

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université Abderrahmane Mira de Béjaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Filière : énergie renouvelable

Spécialité : Energie renouvelable en électrotechnique

En vue de l'obtention du master en électrotechnique

Thème

Etude d'un système hybride PV/éolien/DG/Batteries

Réalisé par :

Hammoudi Fatah

Hocini Kousseila

Encadré par :

Mme REKIOUA Djamila

Co-encadré par :

Mr Mourad Zebboudj

Année Universitaire : 2023-2024

Remerciements

Avant tout, On remercie ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné la santé, le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude en premier lieu à notre encadreur, professeur : Rekioua Djamila, pour son Encadrement, ses directives et sa disponibilité. Aussi, nous la remercions pour ses Encouragements, son indulgence, et sa sympathie.

Également, nous remercions notre Co-encadreur, Mr : le doctorant ZEbbodj Mourad. Qui été présente à chaque moment du déroulement de ce projet.

Nous adressons aussi nos remerciements aux autres membres du jury pour l'honneur de bien vouloir apporter leur jugement à notre travail.

Enfin, nous terminons ce remerciement, nos parents qui nous ont aidés à accomplir notre parcours scolaire.



- H.Fatah & H.Koussaïla -

Dédicaces

Je dédie ce Mémoire

À tous ceux qui me sont cher.

Mes chère parents symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel, que dieu les protègent pour moi et leur accordent une bonne santé et une longue vie.

Mes chères sœurs.

Mon frère Mouhoud et Mon ami Mounir

A tout ceux qui m'ont aidé à réaliser de près ou de loin ce mémoire



H. Fatah -

Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu
moralelement et financièrement durant mon parcours scolaire
et durant toute ma vie,*

Que Dieu leurs accorde une longue vie et une bonne santé.

*Ainsi que à mon frère et ma sœur Leticia et Rabah, et toutes
ma famille paternelle et maternelle*

*A mes amis Anis, Hamza, Rafik et à toute personne qui m'a
aidé à accomplir ce travail.*



H.Kousseila -

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Généralités sur les systèmes hybrides photovoltaïque/ éolienne / diesel générateur/ batterie

I.1. Introduction	3
I.2. La transition énergétique avec l'énergie renouvelable en Algérie	3
I.2.1. Processus de production de l'énergie solaire photovoltaïque	3
I.2.2. Historique	4
I.3. Les types des panneaux	5
I.3.1. Les panneaux solaires thermiques	5
I.3.2. Le panneau solaire hybride	6
I.3.3. Panneaux solaires photovoltaïques	6
I.4. Les différents types de panneaux photovoltaïques.....	7
I.4.1. Panneaux photovoltaïques monocristallins	7
I.4.2. Les panneaux photovoltaïques amorphes.....	8
I.4.3. Les panneaux photovoltaïques polycristallins	8
I.5. Avantages et inconvénients d'énergie photovoltaïque.....	9
I.6. Les différents montages des panneaux photovoltaïques	10
I.6.1. Le montage de panneaux PV en série	10
I.6.2. Le montage de panneaux PV en parallèle	10
I.7. Définition de l'énergie éolienne	11
I.7.1. Historique	11
I.7.2. Architecture d'une éolienne	12
I.7.2.1. Rotor.....	12
I.7.2.2. La Nacelle	13
I.7.3. Les types d'éolienne.....	14
I.7.4. Avantages et inconvénients des éoliennes	15
I.7.4.1. Les Avantages	15

Sommaire

I.7.4.2. Les Inconvénients.....	15
I.8. Générateur diesel.....	16
I.8.1. Constitution d'un groupe électrogène	17
I.8.2. Domaine d'utilisation.....	17
I.8.2.1. Utilisation du groupe électrogène comme source d'appoint.....	17
I.8.2.2. Utilisation du groupe électrogène comme alimentation secours.....	18
I.8.3. L'importance de l'intégration de diesel générateur dans les systèmes à énergie renouvelables.....	18
I.8.4. Stockage de l'énergie	19
I.8.5. Batteries.....	19
I.8.6. Le schéma de principe de fonctionnement d'une batterie.....	20
I.8.7. Différences et avantages des batteries.....	20
I.8.7.1. Plomb-acide.....	20
I.8.7.2. Nickel-hydrure métallique.....	21
I.8.7.3. Nickel- Cadmium	21
I.8.7.4. Lithium-Ion	22
I.8.7.5. Lithium Polymère.....	23
I.8.8. Caractéristiques générales des batteries	24
I.8.9. Les convertisseurs statiques	24
I.8.10. Différents types de convertisseurs statiques	24
I.8.10.1. Les Convertisseurs statiques AC-DC (Les redresseurs).....	24
I.8.10.2. Convertisseurs statiques DC-AC (les onduleurs).....	25
I.8.10.3. Convertisseurs statiques AC-AC (gradateurs)	25
I.8.10.4. Convertisseurs statiques DC-DC (Hacheurs).....	26
I.9. Conclusion.....	26

Chapitre II

Présentation du logiciel Homer pro

II.1. Introduction.....	28
II.2. Principales caractéristiques de logiciel	28
II.3. Interface de Homer pro	28
II.4. L'objectif principal du logiciel	29
II.4.1. Les étapes essentielles de projet	29
II.4.2. L'intérêt de Logiciel dans l'étude de faisabilité et de dimensionnement	31
II.5. Analyse économique.....	32

Sommaire

II.5.1. Coût net actuel (CNA)	32
II.5.2. Coût de l'énergie (COE).....	33
II.5.3. Émissions du cycle de vie (LCE) :.....	33
II.6. Les algorithmes du logiciel Homer pro	34
II.6.1. Algorithme de Dispatch par Suivi de Charge (Load Following Dispatch LF)	34
II.6.2. Algorithme de Dispatch par Cycle de Charge (Homer Cycle Charging Dispatch) ..	35
II.6.3. Lien Homer Pro-MATLAB (Homer Pro MATLAB Link).....	35
II.6.4. Algorithme de Dispatch par Ordre des Générateurs (Homer Generator Order Dispatch GO).....	36
II.6.5. Algorithme de Dispatch Combiné (Homer Combined Dispatch CD)	37
II.6.6. Algorithme de Dispatch Prédictif (Homer Prédictive Dispatch PS).....	37
II.7. Conclusion	38

Chapitre III

Etude d'un système hybride Photovoltaïque /éolienne/batteries

III.1. Introduction	40
III.2. Présentation du système hybride	40
III.3. Evaluation de la consommation.....	41
III.4. Choix de lieu géographique et de composantes de système :.....	41
III.4.1. Coordonnées géographiques du site choisi.....	41
III.4.2. Caractéristiques des panneaux.....	42
III.4.3. Caractéristique de l'éolienne	43
III.5. Méthodes de dimensionnement du système hybride	44
III.5.1. La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation.....	44
III.5.1.1. Description	44
III.5.1.2. Processus de l'étude.....	44
III.5.2. La méthode du mois le plus défavorable	44
III.5.3. La méthode de la moyenne mensuelle.....	45
III.5.3.1. Processus de la méthode de la moyenne mensuelle	45
A. Collecte des données moyennes	45
B. Calcul des moyennes mensuelles.....	45
C. Dimensionnement des composants	45
III.6. Modélisation des composantes de système	46
III.6.1. Énergie mensuelle produite par unité de surface.....	46
III.6.2. L'énergie produite par le générateur photovoltaïque	46

Sommaire

III.6.3. L'énergie produite par le générateur éolien.....	47
III.7. Dimensionnement des batteries	49
III.7.1. Calcul de la capacité de la batterie	50
III.7.2. Choix de l'onduleur	51
III.7.3. Calcule Nombre de batterie	52
III.8. La configuration de système sous Homer Pro	52
III.8.1. Profil de charge journalier sous Homer Pro	53
III.8.2. Les données météorologiques de site choisis	53
III.8.3. Les profils de températures annuelles	54
III.8.4. Les profils de vitesses de vent annuelles	55
III.9. Résultats d'optimisation sous Homer Pro du système.....	56
III.9.1. L'algorithme Ordre des Générateurs (Go).....	56
III.9.2. Résultat catégorique de l'architecture optimale sous le logiciel :	56
III.9.3. Cout de l'installation	58
III.9.4. Flux de trésorerie	59
III.9.5. Résumé de la Consommation électrique	59
III.9.5.1. Résumé de la production annuelle photovoltaïque.....	59
III.9.5.2. Résumé de la production électrique de la Turbine éolienne : Bergery BWC XL.1	60
III.9.5.3. Production électrique total.....	61
III.9.5.4. Consommation électrique annuelle	62
III.9.6. Analyse des performances de la batterie	62
III.9.7. Convertisseur statique utilisé.....	63
III.9.8. Analyses Economique	64
A. Coût total annualisé	64
B. Récupération simple	64
III.9.8.2. Retour sur investissement (ROI)	65
A. Calcul du Retour sur investissement (ROI)	65
B. Utilisation du paramètre de retour sur investissement.....	65
C. Évaluation de projets	65
D. Limites du ROI	65
E. Temps.....	65
F. Risque.....	65
G. Coûts indirects	65

Sommaire

III.9.8.3. Taux de rendement interne (TRI)	66
A. Calcul du Taux de rendement interne (TRI).....	66
III.9.9. Évaluation de projets	66
III.9.9.1. Limites du TRI	66
III.9.9.2. Complexité	66
III.9.9.3. Multiples TRIs.....	66
III.9.9.4. Hypothèses sur le réinvestissement	67
III.10. Comparaison des résultats sous Homer Pro et ceux de la moyenne annuelle mensuelle	67
III.10.1. Analyse des résultats de dimensionnement sous les des deux méthodes	68
III.11. Conclusion.....	68

Chapitre IV

Intégration du générateur diesel au système hybride étudié

IV.1. Introduction	71
IV.2. Dimensionnement de système globale après l'intégration de diésel générateur	71
IV.2.1. Dimensionnement de Système photovoltaïque	71
IV.2.2. Dimensionnement de l'éolienne.....	72
IV.2.3. Dimensionnement du Générateur diesel.....	73
IV.2.4. Dimensionnement de Convertisseur.....	74
IV.2.5. Dimensionnement des Batteries	74
IV.3. Simulation de système Hybride sous Homer avec les deux algorithmes.....	75
IV.3.1. Données météorologiques et géographique du système hybride.....	75
IV.3.2. Les deux méthodes de simulation	75
IV.3.3. Résultat de la première méthode avec l'algorithme prédictive	76
IV.3.3.1. Les résultats obtenus par Homer Pro.....	76
IV.3.3.2. Analyse d'investissement avec l'algorithme prédictive appliqué	77
IV.3.3.3. Production annuelle photovoltaïque comparant a la charge totale servie	78
IV.3.3.4. Production des panneaux photovoltaïques	79
IV.3.3.5. Production du générateur diésel	80
IV.3.3.6. Consommation du carburant par le générateur diesel	82
IV.3.3.7. Différentes émissions polluantes.....	82
IV.3.3.8. Analyse de la Production électrique.....	83
IV.3.3.9. Analyse de système de stockage des batteries.....	84
IV.3.4. Résultat de simulation par l'algorithme combiné.....	85

Sommaire

IV.3.4.1. Les résultats d'optimisation obtenus par Homer Pro	85
IV.3.4.2. Flux de trésorerie des deux systèmes actuel et proposé par l'algorithme	87
IV.3.4.3. Production électrique.....	88
IV.3.4.4. Production annuelle photovoltaïque.....	88
IV.3.4.5. Résumé de production électrique des Batteries.....	90
IV.3.4.6. Production de Diesel générateur.....	91
IV.3.4.7. Résultats de différentes émissions polluantes	93
IV.3.4.8. Détails des émissions générées.....	93
IV.4. Comparaison des résultats	93
IV.4.1. Analyse de l'étude comparative	94
IV.4.2. Explication des différentes performances	95
IV.4.3. Facteurs nécessaires définissant le choix de l'algorithme	95
IV.5. Conclusion.....	95
Conclusion Générale	97
Références bibliographiques.....	99

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

AC : Courant alternatif

CA : est le coût total annualisé

CA_{cap} : le coût de remplacement annualisé

CD : Combined Dispatch

CRF : est le facteur de récupération du capital

COE : le coût de remplacement pour les différentes configurations du système

DC : Courant continu

DG : générateur diesel

ER : Energie renouvelable

ENT : Nombre entier

GPV : Le générateur photovoltaïque

LCE : Émissions du cycle de vie

NPC : le coût d'investissement initial

GO : algorithme Ordre des Générateurs.

PDD : Profondeur de décharge de la batterie

PS : Prédictive Dispatch

PV : Photovoltaïque

ROI : Retour sur investissement

Symboles

B_j : besoin journalier

β_i : équivalent des émissions de CO₂ pendant toute la durée de vie [*kg CO₂-eq/kWh*]

C_{batt} : Capacité de la batterie [Ah]

Liste d'abréviation

C_{batt.u} : Capacité de la batterie unitaire [Ah]

C_p : Le coefficient de performance de la turbine

ESTC : L'ensoleillement dans les conditions standards [W/m²]

E_s : L'ensoleillement [W /m].

E_{irr} : Energie d'irradiations [Wh/m²]

E_{pv} : L'énergie photovoltaïque d'un mois [Wh/m²]

E_{éol} : L'énergie éolienne d'un mois [Wh/m²]

E_{ch} : Energie de la charge [Wh/m²]

E_{ch_moy} : Energie moyenne de la charge [Wh/m²]

E_{ch_moy_ret} : Energie moyenne de la charge retenue [Wh/m²]

E_{pv_moy} : Energie moyenne du panneau PV [Wh/m²]

E_{éol_moy} : Energie moyenne de l'éolienne [Wh/m²]

EL_{ax} : Charge mensuelle consommée [kWh/j]

E_s : Energie consommée au cours d'une année [kWh/j]

f : Fraction de la charge alimentée [***A***]

f_{PV} : est le facteur de déclassement [%]

I_{mpp} : Courant maximal [***A***]

I_{cc} : Courant de court-circuit [***A***]

i : est le taux d'intérêt réel annuel [%]

i' : le taux d'intérêt nominal [%]

IT : le rayonnement solaire incident sur le générateur PV [***kW/m²***]

J_{aut} : Nombre de jour pendant lesquels le parc de batteries est capable d'alimenter

m : Représente le mois de l'année

Liste d'abréviation

n : Nombre de cellules

Npv : Nombre de panneaux PV

Néol : Nombre d'éolienne

Nm : Nombre de jours du mois qui présente la charge maximale (31 jours)

Nbatt_série : Nombre de batterie en série

Nbatt_para : Nombre de batterie en parallèle

PV : La puissance du vent [***W***]

Pt : La puissance de la turbine éolienne [***W***]

Préf : Puissance de référence [***W***]

Pin : puissance côté charge [***KW***]

Pout : étant la puissance de sortie [***KW***]

Ppv : Puissance Photovoltaïque [***W***]

Péol : Puissance éolienne [***W***]

Pbatt : Puissance de la batterie [***W***]

Pn : puissance nominale

Pond : puissance de l'onduleur [***W***]

S : La surface balayée par la turbine [***m***²]

Spv : La surface du panneau photovoltaïque [***m***²]

Séol : La surface du cercle balayée par les pales de la turbine d'éolienne [***m***²]

Spv_u : Surface Photovoltaïque unitaire [***m***²]

Séol_u : Surface d'éolienne unitaire [***m***²]

Spv_ret : Surface du panneau PV retenue [***m***²]

Séol_ret : Surface d'éolienne retenue [***m***²]

Liste d'abréviation

TC : La température de la cellule [$^{\circ}C$]

Ta : La température ambiante [$^{\circ}C$]

$TSTC$: Température dans les conditions standards [$^{\circ}C$]

$Ubatt$: Tension de la batterie [V]

$Vmpp$: Tension au point de fonctionnement maximal [V]

Vcc : Tension de court-circuit [V]

Vdc : Tension recommandée du bus continu [V]

Vv : La vitesse du vent [m/s]

YPV : capacité nominale du générateur PV [kw]

Vr : la vitesse du vent au moyeu [m/s]

$Vref$: la hauteur de référence [m/s]

λ : Le rapport entre la vitesse périphérique en bout des pales et la vitesse du vent

Ωt : La vitesse de la turbine [m/s]

η_{pv} : Rendement du panneau PV [%]

η_{batt} : Rendement de la batterie [%]

η_{ond} : Rendement de l'onduleur [%]

ρ : Masse volumique d'air [$kg \cdot m^{-3}$]

α_P : coefficient de température de la puissance

Δt : période de temps durant laquelle la puissance est produite [h]

Liste des tableaux

Liste des tableaux

<i>Tableau I.1 : Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.</i>	<i>9</i>
<i>Tableau III.1 : Consommation énergétique de laboratoire de recherche.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau III.2 : Coordonnées géographiques du lieu.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau III.3 : Caractéristiques du panneau solaire</i>	<i>42</i>
<i>Tableau III.4 : Caractéristique de l'éolienne.....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau III.5 : Caractéristique des batteries.</i>	<i>49</i>
<i>Tableau III.6 : La production énergétique mensuelle des composants du système hybride</i>	<i>50</i>
<i>Tableau III.7 : Résultat Dimensionnement des panneaux et des éoliennes avec les prix ...</i>	<i>51</i>
<i>Tableau III.8 : Résultat de la méthode de la moyenne mensuelle</i>	<i>52</i>
<i>Tableau III.9 : Profils de températures annuelles.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau III.10 : La vitesse de vent durant chaque mois de l'année en (m /s).....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau III.11 : Caractéristiques de production en énergie des panneaux photovoltaïques.</i>	<i>59</i>
<i>Tableau III.12 : Caractéristiques de production en énergie de l'éolienne.</i>	<i>60</i>
<i>Tableau III.13 : Caractéristiques de stockage en énergie des batteries</i>	<i>62</i>
<i>Tableau III.14 : Caractéristiques d'utilisation du convertisseur en dessus de tableau.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau III.15 : Comparaison des méthodes</i>	<i>67</i>
<i>Tableau III.16 : Résultat des deux méthodes.....</i>	<i>68</i>
<i>Tableau IV.1 : Résultats de simulations avec les deux méthodes sous Homer Pro.</i>	<i>94</i>

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV.....	4
Figure I.2 : Panneau solaire Thermique.....	5
Figure I.3 : Panneaux solaires Hybrides.....	6
Figure I.4 : Panneau solaire photovoltaïque.....	7
Figure I.5 : Les types de cellules photovoltaïques.....	7
Figure I.6 : Panneau photovoltaïque monocristallin.....	8
Figure I.7 : Panneau photovoltaïque monocristallin.....	8
Figure I.8 : Panneau photovoltaïque Polycristallin.....	9
Figure I.9 : Connexion des modules photovoltaïques en série.....	10
Figure I.10 : Connexion des modules photovoltaïques en parallèle.....	11
Figure I.11 : Composition d'une éolienne.....	12
Figure I.12 : Composition de la nacelle.....	13
Figure I.13 : Les éoliennes à axe horizontale.....	14
Figure I.14 : Les éoliennes à axe vertical.....	15
Figure I.15 : Principe de fonctionnement de la batterie.....	20
Figure I.16 : Aperçu sur les batteries plomb-acide.....	21
Figure I.17 : Composantes de batterie Nickel-hydrure métallique.....	21
Figure I.18 : Réactions chimiques sous batterie de Nickel-cadmium.....	22
Figure I.19 : Fonctionnement de batterie Lithium-ion.....	23
Figure I.20 : Résumé des réactions dans les batteries Lithium Polymère.....	24
Figure I.21 : Schéma de redresseur triphasé a diode.....	25
Figure I.22 : Schéma d'un onduleur triphasé.....	25
Figure I.23 : Circuit d'un gradateur monophasé.....	26
Figure I.24 : Exemple d'un Circuit d'un hacheur de nature élévateur.....	26
Figure II.1 : Interface de Homer pro.....	29
Figure II.2 : Organigramme de simulation suivie par le logiciel Homer Pro.....	30
Figure II.3 : Les composantes disponibles sous Homer Pro.....	31
Figure II.4 : Organigramme de processus d'optimisation global dans HOMER Pro.....	32
Figure III.1 : Configuration de système hybride autonome.....	40
Figure III.2 : Localisation de site de l'étude.....	41
Figure III.3 : Canadian Solar MaxPower CS6U-340m.....	42
Figure III.4 : Éolienne Bergey XL-1.....	43
Figure III.5 : Batteries Power Safe SBS-170F.....	49

