

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

N° d'ordre :...../MASTER/2016.

Série :...../GM/2016.

PROJET DE FIN D'ETUDE

Présenté pour obtenir le diplôme de Master
en Génie Mécanique

**Simulation et Optimisation des performances d'un système hybride
intégrant des Energies renouvelables pour la génération
d'Electricité**

Option : Mécanique Energétique

Par : **HABI HAFIDHA** et **BIBI YAMINA**

Soutenu le: 09 /06 /2016

Devant le jury composé de :

Président : M ^r . LAOUARI Azzedine	M.A.A	Université -Bouira
Rapporteur : M ^{me} . Baghdadi Fazia	M.A.A	Université -Bouira
Examineurs :		
M ^r . M. Merzouk Mezian	M.A.A	Université -Bouira
M ^r . Lekhal Rachid	M.A.A	Université - Bouira

Remerciements

En préambule, je souhaite rendre grâce à Dieu, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et la patience de mener à bien ce modeste travail

Je tiens évidemment à débiter ces remerciements en témoignant de ma profonde reconnaissance envers madame FAZIA BAGHDADI, M .A à l'Université de Bouira pour m'avoir encadré et dirigé ce travail avec patience.

Je remercie vivement Monsieur le président de jury, qui m'a fait l'honneur de présider le jury, ainsi que pour sa contribution à ma formation.

Je veux exprimer mes remerciements aux membres de jury,

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants du département de Génie Mécanique de l'Université Bouira

Je remercie ma famille, spécialement, mon marie et mes parents de leur soutien inconditionnel, sans oublier mes frères et proches amis qui ont été si présent, et n'ont jamais cessé de m'encourager.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents que dieu les garde

A mon marie qui aime beaucoup

A mes chers frères et sœurs.

Mes neveux et nièces ;

Mes enseignants depuis mon enfance ;

A toute mes amis.

Résumé - *Les installations électriques utilisant des énergies renouvelables hybrides vont connaître, à moyen terme un intérêt certain grâce à leur flexibilité vis-à-vis des sources d'énergie primaires. L'objectif de ce travail, est l'étude d'un système de production hybride, qui combine entre deux sources d'énergies renouvelables (éolienne, photovoltaïque) avec stockage et un groupe électrogène de secours. La gestion d'énergie des différentes sources est assurée par un gestionnaire qui commande l'ouverture et la fermeture des commutateurs, selon les conditions météorologiques (éclairage, vitesse du vent).*

Abstract - *The electrical energy using renewable hybrids are known, medium-term interest thanks to their flexibility vis-à-vis the primary energy sources. The objective of this work is the study of a hybrid power, which combines two renewable energy sources (wind, solar) with storage and an emergency generator. The management of different energy sources is ensured by a manager who controls the opening and closing switches, depending on weather conditions (illumination, wind speed).*

Sommaire

Remerciements	ii
Nomenclature	v
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables	2
I.1.Introduction :	3
I.2.les énergies renouvelables	3
I.3.les différents types des énergies renouvelables	4
I.3.1.la biomasse.....	4
I.3.2.L'hydraulique.....	5
I.3.3.La géothermie.....	6
I.3.4.l'hydrogène	6
I.3.5.Le solaire.....	7
I.3.5.1.Energie solaire photovoltaïque	7
I.3.5.1.1.Définition.....	7
I.3.5.1.2.Effet photovoltaïque.....	8
I.3.5.1.3.Cellules photovoltaïques ou photopiles.....	8
I.3.5.1.4.Fonctionnement des cellules photovoltaïques.....	9
I.3.5.1.5.Différents types des cellules solaires.....	9
a)Cellules mono cristallines.....	9
b) Cellules poly cristallines.....	10
c) Cellules amorphes	10
I.3.5.1.6.Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque	11
a) Avantage.....	11
b) Inconvénients.....	11
I.3.6.L'éolienne.....	11
I.3.6.1.Constitution d'un système éolien	12
I.3.6.2.Classification des éoliennes.....	13

I.3.6.2.1.Taille des aérogénérateurs	13
I.3.6.2.2.L'organe capteur.....	13
a) Capteurs à axe horizontal	13
b) Capteurs à axe verticale	14
I.3.6.3.Principe de Fonctionnement	14
I.3.6.4.Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne	14
a) Avantage.....	14
b) Inconvénients.....	15
I.4.Energies solaire et éolienne en Algérie	15
I.4.1.potentiel solaire en Algérie	16
I.4. Potentiel éolien.....	17
I.5.Conclusion	18
Chapitre II : Caractéristiques du système hybride.....	19
II.1.Introduction.....	20
II.2.Présentation du système hybride	20
II.2.1.Définition	20
II.2.2.Importance de l'hybridation	21
II.2.3.Présentation du système hybride photovoltaïque-éolien	22
II.3.Les principaux composants d'un système SH.....	23
II.3.1.Le générateur éolien.....	23
II.3.2.Le générateur photovoltaïque	23
II.3.3.piles à combustible	24
II.3.3.1.Définition	24
II.3.3.2.modélisation de la pile à combustible.....	24
II.3.4.Générateur diesel.....	26
II.3.5.Batteries de stockage	26
II.3.6.Convertisseurs	27
II.3.7.les charges	27

II.4.Classification des systèmes hybrides.....	27
II.5.Problèmes rencontres dans le fonctionnement des SHE.....	28
II.6.dimensionnement des systèmes hybrides d'énergie(SHE)	28
II.7.Conclusion	30
Chapitre III : Modélisation d'un système hybride.....	31
III.1.Introduction	32
III.2.Données géographique et météorologiques de la wilaya d'Adrar	32
III.3.Modélisation des énergies photovoltaïque et éolienne	33
III.3.1.Générateur photovoltaïque	33
III.3.1.1.Zones de fonctionnement de PV.....	35
III.3.2.Générateur éolien.....	36
III.3.2.1. Zones de fonctionnement de l'éolienne	37
III.4.Modélisation de la batterie	38
III.5.Modélisation du moteur diesel.....	39
III.6. Méthode de dimensionnement du système.	40
III.6.1.Méthode des moyennes mensuelles annuelles.....	41
III.6.2.Méthode du mois le plus défavorable.....	41
III.6.3.Surfaces retenues des composants.....	41
III.6.4.Facteur d'autonomie.....	41
III.6.5.Taille de la batterie	42
III.7.Analyse économique	42
III.8.Conclusion.....	42
Chapitre IV: Application et simulation d'un système hybride.....	43
IV.1.Introduction.....	44
IV.2.Application du logiciel Homer pour l'optimisation Adrar.....	44
IV.2.1. Présentation de l'outil de simulation.....	44
IV.3.L'emplacement choisit.....	45
IV.4.Données géographique du lieu.....	45
IV.5. Données relative à profile de charge.....	45
IV.6. Données relative à l'irradiation.....	47
IV.7. Données relative à vitesse de vent.....	49
IV.8. Données relatives à la température ambiante.....	50

IV.9. Construction de système hybride de génération d'énergie.....	51
IV.10. Simulation et interprétation.....	52
IV.10.1.Le Générateur PV.....	54
IV.10.2.Le Générateur éolien.....	55
IV.10.3.Le Générateur diesel.....	56
IV.11. Conclusion.....	57
Conclusion générale	58
Bibliographie	59

LISTE DES FIGURES :

Fig. I.1 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2005	4
Fig. I.2 : Énergie Biomasse	5
Fig. I.3 : Différent types de l'hydraulique	5
Fig. I.4. Une source d'énergie géothermique	6
Fig. I.5 : Énergie solaire thermique	7
Fig. I.6 : Système Photovoltaïque.....	8
Fig. I.7: principe de fonctionnement d'une cellule solaire	9
Fig. I.8: Cellule photovoltaïque (monocristalline).....	10
Fig. I.9: Cellule PV poly cristalline.....	10
Fig. I.10 : Cellule PV amorphes	11
Fig.I.11 : Schéma des différents éléments de l'éolien.....	12
Fig. I.12 : Eolienne à axe horizontal.....	13
Fig. I-13: Eolienne à axe verticale.....	14
Fig. I-14 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale	17
Fig. I.15 : Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol.	18
Fig. II.1 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.....	21
Fig. II.2 : Schéma synoptique du système hybride étudié.....	22
Fig. II.3 : Photo de la forme l'éolien de Adrar.....	23
Fig. II.4: des modules photovoltaïques	23
Fig. II-5 : Illustration du principe de fonctionnement d'une pile à combustible.....	24
Fig. II.6 :configuration de générateur diesel	26
Fig.III.1 : situation géographique d'Adrar	33
Fig.III.2: Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque	33
Fig. III.3: Schéma bloc du GPV	33
Fig. III.4: Les différentes zones de la caractéristique (I-V)	35
Fig. III.5: Caractéristique puissance – tension (P-V)	35
Fig.III. 6: Modèle de la voile	36

Fig.III.7 : Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent	37
Fig. IV.1 : Le profil de charge dans une année.....	45
Fig. IV.2 : Le profil de charge journalière suivant les saisons	46
Fig. IV. 3 : l'irradiation dans une année	47
Fig. IV.4 : Le profil de l'éclairement moyen mensuel	48
Fig. IV-5 : Variation de l'éclairement journalier au cours des douze mois de l'année.....	48
Fig. IV .6: Eclairement horaire pour la journée type du mois de juillet	48
Fig.IV.7 : Le profil de vitesse de vent dans une année	49
Fig. IV .8 : vitesse de vent horaire pour la journée type du mois de MARS	49
Fig. IV.9 : Variation de vitesse de vent journalier au cours des douze mois de l'année	50
Fig. IV.10 : Profil de température ambiante annuelle.	51
Fig. IV.11 : Architecture d'un système hybride	51
Fig. IV.12 : Résultat de simulation de système hybride par HOMER	52
Fig. IV.13 : Puissance moyenne produite par chaque source	53
Fig. IV.14 : DMAP de production horaire par le GP	54
Fig. IV.15 : DMAP de production horaire par l'éolien	55
Fig. IV.16 : Dmap de production horaire par le GD pour un système éolien-PV-diesel	56
Fig. IV.17 : Dmap de production horaire par le GD pour un système éolien-diesel	56

Liste des tableaux

Tableau I.1 :	Taille des éoliennes	13
Tableau I.2 :	Répartition du potentiel solaire en Algérie	16
Tableau II.1 :	Classification des SH par gamme de puissance.....	28
Tableau IV.1 :	Données géographique du lieu d'implantation (Adrar).	45
Tableau IV.2 :	Le rayonnement solaire et la vitesse du vent.....	47
Tableau IV.3 :	Energie annuelle produite par chaque générateur.....	53
Tableau IV.4 :	Information concernant la production d'énergie par le GP.....	54
Tableau IV.5 :	Information concernant la production de l'énergie éolienne	55
Tableau IV.6 :	Information concernant la production de l'énergie par le GD	56

