau de vie de ces zones. Quant à l'aspect environnemental, nous sommes parvenus à une solution pour réduire la consommation de diesel et le problème de la pollution de l'environnement, en utilisant le logiciel de simulation HOMER®, qui contient un langage interactif qui permet nous permet de prévoir les tâches du système rapidement et avec précision.

Nous avons conclu que la région de M'Rara (El Oued) bénéficie de conditions climatiques (vitesse moyenne du vent de 3,6 m/s, et rayonnement solaire pendant les jours de l'année) propices au travail du système hybride (PV/Eolienne/DG) avec stockage des batteries, ce qui en fait le système idéal pour résoudre le problème de l'électricité dans cette Région.

Le système hybride typique et moins coûteux donné par l'ordinateur est le suivant :

Nombre de panneaux solaires : 9 unités.

Nombre de générateurs pneumatiques : une unité.

Nombre de générateurs diesel : une unité.

Nombre de batteries : 43 unités.

Nombre de transformateurs : 6 unités

Nous avons constaté que le coût de l'énergie (COE) dans le système hybride pour notre étude est de 0,603 €/KWh (97,90233228DZD), tandis que le capital initial requis est de 48 525 € (7878458,829DZD), et le coût courant net (CNP) est de (97 067 €) (15759677,75692DZD). La production d'énergie annuelle totale est de 17 098 kWh/an, et l'énergie totale produite par les panneaux solaires représente le plus grand pourcentage de la valeur de production d'énergie de l'ensemble du système.

D'autre part nous avons étudié le système de générateur diesel seul en comparaison avec le système hybride et avons obtenu le coût de l'énergie (COE) qui est de (1,34 €/KWh) (217,5607384DZD)., alors que le capital initial requis est de 5 000 € (811793,8DZD) et le coût actuel net (CNP) est de 215 735 € (35026467,0886DZD).

De notre étude et comparaison sur 25 ans, nous tirons les conclusions suivantes :

- Le coût total du système hybride représente presque la moitié (50%) du coût du projet de système diesel.
- Seul le coût de (O&E) du système diesel est égal au coût total du système hybride.
- Le coût de la consommation de carburant pour le système diesel représente 67,63 % du coût total du projet de système hybride.
- Le ratio de consommation annuelle de carburant dans le système hybride est de 16,47 % du système diesel seul.

Le système hybride est une source d'énergie respectueuse de l'environnement qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre, contrairement au système diesel.

Dans notre étude, la quantité d'émissions de gaz à effet de serre des générateurs diesel à système hybride est relativement faible par rapport à la proportion de gaz produits par le système générateur diesel seul, ce qui réduit considérablement l'apparition d'effet de serre dans l'atmosphère.

- Le système de générateur diesel Le dioxyde de carbone est libéré 28 488 kg (CO₂), Contrairement au système hybride est libéré 8,20%.
- Le système générateur diesel dégage 216 kg de monoxyde de carbone (CO), contrairement au système hybride dégage 17,7 kg (environ 8,23 %).

Enfin, ce travail nous a permis d'identifier la structure optimale du système hybride (PV/ Eolienne /DG) avec stockage batteries, en donnant à l'utilisateur les éléments nécessaires pour déterminer l'approche qui conduit à la meilleure solution en termes de coûts et de besoins.

Annexes

Annexes

Annexe.1 :

Après simulations, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau de tous les résultats de calcul du système hybride.

Architecture										Cost					System		
PV (kW)	Gen10 (kW)	1KMn LA	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Fuel cost (\$/yr)	O&M (\$/yr)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Cap Short (%)	Cap Sh (kWh/y)			
9.22	100	44	5.90	LF	0.588 €	91.437 €	3.745 €	43.030 €	920.21 €	752.74 €	84.1	920	0	0			
8.75	100	43	5.83	LF	0.603 €	97.067 €	3.755 €	48.525 €	894.54 €	802.00 €	84.5	895	0	0			
	100	19	4.06	CC	0.840 €	135.196 €	9.536 €	11.919 €	5.556 €	1.080 €	0	5.556	0	0			
	100	32	6.60	CC	0.839 €	138.223 €	8.868 €	23.580 €	5.012 €	1.025 €	0	5.012	0	0			
28.0		123	6.35	CC	0.977 €	157.162 €	3.741 €	108.806 €	0.00 €	1.510 €	100	0	0.958	11.9			
28.0	1	119	6.25	CC	1.02 €	163.366 €	3.774 €	114.575 €	0.00 €	1.540 €	100	0	0.088	10.7			

Cet arrangement du coût net actuel et de l'ordre des résultats et des valeurs observées du meilleur au moins choisi, où l'on voit que le meilleur résultat apparaît en première ligne car il se compose d'un système hybride adapté (PV, DG et batteries) et le coût le plus bas parmi tous les systèmes proposés par le programme.