Liste des figures

<i>Figure III.6 : Schéma du système hybride.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.7 : Consommation en électricité sur une année.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.8 : Les données météorologiques de site</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.9 : Température ambiante sur un an.</i>	<i>55</i>
<i>Figure III.10 : Vitesse du vent exprimée en (m/s).</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.11 : Les algorithmes utilisés sous Homer pro.</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.12 : Résultats optimaux pour le système hybride</i>	<i>57</i>
<i>Figure III.13 : Récapitulatif des coûts du système hybride pendant 25 ans</i>	<i>58</i>
<i>Figure III.14 : Coût détaillé de la configuration.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure III.15 : Flux de trésorerie cumulés sur la durée de vie du projet.....</i>	<i>59</i>
<i>Figure III.16 : Production annuelle des PV pendant l'année.</i>	<i>60</i>
<i>Figure III.17 : La production d'énergie de l'éolienne pendant l'année</i>	<i>61</i>
<i>Figure III.18 : Production d'énergie des panneaux photovoltaïque et l'éolienne.....</i>	<i>61</i>
<i>Figure III.19 : La consommation électrique annuelle totale.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure III.20 : Le débit de la batterie pendant l'année.</i>	<i>63</i>
<i>Figure III.21 : Utilisation du convertisseur pendant année.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure IV.1 : La configuration de système hybride avec intégration de générateur diesel</i>	<i>71</i>
<i>Figure IV.2 : Caractéristique du Générateur diesel</i>	<i>74</i>
<i>Figure IV.3 : Configuration de système étudié sous Homer Pro.</i>	<i>75</i>
<i>Figure IV.4 : Les deux algorithmes de simulation Prédictive et combiné.</i>	<i>76</i>
<i>Figure IV.5 : Résultats optimaux pour le système avec l'utilisation de l'algorithme Prédictive.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure IV.6 : Résumé de cout présent net par équipement selon l'algorithme prédictive..</i>	<i>77</i>
<i>Figure IV.7 : Courbes comparatives du flux trésorerie des deux systèmes sur la durée de vie de projet.</i>	<i>78</i>
<i>Figure IV.8 : Production photovoltaïque par rapport a la charge totale alimentée.</i>	<i>79</i>
<i>Figure IV.9 : La production annuelle photovoltaïque.....</i>	<i>80</i>
<i>Figure IV.10 : Production du générateur diesel par rapport a la charge totale alimentée(servie).</i>	<i>81</i>
<i>Figure IV.11 : Production annuelle du générateur diesel.....</i>	<i>81</i>
<i>Figure IV.12 : La consommation de carburant par générateur diesel.</i>	<i>82</i>
<i>Figure IV.13 : Résumé des émissions du générateur sous l'algorithme combinée.</i>	<i>83</i>
<i>Figure IV.14 : Fraction de Production électrique les panneaux photovoltaïques et le générateur diesel.</i>	<i>84</i>

Liste des figures

<i>Figure IV.15 : L'état de charge des batteries.</i>	<i>84</i>
<i>Figure IV.16 : Résultats d'optimisations pour le système avec l'utilisation de l'algorithme combiné.....</i>	<i>85</i>
<i>Figure IV.17 : Résumé de cout net présent par équipement.</i>	<i>86</i>
<i>Figure IV.18 : Flux de trésorerie des deux systèmes.</i>	<i>87</i>
<i>Figure IV.19 : Fraction de Production électrique les panneaux photovoltaïques et le générateur diesel.</i>	<i>88</i>
<i>Figure IV.20 : Production des panneaux par rapport au charge totale servie.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure IV.21 : L'irradiation solaire globale mensuelle.</i>	<i>89</i>
<i>Figure IV.22 : L'énergie stocker dans les batteries par rapport à l'alimentation totale de la charge.....</i>	<i>90</i>
<i>Figure IV.23 : L'état de charge des batteries</i>	<i>90</i>
<i>Figure IV.24 : Production du générateur diesel par rapport à l'alimentation totale de la charge.</i>	<i>91</i>
<i>Figure IV.25 : La consommation de carburant par le générateur diesel.....</i>	<i>92</i>
<i>Figure IV.26 : Différentes émissions du générateur dans l'algorithme combiné.</i>	<i>93</i>

Introduction Générale

Introduction Générale

La transition vers des sources d'énergie plus durables et respectueuses de l'environnement est devenue une priorité mondiale. Les systèmes énergétiques hybrides, qui combinent plusieurs sources d'énergie renouvelable avec des sources conventionnelles, offrent une solution prometteuse pour répondre aux défis posés par l'épuisement des ressources fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Notre mémoire, intitulé "Étude d'un Système Hybride Photovoltaïque / Éolienne/ Batterie/ Générateur Diesel", explore la conception, l'optimisation et l'évaluation économique d'un système hybride destiné à alimenter une habitation. La structure du mémoire se divise en quatre chapitres :

Premier chapitre : Présentation des composants clés tels que les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les batteries et les générateurs diesel. Ce chapitre fournit les fondations théoriques nécessaires pour comprendre le fonctionnement de chaque composant et leur intégration au sein d'un système hybride.

Deuxième chapitre : Introduction au logiciel de simulation HOMER Pro, essentiel pour la conception et l'analyse des systèmes hybrides. Description de ses fonctionnalités et avantages pour l'optimisation des configurations énergétiques.

Troisième chapitre: Dimensionnement des composants photovoltaïques, éoliens et des batteries en utilisant la méthode de la moyenne mensuelle. Comparaison des résultats obtenus avec ceux générés par HOMER Pro pour valider notre approche et souligner les différences potentielles entre la théorie et les simulations pratiques.

Quatrième chapitre : Analyse de l'impact de l'intégration d'un générateur diesel sur la performance globale du système hybride. Comparaison de deux algorithmes de simulation disponibles dans HOMER Pro et réalisation d'une analyse économique pour comparer les coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance du système hybride avec ceux des solutions énergétiques renouvelables.

Ce mémoire démontre la faisabilité technique et économique des systèmes hybrides pour une alimentation fiable et durable. En combinant les énergies renouvelables avec des sources conventionnelles, il est possible de créer des solutions énergétiques résilientes, respectueuses de l'environnement et économiquement viables, adaptées aux besoins spécifiques des utilisateurs.

Chapitre I
Généralités sur les systèmes
hybrides photovoltaïque/
éolienne / diesel générateur/
batterie.

I.1. Introduction

Les systèmes hybrides sont devenus très prisés dans le secteur de la production d'énergie, proposant une combinaison intelligente de différentes sources d'alimentation afin de satisfaire efficacement et durablement les besoins énergétiques. Parmi ces systèmes, ceux qui incluent des panneaux solaires, des éoliennes, des générateurs diesel et des batteries sont les plus importants. Grâce à cette fusion de technologies, il est possible de profiter des bénéfices de chaque source d'énergie tout en réduisant les désavantages individuels, ce qui permet de concevoir des solutions solides et polyvalentes.

Dans cette première partie Nous examinerons les éléments de ces systèmes hybrides et les bénéfices qu'ils présentent en matière de fiabilité énergétique, de diminution des émissions et de préservation de l'environnement avec les avantages et les défis que cette inépuisable énergie verte fait face aujourd'hui pour une transition énergétique efficace à long terme.

I.2. La transition énergétique avec l'énergie renouvelable en Algérie

Il est essentiel d'avoir une vision d'ensemble de la consommation énergétique nationale. Elle se concentre principalement sur la mise en valeur des hydrocarbures en développant les capacités de recherche, d'exploration et de production de l'industrie. Le but est d'accroître les exportations des hydrocarbures bruts et de leurs dérivés. Plus de 90% des recettes en devises de l'Algérie proviennent de ces produits, ce qui les rend très stratégiques. Afin de les mettre en valeur au niveau interne. Le pétrole et le gaz naturel sont employés afin d'améliorer la qualité de vie des habitants et de fournir des produits énergétiques à l'industrie locale.

La croissance de la population L'évolution du mode de vie et l'urbanisation croissante laissent présager une hausse significative de la part significative de la consommation d'énergie dans le domaine des "ménages et autres", qui englobe le secteur résidentiel, agricole et les activités tertiaires, s'élevait à 49%. En fonction des produits. Le secteur est dominé par l'électricité, qui représente 35% de la consommation totale, suivie par le gaz naturel, qui représente 25% [1].

I.2.1. Processus de production de l'énergie solaire photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives

sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction PN a été formé [2].

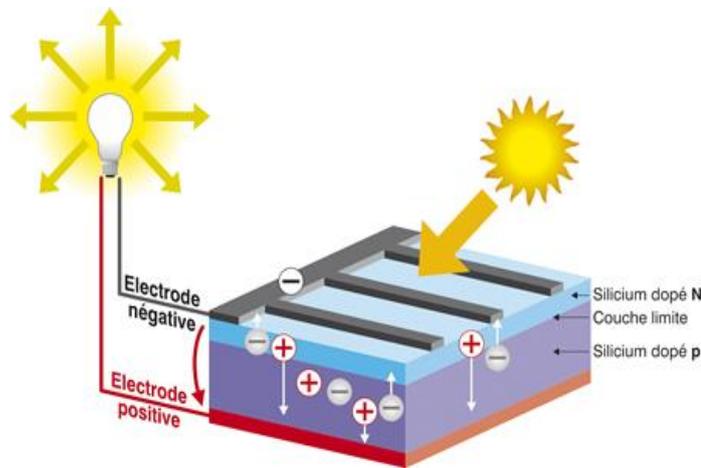


Figure I.1 : Principe de fonctionnement d'une cellule PV.[2]

I.2.2. Historique

Les dates importantes dans l'histoire du domaine photovoltaïque :

✚ 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

✚ 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

✚ 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

✚ 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

✚ 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

✚ 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie. La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux Etats-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvant être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé. [3]

I.3. Les types des panneaux

I.3.1. Les panneaux solaires thermiques

L'énergie thermique est générée par le panneau solaire thermique en utilisant la chaleur émise par les rayons du soleil. Les capteurs du panneau captent cette chaleur afin de réchauffer un fluide caloporteur, qui la diffuse ensuite dans un ballon de stockage.

Les panneaux solaires thermiques permettent de générer de l'eau chaude sanitaire pour l'alimentation et le chauffage d'un logement. Des systèmes combinés sont effectivement disponibles, qui sont connectés à des radiateurs ou à un plancher chauffant [9].

La figure (1.2) présente un exemple de panneaux solaire thermique.



Figure I.2 : Panneau solaire Thermique.[9]

I.3.2. Le panneau solaire hybride

Le panneau solaire hybride, également connu sous le nom de « panneau aérovoltaique », est une innovation relativement récente par rapport aux autres méthodes de production d'énergie solaire. Il fait le lien entre la technologie des panneaux thermiques et celle des panneaux solaires. Ainsi, ce module offre la possibilité d'approvisionner un édifice en eau chaude, en chauffage et en électricité.



Figure I.3 : Panneaux solaires Hybrides.[9]

Les panneaux solaires sont munis de capteurs thermiques ainsi que de capteurs solaires. En filtrant l'air qui entre dans le bâtiment, ils jouent également un rôle dans la régulation de la température à l'intérieur. Pendant la saison estivale, peuvent donc contribuer à réduire la température de quelques degrés. Les panneaux solaires restent peu courants en raison de leur coût élevé [9].

I.3.3. Panneaux solaires photovoltaïques

L'énergie solaire est abondante sur Terre, faisant du photovoltaïque la source d'énergie renouvelable la plus importante et la plus prometteuse, avec un potentiel illimité. Un générateur photovoltaïque est composé de multiples cellules connectées en série et/ou en parallèle. Ces cellules transforment la lumière solaire qu'elles captent en électricité, mais leur puissance individuelle reste limitée, environ 2,3W sous 0,5V dans des conditions de test standard (éclairage de 1000W/m², température de 25°C). Ainsi, pour répondre aux besoins des applications, il est nécessaire d'associer plusieurs cellules en série et/ou en parallèle pour obtenir une puissance adaptée [4].



Figure I.4 : Panneau solaire photovoltaïque.[4]

I.4. Les différents types de panneaux photovoltaïques

Il existe 3 types de panneaux selon la nature des cellules photovoltaïques souvent utiliser dans le marché, les panneaux en silicium monocristallins, Polycristallins et amorphes



Figure I.5 : Les types de cellules photovoltaïques.[3]

I.4.1. Panneaux photovoltaïques monocristallins

Très bon rendement de 14 à 20 %. Durée de vie importante 30 ans Coût de fabrication élevé [3].

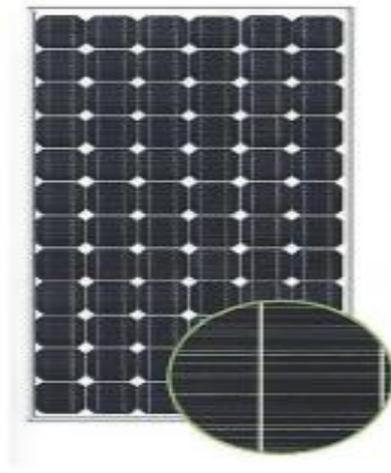


Figure I.6 : Panneau photovoltaïque monocristallin.[3]

I.4.2. Les panneaux photovoltaïques amorphes

Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours [3]. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par Contre son rendement de conversion est faible (de 7 à 10 %) et les cellules ont tendance à se Dégrader plus rapidement sous la lumière.[3]

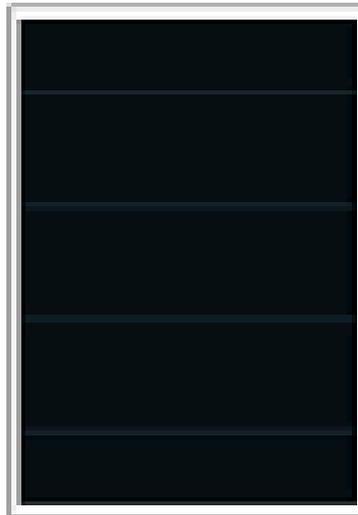


Figure I.7 : Panneau photovoltaïque monocristallin.[3]

I.4.3. Les panneaux photovoltaïques polycristallins

Bon rendement de 11 à 15 % et de durée de vie importante (30 ans) et un Coût de fabrication meilleur que les panneaux monocristallins [3].



Figure I.8 : *Panneau photovoltaïque Polycristallin.[3]*

I.5. Avantages et inconvénients d'énergie photovoltaïque

Les avantages et les défis qui caractérisent l'énergie photovoltaïque sont résumés dans le tableau ci-dessus.

Tableau I.1 : *Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.*

Les avantages	Les inconvénients
La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu.	La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
L'utilisation de l'énergie solaire permet d'éviter l'utilisation d'énergies fossiles ou nucléaires pour fabriquer la même quantité d'électricité et donc de diminuer d'autant les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires.	Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
La haute fiabilité.	L'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (<30V) Elle doit donc être

	transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.
Son potentiel illimité, 5% de la surface des déserts suffiraient pour alimenter la planète entière. - le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.	La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis

I.6. Les différents montages des panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques peuvent être regroupés en série ou en parallèle, donc nous avons :

I.6.1. Le montage de panneaux PV en série

Pour une installation sur mesure, on raccorde les panneaux en série ou en parallèle, voire une combinaison des deux. Le montage de panneaux photovoltaïques en série est l'option à retenir pour additionner les voltages des panneaux en préservant un ampérage identique. On relie le pôle positif d'un panneau au pôle négatif de l'autre qui a le même ampérage. En effet si l'on relie deux panneaux d'ampérage différent, l'ensemble s'aligne sur l'ampérage la plus faible figure [5].

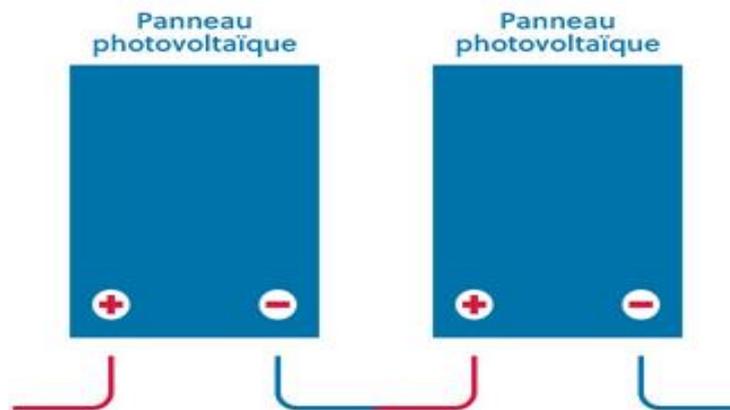


Figure I.9 : Connexion des modules photovoltaïques en série.[5]

I.6.2. Le montage de panneaux PV en parallèle

Ce type de raccordement influe donc sur l'ampérage et non sur le voltage. Les bornes positives des panneaux sont reliées entre elles, de même que les bornes négatives. On

choisit ce type de branchement lorsque l'on souhaite une forte intensité. Afin d'éviter les risques de surtension et de court-circuit, on relie des panneaux de même voltage. On peut par contre utiliser des panneaux d'intensité différente afin d'atteindre l'ampérage désiré [5]

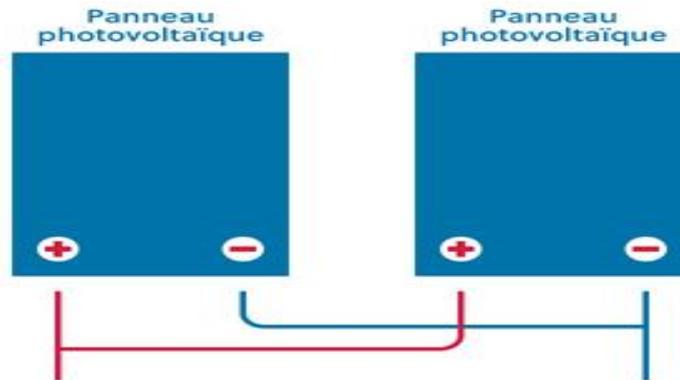


Figure I.10 : Connexion des modules photovoltaïques en parallèle.[5]

I.7. Définition de l'énergie éolienne

L'énergie en provenance du vent traverse la turbine éolienne qui est un élément d'interface entre le domaine de la mécanique des fluides et de la mécanique traditionnelle. L'intérêt d'une éolienne se justifie par la possibilité qu'elle apporte de récupérer l'énergie cinétique présentée dans le vent et la transformée en énergie mécanique de rotation, Cette énergie mécanique peut être exploitée principalement de deux manières :

- Soit conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin

- Soit Transformation en énergie électrique : l'éolienne est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un Réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie. [10]

I.7.1. Historique

Dès 1973, le processus inverse à, petit à petit, relancé les programmes d'études et de réalisation d'aérogénérateurs. Mais les budgets de recherche et de développement, ainsi que les aides gouvernementales fluctuent avec le prix du baril de pétrole, et les aides accordées aux autres énergies (photovoltaïque en particulier). Toutefois au cours des dernières années se dessine une nette tendance au développement de « fermes éoliennes »

ou « parcs éoliens » raccordés aux réseaux de distribution avec les machines de 300KW à 1.5MW. Ces éoliennes servent aujourd'hui à produire du courant alternatif pour les réseaux électriques, au même titre qu'un réacteur nucléaire, un barrage hydro-électrique ou une centrale thermique au charbon. Cependant, les puissances générées et les impacts sur l'environnement ne sont pas les mêmes [10].

I.7.2. Architecture d'une éolienne

On peut considérer trois composants essentiels dans une éolienne, le rotor, la nacelle et la tour (Fig.) : [10]

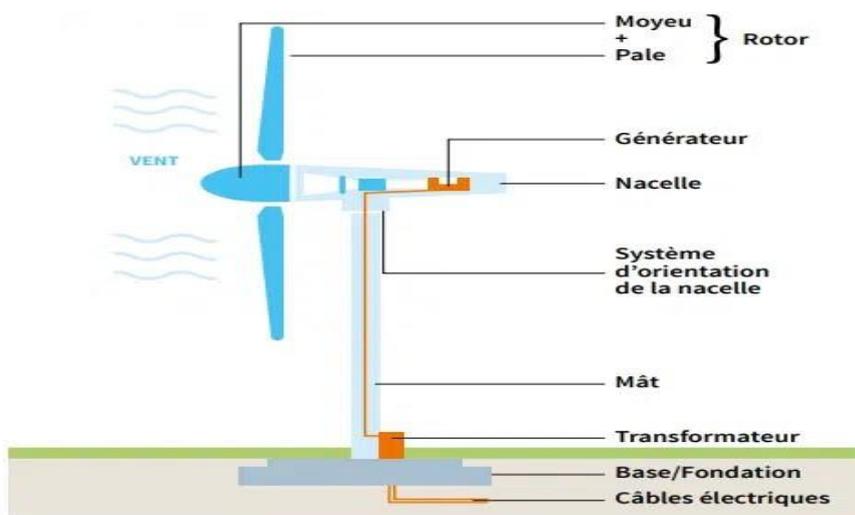


Figure I.11 : Composition d'une éolienne.[10]

I.7.2.1. Rotor

C'est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique. Le rotor est un ensemble constitué de pales et de l'arbre primaire, la liaison entre ces éléments étant assurée par le moyeu. Sur certaines machines, l'arbre primaire qui tourne à faible vitesse comporte un dispositif permettant de faire passer des conduites hydrauliques entre la nacelle (repère fixe) et le moyeu (repère tournant).