Nomenclature, abréviation

1. Glossaire

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
P_c	<i>La puissance crête</i>	[KW]
I	<i>Courant fournie par la cellule</i>	[A]
V_{CO}	<i>Tension à vide</i>	[V]
I_{CC}	<i>Courant de courant-circuit</i>	[A]
E_s	<i>ensoleillement dans le plan des modules</i>	[W/m ²]
T_j	<i>température de jonction de la cellule</i>	[°C]
I_G	<i>courant fourni par le groupe de modules</i>	[A]
V_G	<i>la tension aux bornes du groupe de modules</i>	[V]
S_{PV}	<i>la surface totale du générateur photovoltaïque</i>	[m ²]
H	<i>l'irradiation solaire sur plan incliné</i>	[KWh /m ²]
T_A	<i>Température ambiante moyenne journalière</i>	[°C]
T_C	<i>Température cellule moyenne journalière</i>	[°C]
I_{sc}	<i>Courant de court-circuit</i>	[A]
V	<i>Vitesse du vent</i>	[m/s]
P_{eol}	<i>la puissance produite par le générateur éolien</i>	[KW]
Ω	<i>Vitesse de rotation de la turbine</i>	[tr/m]
A_{el}	<i>Surface de l'éolienne</i>	[m ²]
A_i	<i>La surface du générateur nécessaire pour assurer la couverture totale</i>	[m ²]
E_{el}	<i>L'énergie électrique produite par un générateur éolien</i>	[kWh/m ² .mois]
EL	<i>Energie électrique demandée par la charge</i>	[Wh/j]
A_{PV}	<i>Surface des modules photovoltaïques</i>	[m ²]
C_{bat}	<i>Coût de la batterie</i>	[£]
P_m	<i>Puissance mécanique</i>	[W]
R	<i>Le facteur d'autonomie</i>	-
R_{PV}	<i>le rendement du générateur photovoltaïque</i>	-
γ	<i>Coefficient tenant compte de la variation du rendement du module photovoltaïque</i>	-

C_e	<i>le facteur d'efficacité</i>	-
A_i	<i>Surface, tel que i représente le PV ou l'éolienne</i>	$[m^2]$
η_m	<i>le rendement respectivement du multiplicateur</i>	-
η_g	<i>le rendement respectivement de la génératrice</i>	-
C_p	<i>le coefficient de performance de la turbine éolienne</i>	-
f	<i>la fraction de la charge alimentée par la source photovoltaïque</i>	-
ρ	<i>La densité de l'air</i>	$[kg/m^3]$
C_{tot}	<i>Coût total (PV + éolien (£))</i>	$[\pounds]$
C_{PV}	<i>Coût PV</i>	$[\pounds]$
C_{el}	<i>Coût éolien</i>	$[\pounds]$
Nb	<i>Nombre de Modules (PV- éolien)</i>	-

ABREVIATIONS UTILISEES

- PV :* photovoltaïque
- SHE :* système hybride d'énergie
- GPV:* Générateur photovoltaïque
- HOMER:* Hybrid Optimization Model for Electric Renewable
- TNFC :* Température nominale de fonctionnement de la cellule.
- CC :* Le courant continu
- CA :* Le courant Alternatif
- PV-E :* Système hybride photovoltaïque-éolien
- PPM :* un point de puissance maximale
- NPC :* une valeur actuelle nette

Introduction générale

Introduction générale

Un système hybride de génération d'énergie électrique provient un choix remarquable pour pallier aux problèmes d'alimentation des sites isolés, sa combinaison de plusieurs sources génère une particularité et leur fonctionnement aussi. La diversification en termes de sources d'énergie pour ce système reste un avantage majeur pour limiter le problème de fluctuation des sources renouvelables. Cependant leur installation nécessite une étude de dimensionnement des organes représentant le système pour définir un fonctionnement idéal. Un système de commande est indispensable si on choisit de combiner entre plusieurs générateurs d'énergie. Dans ce contexte général, le travail présenté dans ce mémoire est la contribution à l'étude d'un système hybride de génération d'énergie basé sur les énergies renouvelables destiné aux sites isolés. La présentation de ce manuscrit est étalée sur quatre chapitres :

D'abord, et après cette introduction, dans la première partie de premier chapitre sera consacré au recensement des différentes sources d'énergies renouvelables et les caractéristiques des générateurs PV et éolien. La deuxième partie est consacrée à un gisement solaire et éolien en Algérie. Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques d'un système hybride. Dans le troisième chapitre on présente la modélisation du système hybride. Dans le dernier chapitre on présente des simulations numériques par le logiciel HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable), d'un système hybride réel éolien diesel-solaire pour un site isolé de la région de Adrar, à travers les résultats obtenues par le logiciel HOMER. Enfin les principaux résultats de ce travail de recherche et les perspectives sont données dans une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur les énergies renouvelables

I.1. Introduction :

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future, C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires.

Il est évident que la dynamique énergétique du 21ème siècle rassemblera de nouveaux acteurs issus du secteur des énergies renouvelables assurant ainsi un développement durable.

Parmi les systèmes qui fonctionnent avec les énergies renouvelables, on mentionne les systèmes solaires fonctionnant avec l'énergie solaire et les systèmes éoliens fonctionnant avec l'énergie du vent. Plusieurs technologies des systèmes solaires et éoliens sont envisageables, mais les plus intéressants ce sont ceux solaires photovoltaïque et éoliens à axe horizontal.

Dans ce chapitre, on va donner un aperçu général sur les énergies renouvelables, et précisément sur les systèmes solaires photovoltaïques et les systèmes éoliens qui représentent l'actualité des énergies renouvelables.

I.2.les énergies renouvelables :

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins.

La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement.

Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie. La figure I.1 présente la production mondiale d'électricité en 2005[1].

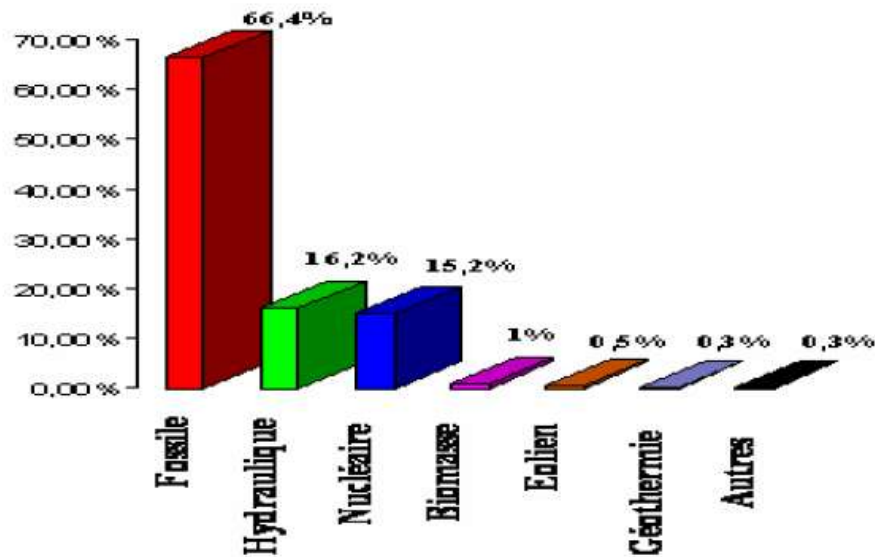


Fig. I.1 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2005

I.3.les différents types des énergies renouvelables :

I.3.1.la biomasse :

La biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture et de l'élevage des animaux, de la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux. La biomasse peut être utilisée principalement de deux manières :

- Lors de la fermentation des déchets, le gaz méthane peut être capté et utilisé comme source d'énergie,
- La biomasse elle-même peut être incinérée.

Dans tous les deux cas, l'énergie thermique peut être utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales thermiques.

L'intérêt est que le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère lors de l'incinération de la biomasse ou le méthane est compensé par celui absorbé par la repousse des plantes qui, entre autres, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro [2].

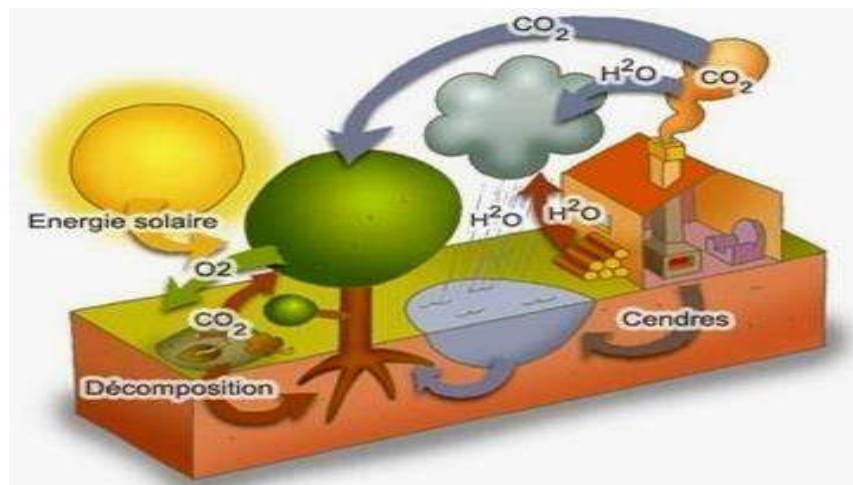
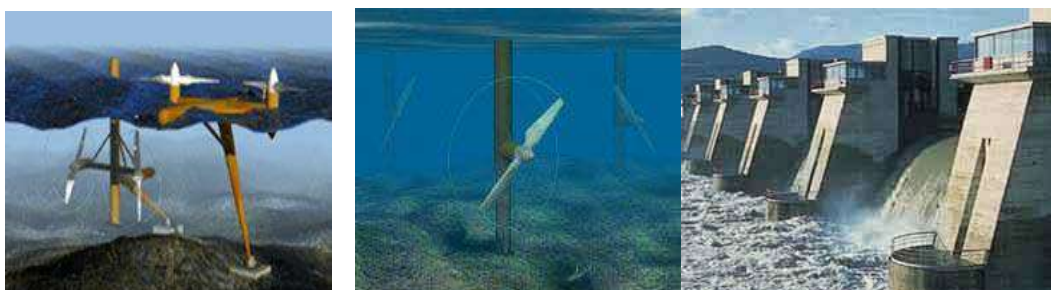


Fig. I.2 : Énergie Biomasse

I.3.2.L'hydraulique :

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de ne pas être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients [3].



a) Marémotrice

b) Hydrolienne

c) Barrage

Fig.I.3 : Différent types de l'hydraulique.

