

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -  
ⵕⴰⵎⵓⵏⵉⵏ ⵏ ⵓⵏⵉⵎⵓⵏⵉⵏ ⵏ ⵓⵏⵉⵎⵓⵏⵉⵏ ⵏ ⵓⵏⵉⵎⵓⵏⵉⵏ



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة أكلي محمد أوحاج  
- البويرة -

FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEE  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en **Génie Mécanique**

Option : **Énergétique**

Thème :

**Etude de la stratégie de contrôle dans un système  
énergétique multi sources**

*Présenté par :*

Tir Fares

Boukamoum Youghorta

*Par le jury composé :*

M<sup>r</sup>.Dahmane M

MAA

Président

M<sup>r</sup>.Aghbari A

MCB

Examineurs

M<sup>me</sup>.Baghdadi.F

MAA

Encadrant

*Année universitaire*

*2021/2022*



## *Remerciements*

*Mon remerciement s'adresse en premier lieu à ALLAH le tout  
Puissant pour la volonte, la santé et la patience qu'il m'a donnée  
durant ces longues années.*

*Je tiens aussi à remercier mon encadreur*

*M<sup>eme</sup> Baghdadi.F*

*Qui m'a apporté une aide précieuse, je lui exprime ma  
Gratitude pour sa grande disponibilité, ainsi que pour sa  
compréhension et les encouragements qu'il m'a apportés.*

*Mes remerciements aussi s'adressent à tous Les enseignants du  
Département de Génie Mécanique.*

*En fin Mes remerciements vont à ma famille et mes amis pour  
son*

*Soutien moral et financière durant cette formation*





## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail À mes très chers  
parents Je vous dois ce que je suis  
aujourd'hui grâce à votre amour, à votre  
patience et vos innombrables sacrifices.*

*À ceux qui m'ont toujours encouragé pour  
que je réussisse dans mes études*

*À toute la famille du Tir*

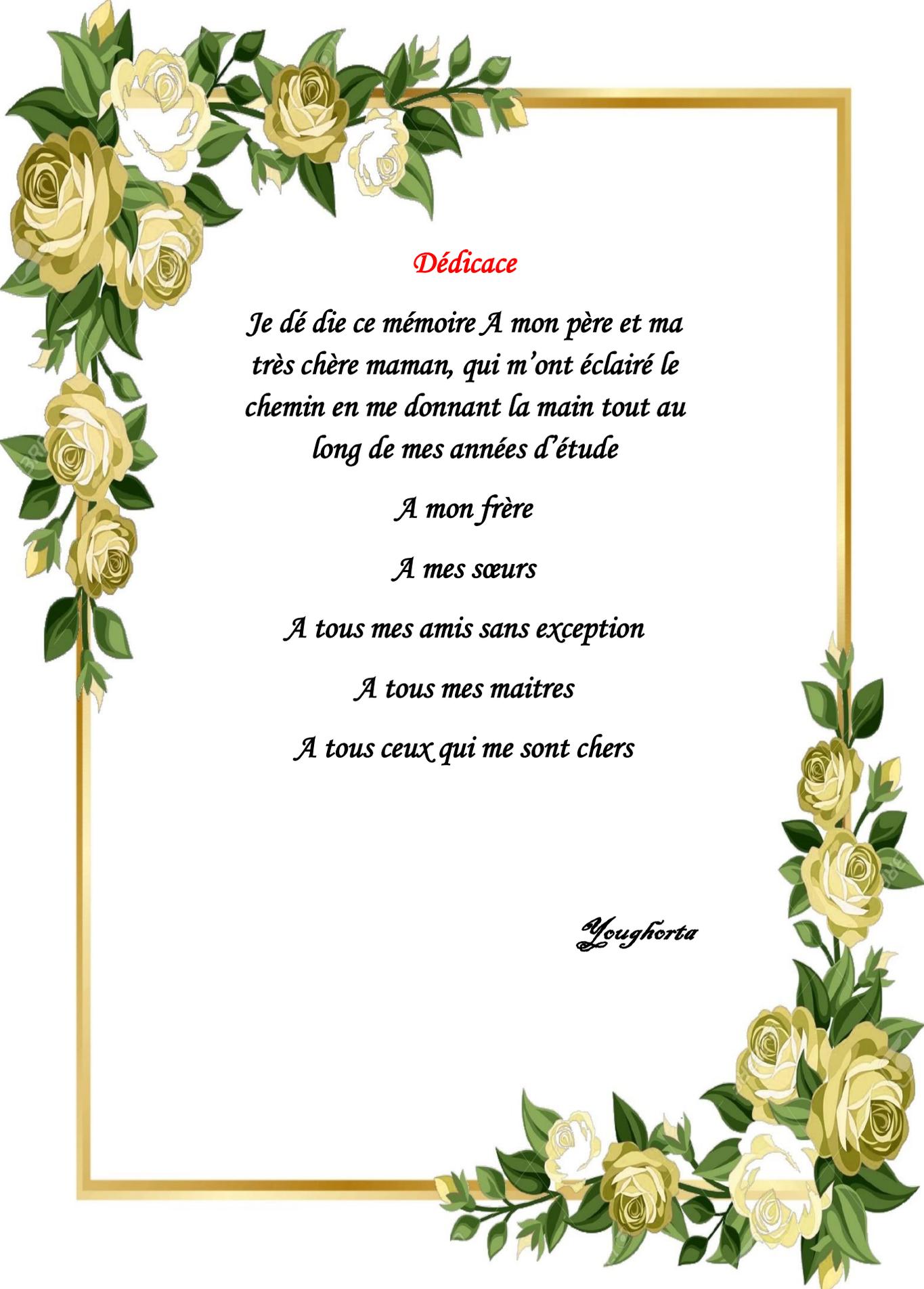
*À mes chers frères et sœurs, pour leur soutien  
moral tout au long de ma vie.*

*À tous mes amis et surtout « hassani moussa » et  
mon binôme Boukamoum Youghorta*

*Et Ouali Sofiane*

*À tous mes collègues de promotion et à tous ceux  
qui m'ont aidée, de près ou de loin, à accomplir ce  
travail.*

*Fares*



*Dédicace*

*Je dédie ce mémoire A mon père et ma  
très chère maman, qui m'ont éclairé le  
chemin en me donnant la main tout au  
long de mes années d'étude*

*A mon frère*

*A mes sœurs*

*A tous mes amis sans exception*

*A tous mes maitres*

*A tous ceux qui me sont chers*

*Loughorta*

## Résumé

Ce mémoire présente une étude de dimensionnement et analyse du cout d'un système hybride de production de l'énergie renouvelable dans différents sites isolés en Algérie (Adrar, Tamanrasset), composés d'éolienne et photovoltaïque avec la batterie le stockage et un générateur diesel.

L'analyse technico-économique et environnementale a été examinée à l'aide de l'outil de simulation HOMER en sélectionnant la configuration optimale en fonction du coût de l'énergie (COE), du coût actuel net (NPC), de la fraction renouvelable (RF) et des émissions de gaz à effet de serre (GHG). D'après les résultats obtenus et l'analyse de sensibilité, la configuration optimale à un COE de 0,208 \$/kWh, et coût actuel net NPC de 54299 et une émission de GES de 1286 kg/a.

Il est constaté qu'un système hybride PV- éolien – GD, EDH hors réseau est un moyen efficace de réduction des émissions, il est prouvé aussi que le coût de l'énergie dépend largement de la qualité potentielle de l'énergie renouvelable.

**Mots Clés :** Energie renouvelable, Panneaux solaires, Eolienne, Système hybride.

## ملخص

تعرض هذه المذكرة دراسة التصميم وتكلفة النظام الهجين لإنتاج الطاقة المتجددة، في مختلف أماكن معزولة في الجزائر (ادرار وتمنراست)، ويتألف من توربين الرياح والألواح الشمسية مع بطاريات التخزين و مولد الديزل.

تم فحص التحليل التقني و الاقتصادي و البيئي باستخدام اداة محاكاة هومر عن طريق اختيار التكوين الامثل بناء على تكلفة الطاقة صافي التكلفة الحالية الجزء المتجدد و انبعاثات غازات الاحتباس الحراري .وفقا للنتائج التي تم الحصول عليها وتحليل الحساسية فان التكوين الامثل في تكلفة الطاقة يبلغ 0.208 (كيلوات ساعي/\$) و صافي التكلفة الحالية البالغ ب 54299 دولار وانبعاثات غازات الدفينة تبلغ 1296كغ/ا.

وتبين كذلك أن النظام الهجين (الألواح الشمسية/توربين الرياح/مولد الديزل) هو وسيلة فعالة للحد من الانبعاث، وثبت أيضا أن تكلفة الطاقة يعتمد إلى حد كبير على إمكانات نوعية الطاقة المتجددة.

**كلمات مفتاحية :** الطاقة المتجددة، الطاقة الشمسية، التوربين (الرياح)، النظام الهجين.

### **Abstract :**

This paper presents a study of design and cost analysis of a hybrid system for producing renewable energy in isolated sites in Algeria ( Adrar and Tamanrasset ) , composed of wind and solar with battery storage and a generator diesel.

The techno-economic and environmental analysis was examined using the HOMER simulation tool by selecting the optimal configuration based on the cost of energy (COE), the net present cost (NPC), the fraction renewable (RF) and greenhouse gas (GHG) emissions. According to the results obtained and the sensitivity analysis, the optimal configuration at a COE of 0.208 \$/kWh, and net present cost NPC of 54299 \$ and a GHG emission of 1286 kg/a.

It is found that PV- wind hybrid system - GD EDH off-grid is an effective way to reduce emissions, it is also proved that the energy cost depends largely on the quality potential of renewable energy.

**Key Words:** Renewable Energy, Solar, Wind, Hybrid System.

# Sommaire

Introduction Générale.....	2
----------------------------	---

## Chapitre I

### Généralités sur l'énergie renouvelable

I.1. Introduction.....	6
I.2. Les énergies renouvelables .....	6
I.3. Les différents types des énergies renouvelables .....	7
I.3.1. L'énergie solaire .....	7
I.3.1.1. Le soleil.....	8
I.3.1.2. Types d'énergie solaire.....	8
I.3.1.2.1 L'énergie solaire passive .....	9
I.3.1.2.2. L'éclairage naturel .....	9
I.3.1.2.3. L'énergie solaire thermique.....	10
A. L'énergie solaire thermique à basse température .....	10
B. L'énergie solaire thermique à haute température .....	10
I.3.1.2.4. L'énergie solaire photovoltaïque .....	12
I.4. Energie éolienne.....	12
I.4.1. Les différents types d'éoliennes .....	13
a. Les éoliennes à axe horizontal.....	13
b. Eolienne à axe vertical.....	13
I.4.2. Principe de fonctionnement :.....	14
I.5. Energie de la biomasse .....	15
I.5.1. Principe de fonctionnement.....	16
I.6. Energie hydraulique .....	17
I.6.1. Principe de fonctionnement :.....	17

I.7. Energie géothermique.....	18
I.7.1. Classiquement trois types.....	18
a. La géothermie à haute énergie.....	18
b. La géothermie à basse énergie .....	19
c. La géothermie à très basse énergie : .....	19
I.7.2. Principe de fonctionnement :.....	20
I.8.Conclusion .....	21

## **Chapitre II**

### **Stratégies de gestion d'énergie pour les systèmes hybrides PV/Diesel**

II.1. Introduction .....	22
II.2. Système d'énergie hybride .....	22
II.2.1. Définition des systèmes hybrides .....	22
II.2. 2.Le but du système hybride .....	22
II.2. 2.3. Configuration des systèmes hybrides autonomes .....	23
II.2. 2.3.1. Architecture à bus DC.....	23
II.2. 2.3.2. Architecture à bus AC.....	24
II.2. 2.3.3. Architecture mixte (DC&AC) .....	24
II.3. L'énergie photovoltaïque .....	25
II.3.1. L'effet photovoltaïque .....	25
II.3. 2.Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque .....	26
II.3.3. Différents types des cellules photovoltaïques .....	27
II.4. Système de stockage d'énergie .....	29
II.4.1. Description des différents types de stockage .....	29
II.4.1. 1.Les batteries .....	29
II.4.1. 1.1. Définition d'une batterie .....	29

II.4.1. 1.2. Les différents types de batteries.....	30
II.4.1. 1.2.1. Accumulateur nickel cadmium .....	30
II.4.1. 1.2.2. Accumulateur Lithium-ion.....	31
II.4.1. 1.2.3. Accumulateur au plomb (PB) .....	31
II.5. Générateurs Diesel .....	32
II.6. Configurations de systèmes hybrides PV/Diesel .....	33
II.6. 1.La configuration hybride PV/Diesel « un générateur Diesel » avec batterie de stockage.....	33
II.7. Brève synthèse bibliographique sur les approches de gestion D'énergie dans les systèmes hybrides PV/Diesel.....	34
II.8. Stratégies de gestion d'énergie développées pour différentes.....	35
Configurations hybrides PV/Diesel.....	35
II.8.1. Stratégies de gestion d'énergie basée sur l'approche classique .....	35
II.8.1.1. Configuration hybride PV/Diesel « 1 générateur Diesel » sans stockage .....	35
II.8.1.2. Configuration hybride PV/Diesel « 1 générateur Diesel » avec stockage.....	36
II.8.1.3. Configuration hybride PV/Diesel « multi- générateurs Diesel » avec batterie de stockage .....	37
II.8.2. Stratégie de gestion d'énergie basée sur l'approche prédictive optimisée .....	37
II.8.3. Méthodes de résolution du problème d'optimisation .....	38
II.9. Modélisation et méthodes dans Homer .....	38
II.9.1. Modèle PV .....	39
II.9.2. Modèle batterie.....	40
II.9.3. Générateur diesel .....	41
II.9.4. Stratégies d'expédition et contrôle du système .....	41
II.9.4.1. Chargez la stratégie de répartition suivante (LF).....	41
II.9.4.2. Stratégie de répartition des charges de cycle (CC) .....	42
II.9.5. Modèles économiques.....	43
II.10. Conclusion .....	43

# *Chapitre III*

## *Simulation dans Logiciel HOMER Pro*

III.1. Introduction .....	45
III.2. Présentation du Logiciel HOMER Pro .....	45
II.2.1 Définition .....	46
III.2.2. Fonctionnement.....	47
III.2.3. Méthode générale d'utilisation HOMER Pro .....	49
III.2.4. Méthodologies spécifiques aux simulations .....	51
III.2.5. Les sorties .....	52
III.2.6. Le fonctionnement :.....	52
III.3. Première Position de Site (Adrar).....	53
III.3.1. Configuration du Système .....	54
III.3.2. Schéma de conception du système .....	54
III.4. Simulation des composants de système .....	54
III.4. 1.Choix du générateur .....	54
III.4. 1.1. Caractéristiques du générateur diesel.....	56
III.4. 2.Choix des PV .....	57
• L'irradiation solaire .....	58
• La température.....	59
III.4. 3.Choix des éoliennes.....	60
III.4. 4.Choix des batteries .....	62
III.4. 4.1. Caractéristiques de la batterie Generic 1kWh Lead Acid .....	63
III.4. 5.Choix des convertisseurs .....	63
III.4. 5.La charge.....	64
III.5. 2eme Position de Site (Tamanrasset).....	64

III.5. 1.Schéma de conception du système (Tamanrasset) .....	65
III.6. Simulation des composants de système .....	65
III.6. 1.Générateur diesel.....	65
III.6. 2.Choix des PV .....	66
L'irradiation solaire .....	66
La température.....	66
III.6. 3.Choix des éoliennes.....	67
III.6. 4.Choix des batteries .....	68
III.6. 5.Choix des convertisseurs .....	68
III.7. Conclusion.....	68

## ***Chapitre IV***

### ***Résultats et Discussion***

IV.1. Introduction .....	70
IV .2. Résultats pour HOMER Pro.....	70
IV .3. Production et consommation d'énergie électrique.....	71
IV .4. Energie solaire globale.....	73
IV .5. Les détails de la température dans deux sites.....	74
a. Température dans la région d'Adrar .....	74
b. Température dans région Tamanrasset .....	75
IV .6. Résultats de CC et LF dans deux états.....	75
IV .6. 1.Analyse économique (COE) .....	76
IV .6. 2.Évaluation environnementale .....	77
IV .7. Comparaison des résultats du projet dans les 2 régions.....	78
IV .8. Conclusion.....	79
Conclusion Générale .....	81
Bibliographie.....	83

# *Liste des figures*

## **Chapitre I**

### **Généralités sur l'énergie renouvelable**

Figure I.1: Les énergies renouvelables. ....	7
Figure I.2: le soleil. ....	8
Figure I.3: la distance entre le soleil et la terre. ....	8
Figure I.4: le chauffage de la maison par énergie solaire passive.....	9
Figure I.5: éclairage naturel. ....	9
Figure I.6: principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température.....	10
Figure I.7: centrale thermodynamique parabolique. ....	11
Figure I.8: centrale solaire thermodynamique ....	11
Figure I.9: centrale thermodynamique cylindre-parabolique.....	11
Figure I.10: Système Photovoltaïque. ....	12
Figure I.11: Système Photovoltaïque énergie éolienne. ....	12
Figure I.12: Eoliennes à axes horizontal.....	13
Figure I.13: Eoliennes à axes vertical. ....	14
Figure I.14: principe de conversion de l'énergie cinétique du vent.....	14
Figure I.15: Énergie Biomasse.....	15
Figure I.16: La production d'énergie par la biomasse.....	16
Figure I.17: énergie hydraulique. ....	16
Figure I.18: énergie géothermique. ....	17
Figure I.19: Les énergies de La géothermie à haute énergie. ....	18
Figure I.20: Les énergies de La géothermie à basse énergie. ....	18
Figure I.21: La géothermie très basse énergie. ....	19
Figure I.22: Le principe d'énergie géothermique.....	20

## Chapitre II

### Stratégies de gestion d'énergie pour les systèmes hybrides PV/Diesel

Figure II.1: Structure à bus DC d'un système hybride. ....	23
Figure II.2: Structure à bus AC d'un système hybride .....	24
Figure II.3: Structure à bus mixte (DC& AC) d'un système hybride. ....	25
Figure II.4: Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque. ....	26
Figure II.5: Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. ....	27
Figure II.6: Accumulateur nickel cadmium.....	30
Figure II.7: Accumulateur lithium ion.....	31
Figure II.8: Accumulateur au plomb (PB).....	32
Figure II.9: Configuration du générateur diesel.....	32
Figure II.10: Configuration hybride PV/Diesel « un générateur Diesel » avec batterie de stockage .....	34
Figure II.11: Configuration PV/Diesel « 1 générateur Diesel » sans batterie avec contrôle « ON/OFF » .....	36
Figure II.12: Classification des méthodes d'optimisation en fonction de la nature des variables .....	38
Figure II.13: Le schéma de base du système énergétique hybride PV/diesel/batterie .....	39

## *Chapitre III*

### *Simulation dans Logiciel HOMER Pro*

Figure III.1: Modèle conceptuel du logiciel HOMER. ....	47
Figure III.2: l'interface de logiciel HOMER Pro. ....	49
Figure III.3: les équipements. ....	50
Figure III.4: le schéma de système. ....	50
Figure III.5: les ressources. ....	50
Figure III.6: Coordonnée Géographique adrar. ....	53
Figure III.7: Montage électrique du système hybride (Adrar). ....	54
Figure III.8: Les données du coût du GD. ....	55
Figure III.9: Courbe de consommation de carburant du GD. ....	55
Figure III.10: Production journalière moyenne du Diesel pour toute l'année. ....	56
Figure III.11: Les données du coût du PV. ....	57
Figure III.12: Production mensuelles moyenne du PV. ....	57
Figure III.13: la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière ....	58
Figure III.14: l'évolution des températures mensuelles moyennes de la région. ....	60
Figure III.15: Les données du coût d'éolien. ....	60
Figure III.16: Caractéristique de puissance de l'éolienne choisie en fonction de la vitesse du vent ....	61
Figure III.17: DMap de la puissance éolienne produite. ....	62
Figure III.18: Les données du coût de la batterie. ....	62
Figure III.19: Les données du coût du convertisseur. ....	63
Figure III.20: les détails de la charge de système ....	64
Figure III.21: Coordonnée Géographique Tamanrasset ....	64
Figure III.22: Montage électrique du système hybride (Tamanrasset). ....	65
Figure III.23: La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière (Tamanrasset) .....	66
Figure III.24: L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région (Tamanrasset) .....	67

## *Chapitre IV*

### *Résultats et Discussion*

Figure IV .1 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (Adrar). .....	72
Figure IV .2 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source. (Tamanrasset).....	73
Figure IV .3 : l'énergie solaire global (Adrar) .....	73
Figure IV .4 : l'énergie solaire incidente de champs PV (Adrar).....	74
Figure IV .5 : le profil de la température ambiante annuelle (Adrar) .....	74
Figure IV .6 : le profil de la température ambiante annuelle (Adrar).....	75
Figure IV .7 : Résultats de simulation dans une semaine de mois juillet en stratégie CC (Adrar) .....	75
Figure IV .8 : Résultats de simulation dans une semaine de mois juillet en stratégie LF (Adrar) .....	76
Figure IV .9 : Les COE dans la stratégie cc et LF dans deux régions.....	76
Figure IV .10 : Les Émission dans la stratégie cc et LF dans deux régions. ....	77

## *Liste des Tableaux*

### **Chapitre II**

#### **Stratégies de gestion d'énergie pour les systèmes hybrides PV/Diesel**

Tableau II.1. Classification des SEH par gamme de puissance .....	23
Tableau II.2. Comparatif des différentes technologies. [38] .....	28

### *Chapitre III*

#### *Simulation dans Logiciel HOMER Pro*

Tableau III.1. Paramètres pour le choix de logiciel – HOMER Pro. ....	46
Tableau III.2. Caractéristiques du générateur diesel Autosize Genset. ....	56
Tableau III.3. La radiation solaire moyenne .....	58
Tableau III.4. Les températures mensuelles .....	60
Tableau III.5. Caractéristiques techniques de AWS HC 1.5 KW .....	61
Tableau III.6. Caractéristiques de la batterie Generic 1kWh Lead Acid.....	63
Tableau III.7. Les températures mensuelles (Tamanrasset).....	67

### *Chapitre IV*

#### *Résultats et Discussion*

Tableau IV .1. Résultats des calculs (Adrar). ....	70
Tableau IV .2. Résultats des calculs (Tamanrasset). ....	71
Tableau IV .3. Energie annuelle produite (Adrar).....	71
Tableau IV .4. Energie annuelle produite (Tamanrasset). ....	72
Tableau IV .5. Résultats de la solution optimale pour les deux Etat pour les stratégies CC et FL .....	78

## *Listes des Acronymes et Symboles*

### *Acronymes*

ER	Energie Renouvelable.
PV	Photovoltaïque.
SHSER	système hybride à sources d'énergie renouvelables.
SEH	Système énergie hybride.
DC/DC	Hacheur Courant Continu-Courant Continu.
DC/AC	Hacheur Courant Continu- Courant Alternatif.
GPV	Générateur Photovoltaïque.
HOMER	Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable.
CC	charges de cycle.
NPC	Net Present Cost (coût à valeur actuelle).
COE	Le coût d'énergie.
KW	Kilo Watt.
GES	Gaz à effet de serre.

### *Symboles*

$f_{pv}$	Le facteur de déclassement PV.
$Y_{pv}$	La capacité nominale du générateur photovoltaïque (kW).
$G_T$	Le rayonnement solaire global (faisceau plus diffuse) incidente à la surface Du générateur photovoltaïque (kW/m <sup>2</sup> ).
$G_{T,STC}$	L'irradiation dans des conditions de test standard (W/m <sup>2</sup> ).
$\alpha_p$	Le coefficient de température (%/°C).
$T_C$	La température de la cellule PV (°C).

$T_{c,STC}$	Le PV température de la cellule dans des conditions standard (°C).
$T_a$	La température ambiante (°C).
$\alpha$	l'absorption solaire du réseau PV.
$U_L$	Le coefficient de transfert de chaleur vers l'environnement (W/m <sup>2</sup> K).
$\eta_C$	La conversion électrique efficacité du réseau PV.
$C_{rep,bat}$	Le coût de remplacement du banc de batteries (en dollars).
$N_{bat}$	Le nombre de batteries dans le banc de batteries.
$Q_{lifetime}$	Le débit de la durée de vie d'une seule batterie.
$F_0$	Le coefficient d'interception de la courbe de carburant.
$F_1$	La pente de la courbe de carburant.
$Y_{gen}$	La capacité nominale du générateur (kW).
$P_{gen}$	La puissance électrique du générateur (kW)
$Pr_{fuel}$	Le prix du carburant (\$/l).
$C_{cycling_{bat}}$	Le coût du recyclage de l'énergie à travers les batteries (\$/kWh).
$C_{ann,tot}$	Le coût total annualisé.
$R_{proj}$	La durée de vie du projet.
$CRF$	Le facteur de récupération du capital.
$i$	Le taux d'intérêt réel annuel.
$N$	Le nombre d'années.
$C_{ann,tot}$	Le coût total annualisé.
$E_{prim}$ Et $E_{def}$	sont les montants totaux de charge primaire et reportable.



# *Introduction*

# *Générale*

## Introduction Générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

En raison de ces problèmes et le décroissement des combustibles fossiles, trouver des solutions alternatives durables est devenu de plus en plus pressante. Il est donc indispensable de développer par la recherche des méthodes et des solutions technologiques ingénieuse des systèmes de conversion d'énergies renouvelables afin de les substituer aux applications d'énergie produite par les combustibles traditionnels. Serte à l'avenir les sources d'énergie renouvelable ont une place décisive, elles présentent L'épine dorsale du futur en point de vue énergie, car ces formes d'énergie sont ainsi inépuisables, propres et plus amicale à l'environnement, par conséquent de leur aspect non polluons sont caractérisées par des énergies propres ou des énergies vertes, elles se destineront à améliorer la qualité de vie sur toute la planète terre non seulement pour les humains mais aussi bien pour la fore et faunes. Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement. C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation les principales ressources d'énergie renouvelable, on distingue l'énergie solaire (l'énergie solaire thermique et énergie solaire photovoltaïque), l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie de la biomasse, l'énergie géothermique et l'énergie de marémotrice.

Pour une alimentation électrique fiable et rentable dans deux régions d'Adrar et Tamanrasset les systèmes hybrides photovoltaïques (PV)/Diesel constituent une alternative de plus en plus intéressante aux solutions classiques (Groupes électrogènes et PV purs). Pour ces localités, le coût d'une extension du réseau électrique reste prohibitif. Aujourd'hui, elles sont pour la plupart alimentées soit par des générateurs Diesel ou par des systèmes solaires PV autonomes en fonctionnement individuel et dont les coûts de production restent encore élevés.

Au-delà d'un dimensionnement optimal, la fiabilité de l'hybridation de ces sources d'énergie n'est garantie qu'à condition de pouvoir gérer de façon optimale leur flux d'énergie surtout en conditions réelles de fonctionnement.

L'objectif de cette thèse est donc de développer des approches de gestion qui permettent d'optimiser la gestion d'énergie dans ces systèmes hybrides PV/Diesel mais également de valider l'opérationnalité de leur mise en œuvre expérimentale. Deux approches de gestion ont été proposées dans le cadre de cette thèse : une approche basée sur des règles prédéfinies et l'autre basée sur l'optimisation par programmation dynamique. Ces deux approches ont été par la suite appliquées pour les différentes configurations de systèmes hybrides PV/Diesel avec batterie de stockage.

L'Algérie est un pays du tiers monde, son sud possède un vaste désert et un ensoleillement tout au long de l'année et un grand nombre de zones isolées à une distance éloignée du réseau électrique, et les coûts de connexion au réseau sont élevés et cela peut prendre de nombreuses années pour les atteindre, et donc de nombreuses zones limitent encore l'exploitation de cette énergie en raison de son prix. Il faut penser à exploiter l'énergie solaire photovoltaïque en créant Les centrales photovoltaïques pour convertir le rayonnement solaire direct en énergie électrique.