I.7.2.2. La Nacelle

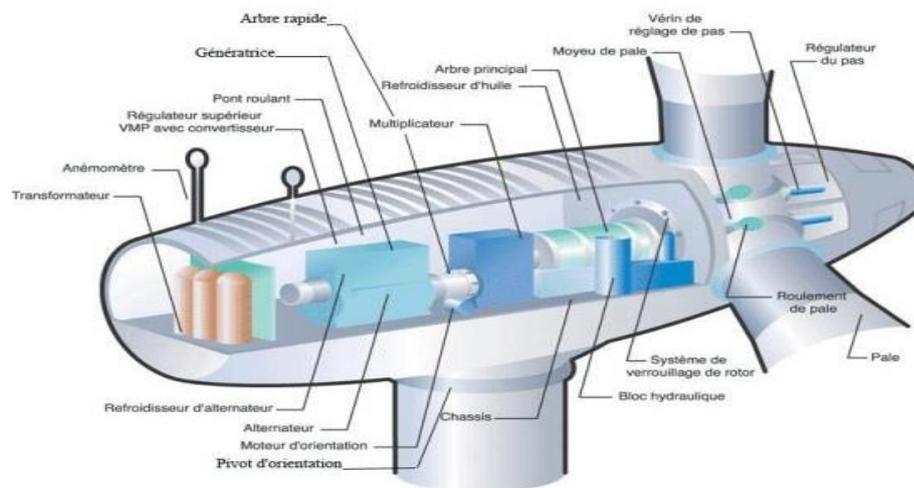


Figure I.12 : Composition de la nacelle.[10]

La turbine permet de convertir l'énergie cinétique extraite du vent en énergie électrique. La puissance mécanique récupérée par une turbine éolienne peut s'écrire sous la forme suivante [10] :

Son rôle est d'abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques. Différentes configurations peuvent être rencontrées suivant le type de la machine. Présente une coupe d'une nacelle avec ses différents composants :

- Multiplicateur de vitesse : il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique. En effet, la faible vitesse de rotation de l'éolienne ne permettrait pas de générer du courant électrique dans de bonnes conditions avec les générateurs de courant classiques.

- L'arbre secondaire comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.

- Génératrice : différents types de génératrices peuvent être rencontrés.

- Contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit en fait d'un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est suffisante (de l'ordre de 5 m/s), gérer le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble rotor, nacelle face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie et réduire les efforts instationnaires sur l'installation. Pour mener à

bien ces différentes tâches, le contrôleur utilise les données fournies par un anémomètre (vitesse du vent) et une girouette (direction du vent), habituellement situés à l'arrière de la nacelle. Enfin, le contrôleur assure également la gestion des différentes pannes éventuelles pouvant survenir.

- Divers dispositifs de refroidissement (génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, radiateurs d'eau, ou d'huile.

- Dispositif d'orientation de la nacelle : Il permet la rotation de la nacelle à l'extrémité supérieure de la tour, autour de l'axe vertical. L'orientation est généralement assurée par des moteurs électriques, par l'intermédiaire d'une couronne dentée. De nombreuses éoliennes comportent un système de blocage mécanique de la position de la nacelle suivant une orientation donnée ; cela évite de solliciter constamment les moteurs et permet aussi de bloquer l'éolienne durant les opérations de maintenance.

I.7.3. Les types d'éolienne

Il existe plusieurs sortes d'éoliennes on distingue deux grandes catégories [16] :

- **Les éoliennes à axe horizontale**



Figure I.13 : Les éoliennes à axe horizontale.[16]

Les éoliennes modernes classiques tripales imposées sur le marché mondial pour des raisons de stabilité de la structure. Il existe également des éoliennes bipales et mono-pales, mais sont moins fiables. La hauteur totale de ces éoliennes varie entre 25 et 180 mètres pour une puissance qui va de 100 kW à 5 MW [16].

- **Les éoliennes à axe vertical**



Figure I.14 : Les éoliennes à axe vertical.[16]

Elles sont plus onéreuses que les éoliennes à axe horizontal et de conception plus complexes mais s'adaptent plus facilement à des zones de vent irrégulier. Une éolienne à axe vertical est surtout utile dans les endroits où il n'y a pas beaucoup de place : en ville, sur le toit d'un immeuble par exemple. Il existe deux modèles d'éoliennes à axe vertical : Savonius et Darrieus [16].

I.7.4. Avantages et inconvénients des éoliennes

I.7.4.1. Les Avantages

- La surface occupée au sol est peu importante
- L'énergie éolienne est une énergie propre (pas d'émissions de gaz, pas de particules)
- Surface immense disponible en mer où le vent est pratiquement constant.
- Un parc éolien prend peu de temps à construire, et son démantèlement garantit la remise en état du site original.
- Le prix de revient d'une éolienne a fortement diminué depuis 2011 suite aux économies d'échelle qui ont été réalisées sur leur fabrication.

I.7.4.2. Les Inconvénients

- Comme la plupart des aménagements réalisés par l'homme, les éoliennes contribuent à la modification des paysages.

- Les éoliennes, ne peuvent pas être implantées n'importe où, ils existent une réglementation stricte à ce sujet, de nombreuses études sont nécessaires avant de pouvoir réaliser un projet.
- Certaines éoliennes émettent des nuisances sonores, mais les nouvelles générations sont peu bruyantes.
- Les éoliennes peuvent avoir des impacts sur le milieu naturel (les oiseaux, flores, faunes sauvage...) où elles sont implantées, mais les précautions prises permettent de diminuer leurs séquences.
- L'énergie produite par les parcs éoliens ne peut être stockée. Elle nécessite un raccordement au réseau électrique, ce qui peut poser un problème.
- La production d'une éolienne est variable.
- Les travaux d'installation d'un parc éolien nécessitent des démarches spécifiques pour le transport et le montage.
- Le raccordement pose quelquefois des problèmes : l'isolement des parcs éoliens le rend souvent couteux (longueur de ligne à enterrer) et il est tributaire de travaux de renforcement du réseau de distribution en cas de besoin [8].
- La production éolienne d'électricité suit notre consommation d'énergie : le vent souffle plus souvent en hiver, cette saison étant celle où la demande d'électricité est la plus forte.[8]

I.8. Générateur diésel

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité à partir de l'énergie chimique, cette énergie chimique (le carburant) est transformée en énergie mécanique en utilisant un moteur thermique. L'énergie mécanique développée par le moteur est transformée en énergie électrique via un alternateur et il fonctionne avec toutes sortes de carburant, les plus utilisés sont : l'essence, le gasoil, le gaz naturel, les biocarburants et le fuel. Le type de carburant à choisir dépend de plusieurs paramètres : l'environnement d'utilisation du groupe, la puissance du groupe, le coût...etc. La puissance d'un groupe électrogène est définie comme étant la puissance disponible aux bornes de l'alternateur (puissance nominale), il faut qu'elle soit en accord avec le

programme d'entretien, le constructeur du moteur et de l'alternateur et l'appareillage de coupure et de commande [14].

I.8.1. Constitution d'un groupe électrogène

La constitution globale d'un groupe électrogène est donnée sur la figure

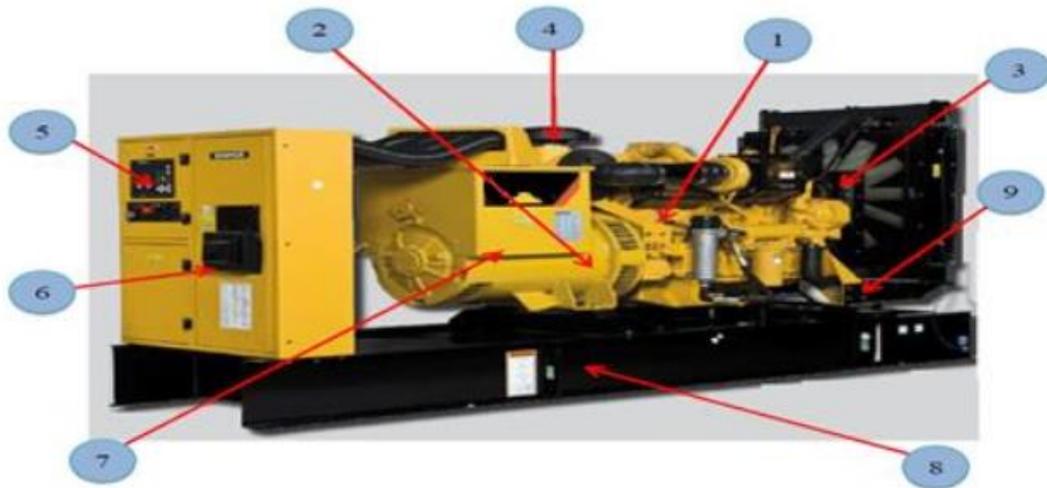


Figure I.14 : Composants d'un groupe électrogène.[14]

1 - Moteur thermique ,2 - Alternateur n3 - Système de refroidissement ,4 - Filtre à Air

5 - Tableau de commande et de contrôle ,6 - Disjoncteur ,7 - Régulateur de tension (AVR)

8 – Châssis ,9 - Dispositif de protection [14]

I.8.2. Domaine d'utilisation

Un groupe électrogène peut être utilisé de plusieurs manières tel que source principale d'énergie, cela signifie que le groupe électrogène est la seule et unique source d'alimentation pour l'équipement ou les installations qui lui sont connectés. Cette configuration est généralement mise en place dans des situations où il n'y a pas d'autres sources d'électricité disponibles ou lorsque la fiabilité du réseau électrique principal est insuffisante. [13]

I.8.2.1. Utilisation du groupe électrogène comme source d'appoint

Dans ce cas le groupe électrogène permet de renforcer le réseau lorsque la charge devient très importante, on parle alors du couplage de l'alternateur du groupe sur le réseau. Pour se faire certaines conditions doivent être remplies à savoir :

- La tension produite par le groupe doit être égale à celle du réseau,
- La fréquence du groupe doit être égale à celle du réseau,
- L'ordre de succession de phase doit être la même,
- Les deux systèmes doivent être en phase. Remplir ces conditions revient à synchroniser le groupe électrogène au réseau ; la synchronisation et le couplage du groupe électrogène est effectué par un dispositif de commande constitué de :

- Régulateur de vitesse
- Régulateur de tension d'excitation
- Synchrosopes

I.8.2.2. Utilisation du groupe électrogène comme alimentation secours

Dans ce cas, le groupe électrogène n'est utilisé qu'en cas d'absence de la tension ou de déséquilibre du réseau. Le démarrage du groupe peut être manuel ou automatique

Le démarrage manuel est effectué par un opérateur qui, après avoir constaté une défaillance du réseau donne l'ordre de démarrage du groupe électrogène soit par un commutateur soit par un bouton poussoir après avoir déconnecté la charge du réseau. Lorsque la tension redevient normale, l'opérateur peut arrêter le groupe électrogène.

Le démarrage automatique d'un groupe électrogène est effectué par un dispositif électronique ou électrique de commande appelé inverseur de source normal /secours. Ce dispositif de commande est muni d'un module électronique qui détecte une défaillance sur le réseau qui peut être le manque ou la baisse de tension ou encore un déséquilibre et ensuite donne immédiatement l'ordre de démarrage du groupe qui provoque le basculement de l'utilisateur du réseau normal au réseau secours. [13]

I.8.3. L'importance de l'intégration de diesel générateur dans les systèmes à énergie renouvelables

L'intégration de générateurs diesel dans les systèmes à énergie renouvelable est essentielle pour assurer une alimentation électrique stable en complément des sources

intermittentes comme l'éolien et le photovoltaïque. Elle garantit une fiabilité énergétique même en cas de variations météorologiques.

De plus, dans les zones isolées ou mal desservies, les générateurs diesel fournissent une solution efficace pour répondre aux besoins énergétiques. Cette combinaison permet également une optimisation des coûts et des performances, réduisant la dépendance aux combustibles fossiles tout en maintenant une fourniture d'énergie efficace et économiquement viable. En somme, l'intégration de générateurs diesel contribue à une transition énergétique plus propre, fiable et durable [11].

I.8.4. Stockage de l'énergie

Dans le contexte de ressources fossiles épuisables et la volonté de diminuer nos émissions de gaz à effet de serre avec le recours aux énergies renouvelables, le stockage de l'énergie devient un élément incontournable pour assurer la bonne gestion des ressources disponibles. Mais où faut-il stocker l'énergie ?

Sur un site isolé du réseau électrique, la nécessité du stockage de l'énergie s'impose si l'on veut pouvoir disposer d'électricité même si la production est nulle ; par exemple dans le cas d'une éolienne en l'absence de vent ou de panneau photovoltaïque la nuit.

Le stockage au niveau des sites de production, à partir des ressources renouvelables très fluctuantes (vent, soleil), permettrait une meilleure gestion du réseau. Au niveau des consommateurs raccordés au réseau, le stockage permettrait d'assurer la continuité en cas de coupure ainsi qu'un meilleur dimensionnement des installations. [8]

I.8.5. Batteries

Lorsqu'on évoque le stockage d'électricité, les batteries électrochimiques sont immédiatement envisagées comme la référence incontournable. En effet, le stockage d'énergie sous forme chimique dans ces batteries est largement répandu et constitue la méthode privilégiée pour stocker l'électricité. Selon le type de batterie, différentes réactions chimiques sont déclenchées grâce à l'énergie électrique, permettant ainsi de stocker cette énergie sous forme chimique. En fonction des besoins, des réactions chimiques inverses sont initiées pour produire de l'électricité. Une batterie est constituée de plusieurs cellules, qui sont des unités autonomes complètes possédant toutes les caractéristiques électrochimiques requises pour le stockage. Leur assemblage dans un

module, appelé batterie, vise principalement à obtenir une tension plus élevée aux bornes du dispositif [6].

I.8.6. Le schéma de principe de fonctionnement d'une batterie

Chaque cellule est composée de trois éléments principaux : une électrode positive (cathode), une électrode négative (anode) et un électrolyte. L'objectif global d'une cellule est de créer une différence de potentiel entre les deux électrodes en utilisant leurs matériaux respectifs. L'électrolyte facilite la migration des ions entre l'anode et la cathode tout en empêchant le transfert des électrons, qui doivent passer à travers un circuit électrique pour alimenter la charge. En général, une technologie de batterie est caractérisée par le couple de matériaux d'électrodes utilisés, éventuellement accompagné du type d'électrolyte spécifié.[6]

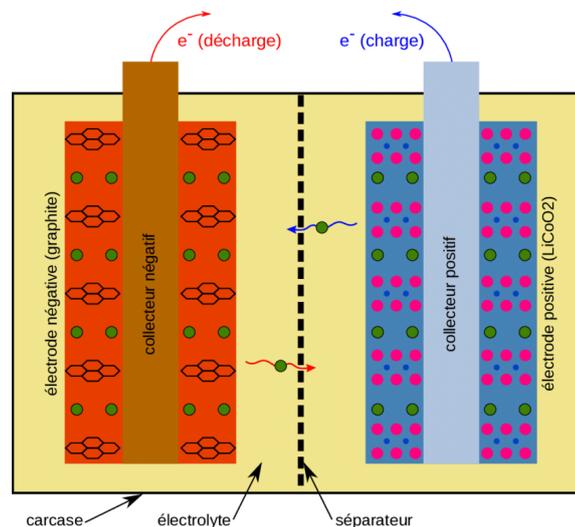


Figure I.15 : Principe de fonctionnement de la batterie.[6]

Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eaux etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à courant-continu peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système [3].

I.8.7. Différences et avantages des batteries

I.8.7.1. Plomb-acide

C'est le type le plus sûr, fiable et peu coûteux qui peut être conçu pour obtenir une énergie élevée.

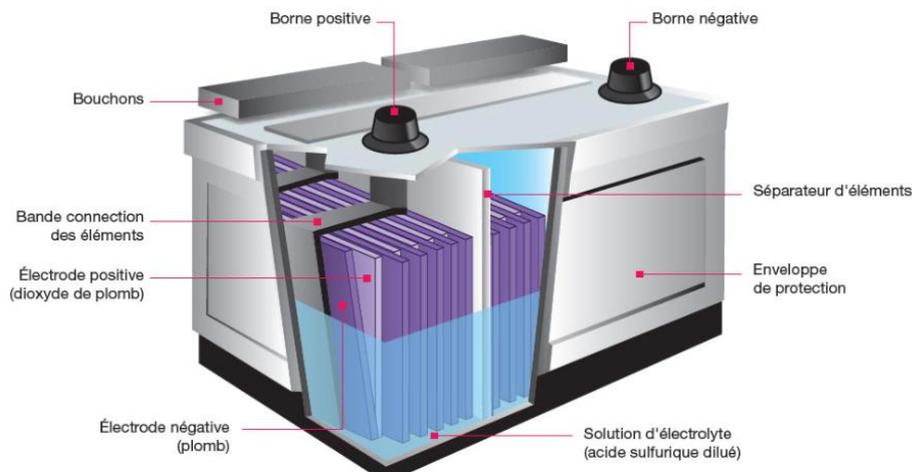


Figure I.16 : Aperçu sur les batteries plomb-acide.[6]

I.8.7.2. Nickel-hydrure métallique

La figure ci-dessous montre les composants de ce modèle de batterie

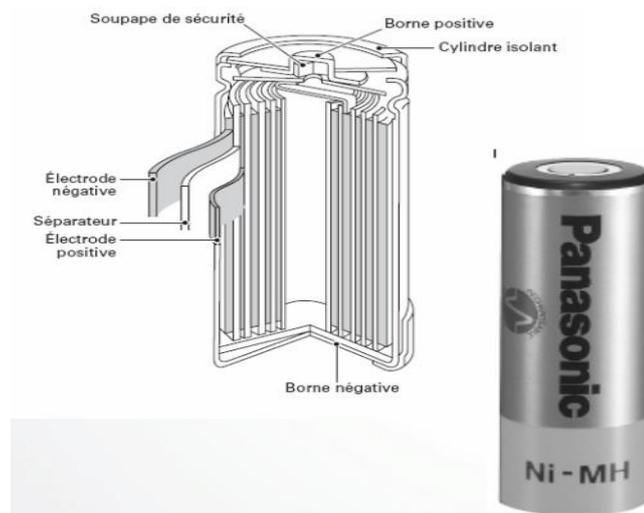


Figure I.17 : Composantes de batterie Nickel-hydrure métallique.[6]

Il a une énergie raisonnable et une force spécifique. Il est sûr et a un cycle de vie plus long que le plomb acide.

I.8.7.3. Nickel- Cadmium

Son énergie est de haute qualité et bon cycle de vie par rapport au plomb acide

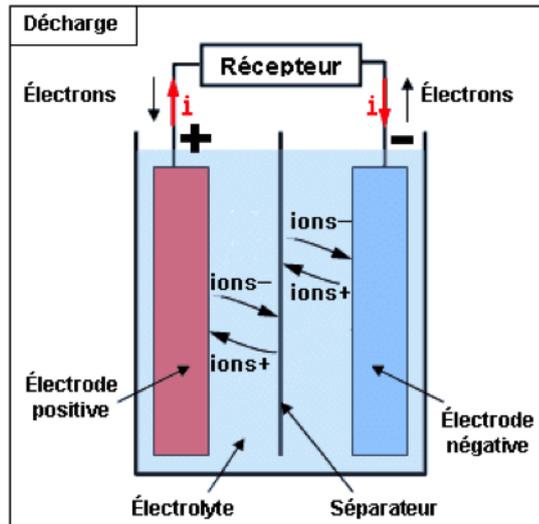


Figure I.18 : Réactions chimiques sous batterie de Nickel-cadmium.[6]

I.8.7.4. Lithium-Ion

En 1991, Sony Energitech l'a introduite sur le marché et est aujourd'hui la plus répandue dans le secteur de l'électronique portable, tels que les ordinateurs portables, les smartphones, les tablettes, ainsi que les véhicules électriques et le petit robot Opportunity qui se recharge grâce à ses panneaux solaires.