I.3.3. La géothermie :

Dans le contexte des sciences pour l'ingénieur, le terme de « géothermie » regroupe des moyens de capter l'énergie thermique de l'intérieur du globe terrestre et de l'utiliser comme source de chaleur ou de la convertir en électricité par des turbines et générateurs électriques.

Pour capter l'énergie géothermique, un fluide est mis en circulation dans les profondeurs de la terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe captive naturelle, de l'eau injectée dans une roche chaude imperméable ou dans des puits spéciaux. Dans tous les cas, le fluide se réchauffe et remonte avec une température supérieure [2].

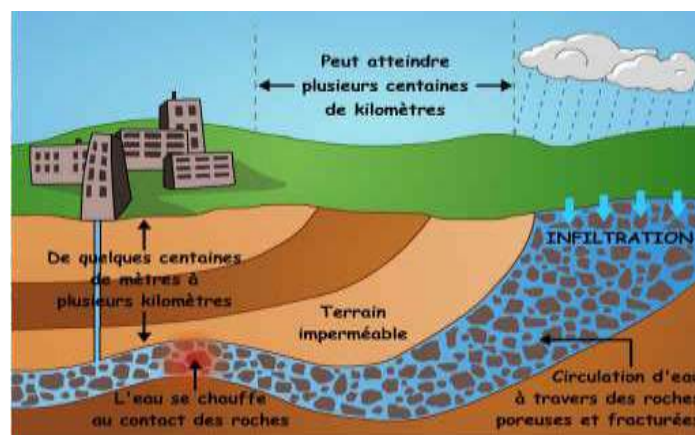


Fig. I.4. Une source d'énergie géothermique

I.3.4. l'hydrogène :

L'hydrogène pourrait constituer un vecteur énergétique de l'avenir. En effet, d'une part les réserves de carburants fossiles ne sont pas éternelles et d'autre part on sait que le moteur à hydrogène est beaucoup plus respectueux de l'environnement que le moteur thermique, puisqu'il permet d'éviter les émanations de gaz carbonique et l'effet de serre. Le cœur du moteur à hydrogène est une pile à combustible qui fonctionne suivant le modèle d'une centrale électrique, avec un apport d'hydrogène et d'oxygène, l'oxygène étant prélevé directement dans l'air extérieur. Au contact chimique de l'oxygène, l'hydrogène produit de l'eau. Ce processus dégage de l'énergie sous forme d'électricité qui fait tourner le moteur [4].

I.3.5. Le solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KW c/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année [5].

L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

- ❖ **L'énergie solaire thermique**
- ❖ **L'énergie solaire photovoltaïque**
- ❖ **L'énergie solaire passive**



Fig. I.5 : Énergie solaire thermique

Dans notre étude le système hybride est basé partiellement sur l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

I.3.5.1 Énergie solaire photovoltaïque :

I.3.5.1.1 Définition :

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.

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau de rayonnement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble [3].

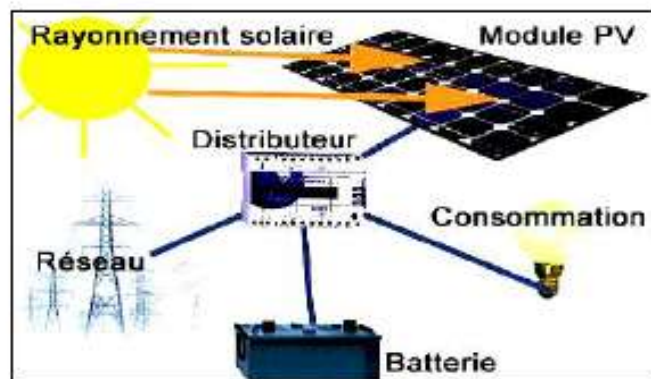


Fig. I.6 : Système Photovoltaïque [4].

I.3.5.1.2. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité (courant continu CC). Son principe réside en une collision des photons incidents (flux lumineux) avec les électrons libres et les électrons de valence en leur communiquant une énergie. Si cette énergie est supérieure ou égale à l'énergie de gap (E_g) de ce semi-conducteur, l'électron passe de la bande de valence à la bande de conduction en laissant un trou derrière lui, d'où l'apparition des paires électron-trou dans différents points de la jonction[6].

Si les photons ont une énergie très supérieure à E_g , ils passent de la bande de valence à un niveau instable de la bande de conduction. L'excès d'énergie sera transmis sous forme de phonons au réseau cristallin puis perdu en chaleur et l'électron prendra un niveau stable dans la bande de conduction.

Si les photons ont une énergie inférieure E_g ils ne seront pas absorbés et leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque.

I.3.5.1.3. Cellules photovoltaïques ou photopiles [6]:

Les cellules photovoltaïques ou photopiles sont des composants électroniques à semi conducteur qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Les matériaux les plus connus sont :

- le silicium (Si)
- le sulfure de cadmium (Cds)
- l'arséniure de gallium (As Ga)

- le tellure de cadmium (Cd Te)
- le germanium (Ge)
- le phosphore d'indium (InP)

Toutefois, le matériau le plus couramment utilisé est le silicium pur obtenu à partir de la silice (quartz ou sable) par transformations chimiques et métallurgiques [5].

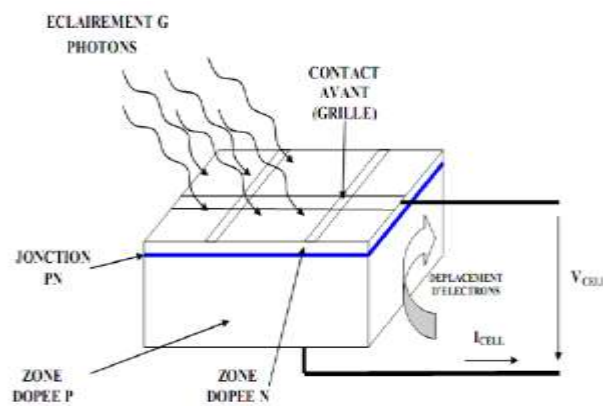


Fig. I.7: principe de fonctionnement d'une cellule solaire [7].

I.3.5.1.4. Fonctionnement des cellules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le régime photovoltaïque est un régime où aucun potentiel n'est appliqué, mais où un courant circule à travers une charge.

Le système développe donc une puissance électrique. Le principe de fonctionnement de la cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs.

La conversion de photons en électrons dans un matériau pouvant produire un courant électrique nécessite [8]:

- Absorption des photons par le matériau (absorption optique) et la génération des porteurs de charges.
- Collecte des porteurs excités avant qu'ils ne reprennent leur énergie initiale (relaxation).

I.3.5.1.5. Différents types des cellules solaires:

Il existe trois types principaux de cellules :

a) Cellules mono- cristallines :

Les cellules monocristallines qui s'approchent le plus du modèle théorique, est effectivement composées d'un seul cristal divisé en deux couches [9].

Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients:

- Première génération de photopiles [10].
- Un taux de rendement excellent de 15 % et jusqu'à 24 % en labo.

- Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.



Fig. I.8: Cellule photovoltaïque (monocristalline) [11].

b) Cellules poly-cristallines :

Les cellules poly-cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles proviennent aussi du sciage de blocs de cristaux, mais ces blocs sont coulés et hétérogènes [7].

Les cellules poly- cristallines sont caractérisées par [12] :

- Coût de production moins élevé.
- Procédé moins gourmand en énergie.
- Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.



Fig. I.9: Cellule PV poly cristalline.

c) Cellules amorphes :

Le silicium amorphe est apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin.

Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible) [7].

- Coût de production bien plus bas.
- Rendement de seulement 6 % par module et de 14 % en labo.
- Fonctionne sous très faible éclaircissement [10] .



Fig. I.10 : Cellule PV amorphes

I.3.5.1.6. Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :

a) Avantage :

Les avantages des générateurs photovoltaïques sont plusieurs et leur application se développe d'un moment à l'autre, parmi eux on site :

- une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes [1].

b) Inconvénients :

Malgré les avantages que les générateurs photovoltaïques présentent, des points faibles peuvent se manifester au niveau de fonctionnement et de la fabrication :

- une fabrication d'un module photovoltaïque relève une haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesels.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable. Il n'est pas prévisible, il dépend du niveau d'ensoleillement. Cependant la production d'électricité n'est pas constante [13].

I.3.6. L'éolienne :

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire, puisque ce sont les différences de températures et de pressions induites dans l'atmosphère par l'absorption du rayonnement solaire qui mettent les vents en mouvement...

L'utilisation du vent par l'homme ne date pas d'aujourd'hui, elle est très ancienne. De nos jours l'énergie mécanique du vent produit l'électricité. Le principe des éoliennes s'inspire de celui des moulins à vent et à eau autrefois utilisé pour moudre le grain ou pomper l'eau. L'éolien est l'une des énergies renouvelables les plus « prometteuses » à développer. Elle est intéressante d'un point de vue économique et environnemental.

Pendant ces dernières années l'éolien c'est très fortement développé, dans le monde et plus particulièrement en Europe. Les avancements technologiques dans ce domaine, ne cessent de progresser [14].

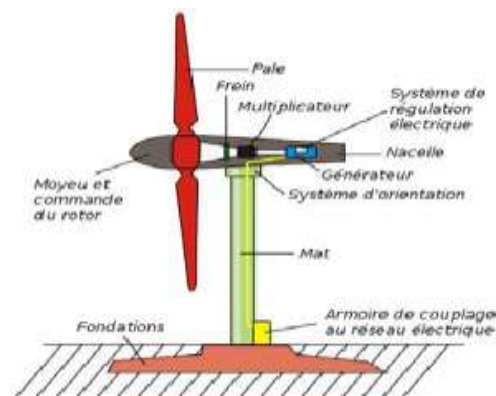


Fig. I.11 : Schéma des différents éléments de l'éolien

I.3.6. 1 Constitution d'un système éolien :

Le système de conversion éolienne est principalement constitué par :

- Une turbine éolienne avec ses annexes mécaniques dont le rôle est de convertir une partie de l'énergie du vent en énergie mécanique.
- Un générateur électrique qui transforme une partie de l'énergie mécanique disponible sur l'arbre en énergie électrique.
- Une charge électrique qui peut être statique ou dynamique, ou un réseau de distribution d'énergie électrique.
- Une interface d'électronique de puissance, qui est en général placée entre le générateur et la charge, qui adapte la forme de l'énergie électrique fournie par le générateur à ce qui exige la charge.
- Un système de commande et de régulation qui assure la conversion optimale en régime stationnaire, et éventuellement en régime dynamique [15].

I.3.6.2 Classification des éoliennes :

Dans cette partie nous présentons les différentes éoliennes rencontrées dans la production de l'énergie électrique, pour cela on peut les classer selon les catégories suivantes :

I.3.6.2.1 Taille des aérogénérateurs :

Les besoins en énergie électrique conduit les chercheurs et les constructeurs à usiner des éoliennes de plus en plus puissantes ; la puissance de l'éolienne va avec la longueur des hélices.

