REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHARCHE SCIENTIFIQUE



Université Dr Yahia Farés de Médéa
Faculté de Sciences et de la technologie
Département d'électrotechnique



Option :
Commande et électronique industrielle

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master
En électrotechnique

Etude d'optimisation d'un système hybride Eolien-Photovoltaïque

Réalisé par :
M. Abdennebi Oussama
M. Soualhi Hocine

Encadreur :
Dr. Bouchhida Ouahid
Co-Encadreur :
Dr.Alliche Mounir

PROMOTION : 2012

REMERCIEMENTS

- Louange tout d'abord à Allah qui nous a donné la force pour terminer ce modeste travail et de nous avoir accordé des connaissances de la science et de nous avoir aidés à réaliser ce travail.

- Nous tenons à remercier chaleureusement et respectivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail en particulièrement nos encadreurs Drs. Bouchhida Wahid et Mounir Alliche.

- Nos vifs remerciements aux membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail, qu'ils trouvent ici notre profond respect.

- Nous exprimons aussi notre gratitude à nos enseignants faculté des sciences de technologie en particulier qui ont contribués à notre formation.

DEDICACE

Je dédie humblement ce travail :

A mes très chers parents

A mes chers frères et sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis

HOCINE

ted by trial version, http://www.pdf-convert.com

Dédicaces

Au nom d'Allah Miséricordieux
J'ai l'immense honneur de dédier ce mémoire :
A mes très chers parents qui étaient présents pour moi durant toute ma vie.
A mes frères et ma sœur.
A toute ma famille.
A mon cher Binôme SOALHI HOCINE.
A tous mes amis.
A tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis
Mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.
A tous ceux qui m'aiment et qui ont cru en moi !

OUSSAMA ABDENBI

Chapitre I

Figure I.1 : Aperçu général de la production mondiale d'électricité

Figure I.2 : Électricité renouvelable dans le monde.[1]

Figure I.3 :Capacité installée totale des énergies renouvelables dans les pays leaders.

Figure I.4 Installation éolienne

Figure I.5 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.

Figure I.6 : Atlas saisonniers de la vitesse moyenne annuelle à 10 m du sol.

Figure I.7 : Panneau photovoltaïque.

Figure I.8 : Irradiance solaire sur la Terre.

Figure I.9 : Énergie solaire thermique.

Figure I.10 : Schéma d'un système hybride.

Figure I.11 :courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75KW.

Chapitre II

Figure II.1 : Schéma simplifié d'un système PV.

Figure II.2 ; Cellules, module et panneau photovoltaïques.

Figure II.3: Caractéristiques résultantes d'un générateur associant n p cellules en parallèles et ns cellules en séries.

Figure II.4 : L'effet photovoltaïque.

Figure II.5 : la mise en parallèles et en série des cellules photovoltaïques (le module photovoltaïques).

Figure II.6 : un générateur photovoltaïque compose de deux modules PV.

Figure II.7 : Systèmes connectés à un réseau**.**

Figure II.8 : modèles du générateur photovoltaïque à une diode.

Figure II.9 : modèles du générateur photovoltaïque à deux diode.

Figure II.10 : Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C.

Figure II.11 : les caractéristiques P=f(V) pour T=25°C.

Figure II.12 : les caractéristiques I=f(V) pour différentes température.

Figure II.13 : les caractéristiques I=f(V) pour différentes ensoleillement.

Figure II.14 : les caractéristiques P=f(V) pour différentes ensoleillement.

Figure II.15 : l'adaptation d'impédance d'un générateur PV.

Figure II.16 : les différents convertisseurs statiques pour adapter la charge.

Figure II.17 : Hacheur série pour adapter une charge continue

Figure II.18 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur série.

Figure II.19 : Hacheur parallèle pour adapter une charge continue.

Figure II.20 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur parallèle.

Figure II.21 : Hacheur série-parallèle pour adapter une charge continue.

Figure II.22 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur série-parallèle.

Figure II.23 : Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT.

Figure II.24 : Principe de fonctionnement des commandes MPPT.

Figure II.25 : Organigramme de l'algorithme P&O

Chapitre III

Figure III.1**:**schémat global et les différentes Conversions d'énergie incluent dans le système éolien.

Figure III.2. Aérogénérateurs à axe vertical.

figure III.3 : Aérogénérateurs à axe horizontal .

Figure III.4 : Tube de courant d'air autour d'une éolienne.

Figure III.5: Coefficient de puissance.

Figure III.6 : Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes.

Figure III.7 :la puissance mécanique pour différentes vitesses de vent.

Figure III.8 :les différents zones de fonctionnement d'aérogénérateur .

Figure III.9 :éolienne avec machine synchrone.

Figure III.10 :éolienne avec machine asynchrone reliée directement au réseau.

Figure III.11 :éolienne avec machine asynchrone double stator .

Figure III.12:éolienne avec machine asynchrone et convertisseur électique.

Figure III.13 :les différents convertisseurs électriques utilisées avec l'éolienne qui utilise la MADA.

Figure III.14 : la Structure du stator et du rotor de la MADA.

Figure III.15: les quatre quadrants de fonctionnement de la MADA.

Figure III.16 :représentation de la MADA dans le repére abc (a) et dq (b).

Figure III.17 :le principe de la commande vectorielle.

figure III.18 : le modèle simplifié de la MADA.

Figure III.19 : la régulation directe Sans boucle interne de courant.

Figure III.20 : la régulation directe avec boucle interne de courant.

figure III.21 : la régulation indirecte sans boucle externe de la puissance.

Chapitre IV

Figure IV.1 : Modèle R-C de la batterie.

Figure IV.2 : Schéma équivalent de nb éléments en série.

Figure IV.3 : évolution de la résistance de notre batterie en fonction de son état de charge décharge à courant.

Figure IV.4 : Evolution de la résistance interne de notre batterie en fonction de son état de charge , charge à courant constant.

Figure IV.5 : Mise en évidence de l'évolution du rendement global en charge et en décharge, en fonction de l'état de charge, paramétré en puissance.

Figure IV.6 : la structure à bus AC d'un système hybride (charge isolée).

Figure IV.7 : la structure à bus DC d'un système hybride (charge isolée).

Figure IV.8: la structure à bus mixte d'un système hybride (charge isolée).

Figure IV.9 : la stratégie de commande d'un système hybride connecté au réseau.

Figure IV.10 : système hybride à bus DC avec une charge résistive (continue).

Figure IV.11 : Algorithme de la commande.

Chapitre V

Figure V.1 : Irradiation globale moyenne mensuelle du site d'Adrar.

Figure V.2 : Vitesse moyenne mensuelle du vent du site d'Adrar.

Figure V.3 : Architecture à bus DC .

Figure V.4 : variantes proposée par HOMER (bus DC).

Figure V.5 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

Figure V.6 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

Figure V.7 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

Figure V.8 : etat de moyenne journalière des batteries.

Figure V.9 : répartition des coûts de l'instalation.

Figure V.10 : Architecture à bus AC .

Figure V.11 : variantes proposée par HOMER.

Figure V.12 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

Figure V.13 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

Figure V.14 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

Figure V.15 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

Figure V.16 : répartition des coûts de l'instalation.

Figure V.17 : Architecture à bus mixte DC-AC.

Figure V.18 : variantes proposée par HOMER.

Figure V.19 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

Figure V.20 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

Figure V.21 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

Figure V.22 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

Figure V.23 : etat de moyenne journalière des batteries.

Figure V.24 : répartition des coûts de l'instalation.

Figure V.25 : Affichage des paramétres par les composants.

Figure V.26 : Affichage des paramétres Par type de coût.

Figure V.27 : Irradiation horizontale globale du site de Médéa

Figure V.28 : Vitesse moyenne mensuelle du vent du site de Médéa

Figure V.29 : Architecture à bus mixte DC-AC.

Figure V.30 : Configuration du systéme optimal

Figure V.31 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

Figure V.32 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

Figure V.33 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

Figure V.34 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

Figure V.35 : état de charge journalière des batteries.

Figure V.36 : répartition des coûts de l'installation.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I

Généralités sur les énergies renouvelables.

I.1. Introduction :....1
I.2. Généralités sur Les énergies renouvelables :....2
I.3. Les énergies renouvelables en Algérie :....2
I.4. Aperçu général de la production mondiale d'électricité :[1]....4
I.5. Électricité renouvelable dans le monde :....4
I.5.1. Avantages escomptés :....6
I.5.2. Avantages en termes géopolitiques et de sécurité :....6
I.5.3. Autres avantages :....6
I.6. Les principales sources d'énergies renouvelables et leur potentiel de développement :....7
I.6.1. La production de chaleur par les sources renouvelables :....7
I.6.1.1. Thermo solaire :....7
I.6.1.2. Géothermie :....8
I.6.1.3. Biomasse :....8
I.7. Production d'électricité dans le monde à partir des énergies renouvelables :....9
I.7.1. Par l'énergie photovoltaïque:....9
I.7.2. Par l'énergie éolienne :....9
I.8. Un gisement d'énergies renouvelables national important :....10
I.8.1. L'énergie éolienne :....10
I.8.1.1. Définition du système éolien :....10
I.8.1.2. Les différents types d'un système éolien :....10
I.8.1.3. Les principaux composants d'un système éolien :....11
I.8.1.4. Limites :....12
I.8.1.5. Avantages :....13
I.9. Potentiel éolien en Algérie :....13
I.10. L'énergie solaire :....16
I.10.1. Énergie solaire thermique :....17
I.10.2. Énergie photovoltaïque :....18
I.11. Potentiel solaire en Algérie :....18

I.11.1 Les Avantages de l'énergie photovoltaïque : 19
I.11.2. Les Limites: 19
I.12. Le système hybride : 20
I.12.1. Etat de l'art : 21
I.12.1.1. Principaux composants des SEH : 21
I.12.1.2. Dimensionnement des SEH : 26
I.12.1.3 : Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH : 27
I.13. Conclusion : 29

Chapitre II

Le système photovoltaïque.

II.1. introduction : 30
II.2. Le Générateur photovoltaïque : 31
II.2.1. la Cellule photovoltaïque : 31
II.2.2. L'effet photovoltaïque : 32
II.2.3. Le module photovoltaïque : 33
II.2.4. Le générateur photovoltaïque : 33
II.2.5. Exploitation des systèmes photovoltaïques : 34
II.2.6. Les genres de systèmes photovoltaïques : 34
II.2.6.1. Systèmes autonomes : 34
II.2.6.2. Systèmes hybrides : 34
II.2.6.3. Systèmes connectés à un réseau : 34
II.2.7. Les avantages et Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque : 35
II.2.7.1. Les avantages : 35
II.2.7.2. Les inconvénients : 35
II.2.8. Modélisation du module photovoltaïque : 36
II.2.8.1. Modèle à une diode : 36
II.2.8.2. Modèle à deux diodes : 37
II.2.9. simulation du module photovoltaïque : 38
II.2.9.1. zones de fonctionnement du module photovoltaïque : 38
II.2.9.2. Influence de l'ensoleillement et de la température sur le générateur photovoltaïque : 39
II.3. La poursuite de point de puissance maximale : 41
II.3.1. l'adaptation d'impédance : 41

II.3.2. l'adaptation d'impédance par l'hacheur :.....42
II.3.2.1. Hacheur série (dévolteur) :.....42
II.3.2.2. Hacheur parallèle (survolteur) :.....43
II.3.2.3. Hacheur série-parallèle (BUCK-BOOST):.....44
II.4. Principe de la commande MPPT :.....45
II.4.1. les algorithmes de MPPT (maximum power point tracking) :.....46
II.4.1.1. méthode d'algorithme Perturbation et Observation (P&O) :.....46
II.5. Conclusion :.....48

Chapitre III

Le système éolienne.

III.1.généralité sur les systèmes éoliens et ses conversions.....50
électromécaniques :.....50
III.1.1.Définition de l'énergie éolienne :.....50
III.1.2.les différents types d'éoliennes :.....51
III.1.2.1. Aérogénérateurs à axe vertical :.....51
III.1.2.2. Aérogénérateurs à axe horizontal :.....51
III.1.3. Les différentes classes d'un système éolien :.....52
III.1.3.1. Le système éolien à vitesse fixe :.....52
III.1.3.2. Le système éolien à vitesse variable :.....52
III.1.3.2.1. La technique mécanique :.....52
III.1.3.2.2. La technique électrique :.....53
III.1.3.2.3. La technique hybride :.....53
III.1.3.conversion d'énergie cinétique du vent en énergie mécanique :.....53
III.1.3.1. loi de BETZ :.....53
III.1.3.2. Production d'énergie mécanique :.....55
III.1.3.3. Production optimale d'énergie :.....56
III.1.4.conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique :.....57
III.1.4.1. Systèmes utilisant la machine synchrone :.....57
III.1.4.2. Systèmes utilisant la machine asynchrone :.....58
III.1.4.3. Intérêt de la MADA :.....60
III.2. Modélisation et stratégie de commande de la machine asynchrone à double alimentation :.....61
III.2.1. Structure de la machine asynchrone à double alimentation :.....61

III.2.2.Fonctionnement en génératrice à vitesse variable :.....61
III.2.3. Modélisation de la machine asynchrone à double alimentation :.....62
III.2.4. Commande vectorielle de la MADA : 64
III.2.4.1. principe de la commande vectorielle : 64
III.2.5.la régulation indépendante de la puissance active et réactive de la MADA : [00].....65
III.2.5.1. modèle de la MADA avec orientation du flux statorique : 65
III.2.5. la structure de la commande : 66
III.2.5.1. commande directe : 66
III.2.5.2. Commande indirecte : 68
III.3. conclusion : 69

Chapitre IV

Gestion et analyse de la chaine hybride.

IV.1. le stockage dans un système hybride : 70
IV.1.1. les batteries : 70
IV.1.1.1. modèle électrique simple de la batterie : 71
IV.1.1.2. Équation de la tension en décharge : 72
IV.1.1.3. Équation de la tension en charge : 73
IV.1.1.4. Rendement de charge et de décharge : 73
IV.2. La pile à combustible : 75
IV.2.1. par voie électrostatique : 75
IV.2.2. Par voie électromagnétique : 75
IV.3. les différentes topologies du système hybride pour une charge isolée : 76
IV.3.1. Architecture à bus AC : 76
IV.3.1.1. Avantages : 76
IV.3.1.2. Inconvénients : 77
IV.3.2. Architecture à bus DC : 77
IV.3.2.1. Avantages : 78
IV.3.2.2. Inconvénients : 78
IV.3.3. Architecture mixte DC-AC : 78
IV.3.3.1. Avantages : 78
IV.3.3.2. Inconvénients : 78
IV.3.4.la stratégie de commande et le MPPT du système hybride : 79
IV.3.4.1. le MPPT dans le système connecté au réseau : 79

IV.3.4.2. système connecté à une charge isolée : 80
IV.4. le système hybride à étudier : 80
IV.4.1.La simulation du système hybride avec une application du MPPT : 81
IV.4.1.1.les sources d'énergie : 81
IV.4.1.2. le stockage : 81
IV.4.1.3. les convertisseurs statiques : 81
IV.4.1.4. le bus continu : 82
IV.4.1.5. la charge : 82
IV.4.2. Algorithme de commande du système hybride : 83
IV.5. Conclusion : 86

Chapitre V

Résultats d'applications.

V.1. Dimensionnement du système : 87
V.1.1. Présentation de l'outil de simulation : 87
V.1.2. Présentation du 1er site d'application : 88
V.1.2.1. L'emplacement du système hybride : 88
V.1.2.2. Estimation des ressources énergétique solaire et éolienne : 88
V.1.2.3. Analyse du potentiel energétique solaire et éolien disponible a adrar : 88
V.1.3. Application du logiciel HOMER pour l'optimisation : 89
V.1.3.1. construire le schéma de conception du système hybride : 89
V.1.3.2. configuration du SEH en fonction du coût net actuel : 90
V.1.3.3. Architecture à bus DC : 90
V.1.3.3.1. Résultats de simulation : 90
V.1.3.3.2. Production et la consommation d'énergie électrique : 91
V.1.3.3.3. le Générateur photovoltaïque : 92
V.1.3.3.4. Eolienne : 93
V.1.3.3.5. Les batteries : 94
V.1.3.3.6. Répartition des coûts de l'installation : 95
V.1.3.4. Architecture à bus AC : 96
V.1.3.4.1. Résultats de simulation : 96
V.1.3.4.2. Production et la consommation d'énergie électrique : 97
V.1.3.4.3. le Générateur photovoltaïque : 98
V.1.3.4.4. Eolienne : 98

V.1.3.4.5. Le Générateur diesel : 99
V.1.3.4.6. Répartition des coûts de l'installation : 101
V.1.3.5. Architecture à bus mixte DC-AC : 102
V.1.3.5.1. Résultats de simulation : 102
V.1.3.5.2. Production et la consommation d'énergie électrique : 103
V.1.3.5.3. le Générateur photovoltaïque : 104
V.1.3.5.4. Eolienne : 104
V.1.3.5.5. Le Générateur diesel : 105
V.1.3.5.6. Les batteries : 107
V.1.3.5.7. Répartition des coûts de l'installation : 108
V.1.3.6. Comparaison entre les trois bus : 110
V.1.3.7. Résumé : 111
V.1.3. Présentation du 2^{éme} site d'application : 112
V. 1.3.1. Analyse du potentiel énergétique solaire et éolien disponible a Médéa : 112
V. 1.3.2 Architecture à bus mixte DC-AC : 113
V.1.3.2.1 Résultats de simulation : 113
V.1.3.2.2. Production et la consommation d'énergie électrique : 114
V.1.3.2.3. le Générateur photovoltaïque : 116
V.1.3.2.4. Eolienne : 117
V.1.3.2.5. Le Générateur diesel : 117
V.1.3.2.6. Les batteries : 119
V.1.3.2.7. Répartition des coûts de l'installation : 120
V.1.3.2.8. les emissions : 120
V.2. Conclusion : 121
Conclusion générale : 122

Bibliographie.

Annexes.

Résumé

Le but de ce travail est l'étude d'optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque. On fait l'étude du système photovoltaïque et leurs composants puis le système éolien pour une machine asynchrone à double alimentation (MADA) vueses nombreux avantages. Par ailleurs, on envisagera les possibilités d'obtention du système hybride dans deux sites choisis (Adrar et Médéa). Ce système est composé par les deux sources renouvelables d'énergie en utilisant le logiciel HOMER, qui permet de faire une étude économique et technique.On adoptera alors, après comparaison, les meilleures possibilités pour le système hybride proposé.

Mots clés *: Système hybride, photovoltaïque, éolien, renouvelable.*

Abstract

The aim of this work is the study of optimization of a hybrid system PV-Wind. Then we do a study of the photovoltaic system and their components, the wind system by the induction machine with dual power (MADA) because of several advantages. After we make opportunities for obtaining hybrid system on two chosen areas (Adrar and Médéa) the system composed by two renewable sources using HOMER software, which do for us an economic and technical study. Then we will adopt, after comparison, the best opportunities for the proposed hybrid system.

Key words*: Hybrid system, photovoltaic, wind, renewable.*

ملخص

الهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة للحصول على نظام هجين مكون من مصدرين للطاقة المتجددة النظيفة (الطاقة الكهرو-ضوئية والطاقة الهوائية).بعد ذلك قمنا بدراسة كل نظام على حدة، بدأنا بدراسة النظام الكهروضوئي وما هي مكوناته،ثم درسنا النظام ذي الطاقة الهوائية بمساعدة آلة ذات تغذية مزدوجة،واستعمالنا لهذا النوع من الآلات يعود لما تحتويه من مزايا كثيرة مهمة. بعد ذلك درسنا فرص إقامة نظام هجين على منطقتين وهما (أدرار والمدية)وذلك باستخدام برنامج متخصص. هذا النظام يتألف من مصدرين من مصادر الطاقة المتجددة.أما البرنامج المتخصص فهو يقوم بدراسة اقتصادية وفنية. بعد ذلك،سوف نعتمد، وبعد المقارنة، أفضلَ الاحتمالات للنظام الهجين المقترح.

كلمات مفتاحية: النظام الهجين، النظام الكهروضوئي ، النظام الهوائي، متجددة

Introduction générale

La progression rapide de la demande énergétique mondiale et l'échéance des réserves d'énergies fossiles favorise le développement des énergies renouvelables, ces énergies, que l'on appelle renouvelables, ont été longtemps et pour la plupart les seules énergies disponibles, faibles en puissance, dispersées sur les territoires[4].

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, à vent, bois de feu, traction animale, bateau à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural où elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

La consommation d'énergie mondiale et dans notre pays ne cesse d'augmenter. La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, …etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace c'est manifesté principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

Depuis lors, la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, les risques du nucléaire et les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire.

Face à ces problèmes, et de façon à limiter l'emploi de l'énergie d'origine combustible. Certain pays, se sont tourné vers la nouvelle forme d'énergie dites « renouvelable » faisant appel de façon directe ou indirecte à l'énergie solaire .Parmi celle-ci l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne.

Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité propre et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement de l'utilisation de l'énergie solaire et l'énergie éolienne.En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi la durée de l'ensoleillement,notre pays couvre certains de ses besoin en énergie solaire[8], aussi vu le potentiel éolien et la vitesse importante du vent dans certains régions de notre pays.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de chercher la combinaison optimale entre les trois sources d'energies dans un même système hybride, notamment : energie photovoltaique, energie eolienne et energie classique fossile. Deux sites seront sujet de notre investigation ; le site d'Adrar qui represente le pôle d'interet des énergies renouvelables et le site de MEDEA qui la region de notre residence.

On divise notre travail sur 5 chapitres :

Au premier chapitre, on va éssayer de connaitre les différentes énergies renouvelables dans le monde, leurs avantages, et le potentiel algerien de ces énergies.Aussi on va essayer de donner un état de l'art sur les systémes avec ces énergies, et spécialement les systémes nommés « hybride ».

Dans le deuxiéme chapitre, on va étudier le systéme photovoltaïque, leurs principaux composants, et on étude l'influence des paramétres (température,l'ensoleillement) sur le générateur photovoltaïque.

Dans le troisiéme chapitre, on étude production d'énergie électrique grâce à des turbines éoliennes. Après un rappel sur la chaîne de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique, les différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement. ainsi que les différents types de MADA qu'on peut rencontrer.

Pour le quatriéme chapitre, on va construire une étude théorique pour connaitre la possibilté de construire un systéme hybride, d'origines renouvelables.

Et pour le cinquiéme chapitre, on va faire notre étude pratique et les simulations nécessaires sur le systéme hybride.

On note ici que toutes les applications et scenarios proposées dans ce travail sont donnés à l'aide du logiciel HOMER en version demo.

Pour ce faire, on se base sur le besoin moyen en energie d'un foyé de 7 personnes qui occupe une maison isolée du réseau publique dans le site considéré. L'objectif est de lui garantir l'auto suffisance énergetique quotidienne.

I.1. Introduction :

L'utilisation par l'homme des sources d'énergie renouvelable, dont l'énergie solaire, éolienne et hydraulique, est très ancienne ; ce type d'énergie est utilisé depuis l'antiquité et son utilisation a continué à exister jusqu'à l'arrivée de la "Révolution Industrielle", époque à laquelle, étant donné le bas prix du pétrole, elles ont été abandonnées.

Cependant depuis ces dernières années étant donné l'accroissement du coût des combustibles fossiles et des problèmes environnementaux dérivés de leur exploitation, nous assistons à un renouveau des énergies renouvelables.[37]

Les énergies renouvelables sont inépuisables, propres et peuvent être utilisés de manière autogérée (puisqu'elles peuvent être utilisés dans le même lieu où elles sont produites). Elles présentent en outre l'avantage additionnel de se compléter entre elles.

Dans ce premier chapitre, on va éssayer de connaitre les différentes énergies renouvelables dans le monde, leurs avantages, et le potentiel algerien de ces énergies.Aussi on va essayer de donner un état de l'art sur les systémes avec ces énergies, et spécialement les systémes nommés « hybride ».

I.2.Généralités sur Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables (EnR en abrégé) sont des formes d'énergies dont la consommation ne diminue pas la ressource à l'échelle humaine. L'énergie étant une grandeur physique, on parlera en théorie de "sources d'énergie renouvelables" ou d'"énergies d'origine renouvelable" - la forme courte est toutefois consacrée par l'usage.

Le Soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables : son rayonnement est le vecteur de transport de l'énergie utilisable (directement ou indirectement) lors de la photosynthèse, ou lors du cycle de l'eau (qui permet l'hydroélectricité), le vent (énergie éolienne), l'énergie des vagues (énergie houlomotrice) et des courants sous-marins (énergie hydrolienne), la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans (énergie thermique des mers) ou encore la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer (énergie osmotique).

La chaleur interne de la Terre (géothermie) est assimilée à une forme d'énergie renouvelable, et le système Terre-Lune engendre les marées des océans et des mers permettant la mise en valeur de l'énergie marémotrice.

Les combustibles fossiles ou minéraux (matériaux fissiles) ne sont pas des sources d'énergie renouvelables, les ressources étant consommées à une vitesse bien supérieure à la vitesse à laquelle celles-ci sont naturellement créées ou disponibles.[1]

Donc le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.[2]

I.3. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie dispose de grandes ressources en énergies fossiles. Elles sont évaluées à plus de 5 milliards de tonnes équivalent pétrole en réserves prouvées récupérables. C'est la principale source de recettes extérieures du pays. Mais, ce que l'on connaît moins, c'est le potentiel en énergies renouvelables : énergie solaire, géothermie (c'est la moins polluante, plus de 200 sources chaudes ont été inventoriées dans la partie nord du pays, dont le tiers ont des températures supérieures à 45°, avec 199° à Biskra), biomasse, énergie éolienne et, dans une part négligeable, électricité hydraulique. Un usage massif des énergies renouvelables peut être envisagé en Algérie.

Toujours en Algérie, en dépit d'un potentiel considérable, la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique est encore très faible. Dans la production d'électricité, elle est quasiment nulle, contrairement à d'autres pays de la région.

La tendance à une forte urbanisation et la volonté d'atteindre des taux de croissance appréciables, imposées par un accroissement démographique important, indiquent pour les prochaines années, un niveau élevé de demande d'énergie, particulièrement pour l'électricité. La pression environnementale mondiale sur le champ économique et social, exercée à travers des conventions internationales, des normes et des directives contraignantes, particulièrement dans le domaine de l'énergie, incite à l'utilisation des énergies renouvelables.

Quelques entreprises sont apparues, ces dernières années, dans le solaire et l'éolien, dans le secteur des services (ingénierie, distribution et montage d'installations, maintenance). Une structure de fabrication et de développement des prototypes de cellules solaires existe depuis mai 2003. En 2004, l'ENIE a lancé un projet de fabrication de piles photovoltaïques.

La plus connue, sans doute, est New Energy Algeria (NEAL) créée, en juillet 2002, dotée d'un capital de 200 millions de DA, réparti comme suit : Sonatrach et Sonelgaz, 45 % chacune, et SIM, 10 %. NEAL constitue une innovation à double titre: elle consacre le partenariat entre secteur public (Sonatrach et Sonelgaz) et secteur privé (le Groupe SIM) et concerne le domaine des énergies renouvelables. La nouvelle loi sur l'électricité qui a ouvert le secteur dans les segments de la production et de la commercialisation, autorise NEAL à produire de l'électricité à partir du solaire et de l'éolien et à la commercialiser sur le marché local et à l'export.

Certains spécialistes pensent qu'à l'horizon 2015, l'Algérie pourra exporter vers l'Europe, 1000 MW d'origine solaire produite au Sahara qui seraient acheminés par les réseaux électriques interconnectés.

En Algérie, un décret d'application de la nouvelle loi sur l'électricité, contient des mesures incitatives à la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. Quant à la loi sur les énergies renouvelables votée en 2004, elle fixe à 10 % la part du solaire et de l'éolien dans le bilan énergétique national à atteindre en 2020. Cette loi est motivée par la volonté de limiter la production de gaz à effet de serre conformément à l'engagement de l'Algérie découlant de sa ratification de la Convention-cadre sur les changements climatiques qui avait été signée en juin 1992 et qui est entrée en vigueur le 21 mars 1994.[3]

I.4. Aperçu général de la production mondiale d'électricité :[1]

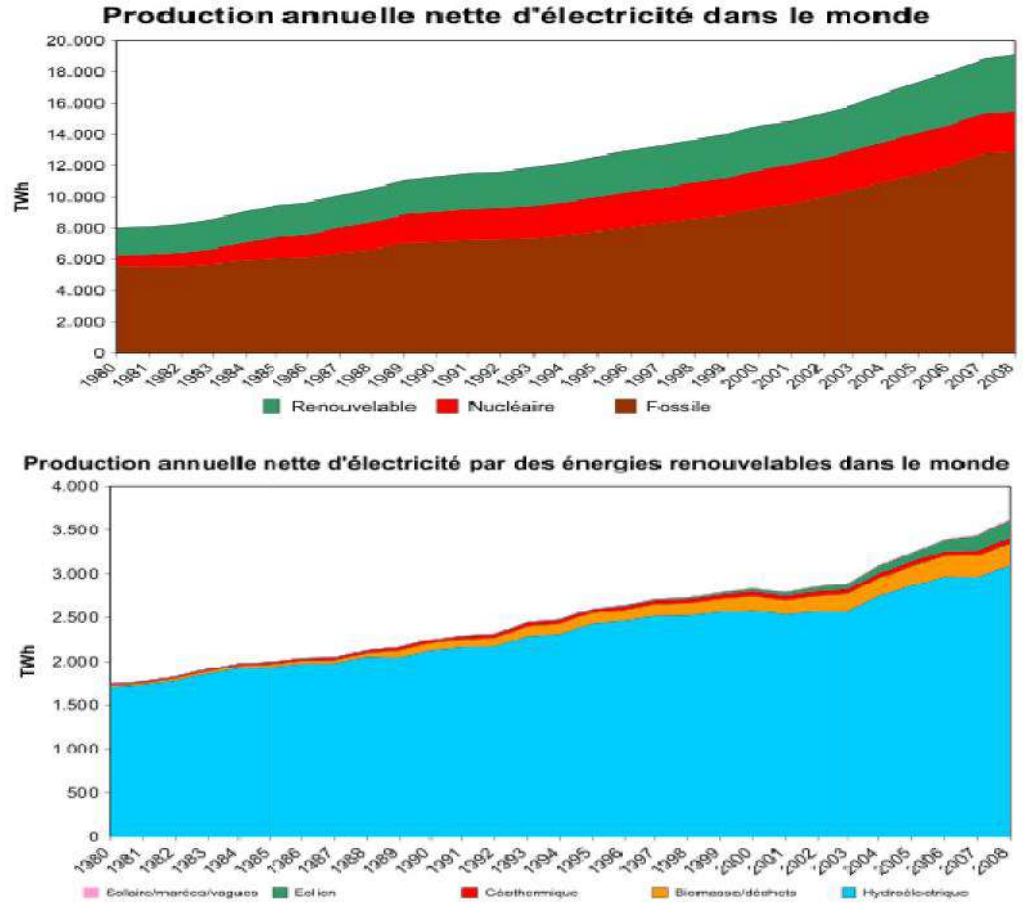


Figure I.1 : Aperçu général de la production mondiale d'électricité .[1]

I.5. Électricité renouvelable dans le monde :

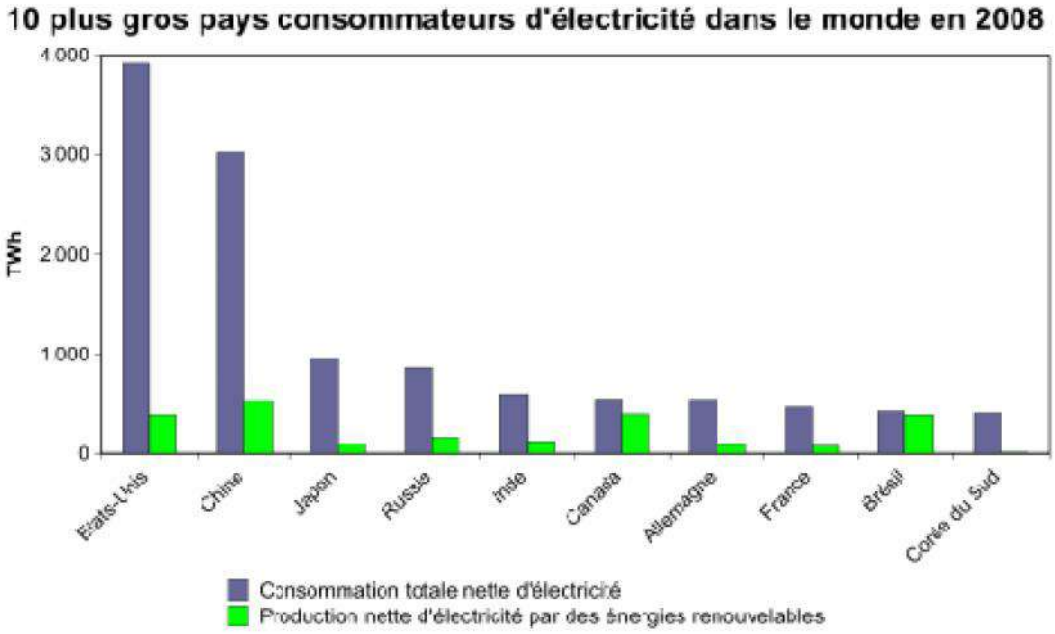


Figure I.2 : Électricité renouvelable dans le monde.[1]

Classement des pays dans la production d'énergie renouvelable électrique en 2000 (ce classement illustre la quantité d'énergie produite, pas la part d'énergie renouvelable dans la consommation nationale) :

	Hydroélectrique	Géothermique	Éolien	Solaire
1.	Canada	États-Unis	Allemagne	Japon
2.	États-Unis	Philippines	États-Unis	Allemagne
3.	Brésil	Italie	Espagne	États-Unis
4.	Chine	Mexique	Danemark	Inde
5.	Russie	Indonésie	Inde	Australie

En 2007, les énergies renouvelables représentaient 9,6 % du total de la "production" d'énergie primaire commercialisée aux États-Unis, le nucléaire 11,7 % [39]. En 2008, les États-Unis occupent le premier rang mondial pour les investissements dans les énergies renouvelables (24 milliards de dollars).[40]

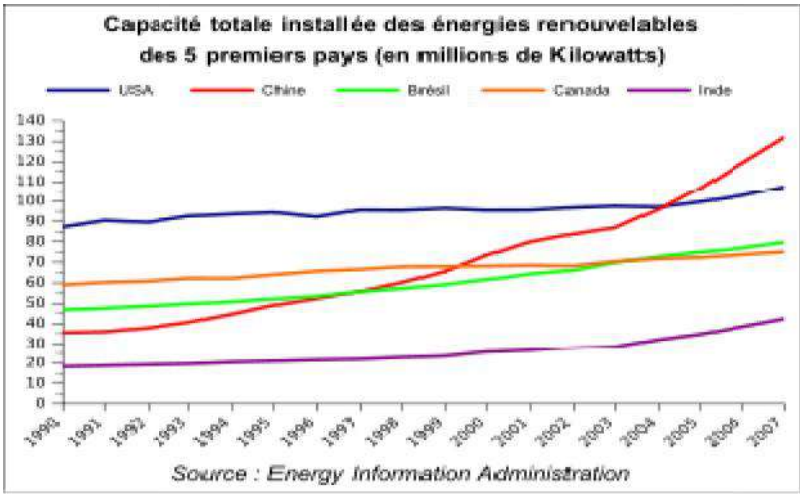


Figure I.3 :Capacité installée totale des énergies renouvelables dans les pays leaders.

L'Algérie a lancé, le 3 février 2011 [41] , son Programme national de développement des énergies nouvelles et renouvelables et de l'efficacité énergétique[42] . Ce programme, qui s'étale sur la période allant de 2011 à 2013, ambitionne de produire 22.000 MW d'électricité à partir du solaire et de l'éolien dont 10.000 MW destinés à l'exportation . [43]

I.5.1. Avantages escomptés :

La civilisation moderne est très dépendante de l'énergie et spécialement des énergies non renouvelables, qui s'épuiseront tôt ou tard. Passer d'une ressource actuellement non renouvelable à une ressource renouvelable suscite des espoirs, certains justifiés, d'autres moins.[1]

I.5.2. Avantages en termes géopolitiques et de sécurité :

Selon une étude[44] récente (2007) commandée par le ministère de l'environnement allemand, comparativement aux grandes centrales énergétiques thermiques (dont nucléaire) et hydroélectrique qui centralisent la production énergétique, les énergies propres, sûres, renouvelables quand elles sont décentralisées présentent de nombreux intérêts en termes de sécurité énergétique, intérieure, militaire et civile, en matière de risque terroriste, de même que pour la sécurité climatique, le développement, les investissements et les marchés financiers.

Les énergies renouvelables sont une source de sécurité dans les domaines économiques, sociaux et environnementaux.[45]

Dans le cas ou les énergies renouvelables sont substituées aux énergies fossiles, elles favorisent l'indépendance énergétique. Il est donc possible qu'elles participent à la réduction des conflits liés aux intérêts énergétiques.[1]

I.5.3. Autres avantages :

On attribue souvent aux énergies renouvelables des caractéristiques favorables (qu'elles peuvent mériter ou non), telles que :

- la sûreté (faible risque d'accident, faible conséquence d'un éventuel accident, régularité de la fourniture, ...).
- la propreté (peu voire pas du tout de déchets, peu dangereux et facile à gérer : recyclables, par exemple)
- la décentralisation (développement local des territoires, réserve d'emplois locaux non décentralisable, etc.)
- le respect de l'environnement, lors de la fabrication, pendant le fonctionnement, et en fin de vie (démantèlement)
- Pour ces caractéristiques, c'est chaque filière voire chaque cas séparément qu'il convient d'examiner pour vérifier si on peut ou non lui attribuer le bienfait supposé, et si oui, dans quelle mesure. Par exemple:
- l'énergie éolienne peut certainement être considérée comme une production locale au Danemark, mais pas dans un pays qui importe la technique, les capitaux, et les hommes pour faire fonctionner les machines.
- Les biocarburants ont un impact environnemental et social contesté (étant en butte aux critiques générales sur l'activité agricole, avec en sus un reproche de destruction alimentaire).[1]

- Les installations hydroélectriques, outre les destructions provoquées par l'engloutissement d'une vallée, peuvent se rompre.

Par ailleurs, dans tous les cas, les énergies renouvelables réduisent la production de CO_2 à hauteur de l'énergie non renouvelable qu'elles remplacent. Cependant, elles peuvent rester responsables d'autres gaz à effet de serre pour leur mise en place ou dans le cadre de leur fonctionnement, chaque technique devant être là encore examinée séparément.[1]

I.6. Les principales sources d'énergies renouvelables et leur potentiel de développement :

Les énergies renouvelables peuvent permettent de produire soit de la chaleur seule : eau chaude pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire (géothermie, bois énergie,solaire, biogaz utilisé en chaudière), soit de l'électricité seule (éolien, biogaz utilisé dans desmoteurs, solaire photovoltaïque, hydroélectricité, ...etc.)[4]

I.6.1. La production de chaleur par les sources renouvelables :

Une grande partie de l'énergie consommée par l'humanité est sous la forme de chaleur(chauffage, procédés industriels…etc.). Cette énergie est majoritairement obtenue par latransformation de l'électricité en provenance du nucléaire, gaz ou du pétrole . Il existe desmoyens de remplacer ces sources conventionnelles par des sources renouvelables.[4]

I.6.1.1. Thermo solaire :

Une des façons de profiter directement de l'énergie des photons émis par le soleil est le chauffage direct des capteurs thermiques. La solaire thermique basse température permet essentiellement le chauffage de l'eau sanitaire. Cette application de l'énergie solaire,industrialisée depuis plus de 25 ans, est actuellement en phase de croissance accélérée aux Etats-Unis, au Japon et en Europe.[4]

En Europe, plus de 600 000 familles ont équipé leur habitation d'un chauffe-eau solaire, la croissance est rapide. L'Allemagne, la Grèce et l'Autriche ont beaucoup développé cette application et possèdent l'essentiel de la surface de capteurs solaires installée dans l'Union Européenne (plus de 75 %).

En France, des dizaines de milliers de chauffe-eau solaires individuels sont installés avecplus de 20 000 chauffe-eau installés .

Le grand inconvénient est l'impossibilité de transporter l'énergie ainsi captée à grande distance. Cette source est donc à utilisation locale (principalement chauffage individuel,piscines). En 2003 environ 14000 m^2 de capteurs de ce type ont été en utilisation en Union Européenne avec une croissance annuelle de 22%.[4]

I.6.1.2. Géothermie :

La géothermie est la seule source d'énergie dont l'énergie ne provient pas du soleil, mais des processus de désintégration à l'intérieur de la croûte terrestre. A part cela il existe également la géothermie volcanique.

Le principe consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol . La température croîtdepuis la surface vers le centre de la Terre. Selon les régions géographiques, l'augmentation de latempérature avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3°C par 100 m en moyenne jusqu'à 15°C ou même 30°C . La chaleur produite sert dans la plupart des cas à la production d'eau chaude sanitaire et au chauffage de bâtiments.[4]

Quatre types de géothermie existent selon la température de gisement :

- La haute (>180°C).
- Moyenne (>100°C).
- Basse (>30°C).
- Très basse énergie (<30°C).

Les deux premiers types favorisent la production de l'énergie électrique. La géothermie basse énergie permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage deserres, utilisation de chaleur dans les processus industriels...etc. La géothermie très basse énergie nécessite l'utilisation des pompes à chaleur et donc une installation particulière.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques. C'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer. Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure,dans certains cas, très élevé .[4]

I.6.1.3. Biomasse :

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse,différents types sont à considérer : le bois – énergie, les biocarburants, le biogaz. Le bois énergieest une ressource très abondante. C'est la ressource la plus utilisée au monde. En Europe, c'est51% de la part de l'énergie renouvelable qui appartient à ce mode de production d'énergie. Ellese concentre sur l'utilisation destinée au chauffage.[4]

L'Union européenne projette d'atteindre une production de 17 millions de tonnes de biocarburant par an en 2010 par rapport au million produit actuellement. La principale motivation qui pousse à la production du biogaz est environnementale. Quelle que soit l'origine,le biogaz non valorisé contribue, du fait de ses fortes teneurs en méthane, à l'effet de serre, maisc'est le bilan global du cycle qui doit être considéré. Il peut être utilisé comme source brute ouaprès le processus d'épuration injecté dans les réseaux de distribution.[4]

Longtemps le biogaz ne servait qu'à la production de la chaleur. De nos jours la filière carburant ainsi que la génération de l'électricité est en pleine expansion. En 1993, 6 millions de m^3 ont été utilisés dans le monde. L'utilisation du biogaz n'est pas encore à son maximum, une croissance de cette technologie est donc à prévoir.[4]

I.7. Production d'électricité dans le monde à partir des énergies renouvelables :

I.7.1. Par l'énergie photovoltaïque:

Le rayonnement solaire représente une ressource renouvelable d'énergie énorme, de loin la plus importante. L'énergie reçue à la surface de la terre varie, par m², de 1100 kWh à 52300kWh/an.[4]

L'effet photovoltaïque permet de transformer directement la lumière solaire en énergie électrique. La production d'électricité par générateur photovoltaïque est liée à l'intensité, à la durée de l'ensoleillement et à l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour l'instant, la production photovoltaïque est plutôt réservée à l'alimentation en site isolé d'équipements et d'habitations où le coût élevé du raccordement au réseau la rend compétitive.

Malgré le fait que depuis les premières mises en oeuvre, les prix ont chuté d'un facteur 100,il faut un ensoleillement important pour arriver à un coût encore insuffisamment compétitif duKWh. C'est pourquoi pour l'instant, la production photovoltaïque est plutôt réservée àl'alimentation en site isolé d'équipements et d'habitations ou le coût élevé du raccordement au réseau la rend compétitive.[4]

Des progrès technologiques sont en cours pour rendre l'énergie photovoltaïque plus compétitive. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et deleurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïques peut être augmenté par les solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (techniques ditesMPPT).

Le coût de l'énergie photovoltaïque est en fort diminution, se coût est diminué de plus que 50$/W en 1980, à l'environ de 5$/W en 2001.

Les panneaux solaires sont très pratiques. L'intégration dans les bâtiments est facile et devient même esthétique, pour les sites isolés et dispersés qui demandent peu d'énergie, c'est une solution idéale (télécommunication, balises maritimes…etc.).

La technique photovoltaïque malgré sa complexité est aussi en très forte croissance. En2001, en Europe on comptait environ 250 MW installés et en 2003 ce chiffre est monté jusqu'au 560 MW de puissance installée. L'industrie photovoltaïque des États-Unis a montré des taux de croissance annuels de 20 à 30%.[4]

I.7.2. Par l'énergie éolienne :

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la Terre Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le

refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée.

Depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers.[4]

Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. En Europe, principalement sous l'impulsion Allemande, Scandinave et Espagnole, on comptait en 2000 environ 15000 MW de puissance installée. Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000 MW pour 40000MW de puissance éolienne installée dans le monde.[4]

I.8. Un gisement d'énergies renouvelables national important :

De par son positionnement géographique privilégié, l'Algérie dispose d'un potentiel d'énergies renouvelables national très important, notamment le potentiel solaire. Deux propriétés fondamentales le rendent attractif, il est renouvelable et sont exploitation est parfaitement compatible avec l'environnement.[5]

I.8.1. L'énergie éolienne :

I.8.1.1. Définition du système éolien :

Un système éolien ou avec un autre terme un aérogénérateur ou encore une éolienne peut être défini comme étant : un système composé d'éléments aptes à transformer une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique puis en énergie électrique.[6]

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

Les différents éléments d'une éolienne sont conçus d'une manière à maximiser la conversion énergétique, pour cela, une bonne adéquation entre les caractéristiques couple/vitesse de la turbine et de la génératrice électrique est nécessaire .[6]

I.8.1.2. Les différents types d'un système éolien :

Il existe deux différents types de systèmes éoliens selon l'orientation de leurs axes de rotation par rapport à la direction du vent :

Le système à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité car elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au

niveau du sol donc facilement accessibles. Les structures les plus répondues dans le stade de l'industrialisation sont :

- Le rotor de Savonius (du nom de son inventeur, breveté en 1925) dont le fonctionnement est basé sur le principe de "traînée différentielle" utilisé dans les anémomètres : les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensités différentes, il en résulte alors un couple moteur entraînant la rotation de l'ensemble. L'effet est ici renforcé par la circulation d'air entre deux demi-cylindres qui augmente le couple moteur.[6]

- Les éoliennes à variation cyclique d'incidence dont la structure est la plus répandue sont celles de Darrieus (ingénieur français qui déposa le brevet au début des années 30). Leur fonctionnement est basé sur le fait qu'un profil placé dans un écoulement d'air selon différents angles est soumis à des forces de direction et d'intensité variables. La résultante de ces forces génère alors un couple moteur entraînant la rotation du dispositif. Ces forces sont créées par la combinaison de la vitesse propre de déplacement du profil et de la vitesse du vent. Cela signifie que la rotation du dispositif ne peut pas s'amorcer d'elle-même. Lorsqu'elle est à l'arrêt, l'éolienne doit donc être lancée par un dispositif annexe (montage d'une éolienne Savonius sur le même rotor ou utilisation de la génératrice en moteur).[6]

Le système à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien. Ce type d'éoliennes a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important ; elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Notons cependant que certains travaux défendent la viabilité du rotor vertical en réalisant des études multi-critères.[6]

I.8.1.3. Les principaux composants d'un système éolien :

Comme mentionné précédemment, il existe deux types de systèmes éoliens : les systèmes à axe vertical et ceux à axe horizontal, mais dans ce mémoire on s'intéressera qu'a ceux à axe horizontal.