Cette conversion se fait à travers ce que l'on appelle une cellule photovoltaïque (PV), basée sur un phénomène physique appelé effet photoélectrique, qui consiste à produire un motif électrique lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La connexion de plusieurs cellules (PV) via un système optique série / parallèle (GPV) crée. Avec l'adoption de méthodes de contrôle appropriées qui permettent de maximiser les énergies fournies par le générateur photovoltaïque, et de synchroniser l'énergie injectée dans le réseau avec sa fréquence, pour cela, les systèmes connectés au réseau électrique ont été créés pour répondre aux besoins et remplir le but recherché.

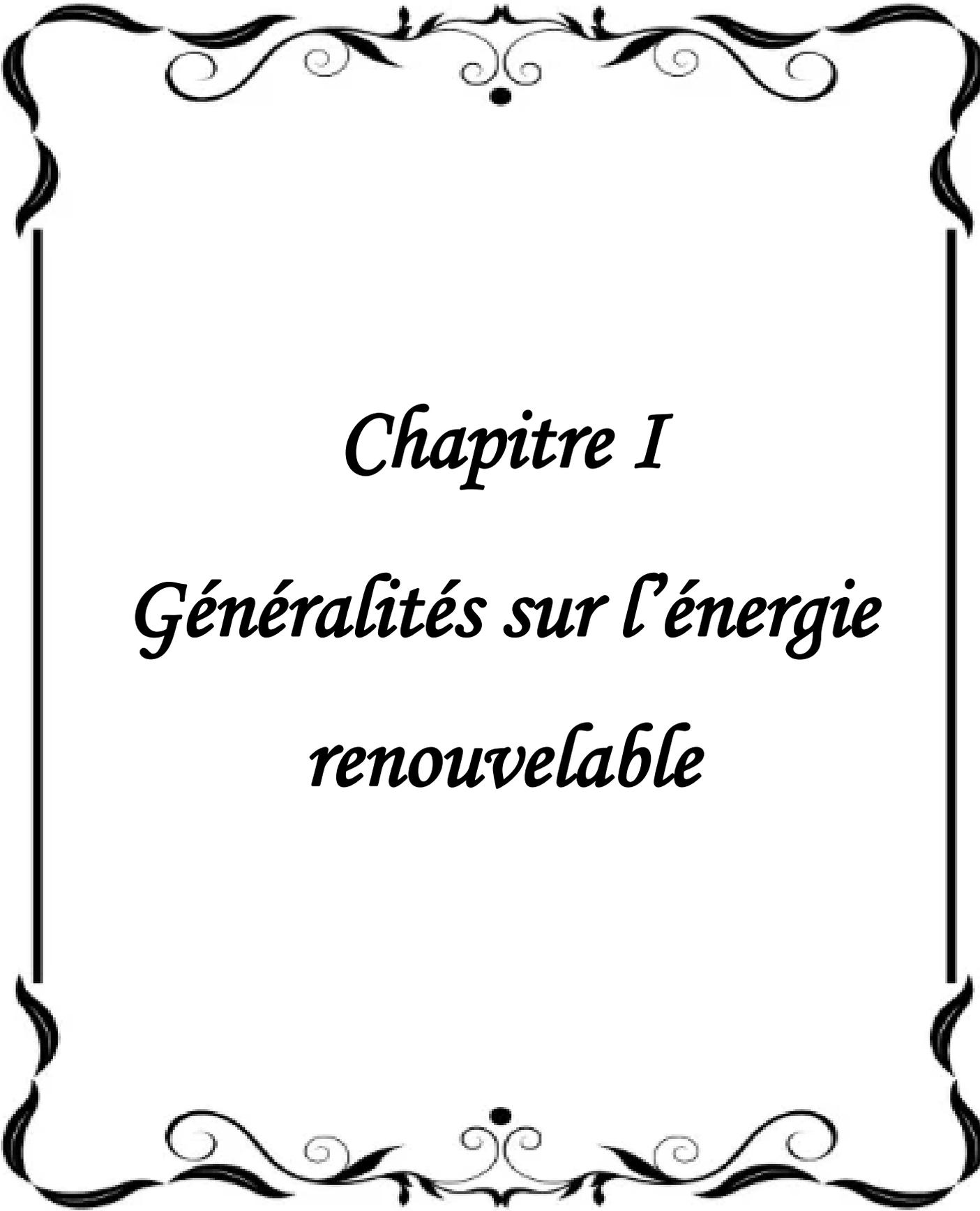
Ces systèmes sont des programmes de modélisation informatique et de simulation permettant de déterminer les dimensions d'un système (PV) en étudiant et en traitant de nombreux cas simultanément à un coût très faible.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de dimensionner une centrale photovoltaïque et nombre de batteries à utiliser et la consommation de carburant de deux wilaya Adrar et Tamanrasset.

On a utilisé le logiciel HOMER pro (logiciel produit par : le Laboratoire National de l'énergie Renouvelable) et comparez les deux États adrar et Tamanrasset en termes de meilleurs et de pires résultats Plus précis à travers les aspects environnementaux et économiques. Avec une étude qui calcule le coût net actualisé (NPC \$), le coût de l'énergie (COE, \$/KWh) et les émissions en kg de  $CO_2$ .

Afin d'accomplir au mieux cette étude, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres en plus de l'introduction générale et de la conclusion général.

- **Dans le premier chapitre :** On a donné un bref aperçu sur les différentes sources d'énergies renouvelables. Que sont l'énergie solaire et éolien.....etc. ainsi que le principe de fonctionnement dans ce type.
- **Dans le deuxième chapitre :** traite des stratégies de gestion d'énergie développées pour les différentes configurations hybride PV/Diesel.
- **Dans le troisième chapitre :** on donne une présentation du logiciel HOMER pro Et présente la partie simulation en utilisant le logiciel HOMER dans deux région.
- **Dans le quatrième chapitre :** présente les résultats de simulation par logiciel HOMER pro.
- Et nous terminerons par une conclusion générale.



*Chapitre I*

*Généralités sur l'énergie  
renouvelable*

## I.1. Introduction

Dans le monde, la production d'énergie électrique vient principalement des énergies fossiles et combustibles d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel elle conduit à un dégagement massif de gaz polluants et de gaz à effet de serre. La production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de  $CO_2$ .

L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accident liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux : la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années, ce qui nuit à l'homme et à l'environnement (la faune et la flore).

Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole, limitées (moins de cent ans au rythme actuel de consommation). [1]

Pour remédier à tous ces problèmes, nous recourons aux énergies renouvelables :  
Énergie solaire, énergie éolienne, énergie géothermique.....

## I.2. Les énergies renouvelables

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) c'est-à-dire, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. [2], [3]

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie d'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. [4], [5]

Les énergies dites renouvelables et propres constituent une alternative aux énergies fossiles sur plusieurs points :

- Elles respectent l'environnement (sont propres) ne dégagent pas de gaz à effet de serre, ni de déchets toxiques.

- Elles sont comme leurs noms l'indiquent « inépuisables ».
- Elles permettent une production décentralisée adaptée aux besoins locaux.

### I.3. Les différents types d'énergies renouvelables

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- La biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- La géothermie.

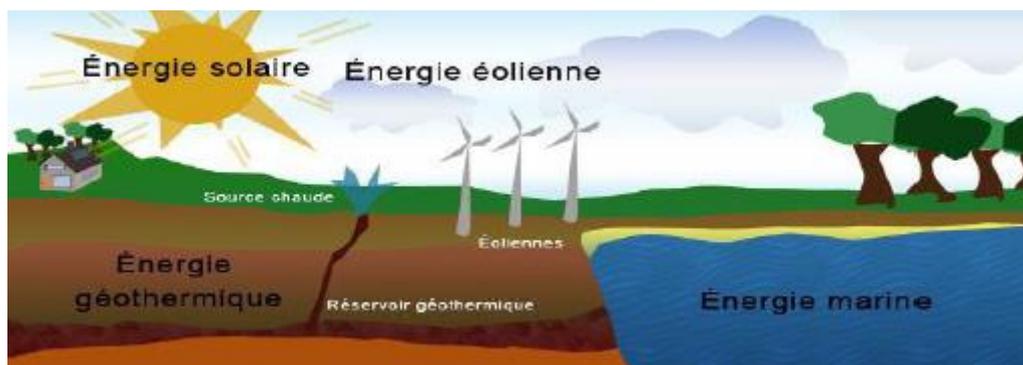
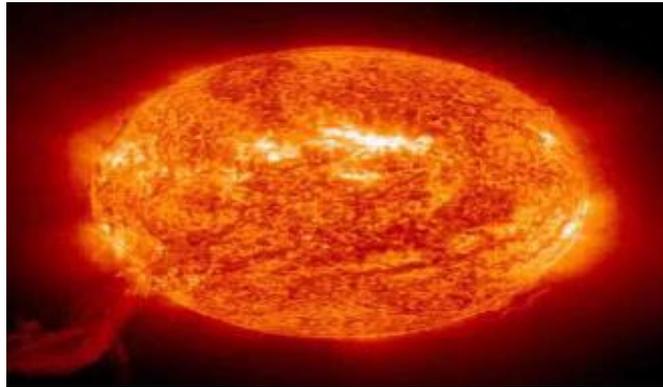


Figure I.1: Les énergies renouvelables. [6]

#### I.3.1. L'énergie solaire

Non polluante, économique, disponible, aisément transformable, telle est l'énergie solaire. Grâce à des équipements robustes et fiables, les modules photovoltaïques, elle permet de produire de l'électricité. [7]

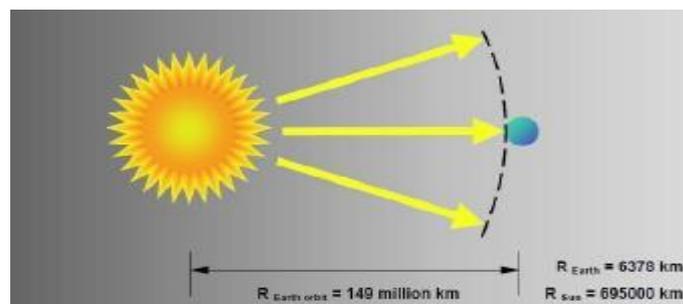
### I.3.1.1. Le soleil



**Figure I.2:** le soleil. [7]

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint  $139.10^4$  Km. Le soleil est composé de matières gazeuses, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium et il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint  $10^7$  K.

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre ,150 millions de kilomètres environ, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180 millions de giga watts, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux sources d'énergie fossiles. [7]



**Figure I.3:** la distance entre le soleil et la terre. [7]

### I.3.1.2. Types d'énergie solaire

Les adeptes de l'énergie solaire se plaisent à rappeler que toute forme d'énergie sur terre a pour origine le soleil.

Que ce soit les vents engendrés par les fluctuations de températures à la surface de la terre, le cycle de l'eau qui s'évapore sous ses rayons, la biomasse qui transforme son énergie en matière

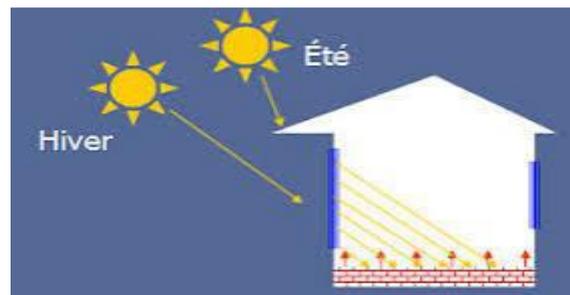
organique ou même les combustibles fossiles façonnés lentement par sa chaleur, il est indispensable à toute forme d'énergie terrestre. [7]

### I.3.1.2.1 L'énergie solaire passive

L'énergie solaire passive est une énergie abondante et non polluante qui suppose la conception de bâtiments et la mise en place des composants de construction appropriés.

Le chauffage solaire passif fonctionne comme suit : l'énergie lumineuse du Soleil qui pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres est absorbée par les murs, les planchers et les meubles, puis libérée sous forme de chaleur. Des baies vitrées ainsi que la thermo-circulation permettent de faire diminuer la consommation en d'autres énergies. [8]

Donc l'énergie solaire passive peut être utilisée avec profit tout en améliorant significativement le confort des occupants.



**Figure I.4:** le chauffage de la maison par énergie solaire passive. [8]

### I.3.1.2.2. L'éclairage naturel

L'éclairage naturel est défini par l'apport lumineux fourni par le soleil, et est source de lumière dynamique, elle varie continuellement à travers la journée, Le système doit être activé manuellement.



**Figure I.5:** éclairage naturel. [7]

### I.3.1.2.3. L'énergie solaire thermique

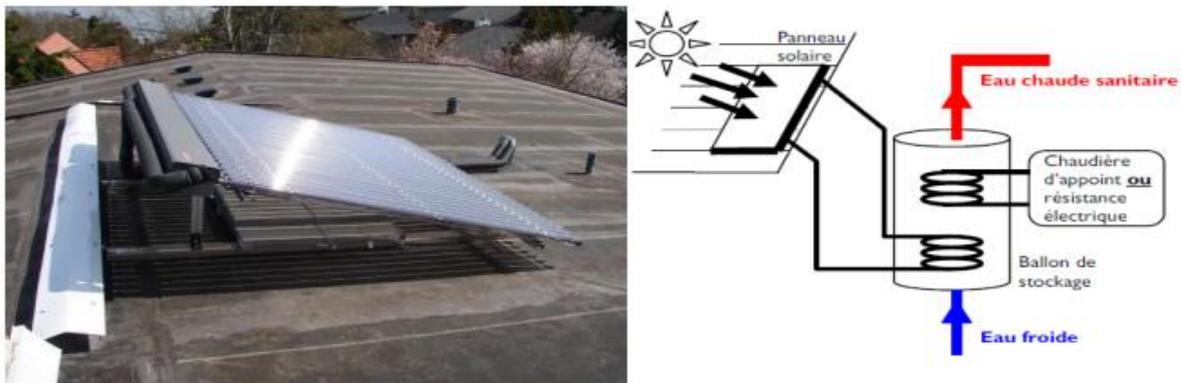
L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés pour assurer le chauffage.

Il existe deux types d'énergie solaire thermique :

#### A. L'énergie solaire thermique à basse température

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus.

Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct". [9]



**Figure I.6:** principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température. [9]

#### B. L'énergie solaire thermique à haute température

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400 °C et 1 000 °C.

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'hélio-thermodynamique. Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

1• Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.

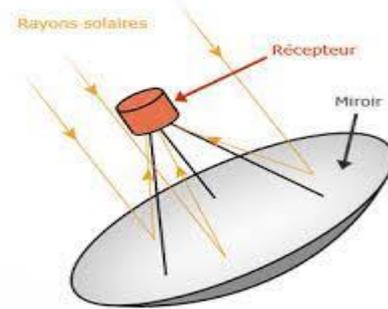


Figure I.7: centrale thermodynamique parabolique. [9]

2 • Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.

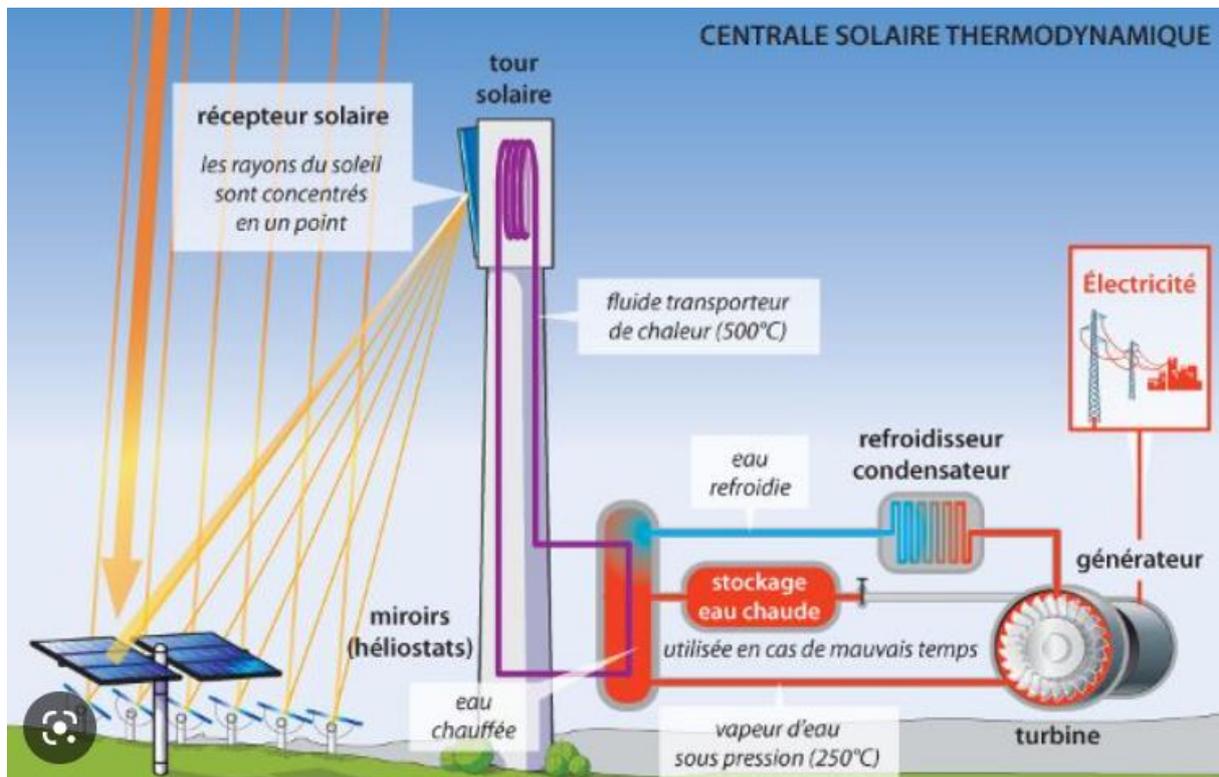


Figure I.8: centrale solaire thermodynamique. [9]

3 • Troisième technologie : des capteurs cylindre-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.

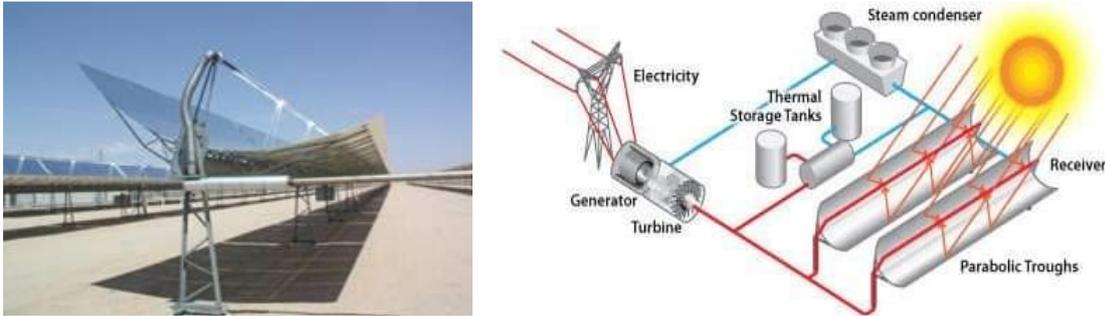


Figure I.9: centrale thermodynamique cylindre-parabolique. [9]

#### I.3.1.2.4. L'énergie solaire photovoltaïque

Par l'utilisation de panneaux photovoltaïques, une partie du rayonnement solaire est directement transformée en électricité. Ces panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques constituées principalement de silicium.

Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste à l'émission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou convertie à l'aide d'un onduleur pour être distribuée dans le réseau électrique. [10]



Figure I.10: Système Photovoltaïque. [11][12]

#### I.4.Énergie éolienne

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisées pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables. [13]



Figure I.11: Système Photovoltaïque énergie éolienne.[13]

### I.4.1. Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal. [14]

#### a. Les éoliennes à axe horizontal

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de. [14]

- Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent. Elles comportent généralement d'hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multiples pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé.
- Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple.



Figure I.12: Eoliennes à axes horizontal. [15]

#### b. Eolienne à axe vertical

Ce type d'éolienne a fait l'objet de nombreuses recherches. Il présente l'avantage de ne pas nécessiter de système d'orientation des pales et de posséder une partie mécanique (multiplicateur et génératrice) au niveau du sol, facilitant ainsi les interventions de maintenance. En revanche, certaines de ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage et le mat, souvent très lourd, subit de fortes contraintes mécaniques poussant ainsi les constructeurs à pratiquement abandonner ces aérogénérateurs (sauf pour les très faibles puissances) au profit d'éoliennes à axe horizontal.[16]



Figure I.13: Eoliennes à axes vertical. [15]

#### I.4.2. 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.[13]

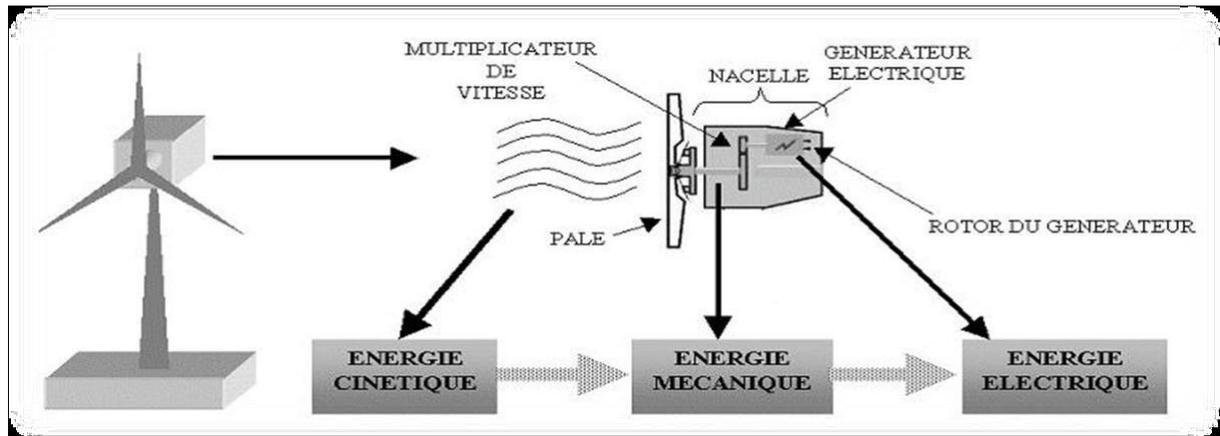


Figure I.14: principe de conversion de l'énergie cinétique du vent. [17]

## I.5.Énergie de la biomasse

L'utilisation de la biomasse remonte au temps où l'homme découvrait le feu et se servait encore du bois pour se chauffer et cuire ses aliments. Il s'agit de l'énergie contenue dans les plantes et les matières organiques. La biomasse des plantes provient du soleil, quand la plante, grâce à la photosynthèse, absorbe l'énergie solaire. Ensuite, les animaux absorbent à leur tour ces plantes.

La biomasse provient de divers secteurs et matières comme le bois, les récoltes (cultivées spécialement pour la production d'énergie), les résidus agricoles et forestiers, les déchets alimentaires et les matières organiques issues des déchets municipaux et industriels. Il existe toute une variété de technologies pour convertir l'énergie de la biomasse en une forme réutilisable. Ces technologies changent l'énergie en formes utilisables directement (chaleur ou électricité) ou en d'autres formes telles que le biocarburant ou le biogaz. [18]



Figure I.15: Énergie Biomasse. [18]

### I.5.1. Principe de fonctionnement

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 autre, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro.

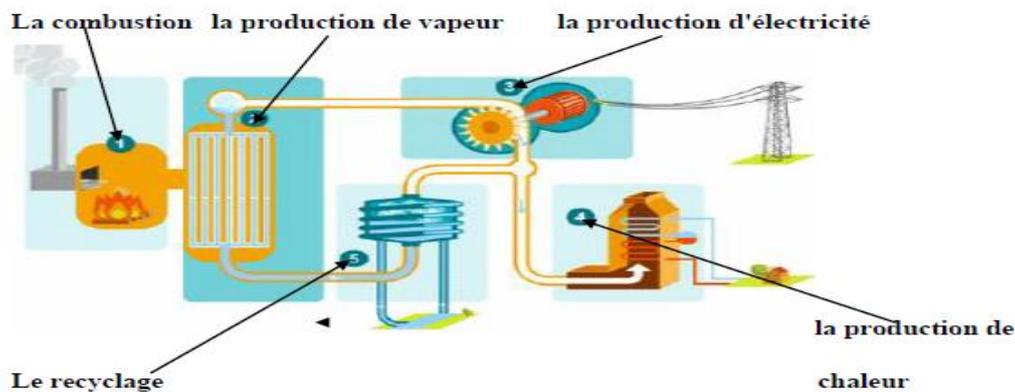


Figure I.16: La production d'énergie par la biomasse. [19]

## I.6.Énergie hydraulique

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations. Sa force est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des barrages, des moulins à eau et des systèmes d'irrigation.

Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. Les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité. [18]



**Figure I.17:** énergie hydraulique. [18]

### I.6.1. Principe de fonctionnement :

Ces phénomènes prélèvent de l'eau principalement dans les océans et en libèrent une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements. De l'eau en altitude possède une énergie potentielle de pesanteur.

Cette énergie est peut-être alors captée et transformée, lors des mouvements de l'eau qui retourne vers les océans. Avant l'avènement de l'électricité, les moulins à eau permettaient de capter cette énergie mécanique pour entraîner des machines-outils (machines à tisser, moulins à moudre le blé...).