La classification des éoliennes selon leurs tailles se réduit à trois types, les éoliennes de petites tailles, de moyenne et de grande taille [16].

TAILLE	Diamètre de l'hélice	Puissance Délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 KW
Moyenne	12 m à 45 m	De 40KW à 1MW
Grande	45 m et plus	1MW et plus

Tableau I.1: Taille des éoliennes

I.3.6.2.2.L'organe capteur :

Le but de l'organe capteur est de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique pour des raisons de conversion d'énergie électromécanique, on cherche à obtenir un mouvement de rotation. Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice [17].

a) Capteurs à axe horizontal :

Toutes les éoliennes commerciales raccordées au réseau sont aujourd'hui construites avec un rotor du type hélice, monté sur un axe horizontal (c'est-à-dire un arbre principal horizontal).

Leur principal avantage revient sur leur rendement très supérieur à celui des autres types [17, 18].

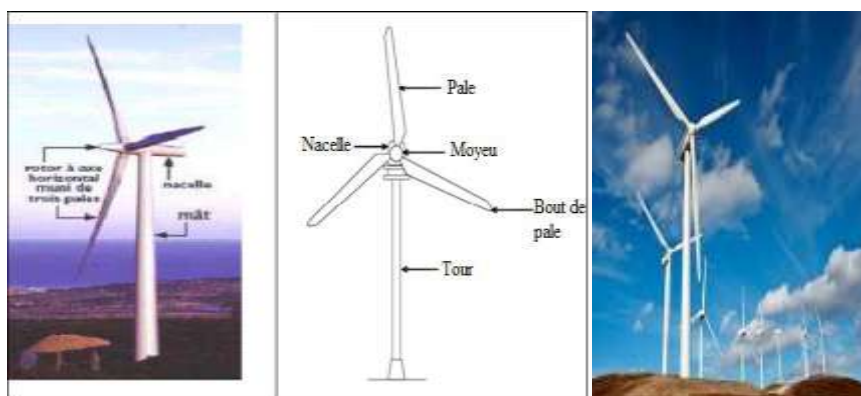


Fig. I.12 : Eolienne à axe horizontal.

b) Capteurs à axe verticale :

Ce type d'éoliennes ne peuvent pas démarrer toute seule, Un système de lancement s'avère donc nécessaire. Le principal avantage des machines à axe vertical est que le dispositif de génération électrique repose sur le sol, ne nécessitant donc pas l'édification d'une tour montrée par la figure I.14 [19].



Éolienne de type Darrieus

Éolienne de type Savonius

Fig. I-13: Eolienne à axe verticale.

I.3.6.3.Principe de Fonctionnement :

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes:

- ❖ Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- ❖ Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique [20].

I.3.6.4 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :**a)Avantages :**

- L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement [21].
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.
- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO2 rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique [22].

- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance [23].
- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles [24].

b) Inconvénients:

- Le vent peut parfois souffler à des intensités irrégulières.
- Les éoliennes sont parfois bruyantes et modifient le paysage d'une région.
- La production dépend de l'intensité des vents et non de la demande en énergie [25].

I.4 Energies solaire et éolienne en Algérie :

L'intérêt pour le développement des énergies nouvelles et renouvelables a été perçu très tôt en Algérie. Toutefois, les efforts consentis dans ce domaine n'ont pas permis l'évolution attendue compte tenu de leur disponibilité et leur importance dans le développement économique et sociale.

Le potentiel techniquement exploitable en énergies renouvelables en Algérie est considérable et la qualité des gisements est telle que des investissements rentables peuvent être envisagés pour leur développement. Trois raisons principales plaident en faveur d'un tel développement:

- Les énergies renouvelables constituent une solution économique viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud ;
- Les énergies renouvelables permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable et de leur impact limité sur l'environnement
- La valorisation des énergies renouvelables ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

La Loi sur la maîtrise de l'énergie de juillet 1999 traduit la volonté et l'engagement des pouvoirs publics en faveur du développement des énergies renouvelables et fixe un nouveau cadre juridique pour la gestion et l'orientation de la demande d'énergie à tous les niveaux de la chaîne énergétique. Cette politique énergétique s'articule autour des préoccupations d'utilisation rationnelle de l'énergie, de promotion des énergies renouvelables et de protection de l'environnement.

Compte tenu des enjeux futurs que représentent ces sources d'énergies durables, les pouvoirs publics ont consacré le caractère prioritaire et stratégique des énergies renouvelables à travers un cadre législatif mis en place récemment.

En effet, les pouvoirs publics se sont engagés à accorder un soutien direct au programme de développement des énergies renouvelables notamment au profit des populations défavorisées et des régions déshéritées [1].

I.4.1. potentiel solaire en Algérie :

L'étude de gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde.

La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7 KWh/m²/jour. Elle est répartie comme suit : Au Nord : 5,6kWh/m²/jour ; Au sud : 7,2kWh/m²/jour [26].

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Irradiation moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2263

Tableau I.2: Répartition du potentiel solaire en Algérie [3]

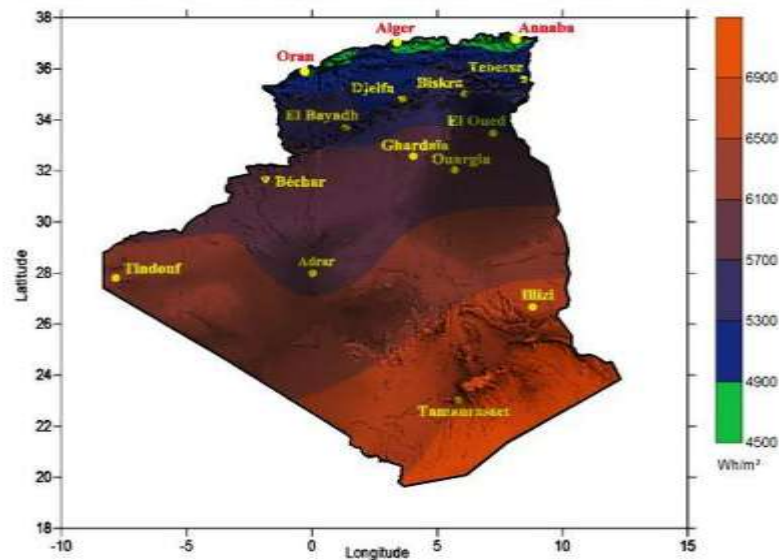


Fig. I-14 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale [13].

I.4.2. Potentiel éolien :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes.

Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar.

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheïter ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud [32]

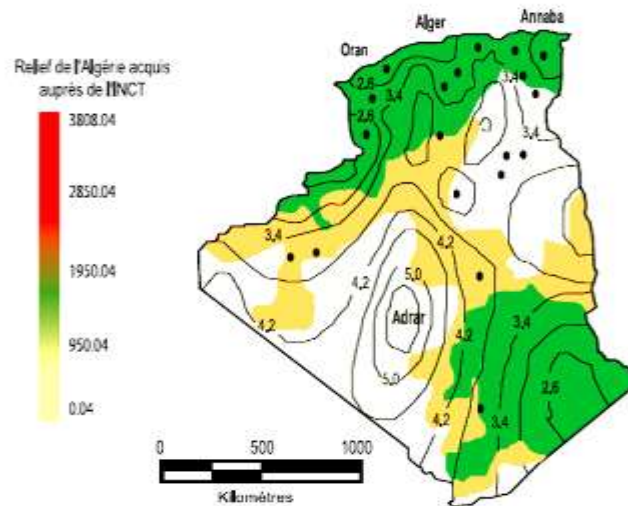


Fig. I.15 : Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol. [4]

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale sur les différents moyens de production d'énergie électrique d'origine renouvelables.

Nous avons présenté aussi les différentes notions qui entrent dans la conception des deux énergies : solaire photovoltaïque et éolienne. Et d'autre part, nous avons évoquée tous les éléments constitutifs des deux systèmes photovoltaïques et éoliens, ainsi que leurs principes de fonctionnements, ce qui permet d'introduire à l'analyse du système hybride formé par ces deux systèmes au chapitre II.

Chapitre IV

Application et Simulation

d'un système hybride

IV.1 .Introduction :

un système hybride est proposée dans ce chapitre pour d'améliorer la qualité de l'énergie produite par un système de production d'énergie électrique. Une application d'un système hybride est simulé sur le logiciel HOMER afin d'alimenter un site situé à une région de la ville de Adrar, pour une optimisation qui permet de déterminer le type du système hybride réel a installé. Des résultats de simulations seront présentés pour confirmer le bon fonctionnement de système afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

IV.2.Application du logiciel Homer pour l'optimisation Adrar :**IV.2.1 Présentation de l'outil de simulation :**

HOMER : est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie autonomes ou connectés au réseau. Il permet de faire des simulations de systèmes avec des énergies renouvelables et avec des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elles soient renouvelable ou fossile.

La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions. La version utilisée pour le présent travail est HOMER 2.68 beta sortie en juillet 2009. Ce logiciel est largement utilisé dans plus de 190 pays et par plus de 40000 utilisateurs.

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir tous les éléments de ce dernier, en utilisant les composants définis dans la bibliothèque du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, le logiciel nous permet de l'ajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque. Toujours HOMER, simule le fonctionnement d'un système en faisant des calculs de bilan d'énergie à chaque heure pour chacun des 8760 heures dans une année. Il trouve la combinaison la moins coûteuse qui répond aux charges électriques et thermiques spécifiques. HOMER simule plusieurs configurations, il optimise le coût pour un cycle de vie donné et génère des résultats de sensibilité pour la plupart des situations [47].

IV.3. L'emplacement choisit :

L'objectif de cette étude est de choisir un village dans une région dans l'Algérie pour étudier la faisabilité de l'utilisation d'un système hybride de génération d'énergie pour alimenter des maisons tout au long de l'année.

Afin de construire ce système d'énergie, on doit disposer tous les informations pour l'emplacement sélectionné. Les informations typiques sont : le profil de charge qui devrait être pris en charge par le système, le rayonnement solaire pour les panneaux solaires, la vitesse du vent pour la production d'énergie éolienne, le coût initial de chaque composant (diesel, générateurs d'énergies renouvelables, batteries), le coût du carburant et la durée de vie du projet. Ensuite, on utilisant ces données, on peut effectuer la simulation pour obtenir la meilleure configuration du système d'alimentation hybride pour cet endroit précis

IV.4. Données géographique du lieu :

Le tableau II-1 résume les coordonnées géographiques du lieu d'implantation (Algérie).

caractéristique site	Longitude [°]	Latitude [°]	Altitude [m]
Adrar	0,018W	27,82N	263,8

Tableau IV.1: Données géographique du lieu d'implantation (Adrar).