Une éolienne "classique" est généralement constituée de quatre éléments principaux :

a. La turbine :qui représente l'outil principal pour la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est généralement constituée de :

- **Mat :** un tube d'acier à la forme d'un tronc en cône où, à l'intérieur, sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, les appareillages de connexion au réseau de distribution ainsi que l'échelle d'accès à la nacelle. Le mat doit être le

plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. La quantité de matière mise en œuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité. Un compromis consiste généralement à prendre un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre du rotor de l'aérogénérateur .

- **Nacelle (supportée par le mat) :** est une carcasse qui regroupe plusieurs éléments (générateur, arbres lent et rapide, roulements, multiplicateur, système de refroidissement, système de control, …).[6]
- **Rotor (supporté par la nacelle) :** Il est formé par les pales assemblées dans leur moyeu. A trois pales, le rotor tripale (concept Danois) étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit. Les pales se caractérisent principalement par leur géométrie dont dépendront les performances aérodynamiques et les matériaux dont elles sont constituées (actuellement, les matériaux composites tels la fibre de verre et plus récemment la fibre de carbone sont très utilisés car ils allient légèreté et bonne résistance mécanique) .[6]

b. Le système électromécanique (intégré dans la nacelle) :

Qui transforme l'énergie mécanique transmise par la turbine en énergie électrique et qui regroupe une génératrice électrique avec son environnement (génératrice asynchrone à cage, MADA, génératrice synchrone, batteries de condensateurs, multiplicateur, tension à courant continu, …etc.) plus le système de commande (contrôle) en cas de besoin (redresseur, onduleur, capteur, système de sécurité électrique, ...etc.).[6]

c. Le système d'interconnexion :

Qui relie le système électromécanique (producteur d'électricité) au consommateur d'électricité. C'est un système simple (câbles seulement) en cas d'une énergie mécanique stable ; ou composé (redresseur, onduleur, système de control….) en cas d'une énergie mécanique instable.[6]

d. Le système de contrôle :

(utilisé généralement pour les systèmes éoliens de grande puissance) : comportant un dispositif qui surveille en permanence l'état de l'éolienne tout en contrôlant le dispositif d'orientation et essaye aussi de la mettre fonctionner à ces puissances maximales. En cas de défaillance (par exemple surchauffe du multiplicateur ou de la génératrice, …etc.), le système arrête automatiquement l'éolienne.[6]

I.8.1.4. Limites :

La production d'énergie a lieu en fonction du vent et non de la demande. Dans le cas d'installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou bien de doubler l'installation par un groupe électrogène Diesel, ce qui augmente le coût. Dans le cas d'un couplage au réseau, les éoliennes ne pourront jamais représenter qu'un pourcentage réduit des centrales classiques car ce sont celles-ci qui assurent la stabilité de la fréquence.[7]

I.8.1.5.Avantages :

Outre les nombreux avantages qu'elle partage avec les autres sources renouvelables d'énergie, l'exploitation de l'énergie du vent présente une série d'avantages propres.

- L'énergie éolienne est modulable et peut être parfaitement adaptée au capital disponible ainsi qu'aux besoins en énergie. Il n'y a donc pas d'investissements superflus. Cette modularité permet aussi de maintenir en fonctionnement la plus grande partie de l'installation lorsqu'une pièce est défectueuse.
- Les frais de fonctionnement sont assez limités étant donné le haut niveau de fiabilité et la relative simplicité des technologies mises en oeuvre.
- Le prix de revient d'une éolienne va probablement diminuer dans les années à venir suite aux économies d'échelle qui pourront être réalisées sur leur fabrication.
- Techniquement au point, les éoliennes sont rentables dans les régions bien ventées.
- La période de haute productivité, située souvent en hiver où les vents sont plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante.[7]

I.9. Potentiel éolien en Algérie :



Figure I.4 Installation éolienne:

Environ 2% de l'énergie solaire parvenant sur la terre est transformée en énergie cinétique. En Algérie, la source éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre, cela est dû principalement à une topographie et un climat très diversifiés.[5]

Des microclimats existent sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia, et Annaba, sur les Hauts Plateaux de Tiaret et Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au Nord et Biskra au Sud.[5]

La région du Sud est caractérisée par un climat saharien avec des vitesses de vents plus élevées que celles du Nord, plus particulièrement dans le Sud-Ouest, avec des vitesses supérieurs à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/ s dans la région d'Adrar.[5]

Donc La ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre.

Ceci est principalement du à une topographie et climat très diversifié .En effet, notre vaste pays se subdivise en deux grands zones géographiques distinctes .le nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200Km et un relief montagneux, représenté par deux chaînes del'atlas télien et l'atlas saharien .entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.[8]

Le sud algérien est caractérisé par des vitesse plus élevées que le nord,plus particulièrement le sud ouest avec des vitesse supérieures à 4m/s et qui dépassent la valeur de 6m/s dans la région d'Adrar .Concernant le nord ,on remarque globalement que la vitesse moyenne est peut élevée .On note cependant ,l'existence de microclimats sur les sites côtiers de Oran ,Bejaia et Annaba ,sur les hauts plateaux de Tiaret et El kheiter ainsi que dans la région délimitée parBejaia au nord et Biskra au sud. [8]

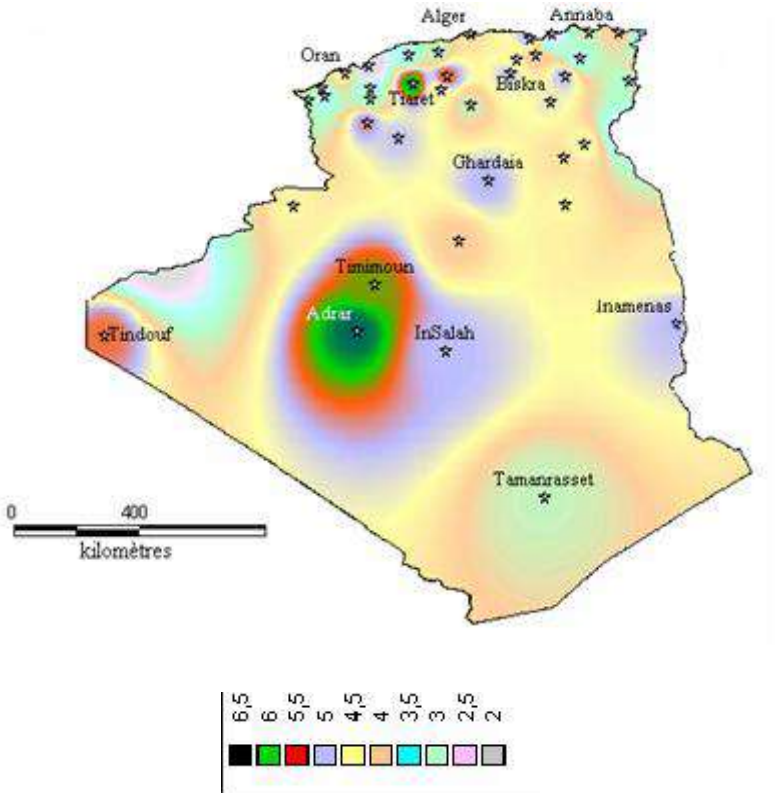
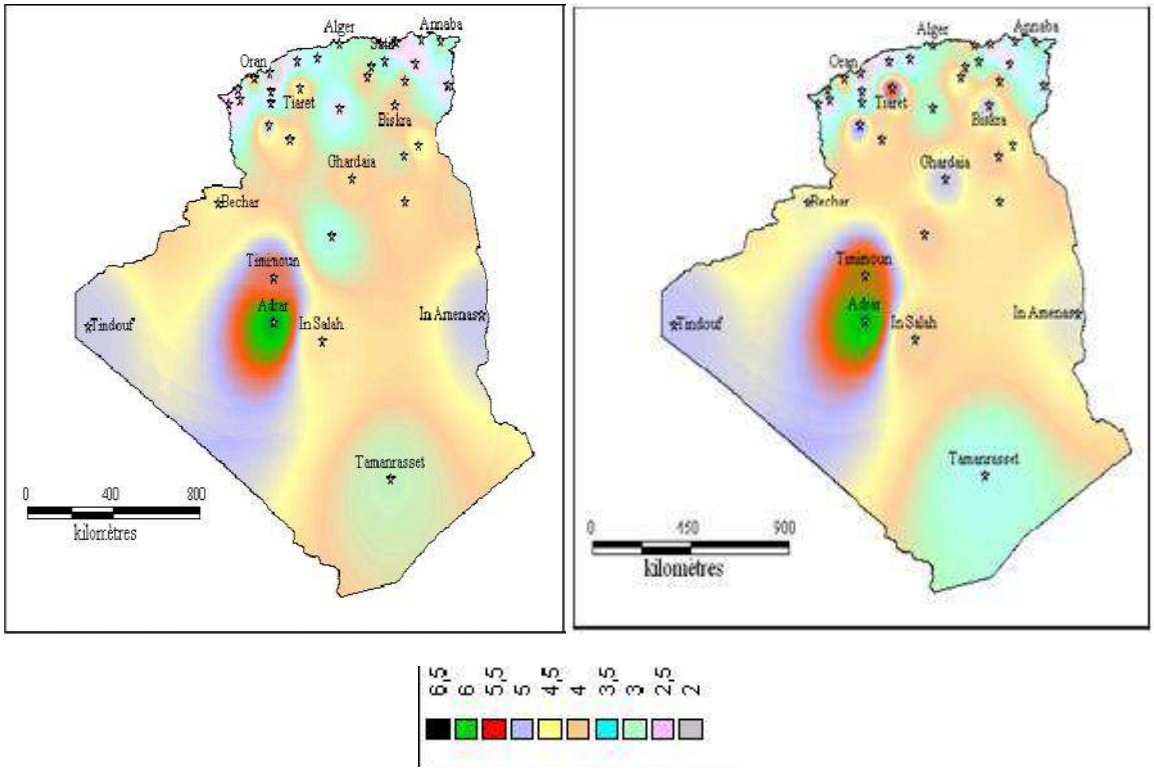


Figure I.5 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.[8]

Toutefois, la vitesse du vent subit des variations en fonction des saisons qu'on ne doit pasnégliger, en particulier, lorsqu'il s'agit d'installer des systèmes de conversion de l'énergieéolienne.

En utilisant la même gamme de couleurs, les atlas vents saisonniers de l'Algérie sont Représentés en figures I-6 (Eté et Printemps, Hiver et Automne). On Remarque qu'en général, les périodes estivales et printanières sont plus ventées que le Reste de l'année.[8]

Eté **Printemps**



Hivers **Automne**

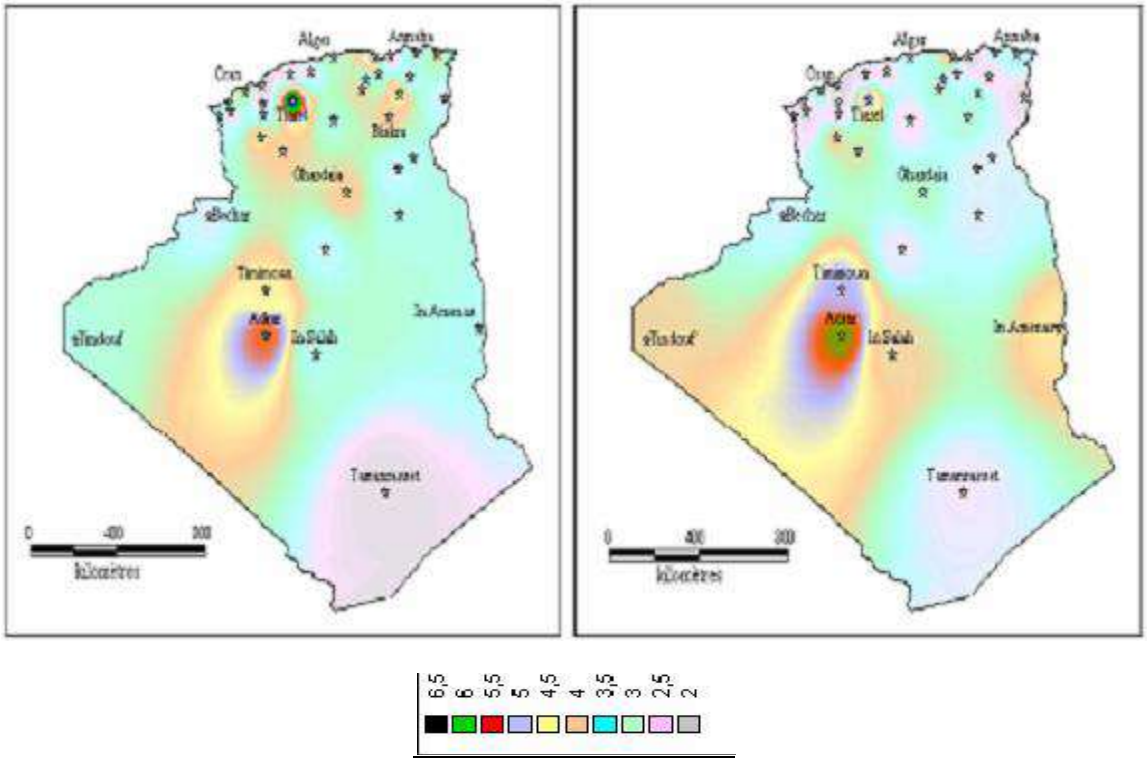


Figure I.6 :Atlas saisonniers de la vitesse moyenne annuelle à 10 m du sol.

(Hiver et automne, Eté et Printemps) [8]

I.10. L'énergie solaire :

Il existe deux types d'énergie solaire : le photovoltaïque et le solaire thermique. Décrit par le physicien français Antoine Becquerel (le grand-père du découvreur de la radioactivité), l'effet photovoltaïque est simple dans son principe. Les panneaux solaires se composent de photopiles constituées de silicium, un matériau semi-conducteur qui abrite donc des électrons. Excités par les rayons du soleil, les électrons entrent en mouvement et produisent de l'électricité.[9]

L'énergie solaire photovoltaïque est surtout utilisée pour la fourniture d'électricité dans les sites isolés : électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applicationsdomestiques (10%).[9]

À la différence du solaire photovoltaïque, le solaire thermique ne produit pas d'électricité mais de la chaleur. Grâce à de grands panneaux sombres dans lesquels circulent de l'eau, on récupère la chaleur du soleil pour chauffer l'eau. Cela permet notamment d'alimenter des chauffe-eau solaires. [9]



Figure I.7 : Panneau photovoltaïque.[9]

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel on trouve notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios en fonction de la fréquence d'émission. Tous ces types de rayonnement électromagnétique émettent de l'énergie[46] . Le niveau d'irradiance (le flux énergétique) arrivant à la surface de la Terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

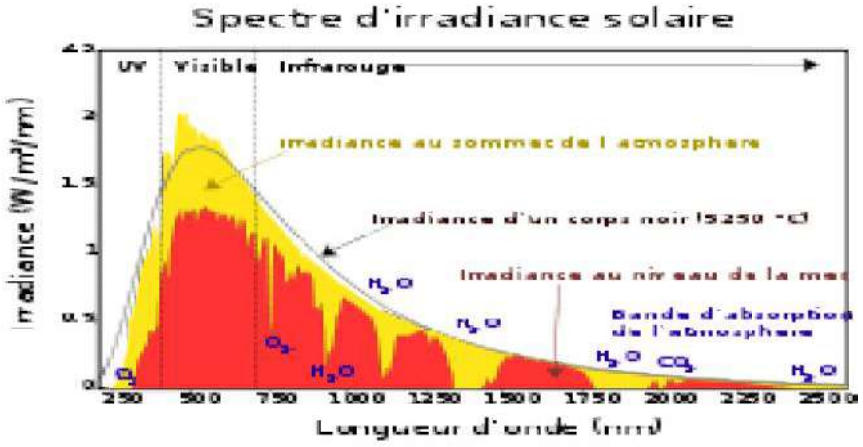


Figure I.8 : Irradiance solaire sur la Terre.[1]

Deux grandes familles d'énergie solaire à cycle court se distinguent :

- l'énergie solaire thermique qui utilise la chaleur transmise par rayonnement,
- l'énergie photovoltaïque qui utilise le rayonnement lui-même.

I.10.1. Énergie solaire thermique :

Dans les conditions terrestres, le rayonnement thermique se situe entre 0,1 et 100 micromètres. Il se caractérise par l'émission d'un rayonnement au détriment de l'énergie calorifique du corps émetteur. Ainsi, un corps émettant un rayonnement thermique diminue son énergie calorifique et un corps recevant un rayonnement thermique augmente son énergie calorifique. Le Soleil émet principalement dans le rayonnement visible, entre 0,4 et 0,8 micromètres[46]. Ainsi, en rentrant en contact avec un corps le rayonnement solaire augmente la température de ce corps. On parle ici d'énergie solaire thermique. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps, notamment par le fait de se positionner à un endroit ensoleillé pour se réchauffer.[1]

L'énergie thermique peut être utilisée directement ou indirectement :

- directement pour chauffer des locaux ou de l'eau sanitaire (panneaux solaires chauffants et chauffe-eau solaire) ou des aliments (fours solaires).
- indirectement pour la production de vapeur d'un fluide caloporteur pour entraîner des turbines et ainsi obtenir une énergie électrique (énergie solaire thermodynamique (ou heliothermodynamique)).[1]

L'énergie solaire thermique peut également être utilisée pour la cuisine. Apparue dans les années 70, la cuisine solaire consiste à préparer des plats à l'aide d'un cuiseur ou d'un four solaire. Les petits fours solaires permettent des températures de cuisson de l'ordre des 150°C, les paraboles solaires permettent de faire les mêmes plats qu'une cuisinière classique à gaz ou électrique.[1]



Figure I.9 : Énergie solaire thermique.

I.10.2. Énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou-bien artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers. .[47]

Il existe plusieurs technologies de modules solaires photovoltaïques :

- les modules solaires monocristallins possèdent le meilleur rendement au m² et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints et pour optimiser la production d'une centrale photovoltaïque.
- les modules solaires polycristallins représentent une technologie proposant des rendements plus faibles que la technologie monocristalline.
- les modules solaires amorphes sont des panneaux solaires proposant un rendement largement inférieur aux modules solaires cristallins. Cette solution nécessite donc une plus grande surface pour la même puissance installée.

En France, l'énergie photovoltaïque bénéficie d'un tarif de rachat avantageux. C'est-à-dire que les propriétaires d'installations peuvent vendre l'électricité produite par leur installation à un distributeur d'électricité, à un tarif fixé par la loi .[48]

I.11. Potentiel solaire en Algérie :

Le gisement solaire de l'Algérie est des plus important de la région MENA. L'Algérie bénéficie d'un ensoleillement exceptionnel sur la quasi-totalité de son territoire avec une surface large de plus de 2.000.000 km^2. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 dépasse les 5 KWh sur la majeure partie du territoire national. [5]

Régions	Régions Côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	04	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWH/M^2/an)	1700	1900	

I.11.1 Les Avantages de l'énergie photovoltaïque :

Les panneaux solaires présentent de nombreux avantages, la médiatisation de ce sujet en témoigne.

- D'un point de vue écologique, les panneaux solaires sont une énergie propre non polluante pour l'environnement. Aucun gaz à effet de serre n'est rejeté et il n'y a aucun déchet radioactif produit.[10]
- L'énergie solaire est inépuisable, contrairement aux énergies fossiles comme le charbon ou le pétrole qui sont pourtant encore plus utilisés que le solaire.
- Pour les endroits isolés ou les petites installations, rien de tel que les panneaux solaires pour les rendre autonomes.
- Les panneaux solaires, une fois installés, demandent très peu d'entretien et l'énergie est produite sans action de l'homme.
- De plus, les panneaux solaires ne sont encore que peu utilisés et ont une forte marge d'évolution et un avenir prometteur.
- Les panneaux solaires peuvent représenter un très bon investissement pour des particuliers
- Les panneaux solaires restent silencieux et non dérangeants pour les riverains voisins, ce qui n'est pas le cas de toutes les sources d'énergie.[10]
- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse.[11]

I.11.2. Les Limites:

Et oui, les panneaux solaires possèdent également des limites...

- L'énergie solaire n'est pas compétitive lorsqu'il s'agit de production importante d'énergie. En effet, certaines énergies comme le nucléaire sont beaucoup plus rentables financièrement. Tous les besoins énergétiques mondiaux ne peuvent donc pas être fournis par l'énergie solaire.
- Un panneau solaire a une durée de vie de 25 ans environ, au-delà, les rendements diminuent rapidement. De plus, il faut 3 ans au panneau pour produire l'énergie qui a été utilisée pour sa construction.
- Une production d'énergie irrégulière, à cause du temps. Les panneaux produisent beaucoup l'été mais les besoins sont faibles. Au contraire, la production d'énergie en hiver est plus faible alors que les besoins sont élevés.
- L'énergie solaire ne produit qu'en journée et en fonction de la météo, et non en fonction des besoins énergétiques. Il faut donc investir dans des moyens de stockage de l'énergie qui coûtent très cher.[11]

- Le coût élevé à la fois des panneaux solaires mais également des installations nécessaires comme les moyens de stockage de l'énergie.
- La taille des installations : il faut en effet de grandes superficies de panneaux solaires pour produire de l'énergie.[10]
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple.
- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.[11]

I.12. Le système hybride :

Le système hybride de production d'énergie, de façon générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables.[12]

Les Systèmes Hybrides sont généralement des Systèmes PV AC où les panneaux solaires sont combinés avec d'autres sources d'énergie, comme par exemple une éolienne ou un groupe électrogène.

Dans le cas d'un système hybride avec éolienne, l'énergie produite par celle-ci qui possède son propre contrôleur vient compléter la charge des batteries. Sa production étant plus aléatoire que celle des panneaux solaires, elle complète efficacement un générateur photovoltaïque pour desapplications particulièrement gourmandes en électricité, qui ne nécessitent pas de fonctionner de façon régulière, mais au gré du vent.[13]

Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable, tout enmaintenant la qualité de l'énergie fournie. De plus, l'économie de carburant et la baisse de prix obtenues par la génération hybride doivent au moins couvrir l'investissement fait pour lesgénérateurs d'énergie renouvelable et les autres composants auxiliaires du système.[14]

Du point de vue technologique, la fiabilité n'est pas seulement une question de respectdes normes pour l'alimentation en électricité, mais aussi de maintenance, compte tenu des conditions particulières des régions isolées. Les systèmes isolés sont souvent caractérisés par une infrastructure (communication, services, etc.) pauvre, un accès difficile et un manque depersonnel qualifié.[14]

Les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie, sont influencées en partiepar sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants,l'architecture etc, et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ses performances sont : l'économie de carburant, le coût dukW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien etc.

La durée de vie des composants d'un SEH peut être beaucoup plus courte que la duréede vie normale des composants individuels (fonctionnement en connexion aux réseaux interconnectés). Les points les plus critiques sont en général la dégradation des

batteries,l'endommagement des démarreurs diesel et du système mécanique de freinage des éoliennes et la carbonisation excessive des cylindres du moteur diesel.[14]

I.12.1. Etat de l'art :

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels (GD) et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif(CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un system de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentesarchitectures. Dans la plupart des cas, les systèmeshybrides classiques contiennent deux bus : un bus à CC pour les sources, les charges à CCet les batteries et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution. Lessources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction dela dimension et la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut êtreréalisée par l'intermède de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ouconvertisseurs bidirectionnels.[14]

A part la charge principale, un système hybride peut conteniraussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pourréaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, lescharges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existeun surplus d'énergie.

Ainsi, dans un SEH avec des batteries de stockage et charges auxiliaires,s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable et des diesels), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres chargesauxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouentun double rôle : charge et source.[14]

I.12.1.1.Principaux composants des SEH :

Les éoliennes, les panneaux photovoltaïques (PV) et les générateurs diesels sont souvent utilisés dans les SEH. Ceux-ci peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergiecomme l'énergie hydraulique, marémotrice, géothermique ou l'énergie contenue dansl'hydrogène (piles à combustible). Les convertisseurs, les charges, les charges de délestage etune forme de gestion de l'énergie peuvent également faire partie d'un SEH. Les batteries sonthabituellement utilisées pour le stockage d'énergie, mais il existe d'autres options telles que lestockage inertiel (volant d'inertie) et le stockage d'hydrogène. [14]

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distributiond'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou àun groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs déstockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications quinécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.[15]

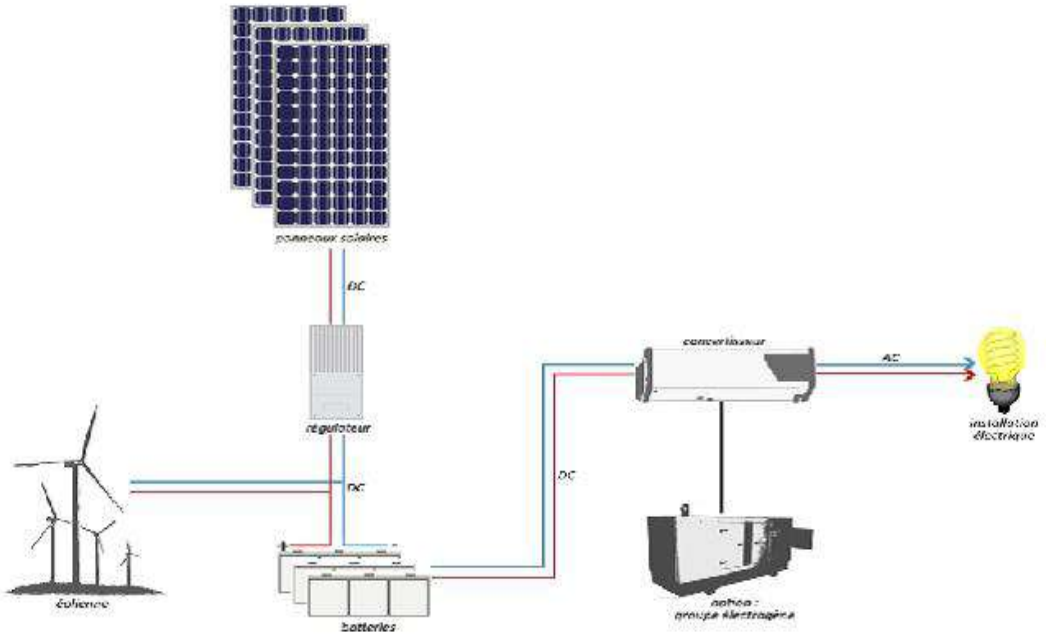


Figure I.10 : Schéma d'un système hybride-

- **Éoliennes :**

L'éolienne, fiable et rentable, représente la source d'électricité idéale pour denombreuses applications. Les éoliennes existent en plusieurs dimensions, des microsystèmesmontés sur un mât aux turbines de 5 mégawatts alimentant le réseau électrique.[14]

Les grands systèmes électriques de CA isolés peuvent utiliser les éoliennes du type connecté aux grands réseaux interconnectés. La technologie largement dominanteaujourd'hui est à axe horizontal, à turbine tripale, parfois bipale et à rotor face au vent. Ceséoliennes ont des puissances comprises entre 10 kW et 5 MW et peuvent fonctionner à vitessefixe ou à vitesse variable [9]. Les deux types de machines électriques les plus utilisées pources éoliennes sont les machines asynchrones et les machines synchrones sous leurs diversesvariantes.[14]

La plupart des éoliennes de plus de 50 kW exploitées dans les SEH utilisent des générateurs asynchrones. Le faible coût et la standardisation des machines asynchrone sont conduit à une large domination des générateurs asynchrones à cage. Leur puissance nominale peut aller au-delà du mégawatt.[14]

D'autres éoliennes utilisent des générateurs synchrones. Les générateurs synchrones,de plus de 200 KW, sont bien plus chers que les générateurs à induction de la même taille. Laconnexion directe du générateur synchrone au réseau n'est pas habituelle.[14]

- **Générateurs photovoltaïques :**

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

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

Pour constituer des générateurs fournissant un courant et unetension continus suffisants pour être utilisés, les cellules sont regroupées en panneaux(modules). Par exemple, un panneau produisant 12 volts peut regrouper entre 30 et 40 cellulesselon le fabricant. L'association de ces panneaux en série et/ou parallèle constitue legénérateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée.

Cependant, la constitution de ce générateur est, en soi, relativement délicate, car un mauvais choix de couplage peut entraîner une perte non négligeable de rendement.

Cependant, dans beaucoup d'applications, la technologie à courant alternatif est nécessaire pour alimenter des moteurs standards et d'autres équipements industriels qui généralement sontdisponibles seulement pour des CA.[14]

- **Générateur diesel :**

Dans le cas d'un système d'énergie renouvelable, la production d'énergie électriqueest réalisée en fonction des ressources (vent, soleil…) et non de la demande. Dans le cas des installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ouplusieurs groupes électrogènes diesels.

Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directementcouplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie estmaintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel .Le gouverneur fonctionneen 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 dugénérateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.[14]

Les réseaux de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectésfournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Dans les processusindustriels et domestiques utilisant l'énergie électrique, seule l'énergie active est transforméeau sein de l'outil de production, en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc... L'autre,l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machinesélectriques (moteurs, autotransformateurs, etc...). En fait, elle n'est pas consommée, mais lescourants associés à la puissance réactive augmentent les pertes dans le système.

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. Ce système de commande peut prendre une variété de formes, le plus répandu étant le système de commande numérique. Une approche est d'utiliser un seul générateur pour fixer la fréquence(générateur maître) du réseau et laisser les autres tourner à vitesse fixe (générateurs esclaves),donc fonctionner à un débit de carburant constant. Dans les systèmes traditionnels, le

débit decarburant est fixé manuellement par un opérateur. Avec les commandes modernes, le débit peut être ajusté pour optimiser l'usage du carburant.

- **Autres sources d'énergie renouvelable :**

Les centrales hydrauliques sont aujourd'hui les premières sources d'énergie renouvelable. La production mondiale de petites centrales hydrauliques, très attractives pour une production hybride, est estimée à $85*10^9$ kWh [14]. Les variations de débit des cours d'eau sur les rivières peuvent aussi être exploitées par les centrales au fil de l'eau.

Toutes les mers subissent deux flux et deux reflux quotidiens. Ces mouvements (énergie potentielle) peuvent être exploités par les usines marémotrices équipées de turbines spéciales tournant dans les deux sens. Les courants marins peuvent également être exploités par les hydroliennes (comme les éoliennes utilisent l'énergie cinétique de l'air), pour une production d'énergie locale. Les courants marins, contrairement aux vents, sont constants et prévisibles.[14].

La pile à combustible, une technologie émergeante de la génération distribuée, est un appareil électrochimique qui fonctionne selon le procédé inverse de l'électrolyse. Ellerestitue de l'eau à partir d'hydrogène et d'oxygène de l'air, en produisant de l'électricité, aulieu de dissocier l'oxygène et l'hydrogène de l'eau en consommant de l'électricité.La liste des sources d'énergie renouvelable pouvant exploiter les ressources localespeut être complétée par les centrales à biomasse, une véritable réserve d'énergie, captée àpartir du soleil grâce à la photosynthèse et les centrales géothermiques qui captent la chaleurde la croûte terrestre pour produire de l'électricité. [14]

- **Systèmes de stockage :**

Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides à fin depouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même desjours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à des grands réseaux de courantalternatif isolés. Dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à courtterme.

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

Dans le cas de stockage par pompage de l'eau, l'énergie produite sert à remplir unréservoir de stockage dont l'eau sera turbinée pour restituer l'énergie.

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

L'hydrogène alimente les piles à combustible. Il possède un grand pouvoir énergétique gravimétrique (120 MJ/kg) en comparaison au pétrole (45 MJ/kg), au méthanol (20 MJ/kg) et

au gaz naturel (50 MJ/kg). Cependant, il est aussi le gaz le plus léger. Ceci pose un véritable problème de stockage. La densité énergétique volumétrique de l'hydrogène n'est intéressante qu'à l'état liquide ou comprimé (700 bars). Il existe de multiples modes de stockage del'hydrogène : comprimé, liquéfié, hydrures métalliques, charbon actif,nanofibres et nano tubesen carbone etc. Si les deux premiers modes de stockage sont actuellement les plus utilisés, ils sont loin d'être satisfaisants.[14]

- **Système de supervision :**

La plupart des systèmes hybrides comportent une certaine forme de commande. Les chargeurs des batteries, par exemple, incluent souvent un système de commande pour empêcher la surcharge des batteries ou que leur état de charge baisse trop. Les réseaux multi – diesel peuvent utiliser des méthodes relativement sophistiquées pour gérer les générateurs diesels et régler le flux de puissance.

Parfois, la commande est intégrée individuellement dans chaque composant dusystème. Quelques exemples de commandes intégrées sont le gouverneur de vitesse sur lemoteur diesel, le régulateur de tension sur le générateur synchrone du diesel ou la commandede l'éolienne.

Un autre type de commande plus global permet la surveillance de certains ou de tousles composants.

Ce système de surveillance est d'habitude automatique. Lesfonctions spécifiques peuvent inclure la commande de démarrage et d'arrêt des générateursdiesels, l'ajustement de leurs points de fonctionnement, le chargement des batteries et larépartition de la puissance pour les différents types de charges. [14]

- **Convertisseurs :**

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

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utiliséspour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativementsimples, pas chers et à bon rendement.[14]

Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuventfonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources àCA (voir sous-chapitre I.3.2.). Les onduleurs sont autonomes lorsqu' ils imposent leur proprefréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pourfonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes defonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plusflexibles, mais sont aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sontréalisées par un seul appareil.[14]

Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversionCC/CC, par exemple, pour adapter la tension entre deux sources.[14]

- **Charges :**

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. [14]

I.12.1.2. Dimensionnement des SEH :

La conception des SEH exige la sélection et le dimensionnement de la combinaison la plus appropriée des sources d'énergie, des convertisseurs et du système de stockage, ainsi quel'implémentation d'une stratégie de fonctionnement efficace.

De plus, pour obtenir un taux de pénétration important des sources d'énergie renouvelable, sans la dégradation de laqualité de l'énergie fournie, une étude de dimensionnement du système hybride s'impose.

Les logiciels de dimensionnement sont des outils indispensables pour l'analyse et la comparaison des différentes combinaisons possibles des sources utilisées dans les SEH. Les principaux facteurs du dimensionnement sont :

- Les conditions environnementales du site (vitesse du vent, éclairement énergétique, température, humidité) .
- Le profil de charge .
- Les préférences et les demandes du client .
- Les ressources financières .
- La disponibilité de la technologie et le support technique.

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement et de simulation des :

HOMER, SOMES, RAPSIM, SOLSIM, INSEL... Tous ces logiciels ont pour but d'optimiserles systèmes hybrides, mais les stratégies d'optimisation sont différentes. Une brèvedescription de chaque outil est donnée ci-après :[14]

HOMER – c'est un outil développé par "National Renewable Energy Laboratory" (NREL),capable de dimensionner et d'optimiser un système hybride contenant différents composants :éolienne, PV, micro – hydrocentrale, diesel, réseau, pile à combustible et batteries. HOMER exécute des simulations pour toutes les configurations possibles du système dans le but de vérifier si elles sont réalisables. HOMER estime ensuite le coût d'installation et de fonctionnement du système et propose une liste des configurations, classées par rapport au coût de leurs cycles de vie.[14]

SOMES – c'est un outil de simulation et d'optimisation des systèmes d'énergiesrenouvelables. SOMES est développé par la Utrecht University, au Pays Bas. Les composantsdisponibles sont : PV, éolienne, générateur diesel, réseau électrique, batteries de stockage etplusieurs types de convertisseurs. La simulation est réalisée sur une base de temps horaire.

Le système optimal est trouvé en comparant les coûts de plusieurs systèmes, dans les limites définies par l'utilisateur.

RAPSIM – ce logiciel a été développé par la Murdoch University Energy Research Institute d'Australie. Il est conçu pour simuler des systèmes d'énergies alternatives tels que des générateurs PV, des éoliennes et des générateurs diesels. Un dimensionnement optimal est réalisé par tâtonnement. Les utilisateurs changent les paramètres du système (nombre de batteries, d'éoliennes, puissance des générateurs diesels) et jugent le résultat pour choisir la meilleure solution répondant à leurs besoins.[14]

SOLSIM – est développé au Fachhochschule Konstanz, en Allemagne. C'est un outil desimulation qui permet aux utilisateurs de concevoir, analyser et optimiser des systèmes connectés ou pas à un réseau et des SEH. Les sources d'énergie disponibles sont : despanneaux PV, des éoliennes, des installations de biogaz ou de biomasse, des batteries et desgénérateurs diesels. SOLSIM est un progiciel qui comporte des outils différents : unprogramme de simulation général appelé SOLSIM, une unité d'optimisation de l'angled'inclinaison des panneaux PV appelée SolOpti, une unité de calcul des coûts du cycle de vieappelée SolCal et l'unité simulant des générateurs éoliens appelée SolWind.

INSEL – est développé par the University of Oldenburg d'Allemagne. Il réalise la simulation des systèmes d'énergie renouvelable. C'est un logiciel de simulation basé sur des diagrammes blocs où chaque bloc représente un composant d'une puissance prédéterminée. Lesutilisateurs doivent sélectionner des blocs à partir d'une bibliothèque et les interconnecterpour définir les systèmes d'énergie à étudier.[14]

I.12.1.3 : Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH :

Les systèmes d'énergie en site isolé rencontrent en général les mêmes problèmes queles réseaux faibles. Ces difficultés, qui ne se présentent pas dans les grands réseauxinterconnectés, sont en général causées par :

- Les variations de l'énergie d'origine renouvelable (indépendamment de la charge),
- Le manque de connaissances dans le domaine de la qualité de l'énergie en réseau faible.[14]

Compte tenu de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH comportant ce type de sources est de pouvoire produire à chaque instant l'énergie demadée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels en parallèle, de façon continue (le générateur diesel fonctionne sans arrêt). Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesels. Ceux derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse, mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible (en fonctionnement à vide, la consommation de carburant s'estime à 25-30 % de la consommation à pleine charge). Ainsi, garder un moteur

diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consomation de carburant non négligeable.[27]



Figure I.11 :courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75KW. [27]

Si l'énergie renouvelable est suffisante pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner lesgénérateurs diesels par intermittence. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesels démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation del'énergie renouvelable et de la charge. Le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels peut, par conséquent, être très élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des GD et de leurs démarreurs. Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est le temps nécessaire pour le démarrage et l'arrêt. Le système peut, par exemple, s'effondrer subitement pendant le démarrage du générateur diesel, si l'énergie renouvelable diminue plus vite que le temps nécessaire pour la phase de démarrage. [27]

Il arrive parfois que la production d'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation de la charge. Si l'excès d'énergie dans le réseau ne peut pas être éliminé, la production de l'énergie renouvelable doit alors être limitée ou même arrêtée.

Du point de vue de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un SEH sont résumés ci-après :

- Les variations de la charge à longue terme : les régions isolées avec des petits réseux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité .
- Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelque minutes. Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil, sont stochastique par leur nature, ont des caractéristique locales et sont très difficiles à prédire.
- Les perturbations du réseau : les défauts, tels que les court circuits, peuvent non seulement arrêter les sytèmes, mais aussi, au pire des cas, détruire certains composants. [27]

I.13. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de donner une bréve présentation sur deux sources d'énergies renouvelables (éolien et photovoltaïque), leurs avantages , et leurs utilisations dans le monde entier.

On a vu aussi l'intérêt mondiale par ces sources.Finalement on a étudier la possibilité de construire un systéme dit hybride. Ce systéme contient les sources renovelables et les batteries qui stockent l'énergie. Ce systéme a une grande avantage, c'est que ces systémes hybrides sont moins polluant que les énergies fossiles. Dans la suite de ce travail, les choses vont devenir plus claire, mais étape par étape.

II.1. introduction :

Le développement, l'optimisation et la caractérisation de cellules photovoltaïques impliquent une certaine connaissance de la source d'énergie utilisée : le soleil. La surface de celui-ci se comporte comme un corps noir à la température d'environ 5800 K. Ceci conduit à un pic d'émission situé à une longueur d'onde de 0,5 µm pour une puissance d'environ 60 MW/m², soit un total de $9{,}5.10^{25}$W.

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil.[17]

Le soleil reste jusqu'à présente la plus importante source d'énergie malgré la distance considérable qui le sépare de la terre (150 * 106 de kilomètres). La puissance émise par le soleil sous forme de rayonnement est estimé à 90*1015 GW, alors que la couche terrestre n'arrive à recevoir que 180*106 GW. Arrivant à la terre, le rayonnement solaire subit de considérables modifications, dues principalement aux phénomènes d'absorption et de diffusion. De là, on introduit la notion de l'éclairement comme étant la densité de puissance reçue par une surface soumise à un flux lumineux, dans les conditions atmosphériques optimales. Cette densité de puissance atteinte 1kW/ m² pour un site situé au niveau de la mer.[18]

A travers l'effet photovoltaïque, l'énergie contenue dans la lumière solaire peut être convertie directement à énergie électrique. Les premières installations photovoltaïques utilisées au sol datent de 1956 et ont été conçues pour les applications dans des sites isolés, principalement dans les pays en voie de développement où les réseaux de distribution d'énergie sont généralement restreints aux grands centres urbains. Les grands avantages sont que cette source est inépuisable, offre une grande sécurité d'utilisation et elle est propre. Les principales utilisations de l'électricité photovoltaïque sont l'éclairage, le froid, les Communications, la recharges des batteries, le pompage,…etc.[19].

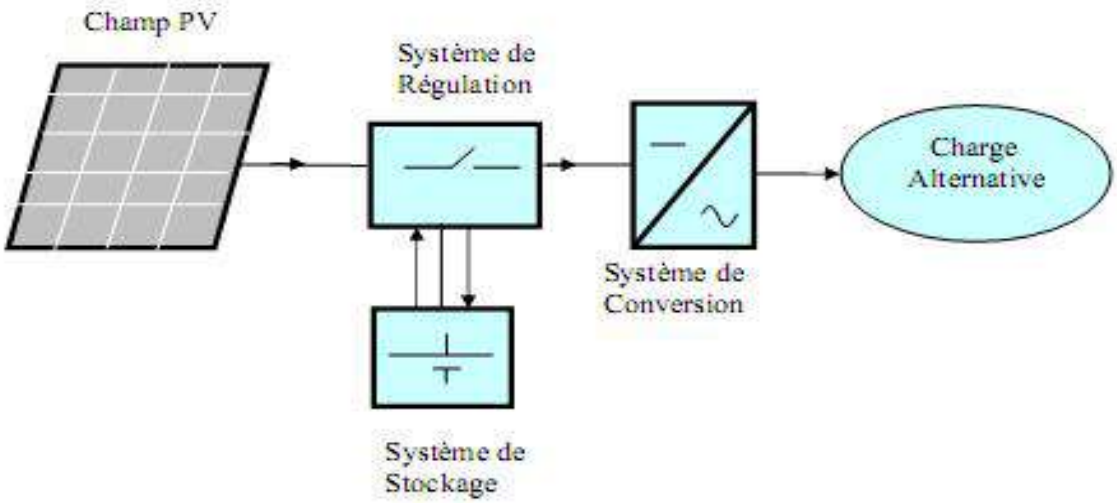


Figure II.1 : Schéma simplifié d'un système PV. [33]

II.2. Le Générateur photovoltaïque :

II.2.1. la Cellule photovoltaïque :

Les Cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque ».

Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts sous approximativement 0,5 Volt. Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque. [20]

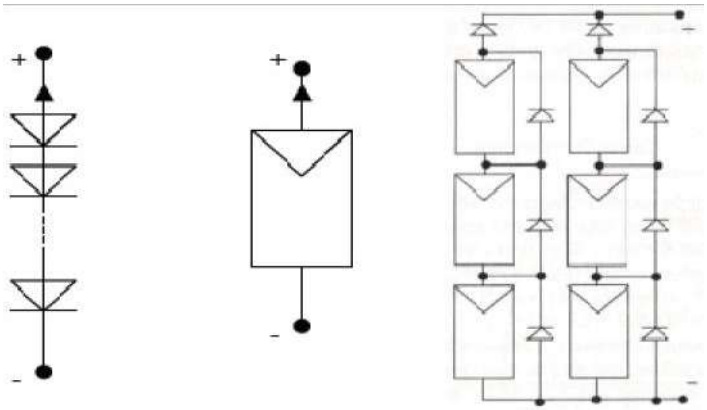


Figure II.2 ; Cellules, module et panneau photovoltaïques.

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée.

Association des cellules photovoltaïques :

Un module des cellules connecté en parallèle est suffisant pour augmenter le courant du générateur en, associe ''Np'' modules en parallèle comme montrer dans la figures (II.3).

pour obtenir une augmentation de la tension du générateur en, associe ''Ns'' modules en série comme Le montrent les figures précédentes.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque (figures II.3). [28]

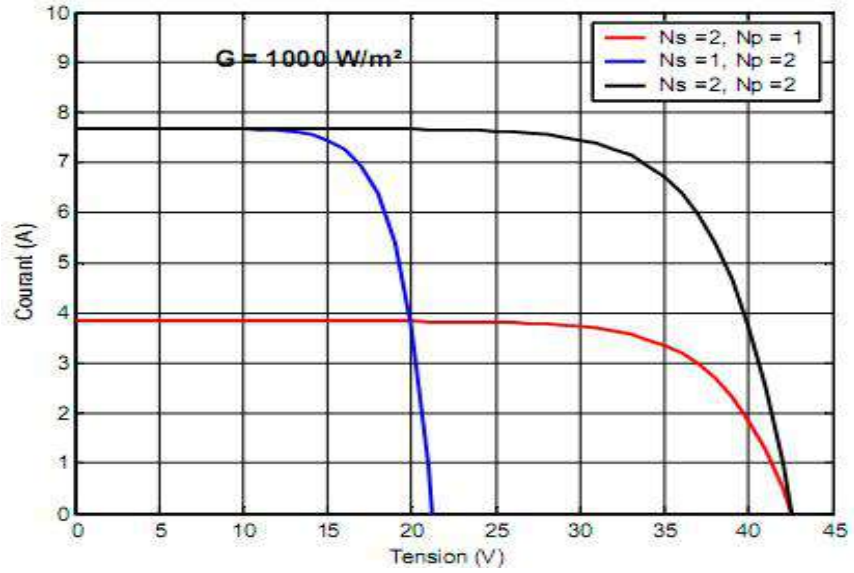


Figure II.3: Caractéristiques résultantes d'un générateur associant n p cellules en parallèles et ns cellules en séries. [28]

II.2.2. L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se manifeste par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction entre un métal et un semi-conducteur ou entre deux semi-conducteurs lorsque le dispositif reçoit un rayonnement lumineux de longueur d'onde adéquate. Ainsi une cellule photovoltaïque peut convertir l'énergie solaire en énergie électrique en mettant en jeu ce phénomène physique optoélectronique. Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 % avec du silicium poly cristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films minces.[20]

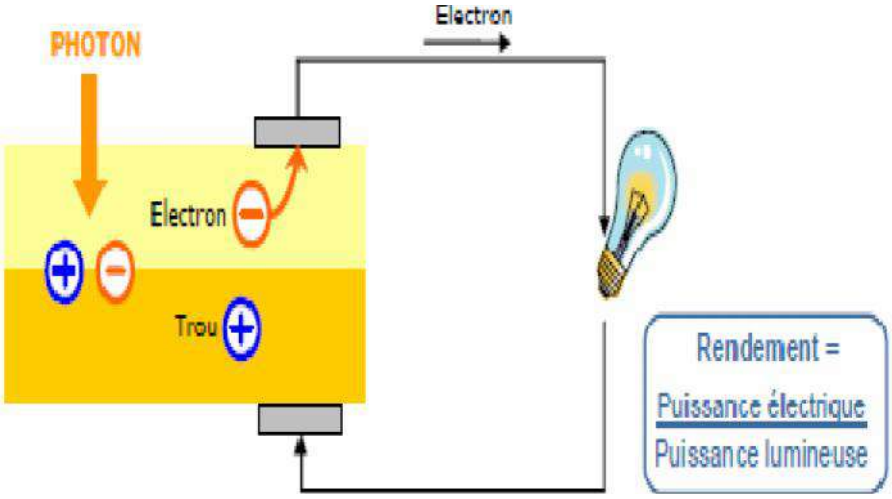


Figure II.4 : L'effet photovoltaïque.