La figure ci-dessous explique L'échange réversible d'ions lithium entre deux électrodes, une anode en graphite et une cathode en oxyde métallique, est effectué dans un électrolyte liquide dans le cadre d'une batterie Lithium-ION. Selon la technologie, sa tension nominale varie entre 3,6 et 3,7 volts.

Il se caractérise par une énergie spécifique et une résistance spécifique élevées, ainsi qu'une bonne efficacité énergétique à haute températures. Besoin d'amélioration dans le calendrier et le cycle de vie [12].

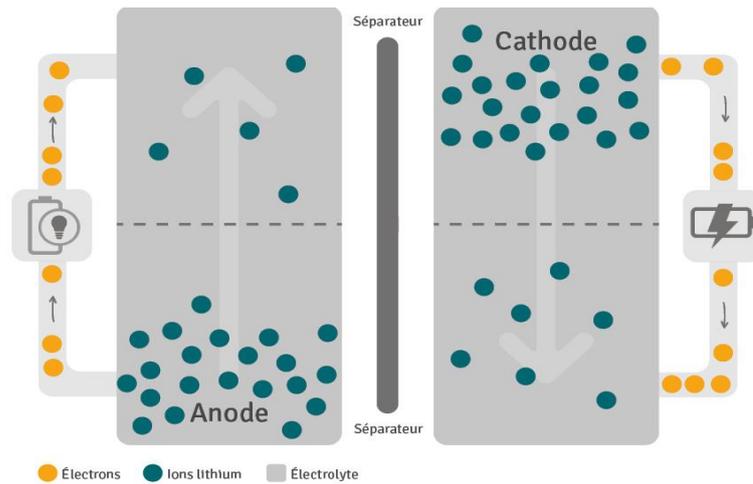


Figure I.19 : Fonctionnement de batterie Lithium-ion.[12]

I.8.7.5. Lithium Polymère

Il faudra attendre 1999 pour voir les batteries Lithium Polymère, également connues sous le nom de Li-Po. Les batteries Lithium-ION sont couramment employées et leurs fonctionnements sont similaires. L'électronique portable, telle que les ordinateurs portables, les tablettes, les smartphones, les drones, les karts et même les vélos électriques, utilise également cette technologie. Certains fabricants de voitures s'aventurent dans cette expérience, car la technologie est plus fiable [12].

Il est sûr, a de l'énergie, une capacité de haute qualité, un bon cycle et une correction de la durée de vie. Le coût est élevé et la force spécifique est raisonnable par rapport aux autres.[8]

Le processus est similaire à celui du Lithium-ION, mais la distinction réside dans le fait qu'au lieu d'utiliser un électrolyte liquide, nous utilisons un électrolyte gélifié, ce qui lui confère des avantages par rapport à sa cousine proche [12].

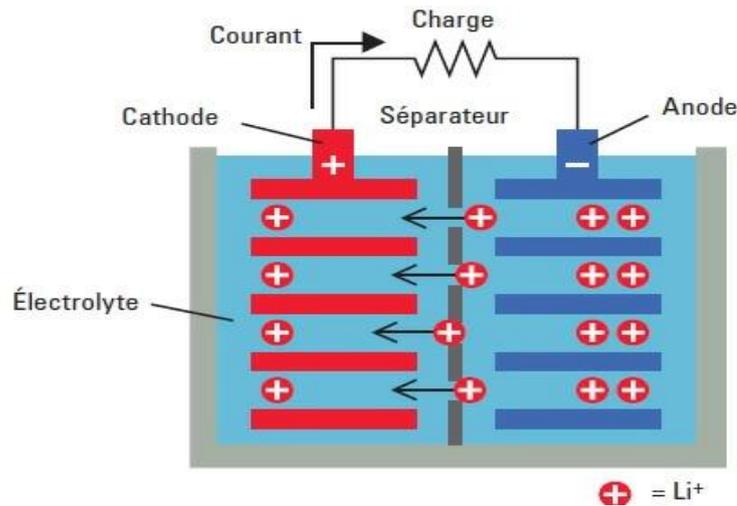


Figure I.20 : Résumé des réactions dans les batteries Lithium Polymère.[12]

I.8.8. Caractéristiques générales des batteries

Les accumulateurs destinés aux installations photovoltaïques doivent avoir les qualités suivantes : Être robustes, Avoir un bon rendement de charge et de décharge et une faible résistance interne, avoir un taux d'autodécharge faible avec maintenance réduite ainsi posséder une grande réserve d'électrolyte et durée de vie importante à la fin être aptes aux Cyclades (on entend par cycle, la décharge de la batterie, quel que soit la profondeur de décharge, suivie d'une recharge) [7]

I.8.9. Les convertisseurs statiques

Un convertisseur statique est une interface entre la source d'énergie électrique et la charge. Sa vocation première est d'assurer une adaptation entre la source et le récepteur

I.8.10. Différents types de convertisseurs statiques

I.8.10.1. Les Convertisseurs statiques AC-DC (Les redresseurs)

Les convertisseurs alternatif-continu sont des dispositifs qui convertissent une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle. Lorsqu'ils sont commandés, la valeur moyenne de la tension obtenue peut être ajustée [15].

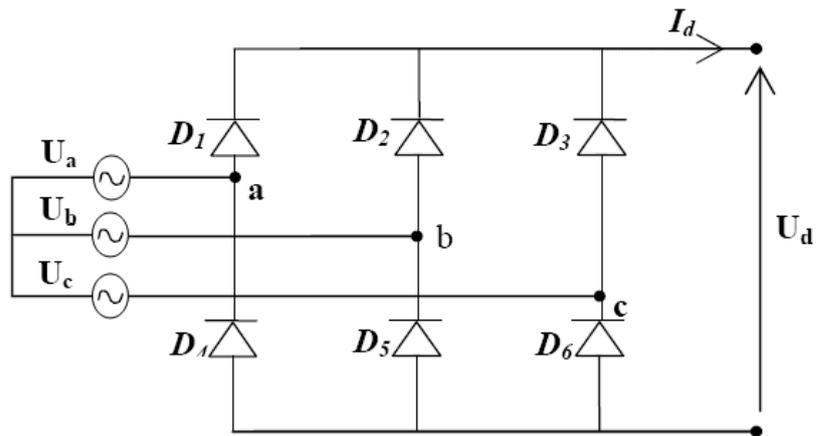


Figure I.21 : Schéma de redresseur triphasé à diode.[15]

I.8.10.2. Convertisseurs statiques DC-AC (les onduleurs)

Les convertisseurs continu-alternatif sont des dispositifs qui permettent de transformer une tension continue en une tension alternative. Ils sont appelés onduleurs de tension (ou convertissent un courant DC en courant AC, on les appelle alors mutateurs) [15].

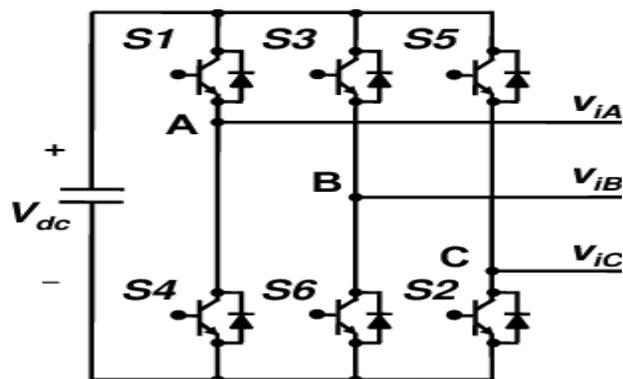


Figure I.22 : Schéma d'un onduleur triphasé.[15]

I.8.10.3. Convertisseurs statiques AC-AC (gradateurs)

Les convertisseurs AC-AC sont utilisés. Les gradateurs génèrent des tensions et des courants alternatifs en utilisant une alimentation alternative sans changer la fréquence, ce qui les rend semblables aux autotransformateurs abaisseurs réglables [15].

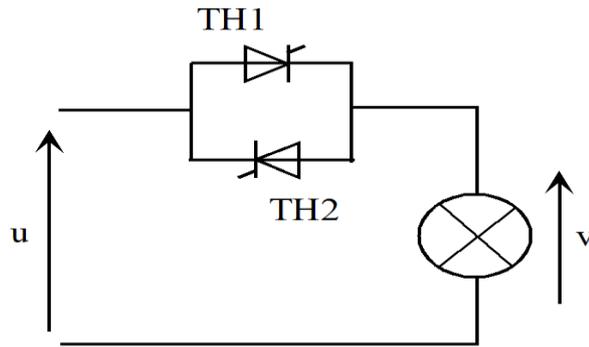


Figure I.23 : Circuit d'un gradateur monophasé.[15]

I.8.10.4. Convertisseurs statiques DC-DC (Hacheurs)

Les convertisseurs continu-continu sont des dispositifs qui produisent une tension continue réglable à partir d'une tension continue de valeur fixe. Ils sont également utilisés comme transformateurs à courant continu[15].

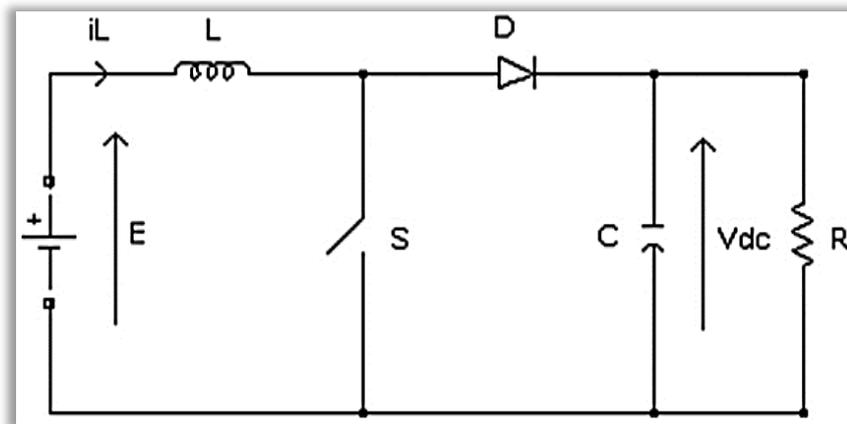


Figure I.24 : Exemple d'un Circuit d'un hacheur de nature élévateur.[15]

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, une introduction aux systèmes à énergies renouvelables est donnée, les principales notions de ces systèmes liées à la technologie ont été aussi présentées.

Cette partie nous a permis de nous initier à travers les connaissances de bases sur les énergies photovoltaïques et éoliennes ainsi les différents types de batteries, les avantages de chaque modèle et une vue globale sur l'intégration de diesel générateur dans le système hybride à étudier dans le troisième et dernier chapitre.

Chapitre II
Présentation du logiciel Homer
pro

II.1. Introduction

Le développement durable et l'optimisation des systèmes énergétiques sont des priorités cruciales face aux défis du changement climatique. Dans ce contexte, HOMER Pro, développé par HOMER Energy by UL, se distingue comme un outil essentiel pour la simulation et l'optimisation des systèmes hybrides d'énergie.

HOMER Pro permet de modéliser les interactions entre diverses sources d'énergie, telles que l'énergie solaire, éolienne, les batteries et les générateurs diesel. Il facilite la prise de décision grâce à des simulations détaillées, des analyses de sensibilité et des évaluations économiques rigoureuses, assurant ainsi la viabilité et la rentabilité des projets énergétiques.

Des études ont démontré son efficacité, notamment pour optimiser les micro-réseaux en Afrique rurale [25], et pour la planification des systèmes énergétiques urbains, contribuant à la transition vers des villes intelligentes et durables [26]. En résumé, HOMER Pro est un outil indispensable pour concevoir des systèmes énergétiques robustes, économiques et respectueux de l'environnement.

II.2. Principales caractéristiques de logiciel

Les systèmes de production d'électricité hybrides, tels que les groupes électrogènes, les systèmes de cogénération, les éoliennes, les systèmes photovoltaïques, les systèmes hydrauliques, les batteries, les piles à combustible, la biomasse, etc., peuvent être conçus et analysés avec le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable).

HOMER est un programme de simulation basé sur une approche horaire. L'intervalle de simulation est d'une année. De cette manière, il est envisageable de considérer la fluctuation de paramètres tels que la demande d'électricité, l'utilisation d'énergie solaire ou éolienne des données expérimentales peuvent même être importées à partir de fichiers correctement formatés.

Dès 1993, le National Renewable Energy Laboratory a commencé à développer HOMER pour les projets d'électrification rurale. Il est commercialisé sous la licence HOMER Energy depuis 2009.

Il y a différentes versions du programme Homer et dans cette étude, je vais utiliser la version Homer Pro 3.14 qui a été mise au point le (10 août 2020) [23]

II.3. Interface de Homer pro

Le logiciel HOMER Pro est facile à utiliser et son interface présente dans la figure (II.1) est similaire aux logiciels usuels .On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois parties importantes : la première c'est la définition des entrées comme le profil de charge journalier et sa nature que ce soit industriel , habitation avec les profils de températures et d'irradiation solaire et de vitesse de vent avec les caractéristiques des composantes choisies tel que les panneaux et les éoliens avec les batteries et générateur diesel , la deuxième c'est le calcul de résultat final par le logiciel au final la dernière partie c'est l'évaluation de l'architecture optimale définis point de vue satisfaction de la charge d'une façon continue et le choix de la meilleur configuration de capital d'investissement moins couteuse avec moins de quantité des émissions de gaz et d'oxyde de carbone .

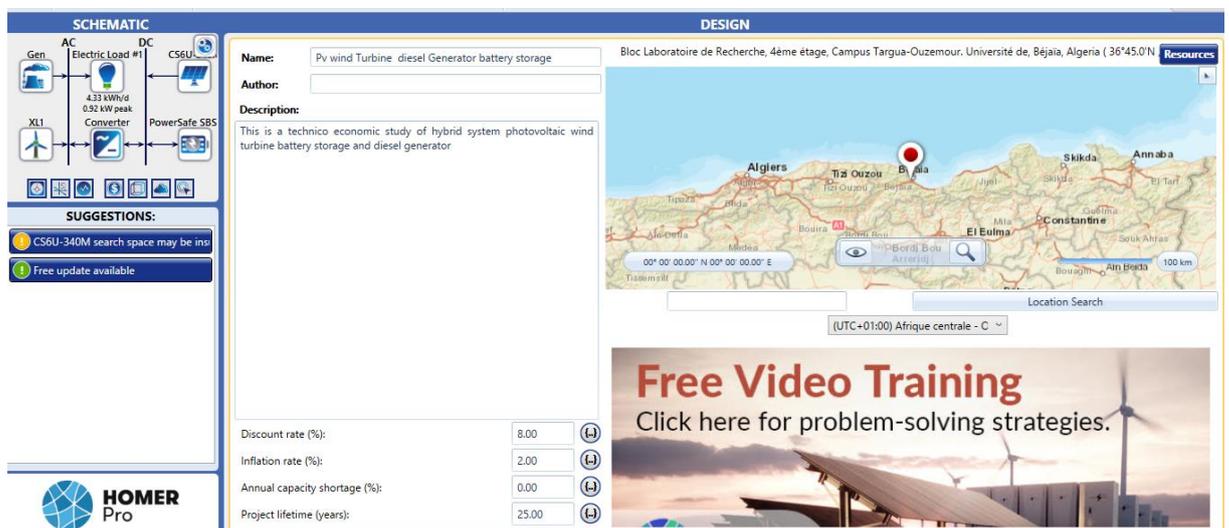


Figure II.1 : Interface de Homer pro

II.4. L'objectif principal du logiciel

II.4.1. Les étapes essentielles de projet

Pour simuler un projet PV/éolienne/batterie sur HOMER Pro, on commence par créer un nouveau projet et définir l'emplacement du site d'installation. Ensuite, on spécifie la période de simulation et les options de sortie souhaitées. On Passe ensuite à l'ajout des ressources renouvelables, puis on choisit l'emplacement du site à étudier et le logiciel importe les données de rayonnement solaire et de vitesse du vent. Puis ont Définie la charge du système en important un profil de charge ou en indiquant la demande de pointe et l'énergie quotidienne.

Ensuite, on précise les composants du système (PV/éolienne/batterie) en les sélectionnant dans le logiciel et en indiquant leur puissance nominale, leur efficacité et leur coût...

Enfin, on définit les options économiques en saisissant le coût d'investissement initial de chaque composant, le taux d'actualisation. Puis on lance la simulation et on analyse les résultats pour obtenir des informations sur la production d'énergie par source, la satisfaction de la charge, les flux d'énergie, les coûts du système, la viabilité économique. On utilise ces résultats pour identifier la configuration optimale du système et évaluer la faisabilité du projet comme montre la figure (II.2).

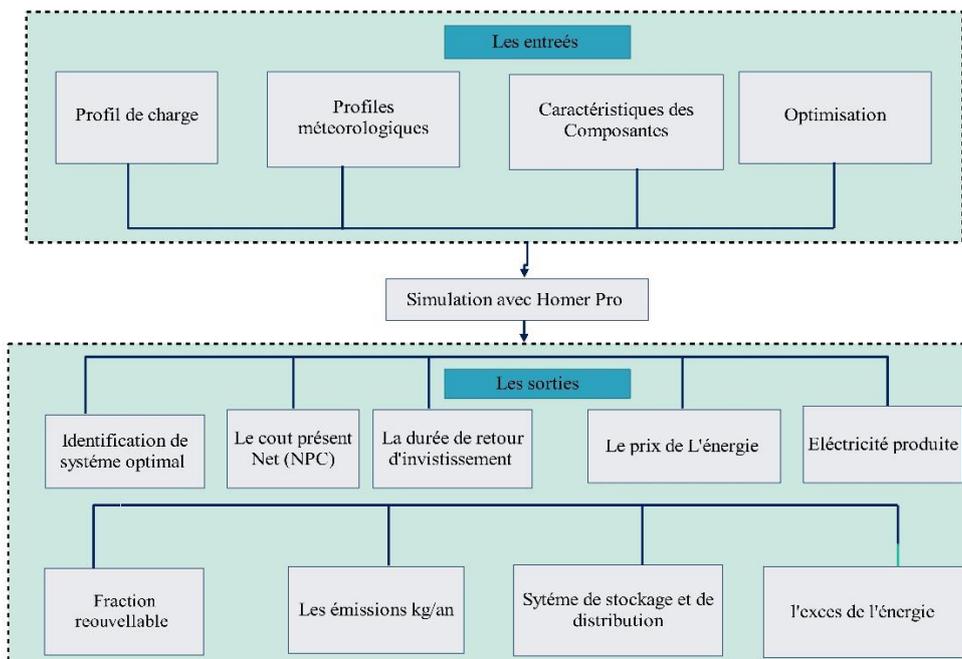


Figure II.2 : Organigramme de simulation suivie par le logiciel Homer Pro

La partie de définition du système permet de choisir les équipements qui seront inclus dans le système à modéliser. Il suffit de sélectionner et insérer les éléments à utiliser selon des plusieurs choix illustrés dans la Figure II-3.

De plus, dans cette étape, il est possible de choisir : de modéliser le réseau électrique, d'en faire la comparaison avec un système hors réseau ou simplement de ne pas modéliser le réseau. [24]

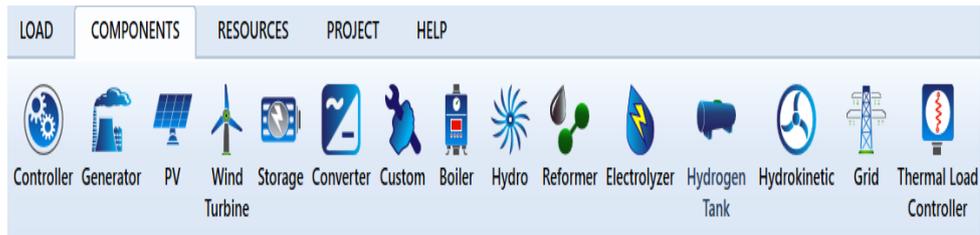


Figure II.3 : Les composantes disponibles sous Homer Pro.

II.4.2. L'intérêt de Logiciel dans l'étude de faisabilité et de dimensionnement

Ce logiciel permet de faire des simulations pour ensuite optimiser les systèmes et pour finalement terminer avec des analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés. La solution obtenue par HOMER est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus. HOMER Pro permet de simuler, d'optimiser et aussi réaliser une analyse de sensibilité pour les SERS. Il est utile aussi bien pour les centrales électriques villageoises, les camps, les chalets, les bases militaires que pour les habitats individuelles, reliés ou non au réseau [22].