Les marées peuvent fournir localement de grandes quantités d'énergies physiquement propre, les marées ne peuvent cependant plus de centième de l'énergie potentiellement disponible à partir d'installation hydroélectrique. [20]

## I.7. Energie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique.

Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur. [18]



**Figure I.18:** énergie géothermique.[18]

### I.7.1. Classiquement trois types

#### a. La géothermie à haute énergie

La température élevée du gisement (entre 80°C et 300°C) permettant la production d'électricité. [21]

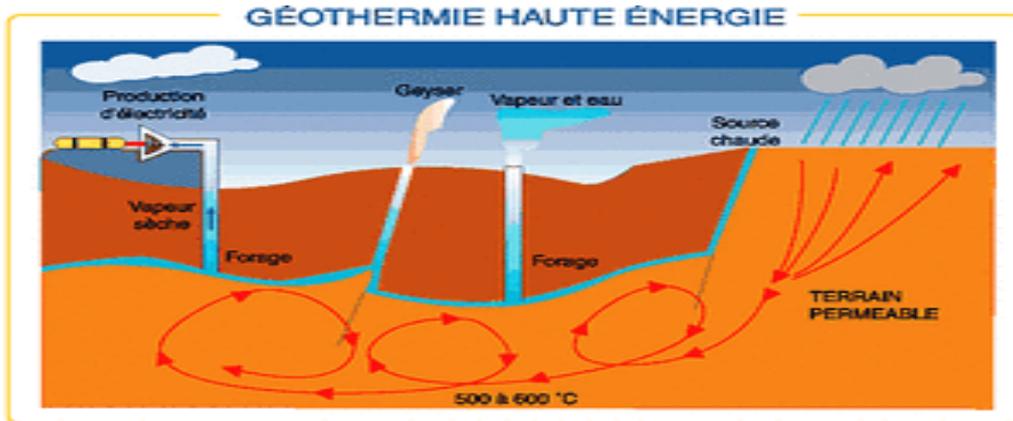


Figure I.19: Les énergies de La géothermie à haute énergie. [21]

### b. La géothermie à basse énergie

La température de l'eau entre 30°C et 100°C. Cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur. [21]

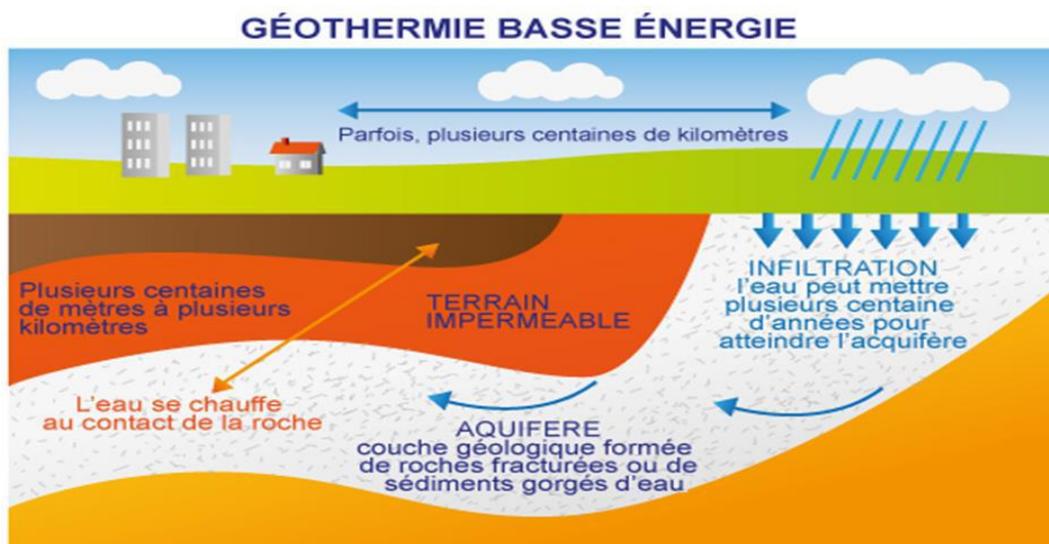


Figure I.20: Les énergies de La géothermie à basse énergie. [21]

### c. La géothermie à très basse énergie

La température est comprise entre 10 °C et 30 °C. Cette technologie est appliquée au chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique. [21]

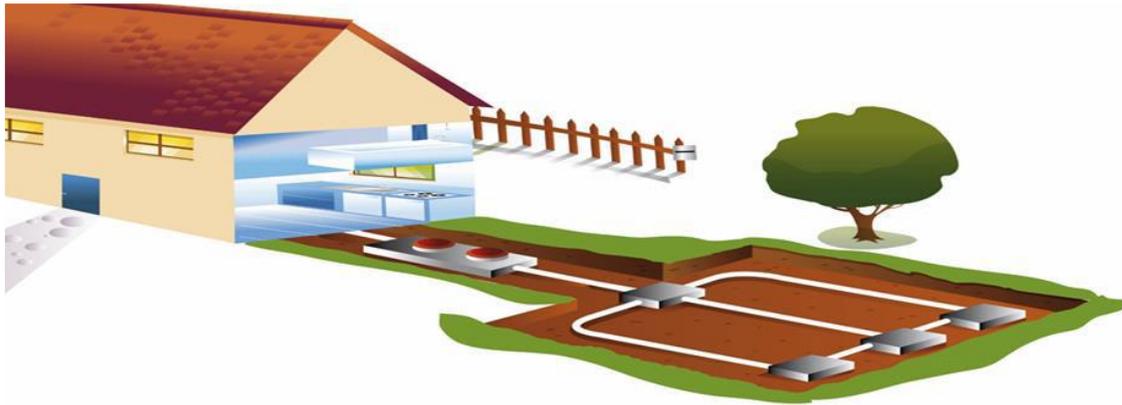
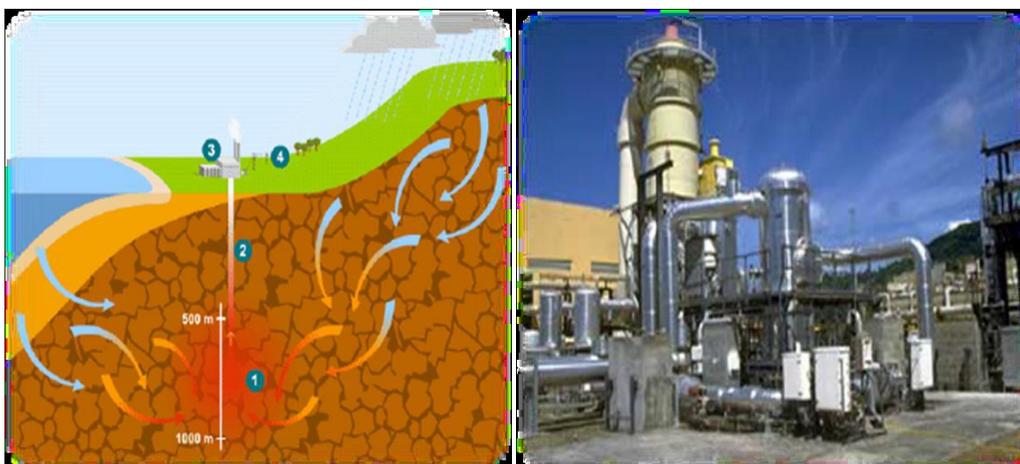


Figure I.21: La géothermie très basse énergie. [21]

### I.7.2. Principe de fonctionnement :

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Dans les couches profondes, la chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. Cette énergie peut être valorisée soit sous forme d'électricité, soit sous forme de chaleur et chaque type se distingue ses technologies et ses applications multiples.

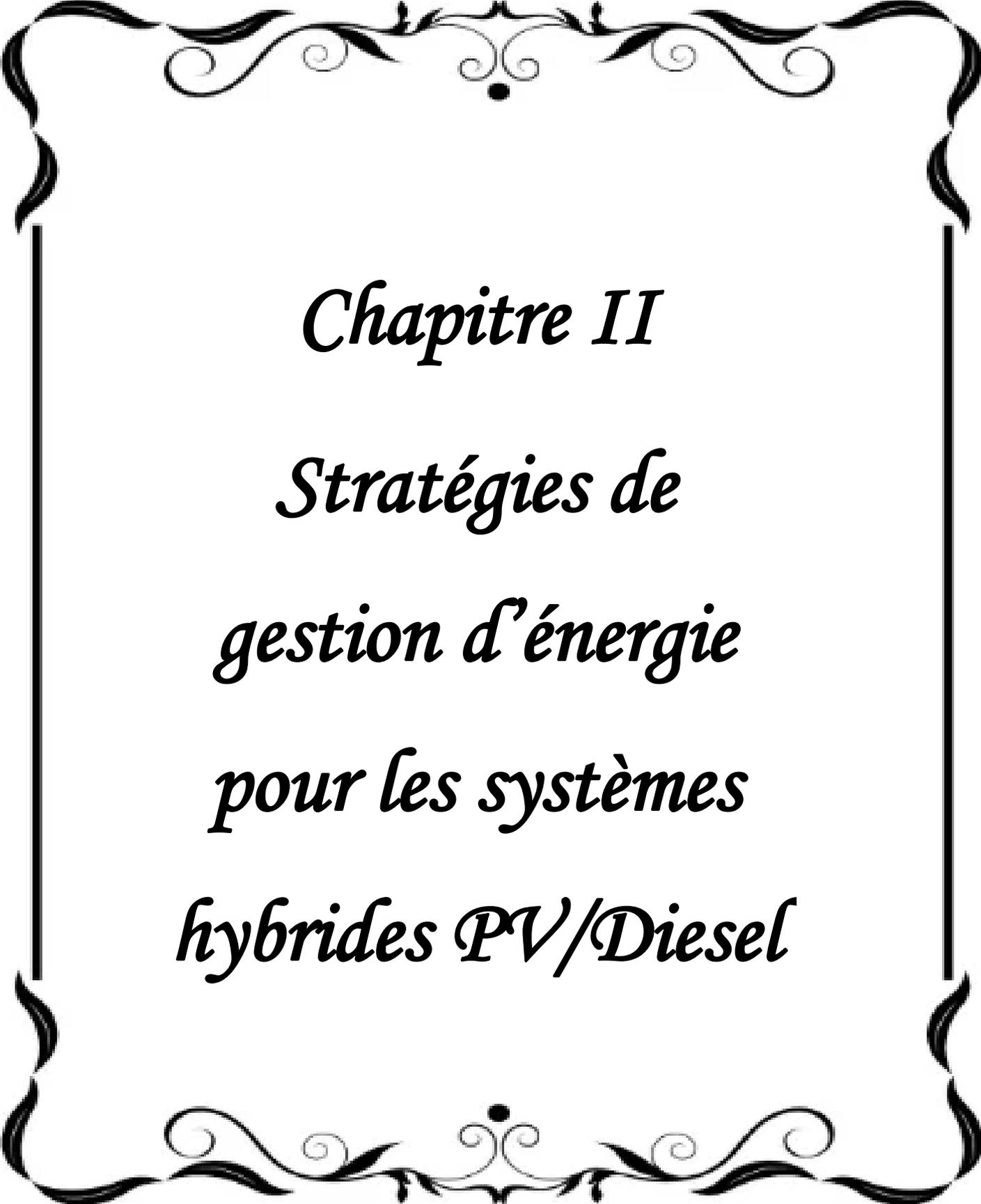
Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde ne dépend pas des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années. En 2009, les trois premiers producteurs sont les États-Unis, les philippines et l'Indonésie. Ce dernier pays possède le plus grand potentiel (27 gigawatts, soit 40% des réserves). [22]



**Figure I.22:** Le principe d'énergie géothermique. [22]

## **I.8. Conclusion**

Dans ce chapitre présente d'une part les différentes notions qui entrent dans la conception des énergies. Et d'autre part, la présentation de tous les éléments constitutifs des systèmes (Photovoltaïques, éoliens ). Ainsi que leurs principes de fonctionnements.



*Chapitre II*

*Stratégies de*

*gestion d'énergie*

*pour les systèmes*

*hybrides PV/Diesel*

## II.1. Introduction

Dans les systèmes de production d'électricité comme les systèmes hybrides PV/Diesel, deux aspects principaux sont souvent abordés lorsqu'il est question de gestion d'énergie [23,24]. Il s'agit de :

- ✓ La stratégie de répartition des flux d'énergie mise en jeu par les différentes sources du système pour l'alimentation de la charge.
- ✓ Le contrôle de la qualité de l'énergie produite afin de garantir par exemple la stabilité de la tension et de la fréquence au point d'interconnexion des sources d'énergie et de respecter leurs plages de valeurs admissibles.

Le présent chapitre traite des stratégies de répartition des flux d'énergie dans les systèmes hybrides PV/Diesel. Différentes méthodes ou approches de répartition des flux d'énergie sont souvent proposées en fonction des objectifs et des outils disponibles. Dans ce chapitre, avant de présenter les stratégies de gestion développées, une brève synthèse bibliographique de ces approches sera faite.

A la fin de chapitre présente le modèle utilise dans Homer.

## II.2. Système d'énergie hybride

### II.2.1. Définition des systèmes hybrides

Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie de nature différente, parmi lesquelles une au moins est renouvelable .[25]

### II.2. 2.Le but du système hybride

Le but d'un système hybride est de fournir une alimentation ininterrompue à la charge, et L'équilibre énergétique peut être atteint en maximisant l'utilisation des sources d'énergie renouvelables.

Dans tous les cas, la bonne qualité de l'énergie doit être garantie par rapport aux normes de sécurités des personnes et d'usage des équipements.

L'éventail des HES est si vaste qu'il est difficile de les catégoriser système. Pourtant, on peut essayer de trier par plage de puissance.[26]

Puissance du SEH [KW]	Application
Faible : <5	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau,.....
Moyenne : 10-250	Micro réseau isolés : alimentation d'un village
Grande : >500	Grand réseaux isolés (ex : réseaux insulaire)

Tableau II.1. Classification des SEH par gamme de puissance

### II.2. 2.3. Configuration des systèmes hybrides autonomes

Face à l'émergence de l'électronique de puissance qui permet une optimisation pour les différents convertisseurs de puissance, les systèmes hybrides à énergies renouvelables ont pris de l'avance par rapport aux systèmes qui utilisent les sources conventionnelles, elle leurs a permis de réaliser des combinaisons importantes de deux ou plusieurs technologies d'énergies renouvelables comme le photovoltaïque et l'éolien à différentes architectures .[27], [28]

#### II.2. 2.3.1. Architecture à bus DC

La figure II.1 représente la structure à bus DC d'un système hybride [29]. Dans cette architecture, l'énergie fournie par chaque source du système alimente un bus continu DC à travers des convertisseurs DC/DC ou AC/DC. Ce type d'assemblage est adapté pour les sites isolés, à charge continue ou alternative, reliée au bus DC via un onduleur. L'avantage de cette topologie est la simplicité de la commande par rapport aux autres configurations [30]. Nous retiendrons cette configuration dans le cadre de cette thèse.

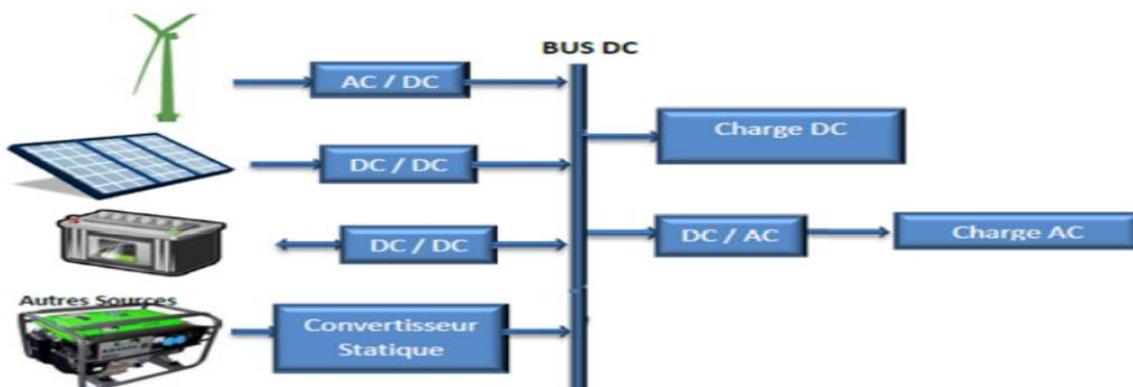


Figure II.1: Structure à bus DC d'un système hybride.[29]

### II.2. 2.3.2. Architecture à bus AC

Dans la topologie à bus AC, toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs comme montrée dans la figure II.2 [29]. Cette configuration offre des performances supérieures par rapport à la configuration précédente, puisqu'un découplage de différentes sources de production permettrait celles-ci d'agir de façon assez indépendante les unes des autres. Cependant, le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause de l'utilisation des convertisseurs statiques et ce type d'association complique le système de commande. L'architecture à bus AC est plus adaptée à une génération distribuée (c.-à-d. raccordée au réseau électrique).[31]

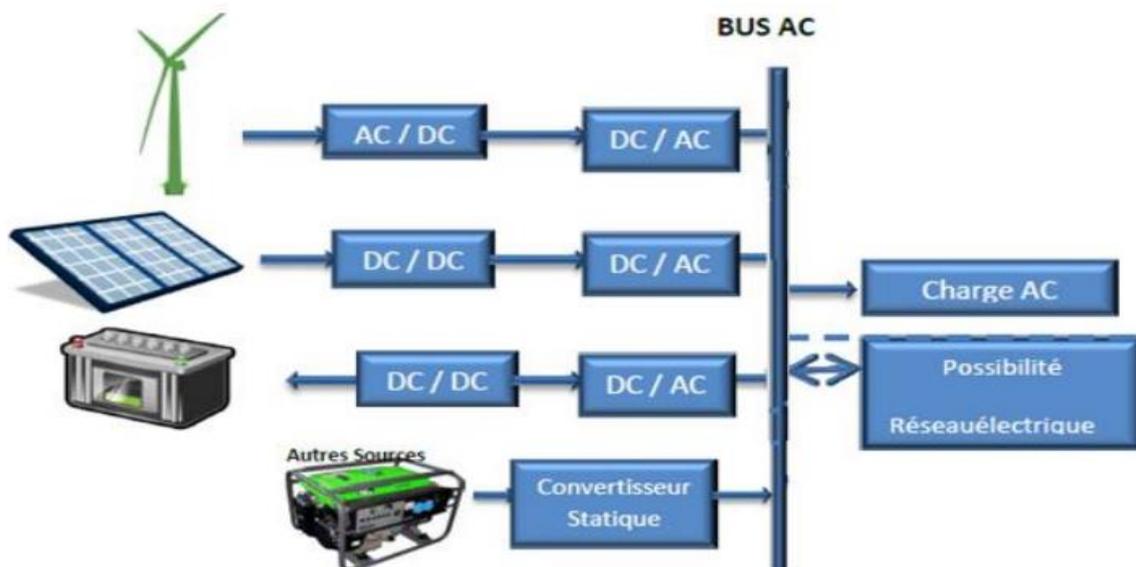


Figure II.2: Structure à bus AC d'un système hybride.[29]

### II.2. 2.3.3. Architecture mixte (DC&AC)

La figure II.3 représente la structure à bus mixte (DC&AC) d'un système hybride. Dans cette configuration, les sources d'énergie peuvent alimenter une charge alternative AC ou une charge continue DC par un convertisseur bidirectionnel qui réalise la conversion continue-alternative et vice versa. [29]

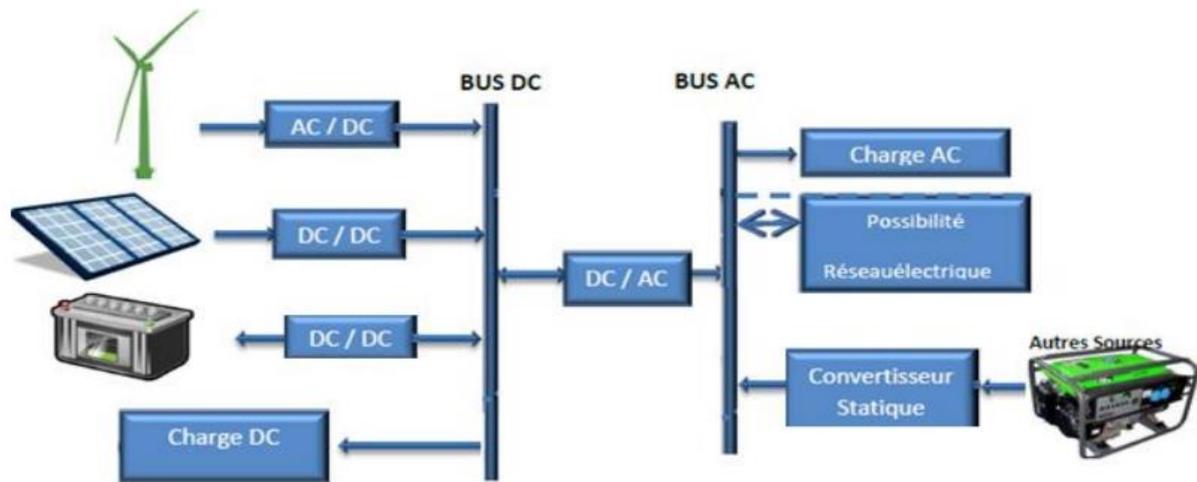


Figure II.3: Structure à bus mixte (DC& AC) d'un système hybride.[29]

### II.3. L'énergie photovoltaïque

Par l'utilisation de panneaux photovoltaïques, une partie du rayonnement solaire est directement transformée en électricité. Ces panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques constituées principalement de silicium. Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste à l'émission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou converties à l'aide d'un onduleur pour être distribuée dans le réseau électrique. [32]

#### II.3.1. L'effet photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque (PV) est la conversion directe de la lumière en électricité. Contrairement au solaire passif, qui utilise les éléments structurels d'un bâtiment pour mieux le chauffer (ou le refroidir), le solaire actif utilise un fluide caloporteur (liquide ou gaz) pour transmettre et stocker la chaleur du soleil (on pense aux chauffe-eau), le photovoltaïque L'énergie n'est pas une forme d'énergie thermique. Il utilise des cellules solaires pour convertir directement la lumière du soleil en électricité. [33]

L'effet photovoltaïque ayant été découvert par A. Becquerel en 1839. C'est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs. Le plus connu d'entre eux est le silicium utilisé pour les composants électroniques. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère un courant. En effet Lorsque les photons heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur

énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique.[34]

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la Lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible. [35]

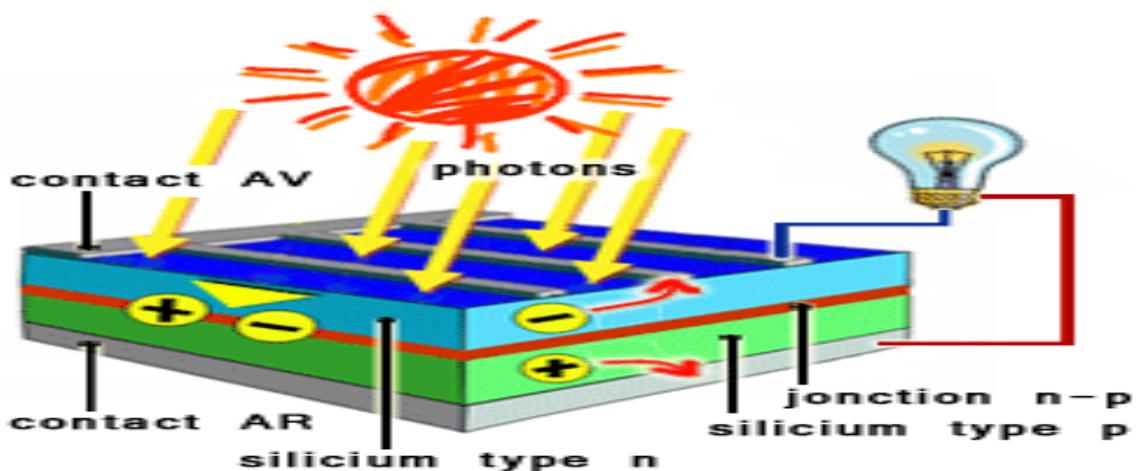


Figure II.4: Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque. [33]

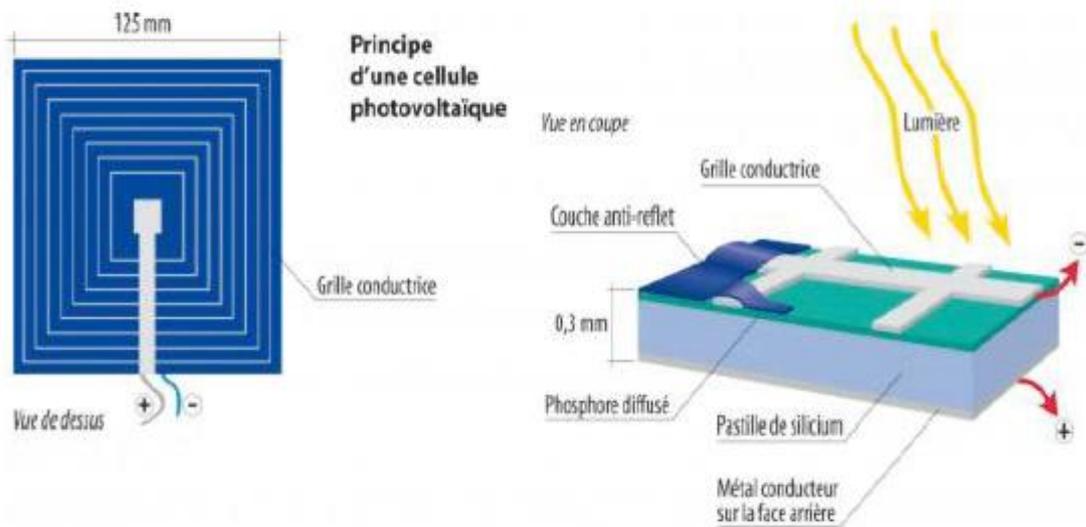
### II.3. 2.Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

La cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches.

Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. À travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert ( $V_{co}$ ).

Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) et dépend fortement du niveau d'éclairement.

La figure (II.5) représente le principe de fonctionnement. [36]



**Figure II.5:** Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. [36]

### II.3.3. Différents types des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules, (voir Tableau II.2). [37]

Technologies	Monocristallin	Poly cristallin	Amorphe
Cellule et module			
Caractéristiques	<p>*Très bon rendement : 14 à 20 %.</p> <p>* Durée de vie : importante (30 ans)</p> <p>* Coût de fabrication : élevé.</p> <p>* Puissance : 100 à 150 Wh/m<sup>2</sup>. 7 m<sup>2</sup>/kWh.</p> <p>* Rendement faible Sous un faible éclairement.</p> <p>* perte de rendement avec l'élévation de la température.</p>	<p>* Bon rendement : 11 à 15 %.</p> <p>* Durée de vie : importante (30 ans)</p> <p>* Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins</p> <p>* Puissance : 100 Wh/m<sup>2</sup>. 8 m<sup>2</sup>/kWh.</p> <p>* Rendement faible sous un faible éclairement.</p> <p>* perte de rendement avec l'élévation de la température.</p>	<p>* Rendement faible : 5 à 9 %.</p> <p>* Durée de vie : assez importante (20 ans)</p> <p>* Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies</p> <p>* Puissance : 50 Wh/m<sup>2</sup>. 16m<sup>2</sup>/kWh.</p> <p>* Fonctionnement correct avec un éclairement faible.</p> <p>* Peu sensible aux températures élevées.</p>
Part de marché	43%	47 %	10%

Tableau II.2. Comparatif des différentes technologies. [38]

## II.4. Système de stockage d'énergie

L'utilisation de sources d'ER induit le concept de stockage d'électricité en raison du caractère intermittent de ces sources (comme l'énergie solaire et éolienne...). L'utilisation du moyen de stockage d'électricité est très variée ; elle dépend de la nature des besoins et du type d'applications. En particulier, les SEH géographiquement isolés et non raccordés au réseau, qui intègrent au moins une source d'ER nécessitant un système de stockage. Deux types de stockage sont utilisés dans les SEH : le stockage à court terme et le stockage à long terme.

- La stratégie de stockage à court terme permet de filtrer les fluctuations des ER, cette stratégie réduit également le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels, donc la consommation de carburant. Par contre.
- Le stockage à long terme est utilisé pour assurer une continuité d'approvisionnement de l'énergie pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours).

Le système de stockage peut être aussi utilisé avec les systèmes raccordés au réseau électrique, afin d'éliminer les fluctuations de puissance à court terme, de plus d'assurer la continuité du service en cas de défaillance du réseau [39].

### II.4.1. Description des différents types de stockage

#### II.4.1. 1. Les batteries

##### II.4.1. 1.1. Définition d'une batterie

La batterie est un ensemble d'accumulateurs électrochimiques placées en série capables de convertir l'énergie électrique en énergie chimique et réciproquement. On appelle respectivement ces opérations ; charge et décharge. Lorsque l'on parle d'élément rechargeable on utilise le terme « accumulateur ».

Un accumulateur est un appareil accumulant de l'énergie électrique sous forme électrochimique pour la restituer ensuite suivant les besoins. Chaque accumulateur est constitué d'éléments associés pour former des blocs (par exemple, un accumulateur au plomb est composé de 3 ou 6 éléments de 2 V, soit un bloc de 6 ou 12 V). [40]

## II.4.1. 1.2. Les différents types de batteries

On distingue trois types de batteries d'accumulateurs :

### II.4.1. 1.2.1. Accumulateur nickel cadmium

Ces accumulateurs sont les plus employés parmi les autres modèles, il en existe de nombreux types, chacun ayant des caractéristiques différentes. Ils sont constitués d'une électrode en cadmium et l'autre en nickel baignant dans un électrolyte alkali. On rencontre des accumulateurs ayant une résistance interne plus élevée destinée à des utilisations moins brutales comme l'alimentation des émetteurs et récepteurs.

Ce type de batterie possède un effet de mémoire, ce qui impose leur stockage dans un état décharge de 0,6V. Il peut supporter des pointes de courant en décharge plus importantes et sa décharge est très lente. [41]

Un élément possède une f.é.m. nominale de 1,2V, alors 4 éléments = 4,8V

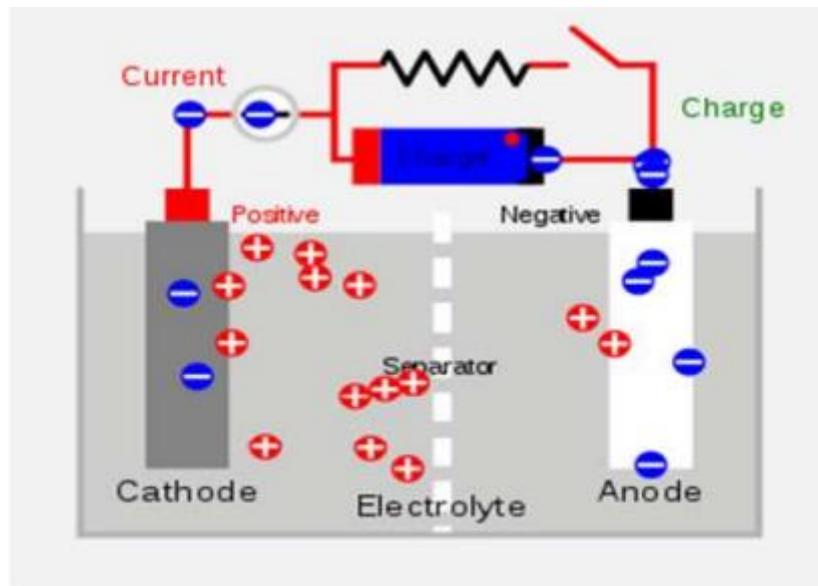


Figure II.6: Accumulateur nickel cadmium. [41]

### II.4.1. 1.2.2. Accumulateur Lithium-ion

La batterie lithium ion fonctionne sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une électrode positive, le plus souvent un oxyde de métal de transition lithié, et une électrode négative en graphite. La tension d'un élément lithium-ion est de 3,6V.