IV.5. Données relative à profil de charge :

L'évolution du profil de charge pour les quatre saisons de l'année est donnée par les figures suivantes :

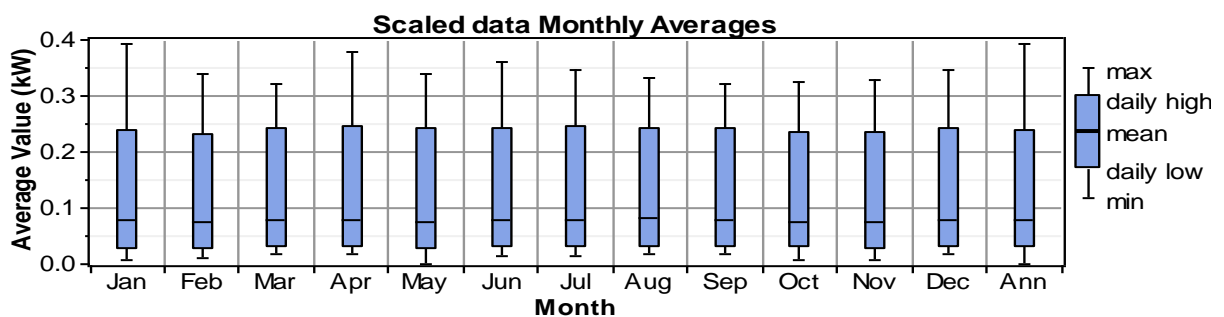


Fig. IV.1: Le profil de charge dans une année

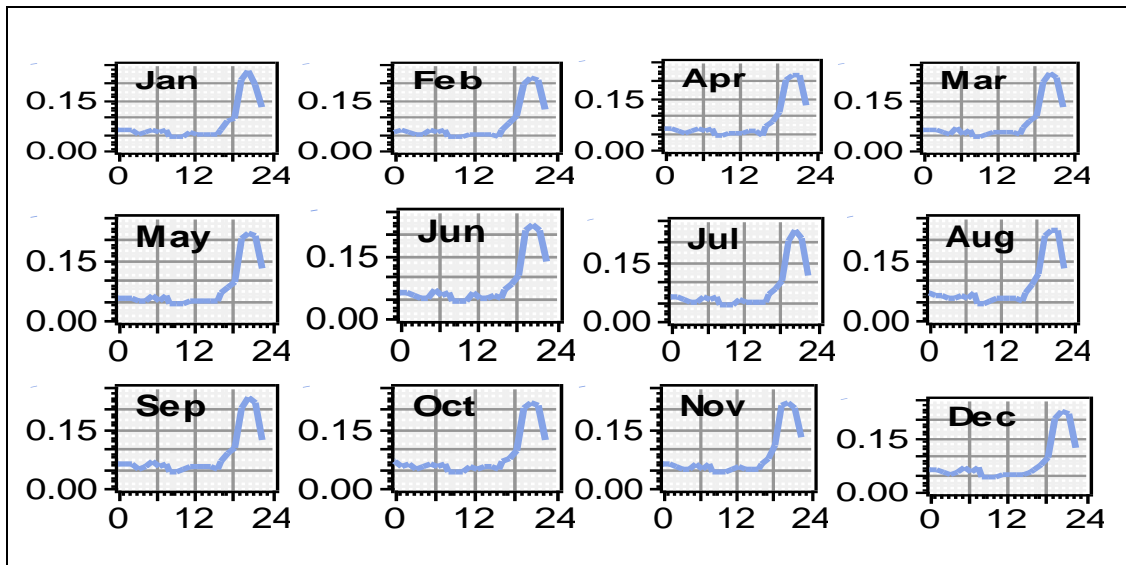


Fig. IV.2 : Le profil de charge journalière suivant les saisons

La figure 1et 2 montre le profil de charge de nombre de maisons sélectionnées. Le processus de simulation du système hybride choisi a été analysé pour voir si l'utilisation du système d'alimentation sera possible ou non. Il est important de noter que ces maisons présentées dans l'exemple d'étude sont déjà raccordées au réseau, l'objectif supplémentaire était de voir l'effet de l'utilisation du système hybride pour leur fournir de l'énergie électrique.

La charge journalière est de 1.9 KWh par jour, la charge journalière pour le consommateur algérien est de 5 KWh à 10 KWh par jour, et donc la charge de système construit par HOMER simule l'alimentation d'énergie pour une somme de maisons qui peut atteindre les 10 foyers.

Cependant les informations concernant les sources d'énergie renouvelables comme les données solaires et éoliennes sont présentées dans le tableau suivant :

Mois	Clarté	Le rayonnement solaire	La vitesse du vent
	Index	(kWh/m ² /d)	(m/s)
Janvier	0.920	5.747	5.700
Février	0.885	6.579	5.600
Mars	0.842	7.547	6.600
Avril	0.755	7.781	6.300
Mai	0.673	7.465	6.000
Juin	0.656	7.445	5.500
Juillet	0.667	7.465	5.800
Aout	0.696	7.348	5.600
Septembre	0.746	7.003	5.600
Octobre	0.813	6.397	5.500
Novembre	0.872	5.666	5.300
Décembre	0.900	5.273	4.800

*Tableau IV.2 Le rayonnement solaire et la vitesse du vent
pour un site isolé situé à Adrar en 2000*

IV.6. Données relative à l'irradiation :

HOMER crée les valeurs de rayonnement solaire chaque heure pour toute l'année voir les figure IV.3 et IV.4 , IV.5 :

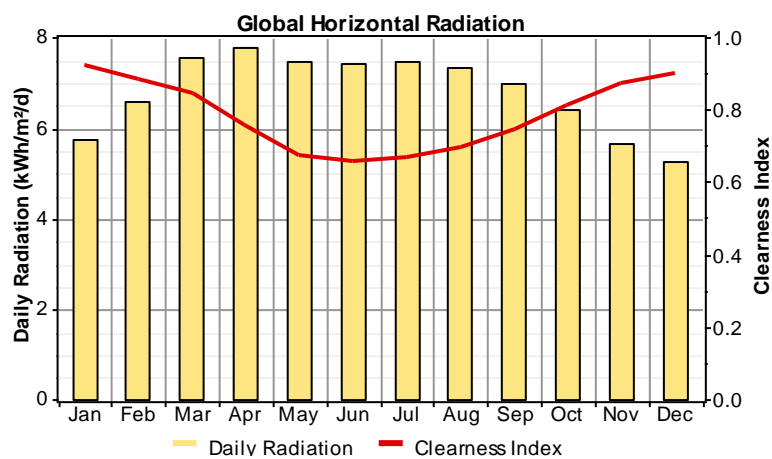


Fig. IV. 3 : l'irradiation dans une année

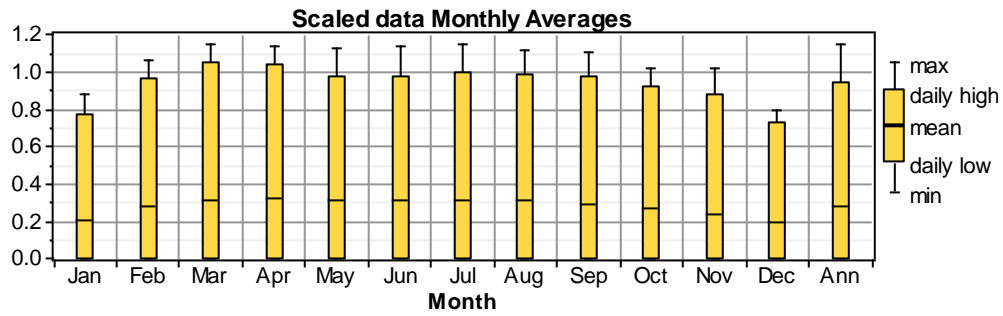


Fig. IV.4: Le profil de l'éclaircissement moyen mensuel

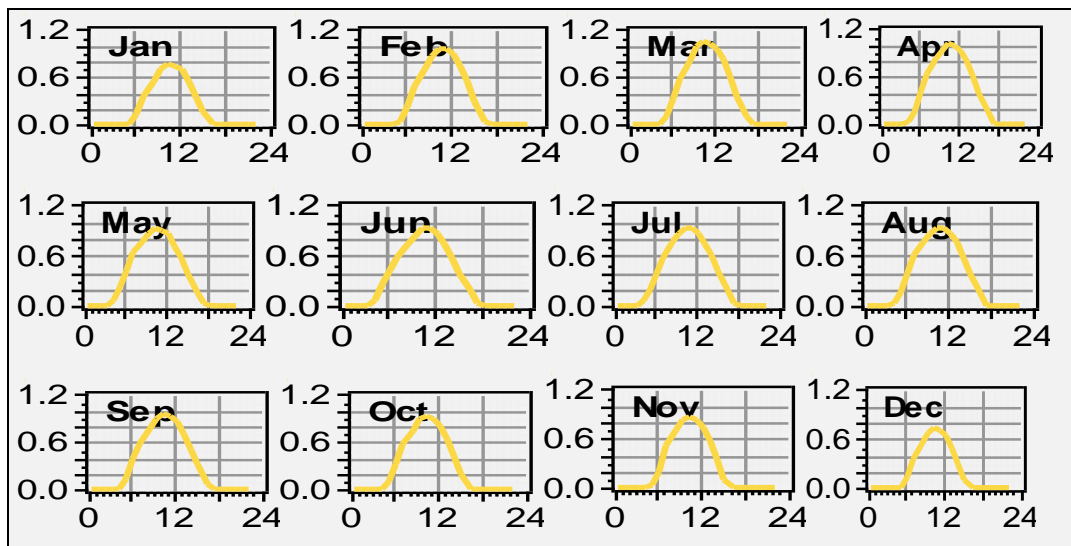


Fig. IV.5: Variation de l'éclaircissement journalier au cours des douze mois de l'année.