La figure (II.4) ci-dessous présente la méthode d'optimisation de logiciel Homer Pro

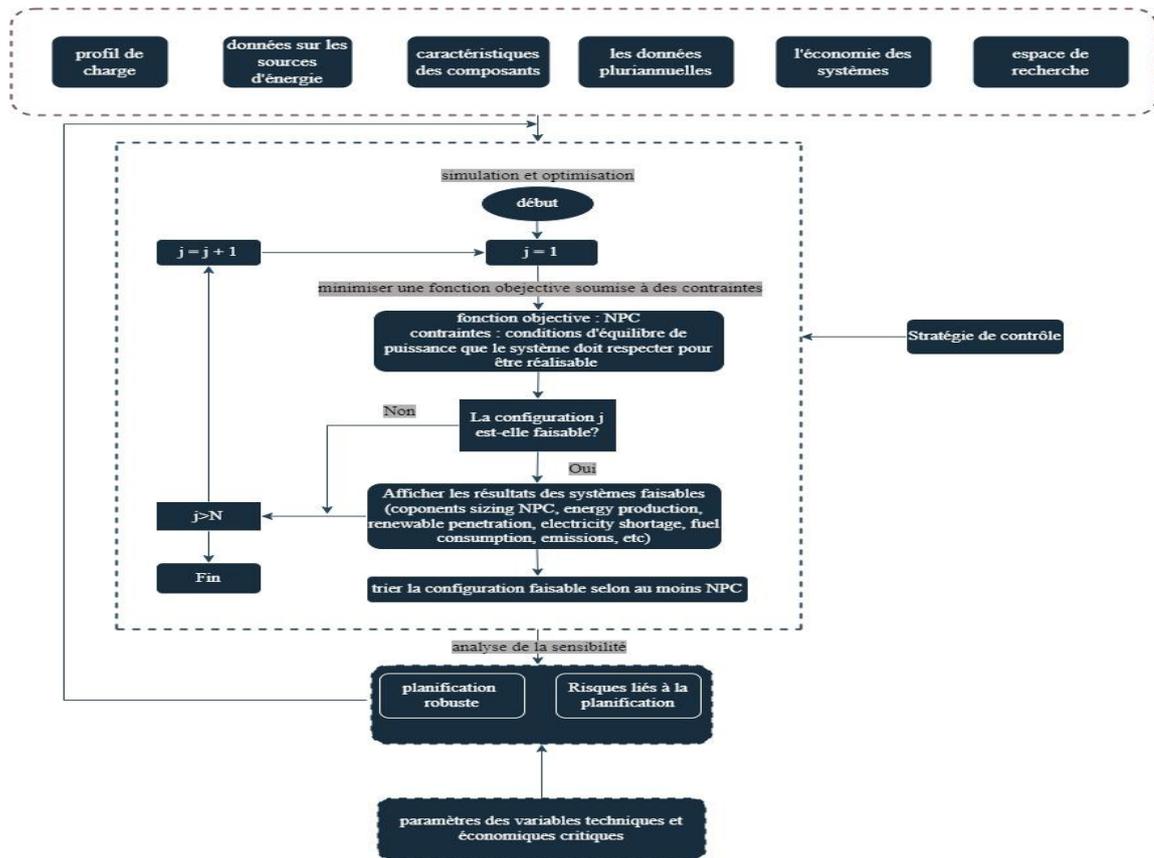


Figure II.4 : Organigramme de processus d'optimisation global dans HOMER Pro

En calculant le bilan énergétique entre les sources d'énergie renouvelable et les charges chaque heure de l'année, Homer évalue les systèmes hybrides d'énergie renouvelable. Il évalue le débit énergétique de chaque élément du système ainsi que des systèmes comprenant des batteries, des piles à combustible et des génératrices. Chaque heure, on détermine le fonctionnement du générateur, l'allumage de l'analyseur électrique, le chargement et le déchargement de la batterie en se basant sur des calculs techniques et économiques [27].

II.5. Analyse économique

Les paramètres financiers sont utilisés dans la simulation HOMER. Cette étude porte sur le taux d'intérêt réel annuel, le NPC, le COE, le coût d'investissement initial et le coût de remplacement pour les différentes configurations du système.

II.5.1. Coût net actuel (CNA)

Le coût net actualisé total comprend tous les coûts d'investissement initiaux, les coûts de remplacement, les coûts d'exploitation et de maintenance et les coûts énergétiques sur toute la durée de vie du projet. Les résultats de la simulation HOMER sont organisés en fonction du NPC qui est calculé à l'aide des équations suivantes [29], [30].

$$\text{CNPC} = \frac{\text{CA}}{\text{CRF}(i,N)} \quad (\text{II.1})$$

$$\text{CRF}(i,N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (\text{II.2})$$

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (\text{II.3})$$

Dans les équations ci-dessus, CA est le coût total annualisé (\$/an), CRF est le facteur de récupération du capital, i (%) est le taux d'intérêt réel annuel, i' (%) le taux d'intérêt nominal, f (%) est le taux d'inflation annuel et N est la durée de vie du projet (dans l'année). Dans cette étude, un taux d'actualisation de 7 % et un taux d'inflation annuel de 2 % sont considérés, ainsi qu'une durée de vie du projet de 25 ans.

II.5.2. Coût de l'énergie (COE)

Le coût de l'énergie (COE) est un autre paramètre économique important pour le dimensionnement optimal d'un système électrique hybride qui, par définition, est le coût moyen par kilowattheure (\$/kWh) de l'énergie électrique utile. Les équations (11) et (12) représentent le calcul du COE [31].

$$\text{COE} = \frac{\text{CA}}{E_s} \quad (\text{II.4})$$

$$\text{CA} = \text{CA}_{\text{cap}} + \text{CA}_{\text{rep}} + \text{CA}_{\text{O\&M}} \quad (\text{II.5})$$

Où CA (%) est le coût total annualisé, y compris le coût d'investissement annualisé CA_{cap} , le coût de remplacement annualisé CA_{rep} , le coût d'exploitation et d'entretien annualisé $CA_{\text{O\&M}}$ et E_s est l'énergie consommée au cours d'une année.

II.5.3. Émissions du cycle de vie (LCE) :

La définition du coût du cycle de vie peut être dérivée de son unité ($kg \text{ CO}_2 - eq/yr$), qui est l'équivalent des émissions de CO_2 provenant de l'énergie utilisée au cours d'une

année. L'équation suivante représente l'expression mathématique pour le calcul de *LCE* [28].

$$LCE = \sum_{i=1}^x \beta_i \times EL \quad (II.6)$$

Où x est le nombre de composants, β_i ($kg\ CO_2\ -eq/kWh$) est l'équivalent des émissions de CO_2 pendant toute la durée de vie de chaque composant.

EL (kWh) est l'énergie produite ou stockée dans chaque composant.

II.6. Les algorithmes du logiciel Homer pro

Ils existent six algorithmes utilisés par Homer pro, elles sont définies comme suite.

II.6.1. Algorithme de Dispatch par Suivi de Charge (Load Following Dispatch LF)

L'algorithme Homer Dispatch par Suivi de Charge ajuste la production d'énergie en temps réel pour correspondre à la demande fluctuante. Cette méthode est essentielle dans les systèmes énergétiques où la demande varie considérablement tout au long de la journée. En utilisant cet algorithme, Homer Pro optimise la réponse des sources d'énergie, assurant ainsi une fourniture continue et fiable tout en minimisant les coûts opérationnels. Cette technique est particulièrement efficace pour gérer les variations imprévisibles de la demande, ce qui est crucial pour les systèmes intégrant une forte proportion de sources d'énergie renouvelable variables comme le solaire et l'éolien [17].

Des études montrent que l'algorithme de suivi de charge peut améliorer l'efficacité opérationnelle en réduisant les démarrages et arrêts fréquents des générateurs, ce qui prolonge leur durée de vie et diminue les coûts de maintenance [17].

✚ **Avantage :**

- Simplicité et facilité de mise en œuvre
- Réduction des coûts de fonctionnement et d'entretien
- Minimisation de la production d'énergie excédentaire [18]

✚ **Inconvénients :**

- Ne prend pas en compte les prévisions de la demande ou de la production
- Peut entraîner une usure accrue des générateurs
- Ne maximise pas nécessairement l'utilisation du stockage d'énergie [18]

II.6.2. Algorithme de Dispatch par Cycle de Charge (Homer Cycle Charging Dispatch)

L'algorithme Homer Dispatch par Cycle de Charge est conçu pour optimiser l'utilisation des générateurs en les faisant fonctionner à pleine capacité pendant les périodes de charge de batterie. Une fois les batteries chargées, les générateurs peuvent être arrêtés, permettant à l'énergie stockée de satisfaire la demande. Cette méthode maximise l'efficacité des générateurs et minimise les coûts de carburant et d'entretien. Elle est couramment utilisée dans les systèmes où la gestion efficace des cycles de charge et décharge des batteries est cruciale [19].

Des recherches ont démontré que l'utilisation de l'algorithme de cycle de charge peut réduire la consommation de carburant de 15% à 25%, en optimisant les périodes de fonctionnement des générateurs [19].

Avantage :

- ✓ Maximise l'utilisation du stockage d'énergie
- ✓ Réduit la dépendance aux générateurs
- ✓ Permet une utilisation plus efficace des ressources renouvelables

Inconvénients :

- ✓ Peut nécessiter un stockage d'énergie important
- ✓ Peut entraîner une augmentation des coûts de capital
- ✓ Ne s'adapte pas bien aux systèmes avec une demande imprévisible [18]

II.6.3. Lien Homer Pro-MATLAB (Homer Pro MATLAB Link)

Le lien Homer Pro-MATLAB permet l'intégration des modèles de Homer Pro avec les outils de simulation avancés de MATLAB. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour les chercheurs et les ingénieurs qui souhaitent effectuer des analyses plus approfondies et personnalisées. En combinant les capacités de modélisation de Homer Pro avec les puissants algorithmes de calcul de MATLAB, les utilisateurs peuvent simuler des scénarios complexes, optimiser les systèmes énergétiques, et analyser les résultats avec une précision accrue. Cette intégration est essentielle pour les projets nécessitant une approche de modélisation flexible et extensible [17].

Les études montrent que cette intégration permet une meilleure analyse des données et une optimisation plus précise des systèmes énergétiques, notamment dans les applications de réseaux intelligents et de gestion de l'énergie [19].

✚ Avantage :

- Flexibilité accrue pour les systèmes complexes
- Possibilité de mettre en œuvre des stratégies de dispatch sophistiquées
- Contrôle précis du comportement du système [18]

✚ Inconvénients :

- Nécessite des connaissances en programmation MATLAB
- Peut augmenter la complexité de la modélisation
- Nécessite une validation et une vérification approfondies [19]

II.6.4. Algorithme de Dispatch par Ordre des Générateurs (Homer Generator Order Dispatch GO)

L'algorithme Homer Dispatch par Ordre des Générateurs permet de définir une séquence spécifique pour l'activation des générateurs en fonction de l'ordre de priorité. Cet algorithme est utile pour maximiser l'efficacité et minimiser les coûts en utilisant d'abord les générateurs les plus économiques ou ceux qui émettent le moins de polluants. En configurant un ordre de démarrage précis, les utilisateurs peuvent s'assurer que les générateurs fonctionnent de manière optimale en fonction des conditions opérationnelles et des priorités définies [20].

Des analyses montrent que l'application d'un ordre de générateurs bien planifié peut réduire les coûts d'exploitation de 10% à 20% en optimisant l'utilisation des générateurs les plus efficaces en premier [21].

✚ Avantage :

- Priorise l'utilisation des énergies renouvelables ou des générateurs à faible coût
- Réduit les émissions de polluants
- Augmente la fiabilité du système [20]

✚ Inconvénients :

- Peut augmenter les coûts d'exploitation si les générateurs les plus coûteux sont dispatchés en premier
- Peut limiter la flexibilité du système

- Nécessite une analyse minutieuse de l'impact sur les performances [20]

II.6.5. Algorithme de Dispatch Combiné (Homer Combined Dispatch CD)

L'algorithme Homer Dispatch Combiné intègre plusieurs stratégies de dispatch pour optimiser la gestion des ressources énergétiques. Par exemple, il peut utiliser une combinaison de dispatch par coût et par priorité pour équilibrer les objectifs économiques et environnementaux. Cette flexibilité permet de s'adapter à des scénarios complexes et changeants, rendant Homer Pro particulièrement puissant pour les applications dans des environnements diversifiés et dynamiques. Cette approche hybride permet de maximiser les avantages de chaque algorithme tout en compensant leurs limites respectives [18].

Des études montrent que l'algorithme combiné peut améliorer l'efficacité globale du système de 5% à 15%, en équilibrant les différents objectifs de coût et de durabilité [21].

✚ **Avantage :**

- Offre une approche flexible et adaptative pour la gestion du système
- Permet d'équilibrer les coûts, la fiabilité et la durabilité
- Maximise l'utilisation des ressources et minimise les gaspillages [19]

✚ **Inconvénients :**

- Augmente la complexité de la modélisation et de la simulation
- Peut nécessiter un réglage fin pour obtenir des résultats optimaux
- Nécessite une compréhension approfondie des différentes stratégies de dispatch [19]

II.6.6. Algorithme de Dispatch Prédicatif (Homer Prédicative Dispatch PS)

L'algorithme Homer Prédicatif utilise des modèles prédictifs pour anticiper les variations de la demande et ajuster la production d'énergie en conséquence. En se basant sur des données historiques et des prévisions, cet algorithme permet de mieux gérer les ressources énergétiques en évitant les surproductions ou les pénuries. Cette méthode est particulièrement utile dans les systèmes avec une forte composante renouvelable, où les conditions météorologiques peuvent affecter la production d'énergie. L'utilisation de la prédiction permet d'optimiser les opérations et de garantir une fourniture d'énergie stable et fiable [20].

Des recherches montrent que l'utilisation d'algorithmes prédictifs peut réduire les coûts opérationnels et améliorer la stabilité du système énergétique de 10% à 20%, en permettant une planification proactive basée sur des prévisions précises

En intégrant ces divers algorithmes de dispatch, Homer Pro offre une solution complète et adaptable pour la gestion des systèmes énergétiques. Les ingénieurs, décideurs et chercheurs peuvent ainsi concevoir et optimiser des systèmes qui répondent aux exigences spécifiques de chaque projet, qu'il s'agisse de maximiser l'efficacité économique, d'augmenter l'utilisation des énergies renouvelables, ou de stabiliser la production d'énergie [21].

✚ **Avantage :**

- Améliore l'efficacité du système et réduit les coûts d'exploitation
- Permet une gestion proactive de l'énergie
- Réduit les risques de pénuries d'énergie [17]

✚ **Inconvénients :**

- Dépend de la précision des prévisions, qui peuvent être incertaines
- Augmente la complexité de la modélisation et du contrôle
- Nécessite une infrastructure de collecte et de traitement de données robuste [20]

II.7. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté le logiciel Homer Pro, avec les différentes étapes de fonctionnement et d'optimisation ainsi le domaine d'utilisation qui est le système hybride à énergie renouvelable dans les sites isolés et connectés au réseau électrique.

Pour notre système Homer Pro est très utile afin d'évaluer la faisabilité de l'architecture étudiée cela on va le traiter dans les deux prochains chapitres.

Chapitre III
Etude d'un système hybride
Photovoltaïque
/éolienne/batteries

III.1. Introduction

Le dimensionnement d'un système à énergie renouvelable est une étape cruciale avant son implémentation ce qui permet une exploitation maximale de l'énergie renouvelable avec les composantes tel que les panneaux photovoltaïques, éoliennes, diesels, batteries il s'agit donc de réaliser cette procédure convenablement. Il existe plusieurs logiciels commerciaux pour réaliser le dimensionnement des systèmes énergétiques parmi eux Homer Pro qui nous va permettre dans cette partie de faire une étude comparative de faisabilité entre le système éolien photovoltaïque avec batterie avec la méthode de la moyenne annuelle mensuelle et la méthode de dispatch utilisé par le logiciel Homer Pro.

Dans ce chapitre le logiciel HOMER Pro est employé pour la simulation et l'optimisation des systèmes autonome en comparant son efficacité par rapport au dimensionnement par rapport a la méthode de la moyenne mensuelle annuelle utilisé dans les systèmes photovoltaïques éolien avec stockage.

III.2. Présentation du système hybride

Dans ce chapitre, nous allons étudier la première configuration de ce système hybride pour la production électrique. Le système considéré est : PV/éolienne/batterie

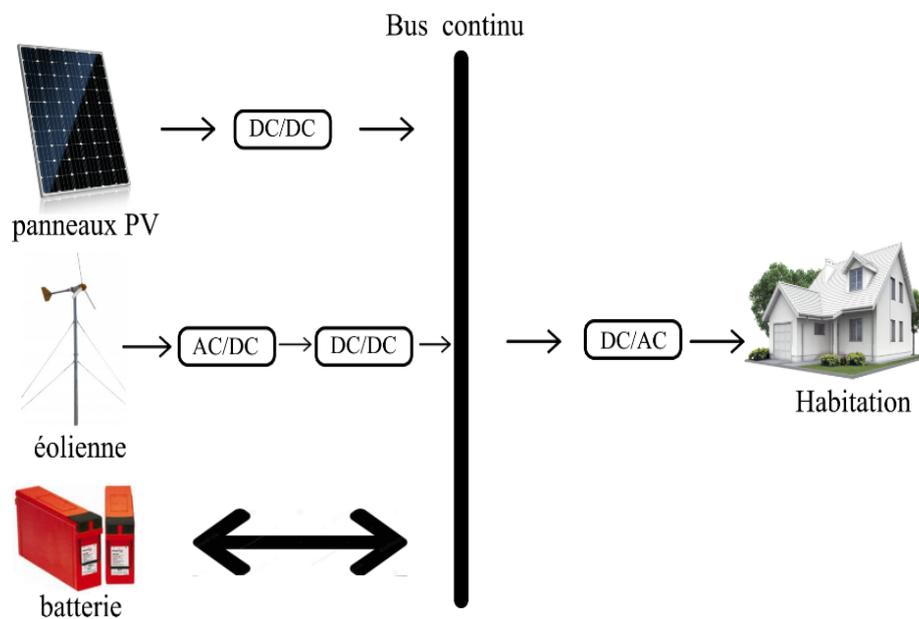


Figure III.1 : Configuration de système hybride autonome

L'électricité produite sert à alimenter une certaine charge électrique, et l'énergie qui est en excès sera conservée dans des batteries de stockage

III.3. Evaluation de la consommation

Vous trouverez dans le tableau suivant le besoin journalier du site isolé (habitat).

Tableau III.1 : Consommation énergétique de laboratoire de recherche

Type de charge	Puissance (Wh)	Nombre d'élément	Durée d'utilisation(h)	Consommation journalière (Wh/j)
Ordinateur	250	2	4	2000
Lampe	30	6	3	540
Chargeur de téléphone	10	2	2	40
Imprimante	350	1	0.5	175
Modem wifi	10	1	8	80
Outils de soudage	1500	1	0.5	750
Visseuse	345	1	1	345
Machine à café	800	1	0.5	400
Besoin journalier total	3250			4330

III.4. Choix de lieu géographique et de composantes de système :

Pour satisfaire la demande en électrification d'une habitation par l'installation hybride (PV-éolien) avec batteries caractérisé ci-dessus par les coordonnées géographiques ainsi que les caractéristiques des panneaux et de l'éolienne utilisée.

III.4.1. Coordonnées géographiques du site choisi



Figure III.2 : Localisation de site de l'étude.

Le tableau (III.2) représente la longitude la latitude et l'altitude du lieu choisi

Tableau III.2 : Coordonnées géographiques du lieu.

Caractéristique	Longitude	Latitude	Altitude
Lieu de Bejaia	5.067 N	36.75 E	153.4 m

III.4.2. Caractéristiques des panneaux

Pour notre étude, on décider d'opter pour des panneaux Canadian Solar max power cs6u.



Figure III.3 : Canadian Solar MaxPower CS6U-340m

Le tableau (III.3) résume les caractéristiques principales du panneau Canadian Solar MaxPower CS6U-340m.