Notons qu'il existe des accumulateurs lithium-ion industriels de grande puissance, ces éléments peuvent fonctionner jusqu'à 15 ans. Cependant l'utilisation de la technologie lithium-ion à ces échelles de puissance n'en est qu'à ses débuts. [41]

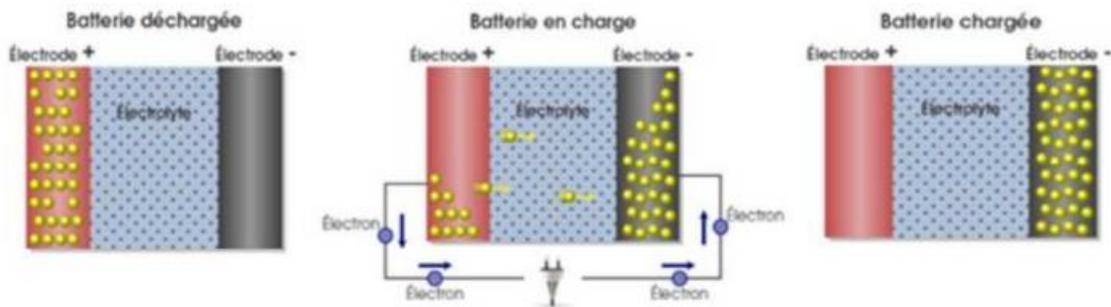


Figure II.7: Accumulateur lithium ion. [41]

### II.4.1. 1.2.3. Accumulateur au plomb (PB)

Ce sont des batteries à électrolyte liquide, qui se composent de deux électrodes, positive, baignant dans l'acide sulfurique dilué. Ce sont des batteries conçues pour délivrer une puissance instantanée (batteries de démarrage moteur pour automobile). Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments d'accumulateurs montés en série.

La tension normale d'un élément au plomb de 2V environ, par exemple, la batterie d'un véhicule comporte six éléments, elle a donc une tension électrique de 12V. Mais atteint facilement 2,3V quand l'accumulateur est bien chargé. En réalité, une batterie 12V chargée affichera une tension de 12,8V à 13, 2V si la tension d'une batterie chargée est inférieure à 11,4V, elle sera en fin de vie.

Même non branchée, une batterie au plomb se décharge lentement du fait de diverses réactions chimiques qui peuvent conduire à la « sulfatation » de la borne positive (poudre blanche). [42].

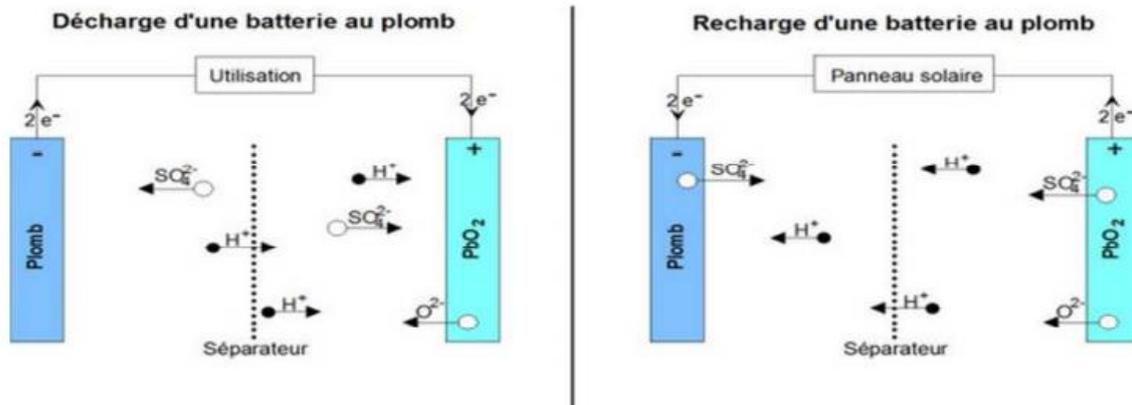


Figure II.8: Accumulateur au plomb (PB).[42]

### II.5. Générateurs Diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (Figure II.9).

La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse) sur le moteur diesel [43].

Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.

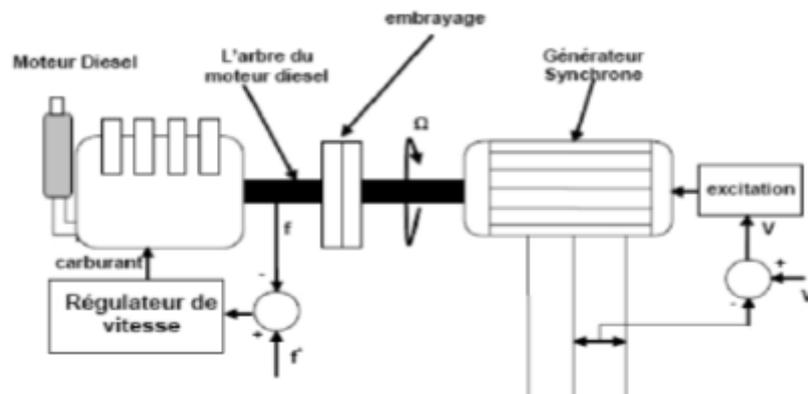


Figure II.9: Configuration du générateur diesel. [43]

Les réseaux de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Quand plusieurs

générateurs diesels fournissent de l'énergie au réseau, ceux-ci sont connectés généralement à un bus à CA. Dans ce cas, un système de commande doit être utilisé pour une distribution correcte de la puissance fournie par les générateurs diesels.

## II.6. Configurations de systèmes hybrides PV/Diesel

Les configurations de systèmes hybrides PV/Diesel étudiées dans le cadre de nos travaux sont composées principalement de :

- ♣ Un ou plusieurs générateurs PV (modules PV et onduleurs).
- ♣ Un ou plusieurs générateurs Diesel.
- ♣ Un système de stockage d'énergie dans les batteries.

Différentes classifications des configurations de systèmes hybrides sont rencontrées dans la littérature. Elles peuvent être classées en fonction du type de bus de connexion (Bus DC, Bus AC et Bus mixte DC/AC) et aussi en fonction du type de connexion des différents composants (série, parallèle et commuté) [44,49,50–53]. Dans cette étude, les configurations hybrides étudiées sont caractérisées par la présence d'un bus à courant alternatif (Bus AC) auquel sont connectés en parallèle les différents composants ci-dessus cités. La différence majeure entre ces configurations réside dans le nombre de générateurs diesel considérés et aussi par la présence ou non d'un système de stockage d'énergie dans les batteries.

### II.6. 1. La configuration hybride PV/Diesel « un générateur Diesel » avec batterie de stockage

Sur la figure II.10 qui illustre cette configuration, le générateur Diesel ainsi que la batterie de stockage peuvent assurer indépendamment la fonction de source « maître » pour satisfaire la charge et assurer le contrôle de la tension et de la fréquence du système. La coordination des différentes puissances mises en jeu dépendra de la stratégie de gestion proposée. [46]

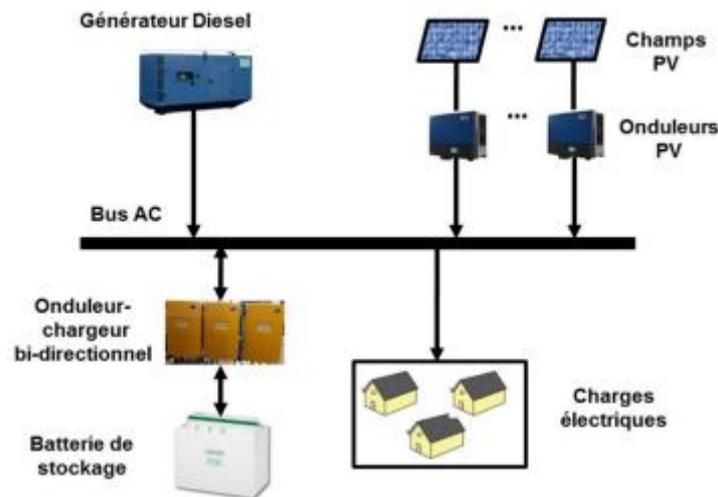


Figure II.10: Configuration hybride PV/Diesel « un générateur Diesel » avec batterie de stockage [46]

## II.7. Brève synthèse bibliographique sur les approches de gestion

### D'énergie dans les systèmes hybrides PV/Diesel

La mise en œuvre des différentes configurations de systèmes hybrides PV/Diesel pour L'électrification des zones rurales doit obéir à deux objectifs essentiels à savoir :

- ✓ Assurer la fiabilité et la qualité de la fourniture d'énergie.
- ✓ Proposer un coût du kWh abordable au regard des revenus des populations et Des sources conventionnelles existantes.

Ces deux objectifs ne sont pas nécessairement compatibles et un compromis doit être recherché.

A partir de certains travaux dans la littérature qui traitent de ce sujet [45,52,54,55–57], on peut retenir qu'il y a globalement deux approches de gestion des systèmes énergétiques : la « gestion basée sur des règles prédéfinies » ou « Rule-Based Strategy » et la gestion « optimale prédictive ».

On parle de « gestion basée sur des règles prédéfinies », lorsque la gestion est basée sur des règles empiriques prédéfinies c'est-à-dire sur une connaissance intuitive et souvent expérimentale du fonctionnement des différents composants du système. Cette approche de gestion est appelée gestion « classique » dans la présente étude. Elle fait intervenir une suite d'instructions algorithmiques basée sur des « Si-alors-sinon-alors-fin ». L'avantage de cette

gestion classique est qu'elle fonctionne sans avoir recours à des données prévisionnelles.

De plus, les travaux de thèse de Luu et al. [48,54] ayant porté sur la configuration hybride PV/Batterie avec générateur Diesel et celle connectée au réseau ont permis de faire une analyse comparative des approches de gestion « classique » et « prédictive optimisée ». Les résultats ont montré que la gestion d'énergie basée sur une optimisation prédictive présente pourrait être meilleure (réduction du coût d'opération du système) comparée à l'approche « classique » basée sur des règles prédéfinies.

des stratégies de gestion basées sur les deux principales approches de gestion ci-dessus présentées sont développées pour chacune des quatre configurations de systèmes hybrides PV/Diesel avec ou sans batterie de stockage.

## **II.8. Stratégies de gestion d'énergie développées pour différentes Configurations hybrides PV/Diesel**

### **II.8.1. Stratégies de gestion d'énergie basée sur l'approche classique**

#### **II.8.1.1. Configuration hybride PV/Diesel « 1 générateur Diesel » sans stockage**

Dans une configuration hybride PV/Diesel incluant un seul générateur Diesel sans système de stockage d'énergie, il peut arriver des moments où la production photovoltaïque est plus importante que la charge. Dans cette situation, la production PV doit alors être contrôlée. L'objectif des stratégies proposées pour ce type de configuration est de contrôler l'intégration de la production PV dans le mini-réseau créé par le générateur Diesel.

Ce contrôle devra permettre de garantir au seul générateur Diesel du système, de toujours fournir une puissance supérieure ou égale à sa valeur minimale admise afin d'éviter principalement des retours de puissance. Il devra aussi garantir que le générateur Diesel fonctionne dans une plage de puissance et rendement optimaux .[44,58]

Ainsi nous proposons deux stratégies différentes de contrôle des onduleurs PV pour la gestion d'énergie dans cette configuration. Il s'agit d'un contrôle noté « ON/OFF » et d'un contrôle basé sur la modulation de la puissance active des onduleurs PV noté « % P ».

### ✓ Stratégie de gestion : Contrôle « ON/OFF »

Cette stratégie de contrôle vise à proposer un contrôle de l'intégration de la production PV via des contacteurs placés en sortie des onduleurs PV (figure II.11).

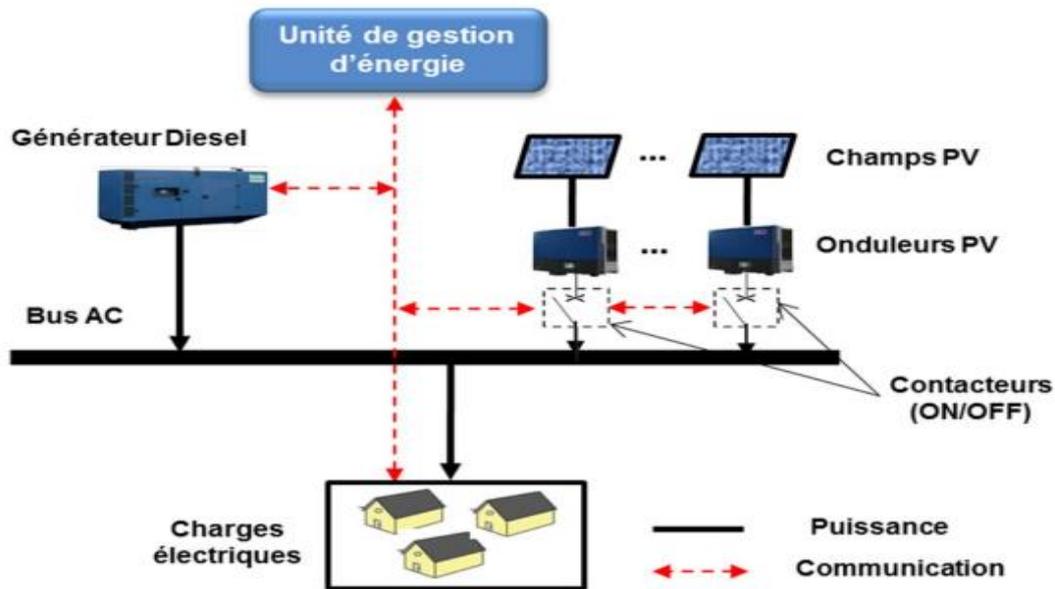


Figure II.11: Configuration PV/Diesel « 1 générateur Diesel » sans batterie avec contrôle « ON/OFF ».[44]

#### II.8.1.2. Configuration hybride PV/Diesel « 1 générateur Diesel » avec stockage

Dans cette configuration hybride PV/Diesel, la stratégie de gestion basée sur l'approche de gestion classique proposée a pour objectif d'assurer une répartition instantanée de la puissance de charge à alimenter entre le générateur Diesel, les onduleurs PV et la batterie de stockage. [45]

Le principe de la gestion proposée repose sur les quatre règles suivantes :

- ✓ L'énergie photovoltaïque est utilisée en priorité pour alimenter les charges,
- ✓ Les batteries sont déchargées uniquement lorsque la production PV est insuffisante,
- ✓ Le générateur Diesel est mis en marche lorsque ni la production PV ni l'énergie disponible dans la batterie ne peuvent satisfaire la charge,
- ✓ La batterie est rechargée uniquement avec la production PV

La dernière règle proposée permet donc d'utiliser le générateur Diesel pour alimenter exclusivement la charge lorsqu'il est mis en marche.

La consommation en carburant des générateurs Diesel est proportionnelle à leur puissance fournie. Ainsi même si la recharge de la batterie à partir du générateur Diesel peut permettre d'améliorer l'efficacité de ce dernier en l'amenant dans sa plage optimale de fonctionnement, cela contribue aussi à une augmentation de sa consommation en carburant et par conséquent de son coût d'opération. Ce qui n'est pas le but de l'hybridation de ces différentes sources d'énergie. [46]

### **II.8.1.3. Configuration hybride PV/Diesel « multi- générateurs Diesel » avec batterie de stockage**

La stratégie de gestion d'énergie classique proposée pour cette configuration est une association des stratégies de gestion présentées pour la configuration hybride PV/Diesel « multi-générateurs Diesel » sans batterie et la configuration hybride PV/Diesel « 1 générateur Diesel » avec batteries de stockage d'énergie, il faut rappeler que la production photovoltaïque issue des onduleurs PV est principalement utilisée pour alimenter la charge. Le surplus d'énergie éventuel permet de recharger les batteries. Lorsque la production des onduleurs PV et l'énergie disponible dans la batterie ne sont pas suffisantes pour satisfaire la charge, le ou les générateurs Diesel sont mis en marche comme source de secours. A ce niveau la répartition de l'énergie entre les générateurs Diesel est identique à celle de l'approche proposée et présentée dans l'organigramme. [47]

### **II.8.2. Stratégie de gestion d'énergie basée sur l'approche prédictive optimisée**

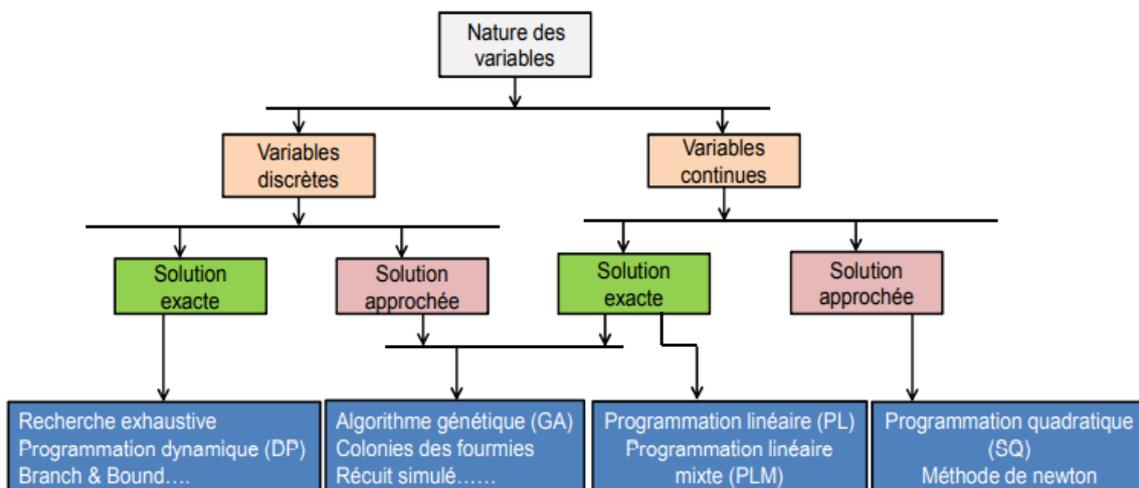
La plupart des algorithmes de planification prédictive de système électrique concerne l'optimisation économique. Connus sous les termes "Unit Commitment" (UC), "Optimal Power Flow" (OPF) et "Economic Dispatch" (ED), ils se ramènent à un problème d'optimisation sous contraintes d'égalité et d'inégalité [56,59–60]. Pour les différentes configurations de systèmes PV/Diesel qui font l'objet de notre étude, le problème d'optimisation proposé pour la répartition des flux d'énergie ainsi que les différentes contraintes de fonctionnement sont présentés dans cette partie.

### II.8.3. Méthodes de résolution du problème d'optimisation

Depuis des décennies, des méthodes mathématiques d'optimisation ont été étudiées pour déterminer des stratégies de gestion optimale des systèmes énergétiques en général. Les problèmes de répartition de flux d'énergie sont souvent résolus sur un horizon de temps bien défini. Pour chaque série temporelle de charge à alimenter sur cet horizon, il revient donc à trouver une stratégie d'opération pour chaque période de planification permettant de minimiser la fonction objective définie. Suivant la nature ou la formulation mathématique des éléments du problème d'optimisation, celui-ci est plus ou moins simple à résoudre. Les points clés à prendre en compte dans le choix de la méthode de résolution de ce problème sont [52] :

- ✓ La nature des variables et des composantes (continues ou discrètes) ;
- ✓ La nature des contraintes (linéaires, non linéaires, quadratiques... ) ;
- ✓ La nature de la fonction objectif (linéaire, non linéaire, quadratique, convexe...).

La figure II.12 dresse une synthèse et une classification des méthodes d'optimisation à partir de la nature des variables d'optimisation.

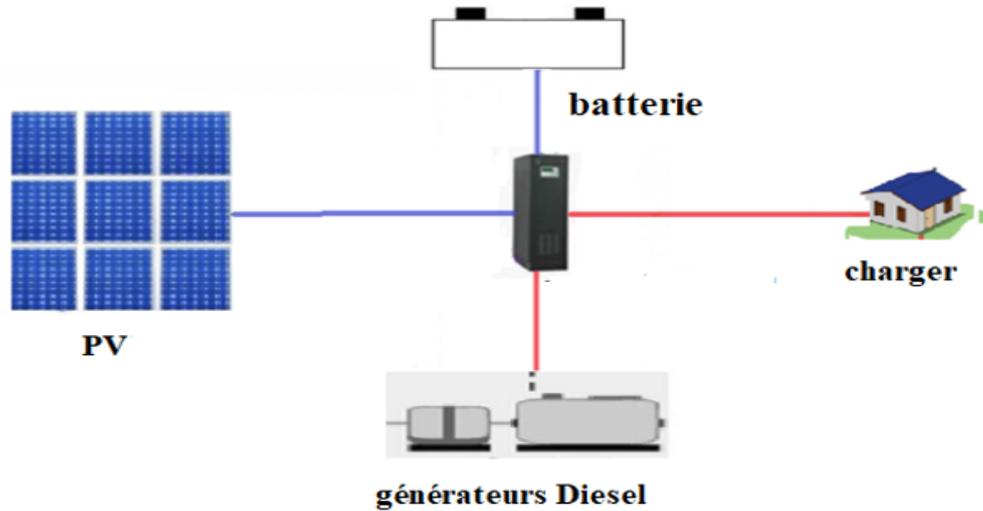


**Figure II.12:** Classification des méthodes d'optimisation en fonction de la nature des variables. [52]

### II.9. Modélisation et méthodes dans Homer

Le schéma de base du système d'énergie hybride PV/diesel/batterie est illustré à la Figure II.13, les principaux composants du système hybride système sont : générateur photovoltaïque, onduleur bidirectionnel, banc de batteries et générateur diesel. Dans cette

section, les modèles mathématiques des composants utilisés dans les stratégies de simulation et de contrôle sont résumés. [61]



**Figure II.13:** Le schéma de base du système énergétique hybride PV/diesel/batterie [61]

### II.9.1. Modèle PV

HOMER modélise le générateur photovoltaïque comme un appareil qui produit de l'électricité CC en proportion directe avec le rayonnement solaire global incident sur lui, indépendamment de sa température et de la tension à laquelle il est exposé. La puissance de sortie du générateur photovoltaïque est calculée à l'aide de l'équation suivante [62]

$$P_{pv} = f_{pv} \cdot Y_{pv} \cdot \frac{G_T}{G_{T,STC}} \cdot [1 + \alpha_p (T_C - T_{c,STC})] \quad (\text{II.1})$$

$f_{pv}$  : est le facteur de déclassement PV.

$Y_{pv}$  : La capacité nominale du générateur photovoltaïque (kW).

$G_T$  : Le rayonnement solaire global (faisceau plus diffuse) incidente à la surface du générateur photovoltaïque (kW/m<sup>2</sup>).

$G_{T,STC}$  : est l'irradiation dans des conditions de test standard (W/m<sup>2</sup>).

$\alpha_p$  : est le coefficient de température (%/°C).

$T_C$  : est la température de la cellule PV (°C).

$T_{c,STC}$  : est le PV température de la cellule dans des conditions standard(°C).

La température de la cellule peut être calculée à l'aide du bilan énergétique du Tableau PV comme suit

$$T_C = T_a + G_T \left( \frac{\tau \cdot \alpha}{U_L} \right) \left( 1 - \frac{\eta_c}{\tau \cdot \alpha} \right) \quad (\text{II.2})$$

$T_a$  : est la température ambiante(°C).

$T_C$  : est la transmission de la couverture sur le réseau PV.

$\alpha$  : est l'absorption solaire du réseau PV.

$U_L$  : est le coefficient de transfert de chaleur vers l'environnement (W/m<sup>2</sup> K) .

$\eta_c$  : La conversion électrique efficacité du réseau PV.

### II.9.2. Modèle batterie

Modèle de batterie cinétique, qui traite la batterie comme un système à deux réservoirs. Modéliser la batterie comme un système à deux réservoirs plutôt qu'un système à réservoir unique a deux effets. Tout d'abord, cela signifie que la batterie ne peut pas être complètement chargée ou déchargée d'un coup. Cela signifie que la capacité de la batterie à se charger et à se décharger ne dépend pas seulement de son état actuel de charge, mais aussi sur son historique de charge et de décharge. HOMER calcule la durée de vie du banc de batteries en années comme [63] : récent

$$C_{bw} = \frac{C_{rep,bat}}{N_{bat} \cdot Q_{lifetime} \cdot \sqrt{\eta \cdot r \cdot t}} \quad (\text{II.3})$$

$C_{rep,bat}$  : est le coût de remplacement du banc de batteries (en dollars).

$N_{bat}$  : est le nombre de batteries dans le banc de batteries.

$Q_{lifetime}$  : est le débit de la durée de vie d'une seule batterie.

### II.9.3. Générateur diesel

Les principales propriétés physiques du générateur sont sa puissance de sortie maximale et minimale, sa puissance durée de vie en heures de fonctionnement, le type de carburant qu'il consomme, et sa courbe de carburant, qui rapporte la quantité de carburant consommée la puissance électrique produite. HOMER a modélisé la courbe de carburant par une courbe linéaire caractérisée par une pente et intercepter à vide et utilise l'équation suivante pour la consommation de carburant du générateur [63] :

$$F = F_0 \cdot Y_{gen} + F_1 \cdot P_{gen} \quad (\text{II.4})$$

$F_0$  : est le coefficient d'interception de la courbe de carburant.

$F_1$  : est la pente de la courbe de carburant.

$Y_{gen}$  : la capacité nominale du générateur (kW).

$P_{gen}$  : la puissance électrique du générateur (kW)

### II.9.4. Stratégies d'expédition et contrôle du système

Les stratégies de contrôle du programme HOMER sont basées sur les stratégies décrites Par Barley en 1995.[64]

#### II.9.4.1. Chargez la stratégie de répartition suivante (LF)

Dans la stratégie de suivi de charge, lorsque le générateur fonctionne, il produit juste assez de puissance pour répondre à la charge primaire.

La charge du parc de batteries ou la desserte de la charge reportable sont laissées aux sources d'énergie renouvelables.

Il existe une option "Frugal" qui peut être appliquée dans toutes les stratégies, La charge de décharge critique ( $L_d$ ) est la charge nette au-dessus dont le coût marginal de production d'énergie avec le générateur Diesel est inférieur au coût d'extraction de l'énergie les piles. Si l'option Frugal est appliquée, le générateur diesel répond à la charge nette chaque fois que la charge nette est au-dessus de la charge de décharge critique, que le groupe de batteries soit ou

non capable de répondre à la charge nette. Là le coût de production d'énergie avec le générateur diesel et le coût d'extraction d'énergie des batteries sont égaux lorsque la charge nette est [65] :

$$B \cdot P_{Ngen} \cdot Pr_{fuel} + C_{O\&Mgen} + C_{rep\_gen\_h} + A \cdot Pr_{fuel} \cdot L_d = \frac{C_{cycling\_bat}}{\eta_{inv}} \quad (II.5)$$

Et  $L_d$  peut être calculé comme suit

$$L_d = \frac{\eta_{inv}(B \cdot P_{Ngen} \cdot Pr_{fuel} + C_{O\&Mgen} + C_{rep\_gen\_h})}{C_{cycling\_bat} - \eta_{inv} \cdot A \cdot Pr_{fuel}} \quad (II.6)$$

$P_{Ngen}$  : le coût d'acquisition du générateur diesel plus le coût d'exploitation et de maintenance tout au long de la durée de vie du générateur diesel (€).