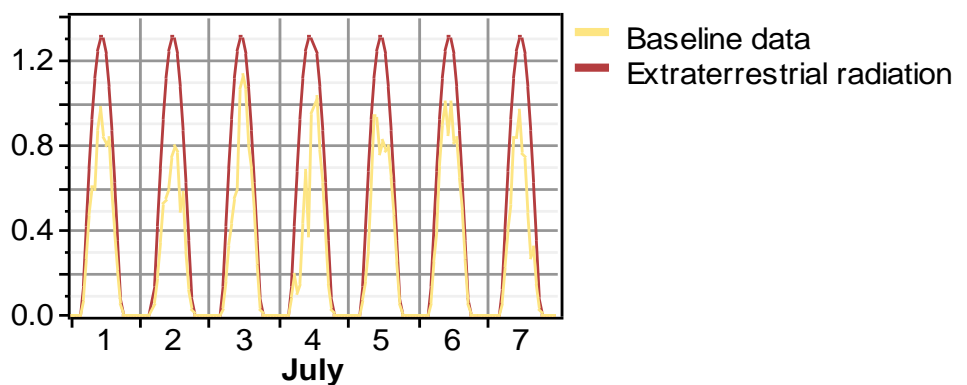


Fig. IV.6: Eclaircissement horaire pour la journée type du mois de juillet

IV.7. Données relative à vitesse de vent:

L'évolution du profil de vitesse de vent pour les quatre saisons de l'année est donnée par les figures suivantes :

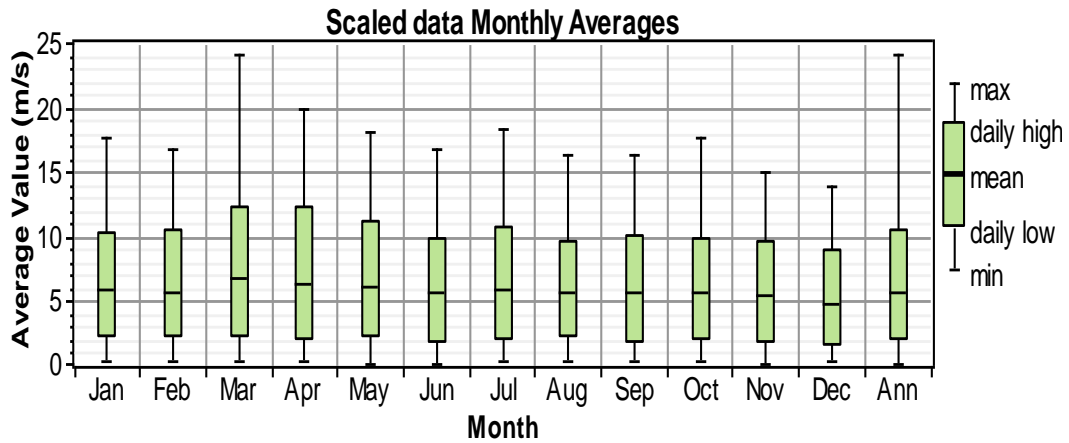


Fig. IV.7 : Le profil de vitesse de vent dans une année

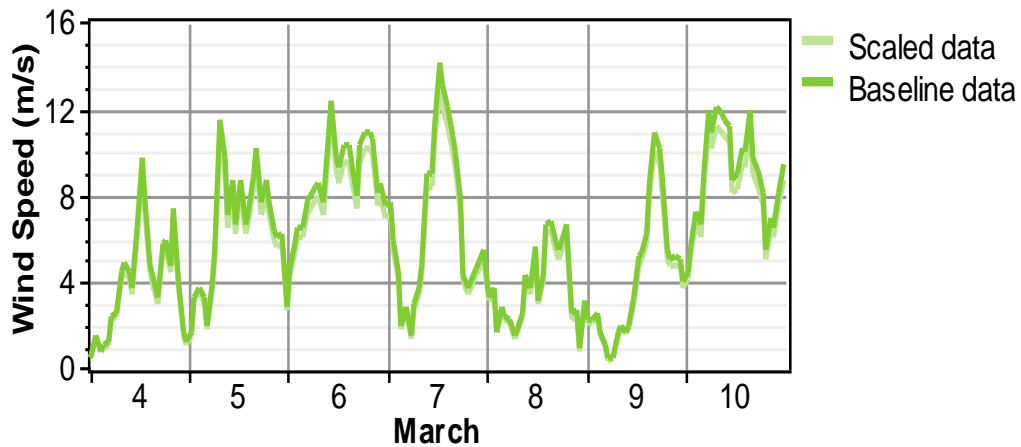


Fig. IV.8: vitesse de vent horaire pour la journée type du mois de MARS

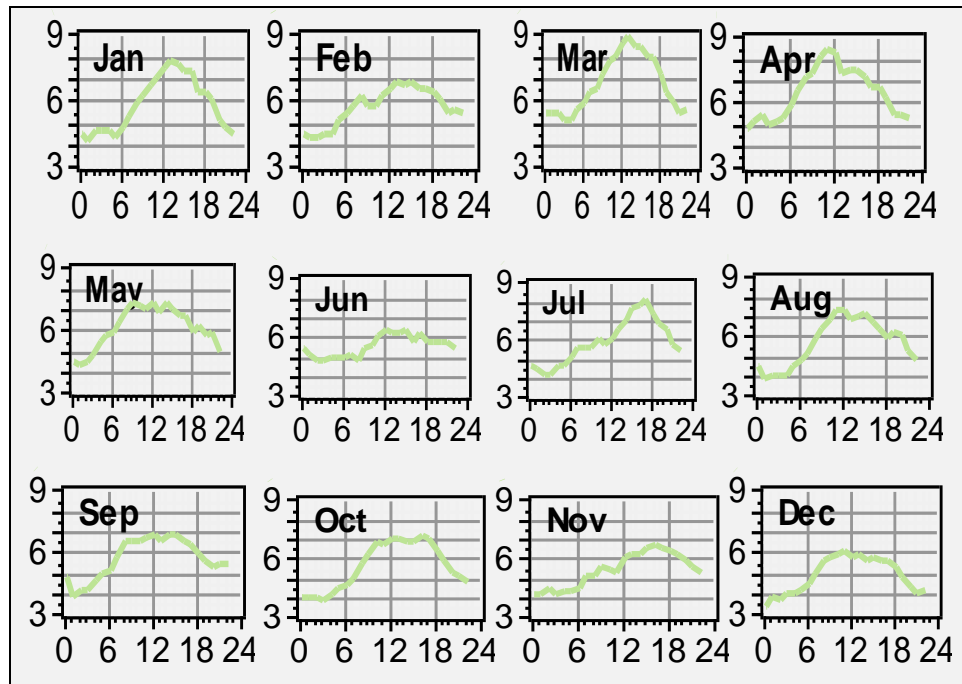


Fig. IV.9: Variation de vitesse de vent journalier au cours des douze mois de l'année

La vitesse moyenne mensuelle de vent sur le site d'Adrar à une hauteur de 10 m du sol est tous jours supérieurs à 5 m/s, et comme la plupart des éoliennes démarrent à une vitesse de vent supérieure à 3 m/s, donc l'exploitation de l'énergie éolienne est favorable pour ce site. Le site d'Adrar offre un potentiel énergétique éolien très important et peut être rentable même pour les installations de grande puissance [43].

IV.8. Données relatives à la température ambiante :

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles (Figure 10) montre que le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne de l'ordre de 37°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de 2°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 24.42°C.

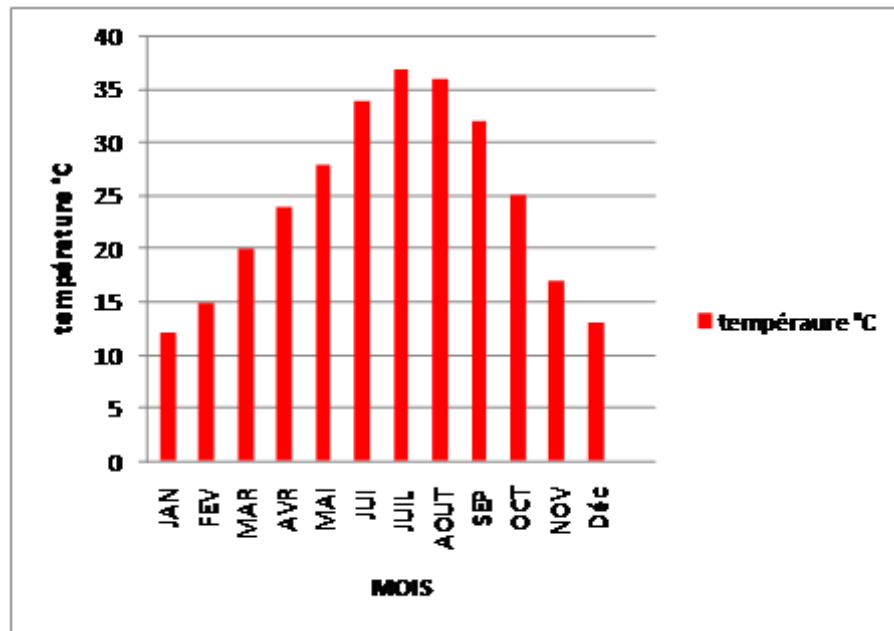


Fig. IV.10: Profil de température ambiante annuelle.

IV.9. Construction de système hybride de génération d'énergie :

Sur l'environnement HOMER, nous avons défini chaque élément de notre installation en se basant sur toutes les caractéristiques et les données fournies dans le paragraphe précédent. présenté par la figure IV.11.

Le cas d'étude :

Charge : valeur moyenne : 88KWh/j.

Eclairage : valeur moyenne : 6, 81 KWh/m²/j.

Vitesse du vent, valeur moyenne : 5, 7 m/s.

Le prix de carburant : 14DA/L

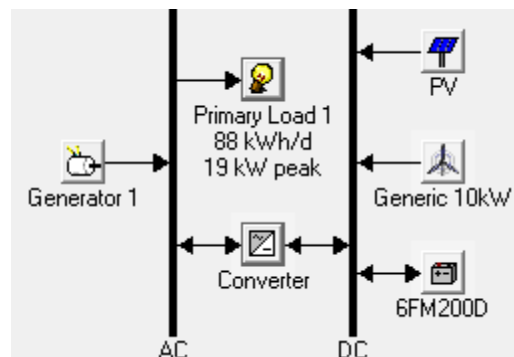


Fig. IV.11 : Architecture d'un système hybride

Le modèle de système hybride présenté par HOMER peut être simulé par l'introduction de nombreux facteurs telle que le coût des composants, la disponibilité des ressources. Un autre facteur majeur au niveau de cette implantation numérique est l'évaluation de long de vie du projet qui est estimé pour 25ans. Les calculs présentés par le logiciel prennent en compte des valeurs tels que le capital de l'intérêt, l'amortissement, le frais de fonctionnement, le coût du carburant... Toutes ses estimations rentrent dans le bon fonctionnement du système étudié.

IV.10. Simulation et interprétation :

La simulation du système hybride par HOMER provient la combinaison optimale des éléments construisons le système. Elle est présentée selon une valeur actuelle nette (NPC) et selon différentes contraintes qui ont participés à la définition de système. Notre cas traite une simulation d'un système hybride de génération d'énergie électrique qui contient deux systèmes à énergie renouvelable photovoltaïque et éolien, et un autre système diesel, avec la présence des batteries et des convertisseurs, le système est autonome du réseau.