II.2.3. Le module photovoltaïque :

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules PV sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge et les modules auront donc généralement 36 cellules. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation.

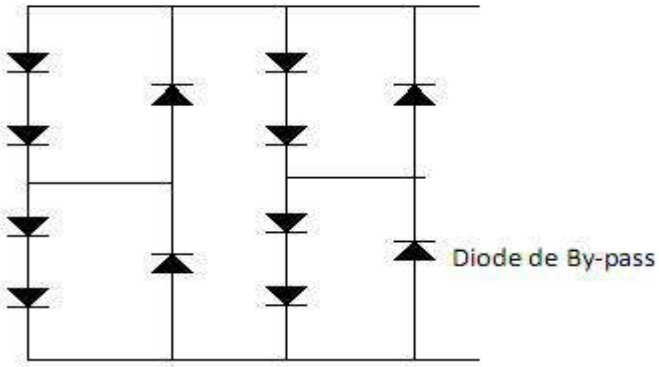


Figure II.5 : la mise en parallèles et en série des cellules photovoltaïques (le module photovoltaïques).

On prend quelque cellules voisines et on les shunte par un diode en parallèle appelée « By-pass diode ». ces diodes empêchent le courant de passé à travers les cellules qui sont occultés et il se devient un récepteur (charge résistive) au lieu d'un générateur (les tensions de ces cellules tombent au-dessous de la tonsion de seuil de la diode By-pass alors le courant passe à travers cette diode). [29]

II.2.4. Le générateur photovoltaïque :

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV. L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu.[15]

On place une diode de blocage en série avec chaque sortie du module pour éviter le retour de courant au module (figure II.6). [29]

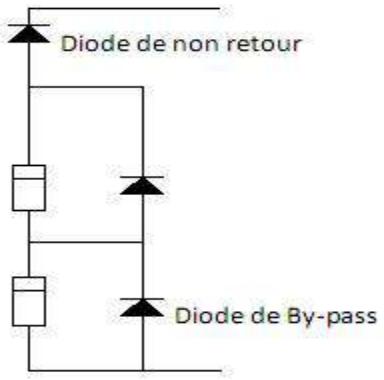


Figure II.6 : un générateur photovoltaïque compose de deux modules PV.

II.2.5. Exploitation des systèmes photovoltaïques :

L'énergie photovoltaïque est exploitée dans une large gamme d'applications :

- électrification rurale (éclairage, réfrigération…),
- télécommunications (relais hertzien, relais T.V., relais radiotéléphone…),
- pompage,
- signalisation (routière, aérienne, maritime…),
- détection,
- protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme…),
- stations de mesures (stations automatiques météorologiques, mesures de débit, de niveau, comptage de trafic),…

On distingue trois modes d'exploitation d'un panneau PV : autonome, connecté au réseau et hybride. [30]

II.2.6. Les genres de systèmes photovoltaïques :

Les trois genres de systèmes photovoltaïques que l'on rencontre généralement sont les Systèmes autonomes, hybrides et connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du service public de distribution d'électricité, on les retrouve souvent dans les régions éloignées du réseau**.** [30]

II.2.6.1. Systèmes autonomes :

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité, ils peuvent comporter des accumulateurs qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs. En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. [30]

II.2.6.2. Systèmes hybrides :

Les systèmes hybrides, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité, sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si vous désirez diminuer votre investissement dans les champs de modules photovoltaïques et les batteries d'accumulateurs. [30]

II.2.6.3. Systèmes connectés à un réseau :

Dans ce mode, le panneau PV est connecté au réseau électrique. Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un

onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) comme le montre la figure. [30]

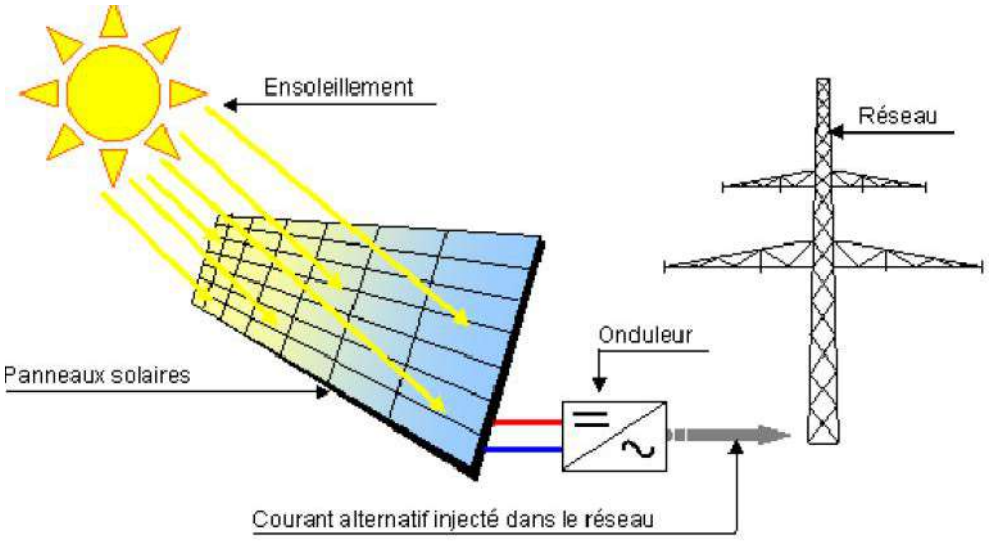


Figure II.7 : Systèmes connectés à un réseau. [30]

II.2.7. Les avantages et Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

II.2.7.1. Les avantages :

- La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- L'énergie photovoltaïque Particulièrement attractive pour les sites urbains dus à leur petite relative taille, et leur opération silencieuse.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville. [31]
- L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur. [31]
- Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle).
- La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue. Certains producteurs garantissent les panneaux solaires pour une durée de 25 ans.

II.2.7.2. Les inconvénients :

- Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable.
- Le coût très élevé qu'on a déjà discuté.
- Faible rendement de conversion.
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- Pollution à la fabrication. [31]

II.2.8. Modélisation du module photovoltaïque :

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques, ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. On présentera deux modèles du générateur photovoltaïque. [32]

- Modèle à une diode.
- Modèle à deux diodes.

II.2.8.1. Modèle à une diode :

Le modèle à une diode est le modèle le plus classique de la littérature. Il fait Intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, deux résistances (série et shunte) pour les pertes, le modèle d'une cellule est celui de la figure ci-dessous. [32]

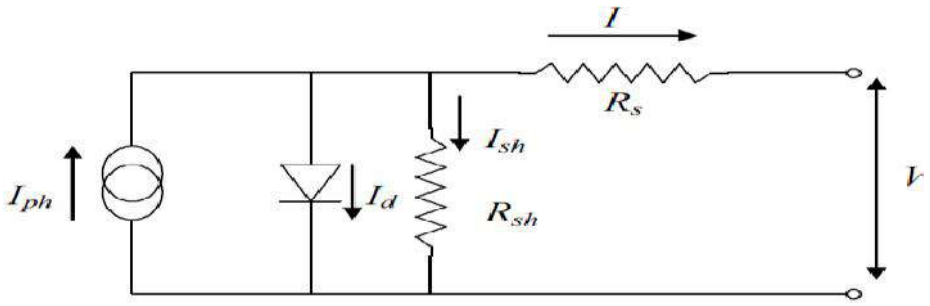


Figure II.8 : modèles du générateur photovoltaïque à une diode. [32]

Ce modèle comporte quatre variables :

Les deux variables d'entrée sont:

E_s : Ensoleillement dans le plan des modules (W/m²).

Tj : température de jonction de la cellule (°C).

Les deux variables de sortie sont:

I_G : Courant fourni par le groupe de modules (A).

V_G: la tension aux bornes du groupe de modules (V).

Le courant de polarisation de la jonction PN, Id est donné par l'expression :

$$I_d = I_{sat}\left[\exp\left(\frac{q}{K.A\,n_s.T_j}(V_G + R_s \cdot I_G)\right) - 1\right] \qquad \text{(II.1)}$$

Avec:

I_{sat}: Courant de saturation

K : constante de Boltzmann.

q : charge élémentaire.

A : facteur d'idéalité de la jonction.

Le courant de saturation de la diode est:

$$I_{sat} = P_4 \cdot T_j^3 \cdot \exp\left(\frac{E_g}{K \cdot T_j}\right) \quad \text{(II.2)}$$

II.2.8.2. Modèle à deux diodes :

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représente le phénomène de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteur minoritaire, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume des matériaux. [32]

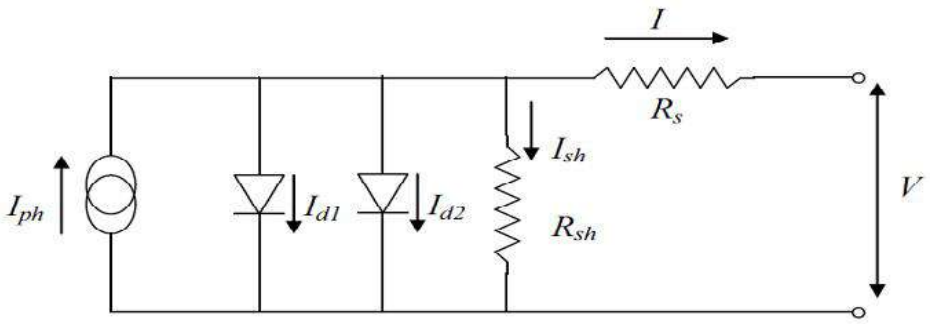


Figure II.9 : modèles du générateur photovoltaïque à deux diode. [32]

Nous avons :

$$I_G = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{Rsh}$$

Avec I_{ph} et I_{sh} gardent les même expressions que précédemment, pour les courants de recombinaison nous avons :

$$I_{d1} = I_{sat1}\left[\exp\left(\frac{q}{K \cdot A \cdot n_s \cdot T_j}(V_G + R_s \cdot I_G)\right) - 1\right] \quad \text{(II.3)}$$

$$I_{d2} = I_{sat2}\left[\exp\left(\frac{q}{2 \cdot K \cdot A \cdot n_s \cdot T_j}(V_G + R_s \cdot I_G)\right) - 1\right] \quad \text{(II.4)}$$

Les courants de saturation sont :

$$I_{sat\,1} = P_4 \cdot T_j^{\,3} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{K \cdot T_j}\right) \quad \text{(II.5)}$$

$$I_{sat\,2} = P_5 \cdot T_j^{\,3} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2 \cdot K \cdot T_j}\right) \quad \text{(II.6)}$$

II.2.9. simulation du module photovoltaïque :

On simulé un module photovoltaïque par le modèle d'une seule diode avec le logiciel MATLAB.

II.2.9.1. zones de fonctionnement du module photovoltaïque :

La caractéristique fondamentale du générateur PV donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe I(V) est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (II.10) représente trois zones essentielles : [28]

La zone (I) : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.

La zone (II) : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

La zone (III) : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension. [28]

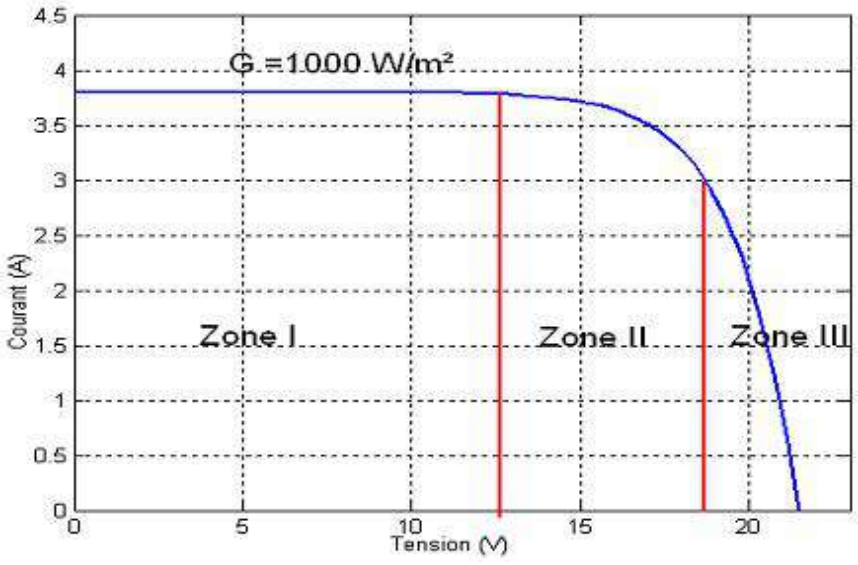


Figure II.10 : Les différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C. [28]

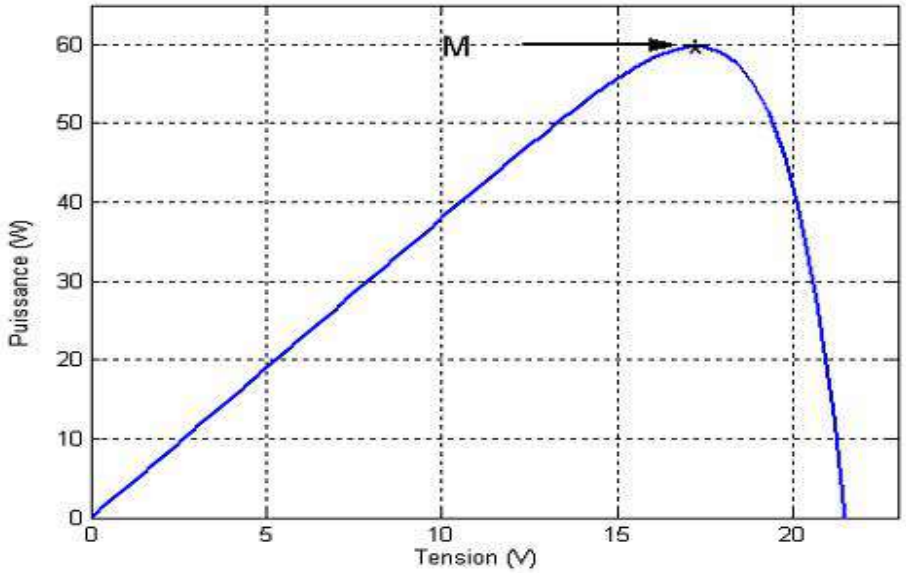


Figure II.11 : les caractéristiques P=f(V) pour T=25°C. [28]

II.2.9.2. Influence de l'ensoleillement et de la température sur le générateur photovoltaïque :

Influence de la température :

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules. La figure (II.11) montre que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert et une augmentation du courant de court circuit, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale (une variation 20° C entraîne une diminution de 10 watts de la puissance maximale). [28]

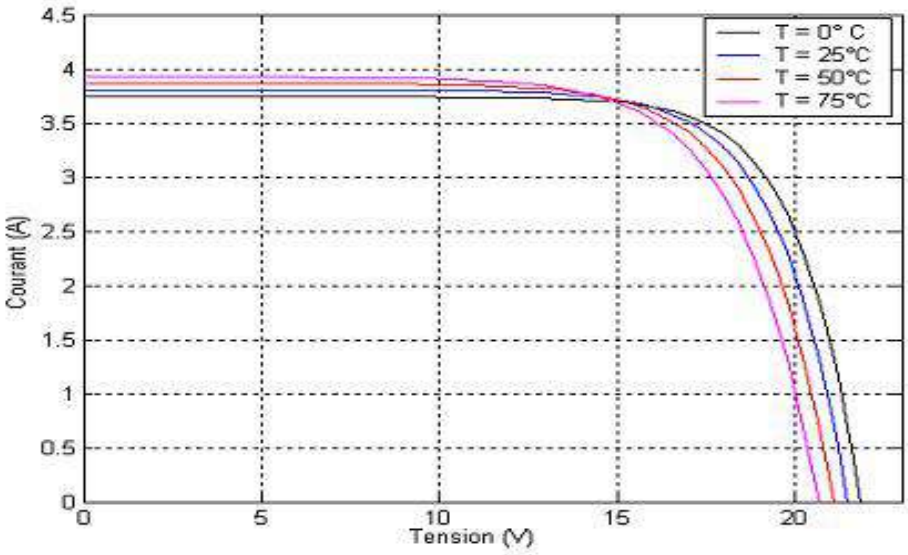


Figure II.12 : les caractéristiques I=f(V) pour différentes température. [28]

Influence de l'ensoleillement :

L'augmentation de l'éclairement provoque une augmentation ou le générateur fonctionne comme un générateur de courants, mais il'ya une légerment d'augmentation pour la tension en circuit ouvert .Ce faisceau de courbes se trace à température constante, et est illustre un tracé correspondant à une température Tc = 25 °C sur la figure (II.13). [28]

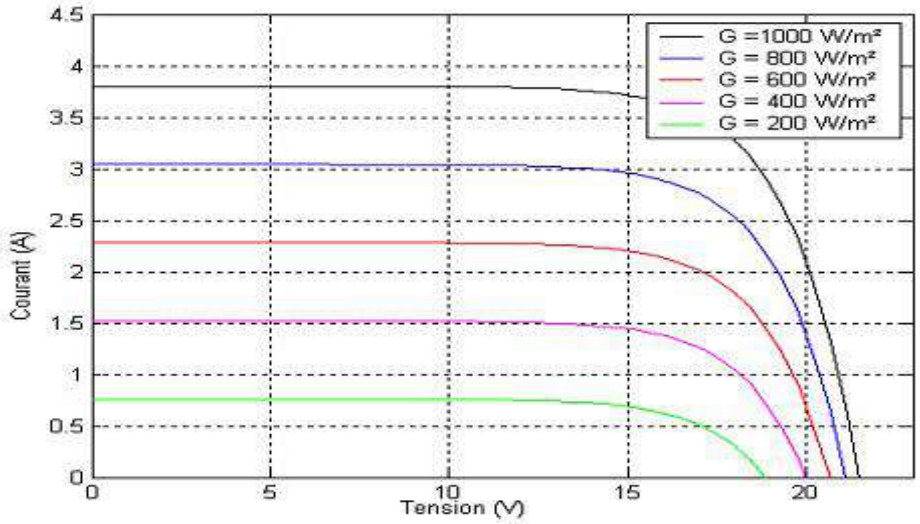


Figure II.13 : les caractéristiques I=f(V) pour différentes ensoleillement.

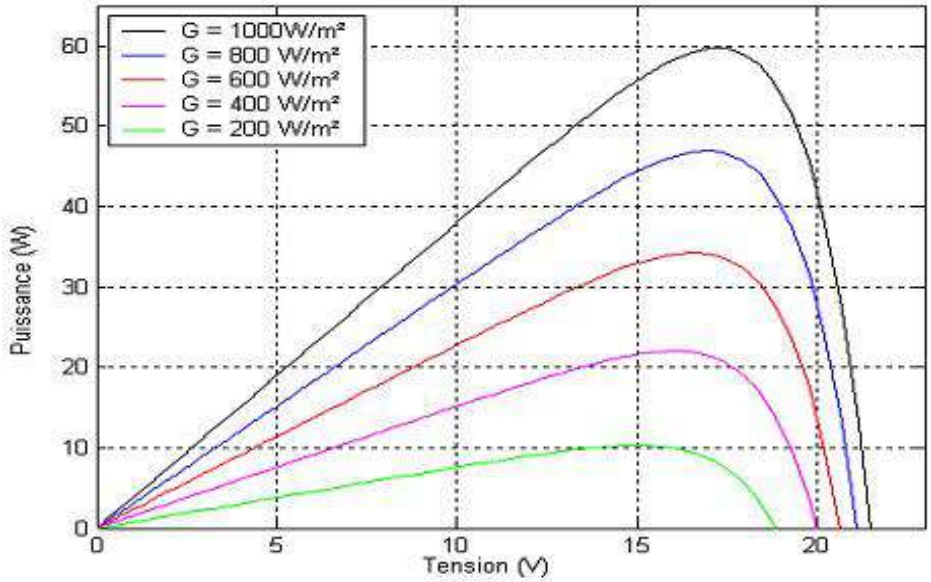


Figure II.14 : les caractéristiques P=f(V) pour différentes ensoleillement. [28]

On remarque que l'ensoleillement s'influe proportionnellement sur Icc et s'influe légèrement sur la Vco (figure II.13), alors il s'influe proportionnellement sur la puissance (P=I*V) (figure II.14).

II.3. La poursuite de point de puissance maximale :

II.3.1. l'adaptation d'impédance :

Nous avons vu précédemment que c'est la charge qui impose le point de fonctionnement du générateur photovoltaïque et la charge optimale qui se donne MPP (maximum power point) et cette dernière varie aussi suivant les conditions d'ensoleillement et de température du générateur photovoltaïque. [29]

Alors pour résoudre le problème de la variation du point de fonctionnement de générateur photovoltaïque qui dépend de la charge et forcer le générateur photovoltaïque pour fonctionner au MPP il faut un adaptateur d'impédance entre le générateur photovoltaïque et la charge. [29]

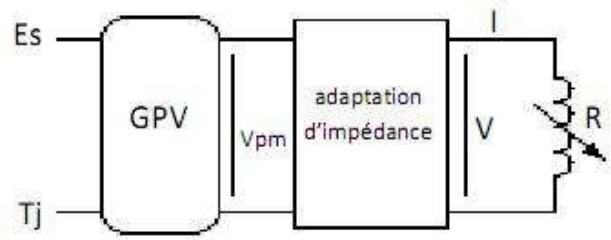
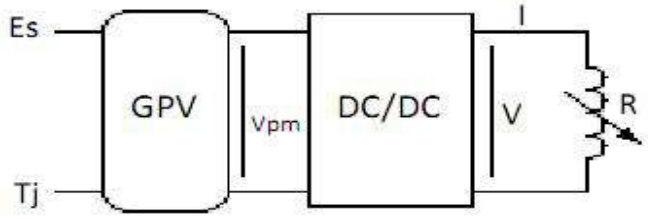
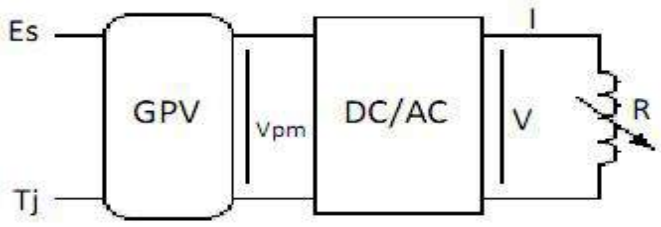


Figure II.15 : l'adaptation d'impédance d'un générateur PV.

Le générateur photovoltaïque est un générateur (de tension et du courant) continue alors il peut adapter la charge continue (moteur continu, batterie, réseau continu…etc) par un hacheur (DC/DC converter)(figure II.16.a) et la charge alternative (moteur alternative, réseau alternative…etc) par un onduleur (DC/AC converter)(figure II.15.b). [29]



a.charge continue



b.charge alternative

Figure II.16 : les différents convertisseurs statiques pour adapter la charge. [29]

II.3.2. l'adaptation d'impédance par l'hacheur :

Dans notre étude, on utilise l'hacheur comme adaptateur d'impédance car la charge est une charge continue. [29]

Dans cette section, les principes de la conversion de la puissance de commutation sont introduits et les détails des différents circuits de convertisseurs DC-DC sont discutés. Les modèles mathématiques pour les convertisseurs buck, boost et buck/boost sont dérivés de représenter l'état stable du circuit et des comportements dynamiques.

Une commutation d'un convertisseur est constituée de condensateurs, des inductances et des interrupteurs. Tous ces dispositifs idéalement ne consomment pas d'énergie, qui est la raison de la haute efficacité de commutation des convertisseurs. L'interrupteur est réalisé avec un dispositif à semi-conducteurs en mode commuté, généralement un MOSFET.

Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est nul et donc la dissipation de puissance est égale à zéro. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à travers sera proche de zéro et donc la puissance dissipée sera très faible. [21]

II.3.2.1. Hacheur série (dévolteur) :

On utilise un hacheur série dévolteur (Buck) si nous voulons une tension sur la charge inférieure à celle du générateur photovoltaïque et ce dernier fonctionner comme un générateur de tension (V=cte). [29]

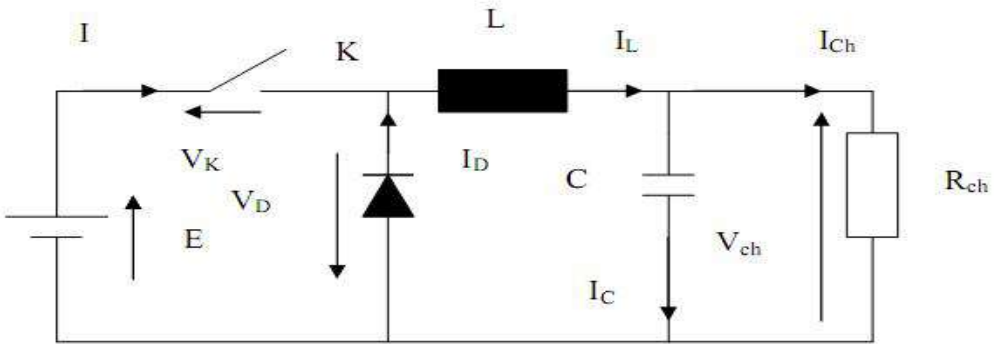


Figure II.17 : Hacheur série pour adapter une charge continue. [28]

On a :

$\frac{V_s}{V_e} = \alpha$ et $\frac{I_e}{I_s} = \alpha$ et $\frac{V_s}{I_s} = R$

Donc : $\frac{V_e}{I_e} = \frac{R}{\alpha^2}$

Avec :

α: le rapport cyclique.

on peut déduire que l'hacheur avec la charge c'est comme une charge variable en fonction de rapport cyclique α, on varie a jusqu'à obtenir la charge optimale Rop qui donne la puissance maximale de GPV,

et quand α est le rapport cyclique d'hacheur $\alpha \in [0 \quad 1]$, donc $\frac{R}{\alpha^2} \in [R \quad \infty]$, alors il faut $R_{op} \in [R \quad \infty]$ ou $R_{op} > R$ (figure II.18). [29]

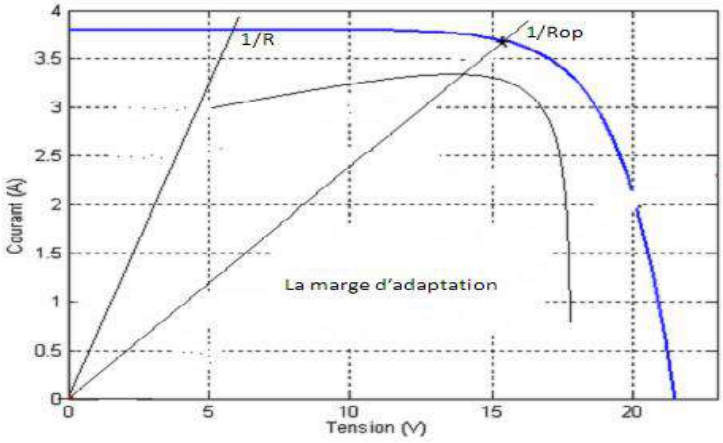


Figure II.18 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur série.

II.3.2.2. Hacheur parallèle (survolteur) :

On utilise un hacheur parallèle survolteur (Boost) si nous voulons une tension sur la charge supérieur à celle du générateur photovoltaïque et ce dernier fonctionner comme un générateur du courant (I=cte). [29]

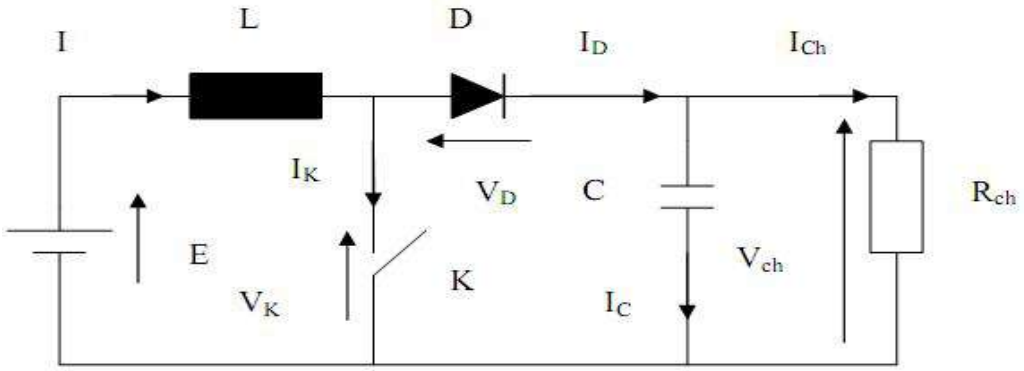


Figure II.19 : Hacheur parallèle pour adapter une charge continue. [28]

$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1-\alpha}$ (1) ,Vs et Ve en valeur moyenne.

$\frac{I_e}{I_s} = \frac{1}{1-\alpha}$ (2), Is et Ie en valeur moyenne.

$\frac{V_s}{I_s} = R$ (3)

De (1), (2) et (3) on trouve $\frac{V_s}{I_s} = R\,(1-\alpha)^2$

on varie a jusqu'à obtenir la charge optimale Rop qui donne la puissance maximale de GPV, et quand α est le rapport cyclique d'hacheur $\alpha \in [0 \quad 1]$, donc $R\,(1-\alpha)^2 \in [0 \quad R]$, alors il faut $R_{op} \in [0 \quad R]$ ou $R_{op} < R$ (figure II.19). [29]

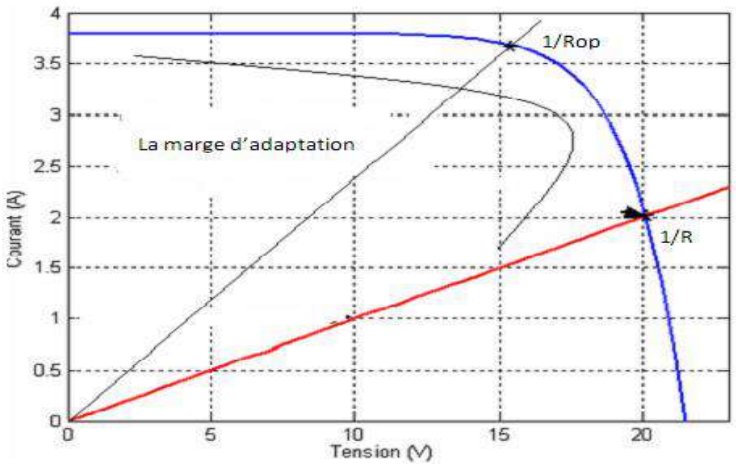


Figure II.20 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur parallèle. [28]

II.3.2.3. Hacheur série-parallèle (BUCK-BOOST):

Comme nous avons vu, le hacheur série (parallèle) peut adapter l'impédance de système photovoltaïque mais dans un intervalle limié (pour l'hacheur série il faut la résistance adaptée est inféreur à la résistance optimale et l'inverse pour l'hacheur parallèle) pour résoudre ce problème en utilisant la combinaison entre l'hacheur série et parallèle et que donne l'hacheur série parallèle (figure II.21). [29]

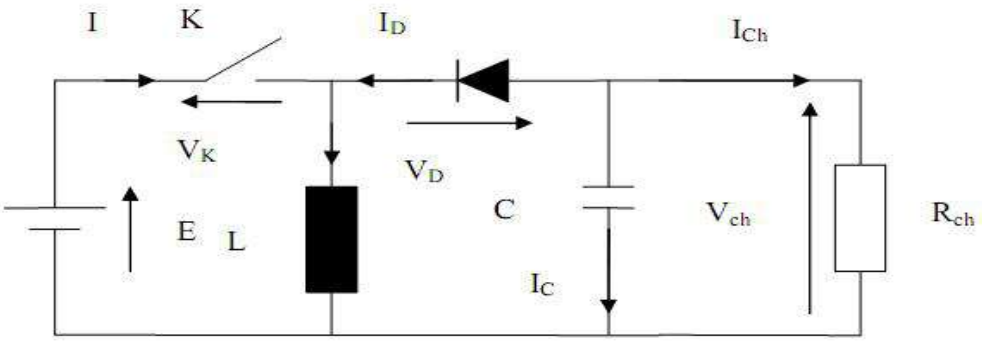


Figure II.21 : Hacheur série-parallèle pour adapter une charge continue. [28]

$\frac{V_S}{V_e} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ (1) ,Vs et Ve en valeur moyenne.

$\frac{I_S}{I_e} = \frac{1-\alpha}{\alpha}$ (2), Is et Ie en valeur moyenne.

$\frac{V_S}{I_S} = R$ (3)

De (1), (2) et (3) on trouve $\frac{V_S}{I_S} = \frac{R\,(1-\alpha)^2}{\alpha}$

$\alpha \in [0\ \ 1]$, donc $\frac{R\,(1-\ \alpha)^{\,2}}{\alpha} \in [0\ \ \infty]$, alors on peut adapter toute les charges (figure II.22). [29]

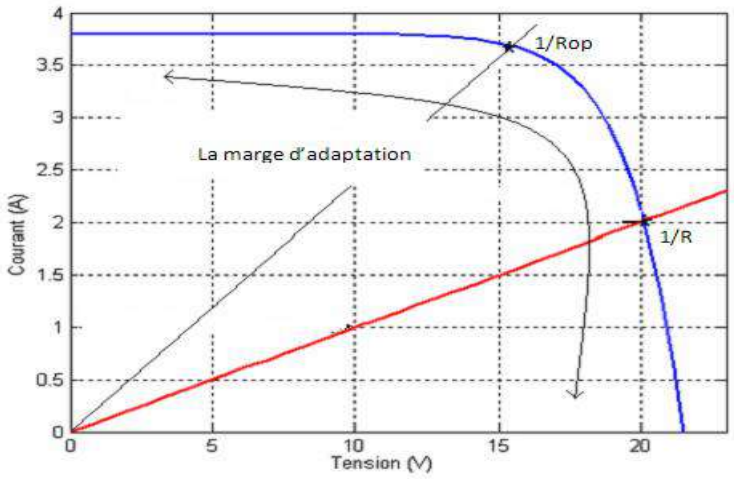


Figure II.22 : la marge d'adaptation d'impédance par le hacheur série-parallèle. [28]

II.4. Principe de la commande MPPT :

La commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) est un organe fonctionnel du système PV et permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV dans des conditions météorologiques et de charge stables. Que ce soit une commande analogique ou digitale , le principe de régulation est basé sur la variation automatique du rapport cyclique D à la valeur adéquate de manière à maximiser la puissance à la sortie du panneau PV.[15]

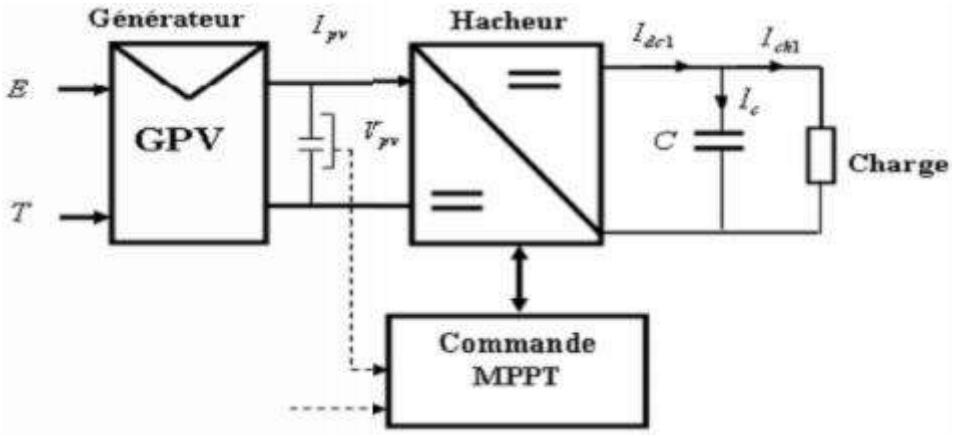


Figure II.23 : Schéma synoptique du système PV par une commande MPPT.

II.4.1. les algorithmes de MPPT (maximum power point tracking) :

Quand la charge est toujours variable alors il faut toujours une correction (adapté la charge) pour obtenir le MPP par un système de régulation.[22]

Depuis 1968 plusieurs commande MPPT ont été développées et implémentées :

II.4.1.1. méthode d'algorithme Perturbation et Observation (P&O) :

L'algorithme de poursuite du point de puissance maximale par la méthode P&O est le plus utilisé, car il est relativement simple à implémenter et n'utilise qu'un nombre réduit de capteur. Il exige seulement des mesures sur la tension de sortie de panneau V_{pv} et son courant de sortie I_{pv}.

Le principe de cet algorithme consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la figure II.24 on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv}, cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. [22]

Si au contraire, la puissance décroit, cela implique que le système a dépassé le PPM, un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroit. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique $P_{pv}(V_{pv})$, il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.

En résumé, si suite à une perturbation de tension, la puissance PV augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau PPM. [22]

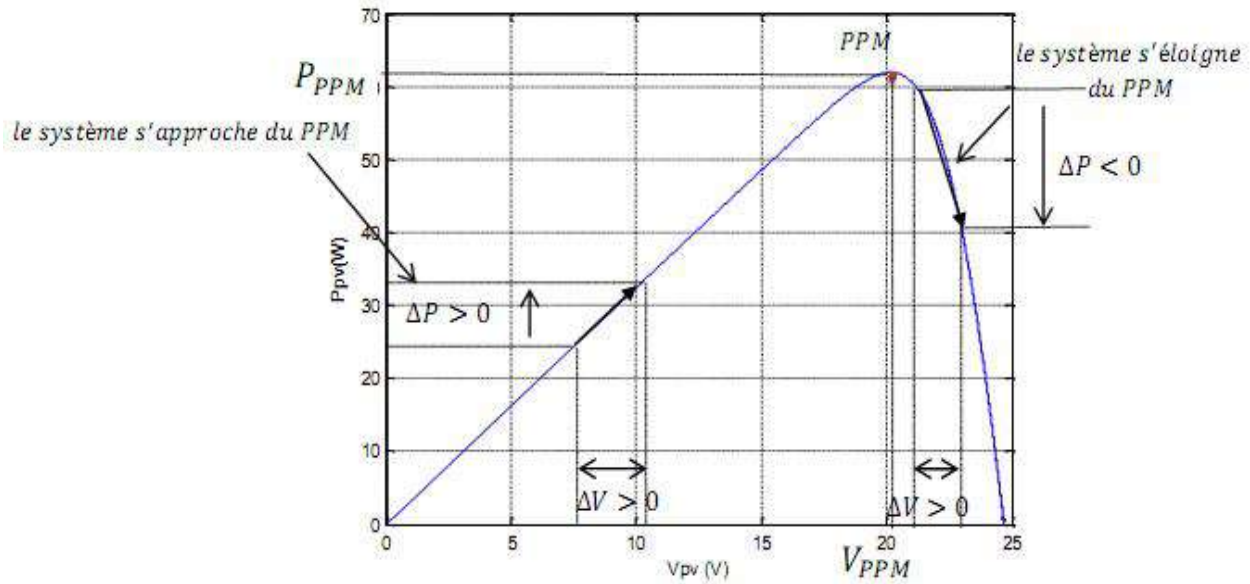


Figure II.24 : Principe de fonctionnement des commandes MPPT. [22]

L'organigramme de cette commande (P&O) est représenté par la figure II.25 :

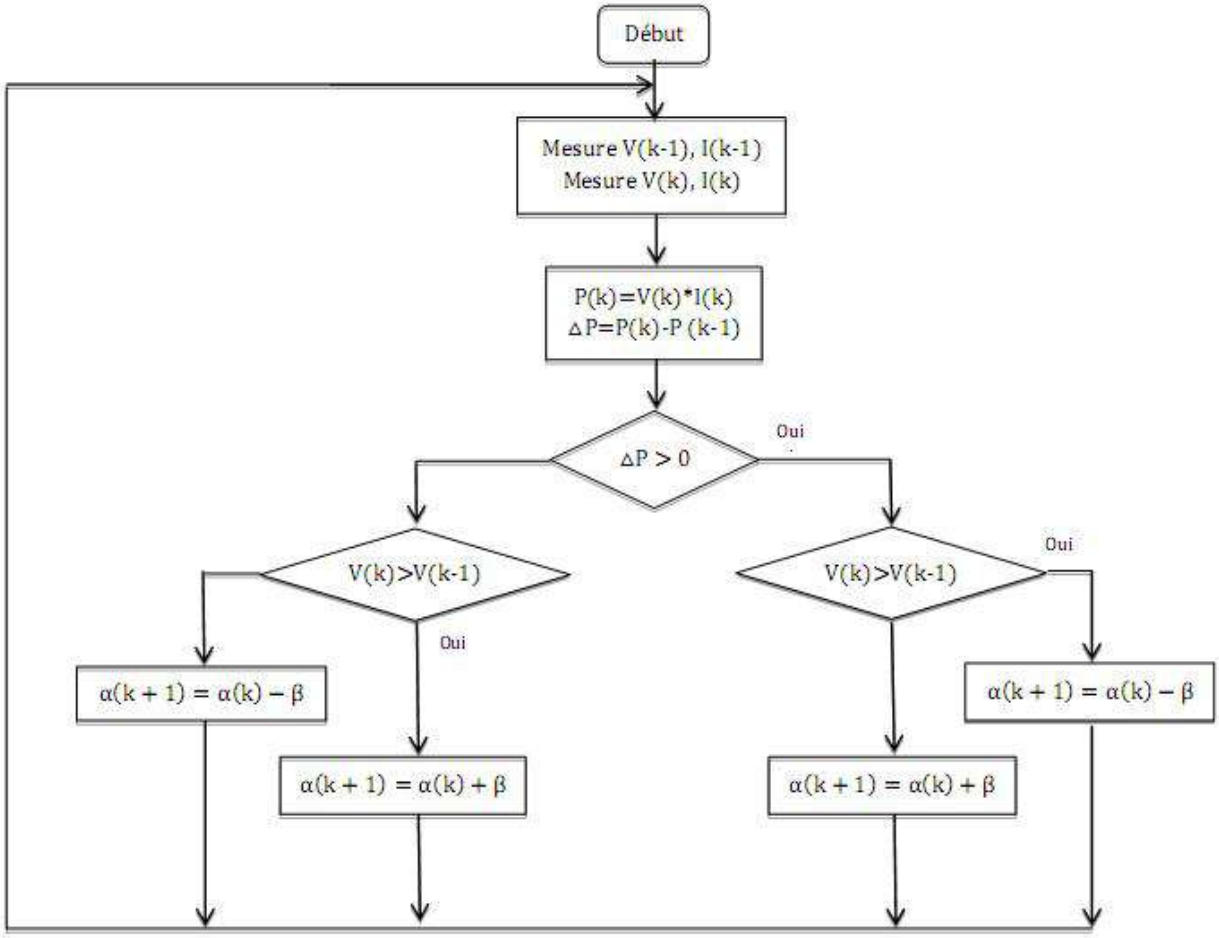


Figure II.25 **:** Organigramme de l'algorithme P&O. [22]

Lorsqu'on perturbe le point de fonctionnement quatre cas peuvent se présenter

Premier cas : P(k)>P (k-1) et V(k)>V(k-1) : [22]

ΔP est positif, ceci indique que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM, en plus ΔV est positive, on est donc dans la bonne direction. Pour la prochaine itération, on augmente la valeur de la tension du GPV.

Soit donc $\alpha(k+1) = \alpha(k) - \beta$, où est le pas d'incrémentation.

Deuxième cas *:* P(k)>P (k-1) et V(k)<V(k-1) :

Le rapport ΔP est négatif, ceci indique que le point de fonctionnement se trouve à droite du PPM, en plus ΔV est négative, la recherche du PPM se fait dans la bonne direction.

On va donc pour la prochaine itération continuer à diminuer la tension (donc à augmenter le rapport cyclique).

Soit donc : $\alpha(k+1) = \alpha(k) + \beta$

Troisième cas : P(k)<P (k-1) et V(k)<V(k-1) :

Le rapport ΔP est positif, le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM, en plus ΔV est négative on se dirige dans le mauvais sens.

Lors de la prochaine itération on doit corriger le sens de la recherche c.-à-d. augmenter la tension.

soit donc : $\alpha(k+1) = \alpha(k) - \beta$

Quatrième cas : P(k)<P (k-1) et V(k)>V(k-1) : [22]

Le rapport ΔP est négatif, le point de fonctionnement actuel est à droite du PPM, en plus ΔV est positive c.-à-d. que la recherche se fait dans la mauvaise direction.

Pour la prochaine itération on va diminuer la tension, (donc augmenter le rapport cyclique) soit donc :

$$\alpha(k+1) = \alpha(k) + \beta$$

II.5. Conclusion :

Dans ce chapitre , on a étudié le systéme photovoltaique, leur principaux composants, leur avantages et incovenients, et un apercu général sur la stratégie de MPPT.

Introduction :

Le vent est une énergie naturelle capable de créer de l'électricité ou une force mécanique : c'est l'énergie éolienne. Le mot éolienne vient du grec « Éole », dieu du vent, signifiant « rapide » « vif » et qui désignait dans l'antiquité grec le dieu du vent. Ce mot est également utilisé pour nommer les machines qui utilisent cette énergie : les éoliennes.

L'utilisation de cette énergie n'a aucun effet néfaste pour l'environnement. Ceci fait d'elle une énergie propre qui est une réelle alternative au problème de gestion des déchets nucléaires et aux émissions de gaz à effet de serre.Les éoliennes représentent également une chance pour plus de deux milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. De plus, peu coûteuses à long terme, elles sont une véritable possibilité d'économie au vue de la consommation croissante en énergie. Malheureusement leur implantation n'est pas possible dans tous les lieux, notamment dans les sites naturels protégés. Par ailleurs le bruit qu'elles émettent et leur esthétique dérangent certains riverains. Ainsi leur potentiel d'énergie d'avenir n'est pas encore exploité au maximum.