Par conséquent, nous avons choisi le deuxième résultat qui correspond au sujet et aux objectifs de notre étude, qui apparaît dans la figure suivante :

Résultats optimaux pour le système hybride (M'Rara).

					PV (kW)	GI	Gen10 (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)
					8,75	1	10,0	43	5,83	1F	0,603 €	97 067 €

Annexe.2 :

Conversion Euro en Dinar algérien — Dernière mise à jour : 26 juin 2021, 10 :32 UTC :

>>Référence : XE.com>> 1 EURO = 162.35876 Algerian Dinars.

Annexe.3 :

Après simulations, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau de tous les résultats de calcul pour le système autonome.

Architecture		Cost										System				
Gen10 (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Fuel cost (€/yr)	O&M (€/yr)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Cap Short (%)	Cap Short (kWh/yr)	Elec Prod (kWh/yr)	Therm Prod (kWh/yr)	Elec Cons (kWh/yr)	Therm (kWh)	
100	CC	134€	215735€	16301€	5000€	10904€	2628€	0	10904	0	0	23425	0	12449	0	

Architecture		Cost										System				
Gen10 (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Fuel cost (€/yr)	O&M (€/yr)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Cap Short (%)	Cap Short (kWh/yr)	Elec Prod (kWh/yr)	Therm Prod (kWh/yr)	Elec Cons (kWh/yr)	Therm (kWh)	
100	CC	134€	215735€	16301€	5000€	10904€	2628€	0	10904	0	0	23425	0	12449	0	

Optimization Results

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Categorized One

Nous avons remarqué que la meilleure option dans le système isolé est montrée dans les résultats montrés dans figure suivante :

Résultats optimaux pour le système autonome.

Architecture		Cost						
Gen10 (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Fuel cost (€/yr)	O&M (€/yr)	
10,0	CC	1,34 €	215 735 €	16 301 €	5 000 €	10 904 €	2 628 €	

Références

Références

- [1] S. Prasad, V. Venkatramanan, and A. Singh, "Renewable Energy for a Low-Carbon Future: Policy Perspectives," in *Sustainable Bioeconomy : Pathways to Sustainable Development Goals*, V. Venkatramanan, S. Shah, and R. Prasad, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 267-284.
- [2] M. H. Baloch *et al.*, "Hybrid energy sources status of Pakistan: An optimal technical proposal to solve the power crises issues," *Energy Strategy Reviews*, vol. 24, pp. 132-153, 2019/04/01/ 2019.
- [3] D. C. ZOUAGHI WALID, "Sizing and optimization of autonomous hybrid system (PV/Wind/Diesel generator) with batteries storage," UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2018.
- [4] R. Golumbeanu and D. Barnes, "Connection charges and electricity access in sub-Saharan Africa," 2013.
- [5] P. S. Paul *et al.*, "Effect of Natural and Man-made Disasters on Distribution System."
- [6] R. Debibi, "Développement d'un système de supervision, d'acquisition et de transfert de données d'un système hybride de production électrique," Université du Québec à Rimouski, 2016.
- [7] A. Djouahi and N. Belkhir, "Study of multi-agent system in the management of hybrid renewable energy system to supply demand of a green building," gh, 2019.
- [8] M. FRADJ, "Etude et gestion d'un système hybride."
- [9] I. Tabet, "Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire," 2016.
- [10] A. BOURAIYOU, "Etude démonstrative des différents défauts des systèmes photovoltaïques installés au sein de l'URERMS Adrar," Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [11] M. SALMI, "Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques," 2014.
- [12] U. Bechar and M. Z. Missouri, "Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Etude analytique des performances d'une cellule solaire Tandem à base de l'AlGaAs/GaAs," 2012.
- [13] J. Subtil Lacerda and J. C. J. M. van den Bergh, "Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 331-340, 2016/02/01/ 2016.
- [14] P. G. V. Sampaio, M. O. A. J. R. González, and S. E. Reviews, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," vol. 74, pp. 590-601, 2017.
- [15] Tom Schoder. (2021). *Monocrystalline Cells vs. Polycrystalline Cells: What's the Difference*, [Solar panel]. Available: <https://www.cedgreentech.com/>
- [16] Damon Lapping. (2018). *Top 10 Solar PV Manufacturers to Watch in 2018*, . Available: <https://www.disruptordaily.com/>