$Pr_{fuel}$  : est le prix du carburant (\$/l).

$C_{O\&Mgen}$  : est le coût horaire de fonctionnement et d'entretien de la génératrice diesel (\$/h).

$C_{cycling\_bat}$  : est le coût du recyclage de l'énergie à travers les batteries (\$/kWh).

$A = 0,246$  l/kWh et  $B = 0,08415$  l/kWh sont les coefficients de la courbe de carburant.

#### II.9.4.2. Stratégie de répartition des charges de cycle (CC)

Dans la stratégie de charge cyclique, chaque fois que les générateurs fonctionnent, ils produisent plus de puissance que nécessaire (ou à un taux non dépassant l'énergie maximale que les batteries sont capables d'absorber) pour servir la charge avec un surplus d'électricité allant pour charger le banc de batteries [63], Si un point de consigne SOC est appliqué, le générateur diesel continuera de fonctionner jusqu'à ce que les batteries atteignent ce point de consigne SOC. L'option Frugal peut également être appliquée dans cette stratégie .[65]

### II.9.5. Modèles économiques

Pour calculer le coût actuel net total, l'équation suivante a été utilisée :

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (II.7)$$

$C_{ann,tot}$  : est le coût total annualisé.

$R_{proj}$  : la durée de vie du projet.

$i$  : le taux d'intérêt réel annuel.

$CRF$  : est le facteur de récupération du capital.

Le facteur de récupération du capital est donné par l'équation suivante :

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (II.8)$$

$i$  : est le taux d'intérêt réel annuel.

$N$  : est le nombre d'années

Le coût actualisé de l'énergie est calculé comme suit :

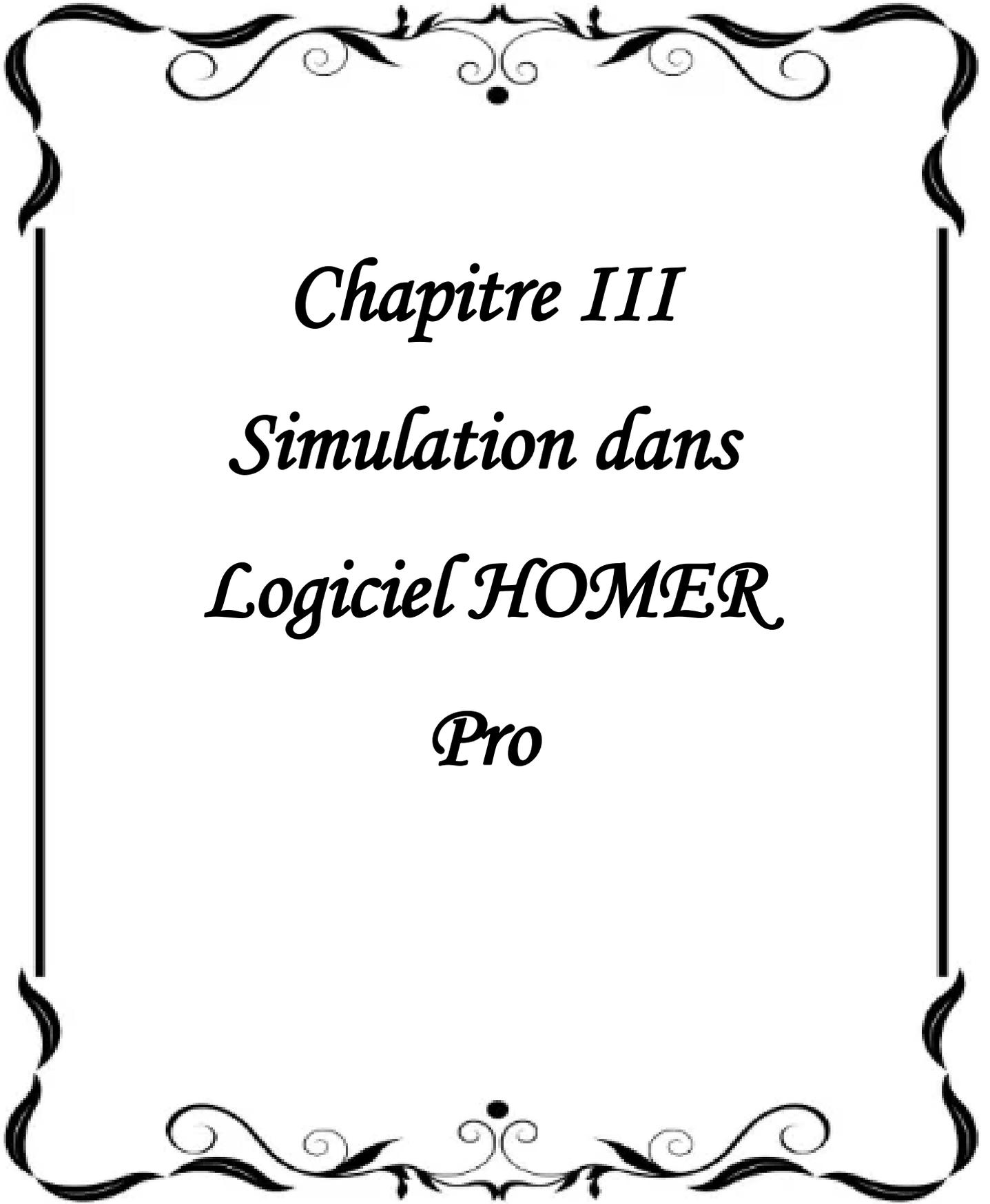
$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def}} \quad (II.9)$$

$C_{ann,tot}$  : le coût total annualisé.

$E_{prim}$  Et  $E_{def}$  : sont les montants totaux de charge primaire et reportable.

### II.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les stratégies de gestion d'énergie pour la gestion d'énergie dans les configurations hybrides PV/Diesel et présentées à partir des deux approches de gestion à savoir : la gestion classique et la gestion optimisée.



*Chapitre III*  
*Simulation dans*  
*Logiciel HOMER*  
*Pro*

### III.1. Introduction

Les systèmes hybrides utilisent différentes sources d'énergies comme l'éolien et le générateur diesel. Ce type de système peut représenter une solution pour les régions éloignées d'un grand réseau interconnecté.

Cependant le dimensionnement et l'architecture de système de génération d'énergie est une étape primordiale dans la conception et la réalisation de même système.

Plusieurs études prennent le paramètre variable de la plupart des énergies renouvelables pour la réalisation d'un système de contrôle complexe. Dans la même tâche un contrôle de la tension et de la fréquence pour un système éolien-diesel. La modélisation étant aussi un facteur majeur pour des études élaborées afin de simuler un bon fonctionnement de système. Plusieurs sont les logiciels qui nous permettent de la faire. Une modélisation d'un système hybride de génération d'énergie est présentée par le logiciel HOMER.

Dans ce projet, nous fournissons l'électricité à une central grâce à l'utilisation d'un système hybride pour la production d'énergie dans deux différentes régions en Algérie :

- ✦ Adrar est une ville intérieure située 28° de latitude N et 0 ° de longitude w avec une altitude de 263m.
- ✦ Tamanrasset est une ville du désert située entre 22 et 47.4 ° de latitude N et 05 et 31.2 ° de longitude E, avec une altitude de 1362 m.

En tenant en compte la consommation totale 2 région avec l'utilisation des différents systèmes hybrides en situation hors réseau comprenant le panneau solaire (PV), l'éolienne et le générateur diesel (GD) ainsi que les batteries et le convertisseur Toutes les deux sont classées selon le critère du coût actuel (NPC) et le coût d'énergie (COE).

Ces coûts permettent de comparer les différentes options pour la conception d'un système hybride optimal.

### III.2. Présentation du Logiciel HOMER Pro

HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. 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'elle soit renouvelable ou fossile. La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory ) par Dr. Peter Lilienthal le développeur original du

logiciel HOMER Pro , il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions.[66]

Les paramètres pour le choix de logiciel HOMER Pro.

Paramètre	Oui / non / en Partie	Explication
Langue	Oui	En anglais
Accessibilité à tous	Oui	Gratuit, téléchargement disponible en ligne, aide et tutoriel, fichiers d'exemple disponibles en ligne.
Plusieurs technologies disponibles	Oui	Éolien, diesel et photovoltaïque
Systèmes hors réseau	Oui	----
Simulation de systèmes dans plusieurs pays	Oui	Partout à travers le monde selon des lieux prédéterminés.
Évaluation des coûts	Oui	----
Optimisation des systèmes	Oui	----

**Tableau III.1.** Paramètres pour le choix de logiciel HOMER Pro.

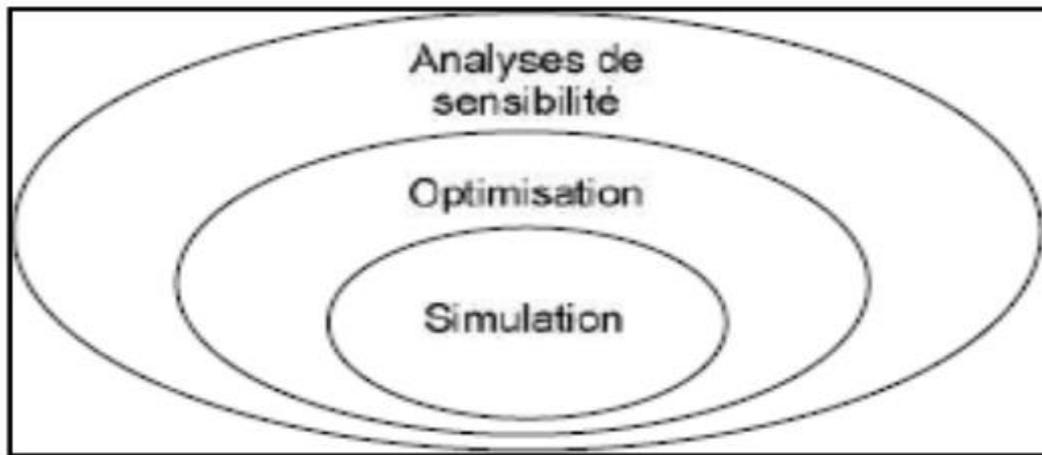
### II.2.1 Définition

HOMER est un modèle d'optimisation des systèmes hybrides fonctionnant avec les énergies renouvelables (Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables en anglais) ce logiciel est un outil puissant pour la conception et analyse des système de production d'électricité hybrides, compose de groupes électrogènes, de système de cogénération, d'éolienne, de système photovoltaïque, de système hydraulique, de batteries, de piles à combustible, de la Biomasse et bien d'autre. Que l'installation soit reliée au réseau ou non, HOMER permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes comme l'éolien et solaire peuvent être intégrée de manière optimale au sein des systèmes hybrides. [67]

### III.2.2. Fonctionnement

Ce logiciel permet de faire des simulations pour ensuite optimiser les systèmes et pour finalement terminer avec des analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés. La solution obtenue par HOMER est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus. La Figure « III.1 » représente le modèle conceptuel du logiciel HOMER PRO. [68]

HOMER Pro permet de simuler, d'optimiser et aussi réaliser une analyse de sensibilité pour les SERS. Il est utile aussi bien pour les centrales électriques villageoises, les camps, les chalets, les bases militaires que pour les habitats individuelles, reliés ou non au réseau.



**Figure III.1:** Modèle conceptuel du logiciel HOMER. [68]

Dans un premier temps, HOMER Pro peut simuler le fonctionnement d'un ou plusieurs systèmes à la fois. Pour chaque configuration, Il établit le bilan énergétique avec un pas allant d'une minute à une heure pour une période d'une année. Ainsi, pour chaque pas, HOMER Pro compare la demande d'électricité et de chaleur dans cet intervalle de temps à l'énergie que le système peut fournir. C'est ainsi qu'il détermine la faisabilité technique du système. Aussi, suivant les données techniques et de coût de chaque composant du système, HOMER Pro calcul le rendement énergétique, le cout du système et le % d'émission de gaz à effet de serre pour chaque configuration. Dans un deuxième temps, HOMER optimise le(s) système(s) déjà simulé(s). En effet, selon les critères que nous définissons, il trie et filtre les

systèmes, déjà simulé, de sorte à ce que nous pouvons voir les meilleurs ajustements, possibles. Par défaut, il trie les systèmes en fonction du coût actuels net du système (CPN).

En dernier temps, il est possible d'analyser plusieurs configurations différentes pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût. Le logiciel simule toutes les configurations demandées et donne la meilleure solution, la solution la moins chère, parmi celles-ci.

Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés (variation du coût de la technologie, variation dans les données de gisement, etc.). Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.

Le logiciel permet de faire des simulations avec différents systèmes de production d'énergie :

- ✦ Panneaux Solaires Photovoltaïques.
- ✦ Eoliennes.
- ✦ Barrage Hydroélectrique au Fil de L'eau.
- ✦ Biomasse.
- ✦ Génératrices (diesel, essence, biogaz, combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, Co alimentées).
- ✦ Réseau Electrique.
- ✦ Micro Turbines.
- ✦ Piles à Combustible.

HOMER offre aussi une vaste gamme de dispositifs d'accumulation ou de récupération d'énergie :

- ✦ Banque de batteries.
- ✦ Volants d'inertie.
- ✦ Flow batteries.
- ✦ Hydrogène.

On peut aussi entrer divers types de besoins énergétiques :

- ✦ PROFILS de consommation journaliers avec des variations selon les saisons.
- ✦ Charge différée pour le pompage d'eau ou pour la réfrigération.
- ✦ Charge thermique.
- ✦ Mesures d'efficacité énergétique.

HOMER peut donc simuler un large éventail de systèmes différents en plus de toutes les combinaisons possibles de systèmes hybrides.[68]

### III.2.3. Méthode générale d'utilisation HOMER Pro

Le logiciel HOMER Pro est facile à utiliser et son interface est similaire aux logiciels usuels (la Figure III.2). On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois parties importantes la première c'est la définition de système, le deuxième c'est les ressources et le troisième les résultats. Et aussi le logiciel indique pour nous des remarques ou bien des étapes qui nous doit être appliqué dans la partie de définition de système.

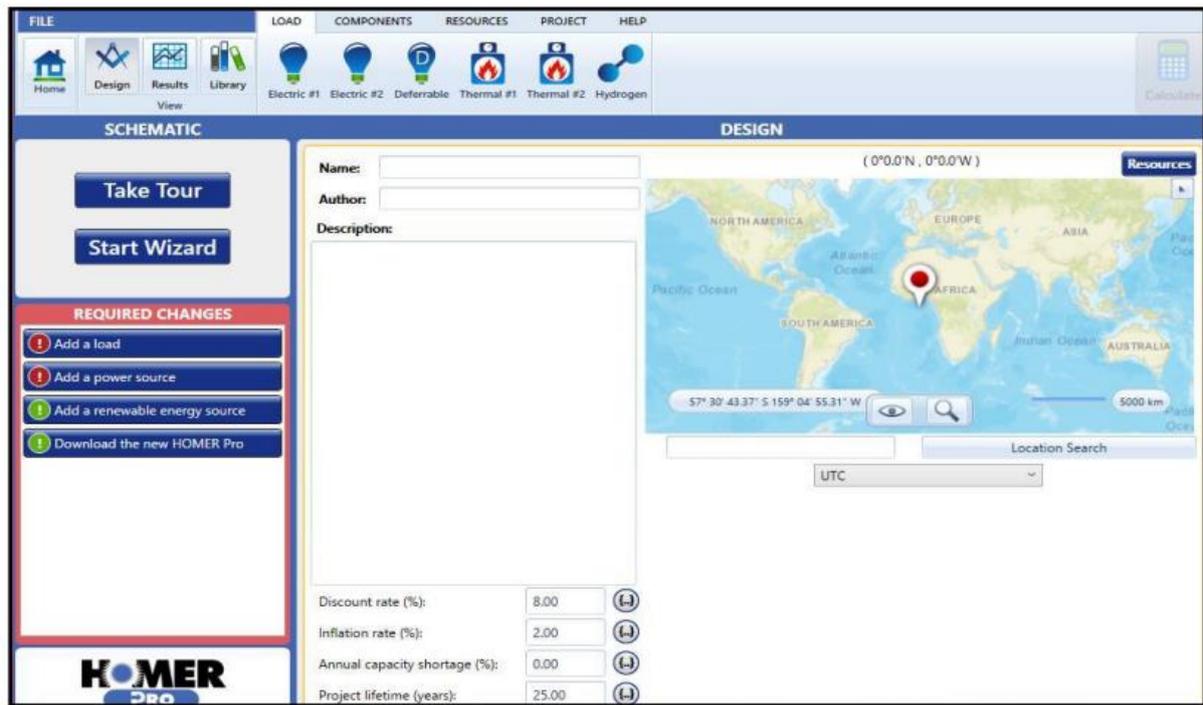
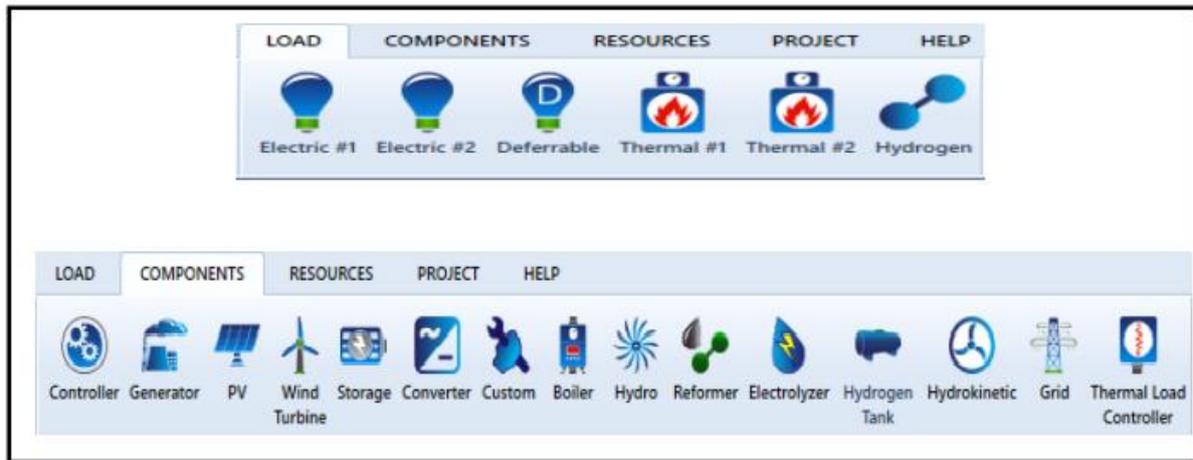


Figure III.2: l'interface de logiciel HOMER Pro.

On note que les premières étapes peuvent être appliquées dans ce logiciel c'est la définition de site, permet de choisir le nom de projet et la localisation de site de projet dans la fenêtre de (DESIGN) indiqué dans la Figure « III.2 ».

- La partie de définition du système permet de choisir les équipements qui seront inclus dans le système à modéliser. Il suffit de cocher les éléments à utiliser selon des plusieurs choix illustrés à la Figure « III.3 ». De plus, dans cette étape, il est possible de choisir : de modéliser le réseau électrique, d'en faire la comparaison avec un système hors réseau ou simplement de ne pas modéliser le réseau.

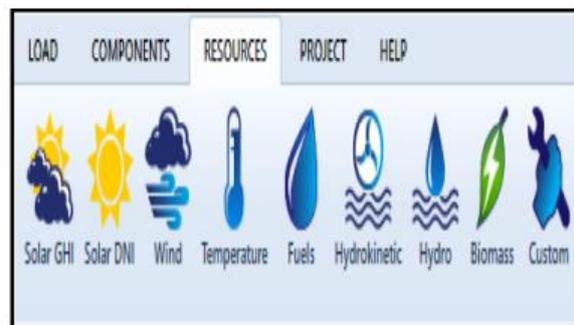


**Figure III.3:** les équipements.

- Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la partie 1 de définition du système (schéma de système) comme à la Figure « III.4», et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles dans la partie 2 de définition des ressources comme à la Figure « III.5».



**Figure III.4:** le schéma de système.



**Figure III.5:** les ressources.

- Dans ces deux parties, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir : ce sont les données fournir pour faire une simulation. Les données à faire entrer sont des données reliées à la consommation énergétique, aux équipements (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, génératrices, onduleurs, batteries ou autres équipements) et aux ressources nécessaires comme les données de gisement solaire ou éolien, aussi bien que les données reliées au combustible utilisé par la génératrice.
- Une fois ces données sont entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l'icône (calculât), Et lorsque le calcul est complété, on obtient de nombreux résultats étant donné qu'il est possible de faire entrer de nombreuses configurations différentes pour un même type de

système, il est possible de visualiser la liste des résultats de deux façons : « catégorie » et « over all ». Si on choisit l'option « catégorie », la liste présente l'option la plus économique pour chaque catégorie de système et donc par type de système. Par exemple, HOMER affichera seulement la meilleure option pour un système de type photovoltaïque avec batteries même si la simulation a été faite selon plusieurs configurations différentes (différents nombres de panneaux, différents nombres de batteries). Pour l'option « over all », HOMER affiche tous les systèmes sur la même liste. Le premier résultat affiché est le plus économique parmi tous les types de systèmes simulés. Il est donc important d'optimiser chaque type de système afin d'éliminer les systèmes qui ne sont pas viables. Pour ce faire, on effectue plusieurs simulations dans le but de converger vers un système optimal pour chaque type de système.

Il est très important de se rappeler que le premier résultat donné par HOMER dans la liste des résultats est toujours le système le plus économique trouvé selon « Net Present Cost » (coût à valeur actuelle) parmi tous les systèmes et toutes les configurations simulés. Comme mentionné précédemment, les résumés des systèmes et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.[68]

Et aussi HOMER permet de retrouver des détails le résumé des coûts, le flux monétaire, des informations sur l'électricité (production, consommation, excès d'énergie, etc.), des détails sur l'énergie et la puissance offertes des équipements (panneaux, batteries, convertisseur), le détail des émissions et finalement, on peut visualiser les données simulées d'heure en heure.

### III.2.4. Méthodologies spécifiques aux simulations

Une démarche pour le dimensionnement est définie conjointement avec une démarche pour les simulations sur HOMER pour les systèmes.

La démarche générale pour le dimensionnement et les simulations est résumée en quelques étapes :

- 1- Évaluation de la demande énergétique (consommation d'énergie) ;
- 2- Prédimensionnement à la main des équipements ;
- 3- Identifier les équipements nécessaires au système (panneaux solaires, convertisseur, batteries) dans le logiciel HOMER ;
- 4- Entrer les données nécessaires dans le logiciel :
  - ♣ a. de consommation énergétique ;
  - ♣ b. de gisement solaire pour le lieu désiré ;

- ♣ c. pour les équipements (prix des équipements et coût d'opération et d'entretien) ;
- 5- Lancer le calcul dans HOMER ;
- 6- Optimiser les résultats du logiciel HOMER de façon itérative pour arriver à la solution optimale pour ce système ;
- 7- Faire des analyses de sensibilité, si nécessaire ;
- 8- Valider le système.

### III.2.5. Les sorties

A partir de la simulation, Homer permet de visualiser le comportement heure par heure de chaque équipement de l'installation pour toutes les configurations simulées. A partir de ces résultats, Homer présente une analyse financière sur la durée du projet. Ainsi, pour chaque architecture et configuration il est possible d'observer les sorties suivantes :

- Coût global du kWh actualisé ;
- Répartition des postes de dépenses (investissement, entretien/maintenance, combustible) ;
- Le détail correspondant à chaque source : flux d'énergies, nombre de remplacements, coût fixe et cout marginal, proportion de la production électrique ;
- Des graphiques journaliers sur toute la durée de vie du système présentant heure par heure les consommations, les puissances délivrées par chaque source, la quantité d'énergie stockée
- Des graphiques d'analyse de sensibilité. Il permet d'observer la variation de certaines sorties par rapport à paramètres de sensibilité choisis ;
- Une analyse économique par rapport à une installation de référence ;
- Une analyse de sensibilité présentée sous forme graphique. [69]

### III.2.6. Le fonctionnement :

Pour chaque configuration, c'est-à-dire pour un choix de valeurs parmi toutes celles disponibles pour chaque paramètre, Homer effectue une analyse temporelle de l'installation.

A chaque pas de temps le logiciel observe la consommation et la compare à la production éolienne qu'il a calculée en fonction du gisement pris en compte.

L'énergie éolienne est prioritaire car il n'est pas possible de reporter son utilisation. Dans le cas d'un manque de cette énergie HOMER doit choisir entre l'usage du GE ou des idéalisée par rapport aux systèmes de contrôle commande réels. La simulation agit de façon à optimiser le coût total de fonctionnement de la centrale hybride, ce qui n'est pas forcément le cas de ces derniers. Les différences seront explicitées dans la partie « Les résultats » Pour

comparer les coûts du kWh produit par les différentes sources, le logiciel utilise des règles et des modèles qui peuvent être influencés par les paramètres choisis par l'utilisateur. Ainsi Homer considère que les sources auxiliaires ont un coût fixe et un coût marginal. [70]

### III.3. Première Position de Site (Adrar)

Nous présentons sur l'interface du logiciel comme illustre la figure « III.6», qui nous permet de positionner le site de travail sur la carte géographique pour vérifier les coordonnées relatives au site de la région d'Adrar, et choisir les composants de l'installation et leurs caractéristiques techniques.

On définit le système à partir de nom du projet, l'auteur et la localisation du système avec des donnée géographique :

- Latitude : 28 degrés 1 minutes Nord,
- Longitude : 0 degrés 15.9 minutes w.

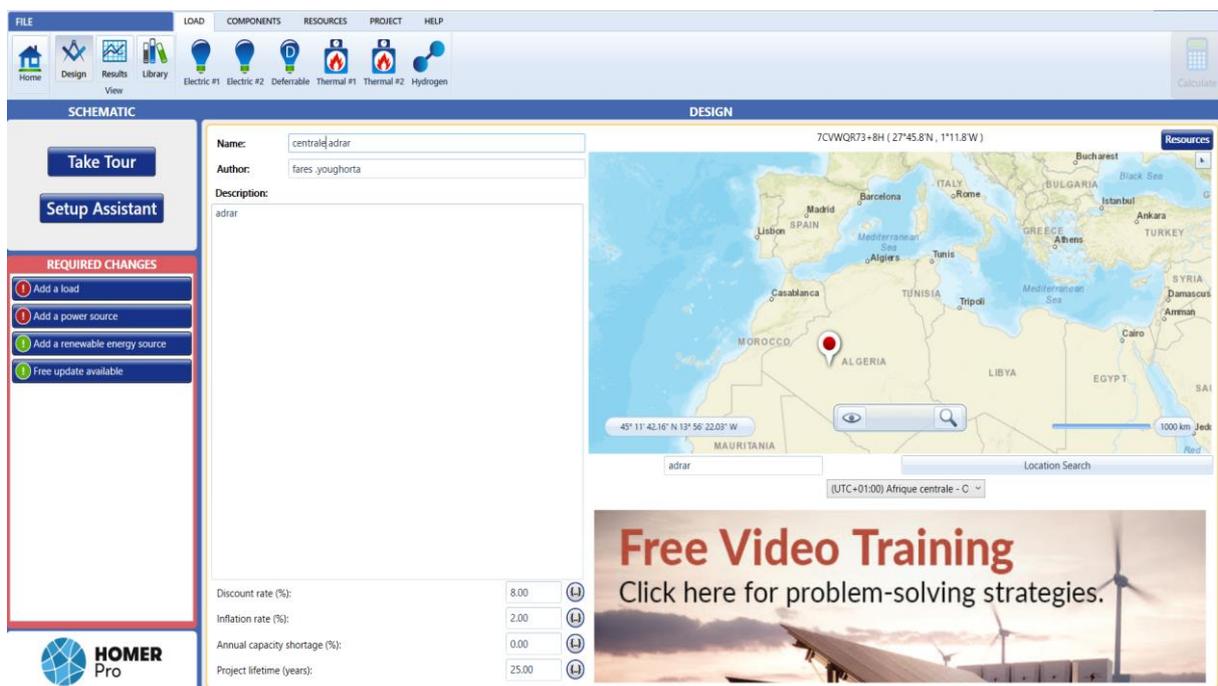


Figure III.6: Coordonnée Géographique Adrar.