III.1. Généralités sur les systèmes éoliens et ses conversionsélectromécaniques :

III.1.1.Définition de l'énergie éolienne :

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice.[34]

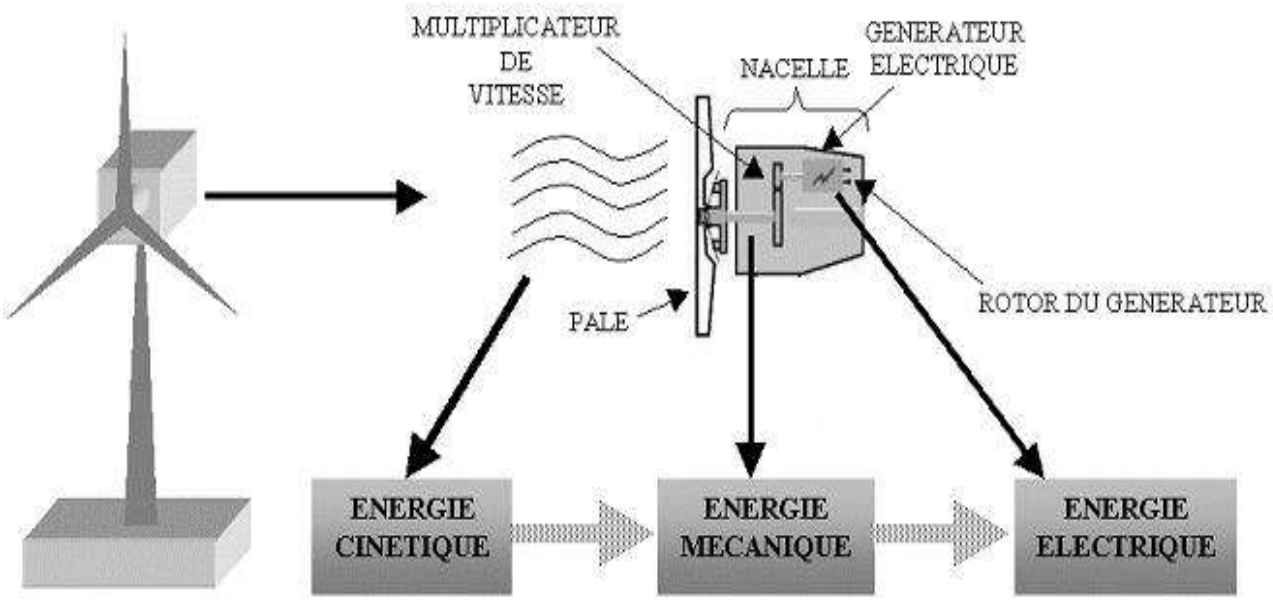


Figure III.1:schémat global et les différentes Conversions d'énergie incluent

dans le système éolien[34]

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences.[34]

III.1.2.les différents types d'éoliennes :

III.1.2.1. Aérogénérateurs à axe vertical :

Ce type représente la première structure desAérogénérateurs.l'adjectif vertical signifie que son arbre est vertical au sol, piusieurs structure ont vu le jour mais seulement deux structure ont été industrialisées (figureIII.2).[29]

a/ structure savoniusb/structure darrieus

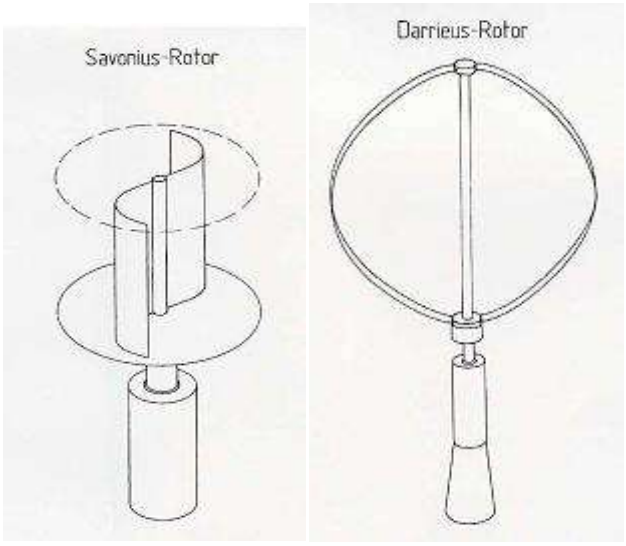


Figure III.2. Aérogénérateurs à axe vertical.

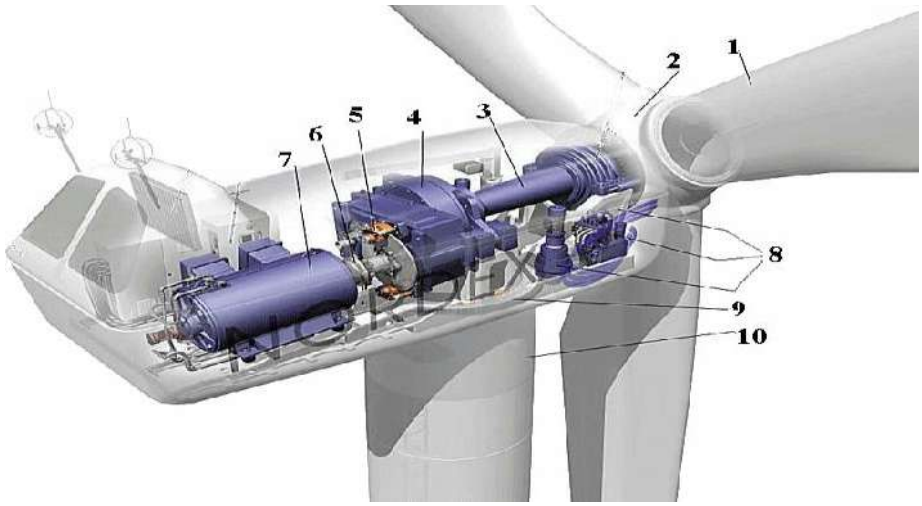
les aérogénérateurs à axe vertical ont l'avantage d'avoir la génératrice et les organes de commande au niveau du sol ce qui facilite les interventions d la mainteance.de plus,il n'est pas néessaire d'installer un système d'orientation des pales mais la présence du capteur d'énergie près du sol l'expose aux turbulences et au gradient de vent ce qui réduit son efficacité.ils sont de plus exposés à des problèmes d'aéroélasticité dus aux fortes contraintes qu'elles subissent.enfin la surface qu'elles occupent au sol est très importante pour les puissances élevées.[29]

III.1.2.2. Aérogénérateurs à axe horizontal :

Ce type d'aérogénérateurs est le plus répandu dans l'industrie des éoliennes à cause du positionnement du capteur éolien à quelques dizaines de mètres au dessus du sol,ce qui réduit les contraintes mécaniques et augmente l'efficacité.

Les aérogénérateurs à axe horizontale utilisés généralement pour la production de l'énergie électrique sont à trois pales,mais il existe d'autres structures à une ou deux pales.

Les trois principaux constitunts d'unaérogénérateur à axe horizontal sont :La tour(mat),la nacelle et les pales qui sont supportées par le moyeu (figure III.3).[29]



1-pale. 4-multiplicateur.8-système de commande.

2-moyeu. 5-frein à disque. 9-système d'orientation.

1 et 2-le rotor. 6- Arbre rapide. 10-tour.

3-arbre de transmission. 7-génératrice.

figure III.3 : Aérogénérateurs à axe horizontal .

III.1.3. Les différentes classes d'un système éolien :

On peut classifier les systèmes éoliens à axe horizontal en deux différentes classes : [35]

III.1.3.1. Le système éolien à vitesse fixe :

ce sont des systèmes qui fonctionnent pour des vitesses fixes et bien déterminées afin de produire de l'électricité selon les normes. Cette vitesse est définie selon le générateur électrique utilisé. Ce genre de système est destiné à travailler pour des vitesses égales à la vitesse nominale et cela si on admet que la vitesse nominale est celle qui donne au générateur électrique la possibilité de générer une puissance électrique à 50Hz (le cas de notre réseau).

III.1.3.2. Le système éolien à vitesse variable :

ce sont des systèmes aptes à travailler pour des vitesses égales ou différentes de la vitesses nominale. Pour cela plusieurs technologies sont mises en service afin d'assurer ce fonctionnement : [35]

III.1.3.2.1. La technique mécanique :

c'est une technique qui utilise les paramètres aérodynamiques de la turbine comme outil de variation de la vitesse, et dans ce sens là on distingue deux modes [P.Van, M.Iva] : le « stall control » (basé sur l'accrochage et le décrochage de la génératrice à la turbine), robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance chute plus vite : il s'agit donc d'une solution passive, et le « pitch control » (basé sur l'abaissement et l'augmentation de l'angle de calage des pales, qui

permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent pour maintenir une puissance sensiblement constante). Il faut noter que cette technique n'est fonctionnelle que pour des vitesses égales ou supérieures à la vitesse nominale.[35]

III.1.3.2.2. La technique électrique :

c'est une technique qui utilise les convertisseurs statiques comme outil de variation de la vitesse. [35]

III.1.3.2.3. La technique hybride :

c'est une technique qui utilise les deux techniques précédentes à la fois afin d'améliorer le rendement de production et de sécurité du système.[35]

III.1.3.conversion d'énergie cinétique du vent en énergie mécanique :

III.1.3.1. loi de BETZ :

La théorie du moteur éolien à axe horizontal a été établie parBETZ.il suppose que « le moteur éolien est placé dans un airanimé à l'infini amont d'une vitesse V1 et à l'infini aval d'une vitesse V2 » (figureIII.4).[34]

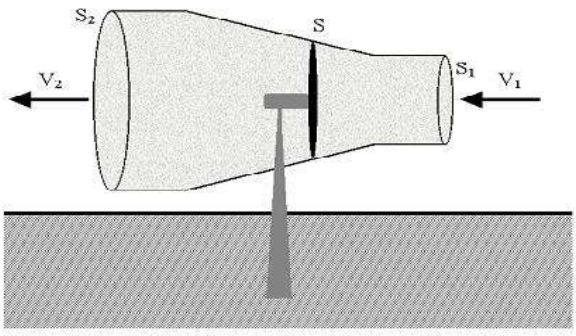


Figure III.4 : Tube de courant d'air autour d'une éolienne.[34]

De la figureIII.4 on peut écrire le principe de l'incompessibilité de l'air et la continuité de l'écoulement :

$$S_1V_1 = SV = S_2V_2 \qquad \text{(III.1)}$$

D'après le théorème d'EULER, La force exercée par l'air suraérogénérateur est donnée par :

$$F = \rho . SV.(V1 - V2) \qquad \text{(III.2)}$$

D'où la puissance absorbée par l'aérogénérateur :

$$P = F.V = \rho . SV.(V1 - V2).V \qquad \text{(III.3)}$$

la puissance absorbée par l'aérogénérateur est aussi égale à la variation de l'énergie cinétique $E_c$de la masse d'air qui le traverse d'où :

$$\frac{\Delta Ec}{\Delta t}=P_{aero}=\frac{1}{2}\rho.\,SV.(V_1^2-V_2^2) \quad \text{(III.4)}$$

On en déduit :

$$V=\frac{V_1+V_2}{2} \quad \text{(III.5)}$$

En remplaçant l'expression de V dans les relations (III.2) et (III.3) on obtient :

$$F=\frac{1}{2}\rho.\,S(V_1^2-V_2^2) \quad \text{(III.6)}$$

$$P_{aero}=\frac{1}{4}\rho.\,S(V_1^2-V_2^2).(V_1-V_2) \quad \text{(III.7)}$$

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse,soit à la vitesse V_1 , la puissance correspondante P_{mt}serait alors :

$$P_{mt}=\frac{1}{2}\rho.\,S.\,V_1^3 \quad \text{(III.8)}$$

On définit le rapport entre les deux puissances C_p(puissance extraite du vent et celle qui est théoriquement disponible)qui est appelé le coefficient de puissance :

$$C_p=\frac{P_{aero}}{P_{mt}}=\frac{\left(1+\frac{V_1}{V_2}\right).(1-(\frac{V_1}{V_2})^2)}{2} \quad \text{(III.9)}$$

Ce coefficient présent un maximum de 16/27 soit 0.59 (figure III.5) .c'est cette limite théorique appelée limite de Betz qui fixe la puissance maximale extractible pour une vitesse d vent donnée.cette limite n'est en réalité jamais atteinte et chaque éolienne est définie par son propre coefficient (figure III.6) de puissance exprimé en fonction de la vitesse relativeλ. [34]

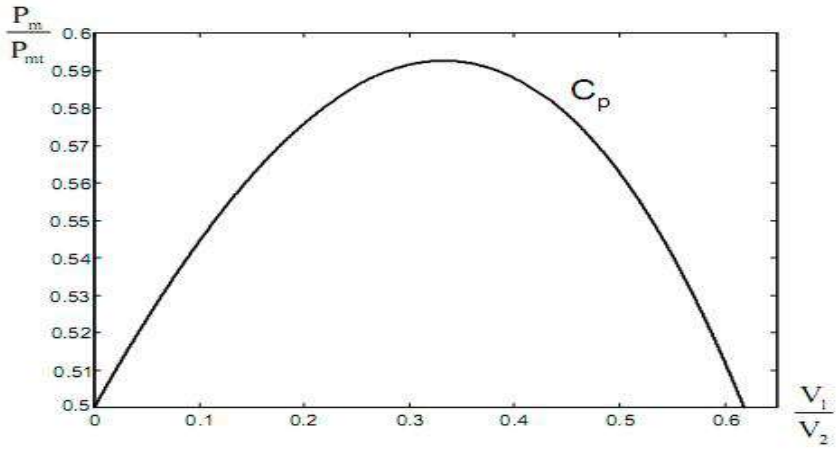


Figure III.5: Coefficient de puissance.[34]

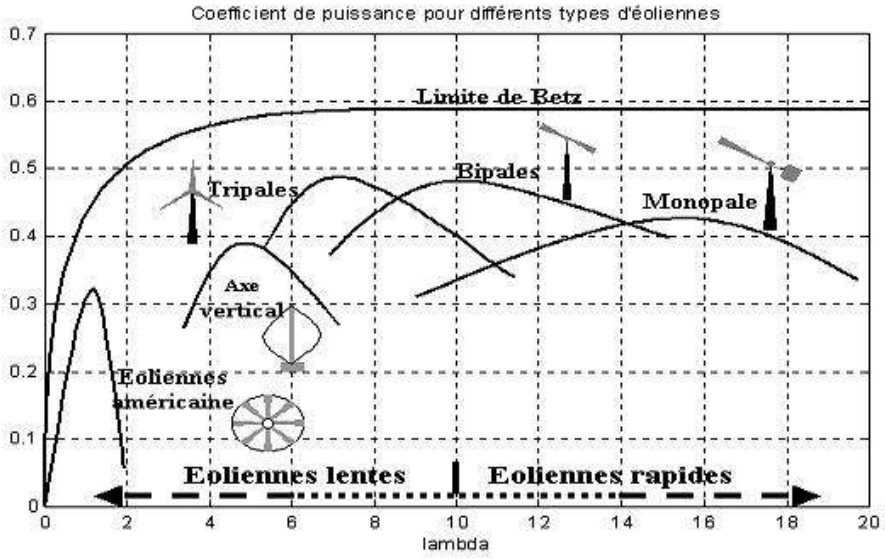


Figure III.6 : Coefficient de puissance pour différents types d'éoliennes.[34]

III.1.3.2. Production d'énergie mécanique :

En combinant les équations (III.8) et (III.9), la puissance mécanique P_{aero} disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur s'exprime ainsi :

$$P_{aero} = \left(\frac{P_{aero}}{P_{mt}}\right) P_{mt} = C_p(\lambda).P_{mt} = \frac{1}{2} C_p(\lambda)\, \rho . S. V_1^3 \qquad \text{(III.10)}$$

Avec :

$$\lambda = \frac{\Omega_{\text{turbine}} \cdot R}{2} \qquad \text{(III.11)}$$

Ω_{turbine} : vitesse de rotation de la turbine (après le multiplicateur).

R=la longueur (rayon) de la pale.

V_1 :la vitesse de vent.

La relation (III.10) permet d'établir un ensemble de caractéristiques donnant la puissance disponible en fonction de la vitesse de rotation du générateur pour différentes vitesses de vent (figure (III.7)).[34]

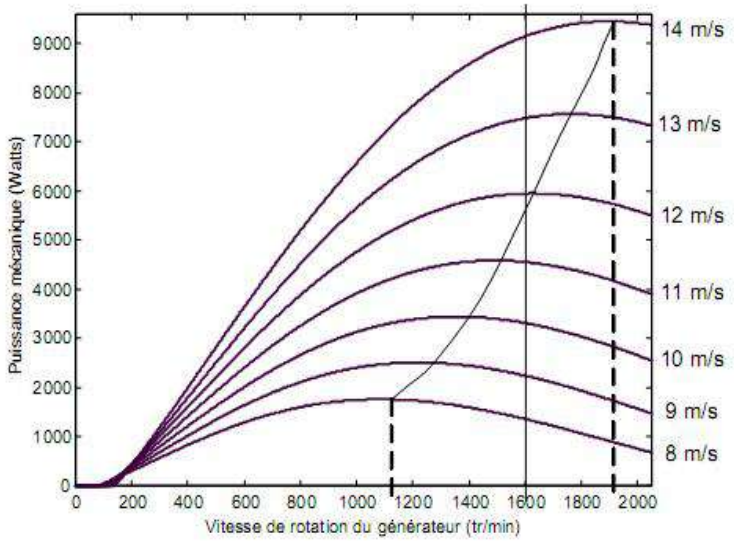


Figure III.7 :la puissance mécanique pour différentes vitesses de vent.[34]

Au vu de ces caractéristiques, il apparaît clairement que si l'éolienne et par conséquent la génératrice fonctionne à vitesse fixe (par exemple 1600 tr/min sur la Figure III.7) les maxima théoriques des courbes de puissance ne sont pas exploités. Pour pouvoir optimiser le transfert de puissance et ainsi obtenir le maximum théorique pour chaque vitesse de vent, la machine devra pouvoir fonctionner entre 1100 et 1900 tr/min pour cet exemple.[34]

III.1.3.3. Production optimale d'énergie :

Dans un système de production d'énergie par éolienne fonctionnant à vitesse variable, on cherchera systématiquement le régime optimal en exploitant les maxima du réseau de courbes de la Figure(III.7). Ce qui signifie que pour un régime de fonctionnement donné (vitesse du vent fixe) on souhaite que la puissance fournie soit maximale ce qui correspond à une valeur de λ donnée appelée λ_{opt}. La vitesse de rotation optimale Ω_{opt} résultante est alors donnée par :[34]

$$\Omega_{opt} = \frac{\lambda_{opt}}{R}.v \qquad \text{(III.12)}$$

La caractéristique correspondant à cette relation est donnée sur la zone II de la Figure(III.8) [9]. La zone I correspond aux vitesses de vent très faibles, insuffisantes pour entraîner la rotation de l'éolienne, et la zone III correspond aux vitesses de vent élevées pour lesquelles la vitesse de rotation de l'éolienne est limitée à une valeur maximale afin de ne pas subir de dégâts.[34]

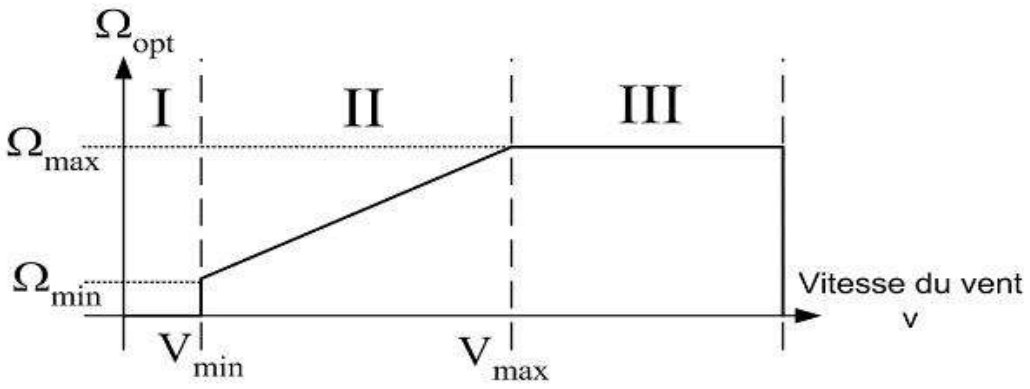


Figure III.8 :les différents zones de fonctionnement d'aérogénérateur .[34]

III.1.4.conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique :

La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique se représente dans la machine électrique et il y a plusieurs types des machines pour faire ce rôle.

III.1.4.1. Systèmes utilisant la machine synchrone :

La caractéristique (couple-vitesse) d'une machine synchrone utilisée en alternateur exige la maitrise du synchronisme entre les deux forces électromotrices rotorique et statorique, elles doivent tourner à la même vitesse, ce qui pose un problème dans l'intégration de cette machine dans un système de production d'énergie éolinne. Une interface électronique entre le stator de la machine et le réseau est systématiquement insérée.

Dans la plupart des cas, le stator de l'alternateur est à base des aimants permanents qui sont plutôt coûteux, surtout ceux qui sont à base des terres rares, et risquent de perdre ses caractéristiques à cause des fortes variations des couples électromagnétiques.

De plus, le convertisseur statique est conÇu pour supporter la totalité de la puissance envoyée au réseau. Donc il nous faut des composants de puissance plus performants. En conséquence, les alternateurs sont abandonnés à cause du coût et des problèmes de l'intégration a un système de production d'énergie éolien (figureIII.9).

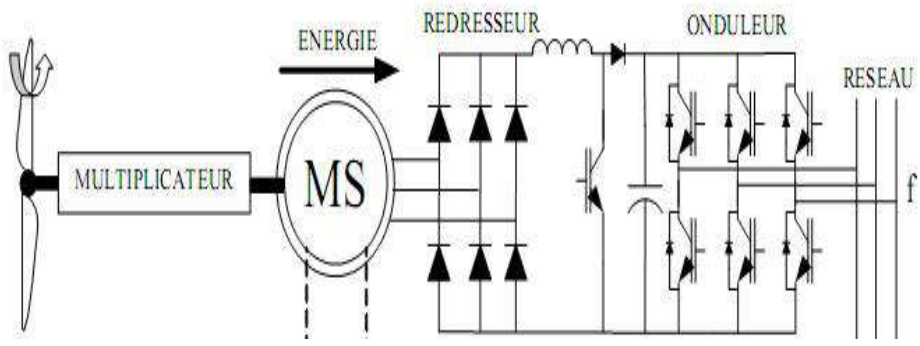


Figure III.9 :éolienne avec machine synchrone.[34]

III.1.4.2. Systèmes utilisant la machine asynchrone :

a. Machine asynchrone à cage d'écureuil :

Grâce à la simplicité et sa robustesse et le faible coût ainsi que l'absence de balais-collecteurs ou de contacts glissants sur des bagues la machine asynchrone rend tout à fait appropriée pour l'utilisation dans les conditions parfois extrêmes que présente l'énergie éolienne.

Quand les vitesses de la machine asynchrone sont au voisinage de vitesse de synchronisme alors il faut ajouter un adaptateur de vitesse (multiplicatur) entre l'arbre de l'hélice éolienne et la machine pour assurer le fonctionnement stable de la machine, et on ajoute les capacités entre le réseau et la machine pour récupérer la puissance réactive qu'a consommée la machine (Figure III.10).[29]

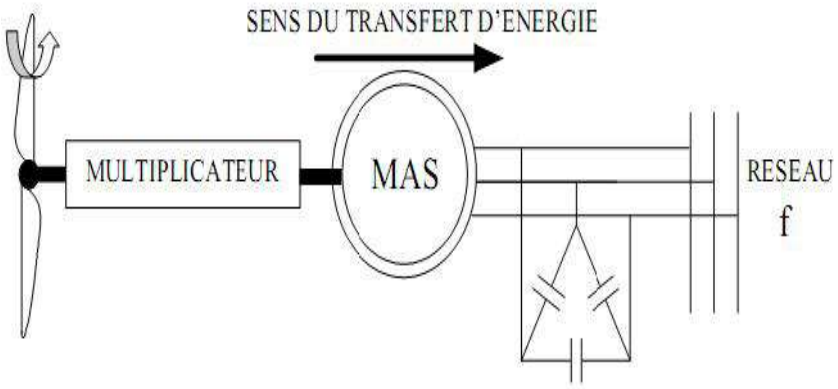


Figure III.10 :éolienne avec machine asynchrone reliée directement au réseau.[34]

b. Machine asynchrone à double stator :

Pour améliorer le rendement du dispositif précédent, certains constructeurs utilisent un système à base de machine asynchrone à double stator (figure III.11).

- Un stator de faible puissance à grand nombre de paires de pôles pour les petites vitesses de vent.

- Un stator de forte puissance à faible nombre de paires de pôles permettant de fonctionner aux vitesses de vent élevées. [29]

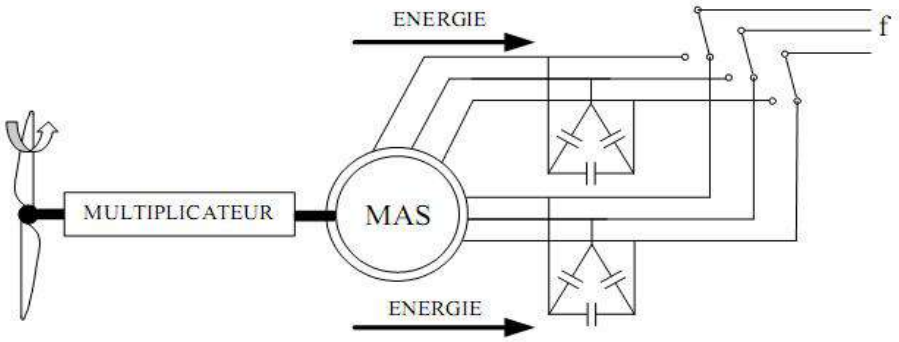


Figure III.11 :éolienne avec machine asynchronedouble stator .[34]

c. Machine asynchrone connectée au réseau par l'intermédiaire d'une interface d'électronique de puissance :

La machine asynchrone double stator est plus lourde et coûteuse alors on utilise une simple machine asynchrone et introduit un convertisseur statique entre la machie t le réseau donc la fréquence de réseau est découplée de la fréquence de la génératrice(figure III.12).

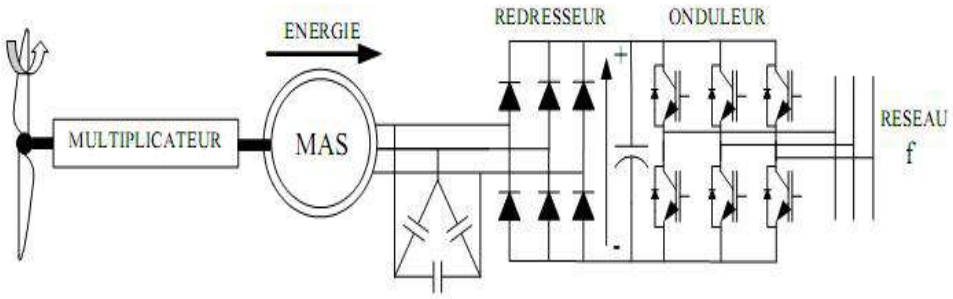


Figure III.12:éolienne avec machine asynchrone et convertisseur électique.[34]

Les convertisseurs statiques sont dimensionnés pour transférer la totalité d'énergie (la puissance maximum d'éolienne), ils représentent donc un coût important, des pertes non négligeables (jusqu'à 3% de la puissance nominale de la machine) et entraînent des perturbations qui nuisent au rendement et à la qualité de l'énergie délivrée.[29]

d. Machine asynchrone à double alimentation « à rotor bobiné » :

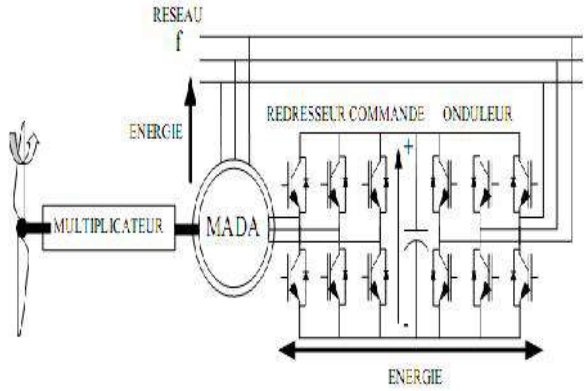
Cette machine a la particularité de posséder deux bobinage : le bobinage du stator destiné au transfert de la totalité de la puissance éolienne ver le réseau ou la charge. La deuxième bobinage de rotor généralement connecté au convertisseur statique (biderectionnel (figure III.13 (a et b)) ou unidirectionnel (figure III.13 (c et d)) pour contrôler la puissance rotorique afin de contrôler la vitesse de la machine.[29]

Pour contrôler la puissance rotorique il y a plusieurs montage :

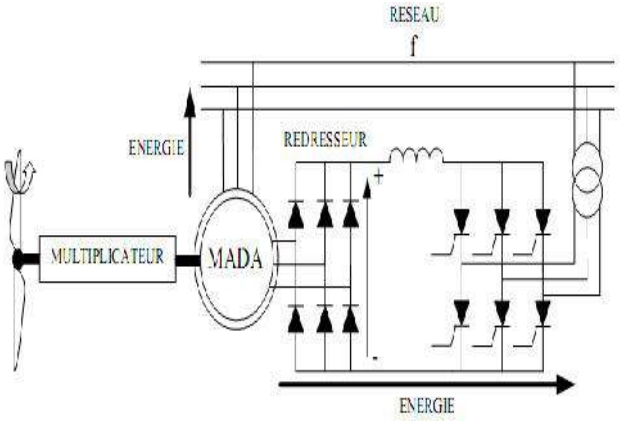
- Par dissipation d'énergie à travers une résistence (figure III.13.d).
- Par la récupération de la puissance rotorique avec convertisseur unidirectionnel (redresseur à diode et onduleur) (figure III.13.c).

- Par la récupération de la puissance rotorique avec convertisseurbiderectionnel (convertisseur MLI (figure III.13.a) ou cycloconvertisseur (figure III.13.b)).

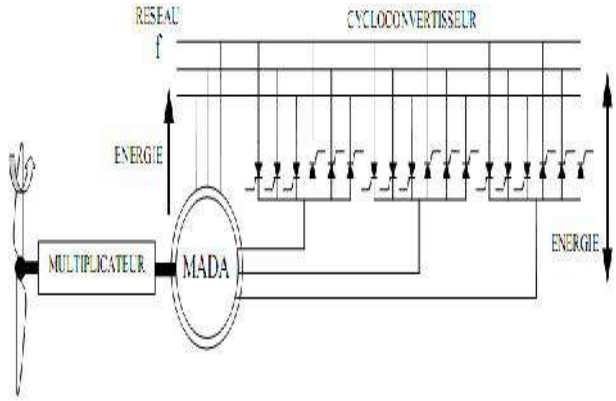
a.



c.



b.



d.

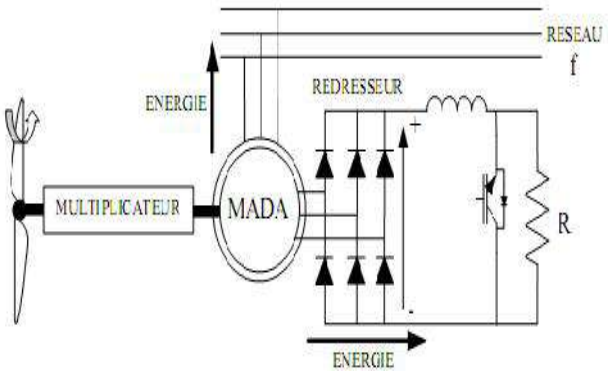


Figure III.13 :les différents convertisseurs électriques utilisées avec l'éolienne qui utilise la MADA.[34]

Dans ce cas, le convertisseur rotorique est dimensionné uniquement pour faire transiter la puissance destinée à la magnétisation de la machine donc il est moins coûteux et moins volumineux.

III.1.4.3. Intérêt de la MADA :

Le principal avantage de la MADA est la possibilité de fonctionner à vitesse variable. Les machines asynchrones à vitesse fixe doivent fonctionner au voisinage de la vitesse de synchronisme car la fréquence est imposée par le réseau. La vitesse du rotor est quasi constante. Le système de la MADA permet de régler la vitesse de rotation du rotor en fonction de la vitesse du vent. En effet la MADA permet un fonctionnement en génératrice hypo synchrone et hyper synchrone. On arrive ainsi à extraire le maximum de puissance possible. L'intérêt de la vitesse variable pour une éolienne est de pouvoir fonctionner sur une large plage de vitesses de vent, et de pouvoir en tirer le maximum de puissance possible, pour chaque vitesse de vent.[50]

III.2.Modélisation et stratégie de commande de la machine asynchrone à double alimentation :

nous avons vu dans le paragraphe précédent que la machine asynchrone à double alimentation possède de bonnes propriétés à l'utilisation éolienne car possède la robustesse de la machine asynchrone simple, elle peut fonctionner à des vitesses variables correspond la variation du vent et elle peut donner des fréquences réglables avec un convertisseur rotorique moins chère et moins volumineux, dans le paragraphe suivant on parle sur la structure de la MADA et leur stratégie de commande. [29]

III.2.1.Structure de la machine asynchrone à double alimentation :

La machine asynchrone à double alimentation présente un stator analogue à celui des machines triphasées classiques (asynchrone à cage ou synchrone), mais le rotor est constitué de trois bobinages connectés en étoile dont les extrémités sont reliées à des bagues conductrices sur lesquelles viennent frotter des balais lorsque la machine tourne (figure III.14).[34]

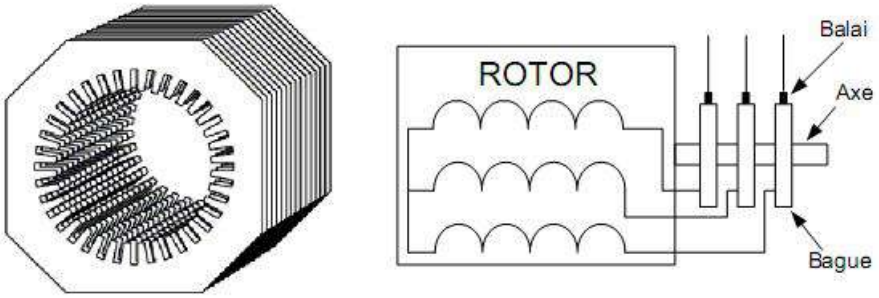


Figure III.14 : la Structure du stator et du rotor de la MADA.[34]

III.2.2.Fonctionnement en génératrice à vitesse variable :

Comme la machine asynchrone classique, la MADA est une machine réversible (moteur/génératrice) mais quand le rotor est un enroulement triphasé on peut le connecter avec un circuit externe et il peut absorber ou fournir l'énergie suivant le mode de fonctionnement de la machine.[29]

Lorsque la machine fonctionne en moteur, la puissance est fournie par le réseau. Si la vitesse de rotation est inférieure au synchronisme, "la puissance de glissement" est renvoyée sur le réseau, c'est la cascade hyposynchrone. En mode moteur hypersynchrone, une partie de la puissance absorbée par le réseau va au rotor et est convertie en puissance mécanique. (1 et 2 de la figure III.15)[34]

En fonctionnement génératrice, le comportement est similaire, la puissance fournie à la machine par le dispositif qui l'entraîne est une puissance mécanique. En mode hyposynchrone, une partie de la puissance transitant par le stator est réabsorbée par le rotor. En mode hypersynchrone, la totalité de la puissance mécanique fournie à la machine est transmise au

réseau aux pertes près. Une partie de cette puissance correspondant à g.P_{MEC} est transmise par l'intermédiaire du rotor.(3 et 4 de la figure III.15)[34]

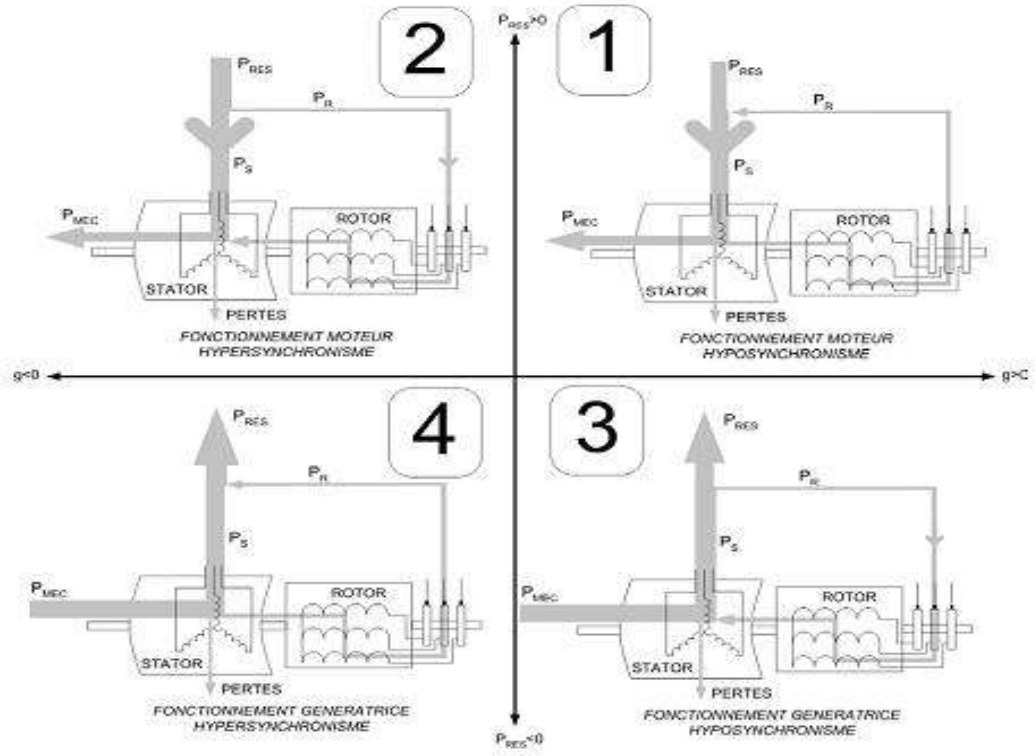


Figure III.15: les quatre quadrants de fonctionnement de la MADA.[34]

Dans l'utilisation éolienne la machine se fonctionne en mode génératrice (hypo/hyper) synchronisme.

III.2.3. Modélisation de la machine asynchrone à double alimentation :

La machine asynchrone à double alimentation est machine asynchrone classique dans le côté stator mais possède un rotor accessible. Donc , le modèle de la MADA est le même que celui de la MAS avec l'exception des tensions rotoriques non nulles (figure III.16.a).

Hypothèses simplificatrices :

Afin d'établir un modèle simple de la MADA, nous avons pris en considération certaines hypothèses simplificatrices à savoir :

- La géométrie de la machine est symétrique.
- Le circuit magnétique est parfaitement feuilleté, au stator et au rotor, la saturation est négligeable.
- La densité de courant est considérée dans la section des coducteur élémentaires.
- Les résistances des enroulements ne dépendnt pas de la tempéraure.
- Les forces magnétomotrices crées par le stator ou le rotor ont une répartition sinusoîdale.
- L'épaisseur de l'entrefer est uniforme.

Equations électriques et l'équation mécanique de la MADA :[00]

On aplique sur le modèle triphasé de la machine (figure III.16.a) la transformation de park liée au champ tournant (figure III.16.b) on obtient les équations suivantes.

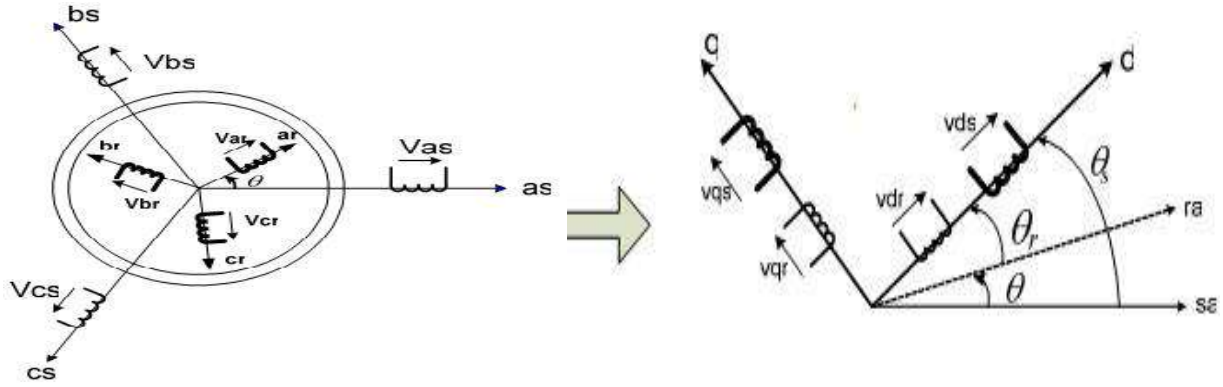


Figure III.16 :représentation de la MADA dans le repére abc (a) et dq (b).

$$\begin{cases} v_{ds} = R_s.i_{ds} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{ds} - \omega_s \Phi_{qs} \\ v_{qs} = R_s.i_{qs} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{qs} + \omega_s \Phi_{ds} \\ v_{dr} = R_r.i_{dr} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{dr} - \omega_r \Phi_{qr} \\ v_{qr} = R_r.i_{qr} + \dfrac{d}{dt}\Phi_{qr} + \omega_r \Phi_{dr} \end{cases} \quad \text{(III.13)}$$

Avec respectivement :

V_{ds} , V_{qs},V_{dr} et V_{qs} sont les fensions statoriques et rotoriques directe et en quadrature du système diphasé.

W_s , W_r et W_{gl}=W_s- W_r sont les pulsations des grandeurs électriques statoriques, rotorique et de glissement.

φ_{ds} , φ_{qs} , φ_{dr} et φ_{qr} sont les flux statorique et rotorique directs et en quadrature du système diphasé. Leurs expressions sont données par :

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s.i_{ds} + M.i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s.i_{qs} + M.i_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_r.i_{dr} + M.i_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r.i_{qr} + M.i_{qs} \end{cases} \quad \text{(III.14)}$$

Avec :

L_r et L_s sont les iductances cycliques statoriques et rotoriques de la machine.

M : l'inductance mutuelle.

L'équation mécanique de la machine est donnée comme suit :

$$C_{em}=C_r+f\Omega+J\frac{d\Omega}{dt} \quad \text{(III.15)}$$

Avec respectivement :

C_{em} : le couple électromagnétique.

C_r : le couple résistant.

f : le coefficient de frottement visqueux de la MADA.

Ω : la vitesse de rotation de l'axe de la MADA.

J : l'inertie des parties tournantes.

L'expression du couple électromagnétique est donnée par la relation suivante :

$$C_{em}=P\frac{M}{L_s}(I_{qr}\varphi_{ds}-I_{dr}\varphi_{qr}) \quad \text{(III.16)}$$

Avec P le nombre de paires de pôles de la MADA.

Les puissances actives et réactives statorique s'écrivent :

$$\begin{cases} P_s = v_{ds}i_{ds}+v_{qs}i_{qs} \\ Q_s = v_{qs}i_{ds}-v_{ds}i_{qs} \end{cases} \quad \text{(III.17)}$$

III.2.4. Commande vectorielle de la MADA :

III.2.4.1. principe de la commande vectorielle :

La commande vectorielle des machines électrique à courant alternatif est une technique qui vise à retrouver le découplage qui caractérise la machines à courant continu à excitation séparée (figure III.17) pour la quelle le courant inducteur contrôle le flux et celui de l'induit contrôle le couple. Pour MADA (génératriceasynchrone double alimentation), on découple la puissance active et réactive de la machine.[29]

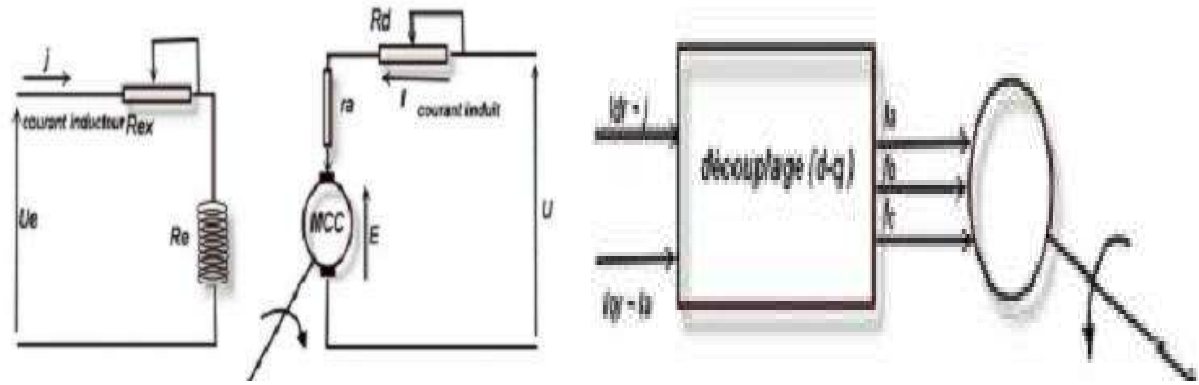


Figure III.17 :le principe de la commande vectorielle.

Pour atteindre le découplage de la puissance active et réactive, il faut orienter (aligner) l'axe d avec le flux statorique.

φ_{qs} = 0on remplace dans l'équation de la tension V_{ds} on obtient :

$$\varphi_{ds} = \varphi_s \qquad \text{(III.18)}$$

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} \qquad \text{(III.19)}$$

Si on néglige la résistance staorique (hypothèse réaliste pour les machine de forte puissance), l'équation (III.19) devient :

$$V_{ds} = \frac{d\varphi_{ds}}{dt} \qquad \text{(III.20)}$$

III.2.5.la régulation indépendante de la puissance active et réactive de la MADA :

III.2.5.1. modèle de la MADA avec orientation du flux statorique :

Pour pouvoir contrôler facilelement la production d'électricité, nous allans intéressé à un contrôle indépendant des puissance active et réactive alors en établissant les équation qui lient les valeurs des tensions et des courants rotoriques générées par un onduleur, aux puissances active et réactve statorique.[29]

En orientant le flux statorique alors en orientant le repère de park pour que le flux statorique de l'axe q soit nul, donc :

$\varphi_{ds} = \varphi_s$ et $\varphi_{qs} = 0$

les expressions de puissances active et réactve :

$$\begin{cases} \mathrm{P} = -V_s \frac{M}{L_s} I_{qr} \\ \mathrm{Q} = V_s \frac{\varphi_s}{L_s} - V_s \frac{M}{L_s} I_{dr} \end{cases} \qquad \text{(III.21)}$$

les expressions de flux :

$$\begin{cases} \varphi_{dr} = L_r I_{dr} + M\left(\frac{\varphi_s}{l_s} - \frac{M}{L_s} I_{qr}\right) \\ \varphi_{qr} = L_r I_{qr} - \frac{M^2}{L_s} I_{dr} \end{cases} \quad \text{(III.22)}$$

les expressions des tensions rotoriques :

$$\begin{cases} V_{dr} = r_r I_{dr} + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s}\right)\frac{dI_{dr}}{dt} - g w_s (L_r - \frac{M^2}{L_s}) I_{qr} \\ V_{qr} = r_r I_{qr} + \left(L_r - \frac{M^2}{L_s}\right)\frac{dI_{qr}}{dt} - g w_s \left(L_r - \frac{M^2}{L_s}\right) I_{dr} + g w_s \frac{M V_s}{w_s L_s} \end{cases} \quad \text{(III.23)}$$

On déduit le modèle simplifié de la MADA qui relié les puissances statoriques active et réactive par les tensions rotoriques (figure III.18).[29]

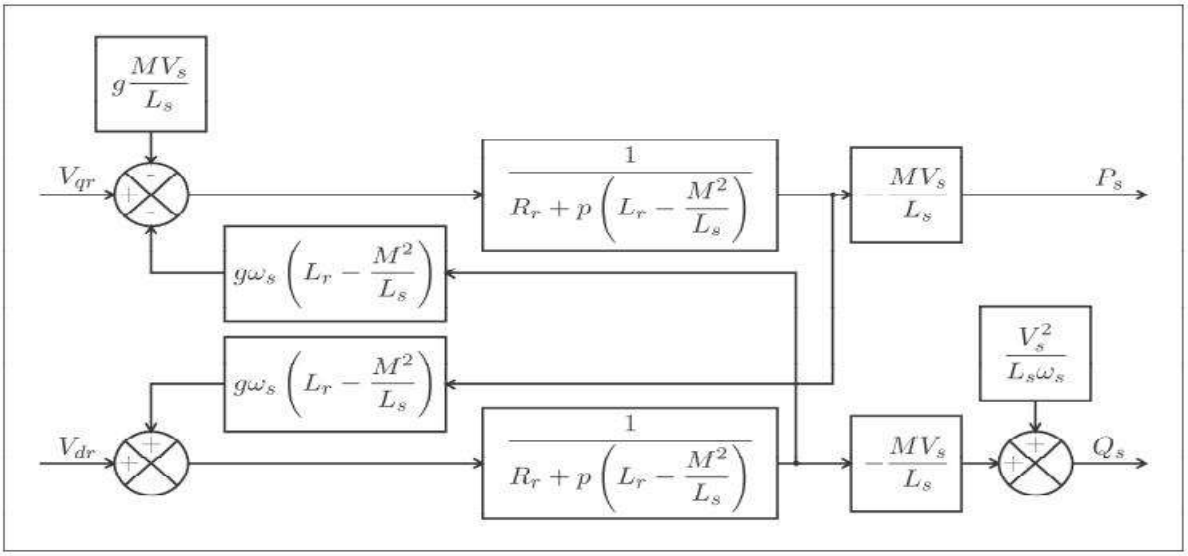


figure III.18 : le modèle simplifié de la MADA.