- [17] M. BENCHERIF, "Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension," 2014.
- [18] B. Anouar, "Contribution a la modélisation du rayonnement solaire comme un paramètre climatologique pour des applications photovoltaïques en Algérie," Université de M'sila, 2021.
- [19] L. Khelfat and L. J. M. D. M. U. B. M.-A. Maataoui, "Etude et Simulation d'une éolienne à base d'une Machine Asynchrone Doublement Alimentée," 2017.
- [20] A. GUETTAF, "Optimisation floue-génétique d'un système de pompage éolien," Université Mohamed Khider–Biskra, 2013.
- [21] Y. Saidi, Y. Yahiaoui, and D. Aouzellag, "Etude et réalisation d'une turbine éolienne," université Abderahmane Mira, 2014.
- [22] F. Poitiers, "Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne" english version: "Study and control of asynchronous generators for wind energy utilization," Doctorate thesis, Nante University, France, 2003.
- [23] H. Belgacem, "Commande d'une Eolienne basée sur les modèles flous de Takagi-Sugeno," 2016.
- [24] M. K. J. M. d. M. TOUATI, Université de Batna, "Etude d'une génératrice éolienne connectée au réseau électrique," 2015.
- [25] H. Mesai Ahmed, Y. Djeriri, and N. Kais, "Commande de la machine asynchrone à double alimentation – apport des techniques de l'intelligence artificielle," 2017.
- [26] F. BOUMARAF, "Commande d'un aérogénérateur-Apport des techniques de l'intelligence artificielle," Université de Batna 2, 2014.
- [27] A. Djoudi, "Commandes non linéaires d'une éolienne à base d'une machine asynchrone à double alimentation pilotée par un convertisseur matriciel," Ecole Nationale Polytechnique, 2010.
- [28] H. B. J. m. d. m. Houda, "modelisation, simulation et optimisation d'un systeme hybride eolien-photovoltaïque," 2010.
- [29] F. Y. J. T. Ettoumi, "Ressources Energétiques Renouvelables en Algérie," 2002.
- [30] A. R. Beig and S. M. Muyeen, "4 - Wind energy," in *Electric Renewable Energy Systems*, M. H. Rashid, Ed. Boston: Academic Press, 2016, pp. 60-77.
- [31] K. Boulaam, "Commande d'une machine à courant alternatif avec système hybride de stockage pour la production éolienne," 2020.
- [32] R. Rouas, "Etude d'un système hybride éolien-photovoltaïque," Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [33] B. E. B. BI, K. B. KOUA, P. GBAHA, and E. P. M. J. A. S. KOFFI, "Étude d'un système hybride de production d'énergie," vol. 16, no. 5, pp. 203-217, 2020.
- [34] A. Askarzadeh and L. J. S. E. dos Santos Coelho, "A novel framework for optimization of a grid independent hybrid renewable energy system: A case study of Iran," vol. 112, pp. 383-396, 2015.

- [35] L. Stoyanov, "Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables," Université Pascal Paoli, 2011.
- [36] B. Madaci, R. Chenni, and K. E. Hemsas, "Architectures intégrées de gestion de l'énergie pour les multisystèmes autonomes utilisant le stockage par accumulateurs," *جامعة الإخوة منتوري قسنطينة*, 2018.
- [37] A. Borni, "Etude et optimisation d'un multi système hybride de conversion d'énergie électrique," 2015.
- [38] S. Saib, "Contribution à l'optimisation d'un système hybride (PV/éolien) avec stockage d'énergie connecté au réseau électrique," 2018.
- [39] A. M. Alzahrani, M. Zohdy, and B. J. E. P. S. R. Yan, "An overview of optimization approaches for operation of hybrid distributed energy systems with photovoltaic and diesel turbine generator," vol. 191, p. 106877, 2021.
- [40] T. Sarkar, A. Bhattacharjee, H. Samanta, K. Bhattacharya, H. J. E. c. Saha, and management, "Optimal design and implementation of solar PV-wind-biogas-VRFB storage integrated smart hybrid microgrid for ensuring zero loss of power supply probability," vol. 191, pp. 102-118, 2019.
- [41] M. Rahmani-Andebili, "Cooperative distributed energy scheduling in microgrids," in *Electric Distribution Network Management and Control*: Springer, 2018, pp. 235-254.
- [42] V. Perrin, "Eolienne 2.0 du Gridlab: travail de bachelor: diplôme 2016," Haute Ecole d'Ingénierie, 2016.
- [43] E. B. Agyekum and C. Nutakor, "Feasibility study and economic analysis of stand-alone hybrid energy system for southern Ghana," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 39, 2020.
- [44] W. Hamanah, M. Abido, L. M. J. A. J. f. S. Alhems, and Engineering, "Optimum sizing of hybrid pv, wind, battery and diesel system using lightning search algorithm," vol. 45, no. 3, pp. 1871-1883, 2020.
- [45] A. Hemeida *et al.*, "Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area," vol. 11, no. 1, pp. 11-23, 2020.
- [46] A. Bouraiou *et al.*, "Status of renewable energy potential and utilization in Algeria," vol. 246, p. 119011, 2020.
- [47] A. B. Stambouli, Z. Khiat, S. Flazi, Y. J. R. Kitamura, and s. e. reviews, "A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues," vol. 16, no. 7, pp. 4445-4460, 2012.
- [48] M. Abbas, "Study of a Solar PV-Wind-Battery Hybrid Power System for a Remotely Located Region in the Southern Algerian Sahara: Case of Refrigeration," *Journal of Innovations in Renewable Energy*, 01/01 2012.
- [49] F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani, A. J. R. Recioui, and S. E. Reviews, "A contribution in the actualization of wind map of Algeria," vol. 15, no. 2, pp. 993-1002, 2011.
- [50] O. D. T. Odou, R. Bhandari, and R. J. R. E. Adamou, "Hybrid off-grid renewable power system for sustainable rural electrification in Benin," vol. 145, pp. 1266-1279, 2020.