### III.3.1. Configuration du Système

Le modèle HOMER Pro utilise des simulations horaires pour optimiser la conception de systèmes d'alimentation de plusieurs systèmes notamment éolien, photovoltaïque, groupe diesel et batterie d'accumulateurs, La configuration du système photovoltaïque couplé aux réseaux dépend de la ressource énergétique de solaires.

### III.3.2. Schéma de conception du système

La figure ci- dessous montre le système global qui sera étudié en utilisant le logiciel HOMER qui comprend les panneaux solaires, les turbines éoliennes, le groupe diésel, les convertisseurs et les batteries.

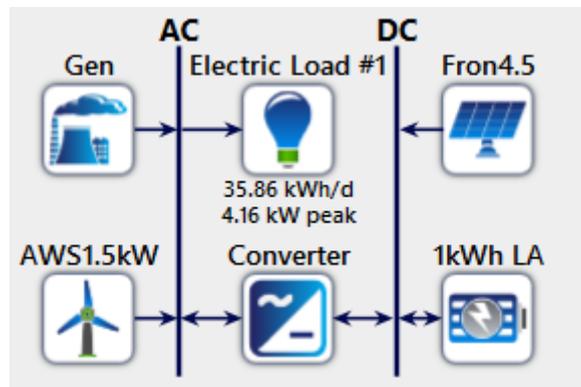


Figure III.7: Montage électrique du système hybride (Adrar).

## III.4. Simulation des composants de système

### III.4. 1.Choix du générateur

Générateur que nous considérons dans cette étude est un générateur diesel qui s'auto-dimensionne de façon à ce qu'il réponde à toute la charge. Il ne présente pas, donc, une capacité de stockage excédentaire. De plus, il ajuste sa courbe de carburant à sa taille. La figure « III.8», représente les spécifications techniques du générateur que nous considérons dans notre étude.

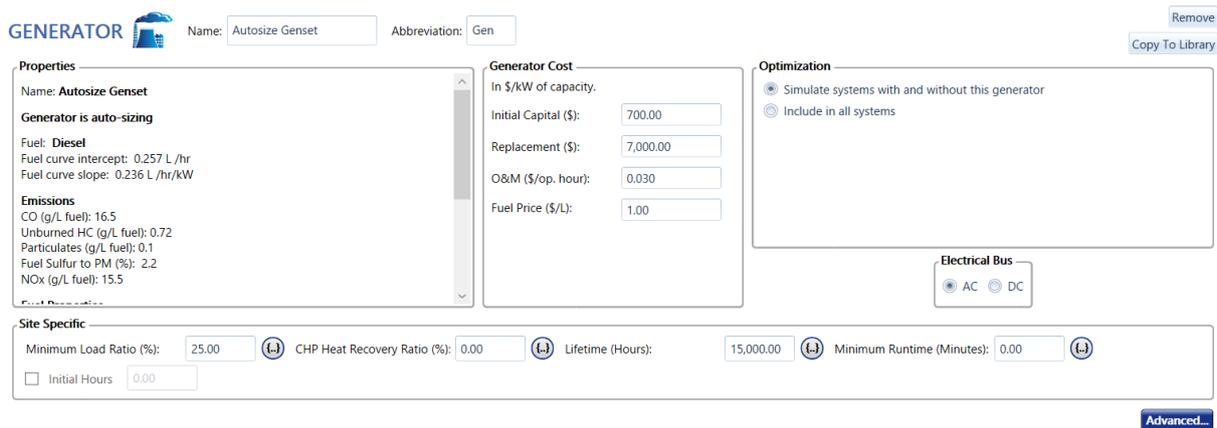


Figure III.8: Les données du coût du GD.

La carte de données de la puissance éolienne produite est donnée par HOMER et montre que la courbe du carburant du GD évolue linéairement avec la puissance nominale, figure « III.9».

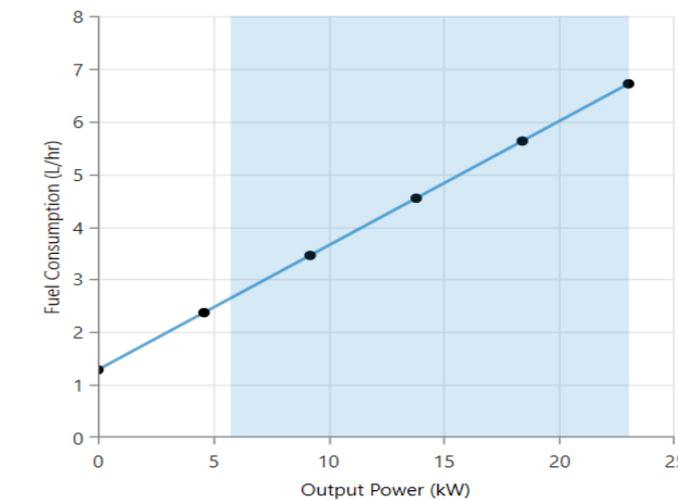


Figure III.9: Courbe de consommation de carburant du GD.

Le diagramme ci-dessous illustre la production journalière du diesel durant toute l'année. La couleur noire représente, selon l'échelle à droite, les périodes de l'arrêt et/ou à très faible production, alors que la couleur rouge montre les deux pics. La production moyenne est représentée par la couleur verte. Les périodes d'arrêt, citées précédemment, sont bien illustrées dans ce diagramme (les zones en noire).

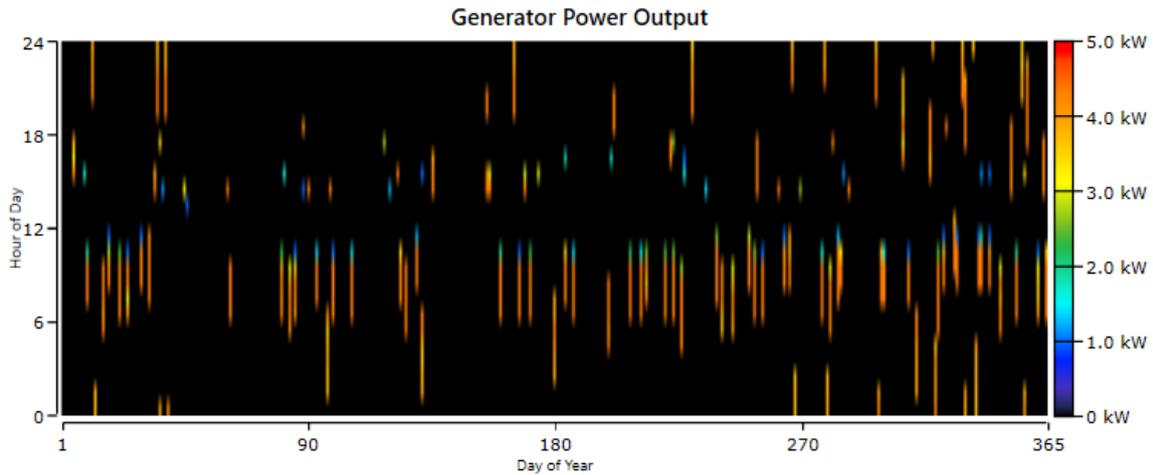


Figure III.10: Production journalière moyenne du Diesel pour toute l’année.

### III.4. 1.1. Caractéristiques du générateur diesel

<b>Nom : Autosize Genset</b>	
<b>Capacité</b>	10 kw
<b>Carburant</b>	Diesel
<b>Interception de la courbe de carburant</b>	0.257L/h
<b>Pente de la courbe de carburant</b>	0.236L/h/ kw
<b>Émissions</b>	CO (g / L de carburant) : 16.5
	HC non brûlé (g / L) : 0.72
	Particules (g / L de carburant) : 0.1
	Carburant soufre à PM (%) : 2.2
	NOx (g / L de carburant) : 15.5
<b>Propriétés du carburant</b>	Valeur calorifique inférieure : (MJ / kg) : 43.2
	Densité (Kg / m3) : 820
	Teneur en carbone (%) : 88
	Teneur en soufre (%) : 0.4

Tableau III.2. Caractéristiques du générateur diesel Autosize Genset.

### III.4. 2.Choix des PV

Les photovoltaïques sont des composants électroniques qui transforment les rayons lumineux du soleil en électricité par les cellules. Le coût du PV varie linéairement avec sa taille. Dans notre étude, le cout des panneaux photovoltaïques est évalué à 3000\$, le coût de remplacement est estimé à 3000\$ et le coût d'exploitation et de maintenance est estimé à 10\$/an. La figure « III.11 ». Représente les spécifications techniques du générateur PV que nous considérons dans notre étude.

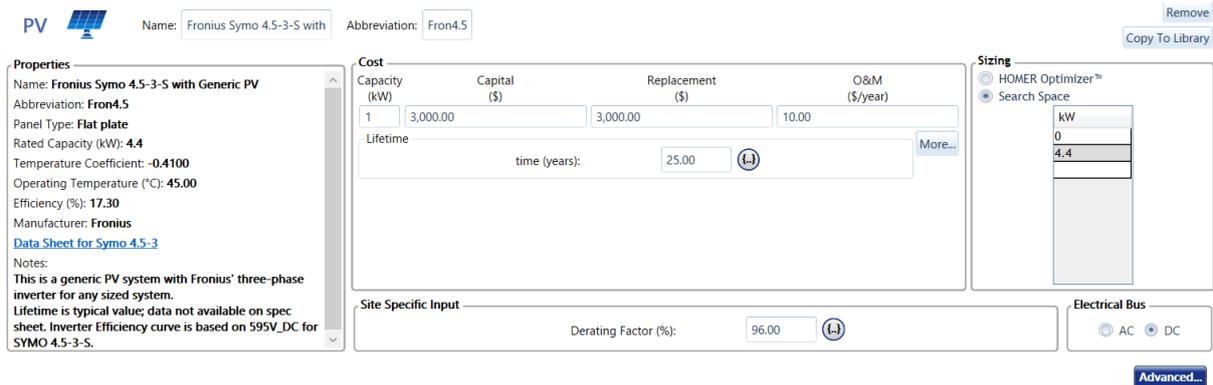


Figure III.11: Les données du coût du PV.

Le diagramme ci-dessous illustre la production journalière du générateur photovoltaïque durant toute l'année. La couleur noire représente, selon l'échelle à droite, les périodes de l'arrêt. La couleur bleue pour les périodes à très faible production et le jaune pour celles à forte production, alors que la couleur jaune montre les deux pics durant le mois de janvier et novembre à la même heure c'est-à-dire de 11h à 15h. La production moyenne est représentée par la couleur rose.

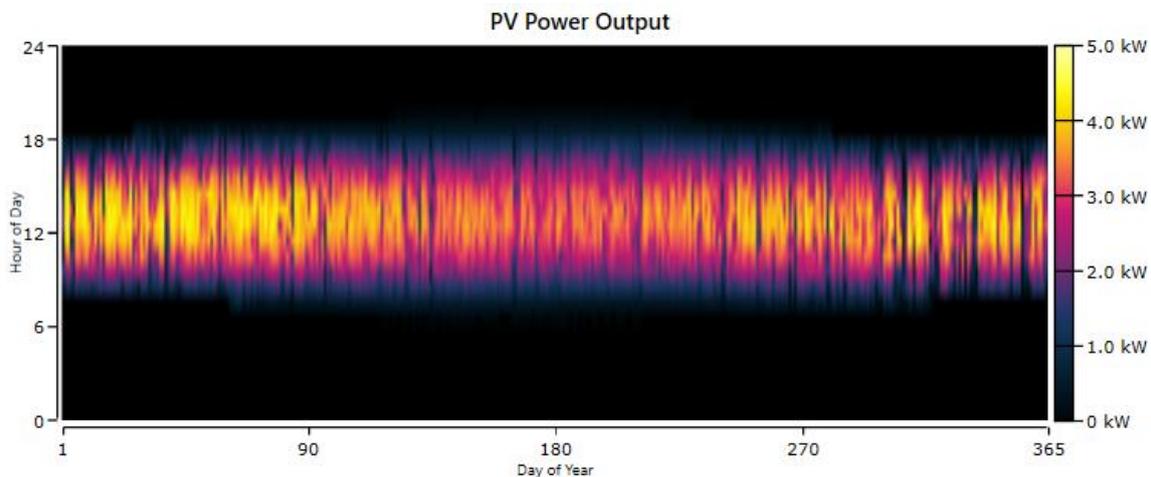


Figure III.12: Production mensuelles moyenne du PV.

• L'irradiation solaire

L'étape essentielle dans la conception d'un système photovoltaïque est la détermination de sa taille optimale qui dépend principalement des données climatiques du site. Le graphe dans la figure « III.13 ». Et le Tableau III.3 sont les données du profile de la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière à télécharger sur HOMER.

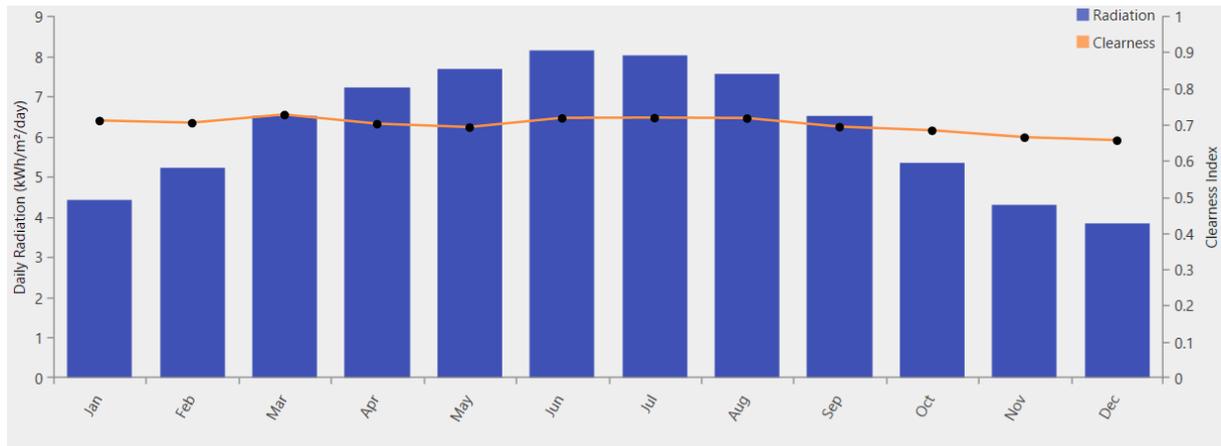


Figure III.13: la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière.

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)
Jan	0.710	4.420
Feb	0.704	5.220
Mar	0.726	6.500
Apr	0.701	7.220
May	0.692	7.670
Jun	0.717	8.140
Jul	0.718	8.030
Aug	0.716	7.560
Sep	0.693	6.500
Oct	0.683	5.360
Nov	0.664	4.300
Dec	0.655	3.830

Tableau III.3. La radiation solaire moyenne [71].

Cependant ces données on confirme une excellente compatibilité avec le changement des saisons de la région et nous constatons :

Le d'irradiation pendant l'été et le pendant l'hiver.

✦ Le mois juin est le mois le maximum ensoleillé avec une irradiation journalière moyenne de 8.140 [kWh/m<sup>2</sup> /jours].

✦ Le mois de décembre est le minimum ensoleillé avec 3.830[kWh/m<sup>2</sup> /jours].

Nous pouvons aussi diviser les irradianations en trois périodes :

✓ **Période 1 (faible ensoleillement) :**

Elle correspond à des irradianations journalières moyennes inférieur de 5 [kWh/m<sup>2</sup> /jours].

Elle concerne les mois : novembre, décembre, janvier et février.

✓ **Période 2 (ensoleillement moyen) :**

Elle correspond à : 5 [kWh/m<sup>2</sup> /jours] ≤ irradianations journalière <6.5 [kWh/m<sup>2</sup> jours].

. Elle concerne les mois : mars, avril, septembre et octobre.

✓ **Période 3 (ensoleillement élevé) :**

Elle correspond à des irradianations journalières ≥ 6 [kWh/m<sup>2</sup> /jours]. Elle concerne les mois mai, juin, juillet et août.

La définition de ces périodes nous permettra de calculer différentes puissances de PV que nous pouvons simuler sur Homer Pro. Elles permettront d'optimiser le mieux notre système.

• **La température**

Le fonctionnement des cellules est affecté considérablement par la température donc il est nécessaire.

De vérifier la variation de cette dernière pour maîtriser son impact sur le rendement des panneaux photovoltaïques. [12]

Le graphe de la figure « III.14» et Tableau III.4 indique clairement que la température maximum pendant les mois d'été ne dépassera jamais la température influente sur le rendement des cellules.

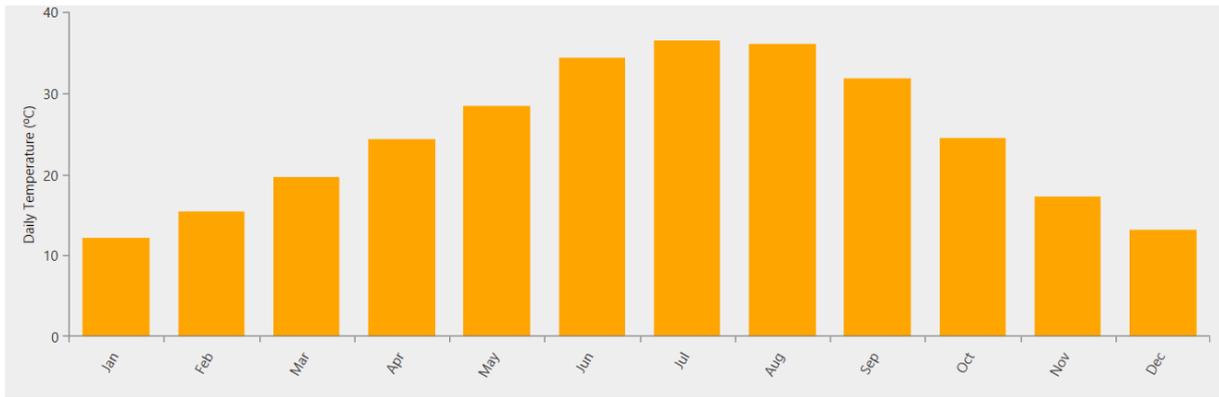


Figure III.14: l'évolution des températures mensuelles moyennes de la région Adrar.

Month	Daily Temperature (°C)
Jan	12.100
Feb	15.400
Mar	19.600
Apr	24.300
May	28.400
Jun	34.400
Jul	36.500
Aug	36.000
Sep	31.800
Oct	24.500
Nov	17.200
Dec	13.200

Tableau III.4. Les températures mensuelles.

### III.4. 3.Choix des éoliennes

La turbine éolienne ayant une caractéristique qui lui est propre et qui dépend des paramètres de construction qui définissent son potentiel à prélever l'énergie de la masse d'air en mouvement. La turbine choisie est AWS HC 1.5 KW.

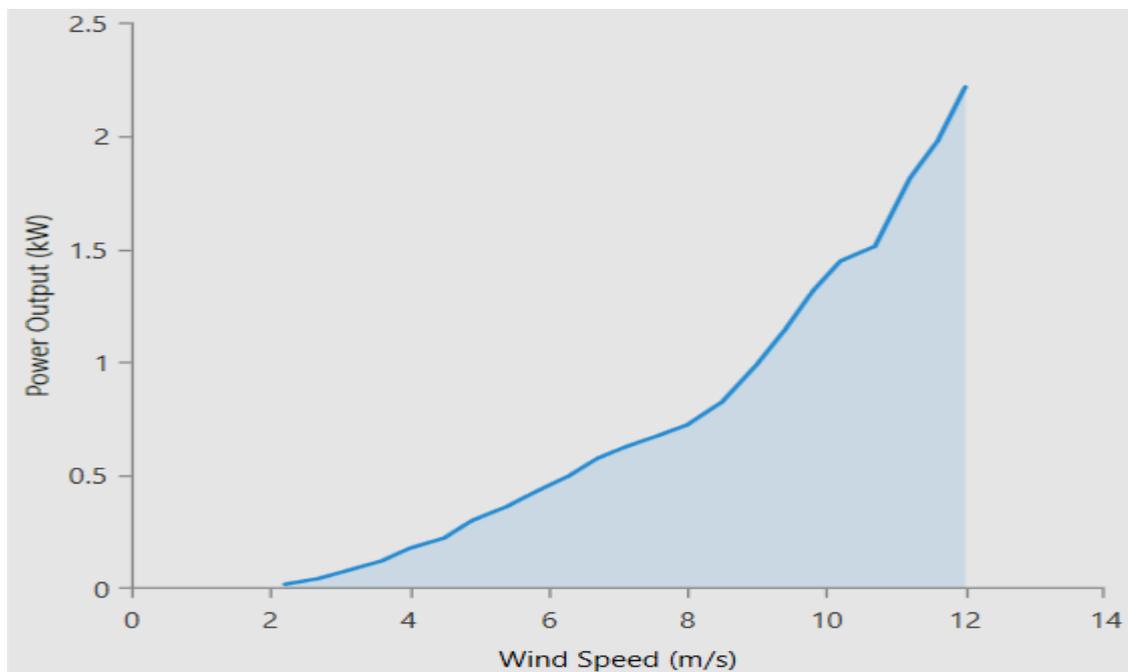
Figure III.15: Les données du coût d'éolien

L'éolienne AWS HC 1.5 KW considérée est caractérisée par les données présentées dans le tableau suivant :

Spécification	AWS HC 1.5 KW	Unité
Puissance nominale	1.5	KW
Diamètre du rotor	3.2	M
Vitesse nominale du vent	10.5	M/s
Température max au cœur du stator	180	°C
Garantie	2	ANS
Poids	34	KG
Nombre de pale	3	/
Durée de vie	20	ANS

**Tableau III.5.** Caractéristiques techniques de AWS HC 1.5 KW

La caractéristique de puissance de l'éolienne AWS HC 1.5 [KW] DC, en fonction de la vitesse du vent est donnée par la figure « III.16» ci-dessous



**Figure III.16:** Caractéristique de puissance de l'éolienne choisie en fonction de la vitesse du vent.

La carte des données des puissances éolienne produite est donnée par la figure « III.17» suivante

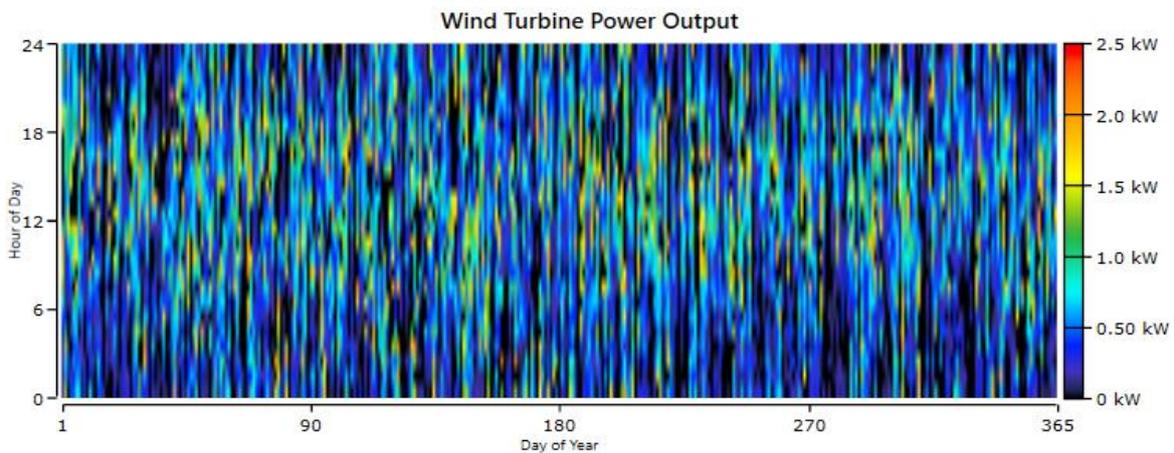


Figure III.17: DMap de la puissance éolienne produite.

### III.4. 4.Choix des batteries

L’installation peut fonctionner sans système de stockage, cependant, le rôle des batteries est essentiellement pour mieux optimiser les paramètres de fonctionnement, dans le sens de minimiser la part de l’énergie produite par le générateur classique. L’excès de production par les générateurs renouvelables est donc stocké dans les batteries, on peut ainsi minimiser la consommation du combustible et les émissions des gaz.

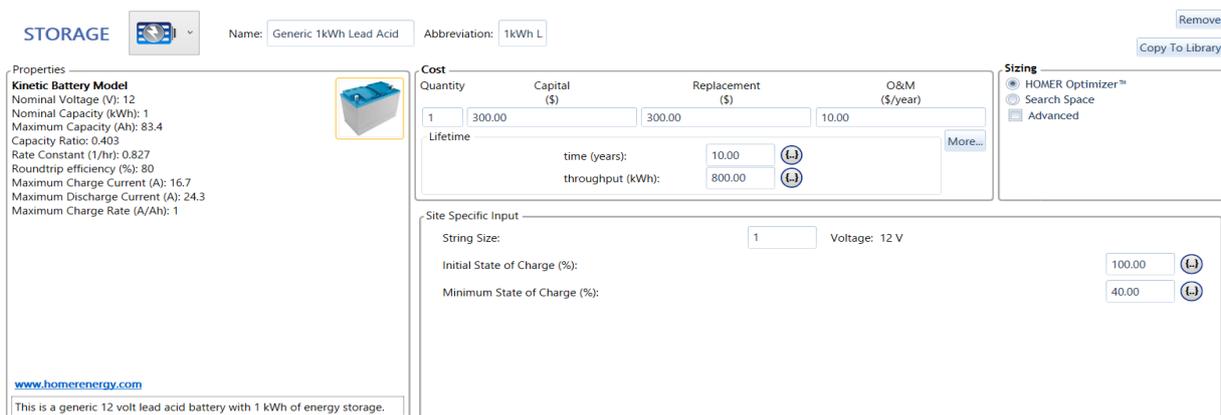


Figure III.18: Les données du coût de la batterie.

### III.4. 4.1. Caractéristiques de la batterie Generic 1kWh Lead Acid

Generic 1kWh Lead Acid	
Tension nominale	12 V
Efficacité	80%
Capacité nominale	1 kW
Capacité maximale	83.4 kW
Garantie	10 ans

Tableau III.6. Caractéristiques de la batterie Generic 1kWh Lead Acid.

### III.4. 5.Choix des convertisseurs

Le fonctionnement de convertisseur est lié à la demande sur l'énergie stockée, l'étude de son fonctionnement nous permet de prévoir les périodes de décharge des batteries. Le fonctionnement du redresseur est lié à l'état de charge des batteries, l'analyse de son fonctionnement est très importante, car elle nous permet de prévoir les périodes de recharge des batteries et ainsi les générateurs utilisés pour cette opération (PV, WT, DG).

The screenshot shows the 'System Converter' configuration in HOMER Pro. The 'Properties' section includes the name 'System Converter', abbreviation 'Converter', and a note: 'This is a generic system converter.' The 'Costs' table is as follows:

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$300.00	\$300.00	\$0.0

The 'Inverter Input' section has the following values: Lifetime (years): 15.00, Efficiency (%): 95.00, and Relative Capacity (%): 100.00. The 'Rectifier Input' section has Efficiency (%): 95.00. A checkbox 'Parallel with AC generator?' is checked.

Figure III.19: Les données du coût du convertisseur.

### III.4. 5.La charge

Pour une centrale PV connecté au réseau électrique, ce réseau peuvent être alimenté le site adrar de puissance de 35.86 [KWh/jour]. La figure « III.20» Indiqué les détails de cette charge soient pour ; les jours, les moins, les ans ou bien les heures.