On remarque que ce modèle simplifié de la MADA (figure III.19) est constitué de deux systèmes de premier ordre couplé entre eux avec le terme $g w_s (L_r - \frac{M^2}{L_s})$ et on peut le népliger et commander chaque système indépendamment de l'autre.

III.2.5. la structure de la commande :

A la basse du modèle établi et selon qu'on compense ou non les termes de couplage, on distingue deux méthodes de commande des puissances de la MADA, à savoir la commande directe et la commande indirecte.[29]

III.2.5.1. commande directe :

Cette méthode est appelée directe car le régulateur est placé directement après le calcule d'erreur entre la puissance de référence et mesurée. Il ya deux structure :

- Sans boucle interne de courant :

Une structure qui ne comporte que des boucles de régulation des puissances (figure III.19), dans cette structure les termes de couplage sont négligés et les tensions rotoriques de référence sont issues directement de la régulation des puissances.[29]

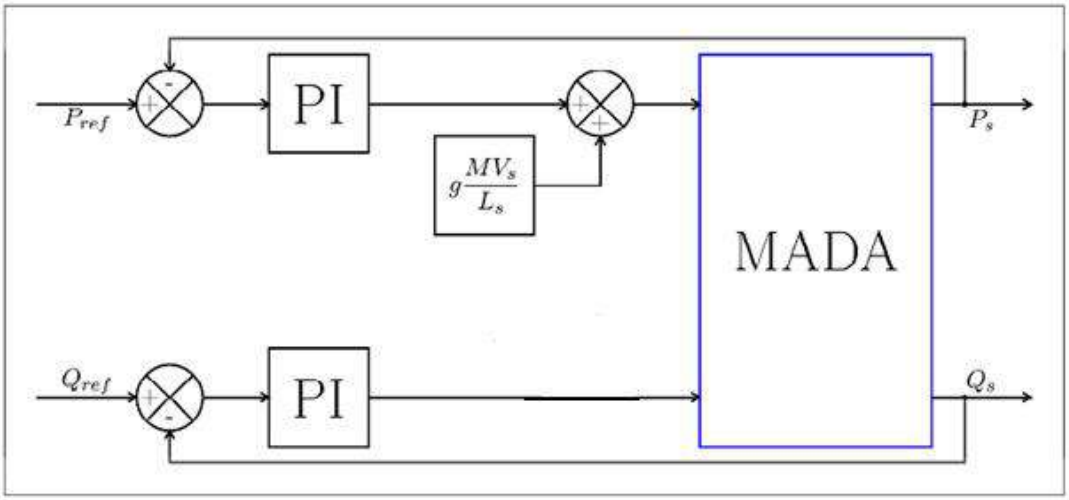


Figure III.19 : la régulation directeSans boucle interne de courant.

- Avec boucle interne de courant :

En ajoutant aux régulateurs des puissances, des régulateurs internes des courants rotoriques. En effet, les courants rotoriques I_{dr} et I_{qr} sont mesurés et régulés et les termes de couplage sont compensés (figure III.20), cette structure permet donc de bien maîtriser la dynamique du système.[29]

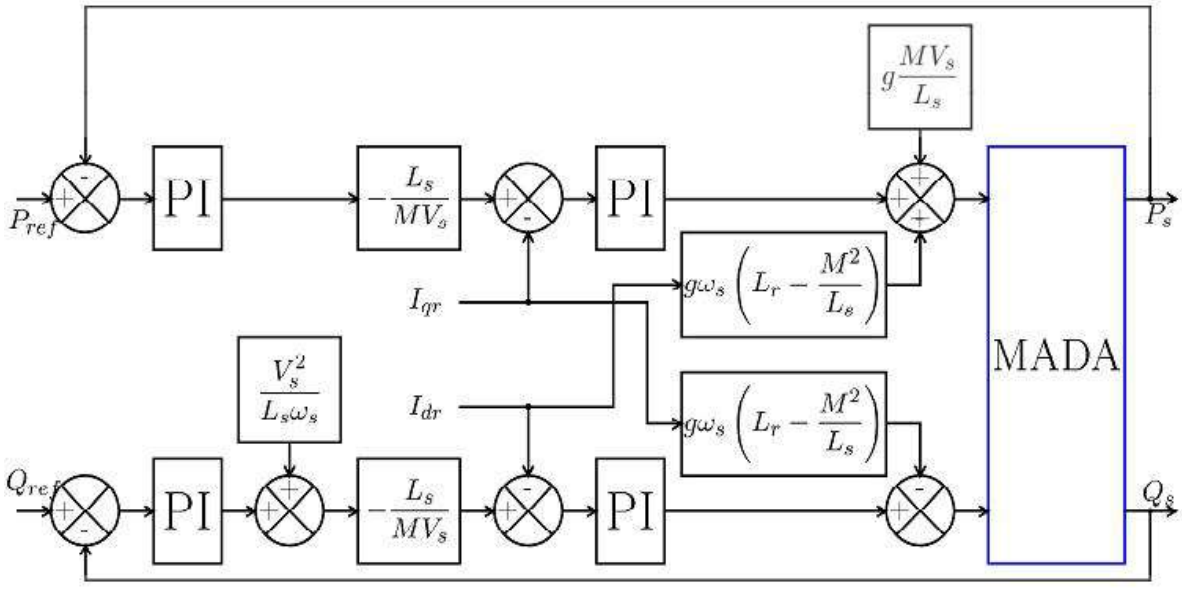


Figure III.20 : la régulation directeavec boucle interne de courant.

III.2.5.2. Commande indirecte :

Cette commande est indirecte car on ne régule pas la puissance directement mais les consignes de puissance active et réactive utilisée pour déduire les consignes des courants rotoriques pour les régules (figure III.21).[29]

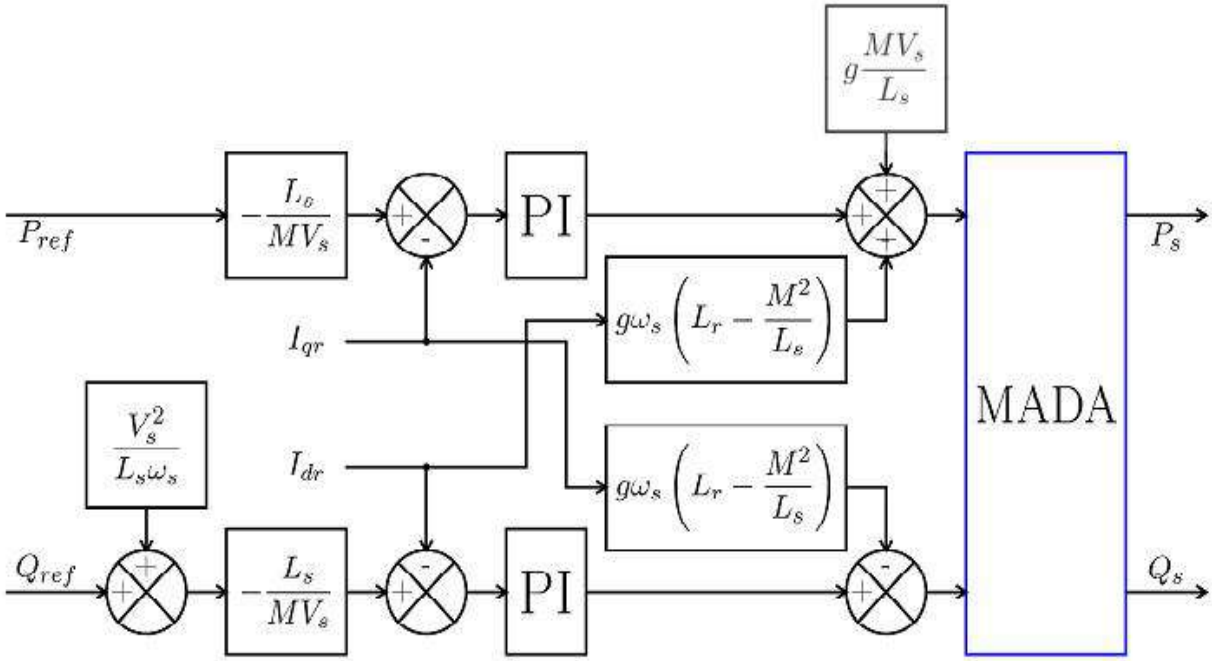


figure III.21 : la régulation indirecte sans boucle externe de la puissance.

III.3. conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre nous avons étudié la production d'énergie électrique grâce à des turbines éoliennes, après un rappel sur la chaîne de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique,les différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement.ainsi que les différents types de MADA qu'on peut rencontrer.

Nous avons ensuite dansla seconde partie du chapitre présenté les machines électriques et leurs convertisseurs associés, adaptables à un système éolien. Deux grandes familles de machines sont présentées : machines asynchrones, machine synchrones.

Dans la troisième partie nous avons aussi développé deux méthodes de commande vectorielle en puissance de la machine à savoir : la commande directe et la commande indirecte. Effectivement nous avons pu voir que la commande directe est la plus simple à mettre en œuvre, mais pas la plus performante.

Introduction

Le système hybride reçoivent une partie de l'énergie d'une ou plusieurs sources comme photovoltaïque, éolien qui sont combinées avec un générateur diesel pour assurer la continuité de la puissance en cas de charge isolée ou connectée au réseau.

En général, le système hybride ou système multi-source se décompose en trois partie :

1ère partie : les sources d'énergie (renouvelable/classique « générateur diessel »).

2ème partie : les bus qui assurent la connexion entre les sources d'un côté et les charges et unités de stockage de l'autre côté.

3ème partie : les charges ou le réseau et les unités de stockage.

IV.1. le stockage dans un système hybride :

IV.1.1. les batteries :

Le mode de stockage d'énergie électrique privilégié actuellement dans notre vie courante reste l'accumulateur. Qu'il s'agisse de téléphones portables ou de voiture, les batteries sont très largement répandues. La technologie est basée sur le concept chimique de pile : on accumule de l'énergie chimique. Fondamentalement, l'élément de base d'une batterie est composé de deux électrodes, jouant les rôles d'anode et cathode, ainsi que d'un électrolyte, en contact avec les électrodes, permettant la circulation des ions, et donc la création d'un courant.[29]

Parmi les nombreuses filières actuellement dévelopées :

Les batteries au plomb : utilisées couramment pour alimenter des installations ne pouvant supporter des coupures d'alimentation électrique (installation photovoltaïques ou hybrides des sites isolées).[29]

Les batteries au nickel-cadmium : largement utilisées sur tous les véhicules électriques.

Cependant, le principal défaut de cette filière réside dans l'utilisation de cadmium, métal lourd et il n'existe pas , malgré tout, de restrictions au niveau européen, compte tenu de la pression exercée par les industriels.

Outes les filières dérivées des batteries au lithium :lithium-ion, lithiumpolymères, lithiummétal-polymères…

Le problème lié au développement de ces filières lithium n'est pas d'ordre technologique, mais plutôt géopolitique puisque les ressources de lithium sont réparties entre 3 pays seulement (Chili, Australie, USA).[29]

IV.1.1.1. modèle électrique simple de la batterie :

Le modèle électrique simple comprend une fem E_0modélisant la tension à vide de la batterie, un condensateur modélisant la capacité interne de la batterie (C_0) et une résistance interne (R_s).[36]

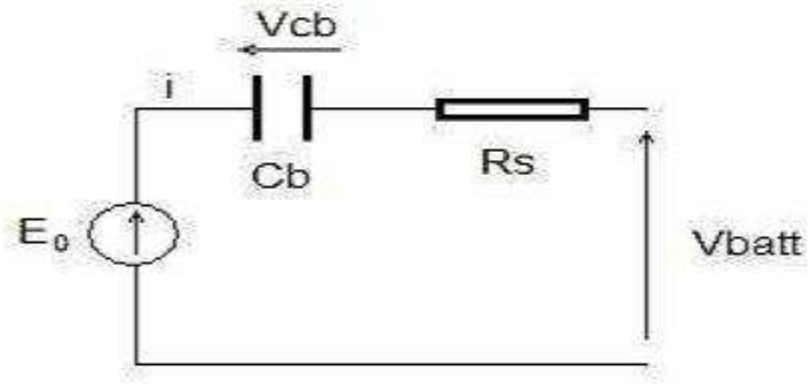


Figure V.1 : Modèle R-C de la batterie.[36]

Nous avons donc :

$$V_{batt}=E_0 - R_s * i - V_{cbatt}$$

On définit également l'état de charge (EDC) de la batterie par :

$$EDC = 1- \frac{Q_d}{C_{bat}}$$

Avec C_{bat} la capacité (Ah) nominale de la batterie et Q_d la quantité de charge manquante par rapport à C_{bat}.

- **le modèle « CIEMAT » :**

Ce modèle est basé sur le schéma suivant (Fig.) où la batterie est décrite par seulement deux éléments, une source de tension et une résistance interne, dont les valeurs dépendent d'un certain nombre de paramètres :[36]

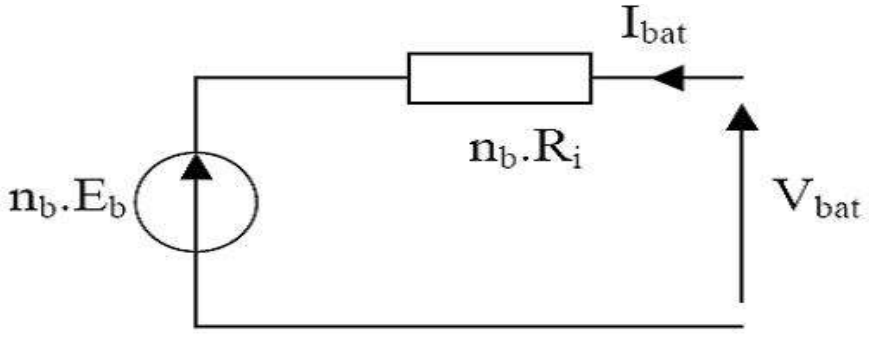


Figure V.2 : Schéma équivalent de nbéléments en série.[36]

Pour $n_b$cellules en séries, nous pouvons écrire l'équation :

$V_{bat}=N_b.E_b+n_b.R_i.I_{bat}$

Où :

V_{bat} et I_{bat} sont la tension et le courant batterie (en convention récepteur),E_b la force électromotrice fonction de l'état de charge de la batterie noté EDC, $R_i$la resistance interne d'un élement .[50]

IV.1.1.2. Équation de la tension en décharge :

$$V_{bat_d} = n_b \cdot [1{,}965 + 0{,}12 \cdot EDC] - n_b \cdot \frac{|I_{bat}|}{C_{10}} \cdot \left(\frac{4}{1+|I_{bat}|^{1.3}} + \frac{0{,}27}{EDC^{1.5}} + 0{,}02 \right) \cdot (1 - 0{,}007 \cdot \Delta T)$$

Où :

Δt est l'echauffement de l'accumulateur)

Le deuxième terme de cette équation montre bien l'influence de la température sur larésistance interne. Dans notre étude, la température de la batterie n'est pas considérée.L'équation nous montre que la résistance interne est directement liée à l'état de chargede l'accumulateur. Lorsque la batterie est chargée, la résistance interne est faible et elledevient importante pour un état d e charge proche de 0, ce qui dégradera fortement le rendement en décharge dans cette zone de fonctionnement. [50]

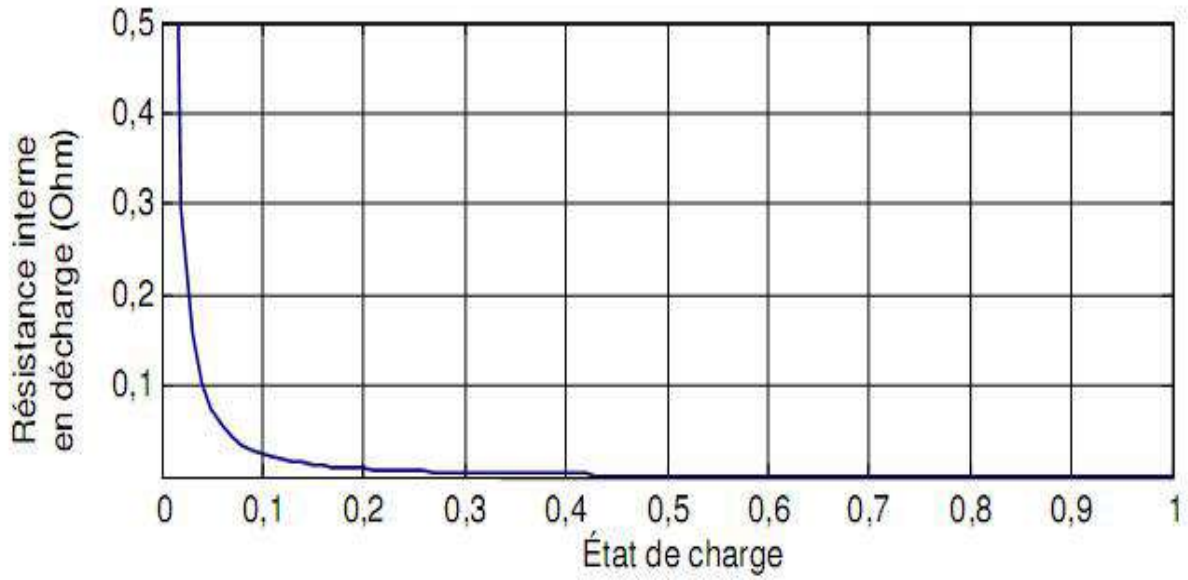


Figure IV.3 : évolution de la résistance de notre batterie en fonction de son état de charge décharge à courant.

IV.1.1.3. Équation de la tension en charge :

$$V_{bat_c} = n_b \cdot [2 + 0{,}16 \cdot EDC] + n_b \cdot \frac{I_{bat}}{C_{10}} \cdot \left(\frac{6}{1 + I_{bat}^{\,0{,}86}} + \frac{0{,}48}{(1 - EDC)^{1{,}2}} + 0{,}036 \right) \cdot (1 - 0{,}025 \cdot \Delta T)$$

En charge, la résistance interne dépend encore de l'état de charge de l'accumulateur électrochimique. Sa valeur devient d'autant plus importante lorsque nous approchons de la pleine charge. Dans un raisonnement à courant constant, il y aura d'autant plus de pertes que nous nous approchons de la pleine charge et le rendement en charge de l'accumulateur sera donc plus faible dans cette zone.[50]

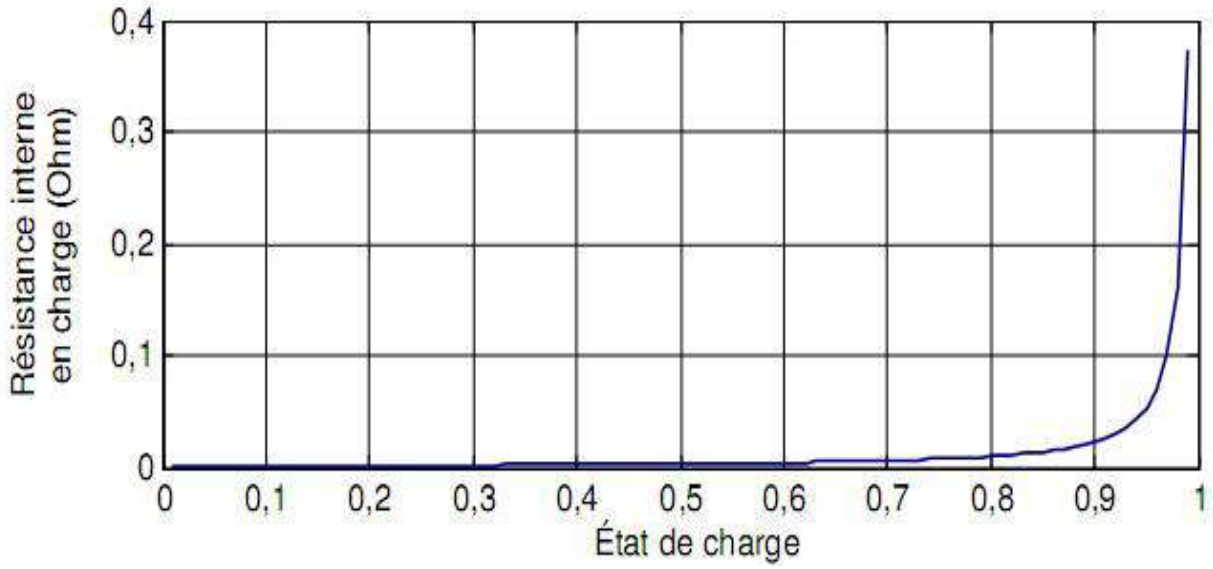


Figure IV.4 : Evolution de la résistance interne de notre batterie en fonction de son état de charge , charge à courant constant.

IV.1.1.4. Rendement de charge et de décharge :

Nous distinguerons deux types de rendements, les rendements coulombiens et lesrendements globaux. Les premiers concernent la capacité de la batterie à emmagasiner de l'énergie, ils ne font pas intervenir les pertes Joules dans la résistance interne.Les rendements globaux tiennent compte des rendements coulombiens et des pertes Joules.[50]

La figure ci-dessous montre l'évolution du rendement en charge et en décharge :[50]

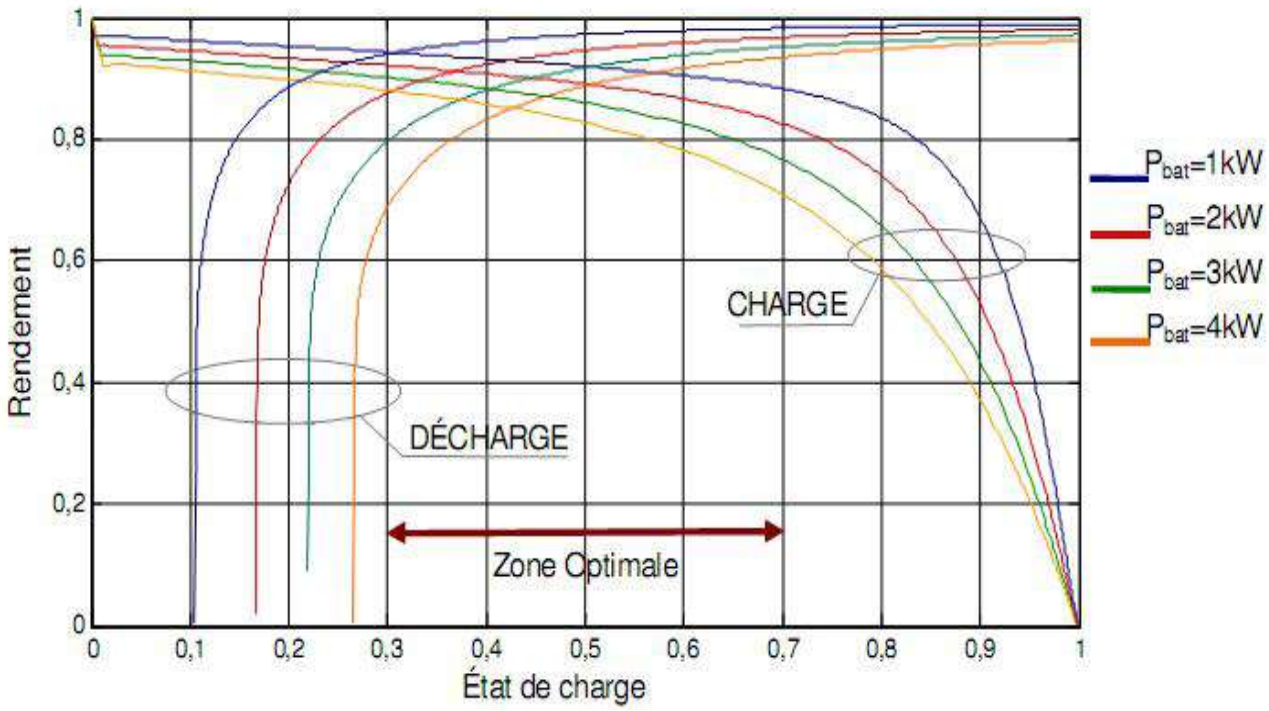


Figure IV.5 : Mise en évidence de l'évolution du rendement global en charge et en décharge, en fonction de l'état de charge, paramétré en puissance.

En charge, le rendement global est d'autant plus faible que l'état de charge est proche de l'unité. Plus la puissance de recharge est importante, plus le rendement est faible.En décharge, le rendement est proche de 100 % pour une batterie completement chargée et tend vers zéro pour un faible état de charge. Nous notons qu'en décharge, nous ne pouvons pas descendre en dessous d'une certaine limite d'état de charge.

Par exemple, pour une décharge à 1 kW, nous ne pouvons pas aller en dessous de 10 % de l'état de charge et pour 4 kW 27 %, car la puissance demandée ne suffit pas à compenser les pertes dans la résistance interne.

Nous pouvons noter qu'il existe une zone de travail à privilégier pour la batterie,globalement entre 30 % et 70 % de l'état de charge qui permet de solliciter la batterie avecdes rendements acceptables.

Nous pouvons en déduire que nous ne pouvons pas exploiter unebatterie électrochimique, à sa pleine puissance, sur toute sa plage d'état de charge. Il enrésulte une perte de potentiel considérable qui est fonction de la puissance souhaitée, end'autres termes de la rapidité de charge ou de décharge.[50]

IV.2. La pile à combustible :

Le principe de fonctionnement d'une pile à combustible est e même que celui d'une pile traditionnelle, en effet, quand l'intérêt pour la pile à combustible s'est réveillé vers la fin des années 1980, les développements ont porté bien davantage sur la pie que sur le combustible. Aujourd'hui, du fait des progrès technologiques obtenus sur la pile, force est de constater qu'un déséquilibre inverse est apparu et que l'on est moins avancé sur le combustible que sur le pile.

IV.2.1. par voie électrostatique :

Le principe de base d'un supercondensateur est le suivant : un électrolyte (conducteur purement ionique,isolant électronique) est placé entre deux électrodes conductrices à très grande surface spécifique, c'est-à-dire à très grande surface de contact entre l'électrode et l'électrolyte. En général, les matériaux utilisés pour les électrode sont des grains de carbone (charbon acticé, fibres de carbone, aérogels de carbone…) ou des polyméres conducteurs qui ont des surfaces spécifiques pouvant atteindre plusieurs milliers de m2 par gramme de matière. Lorsqu'on appliue un champ électrique entre les électrodes, des ions positifs et négatifs se déplacent dans l'électrolyte et forment à la surface de chaque électrode une couche de charges électriques, appelée double couche (voir figures 3 et 4). Comme cette surface est très grande, la quantité de charges accumulées est bien plus importante que dans le cas de condensateurs classique. L'énergie volumique stockée est d'ailleurs comprise entre 1 et 10 KWh/m^3 contre 0,1 à 1 KWh/m^3 pour les condensateurs ou hypecondensateurs. Comme il n'y a pas de réaction chimique à la surface des électrodes, la longévité (ou cyclabilité) est beaucoup plus élevées ici (100 000 à 500 000 cycles de charge/décharge) que pour la voie électochimique étudiée précédemment (300 à 1500 cycles).[29]

Cependant, pour obtenir des sytèmes exploitables, il faut mettre en série un grand nombre de cellules pour aboutir à une tension de stockage élevée.

IV.2.2. Par voie électromagnétique :

Un des supports de la filière de stockageélectromagnétique est la bobine supraconductrice. Le prinipe de fonctionnement est assez simple : un courant parcourant un bobinage engendre un champ magnétique, auquel est associée une énergie magnétique, fonction de l'iductance de la bobine et du volume magnétisé. La particularité de cette bobine est qu'elle a une résistance nulle audessous d'une certaine température critique, caractéristique du matériau. En conséquence, si le bobinage est fermé, le courant se maintient et il n'y a pas de dissipation d'énergie par effet Joule : celle-ci reste stockée sous forme magnétique.[29]

Il existe deux catégories de supraconducteurs :

- Basse température : cette technique met en jeu des conducteurs fonctionnant à 4k, en présnce d'un champ magnétique de 5T.
- Haute température : celle-ci a connu un développement très récent. Les matériaux mis en jeu sont utilisables sous 10T, à des températures variant de 20 à 30k.[29]

IV.3. les différentes topologies du système hybride pour une charge isolée :

IV.3.1. Architecture à bus AC :

De nouvelles approches sont proposées pour améliorer la modularité par un cuplage AC (toute l'énergie convrge vers un même bus AC). Toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs sauf le générateur diesel qui peut fixer la fréquence de bus.[27]

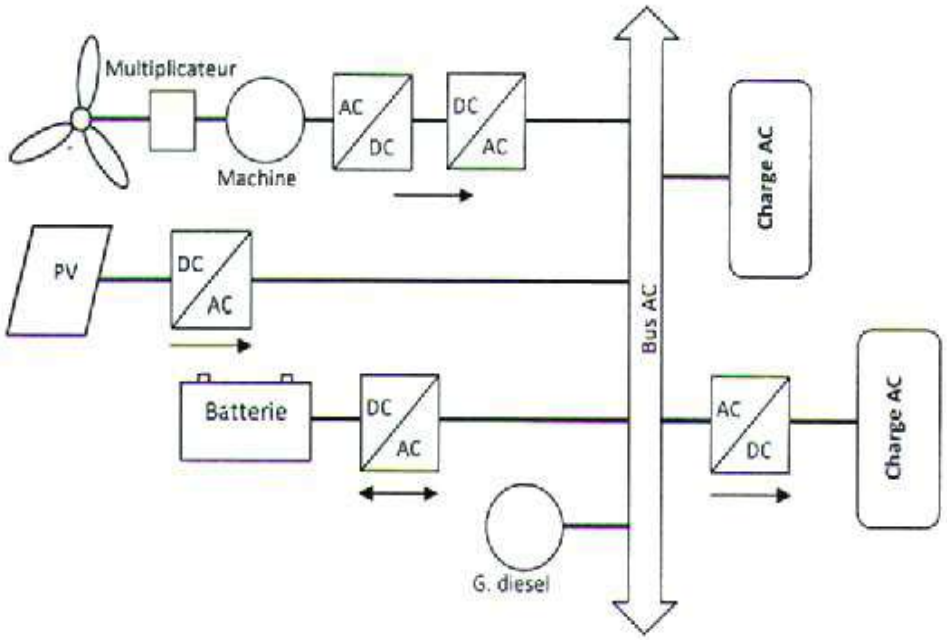


Figure IV.6 : la structure à bus AC d'un système hybride (charge isolée).[29]

Un couplage de tous les consommateurs et de tous les générateurs du côte AC (figure IV.1) permet désormais de réaliser des systèmes flexibles constitués de composants modulaires. En fonction de l'application et des sources d'énergie disponibles, il est possible d'intégrer différents sources énergétiques, aussi bien renouvelables que conventionnelles.

Ces structres peuvent être utilisées pour l'alimentation de tous les consommateurs électriques, y compris dans les régions rurales des pays en voie de développement et des pays nouvellement industrialisés dans lesquels l'électricité, l'approvisionnement en eau et la purification de l'eau potable sont des besoins vitaux.[27]

IV.3.1.1. Avantages :

- Un découplage des différents sources de production, ce qui permet d'agir de façon assez indépendante les unes sur les autres.
- Le générateur diesel peut fixer la tension et la fréquence du bus (AC).
- La fréquence peut être utilisée comme moyen de contrôle.[27]

IV.3.1.2. Inconvénients :

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
- La connexion de toutes les sources sur un bus à AC complique le système de commande.
- Les charges continues pouvaient être connectées directement sur les sources continues ou en utilisant un redresseur.[27]

IV.3.2. Architecture à bus DC :

Cette technologie est née du besoin de coupler des consommateurs AC (plage de puissance moyenne) avec des générateurs CC et, de plus, de charger la batterie du côté CC.

Ces configuration d'instalation servent à l'alimentation de consommateurs éloignés (par exemple : petites entreprises ou fermes). La plage de puissance globale est située entre 1 et 5 KW, la tension CC allant de 12 à 48 V.[27]

Dans un couplage CC toute l'énergie converge vers un bus CC.

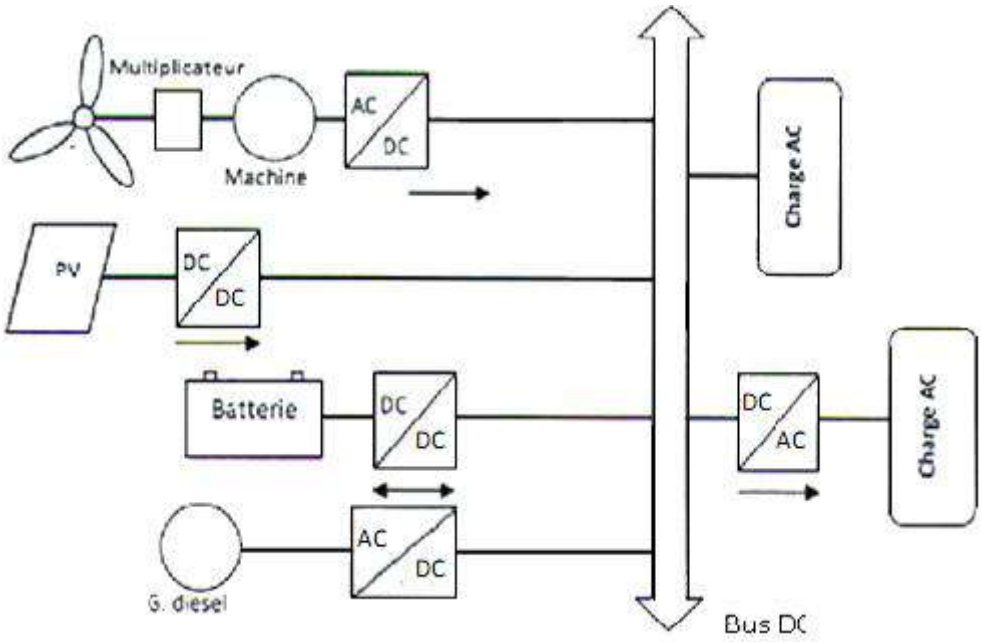


Figure IV.7 : la structure à bus DC d'un système hybride (charge isolée).[29]

Dans le système hybride présenté dans la figure (IV.7), la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les système de conversion d'énergie à AC fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Le ou les générateur(s) diesel(s) sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à AC.les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à AC directement. L'onduleur doit alimenter les charges à AC à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence.[27]

IV.3.2.1. Avantages :

- La connexion de toutes les sources sur un bus à DC sipmlifie le système de commande.
- Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusq'à un état de charge de 75 à 85%.[27]

IV.3.2.2. Inconvénients :

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
- Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pile de charge.[27]

IV.3.3. Architecture mixte DC-AC :

La configuration à deux bus, à DC et à AC, celle-ci a des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure (un couplage DC).

Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de charge à AC directement, ce qui permet d'augmenter le rendement du système et de réduire la puissance nominale du groupe diesel et de l'onduleur. Le ou les générateur(s) diesel(s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant les tensions en sortie, les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion continue-alternative (fonctionnement onduleur) (figureIV.3).l'onduleur bidirectionnel peut alimenter les pics de charge quand legénérateur diesel est surchargé.[27]

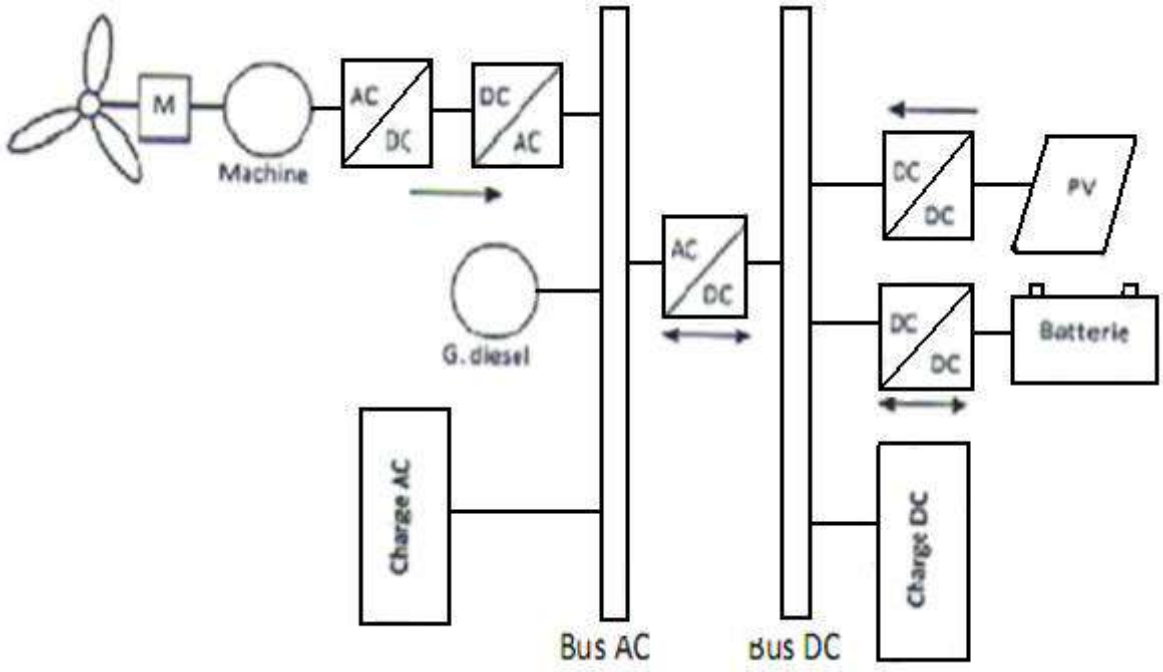
Pour les systèmes hybrides ayant une puissance en-dessous de 100 KW, la connexion mixte, bus à AC et bus à DC, avec des batteries de stockage, est très répandue.

IV.3.3.1. Avantages :

- Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.
- La disponibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système d'alimenter les pics de charge.[27]

IV.3.3.2. Inconvénients :

La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle (l'onduleur doit être capable de fonctionner en autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en sortie avec les tension en sortie du GD).[27]



FigureIV.8: la structure à bus mixte d'un système hybride (charge isolée).[29]

IV.3.4.la stratégie de commande et le MPPT du système hybride :

Dans les deux chapitres précédents nous avons vu comment assurer le MPPT de chaque système indépendamment.

Dans le système photovoltaïque, on cherche le point optimal (la tension optimal) par l'agitation sur le convertisseur DC/DC, et dans le système éolien on cherche lavitesse optimal de la MADA pour fournie la puissance maximale par l'agitation sur le convertisser rotorique AC/DC.

Dans ce chapitre on cherche le MPPT du système hybride (PV+éolien) dans les deux cas :Si le système est connecté au réseau ou une charge isolée.[29]

IV.3.4.1. le MPPT dans le système connecté au réseau :

Le but de système hybride connecté au réseau c'est de fournir la puissance maximale dans tous les cas selon les condition d'environnement, et le rôle de stockage c'est le lissage de cette puissance.[29]

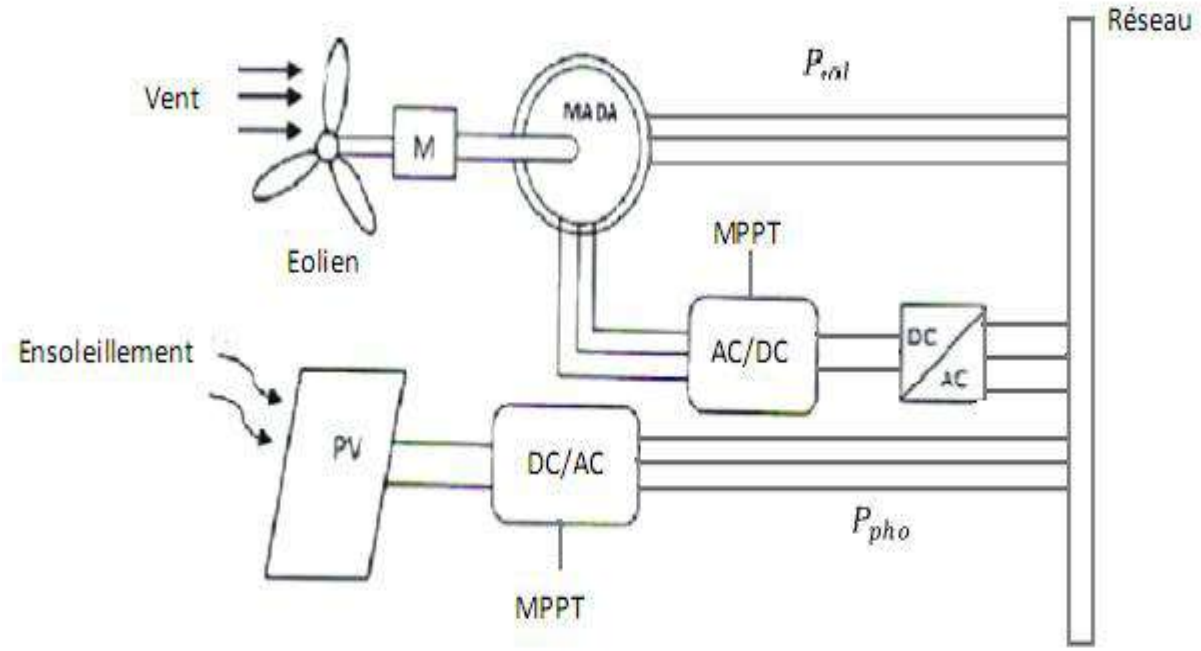


Figure IV.9 : la stratégie de commande d'un système hybride connecté au réseau.[29]

$$P_{tot} = P_{éolinne(max)} + P_{photovoltaïque(max)}$$

Avev :

P_{tot} (la puissance totale qui va fournir au réseau).

IV.3.4.2. système connecté à une charge isolée :

Le but de système c'est de fournir la puissance qui besoins par la charge suivant les variations de la charge et les conditions d'environnement et la puissance surplus est stockée dans les unités de stockage (batteries).[29]

IV.4. le système hybride à étudier :

le système hybride que l'on propose dans ce chapitre est constitué de deux sources d'énergies, photovoltaïque et éolienne sont reliées en paralléle au bus DC à travers des convertisseurs statique (figureIV.10).[29]

le stockage se fait par des batteris électrochimique.

La charge est une charge continue (résistance) reliée au bus DC à travers une convertisseur DC/DC.

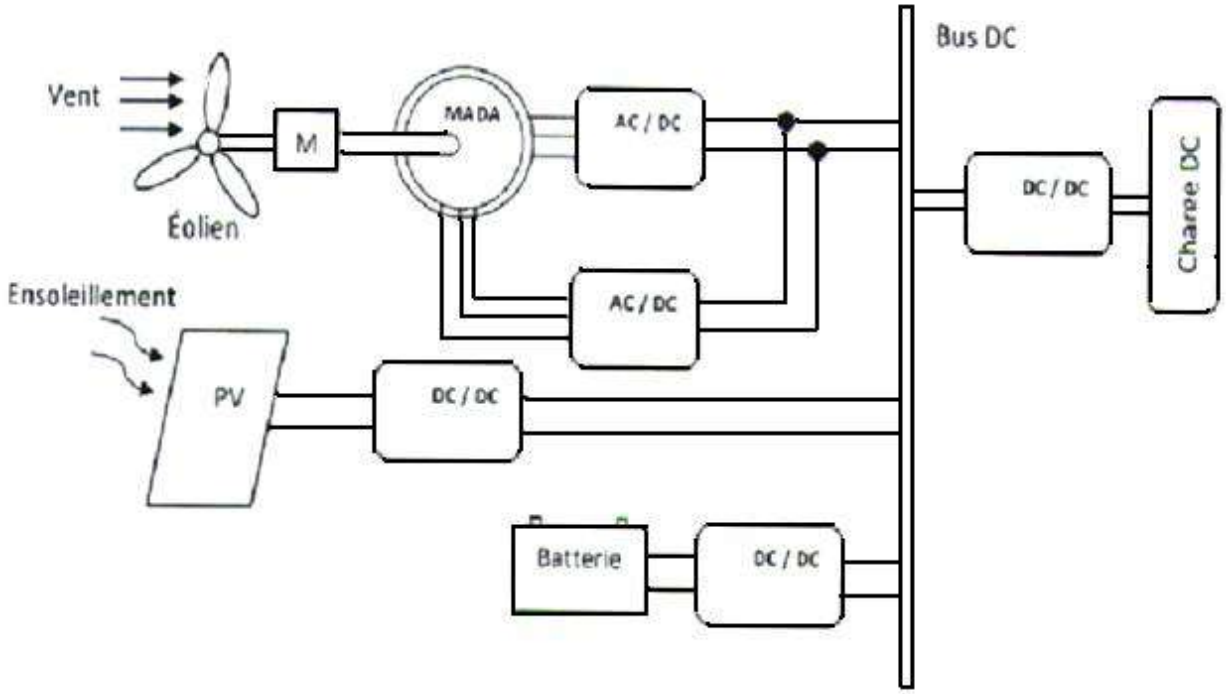


Figure IV.10 : système hybride à bus DC avec une charge résistive (continue).[29]

IV.4.1.La simulation du système hybride avec une application du MPPT :

Dans notre simulation on fait une hybridation entre les deux sources d'énergie avec une charge résistive variable et les batteries pour le stockage (figureIV.7). le système se compose de :[29]

IV.4.1.1.les sources d'énergie :

- Ensemble des panneaux photovoltaïque reliés en série et en parallèle qui possèdent les caractères suivants :
- Un générateur éolien utilisant une machine MADA de puissance [29]

IV.4.1.2. le stockage :

Pour le stockage, on utilisant un bank de batteries.

IV.4.1.3. les convertisseurs statiques :

On utilise les convertisseurs statiques suivants :

- Le convertisseur statique DC/DC (buck-boost) entre le générateurphotovoltaïque et le bus continu son rôle est réalisé le MPPT du PV.
- Le convertisseur statique AC/DC (redresseur) entre le stator de la MADA et le bus continu, il assure l'écoulement d'énergie dans un seul sens (de la MADA vers le bus continu).

- Le convertisseur statique AC/DC (redresseur MLI) entre le rotor et le bus continu pour commander la MADA en puissance.
- Le convertisseur DC/DC (buck-boost réversible en courant) pour contrôler la charge et la décharge desbatteries et maintenir la tention du bus continu contante.
- Le convertisseur DC/DC (buck-boost) entre le bus continu et la charge résistive pour contrôler l'écoulement d'énergie vers la charge et maintenir la tension à la borne de la charge fixe.[29]

IV.4.1.4. le bus continu :

Le bus continu assure le couplage entre les sources d'énergie,les batteries et la charge, en modélisant le bus continu comme un capacité, et chaque convertisseur statique qui sont reliés avec lui exerce une influence par le courat (figureIV.6).

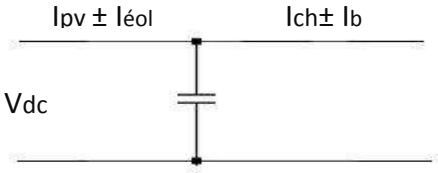
Avec :

I_{pv} : le courant de G photovoltaïque.

$I_{éol}$:le courant de G éolien=$P_{éol}/V_{dc}$.

I_b : le courant de charge et décharge de la batterie.

I_{ch} : le courant de la charge R.