Dans ce cas HOMER présente le résultat de simulation comme illustré dans la figure :

	PV (kW)	G10	Label (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Copy DIESEL (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	5	5	10	48	10	CC	\$ 53,778	17,993	\$ 230,431	0.731	0.86	7,374	3,835	8.8

Fig. IV.12 .Résultat de simulation de système hybride par HOMER

En effet HOMER simule toutes les configurations faisables des systèmes hybrides capables de fonctionner parfaitement dans le site choisi avec la fourniture de l'énergie électrique suffisante au profil de charge et présente la configuration optimale comme suit :

PV : 10 KW.

Eolien (G10): 5 générateurs de 10 KW.

Générateur diesel (label) : 10 kW.

Batteries (6FM200D) : 3 lames de batteries.

Convertisseur : 1 seul convertisseur de 10 KW.

Chaque générateur produit de l'énergie individuellement. L'énergie produite du système optimal est montrée dans la figure IV.13 ci-dessous.

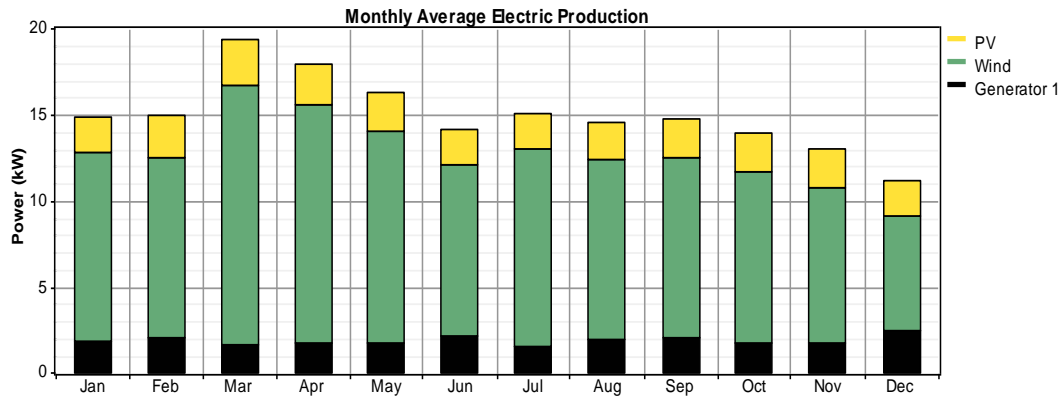


Fig. IV.13 : Puissance moyenne produite par chaque source

Dans les tableaux suivants, on présente des résultats approfondis pour le même système. Le tableau IV.3 présente le taux de production d'énergie électrique pour chaque générateur tout au long de l'année.

Production	KWh/ année	%
PV	19,70 4	15
Eolien	95,390	72
G. Diesel	16,509	13
Total	131,603	100

Tableau IV.3 Energie annuelle produite par chaque générateur

De la figure IV.12 et le tableau IV.2, on constate que la production de l'énergie par le système hybride optimal durant une année complète de fonctionnement présente une continuité de production d'énergie. On remarque que plus de 80% de l'énergie est produite par les générateurs à énergies renouvelables (72% pour l'éolien et 15% pour les panneaux photovoltaïques), une chose qui participe à la diminution de l'effet de serre pour notre planète. Une autre remarque constatée est la variation de la production d'énergie pour chaque générateur durant l'année, il apparait que le générateur éolien participe avec une grande puissance produite dans la saison d'automne et hiver ; cette puissance se diminue avec la diminution de vitesse du vent dans le printemps et l'été. Cependant la production de générateur photovoltaïque augmente par la présence d'éclaircissement important. La production du générateur diesel s'augmente dans le même effet pour satisfaire la demande d'énergie de la charge. L'étude de production d'énergie pour chaque générateur est illustrée comme suit.

IV.10.1 Le générateur photovoltaïque :

Les paramètres de fonctionnement de panneau photovoltaïque sont montrés dans le tableau suivant:

Variable	Valeur
Heure de fonctionnement	4386 h/année
Puissance moyenne produite	1KW
Puissance maximale produite	9.16 KW
Pénétration de PV	61.3 9%
Total de production d'énergie	19,704

Tableau IV.4 Information concernant la production d'énergie par le GP

La figure IV.14 présente une présentation DMAP de production d'énergie par le GP, ce type de graphe met en évidence un an de données horaires, chaque heure de l'année est présentée par une couleur qui simule une information précise d'une valeur de données. Cette présentation permet de voir plus clairement les informations utiles pour une interprétation facile et concrète.

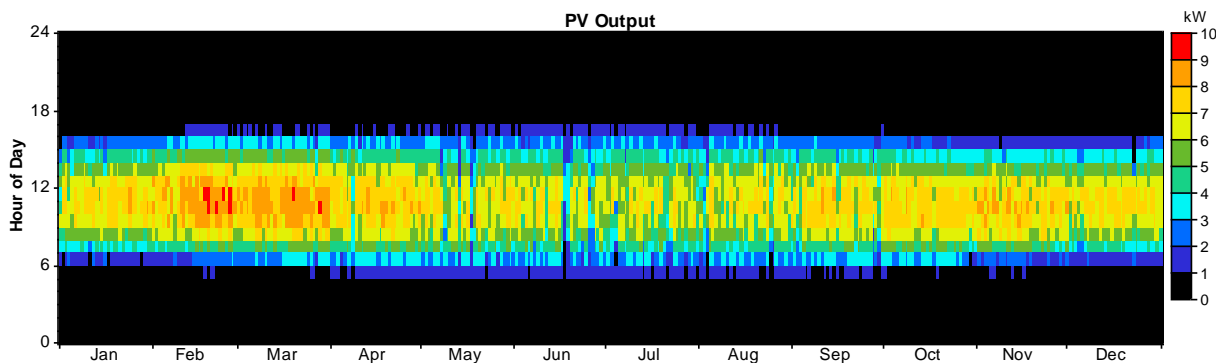


Fig .IV.14 DMAP de production horaire par le GP

On peut remarquer que la période de fonctionnement de GP est bornée dans les mois d'hiver entre 7h du matin au 17h, et inversement dans la saison d'été cette limite se stabilise entre 6 du matin jusqu'au 18h. La production des GP est nulle dans l'heure pointe selon le profil de charge journalière à 20h, ce qui introduit en parallèle le fonctionnement d'autres générateurs ou bien le recours d'énergie stockée dans les batteries pour répondre au demande de charge.

IV.10.2 Le générateur éolien :

Les paramètres de fonctionnement de générateur éolien sont montrés dans le tableau suivant :

Variable	Valeur
Heure de fonctionnement	7171 h/année
Puissance moyenne produite	4.3KW
Puissance maximale produite	50KW
Pénétration de l'éolien	297%
Total de production d'énergie	95,390

Tableau IV.5 Information concernant la production de l'énergie éolienne

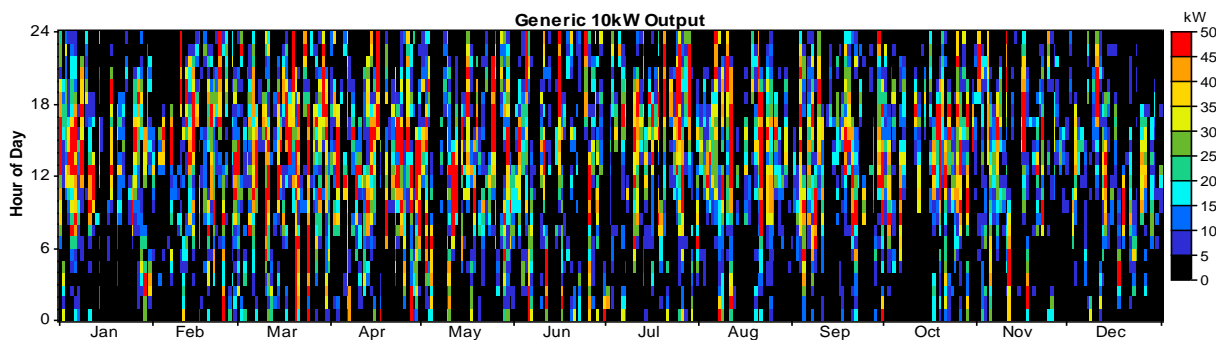


Fig. IV.15 DMAP de production horaire par l'éolien

Comme illustré dans la figure IV.15, le générateur éolien fonctionne toute la journée, ce qui est bien montré dans le graphe DMAP. La production de l'énergie éolienne se bénéficie des grandes valeurs tout le long des mois d'automne et d'hiver, ce qui est bien traduit avec des couleurs bien claires, contrairement au mois du printemps et d'été où la vitesse de vent se diminue, la production éolienne se diminue en parallèle.

IV.10.3 Le générateur diesel :

Les paramètres de fonctionnement de GD sont montrés dans le tableau suivant :

Variable	Valeur
Heure de fonctionnement	3715 h/année
Puissance moyenne produite	3KW
Puissance maximale produite	10KW
Carburant utilisé annuellement	7099L/an
Utilisation spécifique du carburant	0,43L/KW
Total de production d'énergie	17KW/an

Tableau IV.6 Information concernant la production de l'énergie par le GD

Dans la suite et à l'objectif de voir la différence dans la consommation de carburant par le GD, on va faire une comparaison entre deux représentations DMAP de production d'énergie d'un GD installé dans deux systèmes hybrides différents :

- 1-Un SH éolien-PV-diesel.
- 2-Un SH éolien-diesel.