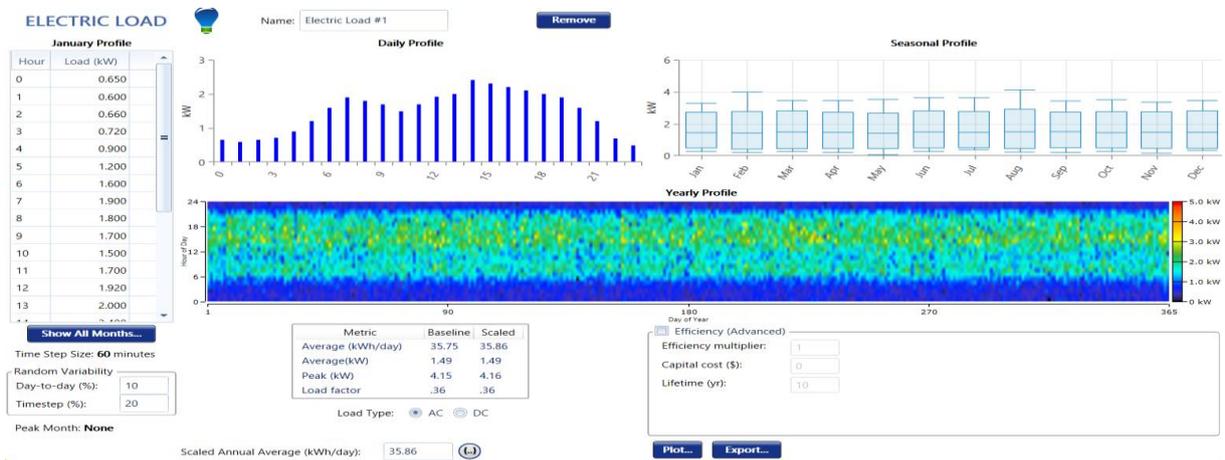


Figure III.20: les détails de la charge de système.

### III.5. 2eme Position de Site (Tamanrasset)

La localisation de site est donnée par les données géographiques :

- Latitude : 22 degrés 47.4 minutes Nord,
- Longitude : 5 degrés 31.2 minutes E.



Figure III.21: Coordonnée Géographique Tamanrasset.

### III.5. 1. Schéma de conception du système (Tamanrasset)

On applique le même système dans un site du désert (Wilaya de Tamanrasset), le climat de ce site est différent de celui d’Adrar.

La figure ci- dessous montre le système global qui sera étudié en utilisant le logiciel HOMER qui comprend les panneaux solaires, les turbines éoliennes, le groupe diésel, les convertisseurs et les batteries.

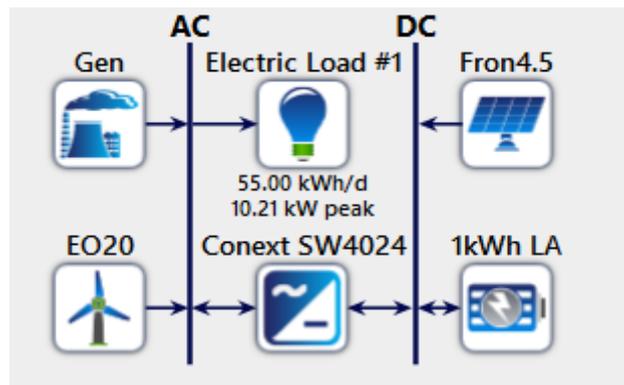
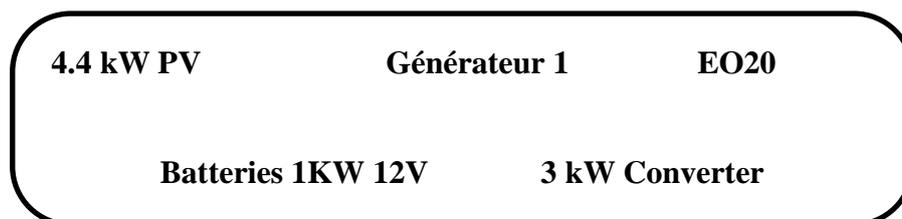


Figure III.22: Montage électrique du système hybride (Tamanrasset).

### III.6. Simulation des composants de système

En comparant les résultats précédents avec ceux obtenus dans cette zone, on trouve que le système typique utilisé est celui qui contient :



#### III.6. 1. Générateur diesel

Le même générateur que nous avons utilisé dans wilaya adrar.

**Nom : Autosize Genset.**

Capacité : 10 kW.

Carburant : diésel.

Interception de la courbe de carburant : 0.257L/h.

Pente de la courbe de carburant : 0.236L/h/ kW.

### III.6. 2.Choix des PV

Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. La puissance crête des modules PV représente la puissance que peut fournir un module lorsqu'il est fermé sur sa charge nominale (optimale), sous les conditions standards de fonctionnement.

La puissance désirée par le module photovoltaïques peut être la même puissance absorbée à partir le réseau, Nous pouvons choisir la puissance nécessaire produite du panneau photovoltaïque dans notre système connecté au réseau est de 4.4 KW de type Fronius Symo 4.5-3-S with Generic PV avec une efficacité de 17,30.

#### • L'irradiation solaire

L'étape essentielle dans la conception d'un système photovoltaïque est la détermination de sa taille optimale qui dépend principalement des données climatiques du site. Le graphe dans la figure « III.23».



Figure III.23: La variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière (Tamanrasset).

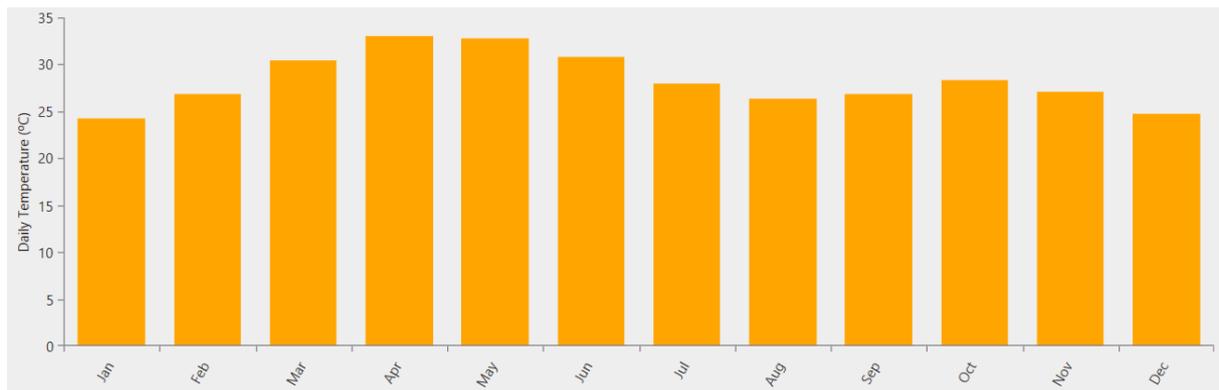
#### • La température

Le fonctionnement des cellules est affecté considérablement par la température donc il est nécessaire de vérifier la variation de cette dernière pour maîtriser son impact sur le rendement des panneaux photovoltaïques. [12]

Le graphe de la figure « III.24» et Tableau III.7 indique clairement que la température maximum pendant les mois d'été ne dépassera jamais la température influente sur le rendement des cellules.

Month	Daily Temperature (°C)
Jan	24.290
Feb	26.870
Mar	30.460
Apr	33.000
May	32.740
Jun	30.760
Jul	27.930
Aug	26.310
Sep	26.840
Oct	28.280
Nov	27.070
Dec	24.700

**Tableau III.7.** Les températures mensuelles (Tamanrasset).



**Figure III.24:** L'évolution des températures mensuelles moyennes de la région (Tamanrasset).

### III.6. 3.Choix des éoliennes

La turbine éolienne ayant une caractéristique qui dépend des paramètres de construction définissant son potentiel à prélever l'énergie de la masse d'air en mouvement. La turbine choisie est de marque Eocycle EO20 de puissance nominale 20 kW.

Puissance nominale : 20KW.

Diamètre du rotor :15.81 M.

Vitesse nominale du vent : 2.75 M/S.

Durée de vie : 20 ans.

### III.6. 4.Choix des batteries

La même batterie que nous avons utilisé dans wilaya adrar.

Nam: Generic 1kWh Lead Acid.

Tension nominale : 12V.

Efficacité : 80%.

Capacité nominale : 1KW Capacité maximale : 83.4 KW Garantie : 10 Ans.

### III.6. 5.Choix des convertisseurs

Ce convertisseur vous permet de dimensionner le système de batterie sans avoir à dimensionner le convertisseur. Il tient compte des pertes d'efficacité liées à la conversion de l'alimentation en courant alternatif en courant continu et des pertes du bus continu en courant alternatif, On choisit l'onduleur de type Schneider Conext SW4024 et la capacité de 3 KW.

### III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons représenté le logiciel HOMER Pro permettant d'atteindre les objectifs soulignés, ainsi on a expliqué le fonctionnement et la simulation, l'optimisation, l'analyse et toutes les types d'utilisations. On a offert une approche orientée sur la réalisation de projets plutôt qu'une approche d'optimisation de systèmes après la définition de tous les types.



*Chapitre IV*  
*Résultats et*  
*Discussion*

### IV.1. Introduction

L’avantage d’un système hybride par rapport à un photovoltaïque seul, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux. Un des plus importants de ces facteurs est sans conteste Continuité de service de la production et du stockage de l’énergie.

Dans ce chapitre on présentera les résultats de simulation de logiciel HOMER Pro obtenus de dimensionnement et le cout des installations puis on compare entre les deux régions.

### IV .2. Résultats pour HOMER Pro

Pour les résultats sont ensuite affichés, et après toutes les données entrées, il faut lancer le calcul sur HOMER Pro. Le premier résultat affiché est le plus économique parmi tous les types de systèmes simulés. Il est donc important d’optimiser chaque type de système afin d’éliminer les systèmes qui ne sont pas viables. Pour ce faire, on effectue plusieurs simulations dans le but de converger vers un système optimal pour chaque type de système. Il est très important de se rappeler que le premier résultat donné par HOMER dans la liste des résultats est toujours le système le plus économique trouvé selon « Net Present Cost» (coût à valeur actuelle) .

On fait le calcul pour le site de wilaya D’Adrar et wilaya Tamanrasset ont obtenu les résultats illustrés dans le tableau 1et 2 Lorsque le calcul est complété, on obtient de nombreux résultats. Etant donné qu’il est possible de faire entrer de nombreuses configurations différentes pour un même type de système, et aussi affichés Un résumé du système et des coûts reliés dans la zone des résultats.

Architecture										Cost			System		Gen					
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	\$80,992	\$0.479	\$2,589	\$47,526	86.6	526	435	1,756	526	60.0	526
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	\$108,747	\$0.643	\$5,952	\$31,801	54.2	1,756	1,335	5,988	1,756	184	1,756
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	\$169,168	\$1.00	\$10,576	\$32,453	20.3	3,181	2,809	10,418	3,181	388	3,181
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	\$198,671	\$1.17	\$13,994	\$17,760	0	4,525	3,677	15,171	4,525	507	4,525

Tableau IV .1. Résultats des calculs (Adrar).

Le meilleur système hybride nous le trouvons dans la 1ème ligne, malgré que la grande valeur de (NPC) soit 80992\$, Aussi la différence légère dans la valeur (COE) soit 0.479\$, Cependant il contient toutes les composantes possibles (PV/éolienne/GD/ batteries), addition la consommation totale de carburant et l’émission Dioxyde de carbone moins que les autres systèmes.

Architecture								Cost				System		Gen			
Fron4.5 (kW)	Fron4.5-MPPT (kW)	EQ20	Gen (kW)	1kWh LA	Conext.SW4024 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)
4.40	4.40	1	12.0	28	4.31	LF	\$54,170	\$0.209	\$1,354	\$36,667	93.4	538	338	1,319	538	122	538
		1	12.0	41	4.33	LF	\$54,282	\$0.209	\$2,079	\$27,400	91.8	682	436	1,650	682	157	682
4.40	4.40	1		122	8.99	CC	\$121,451	\$0.468	\$4,492	\$63,382	100	0					
		1		246	9.98	CC	\$192,316	\$0.742	\$8,002	\$88,866	100	0					
4.40	4.40		12.0	74	6.05	CC	\$260,004	\$1.00	\$16,015	\$52,973	20.2	4,942	1,736	16,007	4,942	625	4,942
			12.0	167	10.0	CC	\$411,782	\$1.59	\$26,160	\$73,600	0	8,118	2,364	27,682	8,118	851	8,118

Tableau IV .2. Résultats des calculs (Tamanrasset).

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, éolienne, GD, batteries) dans la 1<sup>ère</sup> ligne.

Cet agencement a été lié à la valeur du NPC (Net Present Cost), de la plus petite à la plus grande valeur parce que la plus petite valeur de IC (initial capital) dans la 2<sup>ème</sup> ligne avec une valeur de (27400\$), qui appartient au système intégrant seulement (éolienne, GD, batteries), car il ne s'agit pas d'utiliser (PV) et il a laissé un effet significatif sur la valeur de RF (Renewable Fraction) qui a été estimé à 0,918.

Mais si nous parlons du meilleur système hybride nous le trouvons dans la 2<sup>ème</sup> ligne, malgré que la grande consommation du diesel à travers ce système soit (682L).

La petite valeur de (initial capital) soit (27400\$) et (NPC) soit (54282\$) menée au faible coût de 1kWh soit (0.209\$), ce qui en fait justifie cette position au classement.

### IV .3. Production et consommation d'énergie électrique

La production et la consommation annuelle d'électricité du système sont détaillées dans 2 sites

Production	kWh/yr	%
Fronius Symo 4.5-3-S with Generic PV	9,448	60.8
Autosize Genset	1,756	11.3
AWS HC 1.5kW Wind Turbine	4,340	27.9
Total	15,544	100

Tableau IV 3. Energie annuelle produite (Adrar).

On remarque que 27.9% des besoins énergétiques du site sont produits par le générateur éolien, et 60.8% sont produits par le générateur photovoltaïque, et le reste 11.3% est assuré par la source d'énergie conventionnelle (diesel). La production totale est estimée à 15544 KWH/an.

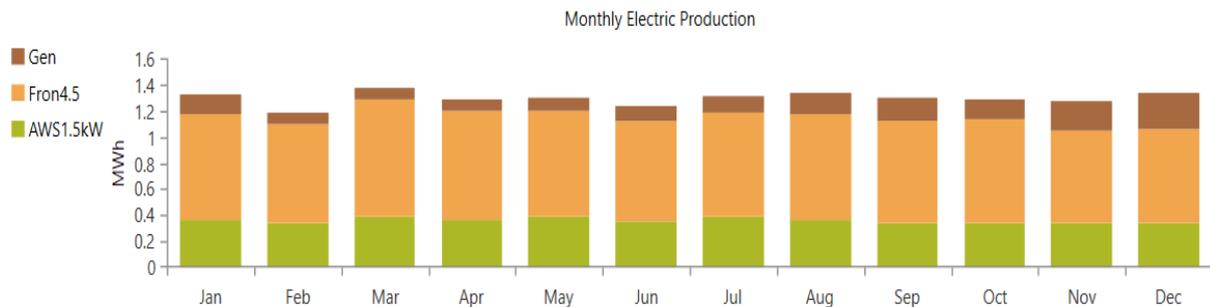


Figure IV .1 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (Adrar).

Nous remarquons qu'il y a une légère différence dans la production de l'énergie électrique entre certain mois de l'année, et que la puissance éolienne mensuelle moyenne produite est importante dans tout l'année.

Aussi la puissance photovoltaïque mensuelle moyenne produite est importante dans les deux mois mars et avril.

Production	kWh/yr	%
Fronius Symo 4.5-3-S with Generic PV	8,833	9.47
Autosize Genset	1,319	1.41
Eocycle EO20	83,144	89.1
Total	93,296	100

Tableau IV .4. Energie annuelle produite (Tamanrasset).

On remarque que 89.1% des besoins énergétiques du site sont produits par le générateur éolien, et 9.47% sont produits par le générateur photovoltaïque, et le reste 1.41% est assuré par la source d'énergie conventionnelle (diesel). La production totale est estimée à 93296 KWH/an.

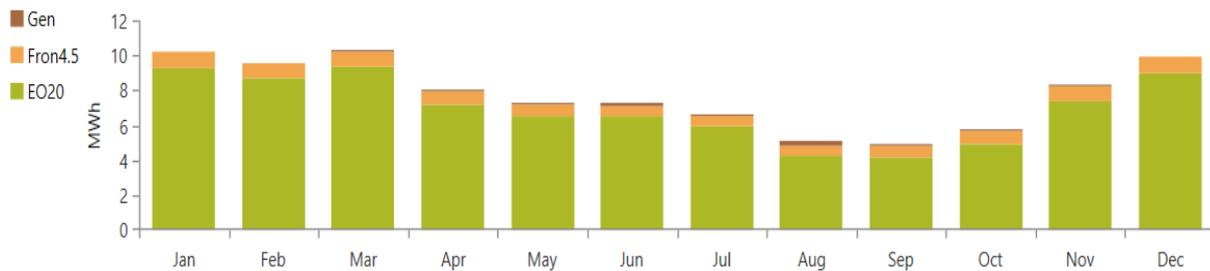


Figure IV .2 : Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (Tamanrasset).

Nous remarquons qu’il y a une légère différence dans la production de l’énergie électrique entre certain mois de l’année, et que la puissance éolienne mensuelle haut en mois mars puis diminue dans les mois avril jusque à septembre après augmente dans les mois octobre jusque à décembre.

Aussi la puissance photovoltaïque mensuelle moyenne produite est importante dans les mois mars et janvier à partir du mois d’avril jusque septembre diminue, après augment dans les mois octobre jusque a décembre.

Quant à la puissance génératrice haut en mois mars puis diminue dans les mois avril jusque aout.

#### IV .4. Energie solaire globale

Dans le but d’évaluer le paramètre influençant directement la production PV, qui est le rayonnement solaire incident, puis d’ôter la confusion qui pourrait s’installer avec le rayonnement solaire global, Les Figure « IV.3 » « IV.4 » montre bien la récupération de l’énergie solaire due pendant une durée très importante de l’année.

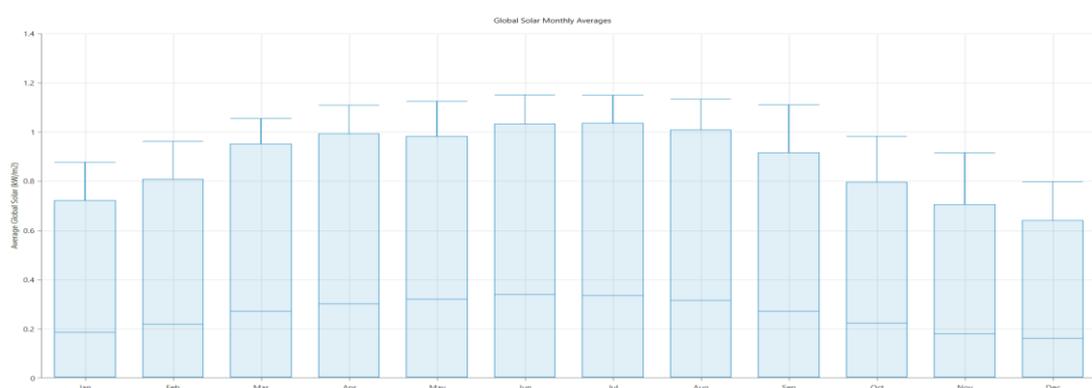


Figure IV .3 : l’énergie solaire global (Adrar).

La Figure « IV.4 » représenté, l'énergie solaire incidente de champs PV

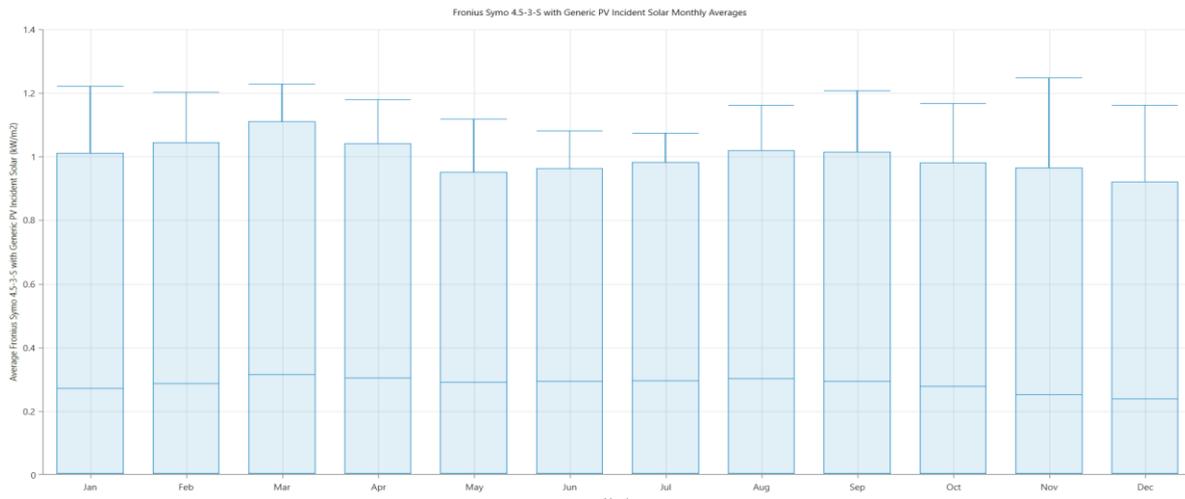


Figure IV .4 : l'énergie solaire incidente de champs PV (Adrar).

### IV .5. Les détails de la température dans deux sites

Homer calcule la température de la cellule à chaque pas du temps, et utilise le résultat pour calculer la puissance de sortie des modules PV. Il calcule la température de la cellule à partir de la température ambiante et le rayonnement sur les panneaux.

#### a. Température dans la région d'Adrar

La température moyenne mensuelle maximale est de 36 [°C] au mois juillet, tandis que la température moyenne minimale est de 12 [°C] au mois de Janvier.

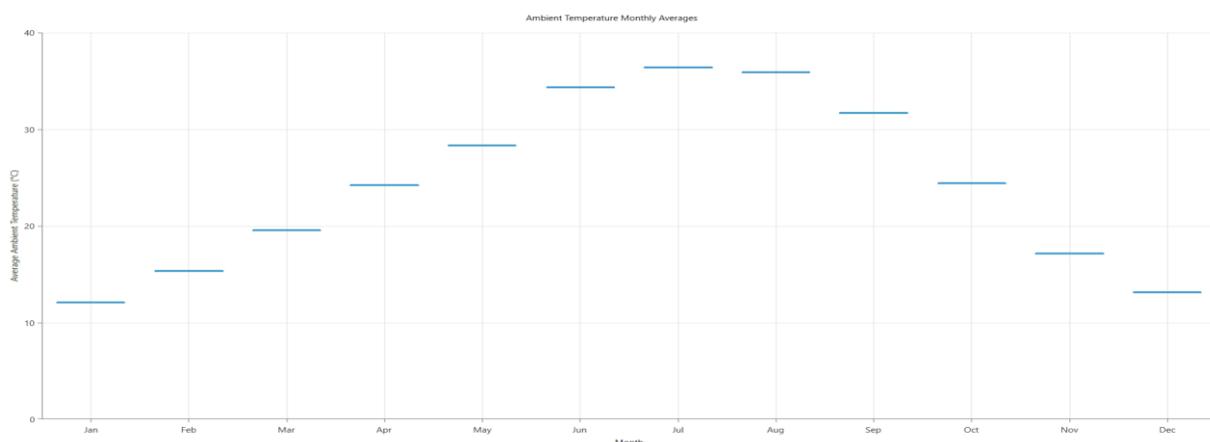


Figure IV .5 : le profil de la température ambiante annuelle (Adrar).

### b. Température dans région Tamanrasset

La température moyenne mensuelle maximale est de 33[°C] au mois d'avril, tandis que la température moyenne minimale est de 24 [°C] au mois de Janvier.

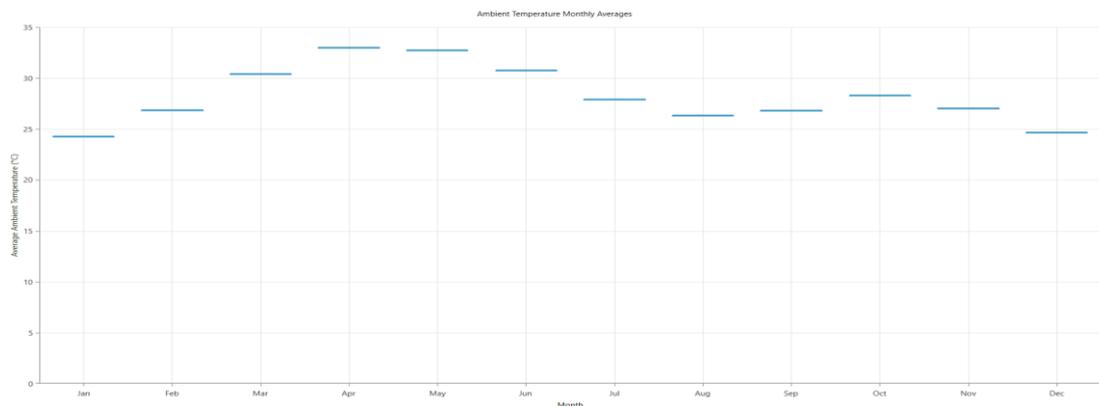


Figure IV .6 : le profil de la température ambiante annuelle (Adrar).

## IV .6. Résultats de CC et LF dans deux régions

HOMER simule toutes les configurations de systèmes à la recherche de systèmes réalisables satisfaisant les contraintes techniques au niveau coût du cycle de vie le plus bas. Le système hybride est simulé avec des stratégies de suivi de charge et de charge cyclique dans wilaya adrar. Un échantillon de résultats de simulation une semaine dans mois juillet dans les deux stratégies de répartition LF et CC sont illustrés aux Figure 7 et 8.



Figure IV .7 : Résultats de simulation dans une semaine de mois juillet en stratégie CC (Adrar).

Dans la stratégie de cycle de charge (CC), lorsque le générateur PV et le parc de batteries ne peuvent pas couvrir la charge consommation, le générateur diesel fournit suffisamment d'énergie pour répondre à la charge et pour charger la batterie jusqu'à ce que la batterie la banque devient capable de couvrir la consommation de la charge.

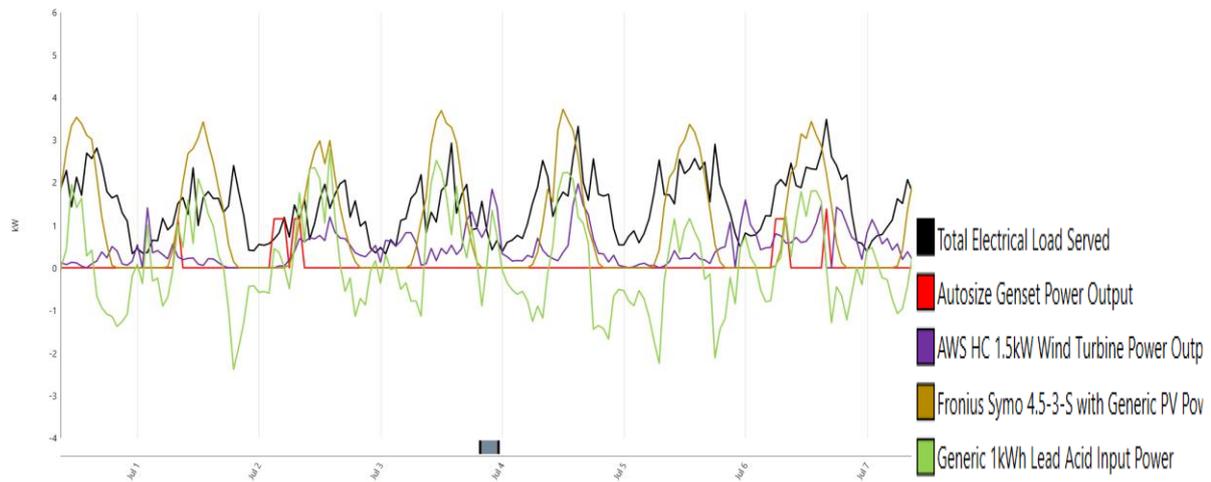


Figure IV .8 : Résultats de simulation dans une semaine de mois juillet en stratégie LF (Adrar)

La stratégie de suivi de charge (LF), lorsque le générateur PV et le parc de batteries sont incapables de couvrir la charge consommation, le générateur diesel ne couvre que la charge sans charger le parc de batteries.