Tableau III.3 : Caractéristiques du panneau solaire

Nom	Canadian Solar MaxPower CSU6U-340m
Tension maximal (Vmpp)	37.9 (V)
Courant maximal (Impp)	8.97 (A)
Tension de court-circuit (Vco)	46.2 (V)
Courant de court-circuit (Ico)	9.48 (A)
Rendement	17.49%
Température de fonctionnement	-40°C +80°C

Poids	22.4 (kg)
Dimension	1960*1000*40 (mm)
Type de cellule	Monocristallin
Prix	279.5\$
Puissance	340 W

III.4.3. Caractéristique de l'éolienne

Pour notre étude on a décidé de choisir l'éolienne Bergey XL-1



Figure III.4 : Éolienne Bergey XL-1.

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales de l'éolienne Bergey XL-1

Tableau III.4 : Caractéristique de l'éolienne

Modèle	Bergey XL-1
Puissance nominale	1 kW
Type de génératrice	Synchrone à aimants permanents
Nombre de pales	3

Surface balayée (m²)	4.91
Prix	4000 \$

III.5. Méthodes de dimensionnement du système hybride

Pour le dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-éolien, voici une description des trois méthodes :

- ✚ La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation
- ✚ La méthode du mois le plus défavorable
- ✚ La méthode de la moyenne annuelle mensuelle.

III.5.1. La méthode de la probabilité d'erreur dans la consommation

III.5.1.1. Description

Cette méthode se concentre sur la probabilité que le système hybride ne puisse pas satisfaire la demande énergétique. Elle utilise des analyses statistiques pour évaluer la probabilité d'un déficit énergétique.

III.5.1.2. Processus de l'étude

✚ Collecte des données :

Obtenir des données historiques de la demande énergétique et des ressources disponibles (ensoleillement et vitesse du vent).

✚ Analyse statistique :

Calculer la distribution des ressources énergétiques et des besoins de la charge. Utiliser des techniques statistiques pour évaluer la probabilité d'une insuffisance de production.

✚ Simulation et dimensionnement :

Simuler le système sur une longue période (généralement une année) en tenant compte des variations saisonnières et aléatoires des ressources et de la demande. Dimensionner les composants du système pour que la probabilité de ne pas satisfaire la demande soit inférieure à un seuil acceptable (par exemple, moins de 5%).

III.5.2. La méthode du mois le plus défavorable

✚ Identification du mois défavorable

Analyser les données climatiques pour identifier le mois où la production énergétique est la plus basse.

✚ Évaluation de la demande énergétique

Calculer du besoin journalier et la demande énergétique pour ce mois défavorable.

✚ Dimensionnement des composants :

Dimensionner les panneaux solaires, les éoliennes et les batteries pour garantir que la demande énergétique du mois défavorable soit satisfaite. Cela implique souvent de surdimensionnés les composants pour assurer une production suffisante même dans les conditions les plus difficiles.

III.5.3. La méthode de la moyenne mensuelle

✚ Description :

Cette méthode utilise les valeurs moyennes mensuelles de la production énergétique et de la demande pour dimensionner le système.

III.5.3.1. Processus de la méthode de la moyenne mensuelle

A. Collecte des données moyennes

La collecte se fait par Rassembler les données moyennes mensuelles de la demande énergétique et des ressources disponibles (ensoleillement et vitesse du vent) sur plusieurs années.

B. Calcul des moyennes mensuelles

Le Calcule les moyennes mensuelles de la production énergétique des panneaux solaires et des éoliennes est exigé pour évaluer la production par rapport au besoin.

C. Dimensionnement des composants

Dimensionner les composants du système (panneaux solaires, éoliennes, batteries) en fonction des valeurs moyennes mensuelles pour garantir que la production énergétique moyenne mensuelle soit suffisante pour répondre à la demande énergétique moyenne mensuelle. Cette méthode vise à équilibrer la production et la consommation sur une base mensuelle.

Ces trois méthodes offrent différentes approches pour le dimensionnement des systèmes hybrides photovoltaïques-éoliens, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients en termes de simplicité, de précision et de robustesse face aux variations climatiques.

III.6. Modélisation des composantes de système

Dans ce chapitre nous allons utiliser la méthode du mois mensuelle pour déterminer la surface nécessaire des panneaux photovoltaïques (PV) et des éoliennes pour assurer que le système hybride puisse couvrir la demande énergétique même pendant le mois le plus défavorable de l'année. Voici une explication détaillée de chaque partie :

III.6.1. Énergie mensuelle produite par unité de surface

✓ **E_{pv}** : C'est l'énergie mensuelle produite par unité de surface de panneau photovoltaïque pour le mois.

✓ **E_{éol}** : C'est l'énergie mensuelle produite par unité de surface d'éolienne pour le mois *mm*.

En résumé, le passage explique comment évaluer la surface nécessaire des panneaux PV et des éoliennes pour garantir que le système hybride puisse répondre à la demande énergétique durant le mois où les conditions climatiques sont les moins favorables. Cela implique d'identifier ce mois critique et d'estimer les besoins en surface des générateurs pour assurer une couverture énergétique adéquate.

III.6.2. L'énergie produite par le générateur photovoltaïque

Pour calculer l'énergie produite par des panneaux photovoltaïques. Voici une explication détaillée de chaque terme de l'équation :

$$E_{pv} = \eta_{pv} \times S_{pv} \times E_{irr} \quad (III.1)$$

η_{pv} : le rendement du panneau photovoltaïque (sans unité, exprimé en pourcentage sous forme décimale, par exemple 0.18 pour 18 %).

S_{pv} : la surface totale du panneau photovoltaïque en mètres carrés (m²).

E_{irr} : l'irradiation solaire sur un plan incliné en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²).

III.6.3. L'énergie produite par le générateur éolien

Pour calculer l'énergie produite par l'éolienne, la formule de base c'est :

$$E_{\text{éol}} = P_{\text{éol}} \times \Delta t \quad (\text{III.2})$$

$P_{\text{éol}}$: puissance du générateur éolien (en watts, W ou en kilowatts, kW) qui est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{éol}} = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V_v^3 \times C_p \quad (\text{III.3})$$

ρ : densité de l'air (en kilogrammes par mètre cube, kg/m³). La valeur typique au niveau de la mer est environ 1.225 kg/m³.

S : surface balayée par les pales de l'éolienne (en mètres carrés, m²). Pour une éolienne avec des pales de longueur r , la surface S est calculée par $S = \pi r^2$.

V_v : vitesse du vent (en mètres par seconde, m/s).

C_p : coefficient de puissance de l'éolienne (sans unité), qui représente l'efficacité de l'éolienne à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. La valeur maximale théorique est de 0.593 (limite de Betz), mais en pratique, elle est souvent autour de 0.3 à 0.45 pour les éoliennes commerciales.

Δt : période de temps durant laquelle la puissance est produite (en heures, h).

Pour calculer l'énergie produite sur une période spécifique comme un jour ou un mois, on peut ajuster la formule en fonction du nombre d'heures ou de jours, cela donne :

$$E_{\text{éol}} = P_{\text{éol}} \times \Delta t = P_{\text{éol}} \times (24 \times N_{\text{jours}}) \quad (\text{III.4})$$

24 : le nombre d'heures dans une journée

Njours : le nombre de jours dans le mois en question

La surface du générateur et de l'éolienne sont est donnée par :

$$S_{pv} = \left(\frac{E_{ch,m}}{E_{pv,m}} \right) \quad (\text{III.5})$$

$$S_{\text{éol}} = \left(\frac{E_{ch,m}}{E_{\text{éol},m}} \right) \quad (\text{III.6})$$

L'énergie produite par les panneaux photovoltaïque et l'éolienne est donner par :

$$Ech = Spv \cdot E_{pv} + Séol \cdot E_{éol} \quad (III.7)$$

Avec :

$$Spv = f \cdot \left(\frac{Ech}{E_{pv}} \right) \quad (III.8)$$

$$Séol = (1 - f) \cdot \left(\frac{Ech}{E_{éol}} \right) \quad (III.9)$$

En considérant que (f) représente la consommation énergétique alimenté par le générateur photovoltaïque et (1-f) représente la consommation énergétique alimentée par le générateur éolien.

Quand $f = 1$ indique que toute la consommation énergétique du laboratoire est satisfaite par le générateur photovoltaïque et quand $f=0$ ça indique que toute la consommation est satisfaite par l'éolienne.

La dimension des générateurs photovoltaïques (PV) et éoliens est déterminée à partir des valeurs moyennes annuelles. Chaque contribution énergétique moyenne mensuelle des panneaux PV et des éoliennes est notée respectivement $E_{pv, moy}$ et $E_{éol, moy}$. De la même manière, la charge énergétique est représentée par la valeur moyenne mensuelle annuelle Ech, moy . En conséquence, les surfaces requises pour les générateurs PV et éoliens sont calculées respectivement comme suit :

$$Spv = f \cdot \left(\frac{Ech-moy}{E_{pv-moy}} \right) \quad (III.10)$$

$$Séol = (1 - f) \cdot \left(\frac{Ech-moy}{E_{éol-moy}} \right) \quad (III.11)$$

Le nombre de panneau photovoltaïque est déterminer par :

$$N_{pv} = ENT \left(\frac{Spv}{S_{pv-u}} \right) \quad (III.12)$$

Le nombre d'éolienne est déterminer par :

$$N_{éol} = ENT \left(\frac{Séol}{S_{éol-u}} \right) \quad (III.13)$$

Après avoir déterminé le nombre et la surface des panneaux photovoltaïques et des éoliennes, nous allons recalculer la surface effective retenue pour chacun d'eux, donnée par:

$$Spv-ret = Npv \cdot Spv-u \quad (III.14)$$

$$Séol-ret = Néol \cdot Séol-u \quad (III.15)$$

Ensuite on recalculer l'énergie moyenne de la charge, appelée l'énergie retenue, donnée par

$$Echm-ret = Epv-m.Spv-ret + Eéol-m.Séol-ret \quad (III.16)$$

III.7. Dimensionnement des batteries

La batterie utilisée dans ce dimensionnement c'est les PowerSafe SBS-170F.



Figure III.5 : Batteries Power Safe SBS-170F.

Vous trouverez dans le tableau suivant les caractéristiques des batteries utilisées :

Tableau III.5 : Caractéristique des batteries.

Nom	Power Safe sbs-170f
Tension nominale (V)	12 V
Capacité nominale (ah)	170 AH
Dimensions (L x l x H) (Mm)	561 x 125 x 316(mm)
Poids (kg)	58 Kg
Prix	300 \$

III.7.1. Calcul de la capacité de la batterie

Pour calculer la capacité de la batterie dans la méthode de mois mensuelle on utilise la loi suivante :

$$C_{batt} = \left(\frac{B_j \cdot J_{aut}}{U_{batt} \cdot PDD \cdot KT} \right) \tag{III.17}$$

III.4.2 Calcule du nombre de batterie :

Pour calculer le nombre de batterie on utilise la loi suivante :

$$N_{batt} = ENT\left(\frac{C_{batt}}{C_{batt-u}}\right) \tag{III.18}$$

- Calcul le nombre de batterie en série :

$$N_{batt-serie} = Ent\left(\frac{V_{dc}}{V_{mpp}}\right) \tag{III.19}$$

- Calcul le nombre de batterie en parallèle :

$$N_{batt-parallèle} = Ent\left[\frac{N_{batt}}{N_{batt-serie}}\right] \tag{III.20}$$

Les valeurs de dimensionnement du système hybride selon la méthode des moyennes mensuelles annuelles sont calculées à l'aide des relations données ci-dessus. Le tableau suivant présente la production énergétique mensuelle des composants du système hybride pour satisfaire une charge quotidienne de 4330 Wh/j, en utilisant l'irradiation mensuelle et la vitesse moyenne du vent dans la région de Bejaia.

Tableau III.6 : La production énergétique mensuelle annuelle des composants du système hybride

Mois	Njours	Eirr(kwh/m ²)	Vvent(m/s)	Epv(kwh/m ²)	Eéol(kwh/m ²)	Ech(kwh)	Spv(m ²)	Séol(m ²)
Janvier	31	73.78	5.33	25.29	101.63	545.47	21.56	4.911
Février	29	95.99	5.15	32.90	85.77	485.61	14.76	4.912
Mars	31	137.64	4.77	47.18	72.85	450.16	9.54	4.914
Avril	30	163.8	4.57	56.1	61.99	414.32	7.38	4.915
Mai	31	198.71	3.89	67.93	39.51	327.13	4.81	4.92
Juin	30	213.6	3.56	73.2	29.30	287.30	3.92	4.926

Chapitre III Etude d'un système hybride photovoltaïque éolienne batteries

Juillet	31	224.13	3.52	76.83	29.27	294.30	3.83	4.926
Aout	31	197.78	3.52	67.79	29.27	276.58	4.07	4.924
Septembre	30	152.4	3.76	52.2	34.53	271.85	5.20	4.919
Octobre	31	113.46	4.25	38.89	51.52	329.18	8.46	4.914
Novembre	30	75.3	5.26	25.81	94.53	514.72	19.94	4.911
Décembre	31	63.86	5.52	21.89	112.90	597.24	27.28	4.911
Moyenne mensuelle				48.83	61.92	401.48		

Le tableau ci-dessous présente les différentes options de couplage entre un système photovoltaïque et un système éolien, ainsi que le coût correspondant à chaque option.

Tableau III.7 : Résultat Dimensionnement des panneaux et des éoliennes avec les prix

f	Spv-new(m²)	Séol-new(m²)	Npv	Néol	Spv-ret(m²)	Séol-ret(m²)	Echmoy(kwh)	Prix (\$)
0	0	4.915	0	2	0	9.82	608.0544	8000
0.1	0.81	4.423	1	1	1.96	4.91	399.73	4279.5
0.2	1.63	3.932	1	1	1.96	4.91	399.73	4279.5
0.3	2.45	3.440	2	1	3.92	4.91	495.44	4559
0.4	3.27	2.949	2	1	3.92	4.91	495.44	4559
0.5	4.09	2.457	3	1	5.88	4.91	591.14	4838.5
0.6	4.90	1.966	3	1	5.88	4.91	591.14	4838.5
0.7	5.72	1.474	3	1	5.88	4.91	591.14	4838.5
0.8	6.54	0.983	4	1	7.84	4.91	686.85	5118
0.9	7.36	0.491	4	1	7.84	4.91	686.85	5118
1	8.18	0	5	0	9.8	0	478.53	1397.5

III.7.2. Choix de l'onduleur

Les critères de choix et dimensionnement de l'onduleur sont résumés comme suit :

L'onduleur doit avoir une puissance nominale lui permettant d'alimenter tous les équipements que l'on souhaite utiliser simultanément. En pratique, une marge de dimensionnement par excès de 20-30% est recommandée.

$$P_{\text{ond}} > 1.2 \times P_n(\sum \text{charge}) \quad (\text{III.21})$$

$$P_{\text{ond}} > 1.2 \times 3250 = 3900 \quad (\text{III.22})$$

Donc Pour notre étude, nous devons opter pour un onduleur de 4 kW.

III.7.3. Calcule Nombre de batterie

$$C_{\text{batt}} = \frac{4330 \times 1}{12 \times 0.97 \times 0.86} = 432.55 \quad (\text{III.23})$$

$$N_{\text{batt}} = \text{ENT}\left(\frac{432.55}{192}\right) = 3 \quad (\text{III.24})$$

Le nombre de batterie trouver en appliquant la méthode de la moyenne mensuelle est 3 et D'après l'analyse des coûts et de la charge moyenne, la configuration (2,1) est la plus avantageuse à adopter selon le tableau (III.7).

Tableau III.8 : Résultat de la méthode de la moyenne mensuelle

Panneau	Eolienne	Batteries
2	1	3

III.8. La configuration de système sous Homer Pro

Ce schéma illustre un système hybride combinant des panneaux photovoltaïques (PV), des éoliennes et des batteries. Il montre comment ces différents composants interagissent pour fournir une source d'énergie fiable et durable.

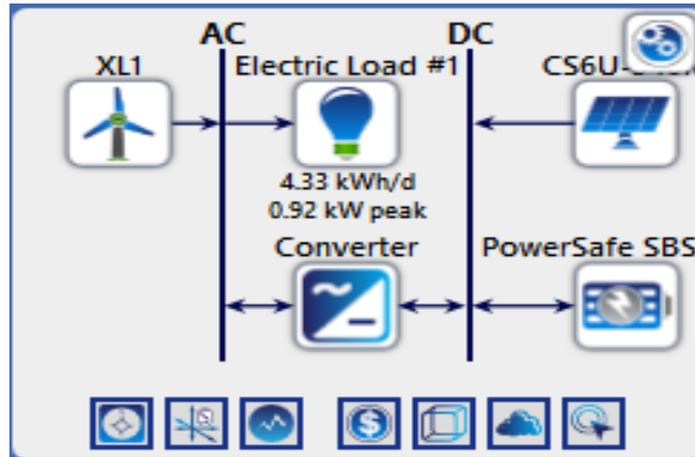


Figure III.6 : Schéma de configuration du système hybride

III.8.1. Profil de charge journalier sous Homer Pro

La figure (III.6) illustre la variation de la demande énergétique sur une période d'une année. Les pics observés pendant le mois de juillet reflètent les moments d'utilisation accrue des appareils électriques

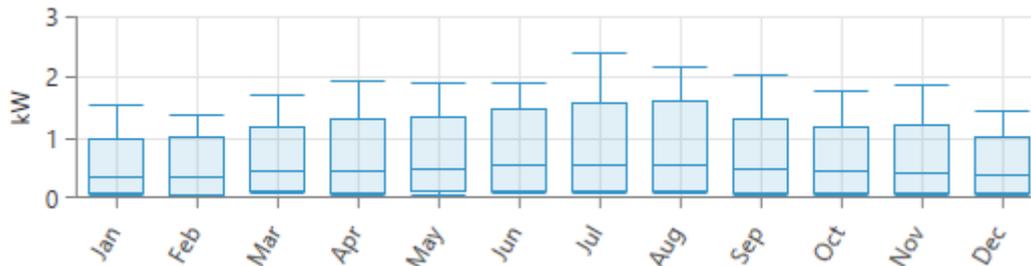


Figure III.7 : Consommation en électricité sur une année

III.8.2. Les données météorologiques de site choisis



Figure III.8 : Les données géographique de site de l'étude

Les performances des modules photovoltaïques et de l'éolienne sont étroitement liées aux données climatiques, telles que l'irradiation solaire, la température ambiante et la vitesse du vent. Ces informations sont collectées par un système d'acquisition.

III.8.3. Les profils de températures annuelles

Le tableau (III.9) et le figure (III.9) présente les températures moyennes mensuelles enregistrées par le logiciel Homer pro tout au long de l'année. Ces données nous permettent de calculer l'Energie produite par le générateur photovoltaïque.

Tableau III.9 : Profils de températures annuelles

Mois	Températures quotidiennes(C°)
Jan	10.150
Feb	10.370
Mar	12.280
Apr	14.330
May	17.870
Jun	21.880
Jul	25.100
Aug	25.790
Sep	22.690
Oct	19.350
Nov	14.540
Dec	11.380



Figure III.9 : *profile de Température annuelle.*

III.8.4. Les profils de vitesses de vent annuelles

Le tableau (III.10) et la figure (III.10) suivante présente la vitesse moyenne du vent mesurée par Homer pro, pour chaque mois de l'année. Les données fournies permettent d'observer les variations saisonnières. Ces informations sont cruciales pour calculer notamment l'énergie éolienne.

Tableau III.10 : *La vitesse de vent durant chaque mois de l'année en (m /s)*

Mois	Moyenne (m /s)
Jan	5.330
Feb	5.150
Mar	4.770
Apr	4.570
May	3.890
Jun	3.560
Jul	3.520
Aug	3.520
Sep	3.760
Oct	4.250
Nov	5.260
Dec	5.520

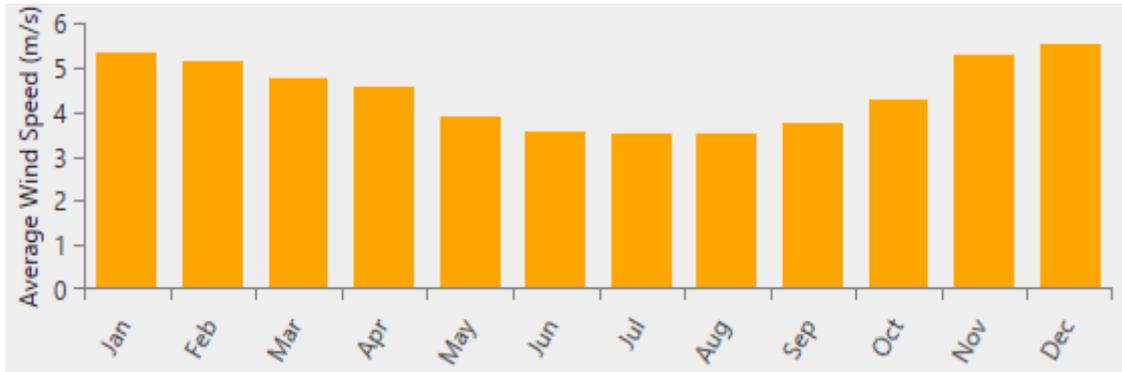


Figure III.10 : profile de Vitesse moyenne annuelle de vent (m/s).