Il est important de fixer la tension du bus continu Vdc pour assurer le fonctionnement correcte des organes qui sont attachés à lui, pour maintenir Vdc=cte on régule le courant Ib (courantde charge et décharge) de la batterie par le convertisseur DC/DC entre le bus et la batterie.[29]

IV.4.1.5. la charge :

La charge est une résistance (une charge continue), elle se consomme une puissance Pc=Vc*Ic.

La charge est reliée au bus continu par un convertisseur DC/DC. Le rôle de ce convertisseur est d'assurer une tension fixe (tension nominale) à la borne celle-ci .

Le but de ce système est de fournir la puissance nécessaire qui demandée par la charge (charge isolée). Pour assurer ce fonctionnemet, il faut : [29]

- Algorithme de commande.
- Dimensionnement du système.

IV.4.2. Algorithme de commande du système hybride :

Il faut choisir un algorithme pour gérer les flux d'énegie dans ce système suivant les conditions variables de l'environnement et la demande aussi variable de la charge.[29]

Dansla 1^{er} cas : le chargement de la batterie :

Dans le cas ou la batterie doit être chargée, il faut que la somme des puissances maximales de deux sources est plus grande que l'énergie demandée par la charge.[29]

La stratégie de commande (figureIV.8) soit :

- On charge la batterie par l'énergie du surplus :

On a :

$$I_b * V_{dc} = (P_{eol_max} + P_{pv_max}) - V_c^2/R$$

avec :

P_{eol} :la puissance d'éolien.

P_{pv} : la puissance du générateur photovoltaïque.

V_{dc} : la tension du bus continu.

V_{pv} :la tension du générateur photovoltaïque.

V_c : la tension aux bornes de la charge R=100 ohm.

La puissance de la charge de la batterie est :

Ou :

I_b : le courant d'entré du convertisseur DC/DC entre le bus et la charge.

- Si la batterie est chargée alors il faut la déconnecter et minimiser la puissance de référence du générateur éolien à :

$$P_{eol} = P_{pv_max} - V_c^2/R$$

Si : $P_{pv_max} > V_c^2/R$ alors $P_{pv_ref} = V_c^2/R$.

Ou :

P_{pv_ref} :la puissance de référence de générateur photovoltaïque.

Dans la $2^{ème}$ cas : le déchargement de la batterie :

Dans le cas de $P_{eol_max} + P_{pv_max} < V_c^2/R$ (la consommation est supérieure a la puissance fournie par les deux sources) avec la batterie est chargée, on la déchargée par l'énergie :[29]

$$I_b * V_{dc} = (V_c^2/R) - (P_{eol_max} + P_{pv_max})$$

Si la batterie atteint la décharge approfondie, on débranche la charge, et on charge la batterie par l'énergie :

$$P_{eol_max} + P_{pv_max}$$

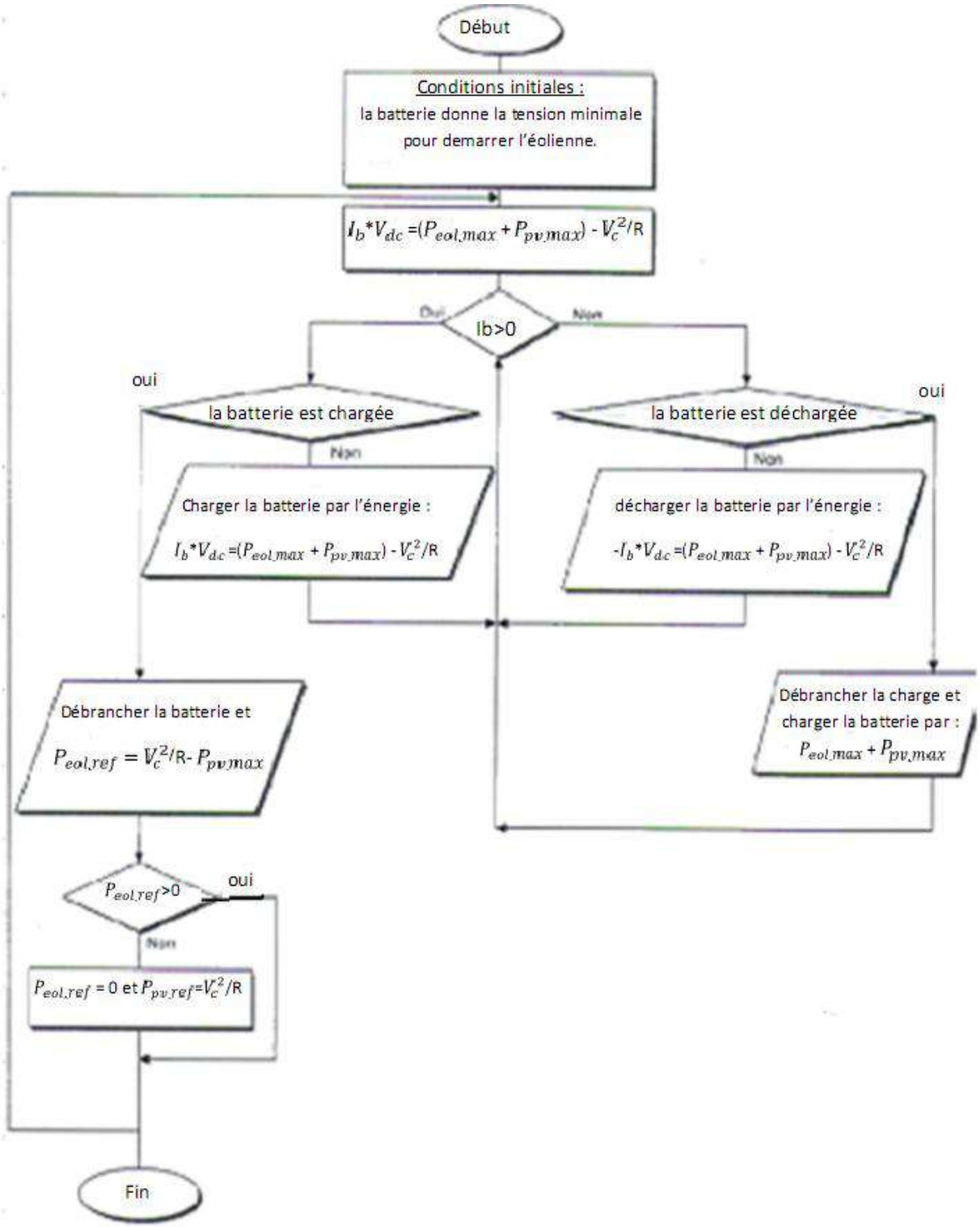


Figure IV.11 : Algorithme de la commande. [29]

IV.5. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une description général des systèmes hybride.

Tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes. Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages, les inconvénients et les limites d'utilisation des ce systèmes.

V.1. Dimensionnement du système :

V.1.1. Présentation de l'outil de simulation :

Etant donné que les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie, sont influencées en partie par sa conception, c'est-à-dire le Dimensionnement des composants, le type de composante, l'architecture etc., et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ses performances sont :l'économie de carburant, le coût du KW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien etc.

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement et de simulation des SEH :

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel HOMER pour le dimensionnement du système SEH.

Le logiciel HOMER est un modèle informatique qui simplifie le dimensionnement de systèmes hybrides pour des applications en sites isolés ou raccordés réseau. HOMER exécute trois tâches : simulation, optimisation et analyse de sensibilité.

Il permet d'évaluer la faisabilité économique et technique d'un grand nombre de combinaisons technologiques en prenant en compte les variations des coûts technologiques et la disponibilité de la ressource énergétique.

Les sous-systèmes pouvant être utilisés par HOMER sont les suivants : PV, éolien, micro-hydraulique, électrolyseur, batterie, PAC et réservoir d'hydrogène. Dans son processus de simulation, HOMER détermine la faisabilité technique et le coût de fonctionnement, en utilisant des données horaires d'une année météorologique moyenne. Pour effectuer le bilan énergétique, HOMER compare l'énergie électrique et thermique capable d'être fournie à celle demandée pour chacune des heures de l'année. Les résultats sont les flux énergétiques, au pas de temps horaire, en entrée ou en sortie de chaque composant du système. Pour les systèmes qui incluent des batteries ou des réservoirs d'H2 , HOMER décide à quel moment ces sous-systèmes doivent être chargés ou déchargés.

Dans son processus d'optimisation, HOMER simule toutes les configurations de systèmes possibles, renonce à celles qui ne satisfont pas les contraintes définies, et affiche une liste des systèmes réalisables en les classant selon leur coût de fonctionnement et trouve celui qui satisfait les contraintes techniques au plus bas coût. Le processus d'optimisation est particulièrement utile pour déterminer la taille optimale de chaque composant du système. Pour limiter la complexité de saisie des données d'entrées et afin de permettre un processus TRNSYS.

V.1.2. Présentation du 1er site d'application :

V.1.2.1. L'emplacement du système hybride :

Pour cette étude, une localisaion géographique est considérée : Adrar

Les coordonnées des sites d'Adrar :

Latitude: 28 degrés et 27 minutes Nord

Longitude: 0 degrés et 2 minutes Ouest

Le temps de la zone: GMT +1:00

V.1.2.2. Estimation des ressources énergétique solaire et éolienne :

L'étape essentielle dans la conception d'un système couplé est la détermination de sa taille optimale qui dépend essentiellement des données climatique du cite. Généalement, on uilise les moyennes mensuelles des données climatiques et / ou une estimation du nomdre de jours consécutifs de faible ressource climatique (vent, irradiation solaire) pour déterminer la surface de l'aérogénérateur, la taille des panneaux photovoltaïque et la capacité des batteries. Or, le comportement dynamique du système couplé vis-à-vis de la nature stochastique de l'irradiation solaire influe d'une manière remarquable sur la taille du système nécessaire pour une application déterminée. L'analyse des ressources locales (vitesse du vent éclairement), requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site. Pour créer une bse de référence pour notre étude nous avons choisi d'dopter des données pertinentes des mesures technique faites pendant une année. [27]

V.1.2.3. Analyse du potentiel energétique solaire et éolien disponible a adrar :

Adrar est doté d'un fort potentiel de rayonnement solaire, et la région est caractérisée par une saison d'été très chaude (Juin - Septembre) avec une température moyenne mensuelle qui dépasse les 36 °C. Les valeurs moyennes mensuelles journalières de l'irradiation globale sur plan horizontal et incliné (à la latitude) sont représentées dans la figure (V.1).

L'irradiation moyenne journalière sur plan horizontal est importante sur la période avril - août, comparativement aux autres mois de l'année, elle dépasse les 7 kWh/m^2.jour durant les mois de mai et juin. Remarquant que durant la période avril - août, l'irradiation sur le plan horizontal est plus importante que sur le plan incliné.

Du même pour le gisement éolien, en se basant sur les données moyennes journalières de vitesse du vent mesurées dans la forme de la période février 2004 à décembre 2009 au site d'adrar, la vitesse moyenne mensuelle est représentée dans la figure (V.2). On peut constater que le site d'Adrar est doté aussi d'un gisement éolien considérable avec une vitesse moyenne annuelle du vent de l'ordre de 6.529 m/s pour une hauteur de 10 mètres et une vitesse moyenne mensuelle généralement élevée pendant la période estivale juillet - septembre dépassant les 6.5 m/s. Ceci prouve clairement que le site d'Adrar est bien adapté pour une production de l'énergie éolienne.

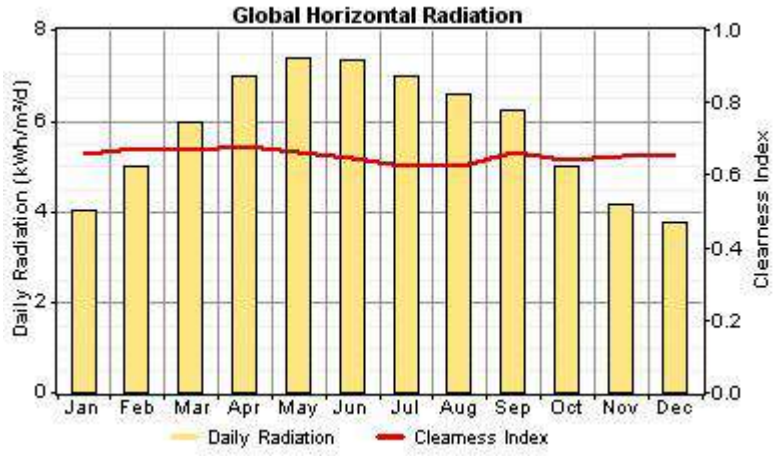


Figure V.1 : Irradiation globale moyenne mensuelle du site d'Adrar.

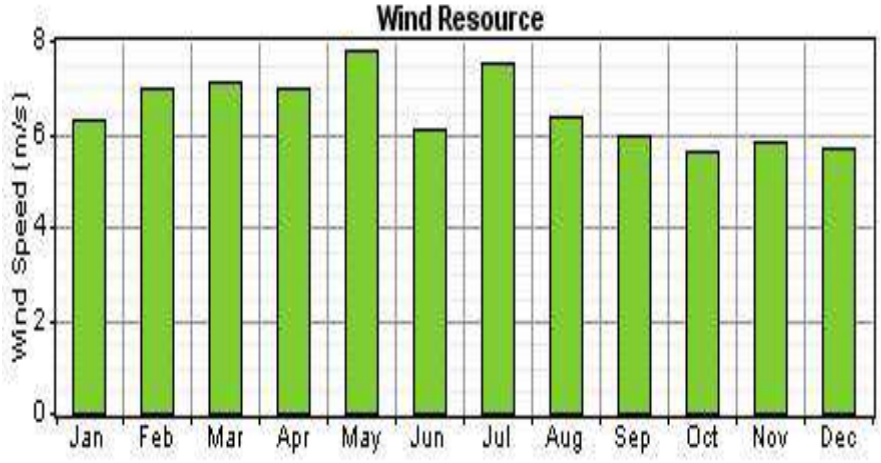


Figure V.2 : Vitesse moyenne mensuelle du vent du site d'Adrar.

V.1.3. Application du logiciel HOMER pour l'optimisation :

V.1.3.1. construire le schéma de conception du système hybride :

Sur l'environnement HOMER, nous avons défini chaque élément de notre installation, en se basant sur toutes les données et les caractéristiques de chaque élément. En amont de l'installation, on définie les potentiels renouvelables disponibles (solaire et éolien) et le combustible. A l'aval de l'installation, on a définie aussi les deux charges à satisfaire (électricité et RO). d'autres données sont notamment nécessaires tel que : [27]

- Les coordonnées du site (longitude, latitude, le temps).
- L'élévation.
- La durés de vie des composants, ainsi que leurs coût.
- Les durés de vie du projet.
- La rugosité du terrain environnant, variation de la vitesse avec la hauteur. [27]
- Le maximum manque annuel admis sur la demande :0 % (il faut fournir les 100 % de la charge demandée durant toute l'année, car le site est autonome).

V.1.3.2. configuration du SEH en fonction du coût net actuel :

Les resultats de simulation par HOMER sont donnés sous forme de combinaisons (configurations) réalisables (techniquement et économiquement) des éléments définit dans l'installation, ses configurations sont classées par ordre croissant de la (NPC) valeur Actuel Nette. Pour chacune de ces solutions possibles. HOMER fournit tous les paramètres de fonctionnement des composants et de l'ensemble de l'instalation (la fraction de l'énergie renouvelable,les émissions de gaz, le coût spécifique de l'énergie, l'énergie totale produit, consommée et l'excès de l'énergie…).

V.1.3.3. Architecture à bus DC :

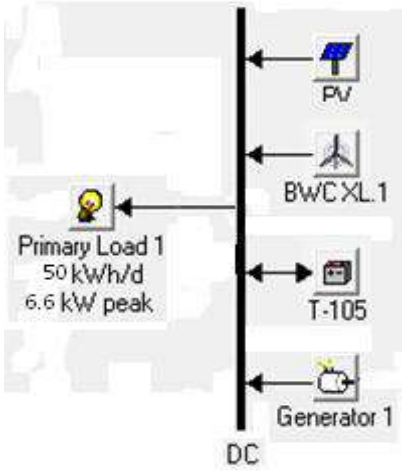


Figure V.3 : Architecture à bus DC .

Cas d'étude :

- Charge, valeur moynne : 50 KWh/j.
- Eclairement, valeur moynne : 5.79 KWh/m^2/j.
- Vitesse du vent, valeur moynne : 6.529 m/s.
- 0.4 KW Diesel prix du carburant : 0.2 $/L.

V.1.3.3.1. Résultats de simulation :

HOMER produit des résultats que nous pouvons afficher sous forme de liste de configurations possible triés par coût du cycle de vie (net present cost NPC).

PV (kW)	XL1	Fuel (kW)	T-105	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Fuel (hrs)
20	2	0.4	37	$ 86,078	22,674	$ 328,114	1.685	0.95	707	5,960
20	6		39	$ 101,980	23,067	$ 348,216	1.788	1.00		

Figure V.4 : variantes proposée par HOMER (bus DC).

Le tableau permet de visualiser toutes les configurations de système faisables. En effet HOMER affiche une liste des configurations système qu'il a constaté faisable pour ce projet. Ils

sont énumérés dans l'ordre (de haut en bas) de la plus rentable à la moins rentable. Le rappot coût-efficacité d'une configuration système est basé sur son coût nette actuelle « NPC ».

Ces résultats montrent que la configuration PV/éolien/diesel/batteries ayant un coût de 328,114 $ est la plus rentable conception (la plus économique). les résultats montrent que la charge est alimentée totalement avec un coût qui n'est pas loin du coût minimum. Quant au système hybride, le plus économique est celui qui présente PV/éolien/diesel/batteries avec un coût de 348,216.

Architecture du système optimal :

- PV : 20 KW.
- Eolien : 2.
- Générateur diesel : 0.4 KW.
- Batteries : 37.

V.1.3.3.2. Production et la consommation d'énergie électrique :

La production et la consommation d'énergie sur une année sont détaillées dans le tableau suivant :

Production	kWh/yr	%
PV array	37,258	84
Wind turbines	5,065	11
Diesel	2,064	5
Total	44,388	100

Tableau V.1 : enérgie annuelle produite.

Les systèmes de poduction participent suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montrent une participation importante des sources renouvelable qui atteignent 100 %, puisque pas de générateur diesel dans cette configuration.

charge	Consomation (KWh/an)	Fration %
Charge DC	18,245	100
Total	18,245	100

Tableau V.2 : enérgie annuelle consommée.

La puissance moyenne mensuelle produite par les sources du SEH est illustrée dans la figure (V.5) :

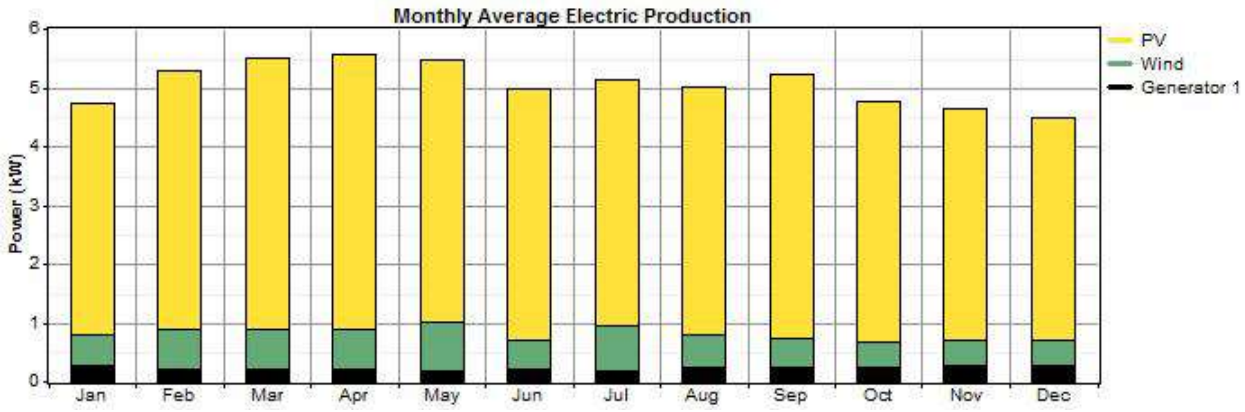


Figure V.5 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

On remrque que pour un bus DC presque 95 % des besoins nergétique du site fournis par les sources renouvelable.

Le générateur PV seule développe une puissance supérieure à celle du turbine éolienne, ce qui traduit les fortes performances de le générateur PV.

V.1.3.3.3. le Générateur photovoltaïque :

la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque est la plus grand parmi les autres générateurs, les paramètres de fonctionnement de ce dernier sont :

Variable	**Valeur**	**Unité**
Heures de fonctionnement	4,383	h/an
Facteur de capacité (l'état de charge myenne du PV sur l'année)	21.3	%
Puissance minimale	0.0	KW
Puissance moyenne	102	KWh/j
Coût spécifique de l'énergie	0.0731	$/KWh
Pénétration PV	204	%
Puissance maximale	19.9	KW

Tableau V.3 : paramètres de fonctionnement du PV.

On remarque que le profile des puissances journalières moyennes du générateur photovoltaïque caractérisés par deux minimums (production importante ou nulle) et un pic de production.

La premier minimum, qui correspond à la période entre 1h et 6h du matin et le deuxième minimum, qui correspond à la période entre 18h et 00h du nuit, représente une très faible production , il est justifié par la faible rayonnement solaire dans cette pèriode (matin et nuit).

Le pic de production à environ 8h matin vers 18h nuit du, est due à l'irradiation moyenne journalière importante sur cette période.

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 et/ou à très faible production, alors que la couleur rouge montre le pic de production, 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).

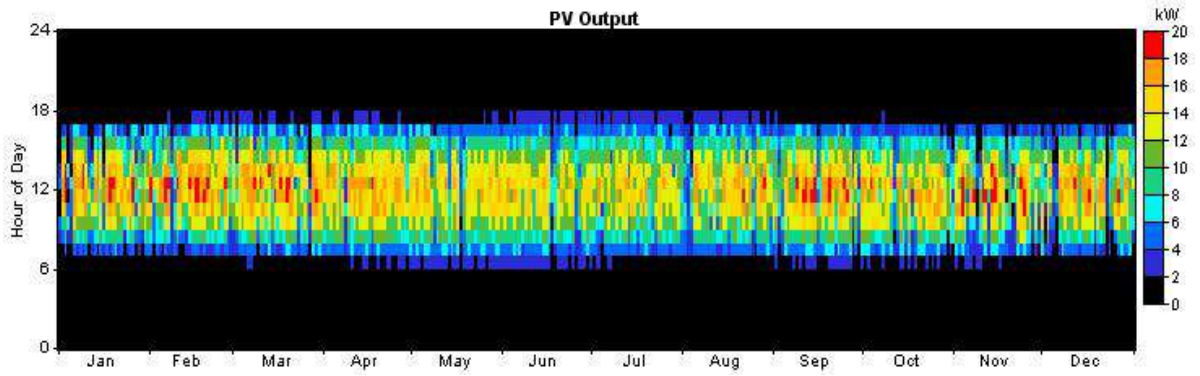


Figure V.6 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

V.1.3.3.4. Eolienne :

L'olienne développe 11 % de la puissance total, ses paramètres de fonctionnement sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Variable	Valeur	Unité
Puissance minimale	0.00	KW
Puissance maximale	2.41	KW
Pénétration éolienne	27.8	%
Heures de fonctionnement	6,856	h/an
Puissance moyenne	0.58	KW
Capacité totale	2.48	KW
Facteur de capacité	23.3	%

Tableau V.4 : paramètres de fonctionnement de l'éolienne.

L'olienne fonctionne pratiquement durant toute l'année. On remarque que la distribution des vitesses moyennes journalières du vent sont très semblables durant toute l'année. Les mois les plus ventée (mars, avril, mai et juillet) sont caractérisés par une production importante comme le montre dansl e diagramme ci-dessous.

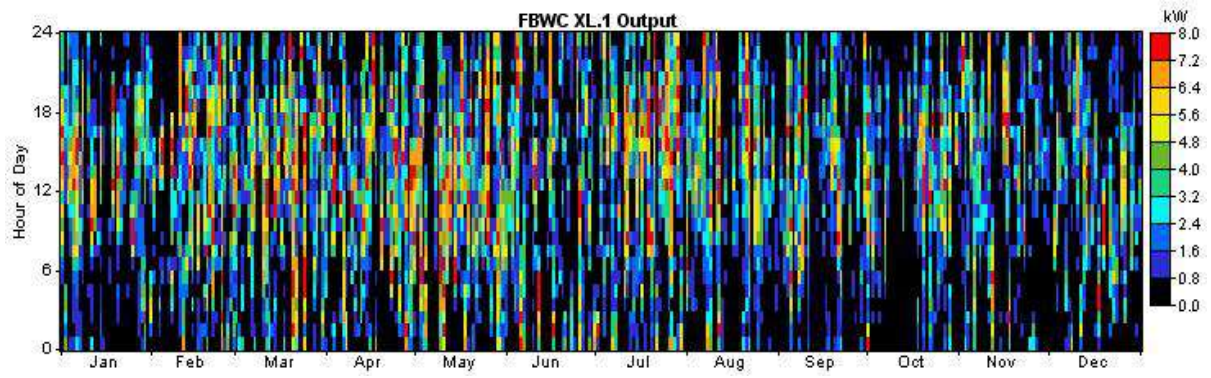


Figure V.7 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

V.1.3.3.5. Les batteries :

L'instaltion 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. Les paramètres de fonctionnement des batteries sont :

Variable	**Valeur**	**Unité**
Energie d'entrée	5,801	KWh/an
Energie délivrée	4,961	KWh/an
Perte d'énergie	807	KWh/an
Autonomie des batteries	17.7	heure
Coût spécifique moyen	0.282	$/KWh
Durée de vie des batteries	6.12	an

Tableau V.5 : paramètres de fonctionnement des batteries.

Pour analyser le fonctionnement journalier des batteries on utilise le diagramme de l'état de charge moyenne journalière données par la figure (V.8) (en % de la capacité maximale).

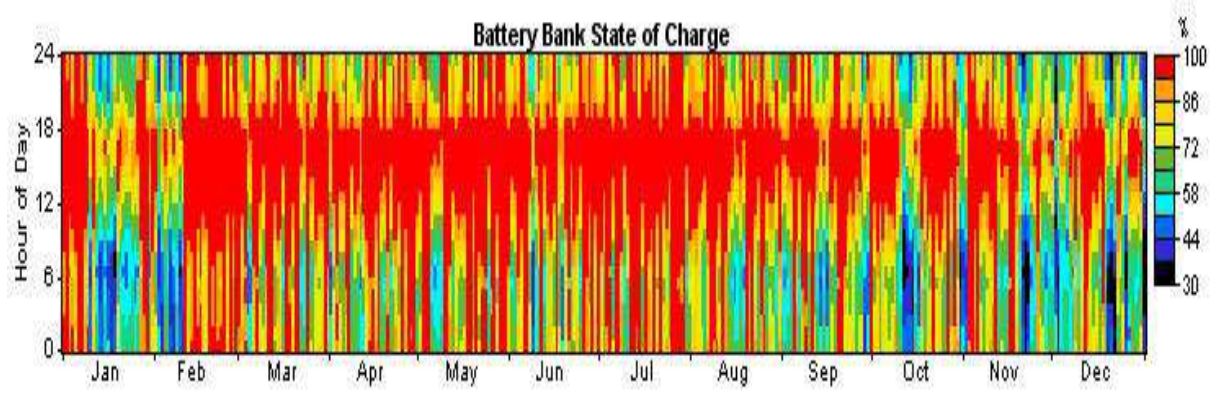


Figure V.8 : etat de moyenne journalière des batteries.

le profile de la distribution journalière moyenne de l'état de charge est relativement semblable pour tous les mois, mais ce n'est pas avec les mêmes valeurs. L'état de charge journalière moyenne est caractérisé par un minimum à environ 3h à10h, il est justifié par la faible rayonnement solaire dans cette pèriode surtout pour les mois de janvier, octobre, novembre et décembre .

V.1.3.3.6. Répartition des coûts de l'installation :

Pour estimer le coût total du projet on utilise, pour chaque élement, les données suivantes :

- Le capital initial.
- Les coûts de fonctionnement et de maintenance.
- Le coût de remplacement.
- La durée de vie.

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	($)	($)	($)	($)	($)	($)
PV	70,000	15,018	213,495	0	-7,666	290,848
FBWC XL.1	7,800	2,459	2,135	0	-380	12,014
Diesel	138	1,757	392	1,509	-4	3,792
Trojan T-105	8,140	12,389	1,580	0	-649	21,183
System	86,078	31,623	217,602	1,509	-8,699	328,114

tableau V.6 : coût net actuel.

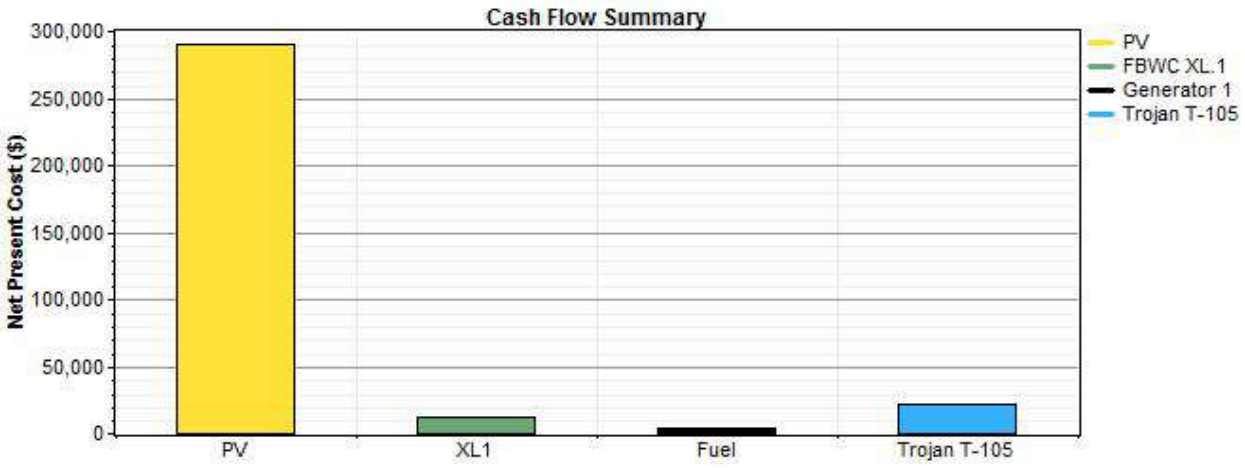


Figure V.9 : répartition des coûts de l'instalation.

La turbine éolienne présente un coût (12,014 $) et le générateur PV (290,850 $) et la batterie (Trojan T-105) (21.460 $).

V.1.3.4. Architecture à bus AC :

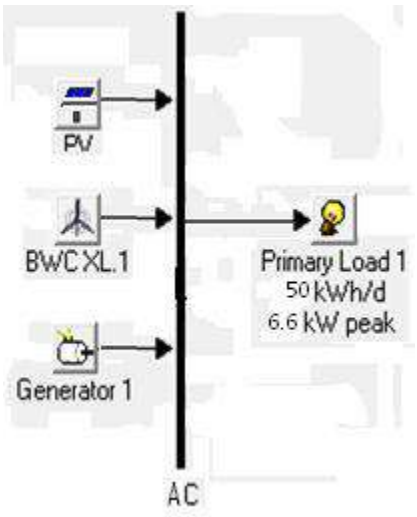


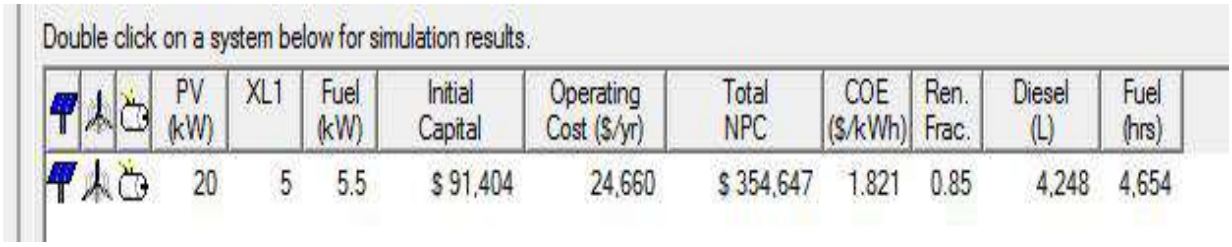
Figure V.10 : Architecture à bus AC .

Cas d'étude :

- Charge, valeur moynne : 50 KWh/j.
- Eclairement, valeur moynne : 5.79 KWh/m^2/j.
- Vitesse du vent, valeur moynne : 6.529 m/s.
- 0.4 KW Diesel prix du carburant : 0.2 $/L.

V.1.3.4.1. Résultats de simulation :

HOMER produit des résultats que nous pouvons afficher sous forme de liste de configurations possible triés par coût du cycle de vie (net present cost NPC).



Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	XL1	Fuel (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Fuel (hrs)
	20	5	5.5	$ 91,404	24,660	$ 354,647	1.821	0.85	4,248	4,654

Figure V.11 : variantes proposée par HOMER.

les résultats montrent que la configuration PV/éolien/ Générateur diesel ayant un coût de 354,647 $ est la plus rentable conception (la plus économique). les résultats montrent que la charge est alimentée totalement avec un coût qui n'est pas loin du coût minimum.

Architecture du système optimal :

- PV : 20 KW.
- Eolien : 5.
- Générateur diesel : 5.5 KW.

V.1.3.4.2. Production et la consommation d'énergie électrique :

La production et la consommation d'énergie sur une année sont détaillées dans le tableau suivant :

Production	kWh/yr	%
PV array	37,258	63
Wind turbines	13,008	22
Generator 1	8,751	15
Total	59,018	100

Tableau V.7 : enérgie annuelle produite.

Les systèmes de poduction participent suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montrent une participation importante des sources renouvelable qui atteignent 85 %,

Charge	Consomation (KWh/an)	Fration %
Charge AC	18,247	100
Total	18,247	100

Tableau V.8 : enérgie annuelle consommée.

La puissance moyenne mensuelle produite par les sources du SEH est illustrée dans la figure (V.12) :

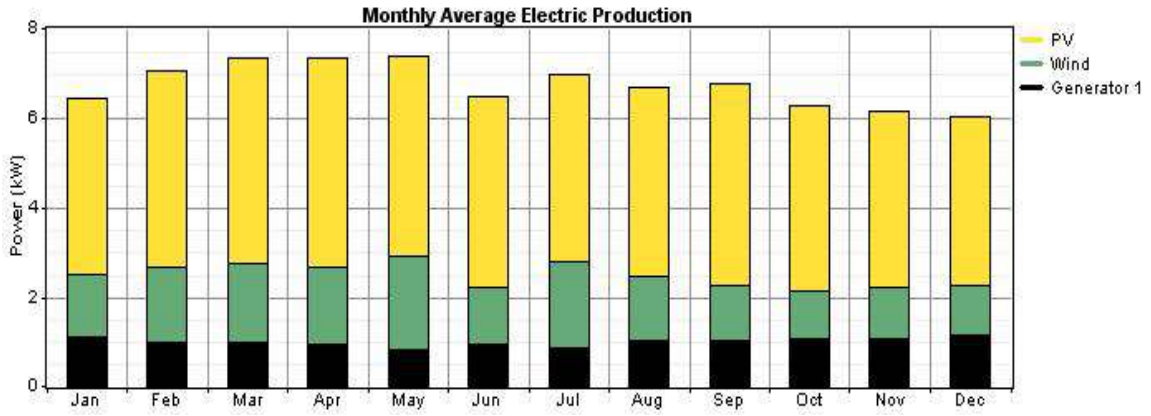


Figure V.12 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

On remrque que pour un bus AC presque 85 % des besoins nergétique du site fournis par les sources renouvelable. Le générateur PV seule développe une puissance supérieure à celle du turbine éolienne, ce qui traduit les fortes performances de le générateur PV.

V.1.3.4.3. le Générateur photovoltaïque :

pour le générateur photovoltaïque de bus AC, On remarque que les résultats est même pour un bus DC.

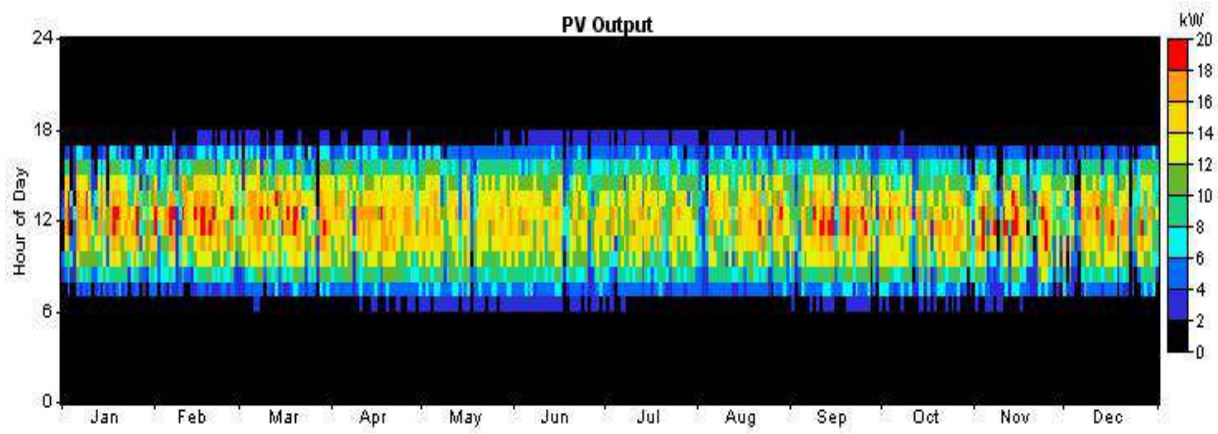


Figure V.13 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

V.1.3.4.4. Eolienne :

L'olienne développe 22 % de la puissance total, ses paramètres de fonctionnement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Variable	Valeur	Unité
Puissance minimale	0.00	KW
Puissance maximale	6.20	KW
Pénétration éolienne	71.3	%
Heures de fonctionnement	6,856	h/an
Puissance moyenne	1.48	KW
Capacité totale	6.20	KW
Facteur de capacité	24.0	%

Tableau V.9 : paramètres de fonctionnement de l'éolienne.

L'olienne fonctionne pratiquement durant toute l'année. On remarque que la distribution des vitesses moyennes journalières du vent sont très semblables durant toute l'année. Les mois les plus ventée (mars, avril, mai et juillet) sont caractérisés par une production importante comme le montre dansl e diagramme ci-dessous.

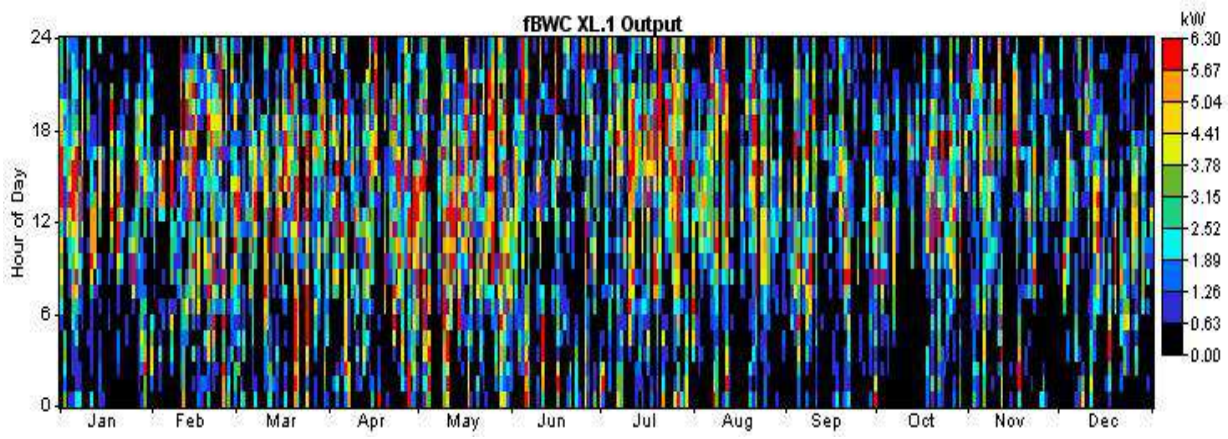


Figure V.14 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

V.1.3.4.5. Le Générateur diesel :

Le générateur diesel est appelé à fonctionner à n'importe qu'elle moment de la journée et d'une manière optimisée, c'est-à-dire une possibilité de fonctionnement à pleine charge comme à charge partielle et ce selon les besoins du site. La mise en marche (ou à l'arrêt) est donc fonction de la demande, de la prouction des autres générateurs et de l'éat de charge des batteries. Le combustible à utiliser est le fuel (moteur diesel), ses propriétés sont résumées dans le tableau ci- dessous :

Variable	Valeur	Unité
Prix	0,2	$/L
Puissance minimale délivrée	1.65	kW
Puissance moyenne délivrée	1.89	kW
Puissance maximale délivrée	5.50	kW
Consommation de fuel	4,226	L/an
Heures de fonctionnement	4,631	hr/an
Nombre de démarrage	534	Démarrages/an
Facteur de capacité	18.2	%
Durée de vie	1.08	an

Tableau V.10 : paramètres de fonctionnement de GD.

On remarque que le profile des puissances journalières moyennes du générateur diesel caractérisés par un minimums (production importante ou nulle) et deux pic de production.

Le minimum, qui correspond à la période entre 8h et 18h du matin et le deuxième minimum, représente une très faible production , il est justifié par la grand rayonnement solaire dans cette pèriode.

La pic de production à environ 1h vers 8h du matin , est due à l'irradiation moyenne journalière faible sur cette période et la second pic à environ 18h vers 00h.

Le diagramme ci-dessous illustre la production journalière du générateur 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 bleue montre le pic de production, 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).

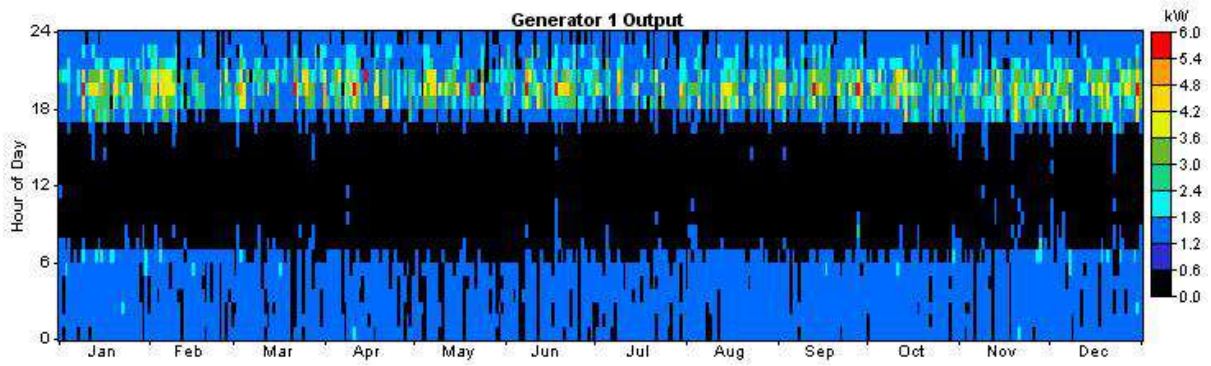


Figure V.15 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

V.1.3.4.6. Répartition des coûts de l'installation :

Pour estimer le coût total du projet on utilise, pour chaque élement, les données suivantes :

- Le capital initial.
- Les coûts de fonctionnement et de maintenance.
- Le coût de remplacement.
- La durée de vie.

tableau V.11 : coût net actuel.

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	($)	($)	($)	($)	($)	($)
PV	70,000	15,020	213,500	0	-7666	290,850
fBWC XL.1	19,500	6,147	5,337	0	-949	30,035
Generator 1	1,904	18,723	4,183	9,022	-235	33,597
System	91,404	39,955	223,037	9,022	-8,818	354,647

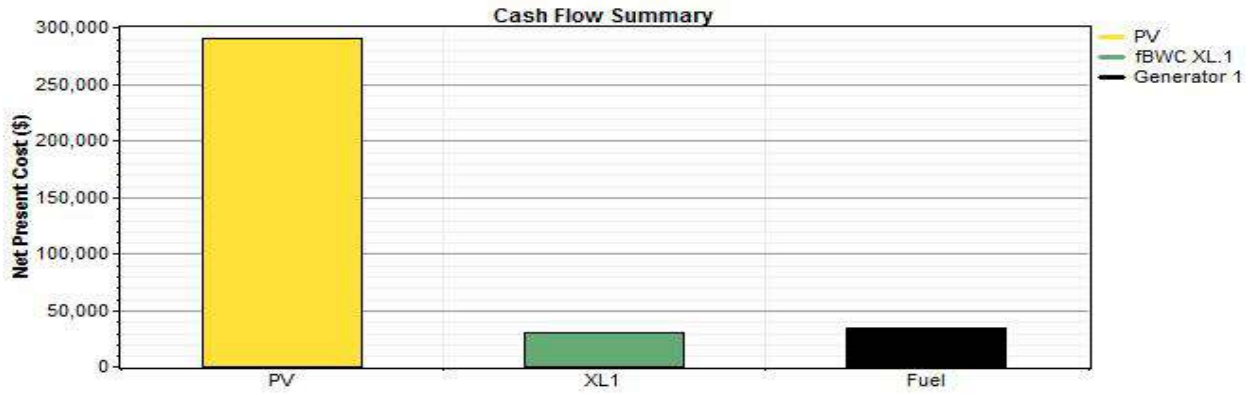


Figure V.16 : répartition des coûts de l'instalation.

La Générateur diesel (fuel) présente un coût (33.597 $) et la turbine éolienne (30.035 $) et le générateur PV (290,850).

V.1.3.5. Architecture à bus mixte DC-AC :

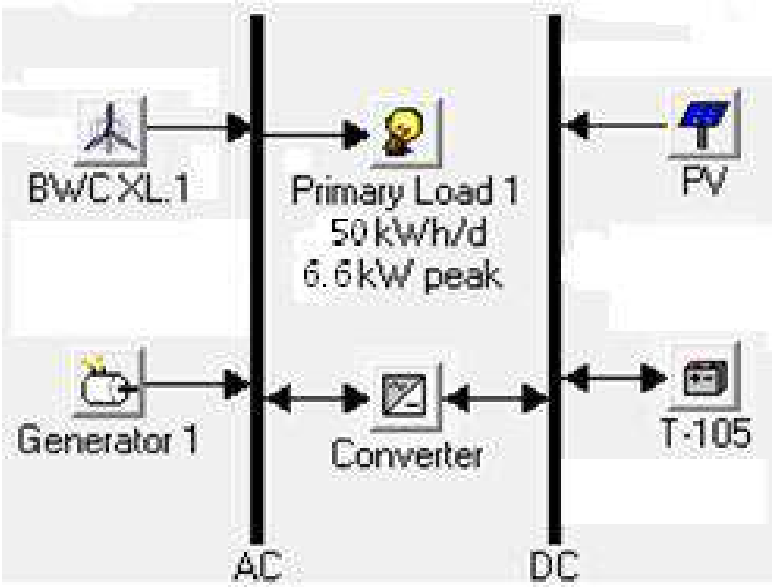


Figure V.17 : Architecture à bus mixte DC-AC.

Cas d'étude :

- Charge, valeur moynne : 50 KWh/j.
- Eclairement, valeur moynne : 5.79 KWh/m^2/j.
- Vitesse du vent, valeur moynne : 6.529 m/s.
- 0.4 KW Diesel prix du carburant : 0.2 $/L.

V.1.3.5.1. Résultats de simulation :

HOMER produit des résultats que nous pouvons afficher sous forme de liste de configurations possible triés par coût du cycle de vie (net present cost NPC).