IV .6. 1.Analyse économique (COE)

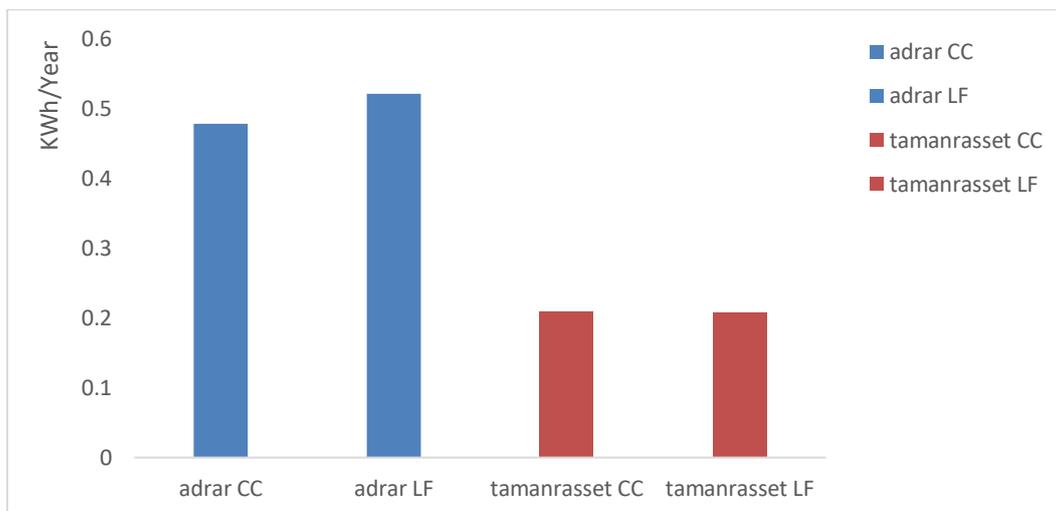
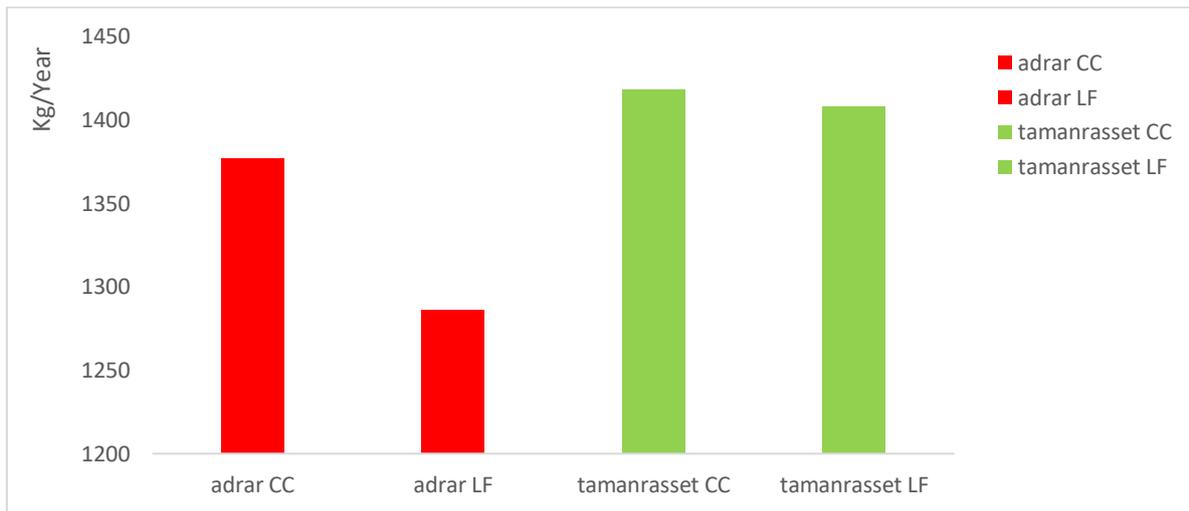


Figure IV .9 : Les COE dans la stratégie cc et LF dans deux régions.

Dans wilaya adrar nous remarquons que la stratégie CC est la plus rentable que la stratégie LF. Et dans wilaya Tamanrasset on peut remarquer que la stratégie LF est la plus rentable que la stratégie CC, nous concluons que la stratégie LF de wilaya Tamanrasset est plus rentable.

#### IV .6. 2.Évaluation environnementale



**Figure IV .10 :** Les Émission dans la stratégie cc et LF dans deux régions.

On peut remarquer la consommation de carburant dans la stratégie LF signifie moins de GES émissions du générateur diesel dans 2 régions.

Fonctionnant sur LF a un nombre plus élevé de démarrages de générateur par rapport à celui fonctionnant sur CC parce que lorsque le système ne produit pas assez RE et la charge de la batterie n'est pas suffisante pour compléter la production RE, le générateur est mis en marche pour répondre à la demande électrique. Cette se produit plusieurs fois car les ressources RE sont intermittentes. Alors qu'elle système avec CC, le générateur diesel fonctionne à pleine capacité chaque fois qu'il est allumé pour répondre à la charge électrique et charger la banque de batterie. Assez d'énergie est produite par le système avec CC à un seul fonctionnement, limitant le nombre de démarrages du générateur. Cependant, le nombre de démarrages du générateur ne correspond pas à la consommation de carburant et émission parce qu'un seul fonctionnement du générateur pour un système avec CC fonctionne pendant un nombre d'heures plus élevé, consommant plus de carburant et s'éjectant plus de CO<sub>2</sub>.

Mais dans wilaya d'Adrar on consommait moins de GES émissions du générateur diesel alors c'est mieux.

## IV .7. Comparaison des résultats du projet dans les 2 site

Control strategy	Adrar		Tamanrasset	
	CC	LF	CC	LF
<b>Technical</b>				
PV Array (kW)	4.4	4.4	4.4	4.4
DG (kW)	4.6	4.6	12	12
Battery (kW)	40	40	32	28
Converter (kW)	3.35	3.65	4.72	4.31
Electrical production PV (%)	60.8	63.3	9.44	9.47
Electrical production DG (%)	11.3	7.62	1.68	1.41
Fuel consumption (L/yr)	526	491	542	538
Excess of electricity (%)	5.76	3.33	77.4	77.4
Battery Autonomy (Hours)	16.1	16.1	8.38	7.34
battery life (Years)	6.75	7.75	9.95	9.59
<b>Économiques</b>				
NPC (\$)	80828	88079	54299	53906
COE (\$/kWh)	0.478	0.521	0.209	0.208
Capital cost (\$)	47426	47514	38278	36467
Replacement cost (\$)	23648	34023	16852	15277
O&M cost (\$)	9231	10004	5954	5819
Fuel cost (\$)	6802	6353	7001	6954
Salvage (\$)	6281	9815	13787	10613
<b>GHG émissions (kg/ans)</b>				
Carbon dioxide	1377	1286	1418	1408
Carbon monoxide	8.68	8.11	8.94	8.88
Unburned hydrocarbons	0.379	0.354	0.390	0.387
Particulate matter	0.0526	0.0491	0.0542	0.0538
Sulfur dioxide	337	315	347	345
Nitrogen oxides	816	762	839	834

Tableau IV .5. Résultats de la solution optimale pour les deux Etat pour les stratégies CC et FL.

Pour wilaya de d'Adrar, l'autonomie de la batterie et les tailles du générateur PV, générateur diesel banque de batteries et convertisseur sont les mêmes dans les deux stratégies, la pénétration PV dans le CC Plus LF(60.3% dans LF et 63.3 % dans CC) ce qui conduit à moins de consommation de carburant (491 L/ans LF ET 526 L/ans CC) moins d'excès d'électricité (3.33% dans LF et 5.76 % dans CC) et même d'autonomie de la batterie (16.1 ans dans LF et 16.1 ans dans CC) et plus vie de la batterie (6.75 ans dans CC et 7.75 ans dans LF). D'après les résultats économiques on peut remarquer que la stratégie CC est la plus rentable que la stratégie LF (avec COE=0.478 \$/kWh dans CC et COE=0.521 \$/kWh dans LF), et NPC=80828 \$ dans CC et NPC = 88079 \$ dans LF).

Réduire la consommation de carburant dans la stratégie LF signifie moins de GES émissions du générateur diesel ( $CO_2$  émissions = 1286 Kg/ans dans LF  
Et  $CO_2$  émissions= 1377 kg/ans dans CC).

Pour wilaya Tamanrasset la taille des composants de la solution optimale dans les stratégies CC et LF est différente dans l'autonomie de la batterie (8.38 h dans CC et 7.34 h dans LF) Et le pénétration PV dans le LF plus CC (9.44% dans LF et 9.47% dans CC) moins vie de la batterie (9.95 ans dans CC et 9.59 ans dans LF) et même d'excès d'électricité (77.4% dans CC et 74.4% dans LF) et moins de consommation de carburant (542 L/ans dans CC et 538 L/ans dans LF).

D'après les résultats économiques on peut remarquer que la stratégie LF est la plus rentable que la stratégie CC (NPC= 54299 \$ dans CC et NPC= 53906 \$ dans LF)  
Et (COE=0.209 \$/kWh dans CC et COE=0.208 \$/kWh dans LF).

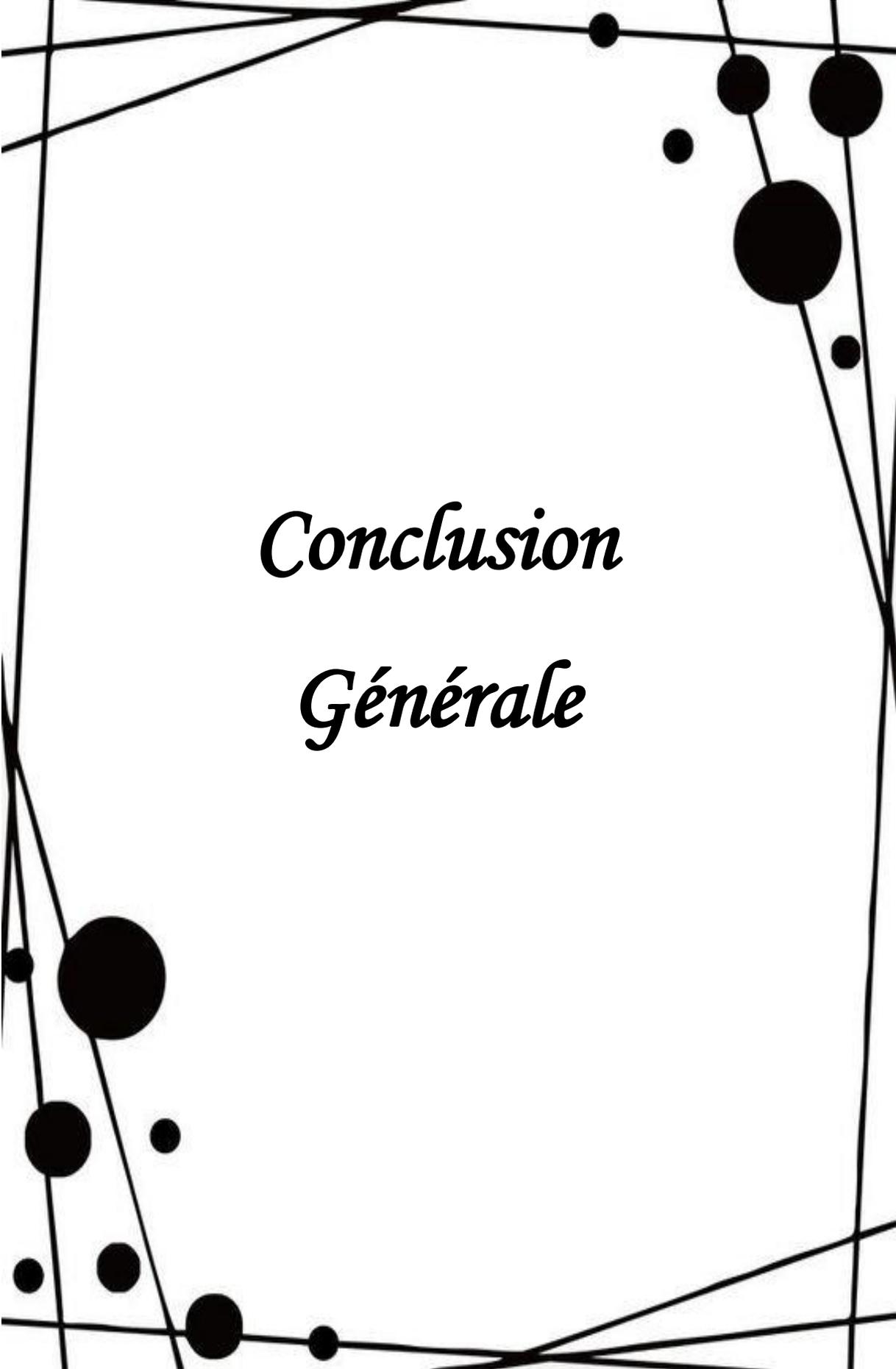
Aussi la stratégie LF a moins d'émissions de GES que la stratégie CC ( $CO_2$  émissions = 1418 Kg/ans dans CC et  $CO_2$  émissions= 1408 kg/ans dans LF).

## IV .8. Conclusion

Ce chapitre présente une étude comparative de résultats dans wilaya d'Adrar et Tamanrasset Dans wilaya d'Adrar Les résultats ont montré que la stratégie CC est plus rentable dans économiques, et la stratégie LF a moins d'émissions de GES que la stratégie CC.

Dans wilaya Tamanrasset résultats économiques et émissions que la stratégie LF est la plus rentable que la stratégie CC, quant à la stratégie de contrôle les résultats sont proches entre CC et LF.

De là nous concluons que wilaya Tamanrasset est meilleurs en termes d'économie moins chère que wilaya adrar et en termes émissions de wilaya adrar c'est mieux que wilaya Tamanrasset.



*Conclusion  
Générale*

## **Conclusion Générale**

Beaucoup de régions éloignées et rurales en Algérie ne sont pas connectés au réseau national en raison du coût élevé. Le but de cette étude est de réaliser une solution économique d'un système hybride de production de l'énergie renouvelable afin de réduire la consommation du diesel et de pollution de l'environnement. En utilisant le modèle de simulation du logiciel HOMER pro, qui a un langage interactif, Permettant la prédiction des tâches système d'une manière rapide et précise.

Il a été constaté que le système hybride idéal est le système qui est constitué de (PV/éolien/diesel) avec une vitesse moyenne de 6 m/s en plus . Il est constaté que ce type de système d'énergie est possible de résoudre le problème de l'électricité rurale dans notre pays. Dans les différentes conditions climatiques dans les deux sites sélectionnés « Adrar et Tamanrasset ».

Le principal avantage d'un système hybride PV/ éolien / diesel est que lorsque les énergies solaire, éolienne et diesel sont utilisées en même temps, pour améliorer la fiabilité du système.

La stratégie de gestion est primordiale dans un système d'énergie hybride autonome, car c'est elle qui décide quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage si disponible. La stratégie de gestion d'énergie qui sera développée dans le cadre de ce projet de recherche doit permettre au système autonome hybride photovoltaïque éolien de s'adapter aux variations météorologiques. Une gestion d'énergie des composants d'un système doit garantir la stabilité du système en tout temps, dans ce mémoire, deux stratégies de gestion d'énergie sont proposées (CC et LF).

Nous avant fait une étude comparative de ces deux stratégies en utilisant le modèle de simulation du logiciel HOMER pro, qui a un langage interactif, permettant la prédiction des tâches système d'une manière rapide et précise.

En résumé, on peut dire qu'avec une installation hybride et une bonne stratégie de contrôle dans deux sites d'Adrar et Tamanrasset on peut atteindre des objectifs principaux qui sont :

- Alimenter les charges électriques sans interruption.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation en combustible fossile.
- Protéger les composants du système donc prolonger leurs durées de vie.
- Réduire les émissions de tous les gaz.

Après tous ces résultats, nous avons fait une comparaison entre deux sites et celle-ci s'est représentée comme suit :

Dans région d'Adrar Les résultats ont montré que la stratégie CC est plus rentable dans économiques, et la stratégie LF a moins d'émissions de GES que la stratégie CC.

Dans région Tamanrasset résultats économiques et émissions que la stratégie LF est la plus rentable que la stratégie CC, quant à la stratégie de contrôle les résultats sont proches entre CC et LF.

De là nous concluons que wilaya Tamanrasset est meilleurs en termes d'économie moins chère que région d'Adrar et en termes émissions de région adrar c'est mieux que région Tamanrasset.

Enfin, ce travail nous a permis de déterminer l'architecture optimale d'un système hybride (PV/éolien/diesel) en donnant à l'utilisateur les éléments nécessaires pour décider de l'approche qui conduit au meilleur compromis entre coûts et besoins.

## *Bibliographie*

### *Chapitre I*

- [1] Corinne ALONSO « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie ». UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III.) 2003.
- [2] Olivier Gergaud, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat en Electrotechnique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2002.
- [3] SiteInternet, <http://www.scribd.com/doc/46661921/Les-energies-renouvelables>, consulté le 12/06/2013.
- [4] B. Flèche, D. Delagnes, « energie solaire photovoltaïque », STI ELT, juin 2007, énergie solaire photovoltaïque.pdf, consulté janv. 2014.
- [5] baroud kendo li, « état de l'art et modélisation des microcentrales », magister en électrotechnique de l'université mentouri de Constantine 2007.
- [6] O. Gergaud, “Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau,” Thèse de Doctorat de l'école Normale Supérieure de Cachan, France, Décembre 2002.
- [7] Diane Bastien « le potentiel des énergies solaires au Québec» B.Sc. Physique, candidate au doctorat en Génie du bâtiment, Designer Passive House26 septembre 2013.
- [8] énergie solaire passive-wikipédia.
- [9] <http://www.energies-renouvelables.org/accueil-systemes-solaires.asp>.
- [10] E. Hau, "Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics", Springer, Germany (2006).
- [11] F. LASNIER, T.G. ANGEL, « Photovoltaic Engineering Handbook », IOP Publishing Ltd. 1980. ISBN 0-85274-311-4.

- [12] <http://www.planete-energies.com/fr/l-energie-au-quotidien/qui-produit-qui-consomme-/lepetrole-227.htm>.
- [13] Un aperçu des dynamiques régionales par filière. 3ième inventaire. Edition 2011.
- [14] Bogdan, SB, Salameh, ZM, « Methodology for optimally the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system ». IEEE transaction on Energies conversion 11(2), 367-375, 1996.
- [15] D. Tran, "Conception Optimale Intégrée d'une chaîne éolienne « passive » : Analyse de robustesse, validation expérimentale", Thèse de Doctorat de l'institut National Polytechnique de Toulouse le 27 septembre 2010.
- [16] j. Martin, "Energies éoliennes" Techniques de l'ingénieur, traité de Génie énergétique, pp. B 8 585 1-B 585 21.
- [17] Hassini Belghitri Houda, « Modélisation, Simulation Et Optimisation D'un Système Hybride Eolien-Photovoltaïque», Mémoire de magister, Département de Physique, université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen ,2010 .
- [18] Tommy Andy Theubou Tameghe, « modélisation et simulation d'un système de jumelage éolien-diesel alimentant une charge locale», mémoire présenté à l'Université du Québec en Abitibi-Temiscaming comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie, page 31.
- [19] Cours des Masters, « Énergies renouvelables », Université Mentouri de Constantine
- [ OS].
- [20] Amory B. LOVINS, stratégie énergétiques planétaires, édition Christian Bourgeois 1975.
- [21] Marie-Jeannette, Inès, « Margaux, Énergie solaire photovoltaïque ».
- [22] [www.energie-renouvelable.org](http://www.energie-renouvelable.org).

## *Chapitre II*

- [23] Gupta A, Saini RP, Sharma MP. Modelling of hybrid energy system-Part II: Combined dispatch strategies and solution algorithm. *Renew Energy* 2011;36:466–73. doi:10.1016/j.renene.2009.04.035.
- [24] Wichert B, Lawrance W. Application of Intelligent Control Methods to the Management of Modular Hybrid Energy Systems 1997:1–7.
- [25] Ludmil STOYANOV « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables » thèse de Doctorat de l'université technique de SOFIA, octobre 2011.
- [26] Benchiha Abdessamed, Elhacen Ould Abdallahie, " Evaluation de la fiabilité d'un système de production hybride (éolienne- solaire)", Mémoire de Master, Université Dr. Tahar Moulay de Saïda ,2012/2013.
- [27] Abdoul Karim TRAORÉ «Gestion d'un système autonome hybride photovoltaïque éolien pour applications agricoles » mémoire de fin d'étude, université de Québec, juillet 2016
- [28] Menad DAHMANE « Gestion, optimisation et conversion des énergies pour habitat autonome » thèse de Doctorat de l'université Jules Verne de Picardie, Novembre 2013.
- [29] D. Abbes, “Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome “, Thèse Doctorat, Université de Poitiers, 2012.
- [30] I. Vechiu, “modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome “ Thèse Doctorat, Université du Havre, 2005.
- [31] L. Croci, “Gestion de l'Energie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/supercondensateurs “, Thèse Doctorat, Université de Poitiers, 2013.
- [32] HADJ BELKACEMI Mohammed (Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé) Soutenu Oralement le 06 juillet 2011.

- [33] Djeriou Salim, « Simulation D'un Système Photovoltaïque Alimentant Une Machine Asynchrone », mémoire magister, université ferhat abbas de Sétif, 2011.
- [34] Mehimmed et si Boudjemâa, « Application du formalisme Bond Graph à une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque », Université Mentouri de Constantine 2007.
- [35] M. Thomas, D. Alexis et D. Marion, « Les cellules photovoltaïques », Classes préparatoires CPE Institution des Chartreux, 2004.
- [36] B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.
- [37] Semassou Clarence, "Aide à la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du Bénin", thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, 15/12/2011.
- [38] Belhadj Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008.
- [39] M. A. Camara, "Modélisation du stockage de l'énergie photovoltaïque par super-condensateurs", thèse doctorat, Institut Polytechnique de CONAKRY – Université Gamal Abdel Nasser – Guinée, 2011.
- [40] E. Razelli, "Prospects for lead–acid batteries in the new millenium", *Journal of Power Sources*, 116 (2003) pp. 2-3.
- [41] X. Muneret, P. Lenain, "Évolution des batteries au plomb acide de technologies avancées pour les applications stationnaires d'aujourd'hui et de demain", Colloque Gaston Planté (30 et 31 octobre 2000).
- [42] R. Kubis, "Market for lead (Pb) batteries in Europe—current situation and prospects", *Journal of Power Sources*, (2003).
- [43] I Kamwa, B Saulier, "Modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome", Rapport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.
- [43] Azoumah Y, Yamegueu D, Ginies P, Coulibaly Y, Girard P. Sustainable electricity generation for rural and peri-urban populations of sub-Saharan Africa: The “flexyenergy” concept. *Energy Policy* 2011;39:131–41. doi:10.1016/j.enpol.2010.09.021.

- [44] Yamegueu D, Azoumah Y, Py X, Zongo N. Experimental study of electricity generation by Solar PV/diesel hybrid systems without battery storage for off-grid areas. *Renew Energy* 2011;36:1780–7. doi:10.1016/j.renene.2010.11.011.
- [45] Mohammed A, Pasupuleti J, Khatib T, Elmenreich W. A review of process and operational system control of hybrid photovoltaic/diesel generator systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;44:436–46. doi:10.1016/j.rser.2014.12.035.
- [46] Sachs J, Tom K, Sawodny O. Optimisation of real-time control for hybrid diesel–PV–battery systems. *Int J Sustain Energy* 2015:1–18. doi:10.1080/14786451.2014.999072.
- [47] Gupta A, Saini RP, Sharma MP. Modelling of hybrid energy system-Part II: Combined dispatch strategies and solution algorithm. *Renew Energy* 2011;36:466–73. doi:10.1016/j.renene.2009.04.035.
- [48] An LN, Quoc-Tuan T, Seddik B. Control strategies of a hybrid PV-diesel-battery system in different operation modes. 2013 IEEE Grenoble Conf PowerTech, POWERTECH 2013 2013. doi:10.1109/PTC.2013.6652437.
- [49] TSUANYO D. Approches technico- économiques d’optimisation des systèmes énergétiques décentralisés : cas des systèmes hybrides PV / Diesel. Thèse de doctorat, (2iE), Burkina Faso, 2015.
- [50] Wichert B. PV-diesel hybrid energy systems for remote area power generation — A review of current practice and future developments. *Renew Sustain Energy Rev* 1997;1:209–28. doi:10.1016/S1364-0321(97)00006-3.
- [51] Croci L. Gestion de l’énergie dans un système multi-sources photovoltaïque éolien avec stockage hybride batteries/supercondensateurs. Thèse de doctorat, université de Poitiers, France, 2013.
- [52] RIFFONNEAU Y. Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau. Thèse de doctorat, Université Joseph FOURIER, Grenoble, France, 2009.
- [53] Darras C. Modélisation de systèmes hybrides photovoltaïque/hydrogène : applications site isolé, micro-réseau et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE (ANR PAN-H). UNIVERSITE DE CORSE-PASCAL PAOLI, 2011.

- [54] Luu NA. Control and management strategies for a microgrid. PhD thesis, Université de Grenoble, France, 2015.
- [55] Bilbao E. Energy Management Strategies Based on Dynamic Programming for Applications with Energy Storage Capacity. Thèse de doctorat, EPF, 2013.
- [56] KANCHEV H. 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, Ecole centrale de Lille, France, 2014.
- [47] Chen C, Duan S, Cai T, Liu B, Hu G. Smart energy management system for optimal microgrid economic operation. *IET Renew Power Gener* 2011;5:258. doi:10.1049/ietrpg.2010.0052.
- [58] Koucoi G, Yamegueu D, Tran Q, Couliblay Y, Buttin H. Energy Management Strategies for Hybrid PV / Diesel Energy Systems : Simulation and Experimental Validation. *Int J Energy Power Eng* 2016;5:6–14. doi:10.11648/j.ijepe.20160501.12.
- [59] Wang R, Wang P, Xiao G, Gong S. Power demand and supply management in microgrids with uncertainties of renewable energies. *Int J Electr Power Energy Syst* 2014;63:260–9. doi:10.1016/j.ijepes.2014.05.067.
- [60] Ou TC, Hong CM. Dynamic operation and control of microgrid hybrid power systems. *Energy* 2014;66:314–23. doi:10.1016/j.energy.2014.01.042.
- [61]. Rezzouk, H. and Mellit, A., 2015. Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic–diesel–battery hybrid energy system in the north of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43 (2015) (pp.1134-1150).
- [62]. HOMER, HOMER help manual, August 2016 <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>. 2017).
- [63]. Lambert, T., Gilman, P., Lilienthal, P., 2006. Micropower system modeling with HOMER, *Integration of alternative sources of energy* 1(15) (pp. 379-418).
- [64]. Barley, C.D., Winn, C.B., Flowers, L., Green, H.J., 1995. Optimal control of remote hybrid power systems. Part 1: Simplified model. National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States).

[65]. Dufo-López, R. and Bernal-Agustín, J.L., 2005. Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms. *Solar energy* 79(1) (pp. 33-46).

### *Chapitre III*

[66] AMMARI Chouaib : Modélisation, simulation et optimisation d'un system hybride autonome en trois sources, Thèse de Doctorat en physique énergétique, Université Ahmed Draia Adrar, Faculté des Sciences et de la technologie, Département d'hydrocarbures et énergies renouvelables.

[67] MEBROUKI Abdallah et DJAAFRI Abdelkrim : Etude d'un système Hybride cas des Centrales KABERTENE, Mémoire de MASTER en Physique énergétique, Université d'Adrar, Faculté des sciences de la matière, Département sciences de la matière.

[68] M. KARA Abdelfattah : Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie, Mémoire de Master, UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF1, Faculté de Technologie Département.

[69] Tammam Basbous, " Etude de faisabilité d'un jumelage éolien — diesel avec stockage d'énergie sous forme d'air comprimé", Mémoire de Recherche, Université Du Québec à Rimouski, Février 2009.

[70] Loumi Maya, Hamitouche Salma, " Étude et simulation d'un jumelage éolien-diesel sous HOMER", Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2018.

[71] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETSscreen>.