III.9. Résultats d'optimisation sous Homer Pro du système

III.9.1. L'algorithme Ordre des Générateurs (Go)

On a proposé plusieurs algorithmes de simulation à Homer pro comme le montre la figure (III.11), pour qu'il choisisse la meilleure optimisation pour notre système, et ont trouvé que la meilleure optimisation est donnée par l'algorithme Ordre des Générateurs (Go).

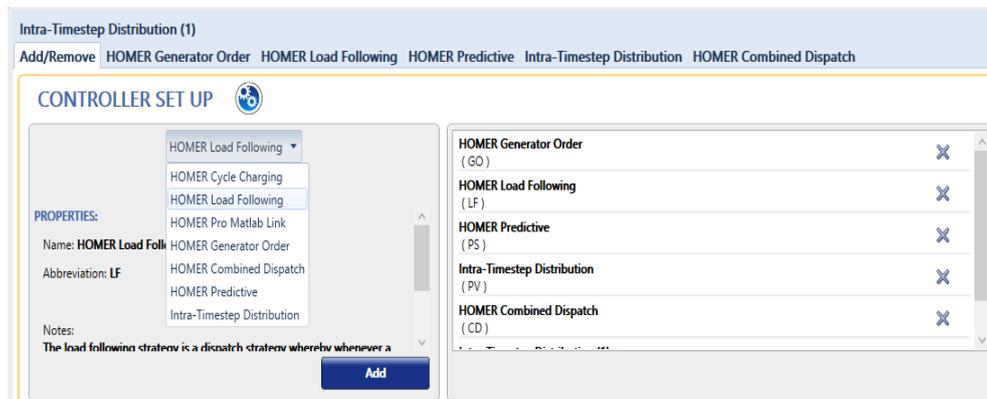


Figure III.11 : Les algorithmes utilisés sous Homer pro.

III.9.2. Résultat catégorique de l'architecture optimale sous le logiciel :

La figure (III.12) représente les meilleurs résultats obtenus après la simulation.

Architecture								Cost				System	
Panel	Wind	Battery	CS6U-340M (kW)	XL1	PowerSafe SBS 170F	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
☀️	🌬️	🔋	0.800	1	6	0.836	GO	\$11,954	\$0.585	\$390.33	\$6,908	100	0
☀️	🌬️	🔋		4	14	0.796	GO	\$31,956	\$1.56	\$875.47	\$20,639	100	0

Figure III.12 : Résultats optimales pour le système hybride

La figure montre que nous avons 2 architectures de systèmes hybrides. La première avec 3 panneaux, une éolienne et 6 batteries et la deuxième avec 4 éoliennes et 14 batteries et sans générateur photovoltaïque donc pour notre étude on décide de choisir la configuration la moins coûteuse (11,954.36 \$), qui est définie dans la première ligne de la figure.

On constate que Notre système est satisfait avec 0,80 kW de photovoltaïque, 14 kWh de capacité de batterie et 1,0 kW de puissance éolienne. Avec un coût d'exploitation pour l'énergie sont actuellement de 390,33 \$ par an.

III.9.3. Cout de l'installation

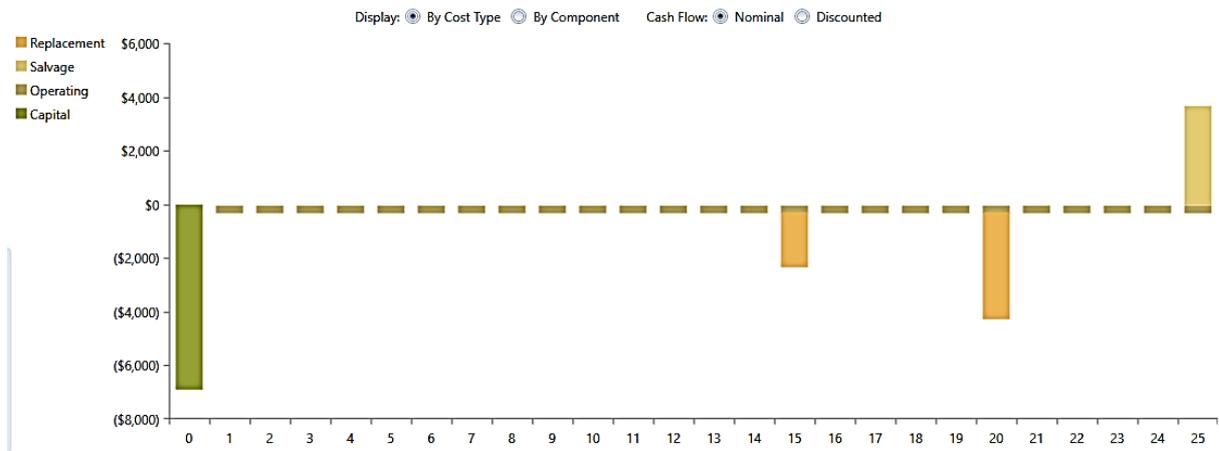


Figure III.13 : Récapitulatif des coûts du système hybride pendant 25 ans

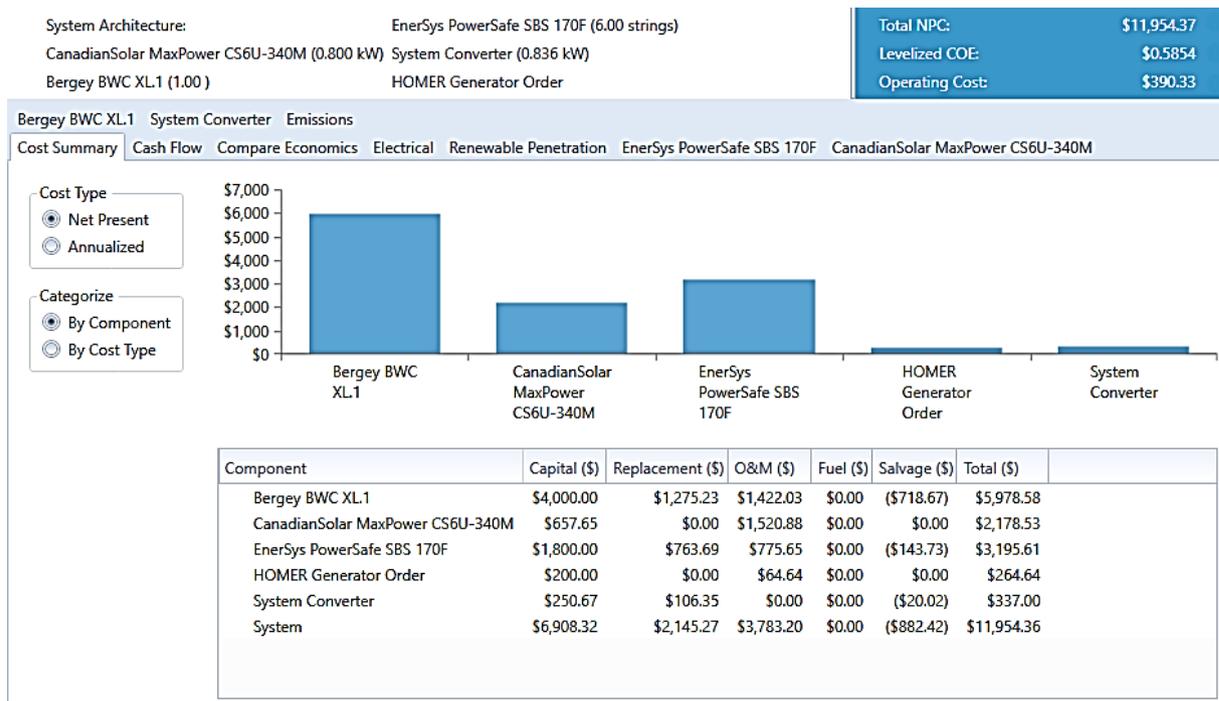


Figure III.14 : Coût détaillé de la configuration par équipement.

Les figure (III.13) et la figure (III.14) montre :

- ✓ Le prix de l'investissement initial sur 25 ans : 6,908.32 Dollars.
- ✓ Le prix de remplacement sur 25 ans : 2,145.27 Dollars.
- ✓ Le prix de la maintenance sur 25 ans : 3,783.20 Dollars.

✓ Le prix total (incluant l'investissement initial + les coûts d'entretien et de remplacement Sur 25 ans) : 11,954.36 Dollars

III.9.4. Flux de trésorerie

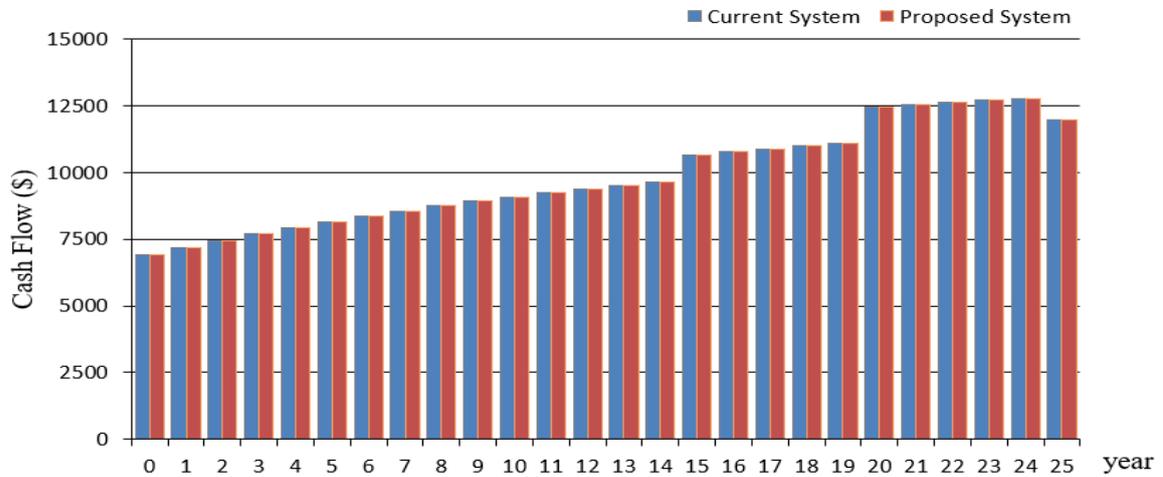


Figure III.15 : Flux de trésorerie cumulés sur la durée de vie du projet

On remarque d'après la figure (III.15) que le système de base est le même que le système optimiser par Homer pro.

III.9.5. Résumé de la Consommation électrique

III.9.5.1. Résumé de la production annuelle photovoltaïque

Vous trouverez dans le tableau ci-dessus la principale caractéristique de la production des panneaux photovoltaïques.

Tableau III.11 : Caractéristiques de production en énergie des panneaux photovoltaïques.

Capacité évaluée	0.800 kW
Coût des capitaux	\$657.65
Rendement spécifique	1,604 kWh/kW
Pénétration PV	81.2 %
Production totale	1,283 kW
Coût de l'entretien	118 \$/yr
LCOE	0.131 \$/kWh

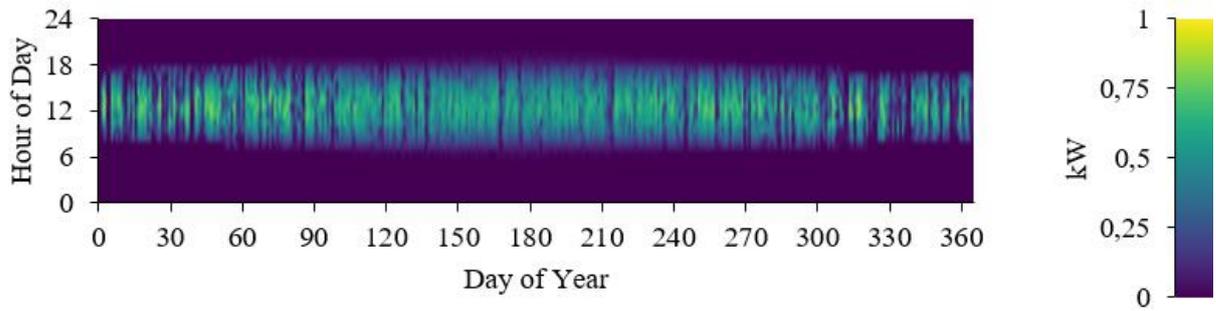


Figure III.16 : Production annuelle photovoltaïque.

On constate d'après la figure (III.16) que les panneaux solaires produisent de l'énergie entre 6h et 18h, durant les heures d'ensoleillement. La production augmente progressivement le matin avec le lever du soleil, atteint un pic vers midi, puis diminue graduellement l'après-midi au fur et à mesure que le soleil se couche.

On observe aussi que la production d'énergie est plus élevée en été, particulièrement en mai, juin, juillet et août. Cette augmentation s'explique par deux principaux facteurs : un ensoleillement plus intense durant cette période, permettant une captation maximale de lumière directe, et des journées plus longues, prolongeant ainsi la période de production. Ces conditions combinées entraînent une production énergétique nettement plus élevée pendant les mois estivaux.

III.9.5.2. Résumé de la production électrique de la Turbine éolienne : Bergery BWC XL.1

Le tableau suivant montre la principale caractéristique de la production énergétique de l'éolienne :

Tableau III.12 : Caractéristiques de production en énergie de l'éolienne.

Quantité	1
Turbine éolienne Production totale	1,401 kWh/yr
Coût du capital	\$4,000
Durée de vie de la turbine éolienne	20.0 years
Capacité évaluée	1.00 kW
Heures de fonctionnement	6,075 hrs/yr
Coût de l'entretien	110 \$/yr

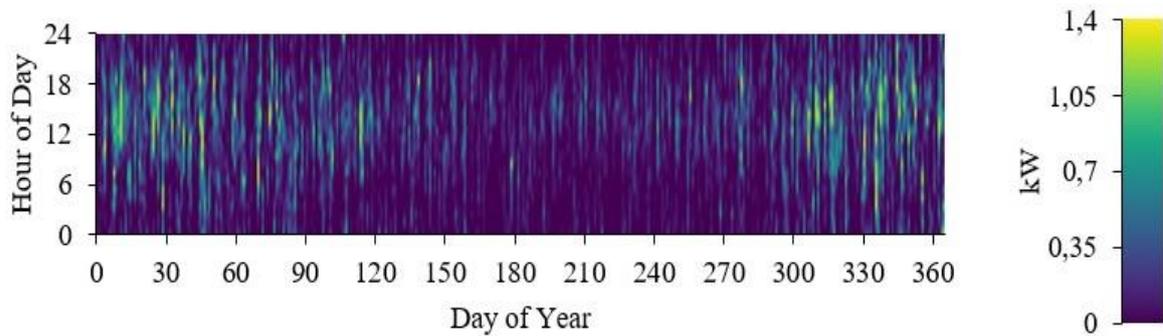


Figure III.17 : La production d'énergie de l'éolienne pendant l'année

La figure (III.17) montre la production mensuelle d'électricité par l'éolienne sur une année. On observe une nette tendance saisonnière, avec une production d'électricité beaucoup plus élevée en hiver qu'en été.

Ce micro réseau nécessite 4.324 kWh/jour et a une puissance maximale de 0.843 kW. Dans le système proposé, les sources de génération suivantes servent la charge électrique.

III.9.5.3. Production électrique total

La figure (III.18) représente la production électrique totale en MWh des panneaux photovoltaïques et du générateur diesel pendant une année

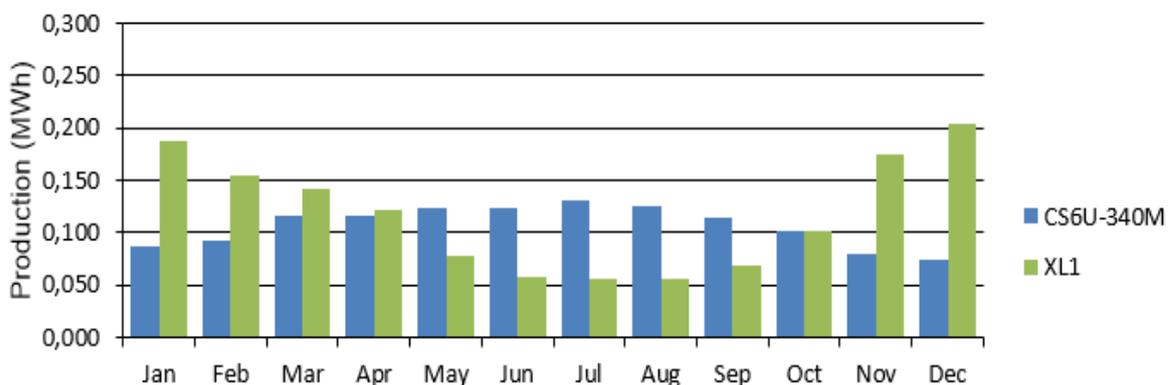


Figure III.18 : Production électrique des panneaux photovoltaïque et l'éolienne.

Selon la figure (III.18) de La production d'électricité par panneaux photovoltaïques est la plus élevée en été (juin à août), lorsque l'ensoleillement est le plus important et elle a atteint un pic à 0.13 (Mwh/mois) en juillet , tant dit que l'éoliennes est plus variable tout au long de l'année, avec un pics de production en hiver qui a atteint 0.2 (Mwh/mois) en mois de décembre , lorsque les vents sont les plus forts donc on conclut qu'Il est important de

combiner les panneaux photovoltaïques et l'éoliennes pour obtenir une production d'électricité plus stable et plus fiable toute en long de l'année.

III.9.5.4. Consommation électrique annuelle

La figure suivant montre La consommation électrique annuelle totale.

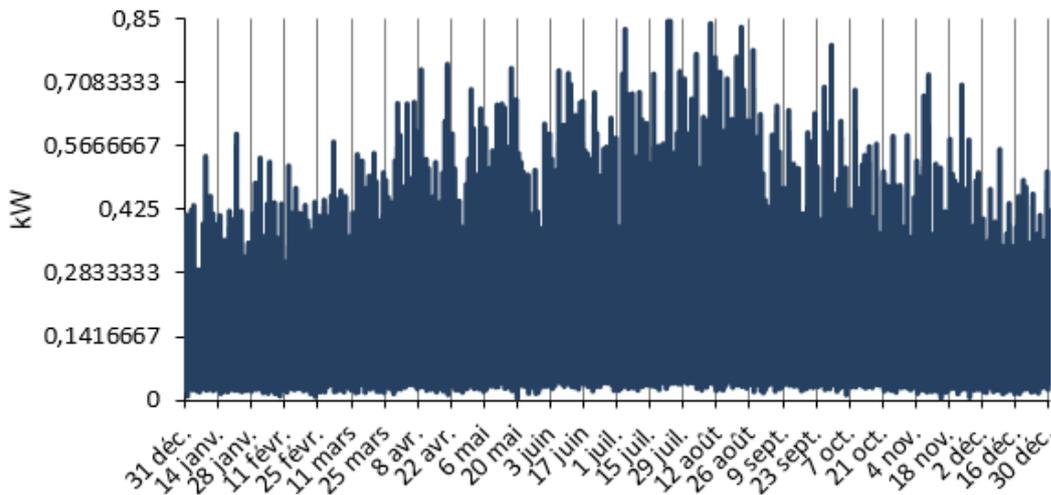


Figure III.19 : La consommation électrique annuelle totale

Dans la figure (III.19) On remarque que la consommation électrique varie tout au long de l'année, avec des pics en été (juillet et aout) cela est dû au choix de notre profile de charge

III.9.6. Analyse des performances de la batterie

✚ EnerSys Power Safe SBS 170F

Le tableau (III.13) montre les principales caractéristiques du système de stockage.