- [51] K. Balachander, G. S. Kumaar, M. Mathankumar, A. Manjunathan, and S. J. M. T. P. Chinnapparaj, "Optimization in design of hybrid electric power network using HOMER," 2020.
- [52] NASA surface meteorology and solar energy database. (2021). *global horizontal radiation ,monthly averged values over 22 year period(July 1983 - June 2005)*. Available: <http://www.eosweb.larc.nasa.gov>.
- [53] NASA surface meteorology and solar energy database. (2021). *wind speed ,monthly averaged over 10 year peroid (July 1983 - June 1993)*. Available: <http://www.eosweb.larc.nasa.gov>.
- [54] NASA surface meteorology and solar energy database. (2021). *air temperature ,monthly averaged values over 22 year period(July 1983 - June 2005)*. Available: <http://www.eosweb.larc.nasa.gov>.

Abstract

In this memory we have simulated and dimensioned with the HOMER energy code, a totally autonomous hybrid system work with (photovoltaic panels, wind generators, diesel generators) with storage batteries to power a house off networks located at M'Rara El Oued (Algeria), based on the metrological data given by the HOMER® code of the El Oued region, we obtained the cost (€), the cost of energy (1 KWh/€), the toxic gases emission (kg /year) and optimal number and characteristics of Photovoltaic panels, wind generators, diesel generators) with storage batteries, we obtained a technical-economic study and a comparison with an autonomous diesel system.

Keys Words: hybrid system, Wind, isolated house, PV, Diesel Generator, HOMER Energy

Résumé

Dans ce mémoire nous avons simuler et dimensionner avec le code HOMER Energie , un système hybride totalement autonome fonctionnent avec (panneaux Photovoltaïques , générateurs éolien , groupes électrogène diesel) avec batteries de stockage pour alimenter une maison hors réseaux situé à M'Rara El Oued (Algérie), en basent sur les données métrologiques données par le code HOMER® de la région de El Oued , nous avons obtenus le cout (€), le coute de l'“énergie (1KWh /€), les émission de gaz toxiques (kg /An) et nombre et caractéristiques optimale des (panneaux Photovoltaïques , générateurs éolien , groupes électrogène diesel) avec batteries de stockage, nous obtenus une étude technique-économique et une comparaison avec un système diesel autonome.

Mots clés : système hybride, éolienne, maison isolée, PV, Générateur diesel, HOMER Energie

ملخص

في هذه المذكرة قمنا بمحاكاة و نمذجة باستعمال برنامج الطاقة هومر ، حيث يعمل النظام الهجين مستقل تماما (الألواح الضوئية ، مولدات الرياح ، مولدات الديزل) مع بطاريات التخزين لتزويد منزل خارج الشبكة موجودة في مرارة الوادي (الجزائر) ، استناداً إلى البيانات الميتورولوجيا المقدمة من برنامج هومر لمنطقة الوادي ، تحصلنا على التكلفة الإجمالية للمشروع (يورو)، وتكلفة الطاقة (1كيلوات ساعي / يورو) ، وانبعثات الغازات السامة (كلغ / سنة) والعدد الأمثل والخصائص كل من (الألواح الضوئية ، مولدات الرياح ، مولدات الديزل) مع بطاريات التخزين ، وقمنا بمقارنة هذه الدراسة اقتصادية مع نظام الديزل مستقل.

الكلمات المفتاحية: النظام الهجين، توربينات الرياح، منزل معزول، الألواح الشمسية، مولد الديزل، برنامج هومر.