PV (kW)	XL1	FUEL (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	FUEL (hrs)
20.0	4	0.4	40	6	$ 99,038	22,734	$ 341,723	1.755	0.96	615	5,067
30.0	10		40	10	$ 160,300	33,623	$ 519,219	2.667	1.00		

Figure V.18 : variantes proposée par HOMER.

Le tableau permet de visualiser toutes les configurations de système faisables. En effet HOMER affiche une liste des configurations système qu'il a constaté faisable pour ce projet. Ils sont énumérés dans l'ordre (de haut en bas) de la plus rentable à la moins rentable. Le rappot coût-efficacité d'une configuration système est basé sur son coût nette actuelle « NPC ».

Ces résultats montrent que la configuration PV/éolien/ Générateur diesel /batteries ayant un coût de 341,723 $ est la plus rentable conception (la plus économique). les résultats montrent que la charge est alimentée totalement avec un coût qui n'est pas loin du coût minimum. Quant au configuration PV/éolien /batteries ayant un coût de 519,219 $.

Architecture du système optimal :

- PV : 20 KW.
- Eolien : 4.
- Générateur diesel : 0.4 KW.

V.1.3.5.2. Production et la consommation d'énergie électrique :

La production et la consommation d'énergie sur une année sont détaillées dans le tableau suivant :

Production	kWh/yr	%
PV array	37,236	76
Wind turbines	10,222	21
Generator 1	1,795	4
Total	49,253	100

Tableau V.12 : enérgie annuelle produite.

Les systèmes de poduction participent suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montrent une participation importante des sources renouvelable qui atteignent 97 %,

charge	Consomation (KWh/an)	Fration %
Charge AC	18,239	100
Total	18,239	100

Tableau V.13 : enérgie annuelle consommée.

La puissance moyenne mensuelle produite par les sources du SEH est illustrée dans la figure (V.30) :

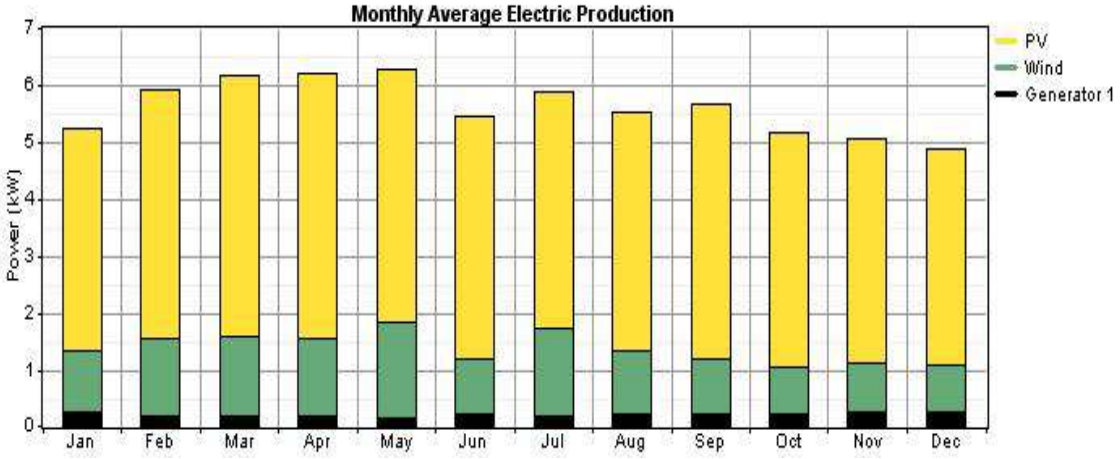


Figure V.19 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

On remrque que pour un bus mixte DC-AC presque 97 % des besoins nergétique du site fournis par les sources renouvelable. Le générateur PV seule développe une puissance supérieure à celle du turbine éolienne, ce qui traduit les fortes performances de le générateur PV, et un production plus faible pour le générateur diesel.

V.1.3.5.3. le Générateur photovoltaïque :

pour le générateur photovoltaïque de bus mixte DC-AC, On remarque que les résultats est même pour les bus DC et AC.

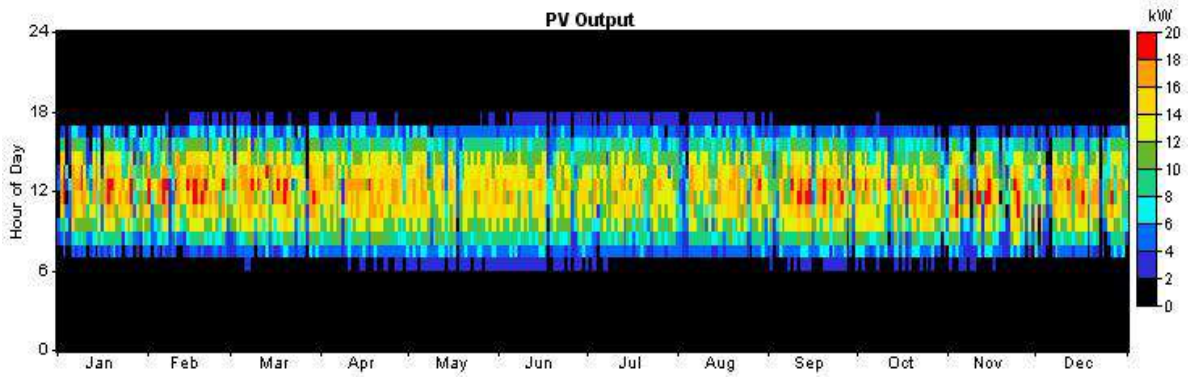


Figure V.20 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

V.1.3.5.4. Eolienne :

L'olienne développe 21 % de la puissance total, ses paramètres de fonctionnement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Variable	Valeur	Unité
Puissance minimale	0.00	KW
Puissance maximale	4.96	KW
Pénétration éolienne	56.0	%
Heures de fonctionnement	7,039	h/an
Puissance moyenne	1.17	KW
Capacité totale	4.96	KW
Facteur de capacité	23.5	%

Tableau V.14 : paramètres de fonctionnement de l'éolienne.

L'olienne fonctionne pratiquement durant toute l'année. On remarque que la distribution des vitesses moyennes journalières du vent sont très semblables durant toute l'année. Les mois les plus ventée (mars, avril, mai et juillet) sont caractérisés par une production importante comme le montre dansl e diagramme ci-dessous.

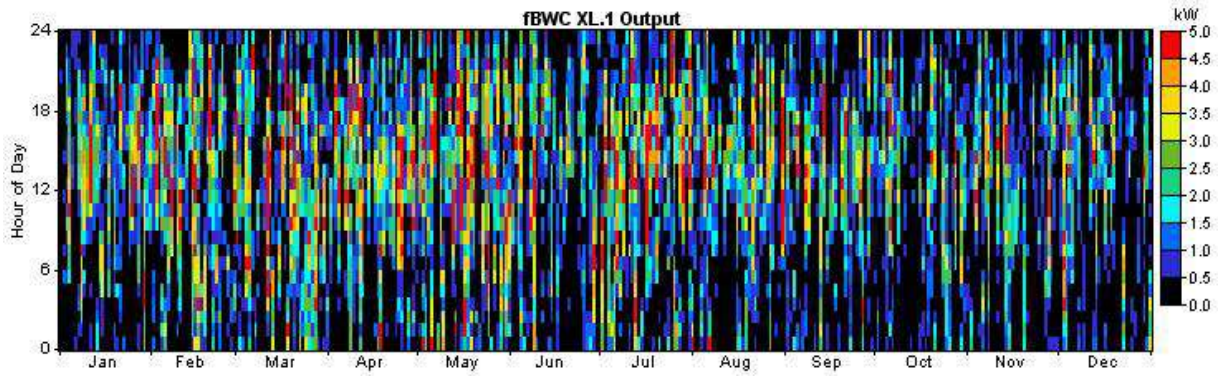


Figure V.21 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

V.1.3.5.5. Le Générateur diesel :

Le générateur diesel est appelé à fonctionner à n'importe qu'elle moment de la journée et d'une manière optimisée, c'est-à-dire une possibilité de fonctionnement à pleine charge comme à charge partielle et ce selon les besoins du site. La mise en marche (ou à l'arrêt) est donc en fonction de la demande, de la prouction des autres générateurs et de l'état de charge des batteries. Le combustible à utiliser est le fuel (moteur diesel), ses propriétés sont résumées dans le tableau ci- dessous :

Variable	Valeur	Unité
Prix	0,2	$/L
Puissance minimale délivrée	0.120	kW
Puissance moyenne délivrée	0.357	kW
Puissance maximale délivrée	0.400	kW
Consommation de fuel	610	L/an
Heures de fonctionnement	5,024	hr/an
Nombre de démarrage	487	Démarrages/an
Facteur de capacité	487	%
Durée de vie	0.995	an

Tableau V.15 : paramètres de fonctionnement de GD.

On remarque que le profile des puissances journalières moyennes du générateur diesel caractérisés par un minimums (production importante ou nulle) et deux pic de production.

Le minimum, qui correspond à la période entre 10h et 18h du matin et le deuxième minimum, représente une très faible production , il est justifié par la grand rayonnement solaire dans cette pèriode.

La première pic de production à environ 1h vers 8h du matin , est due à l'irradiation moyenne journalière faible sur cette période et la second pic à environ 18h vers 00h.

Le diagramme ci-dessous illustre la production journalière du générateur 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 le pic de production, 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).

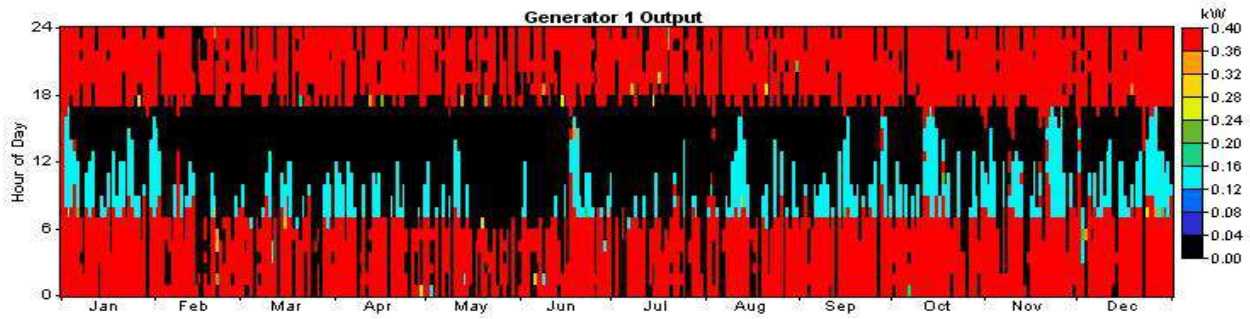


Figure V.22 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

V.1.3.5.6. Les batteries :

L'instaltion 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. Les paramètres de fonctionnement des batteries sont :

Variables	**Valeur**	**Unité**
Energie d'entrée	5,395	KWh/an
Energie délivrée	4,961	KWh/an
Perte d'énergie	781	KWh/an
Autonomie des batteries	18.1	heure
Coût spécifique moyen	0.282	$/KWh
Durée de vie des batteries	6.78	an

Tableau V.16 : paramètres de fonctionnement des batteries.

Pour analyser le fonctionnement journaier des batteries ou utilise le diagramme de l'état de charge moyenne journalière données par la figure (V.23) (en % de la capacité maximale).

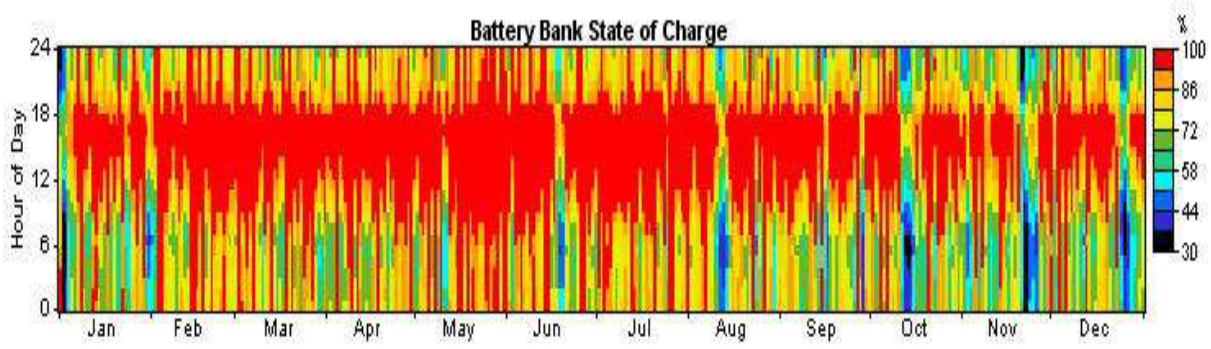


Figure V.23 : etat de moyenne journalière des batteries.

le profile de la distribution journalière moyenne de l'état de charge est relativement semblable pour tous les mois, mais ce n'est pas avec les mêmes valeurs. L'état de charge journalière moyenne est caractérisé par un minimum à environ 3h à10h, il est justifié par la faible rayonnement solaire dans cette pèriode surtout les pour mois de janvier, octobre, novembre et décembre .

V.1.3.5.7. Répartition des coûts de l'installation :

Pour estimer le coût total du projet on utilise, pour chaque élement, les données suivantes :

- Le capital initial.
- Les coûts de fonctionnement et de maintenance.
- Le coût de remplacement.
- La durée de vie.

tableau V.17 : coût net actuel.

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	($)	($)	($)	($)	($)	($)
PV	70,000	15,020	213,495	0	-7,666	290,85
fBWC XL.1	15,600	3,347	4,270	0	-1,708	21,508
Generator 1	138	1,483	330	1,301	-18	3,235
Trojan T-105	8,800	10,167	1,708	0	-398	20,277
Converter	4,500	1,419	0	0	-219	5,700
System	99,038	31,527	219,806	1,301	-9,960	341,723

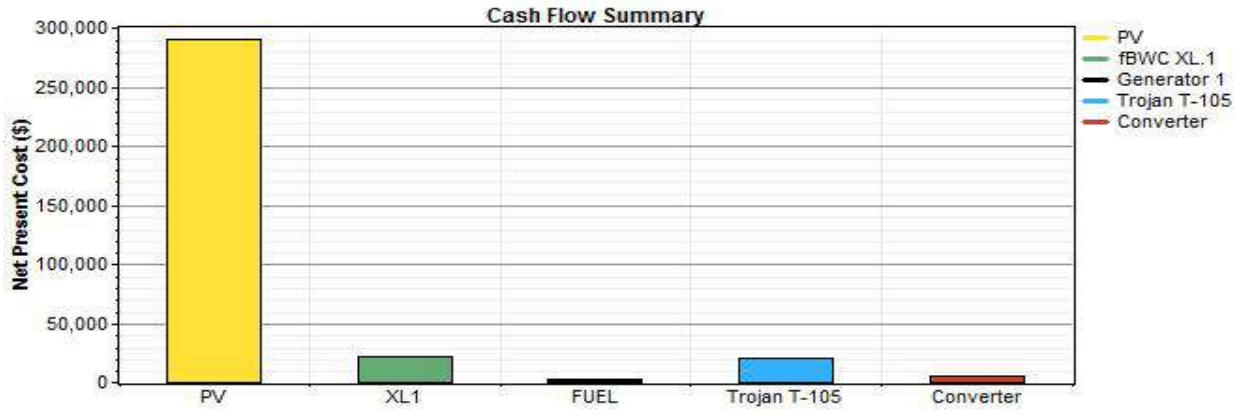
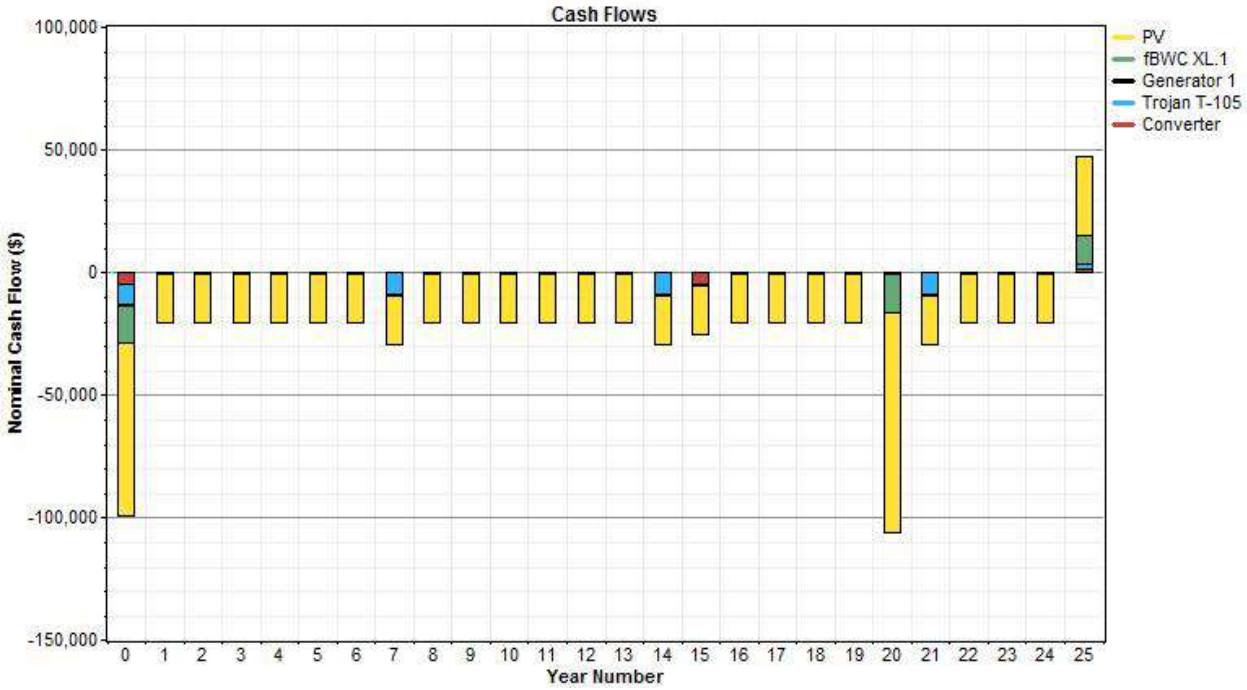


Figure V.24 : répartition des coûts de l'instalation.

La Générateur PV présente le coût le plus élevé (290,850 $) , puis le turbine éolienne (21.508 $) et la batterie présente un coût de (20.277 $), puis le Générateur diesel et le convertisseur avec un faible coût.

On a aussi ces deux figures suivantes qui représentent la répartition des coûts du systéme :



FigureV.25 : Affichage des paramétres par les composants

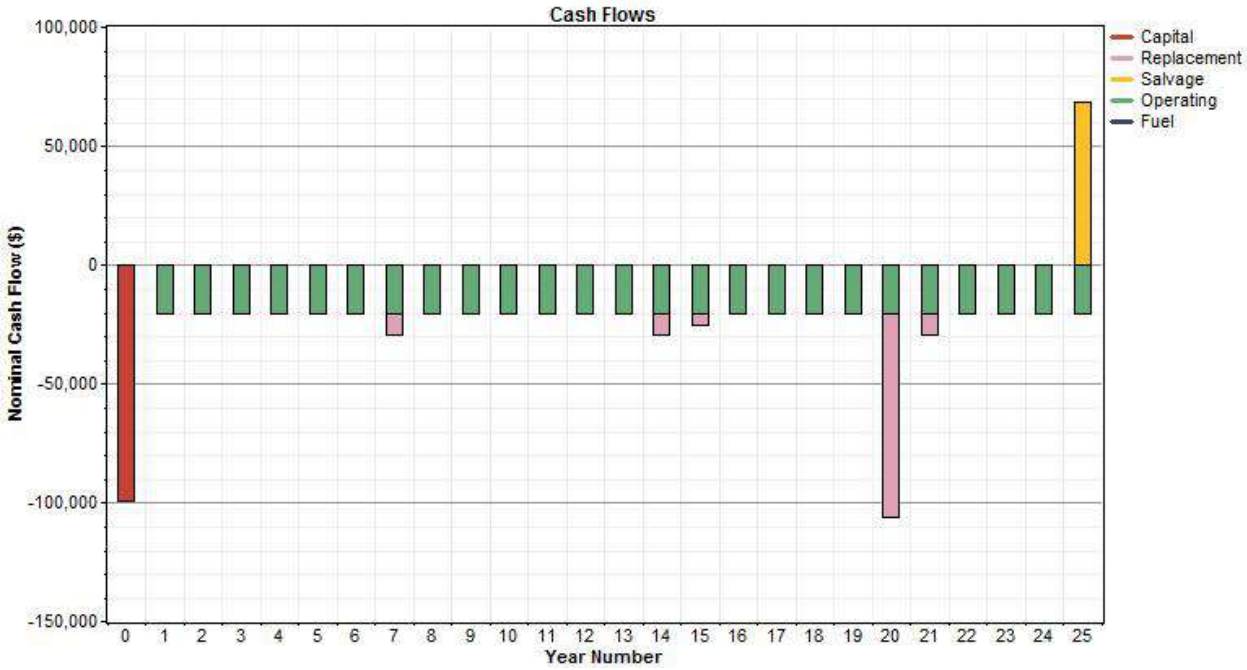


Figure V.26 : Affichage des paramétres Par type de coût.

Ces figures montrent pour nous ; la marge brute d'autofinancement (cash flow), par rapport au nombre des années de notre projet.

On observe que notre capital (représenté par la couleur rouge) est constitué par les éoliennes, les PVs, les batteries et les convertisseurs (AC /DC ou DC/AC), la valeur de ce capital est approximativement de 99000$.

Il est intéressant de noter que le fonctionnement de notre système a été représenté par la couleur verte de la figure V.25, et on remarque que cette couleur a existe dans chaque année, et c'est l'état normal.

On note aussi dans la figure V.26 que chaque composant a une durée de vie précise, les batteries (la couleur bleue ; 7 ans), les éoliennes (couleur verte ; 20 ans), les PVs (la couleur jaune ; 20 ans) et les convertisseurs (la couleur rouge ; 15 ans). Donc on observe la couleur rose qui représente le remplacement de nos composants après l'usage.

Finalement, on remarque la couleur orange dans la figure V.26, qui vous donne une image sur les récupérations après la durée de vie du projet.

V.1.3.6. Comparaison entre les trois bus :

Après l'analyse des résultats des trois configuration, il est certain que le recours à un système hybride présente un choix stratégique justifié sur les deux plans économique et environnemental et par coûts de l'instalation :

Sur le plan économique : le tableau résume la comparaison des principaux paramètres économique des trois configuration :

Paramètres	**Bus AC**	**Bus DC**	**Bus AC/DC**
Production (kWh/an)	59,018	44,388	49,253
coût net actuel ($)	354,647	328,114	341,723
Cons. De fuel (L/an)	4,226	707	610
Cons. Spécifique(L/kwh)	0.483	0.342	0.340

Sur plan environnemental : les émissions des différents gaz en (kg/an) pour les trois systèmes sont illustrées dans le tableau suivant :

Polluants	Emissions (kg/an) Bus AC	Emissions (kg/an) Bus DC	Emissions (kg/an) Bus AC/DC
Dioxide de Carbone	11,127	1,861	1,605
Monoxyde de Carbone	27.5	4.59	3.96
Hydrocarbure non brûlé	3.04	0.509	0.439
Particule	2.07	0.346	0.299
Dioxyde soufre	22.3	3.74	3.22
Oxydes de Nitrogène	245	41	35.4

V.1.3.7. Résumé :

Une fois les paramétres décrites précédemment ont été introduites à Homer, ce logiciel effectu les calculs nécessaires pour déterminer la meilleure combinaison de point de vue téchnique et économique a notre demande.

Les résultats sont résumés dans la figure ci dessous, où les systèmes optimaux sont classés en fonction de leur technique et la faisabilité économique.on a vu qu'Adrar contient un potentiel du vent considérable (6.3 m/s) et un potentiel solaire . Donc Homer a constaté que le système optimal est le générateur PV / éolienne / diesel. il est intéressant de noter que le coût initial pour le site de l'Adrar est élevé , et ça dû aux composants supplémentaires tels que les panneaux photovoltaïques, nombres élevés de batteries et convertisseurs. Il est intéressant de mentionner que ce systéme hybride est moins polluant, a cause de son faible consommation du diesel, mais si nous voulons un systéme non polluant, on a un deuxiéme systéme PV / éolienne, et on prend en considération le coût initial élevé par rapport au premier systéme.

On remarque qu'il faut prendre en considération les calculs ont effectués avec le prix algérien de diesel (moins cher par rapport aux pays européens),et avec une taille faible de diesel (0.4kw), c'est pour ça on trouve le coût initial élevé et le cout total du systéme aussi élevé.

Si on veut de diminuer ces coûts ;alors on a besoin de diminuer les nombres des panneaux et leurs puissances on remplaçant par une taille importante de diesel, avec ce sénario, on diminue vraiment le coût initial et le coût total du systéme.on remarque un grand inconvenient que ce systéme est plus polluant, et les émissions ont élevées.[51]

V.1.3. Présentation du 2éme site d'application :

Pour cette étude, une localisaion géographique est considérée : Médéa

Les coordonnées des sites de Médéa :

Latitude: 36 degrées et 16 minutes Nord

Longitude: 2 degrées et 45 minutes Est

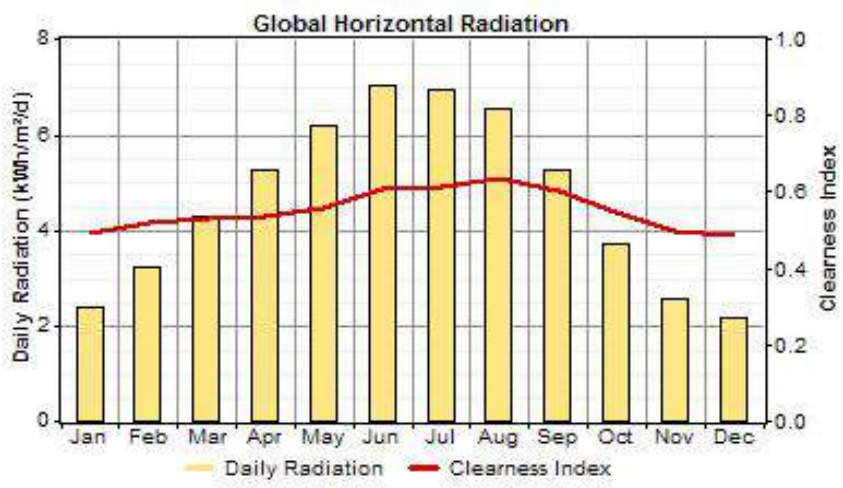
Le temps de la zone: GMT +0:00

V. 1.3.1. Analyse du potentiel énergétique solaire et éolien disponible a Médéa :

Médéa est doté d'un potentiel considérable de rayonnement solaire, et la région est caractérisée par une saison d'été très chaude (Juin - juillet - Août) avec une température moyenne mensuelle est 14.6 °C. Les valeurs moyennes mensuelles journalières de l'irradiation globale sur plan horizontal et incliné (à la latitude) sont représentées dans la figure (V.27).

L'irradiation moyenne journalière sur plan horizontal est presque 7 kWh/m^2.jour durant les mois du Juin et Juillet. Remarquant que durant la période Mai - août, l'irradiation sur le plan horizontal est plus importante que sur le plan incliné.

Pour le gisement éolien, la vitesse moyenne mensuelle est représentée dans la figure (V.28). On peut constater que le site de Médéa est doté d'un gisement éolien assé faible avec une vitesse moyenne annuelle du vent de l'ordre de 3.13 m/s pour une hauteur de 10 mètres . on remarque que la vitesse du vent a Janvier et Décembre présente les plus vitesses élevées(4.2 et 3.7). Ceci prouve que le site de Médéa a une faible potentiel éolien.



FigureV.27 : Irradiation horizontale globale du site de Médéa

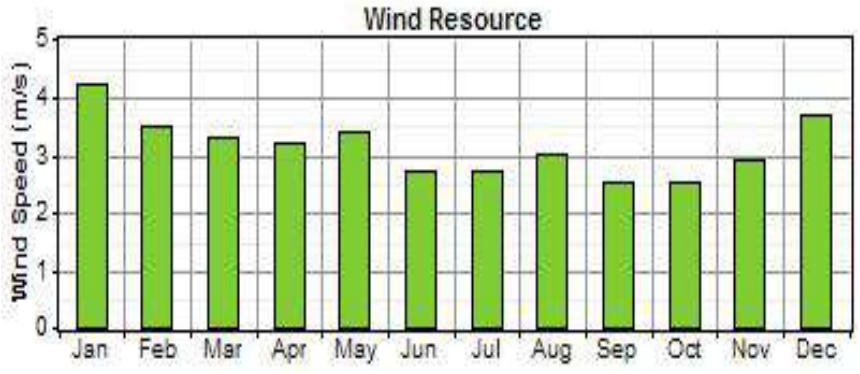


Figure V.28 : Vitesse moyenne mensuelle du vent du site de Médéa

V. 1.3.2 Architecture à bus mixte DC-AC :

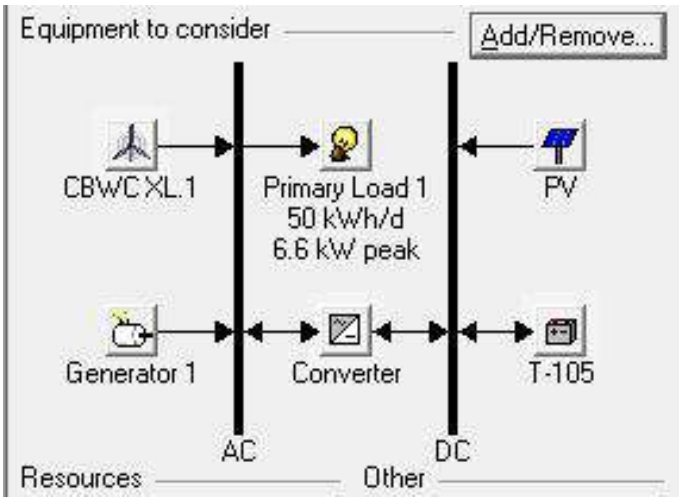


Figure V.29 : Architecture à bus mixte DC-AC.

Cas d'étude :

- Charge, valeur moynne : 50 KWh/j.
- Irradiation , valeur moynne : 4.64 KWh/m^2/j.
- Vitesse du vent, valeur moynne : 3.13 m/s.
- 1.5 KW Diesel prix du carburant : 0.2 $/L.

V.1.3.2.1 Résultats de simulation :

HOMER produit des résultats que nous pouvons afficher sous forme de liste de configurations possible triés par coût du cycle de vie (net present cost NPC).

Une fois les paramétres décrites précédemment ont été introduites à Homer, ce logiciel effectu les calculs nécessaires pour déterminer la meilleure combinaison de point de vue téchnique et économique a notre demande. [51]

Les résultats sont résumés dans la figure ci dessous, où les systèmes optimaux sont classés en fonction de leur technique et la faisabilité économique.on a vu que Médéa contient un potentiel faible du vent (3.13 m/s) et un potentiel solaire considérable. Donc Homer a constaté que le système optimal est le générateur PV / éolienne / diesel, mais avec une faible production éolienne, car les turbines utilisées sont pour les faibles potentiels. il est intéressant de noter que le coût initial pour le site de Médéa est élevé , et ça dû aux composants supplémentaires tels que les panneaux photovoltaïques, nombres élevés de batteries et convertisseurs. Il est intéressant de mentionner que ce systéme hybride est moins polluant, a cause de son faible consommation du diesel.

On remarque qu'il faut prendre en considération les calculs ont effectués avec le prix algérien de diesel (moins cher par rapport aux pays européens),et avec une taille faible de diesel (1.5kw), c'est pour ça on trouve le coût initial élevé et le cout total du systéme aussi élevé. Si on veut de diminuer ces coûts ;alors on a besoin de diminuer les nombres des panneaux et leurs puissances on remplaçant par une taille importante de diesel, avec ce sénario, on diminue vraiment le coût initial et le coût total du systéme.on remarque un grand inconvenient que ce systéme est plus polluant, et les émissions ont élevées.

Architecture du système optimal :

- PV : 20 KW.
- Eolien : 0.
- Générateur diesel : 1.5 KW.
- Batteries : 28

PV (kW)	XL1	Fuel (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Fuel (hrs)
20		1.5	28	5	$ 80,429	22,807	$ 323,889	1.663	0.78	2,739	5,762
20	1	1.5	28	5	$ 84,029	22,861	$ 328,067	1.684	0.79	2,669	5,586

Figure V.30.Configuration du systéme optimal

V.1.3.2.2. Production et la consommation d'énergie électrique :

La production et la consommation d'énergie sur une année sont détaillées dans le tableaux suivants :

Production	kWh/yr	%
PV array	29,271	78
Diesel	8,191	22
Total	37,462	100

Tableau IV.18 : enérgie annuelle produite.

Les systèmes de poduction participent suivant les fractions décrites dans le tableau et qui montrent une participation importante des sources renouvelable qui atteignent 97 %,

Charge	Consomation (KWh/an)	Fration %
Charge AC	18,239	100
Total	18,239	100

Tableau V.19 : enérgie annuelle consommée.

La puissance moyenne mensuelle produite par les sources du SEH est illustrée dans la figure (V.31) :

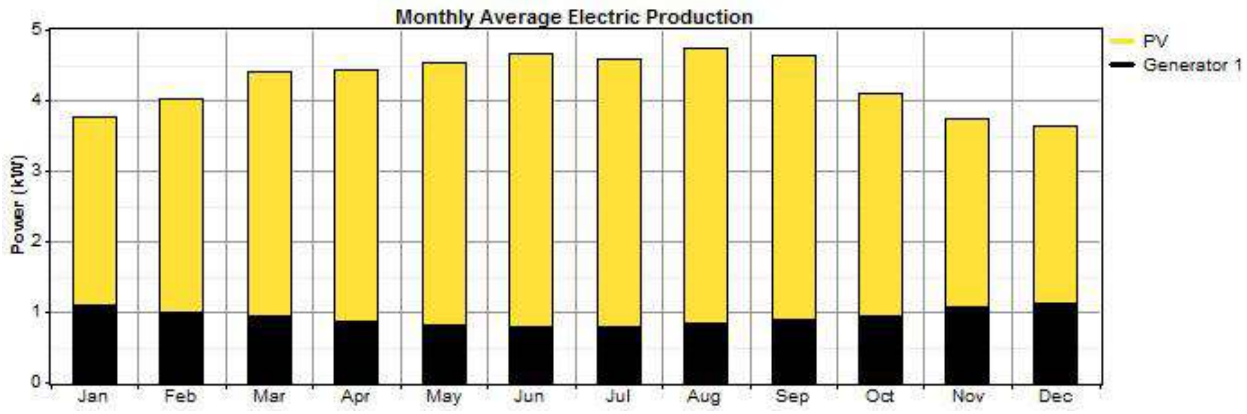


Figure V.31 : puissance moyenne menuelle produite par chaque source.

On remrque que pour un bus mixte DC-AC presque 78 % des besoins énergétiques du site fournis par les sources renouvelables. Le générateur PV seule développe une puissance supérieure à celle du générateur diesel, ce qui traduit les fortes performances de le générateur PV, et un production plus faible pour le générateur diesel.

V.1.3.2.3. le Générateur photovoltaïque :

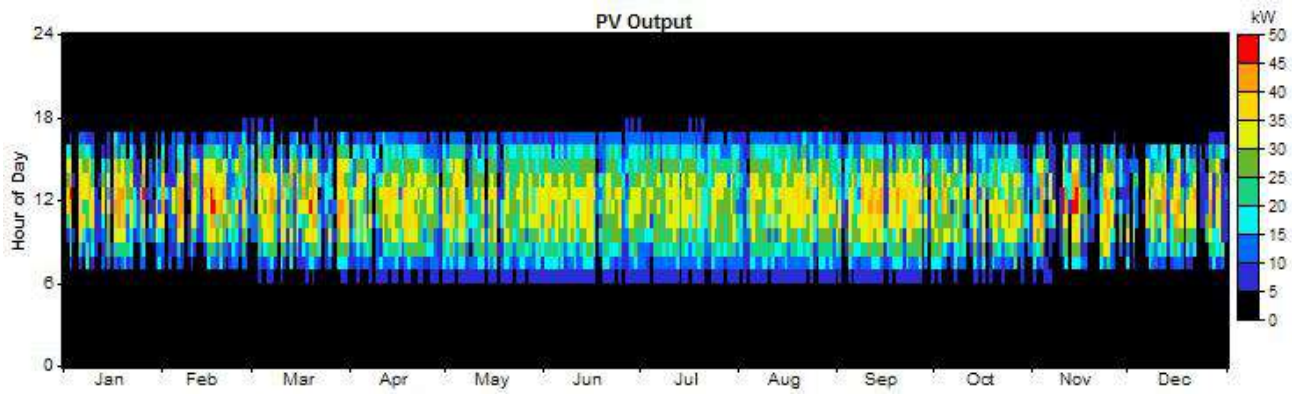


Figure V.32 : production journalière moyenne du PV pour toute l'année.

On remarque que le profile des puissances journalières moyennes du générateur photovoltaïque caractérisés par (production importante ou nulle) et un pic de production.

La premiére intervalle, qui correspond à la période entre 1h et 6h du matin et la deuxième intervalle, qui correspond à la période entre 18h et 00h du nuit, représente une très très faible production , il est justifié par le faible (ou n'existe pas) rayonnement solaire dans cette pèriode (matin et nuit).

Le pic de production à environ 8h matin vers 18h nuit du, est due à l'irradiation moyenne journalière importante sur cette période.

Le diagramme ci-dessus 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 et/ou à très faible production, alors que la couleur rouge montre le pic de production, la production moyenne est représentée par la couleur verte. Les périodes d'arrêts, citées précédemment, sont bien illustrées dans ce diagramme (les zones en noire).

Variable	**Valeur**	**Unité**
Heures de fonctionnement	4,371	h/an
Facteur de capacité (l'état de charge moyenne du PV sur l'année)	16.7	%
Puissance minimale	0.0	KW
Puissance moyenne	80.2	KWh/j
Coût spécifique de l'énergie	0.0931	$/KWh
Pénétration PV	160	%
Puissance maximale	19.0	KW

Tableau V.20 : paramètres de fonctionnement du PV.

V.1.3.2.4. Eolienne :

L'olienne développe 0 % de la puissance total, ses paramètres de fonctionnement sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Variable	Valeur	Unité
Puissance minimale	0.00	KW
Puissance maximale	0	KW
Pénétration éolienne	0	%
Heures de fonctionnement	0	h/an
Puissance moyenne	0	KW
Production totale	0	KW /an
Facteur de capacité	0	%

Tableau V.21 : paramètres de fonctionnement de l'éolienne.

On observe que l'olienne ne fonctionne pas dans deux mois a cause de faible potentiel dans la région de Médéa. On note aussi qu'il y a que de espaces noires (production nulle), et ça depend du faible potentiel du vent.

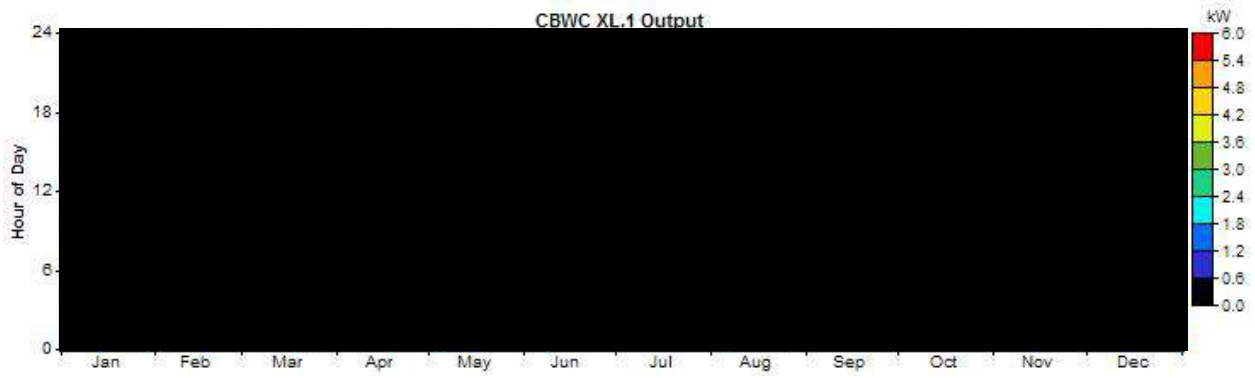


Figure V.33 : production journalière moyenne du l'olienne pour toute l'année.

V.1.3.2.5. Le Générateur diesel :

Le générateur diesel est appelé à fonctionner à n'importe qu'elle moment de la journée et d'une manière optimisée, c'est-à-dire une possibilité de fonctionnement à pleine charge comme à charge partielle et ce selon les besoins du site. La mise en marche (ou à l'arrêt) est donc en fonction de la demande, de la prouction des autres générateurs et de l'état de charge des batteries. Le combustible à utiliser est le fuel (moteur diesel), ses propriétés sont résumées dans le tableau ci- dessous :

Variable	Valeur	Unité
Prix	0,2	$/L
Puissance minimale délivrée	0 .45	kW
Puissance moyenne délivrée	1.42	kW
Puissance maximale délivrée	1.5	kW
Consommation de fuel	2,739	L/an
Heures de fonctionnement	5,762	hr/an
Nombre de démarrage	394	Démarrages/an
Facteur de capacité	62.3	%
Durée de vie	0.868	an

Tableau V.22 : paramètres de fonctionnement de GD.

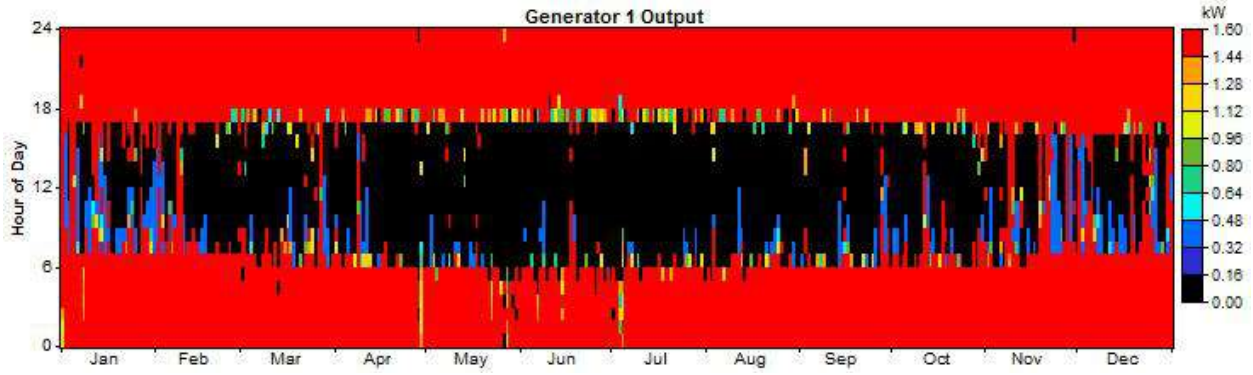


Figure V.34 : production journalière moyenne du GD pour toute l'année.

On remarque que le GD fonctionne de façon importante durant deux periodes principaux :de 0h-6h et 18h-24h a cause de l'absence du rayonnement solaire et le vent, et la puissance délivrée est presque 1.5kw (couleur rouge). Il y a une autre periode (6h-18h) représente soit une faible puissance de diesel (couleur bleue), soit une puissance nulle (couleur noire).

On note que la puissance de diesel est faible, car on a besoin d'exploiter le maximum de l'énergie renoubvelable et diminuer le diesel et ses émissions.

V.1.3.2.6. Les batteries :

L'instaltion 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. Les paramètres de fonctionnement des batteries sont :

Variables	**Valeur**	**Unité**
Energie d'entrée	8172	KWh/an
Energie délivrée	6968	KWh/an
Perte d'énergie	1182	KWh/an
Autonomie des batteries	16.3	heure
Coût spécifique moyen	0.282	$/KWh
Durée de vie des batteries	4.03	an

Tableau V.23 : paramètres de fonctionnement des batteries.

Pour analyser le fonctionnement journalier des batteries on utilise le diagramme de l'état de charge moyenne journalière données par la figure (V.35) (en % de la capacité maximale).

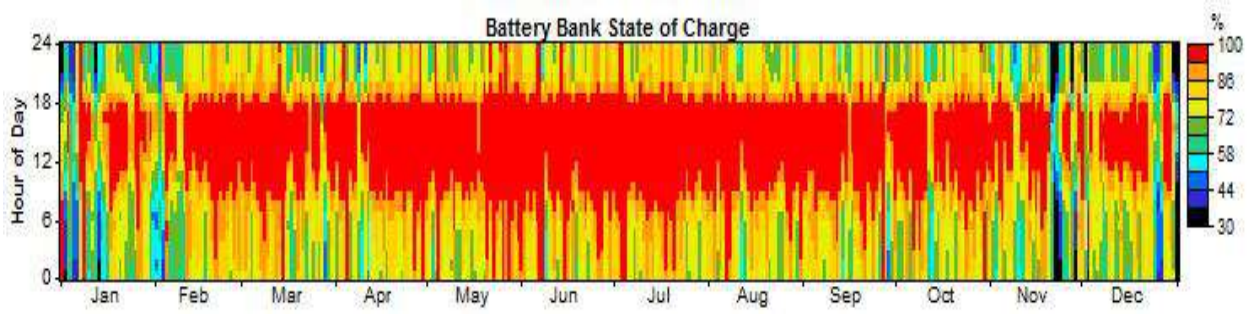


Figure V.35 : état de charge journalière des batteries.

le profile de la distribution journalière moyenne de l'état de charge est relativement semblable pour tous les mois, mais ce n'est pas avec les mêmes valeurs. L'état de charge journalière moyenne est caractérisé par une période de 10h-18h qui représente le max de charge de batteries(100%) , et ça durant les mois qui contiennent la majorité d'irradiation solaire (de Avril a Aout), et de 18h-6h, on a une diminution de l'état de charge a cause de daible irradiation solaire et faible vitesse du vent (couleur verte et bleue :40-70%)

V.1.3.2.7. Répartition des coûts de l'installation :

Pour estimer le coût total du projet on utilise, pour chaque élement, les données suivantes :

- Le capital initial.
- Les coûts de fonctionnement et de maintenance.
- Le coût de remplacement.
- La durée de vie.

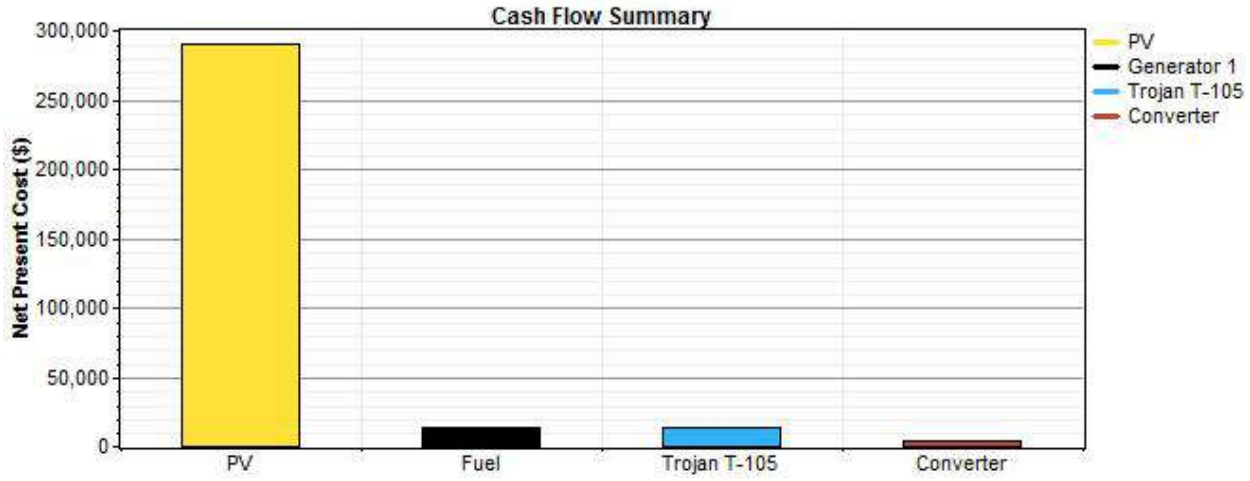


Figure V.36 : répartition des coûts de l'installation.