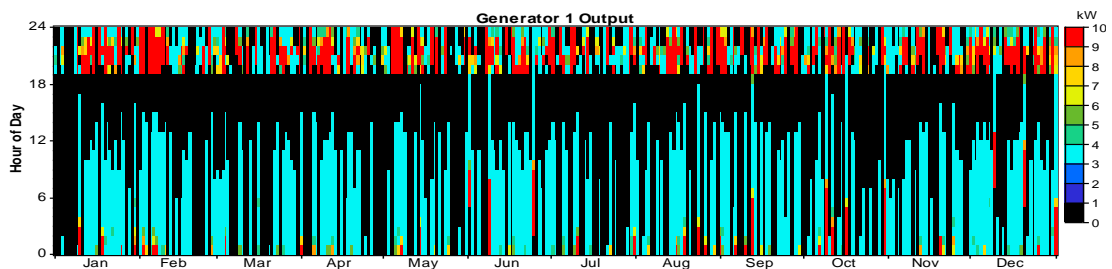


Fig. IV.16 Dmap de production horaire par le GD pour un système éolien-PV-diesel

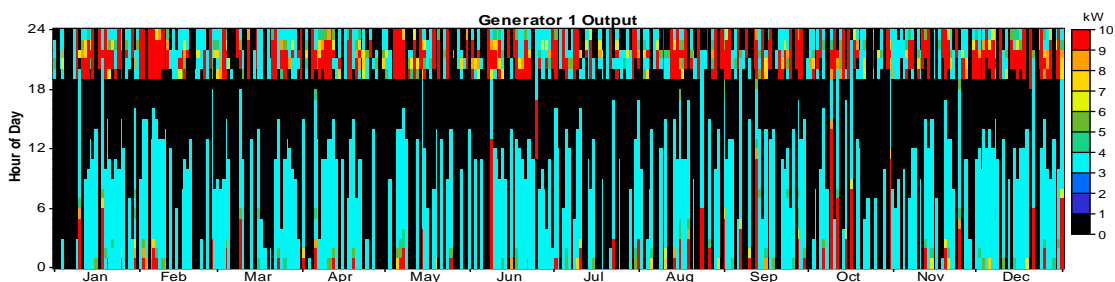


Fig. IV.17 Dmap de production horaire par le GD pour un système éolien-diesel

Comme illustré dans les figures ci-dessus (figure IV.16, figureIV.17), la génération d'énergie par le GD diffère d'un système hybride à un autre. L'objectif de la comparaison est la mise en place pour voir la nécessité de l'utilisation des systèmes de générations d'énergies basés sur les énergies renouvelables en parallèle avec le fonctionnement du GD pour but de minimiser l'utilisation de combustible fossile. On remarque que plus qu'on ajoute des générateurs renouvelables plus qu'on diminue l'utilisation de combustible pour la génération d'énergie électrique. Une autre conclusion qu'on la prend de la simulation globale d'un système hybride par HOMER est que le critère financier joue un rôle important dans le mécanisme de construction de système. Avec le coût élevé des panneaux solaires et leur production minimale en comparaison avec le générateur éolien dans le site d'Adrar, on va baser sur l'étude d'un système hybride éolien-diesel qui peut satisfaire la demande de charge d'une manière faisable et participe à la diminution de coût d'installation.

IV.11.conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude de simulation pour un système hybride éolien diesel photovoltaïque avec la présence des batteries et des convertisseurs, pour l'alimentation d'une charge donnée dans un concept autonome. La simulation est faite par le logiciel HOMER, qui nous permet de traiter des résultats réels basés sur des contraintes de coût et de variations d'entrées météorologiques d'un site situé dans la ville d'Adrar.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons tenté d'examiner comment utiliser le système solaire et éolien pour l'alimentation électrique d'un village isolé. Optimisation et la simulation du système avec le logiciel HOMER, les résultats indiquent un bon potentiel pour le site d'Adrar pour le vent et l'énergie solaire et illustrent également le bon fonctionnement de l'approche proposée pour fournir les besoins électriques du système, il a été démontré que l'utilisation du système hybride PV / diesel avec batterie peut réduire de manière significative la dépendance à l'égard de Générateur diesel. De plus, il contribue également à réduire les polluants, tels que les émissions de carbone, réduisant ainsi l'effet de serre. D'autre part, il est également prouvé que l'utilisation du système hybride PV / diesel /éolien avec batterie pourrait être plus économique si le prix du diesel va augmenter de manière significative.

On a examiné à travers les résultats de la simulation que l'introduction de l'aérogénérateur dans le système photovoltaïque batteries se traduit par une diminution de la dimension du stockage or le stockage avec le cout élevé et son encombrement pose la plus grande contrainte au système sur tous pour les systèmes de grande puissance.

Bibliographie

- [1] : **S. BELAKEHAL** « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables » Thèse de Doctorat, Université de CONSTANTINE 2010
- [2] : **H. KANCHEV** : « Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain » Thèse de Doctorat, PRES Université Lille Nord-de-France 2014
- [3] : **C. DARRAS**, “ Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE’’, Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.
- [4] : **A. MIRECKI**, « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », thèse de doctorat, de l'institut national polytechnique de Toulouse, 5 avril 2005.
- [5] : « La cellule photovoltaïque ». Document technique, Centre de recherche de Développement De l'ECAM.
- [6] : **R. MAOUEDJ**, « Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzaréah ». Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd. Département de physique, 2005.
- [7]. **C. ZIDANI, F. BENYAROU et B. BENYOUCEF**, « Simulations de la position apparente du soleil et estimation des énergies solaires incidents sur un capteur plan photovoltaïque pour la ville de Tlemcen (Algérie) », Revue énergies renouvelables, Vol.6, pp.69-76, 2003.
- [8]. **T. FOGELMAN**, « Système photovoltaïque pour les pays en développement », Manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, (AFME) – septembre 1982.
- [9] : **A. LABOURET, M. VILLOZ**, « Energie solaire Photovoltaïque ». Livre, 3ème édition, Paris France, 2003.
- [10] : **L. ABDELHAMID**, « Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur l'Environnement ». Thèse Doctorat, Université de Batna, 2012.
- [11]. **B. FLECHE, D. DELAGNES**, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.
- [12] : **L. ABBASSEN**, « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque ». Mémoire Magister, université de Tizi-Ouzou, 2011
- [13]. **L. PROTIN and S. ASTIER**, « Convertisseurs photovoltaïques », Technique d'ingénieur, D 3360, 1996.
- [14] : **M. Huart**, « Guide des énergies renouvelables », Association pour la promotion des énergies renouvelables, Ministère de la Région wallonne éditeur, 1994
- [15] : **L. Chang**, 'Systèmes de Conversion de l'Energie Eolienne', IEEE Canadian Review, pp. 1 – 5, 2002.

-
- [16] : **B. BOUKHEZZAR**, « Stratégies de Commande pour L'optimisation et la Régulation de Puissance des Éoliennes à Vitesse Variable ». Thèse de Doctorat de l'université de Paris XI France, 2006
- [17] : **N. MEKKAOU**, « Contribution à la Modélisation et à la Commande d'une Mini-Centrale Eolienne à Base de Machines à Induction Simple et Double Alimentée ». Mémoire Magister, Université Batna, 2004
- [18] : **L. KHATTACHE**, « Etude et commande d'un système éolien à base d'une machine électrique à double alimentée ». Mémoire Magister, Batna, 2007
- [19] : **A. RAMLI**, « Contribution à l'amélioration des performances d'un aérogénérateur basé sur MSAP ». Mémoire de Magister, Université de Bejaïa, 2010
- [20] **N. La verdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme**, "Technologie des systèmes éoliens –Intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004.
- [21] **J. Chen, C. Nayar, L. XU**, « Design and FE analysis of an outer-rotor PM generator for directly coupled wind turbine applications », proceeding of the IEEE industry applications conference, New York, USA, 1998, vol 1, pp. 387-394.
- [22] **S El Aimani**, « Modélisation des différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension », thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de Lille (USTL)
- [23] **R. Michaux, P. Letellier**, « Les machines discoïdes à champs axial dans les systèmes de production électrique », revue de l'électricité et de l'électronique, N° 3, mars 1997, pp. 37-42.
- [24] **J.W. Smith, J.A. Taylor, D. L. Books, R.C. Dugan**, « Interconnection studies for wind generation », conference papers IEEE2004, paper N° 04 C3, pp. C3-1.C3-8.
- [25] : **N. ZIDANE**, « Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Énergies Renouvelables ». Mémoire Magister, université farhat abbas setif, 2014.
- [26] : **K. AMOKRANE**, « Etude et Performances des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable ». Mémoire Magister, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2008.
- [27] : **H. BRAHIM**, « investigations des différents alternatives renouvelables et hybrides pour l'électrification des sites isolés ». rapport interne, laboratoire de recherche en énergie éolienne LREE-03 septembre 2008.
- [28] **D. REKIOUA, Z. ROUMILA et T. REKIOUA**, « Etude d'une centrale hybride photovoltaïque - éolien – diesel », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11 N°4 623 – 633, 2008
- [29] **B. BOURGESM**, « Improvement in Solar Declinaison Computation », Solar Energy, Vol. 35, N°4, pp. 367 - 369, 1985.
- [30] **M. Belatel** *est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans le lien avec la pile à combustible pour la production de l'électricité verte » Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 145 – 162
- [31] **Site Internet**: www.ulb.ac.be/infosciences/files/piles.pdf, 'Les Piles à Combustible'.
- [32] **K. Mammar and A. Chaker**, 'Fuzzy Logic-Based Control of Power of PEM Fuel Cell System for Residential Application', Leonardo Journal of Sciences, N°14, pp. 147 – 166, 2009.
- [33] **M. Boillot**, 'Validation Expérimentale d'Outils de Modélisation d'une Pile à Combustible de Type PEM', Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2005.

-
- [34] **I. Sadli**, 'Modélisation par Impédance d'une Pile à Combustible PEM pour Utilisation en Electronique de Puissance', Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2006.
- [35] : **O, FEDDAOUI** " ' Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération : Application aux Energies Renouvelables ', Mémoire de Magister, Université de Souk - Ahras – 2013-2014
- [36] : **F. Baghdadi**, " ' Modélisation et Simulation des Performances d'une Installation Hybride de conversion d'Energies Renouvelables ' ", Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.
- [37] : **K. Messaitfa**, « Douze années d'expériences du pompage solaire a travers le sud ouest de l'Algérie », ENERSOLE. Octobre 2001. Adrar.
- [38] **R. Maouedj, S. Bousalem, et B. Benyoucef** « Etude des performances d'un système éolien pour le site d'Adrar ». Le 7eme congrès national de la physique et se applications (CNPA2006) Béchar Décembre 2006.
- [39] **D. Rekioua*, Z. Roumila et T. Rekioua** « Etude d'une centrale hybride photovoltaïque - éolien – diesel » Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 623 – 633
- [40] : **H. Nfaoui, J. Bahraoui, A.S. Darwish and A.A.M. Sayigh**, "Wind Energy Potential in Marroco", Renewable Energy, Vol. 1, N°1, pp. 1 - 8, 1991.
- [41] **E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman**, "Application of Using Hybrid Renewable Energy in Saudi Arabia ", ETASR - Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.
- [42] : **M. Ashari, C.V. Nayar**, "An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system" Renewable Energy Vol. 66 No. 1. PP. 1-9
- [43] **LATRECHE Mohammed** «Tahar Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien» Mémoire de Magister Université Ferhat Abbas de Setif, 2012.
- [44] : **Musseli, M. Notton, G. Louche, A, A** « design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management" solar energy, Vol. 65, N°3
- [45] **C. Proteropoulous, B.J. Brinkworth and R.H. Marshall**, "Sizing and Techno-Economical Optimization for Hybrid Solar Photovoltaic/Wind Power Systems with Battery Storage", Int. J. Energy Res Vol. 21, pp. 465-479, 1997.
- [46] **Ministère de l'Energie et des Mines**, "L'Energie Eolienne au Maroc, Gisement - Dimensionnement", C.D.E.R, Royaume du Maroc, 1986
- [47] **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**, "HOMER the Mircropower Optimization Model Fact Sheet ", pp. 1-2, 2005.

Abstract: We present