La Générateur PV présente le coût le plus élevé (290,848$) , et les batteries présentent un coût de (14,160$), puis le Générateur diesel et les convertisseurs avec un faible coût.

V.1.3.2.8. les emissions :

Polluant	Emissions(kg/an)
CO2	7,214
CO	17.8
SO2	14.5
Oxide de nitrogénes	159

V.2. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a dimensionné le système hybride souhaité. Ce systéme est composé par les sources d'origines renouvelables, les convertisseurs et les batteries.

On a étudié les différentes structures possibles (structure avec bus AC, avec bus DC ou mixte) et leurs avantages et inconvénients.

Nous avons trouvés plusieurs cas possibles pour l'obtention d'un système hybride , il y a des cas où le systéme optimal est basé sur le cout, mais on trouve ce systéme est polluant que d'autres systèmes ; ce qui nous donne une possibilité de choix du système non polluant. Un compromis Cout/Pollution s'impose alors.

Conclusion générale

Les travaux présentés dans cette mémoire concernent les systèmes de production d'électricité d'origine renouvelable. Le premier chapitre de cette mémoire permis de présenter une brève description du domaine des énergies renouvelables existantes.

La production d'énergie basée sur les énergies renouvelables constitue un excellent moyen de protéger 'environnement et d'acquérir une sécurité à long terme sur le plan énergétique, et pour l'Algérie nous avons vue qu'il y a un potentiel considérable, et il faut réaliser un équilibre entre l'utilisation des énergies renouvelables (propres) et les énergies fossiles et nucléaires (polluantes), car ces derniers n'ont pas permanents.

Dans le deuxième chapitre, nous avons fait l'état de l'art tout en essayant de tenir compte du cahier de charge de notre système photovoltaïque et sa modélisation. La caractérisation du modèle; l'influence des différents paramètres climatiques et autres sur les caractéristiques I(V), P(V) a été abordée, ainsi qu'une synthèse d'assemblage des panneaux et une spécification des différentes zones de fonctionnement et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque. Le système de panneau solaire étudié est constitué d'un ensemble d'éléments se trouvant en interaction que sont les panneaux photovoltaïques, le hacheur de tension et la charge. Le modèle du panneau photovoltaïque utilisé est celui avec une diode. Nous avons ensuite décrit brièvement le modèle du hacheur de tension. Comme les caractéristiques du générateur photovoltaïque dépendent fortement des paramètres météorologiques, il nous a parut nécessaire de présenter des méthodes de recherche du point maximal de puissance afin d'obtenir le rendement maximal du générateur à tout instant malgré les variations des paramètres météorologiques (température et/ou éclairement). Les méthodes étudiées dans ce chapitre, *P&O* perturbation and observe).

Dans le troisième chapitre, nous nous sommes intéressés au système éolien qui devient de plus en plus compétitives au point de vue économique. Ainsi les différentes solutions technologiques permettant d'exploiter la source éolienne. On a vu les différentes structures de conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, en basant sur la machine asynchrone à double alimentation (MADA) a cause de plusieurs avantages.

Et pour le quatriéme et cinquiéme chapitre, nous avons fais une étude théorique pour l'hybridation du systéme, aprés on a établi des différentes possibilités d'obtention des systèmes hybrides avec les dimensionnements nécessaires. On a fait des interprétations sur les résultats obtenus. On a aussi essayé d'obtenir le système optimal de point de vue économique et technique, et la possibilité de les réaliser sur la région étudiée.Deux cas d'étude sont proposés ; en occurrence : le cas d'Adrar et celui de MEDEA.

Dans le cas d'Adrar, on trouve que le systéme optimal est éolien/photovoltaïque/diesel, ce résultat est a cause du potentiel important du rayonnement solaire et éolien (moyenne du vitesse du vent supérieure a 6m/s), dans cette configuration on a deux choix ; soit un systéme

hybride basé sur l'utilisation du générateur diesel, donc un systéme moins couteux mais plus polluant, ou un systéme basé complétement sur les sources renouvelables et le systéme de stockage (batteries), donc ce systéme est non polluant, et ça c'est une grande avantage, mais aussi le cout est élevé.

Pour le cas de MEDEA, nous avons trouvés que le systéme optimal est composé par photovoltaique/ diesel , car la région de MEDEA a un potentiel solaire considérable.Par contre un potentiel éolien très faible. On peut aussi construire un systéme hybride PV/ batteries sans l'utilisation du diesel, mais cette configuration a un cout élevé, au méme temps contient un grand avantage qui est non polluant.

C.D.E.R	Centre de Développement des énergies renouvelables
SEH	Système d'Energie Hybride
GD	Générateur Diesel
EnR	Energie Renouvelable
EU-MENA	L'Europe et de Middle East North Africa
Cp	Coefficient aérodynamique de puissance de la turbine
ρ	Masse volumique de l'air (kg/m
Ω	La vitesse angulaire de rotation de la turbine (rad/s).
λ	Rapport de vitesse (m/s).
	Vitesse du vent (m/s).
	Vitesse maximale (rad/s).
	Vitesse minimale (rad/s)
S	Surfaces actives de l'éolienne (m
	Le couple éolien (N/m
	Le coefficient de frottement de la machine
	Le coefficient de frottement des pâles
	Les courants statoriques (A)
	Les tensions statoriques (V)
	Les résistances statoriques (Ω).
	L'induction cyclique statorique (H)
P	Le nombre de paire de pôles
W	La pulsation des tensions (rad/s)
	Les courants d'entrée(A)
	Les tensions d'entrée entre phases du redresseur MLI (V).
	Le coefficient de puissance est à sa valeur maximale
	Tensions de référence sinusoïdales (V)
	La puissance du bus continu (W).
	La pulsation de commutation (rad/s).
PI	Régulateur proportionnelle intégré
	Paramètre de régulateur PI
	La constante de temps électrique
	Couple éolienne optimale (N/m
	Puissance éolienne optimale (w).

PV	Photovoltaïque
	Ensoleillement dans le plan des modules (W/m²).
	Température de jonction de la cellule (°C).
	Courant fourni par le groupe de modules (A).
	Tension aux bornes du groupe de modules (V).
	Courant photonique de la cellule (A).
	Courant de polarisation de la jonction PN,
DC-DC	Convertisseur continu continu
	Courant de saturation inverse (A)
K	Constante de Boltzmann (1.38 10−)
q	Charge élémentaire (1.6 10−)
Eg	Est l'énergie de gap
	Courant traversant la résistance shunt (A).
N_p	Nombre des modules en parallèle.
N_s	Nombre des modules en série.
R_s	Résistance série (Ω).
	La résistance shunt (Ω).
	Rapport cyclique
T	Etant la période des impulsions (s).
GPV	Générateur photovoltaïque
MPPT	Maximum Power Point Tracking
IPV	Courant de sortie du panneau
VPV	Tension de sortie du panneau
PPV	panneau photovoltaïque
P&O	perturbation and observe
	Force électromotrice (V).
	Sont la tension et la courante batterie (V), (A).
	Force électromotrice fonction de l'état de charge de la batterie
SOC	State Of Charge (%).
	Résistance interne d'un élément (Ω).
	La capacité, en (Ah), de la batterie en régime de décharge à courant constant durant 10 heures
	Du courant moyen de décharge (A).

Q_d	La quantité de charge manquant à la batterie (Ah).
V_{bat-d}	Tension de batterie cas décharge (V).
V_{bat-c}	Tension de batterie cas charge (V).
V_{bat-oc}	Tension de batterie de surcharge (V).
V_{ec}	Tension batterie en fin de charge (V).
V_g	Valeur de tension de gassing (V).
τ_g	Constant de temps de phénomène Gassing (s).
E_{sref}	L'ensoleillement de référence (W/m²).
T_{ref}	La température de référence des modules (°C).
P1, P2, P3, P4, P5	Paramètres des modèles de panneaux photovoltaïques
I_{10}	Courant constant durant 10 heures (A)
ΔT	Est l'échauffement de l'accumulateur (°C)
V_{ec}	Tension fin de charge
n_{cb-d}	Le rendement coulombien en décharge de la batterie
n_{cb-c}	Le rendement coulombien en charge de la batterie
η_{G_c}	Le rapport de l'énergie emmagasinée pendant cette courte période sur l'énergie électrique entrée en charge
η_{G_d}	Le rapport de l'énergie électrique débitée sur l'énergie initialement stockée en décharge
Φ_{ech}	La quantité de charge échangée (Ah)
P_{bat}	Puissance de batterie de référence (W)
$\eta_{DC\ /\ AC}$	Rendement en fonctionnement continu alternatif (DC/AC)
Pb(t)	La puissance de batterie en fonction de temps(W)
P_{P_PV}	La puissance crête installée (W)
C_{PV}	Coût total par watt-crête (€/Wc)

C_{T_PV}	Coût total de l'installation photovoltaïque (€)
C_V	Le coût d'installation (€)
P_{p_V}	La puissance crête installée (€/Wc)
C_{T_V}	Le coût total du système éolien (€)
C_{T_b}	Le coût total de la batterie (€)
P_{conso}	Puissance de consommation(W)
G_{PV}	Gisement photovoltaïque (W/ m²)
G_V	Gisement de vent (m/s)
F_{PV}	fonctions de transferts photovoltaïques
F_V	fonctions de transferts vent
A_{PV}, A_W	disponibilités des systèmes de production
d_W ,d_{PV}	délestage volontaire d'un des systèmes de production
A_b,	Disponibilité de batterie
E_b	l'énergie stockée dans la batterie (V)
P_{conv}	la puissance qui y transite à/ou onduleur (W)
P_G	Puissance générateur (W)

Bibliographie

[1] Sven Geitmann, « Énergies renouvelables & Carburants alternatifs », Hydrogeit Verlag, août 2007 .

[2] http://www.fnh.org/francais/doc/en_ligne/energie/dossier_intro.htm. [Page consultée le 10 Avril 2012].

[3] « les énergies renouvelables : les énergies renouvelables en Algérie ».http://afroandalou.over-blog.com/pages/les-energies-renouvelables-en-algerie 2961517.html. [Page consultée le 08 Avril 2012].

[4] KENDOULI Fairouz.« Etat de l'art et modélisation des microcentrales »,Mémoire de magister, université Mentouri de Constantine.

[5] « http://www.neal.net/index.php »,[Page consultée le 15 Avril 2012].

[6] http://www.techniques-ingenieur.fr. « la production d'énergie électrique par sources renouvelables », [Page consultée le 15 Avril 2012].

[7] « http://users.swing.be/ecotopie/eolcrit.htm », [Page consultée le 21 Avril 2012].

[8] BELGHITRI Houda. « modélisation, simulation et optimisation d'un Système hybride éolien-photovoltaïque ». Mémoire de magister, université Abou-bakr Belkaid de Tlemcen.

[9] Le site internet.« http://www.fnh.htm »,[Page consultée le 15 Avril 2012].

[10] Le site internet. »http://www.tpepanneauxsolaires.fr/.html, avantages et inconvenients », [Page consultée le 18 Avril 2012].

[11] Le site internet. « Énergie photovoltaïque et solaire : avantages et inconvénients » ,http://www.energie photovoltaique et solaire.com/avantages-inconvénients.html. [Page consultée le 18 Avril 2012].

[12] A. Kaabeche et al. « Optimisation d'un système hybride éolien –photovoltaïque totalement autonome », Revue des Energies Renouvelables Vol. 9, 2006, p. 199 – 209.

[13] « http://www.systemespv.com/Systemes+hybrides », [Page consultée le 22 Avril 2012].

[14] VECHIUIonel. « modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un Réseau autonome ». Thèse de Doctorat.

[15] BELAKEHAL Soltane. « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse de doctorat, université de Constantine, 147 pages.

[16] NICHIPORUK Oleksiy. « Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigités », thèse de doctorat, 2005, 161 pages.

[17] B. Flèche, D. Delagnes.« énergie solaire photovoltaïque », juin 2007,18 pages.

[18] A. LABOURET, P. CUMUNEL, P.BRAUN.« Cellules Solaires Les Bases de Lénergie Photovoltaïque », Dunod, Paris, 2001.

[19] Bourzama fethi et Lamouri toufik, « Commande d'une chaine hybride Photovoltaïque Eolien ».Université de Médéa,mémoire de master, 2011, 83 pages.

[20] BELARBI Omar et Dridji Ahmed, « Commande et optimisation d'un système d'énergie renouvelable photovoltaïque », mémoire de master, 104 pages.

[21] BELAKEHAL Soltane. « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Université de Constantine, juin 2010.

[22] NAIMIAhmed Hachemi et ZAOUI Aboubakr. « Etude des techniques MPPT pour les sources photovoltaïques.Application à une cascade source photovoltaïque onduleur multiniveaux », Université de Médéa, mémoire d'ingénieur d'état, juin 2011.

[23] Le Site internet : « http://www.ilephysique.net/forum-sujet-236456.html », [Page consultée le 17 Mai 2012].

[24] Le Site internet : « http://electronique1.blogspot.com(hacheurs survolteurs.html, [Page consultée le 17 Mai 2012].

[25] BÉLANGER GRAVEL Joséanne. « analyse technico-économique d'un système hybride éolien-photovoltaïque en comparaison avec les systèmes photovoltaïque et éolien seuls », université de Montréal, mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, 198 pages.

[26] DEMEUSY Vincent. « dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque / groupe électrogène », Solarpedia, juillet 2011.

[27] Baghdadi Fazia. « modélisation et simulation desperformances d'une installation hybride de conversion d'énergie renouvelable », université de Tizi Ouzou, mémoire de magister, septembre 2011.

[28] BORNI Abdelhakim. « étude et modélisation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire », Mémoire de Magister, 2009.

[29] ATOUI Adil. « Modélisation et commande d'un système hybride éolien-photovoltaïque alimentant un site isolé », Mémoire de Magister ENP 2011.

[30] M.CHAABENE . «gestion énergétique des systèmes photovoltaïque master de génie électrique», Conversion Électrique des Énergies Renouvelables univ de Sfax, 2000.

[31] Le Site internet : http://www.ef4.be , Energie Facteur asbl - Chemin de Vieusart 175 - 1300 Wavre 00, Décembre 2007.

[32] Bendjellouli Zakaria. « Contribuationà la modelisation d'une cellule solaire n», Mémoire de Magister 2009.

[33] Belhadj Mohammed. « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome", Mémoire de Magister 2008.

[34] POITIERS Frédéric. « étude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne ». Thèse de doctorat, Nante 2003.

[35] MEZIANE Sadek. « Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien », Mémoire de Magister 2009.

[36] SINGO Akassewa Tchapo. « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome », Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 3 février 2010.

[37] Http://www.solener.com/intro_f.html. [Page consultée le 11 Juin 2012].

[38] Http://tpe-energie-elolienne.e-monsite.com.[Page consultée le 11 Juin 2012].

[39] Primary energy overview,Energy Information Administration.[Consulté le 22-11-2008].

[40] « L'énergie mondiale poursuit sa mutation malgré la crise » ,Green univers,http://www.greenunivers.com/2009/05/rapport-ren21-energies-renouvelables-monde-2008-6617/.Consulté le 24-10-2009.

[41] « Adoption du programme des énergies renouvelables et de la politique d'économie d'énergie».Consulté le 23-07-2011.

[42] « Programme Algérien de Développement des Énergies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique ».Consulté le 23-07-2011

[43] « Programme Algérien de Développement des Énergies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (Liste des projets) ». Consulté le 23-07-2011

[44] Adelphi Consult, Étude intitulée « Importance des énergies renouvelables pour la politique sécuritaire », Novembre 2007.

[45] « Le Salon International des Energies Renouvelables », http://www.actualites-news-environnement.com/23770-Salon-International-Energies-Renouvelables.html. 17 Juin 2010.

[46] Jean-François Sacadura, «Initiation aux transferts thermiques », Lavoisier, Paris, 1993.

[47] «Présentation du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et d'une installation solaire-photovoltaïque».http://www.imex-cgi.fr/nos-produits/le-solaire-photovoltaique/presentation/fonctionnement.

[48] «Législation française sur les installations solaires photovoltaïques». http://www.imex-cgi.fr/nos-produits/le-solaire-photovoltaique/presentation/legislation.

[49] Naouel HAMDI, « Modélisation et commande des génératrices éoliennes ».Université de Constantine.Mémoire de magister.Janvier 2008, 118 pages.

[50] Olivier GERGAUD, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur ». L'école normale supérieure de Cachan,Thése de doctorat, 9 Décembre 2002,184 pages.

[51] Farouk Chellali et al, « Optimization of a hybrid Wind/Solar/Diesel standalone system for remote areas in Algeria»,école nationale polytechnique d'Alger.Séminaire National de Mécanique,2011.

[52] Mounir ALLICHE et Kamel LAIDI, « Study of the Wind Potential in the Region of MEDEA (ALGERIA)».Université de MEDEA.Novembre 2010.

Annexe A :

Paramètres du site d'Adrar :

L'irradiation globale pour le site d'Adrar :

Mois	Clearness Index	Irradiation moyenne
		(kWh/m^2/j)
Jan	0.655	4.044
Feb	0.677	4.986
Mar	0.668	5.959
Apr	0.677	6.964
May	0.665	7.375
Jun	0.645	7.335
Jul	0.625	6.999
Aug	0.626	6.597
Sep	0.665	6.220
Oct	0.640	4.996
Nov	0.650	4.176
Dec	0.651	3.763

Potentiel éolien : [51]

Month	Vitesse du vent (m/s)
Jan	6.31
Feb	6.98
Mar	7.09
Apr	7.00
May	7.82
Jun	6.10
Jul	7.50
Aug	6.40
Sep	5.99
Oct	5.65
Nov	5.82
Dec	5.70

Paramètres du site de Médéa :[52]

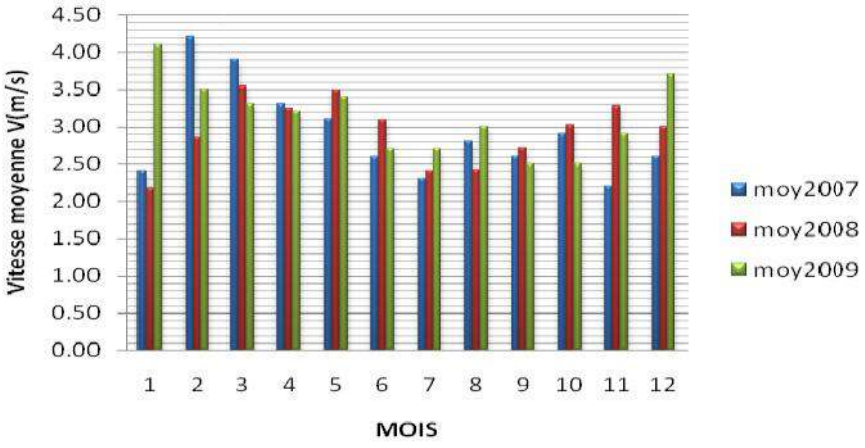
L'irradiation globale pour le site de Médéa :

Mois	Clearness Index	Irradiation moyenne ($kWh/m^2/j$)
Jan	0.491	2.394
Feb	0.517	3.217
Mar	0.533	4.300
Apr	0.534	5.278
May	0.559	6.193
Jun	0.608	7.024
Jul	0.615	6.945
Aug	0.636	6.553
Sep	0.605	5.243
Oct	0.548	3.701
Nov	0.498	2.573
Dec	0.488	2.174

Potentiel éolien : [52]

Month	Wind Speed (m/s)
Jan	4.2
Feb	3.5
Mar	3.3
Apr	3.2
May	3.4
Jun	2.7
Jul	2.7
Aug	3.0
Sep	2.5
Oct	2.5
Nov	2.9
Dec	3.7

Vitesse moyenne du vent de Médéa :



-Vitesse moyenne du vent de Médéa-[52]

Paramètres de Médéa :

K	**C** (m/s)	$\overline{V}$ (m/s)	$\overline{V^3}$ (m^3/s^3)	$\mathbf{P_{disp}}$ (W/m^2)	$\mathbf{P_{recup}}$ (W/m^2)
1,899	3,322	3,13	51,643	46,18	27,25

-tableau de paramètres du site de Médéa- [52]

Paramètres des turbines :

Type	manufacture	D (m)	V_n (m/s)	P_n (kW)	Cut-in speed (m/s)
Bergey Excel-S	Bergy Co (USA)	6.7	16	10	3
Bergey XL 1	Bergy Co (USA)	2.5	18	1	2.5
Fuhrlander FL	Fuhrlander (Germany)	21	11.5	100	3
Enercon E33	Enercon (Germany)	33.4	13	335	3

-tableau de caractéristiques des turbines-[52]

Generateur diesel: [51]

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/hr)
2.600	900	900	0.040

Durée de vie : 5000 heures

Annexe B :

Présentation du logiciel HOMER :

Il est intéressant de pouvoir comparer différents systèmes simples et des systèmes hybrides à l'aide d'un seul et même logiciel. De nombreux logiciels concernent les énergies renouvelables utilisées spécifiquement pour les bâtiments et les maisons et même plus précisément sur l'efficacité énergétique de ces bâtiments. Peu de logiciels traitent de la production d'énergie en intégrant plusieurs types d'énergie. En intégrant à la fois les outils de simulation et les outils de calculs des coûts, voici les quelques logiciels disponibles : In my backyard, EnergyPeriscope, Hybrid2, HOMER et RETScreen. Ces logiciels seront discutés dans une section ultérieure. [22]

1. Paramètres pour le choix des logiciels :

Afin de choisir les logiciels, il est indispensable de définir les besoins, donc de déterminer les attentes minimales auxquelles le logiciel doit répondre. Les logiciels devront avoir ces paramètres afin d'être sélectionnés :

1- Langue : anglais ou français.

2- Accessibilité à tous.

- Prix : gratuit ou moins de 100 $ par licence.
- Facilement disponible : par Internet.
- Simplicité d'utilisation.
- Documentation en ligne.

3- Plusieurs technologies disponibles : photovoltaïque, diesel et éolien.

4- Systèmes hors réseau.

5- Simulation de systèmes dans plusieurs pays

6- Évaluation des coûts

7- Optimisation des systèmes. [22]

1.1. Langue :

Pour des raisons évidentes de compréhension, le logiciel doit être en français ou en anglais.

1.2. Accessibilité à tous :

L'accessibilité à tous est un point important selon moi. Afin de promouvoir les énergies renouvelables, le public doit pouvoir les comprendre et utiliser des outils qui rendront faisables leurs projets. Il faut qu'ils soient à la fois assez performants pour les scientifiques et chercheurs et relativement simples pour que même les non initiés soient capables de les utiliser.

Il est donc primordial que le logiciel soit disponible pour le système d'exploitation Windows qui est majoritairement utilisé et qu'il ne requière pas des puissances de calculs excessives. D'emblée, la plupart des logiciels ont ces caractéristiques de base.[22]

1.2.1. Prix :

Les pays industrialisés ont généralement beaucoup de financement pour la recherche, ce qui n'est pas le cas de tous les pays. Si un minimum de ressources financières est utilisé pour les logiciels, ce sont des ressources qui peuvent être dépensées ailleurs comme dans la réalisation de projets concrets. La gratuité ou le faible coût des logiciels (moins de 100 $ par licence, par exemple) rendent la recherche et la réalisation de projets accessibles à tous les pays et à toute la société. De plus, cela facilite aussi l'apprentissage des étudiants qui peuvent faire des projets scolaires plus appliqués, plus concrets sans même que leurs institutions déboursent des sommes considérables, souvent plusieurs milliers de dollars par licence, pour des logiciels qui offrent des possibilités similaires. Dans le cas d'une étude macroscopique, si un logiciel peut obtenir des résultats similaires à la réalité à une fraction du prix, je considère que cette incertitude est tolérable. [22]

1.2.2. Facilement disponible :

La disponibilité du logiciel sur Internet est un fort atout pour l'accessibilité à tous. Peu importe l'endroit dans le monde, dès qu'on a accès à une connexion Internet, le logiciel peut être téléchargé.[22]

1.2.3. Simplicité d'utilisation :

La simplicité d'utilisation est importante puisqu'elle rend à la fois le logiciel accessible aux non initiés et permet de gagner un temps non négligeable aux scientifiques et chercheurs qui n'ont pas à apprendre un langage de programmation pour l'utiliser et qui peuvent réaliser des simulations rapidement. De cette façon, on peut assurer une certaine pérennité des études faites puisqu'elles peuvent être réalisées par une majorité d'étudiants et de chercheurs. [22]

1.2.4. Documentation disponible :

Bien entendu, la disponibilité de la documentation en ligne est essentielle. L'accessibilité à un tutoriel et à l'aide du logiciel est primordiale. Le tutoriel permet à tous de pouvoir utiliser le logiciel sans aucune formation préalable. L'aide du logiciel quant à elle permet d'obtenir des précisions sur les différentes données à fournir et le fonctionnement global du logiciel. La possibilité de retour et commentaires par le support technique sur les fichiers produits ou de l'assistance par Internet ou encore des fichiers d'exemple disponibles sont des atouts. [22]

1.3. Plusieurs technologies disponibles :

Vu le sujet de l'étude, le logiciel doit supporter au minimum la simulation pour la production des énergies suivantes : le solaire photovoltaïque, le diesel et l'éolien. Il doit aussi permettre la simulation de systèmes hybrides soit éolien-photovoltaïque, éolien-diesel, photovoltaïque-diesel et finalement éolien-photovoltaïque-diesel. [22]

2. Présentation de HOMER :

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, de systèmes photovoltaïques, de systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et bien d'autres.[23]

Que l'installation soit reliée au réseau électrique ou non, HOMER permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes comme l'éolien et le solaire peuvent être intégrée de manière optimale au sein des systèmes hybrides.

HOMER a été initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale. Depuis 2009, il est disponible sous la licence HOMER Energy. [23]

HOMER est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée sur une année. Ainsi il est possible de prendre en compte la variation de paramètres comme la demande en électricité, l'apport d'énergie solaire ou d'énergie éolienne. Il est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers formatés correctement.

HOMER est avant tout un modèle économique. Vous pouvez utiliser le logiciel pour comparer les différentes combinaisons de tailles et de nombres de composants, et d'étudier comment les variations de la disponibilité des ressources affectent le coût d'installation et d'exploitation des différentes solutions de systèmes. Certaines contraintes techniques importantes, comme les niveaux de tension des bus, les échanges intra heure, les performances des composants et les stratégies complexes d'utilisation du groupe électrogène sont au delà de la portée d'un modèle économique comme HOMER. [23]

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

- panneaux solaires photovoltaïque,
- éoliennes,
- barrage hydroélectrique au fil de l'eau,
- biomasse,
- génératrices (diesel, essence, biogaz, combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, co-alimentée),
- réseau électrique,
- 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 (flywheels).
- 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. [22]

2.1. Interfaces :

On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois zones importantes comme indiqué sur la Figure suivante : la zone de définition du système, celle des ressources et celle des résultats.[22]

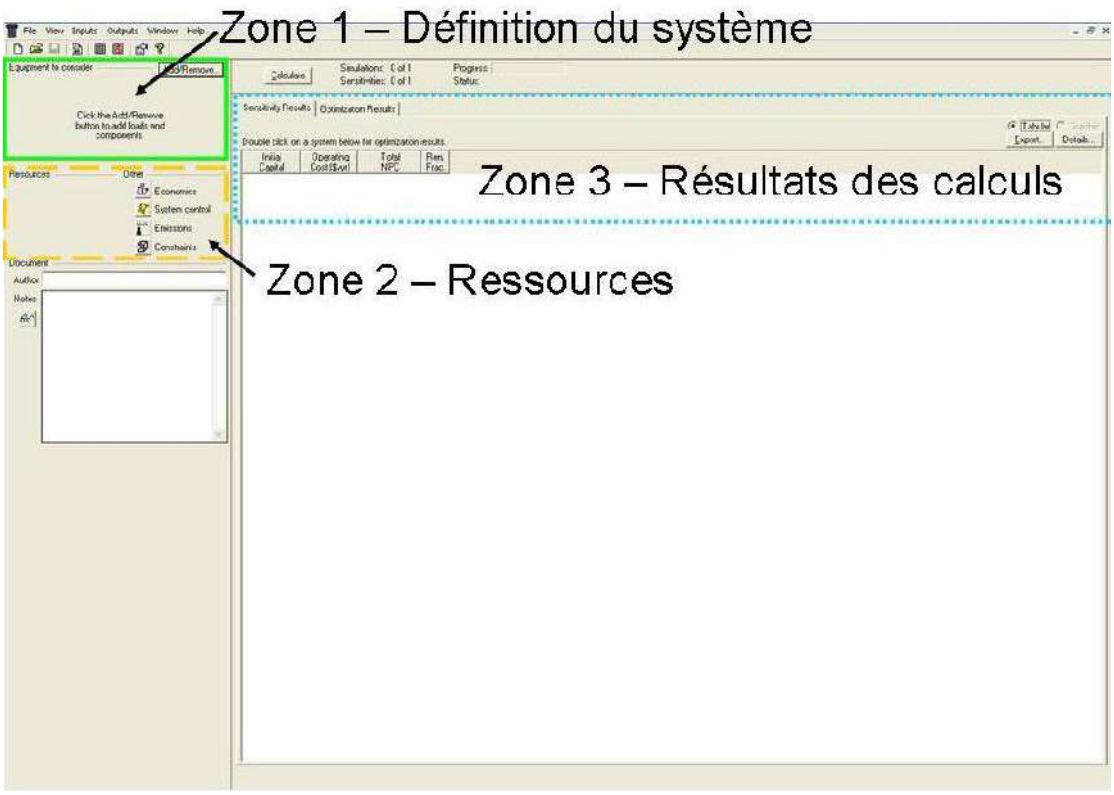


Figure 1 : Interface HOMER-Fichier vierge.

La zone 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 les choix illustrés à la Figure (IV.2) ci-dessous. De plus, dans cette même fenêtre, 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.[22]

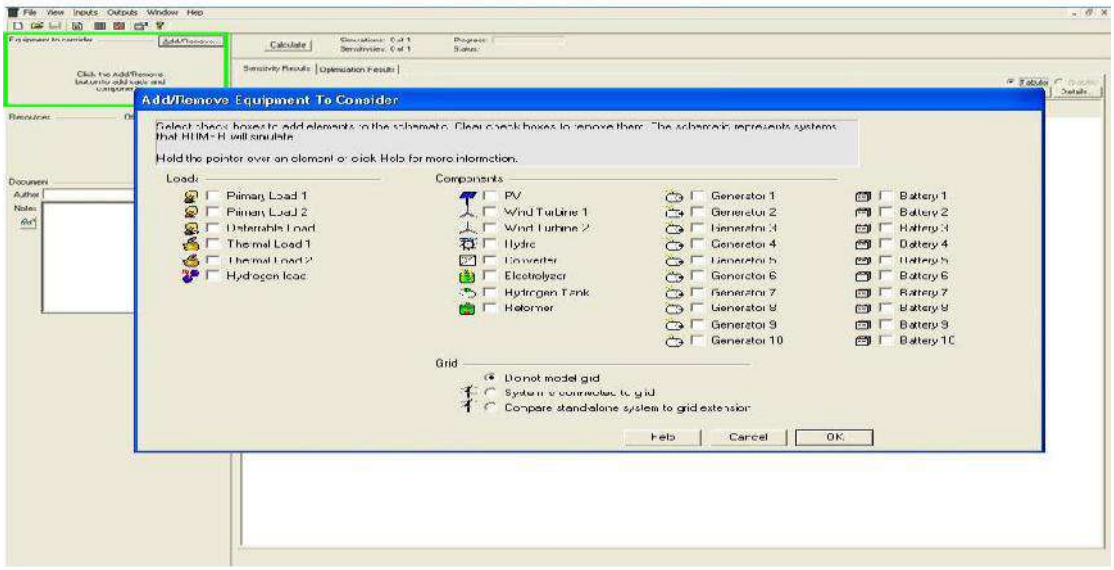


Figure 2 : Interface HOMER-Equipements à ajouter.

Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la zone 1 de définition du système comme à la Figure (3) et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles, dans la zone 2 de définition des ressources comme à la Figure (4). [22]

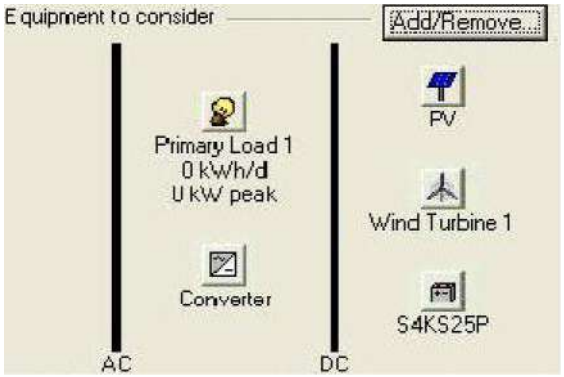


Figure 3 : Interface HOMER- Equipements sélectionnés.



Figure 4 : Interface HOMER- Ressources.

D'autres données sont notamment nécessaires tel que :

- Les coordonnées de site (longitude, latitude, le temps).

- L'élévation.
- Les durés de vie des composants, ainsi que leurs coûts
- La durée de vie du projet .
- La rugosité du terrain, variation de la vitesse avec la hauteur. [24]

Dans ces deux zones, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir ; ce sont les données à fournir pour faire une simulation. Les données entrées pour le présent projet seront définies dans la figure 4. Une fois les données entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l'icône comme illustré dans la Figure 2.6.[22]

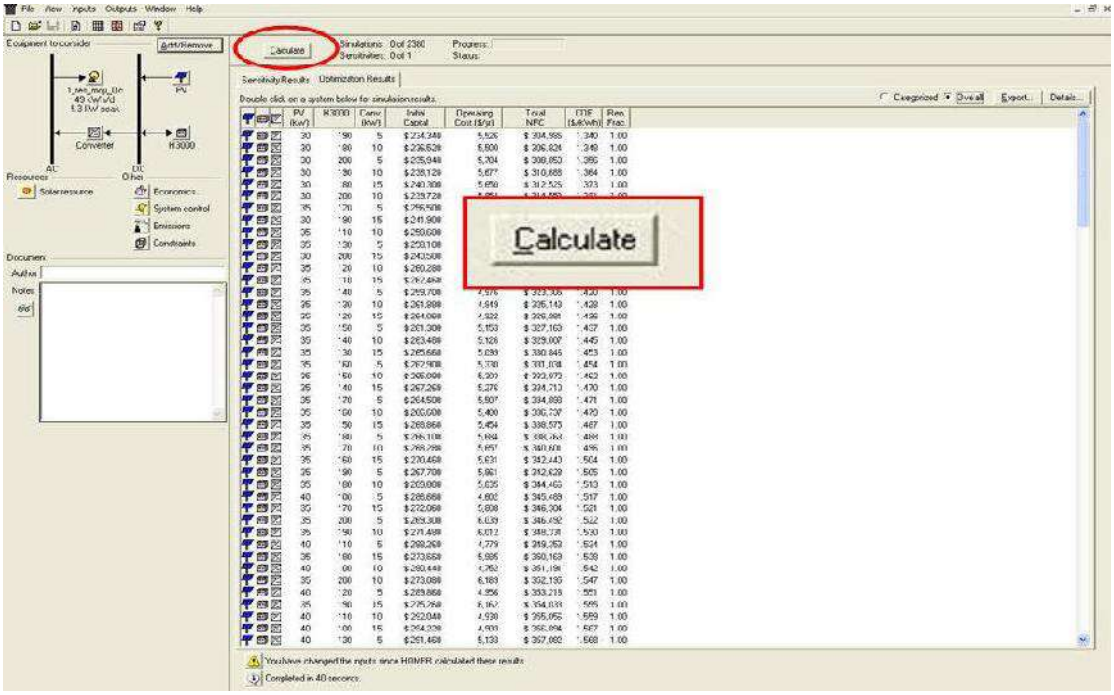


Figure 5 : Interface HOMER- Fichier complété.

Lorsque le calcul est complété, les résultats apparaissent et la solution la plus économique est la première comme illustré à la Figure 6. Un résumé du système et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.[22]

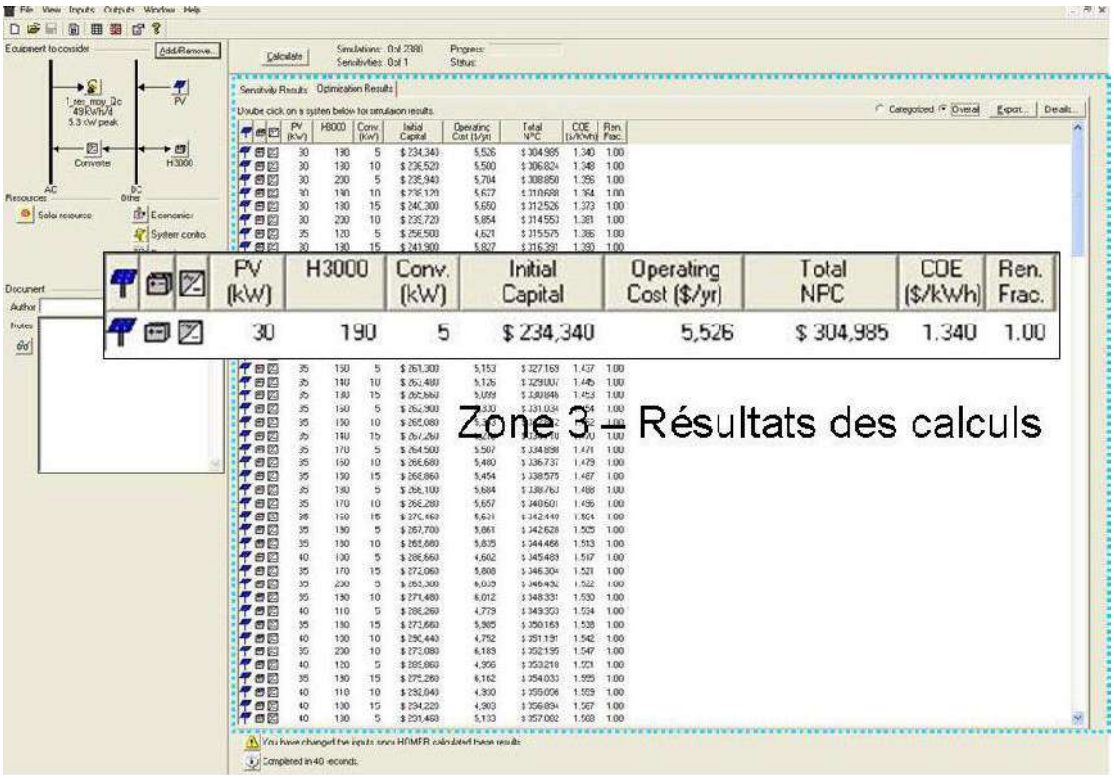


Figure 6 : Interface HOMER- Résultats des calculs.

2.2. Données à entrer :

En bref, les données à entrer sont celles reliées aux zones 1 et 2 de HOMER. Il s'agit de données reliées à la consommation énergétique, aux équipements (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, génératrices, onduleur, 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. Dans la zone 2 des ressources, il y a aussi certains paramètres économiques que l'on peut modifier. D'autres paramètres permettent un différent contrôle du système (surtout au niveau de la simulation des banques de batteries et des génératrices). Dans la zone des ressources, on peut aussi mettre des pénalités monétaires pour les émissions émises ou bien un seuil limite d'émissions à ne pas dépasser lorsque la simulation sera effectuée. Finalement, certaines contraintes peuvent être exigées comme une fraction minimale d'énergie renouvelable à avoir dans le système ou encore accepter un certain pourcentage de déficit en énergie. Une fois toutes les sections remplies, Figure (IV.7) , on peut lancer la simulation en cliquant sur l'icône « calculer ».[22]

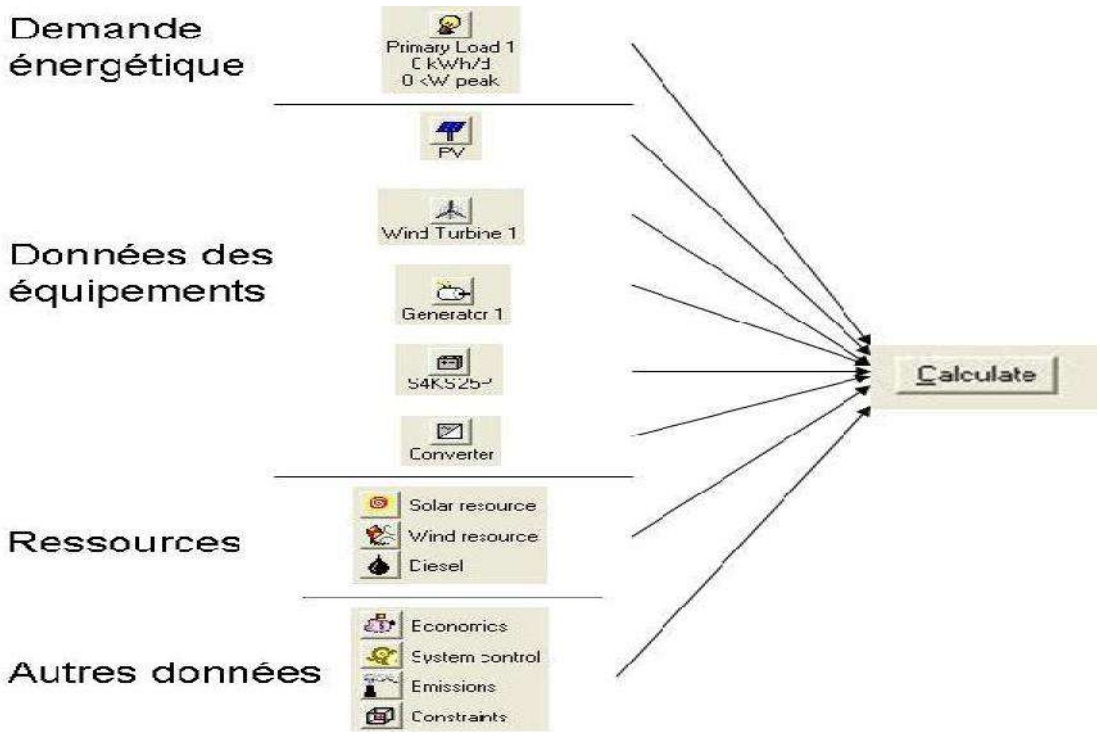


Figure 7 : Données à fournir.

Après la simulation des résultats, on prend Un exemple de résumé est montré à la Figure 8. On y retrouve les informations suivantes : icônes des équipements du système (partie 1) et leur capacité ou le nombre de batteries (partie 2), l'investissement initial devant être fait (partie 3), les coûts d'opération par an (partie 4), le coût total du système à la valeur actuelle (partie 5), le coût de l'énergie en $/kWh (partie 6) et finalement, la proportion d'énergie renouvelable utilisée dans le système (partie 7).[22]

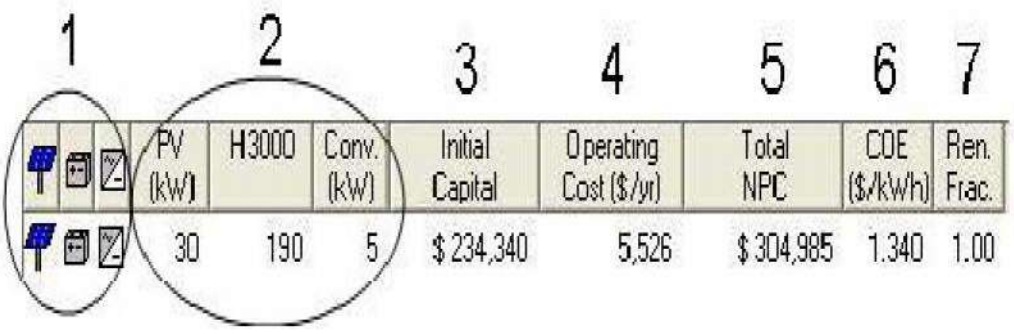


Figure 8 : Résumé des résultats.

Pour plus de détails sur les différents résultats obtenus dans HOMER, il faut cliquer sur le résultat désiré et une fenêtre, Figure (IV.9), s'ouvre avec plus d'information.

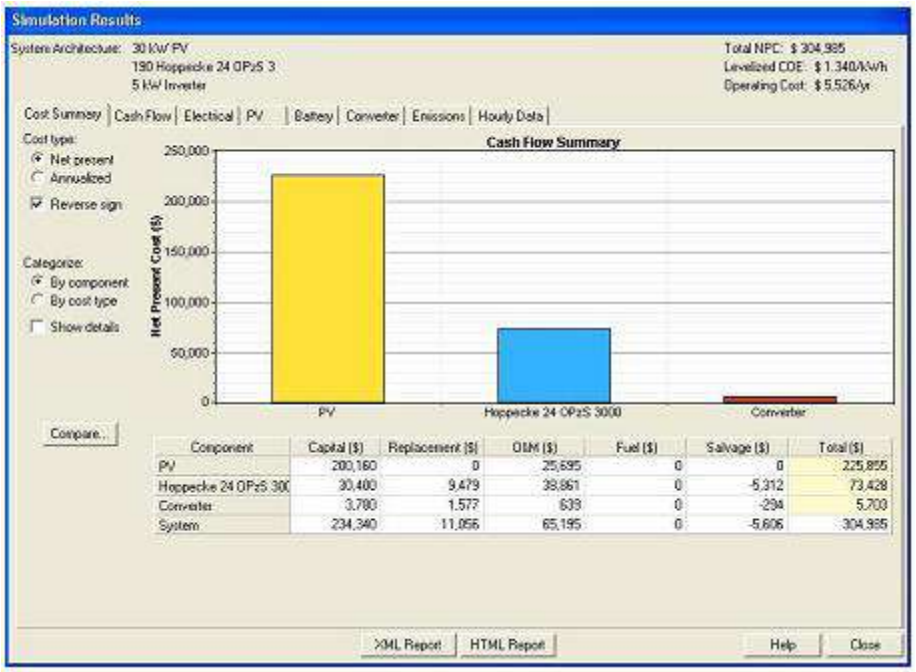


Figure 9 : Fenêtre des résultats détaillés.

Dans cette fenêtre, on retrouve des onglets comme 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.

Panneaux PV :[51]

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
0.1	350	350	100

Durée de vie : 20 ans

La turbine: fBWC XL.1 [51]

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	3,900	3,900	100

Durée de vie : 20 ans

Courbe de puissance de turbine:



Vitesse du vent(m/s)

Batteries: Trojan T-105[51]

Quantity	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1	220	220	4.00

Voltage: 6 V**; Capacité nominale:** 225 Ah**; Durée de vie :** 845 kWh

Convertisseurs :[51]

Size (kW)	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($/yr)
1.000	750	750	0

Durée de vie : 15 ans

Température moyenne au Médéa :(A l'origine de station météo de Médéa)

(**Période de** 01-01-2008 au 31-12-2008)

Mois	Température(°c)
Janvier	7.6
Février	8.6
Mars	8.7
Avril	12.8
Mai	14.7
Juin	20.7
Juillet	26.3
Aout	26.3
Septembre	20.6
Octobre	15.3
Novembre	8.1
Décembre	5.5