Tableau III.13 : Caractéristiques de stockage en énergie des batteries

Capacité évaluée	13.8 kWh
Débit annuel	607 kWh/y
Coût de l'entretien	60.0 \$/y
Autonomie	53.6 hr
Vie prévue	15.0 y
Coûts de capitaux	\$1,800
Pertes	18.5 kWh/y

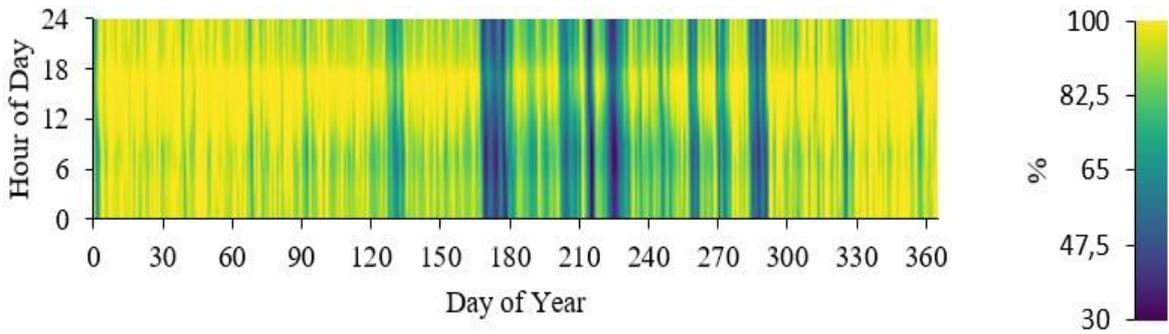


Figure III.20 : L'état de charge de la batterie pendant l'année.

Selon la figure (III.20) on remarque que Les batteries se chargent le matin grâce à l'augmentation progressive de la production d'énergie solaire. L'après-midi lorsque la production solaire diminue, les batteries se déchargent pour fournir l'énergie nécessaire. En été, les besoins énergétiques augmentent à cause des températures élevées et de l'utilisation accrue des appareils de refroidissement, ce qui peut entraîner une décharge plus rapide des batteries malgré une production solaire plus élevée.

III.9.7. Convertisseur statique utilisé

✚ Choix du Convertisseur

Le convertisseur utilisé dans notre système a les Caractéristiques suivante

Tableau III.14 : Caractéristiques d'utilisation du convertisseur en dessus de tableau

Capacité	0.836 kW
Production moyenne	0.102 kW
Sortie minimale	0 kW
Sortie maximale	0.836 kW
Facteur de capacité	12.2 %

Utilisation du convertisseur

La figure suivante montre l'utilisation du convertisseur pendant une année

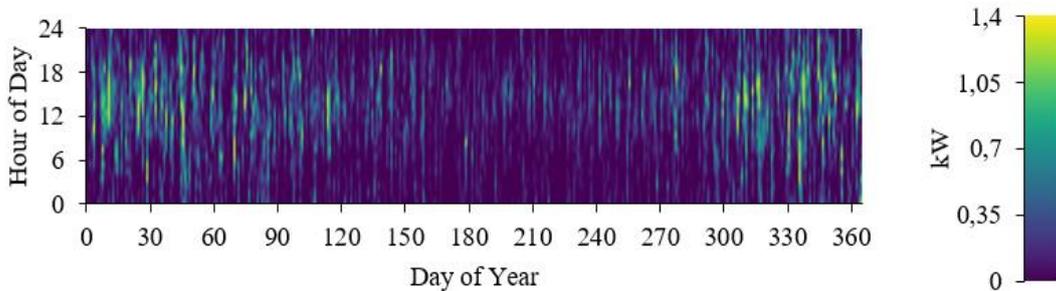


Figure III.21 : Utilisation du convertisseur pendant année

Selon la figure (III.21) L'utilisation du convertisseur est directement liée à la production énergétique des panneaux solaires et des éoliennes. Pendant la journée, lorsque les panneaux solaires captent la lumière du soleil, le convertisseur convertit l'énergie solaire produite en électricité utilisable. Cette production commence à augmenter dès le lever du soleil, atteint son maximum autour de midi lorsque le soleil est au zénith, puis diminue progressivement jusqu'au coucher du soleil.

En parallèle, les éoliennes produisent de l'énergie en fonction des conditions de vent, qui peuvent varier tout au long de la journée et de la nuit. Le convertisseur doit donc ajuster son fonctionnement pour intégrer l'énergie éolienne disponible, laquelle est souvent plus abondante en hiver et peut survenir de manière intermittente.

III.9.8. Analyses Economique

A. Coût total annualisé

C'est la valeur annualisée du coût actualisé net total. Le coût annualisé d'un composant est le coût qui, s'il se produisait de manière égale chaque année de la durée de vie du projet, donnerait le même coût actualisé net que la séquence de flux de trésorerie réelle associée à ce composant. HOMER calcule le coût annualisé en calculant d'abord le coût actualisé net, puis en le multipliant par le facteur de recouvrement du capital.

B. Récupération simple

C'est le nombre d'années au bout desquelles le flux de trésorerie cumulé de la différence entre le système actuel et le système de référence passe du négatif au positif. Le délai de récupération est une indication du temps nécessaire pour récupérer la différence de coûts d'investissement entre le système actuel et le système de référence.

III.9.8.2. Retour sur investissement (ROI)

C'est la réduction annuelle des coûts par rapport à l'investissement initial. Le retour sur investissement est la différence annuelle moyenne des flux de trésorerie nominaux sur la durée de vie du projet, divisée par la différence de coût en capital.

A. Calcul du Retour sur investissement (ROI)

La formule de base pour calculer le ROI est la suivante :

$$\text{ROI} = \frac{\text{gain de l'investissement} - \text{cout de l'investissement}}{\text{cout de l'investissement}} \quad (\text{III.25})$$

B. Utilisation du paramètre de retour sur investissement

Le ROI est particulièrement utile pour comparer la rentabilité de différents investissements. Par exemple, si un investissement A offre un ROI de 15 % et un investissement B un ROI de 10 %, l'investissement A est considéré comme plus rentable.

C. Évaluation de projets

Les entreprises utilisent le ROI pour évaluer la viabilité financière de projets potentiels. Un ROI élevé peut indiquer qu'un projet est rentable et mérite d'être poursuivi, tandis qu'un ROI faible ou négatif peut suggérer qu'un projet ne vaut pas l'investissement.

D. Limites du ROI

Malgré ses avantages, le ROI présente certaines limites :

E. Temps

Le ROI ne tient pas compte de la durée de l'investissement. Un ROI élevé sur une courte période peut être plus intéressant qu'un ROI légèrement supérieur sur une période plus longue.

F. Risque

Le ROI ne prend pas en compte les risques associés à l'investissement. Deux investissements avec le même ROI peuvent avoir des profils de risque très différents.

G. Coûts indirects

Le calcul du ROI peut omettre certains coûts indirects, comme les coûts d'opportunité, qui peuvent affecter la rentabilité réelle.

En résumé, le ROI est un outil précieux pour évaluer et comparer la rentabilité des investissements, mais il doit être utilisé avec d'autres indicateurs pour obtenir une vue d'ensemble complète et précise.

III.9.8.3. Taux de rendement interne (TRI)

C'est le taux d'actualisation auquel le cas de base et le système actuel ont le même coût net actuel. HOMER calcule le TRI en déterminant le taux d'actualisation qui rend la valeur actuelle de la différence entre les deux séquences de flux de trésorerie égale à zéro.

A. Calcul du Taux de rendement interne (TRI)

La formule de base pour calculer le TRI est la suivante :

$$\text{TRI} = \left(\frac{\text{valeur finale}}{\text{Montant investi}} \right)^{(1/n)} - 1 \quad (\text{III.26})$$

III.9.9. Évaluation de projets

Les entreprises utilisent le TRI pour évaluer la viabilité financière de projets potentiels. Un TRI élevé peut indiquer qu'un projet est rentable et mérite d'être poursuivi, tandis qu'un TRI faible ou négatif peut suggérer qu'un projet ne vaut pas l'investissement. Le TRI prend en compte la valeur temporelle de l'argent, Ce qui permet une évaluation plus précise des projets à long terme.

III.9.9.1. Limites du TRI

Malgré ses avantages, le TRI présente certaines limites :

III.9.9.2. Complexité

Le calcul du TRI peut être complexe et nécessite souvent des outils informatiques ou des méthodes itératives pour le résoudre. Cela peut rendre son utilisation moins accessible pour des analyses rapides ou simples.

III.9.9.3. Multiples TRIs

Certains projets peuvent avoir plusieurs TRIs, surtout lorsqu'ils présentent des flux de trésorerie non conventionnels (avec des flux de trésorerie qui changent de signe plusieurs fois). Cela peut compliquer l'interprétation du TRI.

III.9.9.4. Hypothèses sur le réinvestissement

Le TRI suppose que les flux de trésorerie intermédiaires sont réinvestis au même taux de rendement interne, ce qui peut ne pas être réaliste. Un TRI élevé ne garantit pas nécessairement la disponibilité de telles opportunités de réinvestissement.

III.10. Comparaison des résultats sous Homer Pro et ceux de la moyenne annuelle mensuelle

Dans le cadre de la conception et de l'optimisation des systèmes photovoltaïques, il est essentiel de choisir la méthode d'évaluation la plus appropriée pour estimer la production d'énergie. Deux approches couramment utilisées sont la méthode de la moyenne mensuelle et les simulations avec HOMER Pro. La méthode de la moyenne mensuelle repose sur des données climatiques moyennes mensuelles, offrant une approche simple et rapide, mais moins précise. En revanche, les simulations avec HOMER Pro utilisent des données horaires détaillées, permettant une analyse plus fine et une optimisation poussée des systèmes énergétiques.

Le tableau (III.15) ci-dessous présente une évaluation détaillée des deux méthodes en termes de précision, niveau de détail, simplicité, temps de calcul, données requises, capacité d'optimisation, et d'analyse de l'intermittence.

Tableau III.15 : Comparaison des méthodes

Critère	Méthode de la Moyenne Mensuelle	Simulations avec HOMER Pro
Précision des résultats	Faible	Élevé
Niveau de détail	Bas	Élevé
Simplicité	Simple	Complexe
Temps de calcul	Rapide	Moyen
Données requises	Mensuelle	Horaire
Capacité d'optimisation	Faible	Élevé
Analyse de l'intermittence	Non	Oui
Utilisation pratique	Études préliminaires	Études détaillées et optimisation

III.10.1. Analyse des résultats de dimensionnement sous les des deux méthodes

Vous trouverez dans tableau (III.16) les différents résultats des deux études, illustrant les principales différences entre la méthode de la moyenne mensuelle et les simulations avec HOMER Pro :

Tableau III.16 : Résultat des deux méthodes

Élément	Moyenne mensuelle	Prix (\$)	Homer pro	Prix (\$)
Panneau photovoltaïque	2	559	3	657.65
Eolienne	1	4000	1	4000
Batterie	3	900	6	1800
Système de conversion	Onduleur et régulateur	760	Système de conversion Homer pro	450.67
Total		6219 \$		6908.32 \$

III.11. Conclusion

La méthode de la moyenne mensuelle est idéale pour des estimations rapides et des études préliminaires en raison de sa simplicité et de sa rapidité. En utilisant des données climatiques moyennes mensuelles, elle permet de fournir des évaluations approximatives de la production d'énergie sans nécessiter des calculs complexes. Cela facilite les décisions initiales et l'avancement des projets dans les premières phases de conception.

En revanche, pour des projets nécessitant une analyse détaillée et une optimisation précise, les simulations avec HOMER Pro sont plus adaptées car il utilise des données horaires, offrant une précision accrue en prenant en compte les variations horaires et quotidiennes de l'ensoleillement, la vitesse du vent et d'autres paramètres climatiques. Cette méthode permet une modélisation réaliste des performances du système et une optimisation fine des composants.

Cependant, les simulations avec HOMER Pro sont plus exigeantes. Elle nécessite une expertise technique pour utiliser le logiciel, et des ressources informatiques plus importantes, allongeant ainsi les temps de calcul. Malgré ces défis, HOMER Pro est

Chapitre III Etude d'un système hybride photovoltaïque éolienne batteries

indispensable pour des analyses précises pour des projets nécessitant une optimisation poussée.

L'intérêt de faire cette étude sur le système hybride étudié c'est de montrer que l'effet intermittent des sources a énergies renouvelables comme l'énergie photovoltaïque et éolienne peut être atténuée par la combinaison de plusieurs sources pour alimenter le besoin de la charge d'une façon continue sans interruption.

Chapitre IV

Intégration du générateur diesel dans le système hybride étudié

IV.1. Introduction

L'intégration d'un générateur diesel dans un système hybride comprenant des panneaux photovoltaïques (PV), des éoliennes et des batteries permet de combiner les avantages des sources d'énergie renouvelable avec la fiabilité d'un générateur diesel pour une alimentation énergétique continue. Les PV et éoliennes sont intermittents et dépendants des conditions météorologiques, et les batteries stockent l'énergie excédentaire pour une utilisation ultérieure. Cependant, en cas de conditions météorologiques prolongées défavorables, les batteries peuvent ne pas suffire.

Le générateur diesel sert alors de secours, assurant la continuité de l'alimentation énergétique. L'intégration du générateur diesel nécessite une planification pour optimiser le système global en termes de taille, gestion de charge, coûts d'exploitation et impacts environnementaux. Une configuration optimale maximise l'efficacité énergétique et minimise les coûts tout en garantissant une alimentation fiable et durable.

Ce chapitre vise à expliquer comment un générateur diesel peut améliorer la fiabilité d'un système hybride PV/éolienne/batterie, et à comparer techniquement et économiquement les configurations PV/éolienne/batterie avec PV/éolienne/diesel/batterie. Deux méthodes de simulation seront utilisées pour identifier la configuration optimale en termes de capital d'investissement et d'efficacité énergétique.

IV.2. Dimensionnement de système globale après l'intégration de diesel générateur

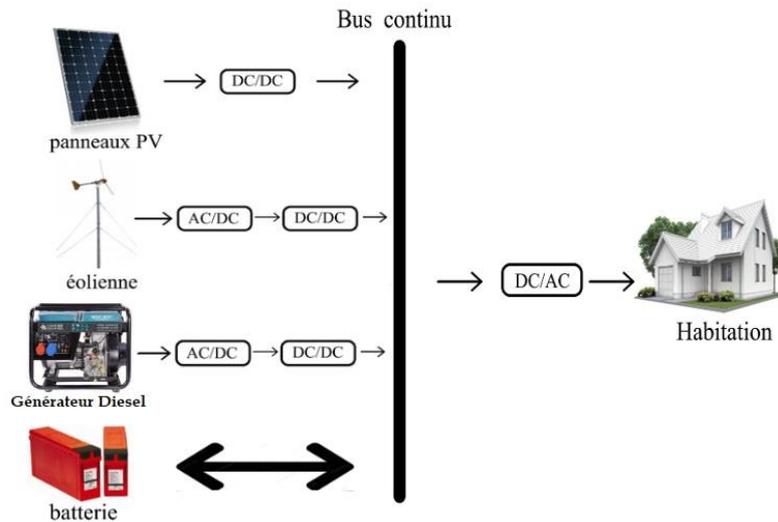


Figure IV.1 : La configuration de système hybride avec intégration de générateur diesel

IV.2.1. Dimensionnement de Système photovoltaïque

La puissance PV de sortie sur une base horaire est calculée à l'aide de l'équation (IV.1) [32], dans laquelle YPV (kW) est la capacité nominale du générateur PV, $fPV(\%)$ est le facteur de déclassement, IT (kW/m²) est le rayonnement solaire incident sur le générateur

PV , IS (kW/m^2) est l'irradiation solaire incidente dans des conditions d'essai standard, αP est le coefficient de température de la puissance, est la température de la cellule photovoltaïque, et $TS(^{\circ}C)$ est la température de la cellule photovoltaïque dans les conditions d'essai standard ($25^{\circ}C$).

$$P_{pv} = Y_{pv} \left(\frac{IT}{IS} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_s)] \quad (IV.1)$$

La température de la cellule $TC(^{\circ}C)$ peut être obtenue à partir du bilan énergétique du module PV à l'aide de l'équation (IV.2), où η_{PV} est le rendement du panneau PV, $Ta(^{\circ}C)$ est la température ambiante et est basée sur le rapport du fabricant sur la température nominale de fonctionnement de la cellule (NOCT).

$$T_c = T_a + IT \frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{IT_{,NOCT}} \left(1 - \frac{\eta_{PV}}{0.9} \right) \quad (IV.2)$$

IV.2.2. Dimensionnement de l'éolienne

L'éolienne a été spécifiée avec un coût d'investissement de 4000 \$, un coût de remplacement de 4000 \$ et un coût d'exploitation et de maintenance de 110 \$ et une durée de vie de 20 ans [33]. Le dimensionnement du système éolien a été choisi comme optimiseur par HOMER, de sorte que HOMER puisse trouver la meilleure taille en fonction des autres spécifications et contraintes du système.

La vitesse du vent requise à un emplacement spécifique et à une certaine hauteur de moyeu est déterminée à l'aide de l'équation de la loi de puissance [34], où V_r (m/s) et V_{ref} (m/s) sont respectivement la vitesse du vent au moyeu et à la hauteur de référence H (m) et $H_{ref}(m)$. En outre, γ est le coefficient de frottement de la surface du sol et sa valeur varie de 0,10 pour les terrains très plats, l'eau à 0,25 pour les paysages fortement boisés [35],[36].

$$V = V_{ref} \left[\frac{H}{H_{ref}} \right]^{\gamma} \quad (IV.3)$$

La puissance de sortie de l'éolienne est caractérisée comme suit [37]

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & \text{for, } V < V_1 \\ aV^3 - bPr & \text{for, } V_1 < V < V_r \\ Pr & \text{for, } V_r < V < V_2 \\ 0 & \text{for, } V > V_2 \end{cases} \quad (IV.4)$$

Où V_1 (m/s) est la vitesse d'enclenchement, V_2 (m/s) est la vitesse de déclenchement et V_r (m/s) est la vitesse nominale de l'éolienne. La puissance nominale est P_r (kW). La valeur des constantes a et b est calculée à l'aide des équations (IV.5) et (IV.6) respectivement.

$$a = \frac{P_r}{(v_r^3 - v_1^3)} \quad (IV.5)$$

$$b = \frac{v_1^3}{(v_r^3 - v_1^3)} \quad (IV.6)$$

IV.2.3. Dimensionnement du Générateur diesel

Dans ce travail, le générateur diesel est utilisé pour répondre à la demande d'électricité nécessaire lorsque les autres sources d'énergie renouvelables (c.-à-d. PV et éolienne) et la banque de batteries ne sont pas en mesure de répondre à la demande de charge. HOMER calcule la capacité du générateur diesel sur la base de la demande électrique de pointe (demande de pointe plus 10%) lorsque le générateur de taille automatique est sélectionné. Dans ce contexte, un générateur diesel de 1,1 kW (demande de pointe $0.92 * 1,1 = 1,012$) convient à ce système hybride, avec une durée de vie de 15 000 heures. Le taux de charge maximal du générateur est de 25 %. Le coût du carburant a été estimé à 1 \$/L

Le générateur diesel a été spécifié avec un coût d'investissement de 650 \$/kW, des coûts de remplacement de 550 \$/kW, des coûts d'exploitation et de maintenance de 0,005 \$/h et une durée de vie de 15 000 h. HOMER simulera les systèmes avec et sans le générateur, de sorte que HOMER pourra trouver la meilleure taille en fonction des autres spécifications et contraintes du système.

Est le générateur diesel opté aux caractéristiques suivantes selon La Figure (IV.2) extraite dans Homer, L'intégration de ce générateur dans notre projet répond donc à des critères prédéfinis visant à assurer une performance optimale et conforme aux exigences établies.

GENERATOR  Name: Abbreviation:

Properties
Generator is auto-sizing

Fuel: **Diesel**
Fuel curve intercept: 0.0615 L /hr
Fuel curve slope: 0.236 L /hr/kW

Emissions
CO (g/L fuel): 16.5
Unburned HC (g/L fuel): 0.72
Particulates (g/L fuel): 0.1
Fuel Sulfur to PM (%): 2.2
NOx (g/L fuel): 15.5

Fuel Properties
Lower Heating Value (MJ/kg): 43.2
Density (kg/m3): 820

Generator Cost
In \$/kW of capacity.

Initial Capital (\$):
Replacement (\$):
O&M (\$/op. hour):
Fuel Price (\$/L):

Figure IV.2 : Caractéristiques du Générateur diesel

IV.2.4. Dimensionnement de Convertisseur

Le dimensionnement du convertisseur a été sélectionné par l'optimiseur HOMER, de sorte que HOMER puisse trouver la meilleure taille en fonction des autres spécifications et contraintes du système.

L'équation (IV.7) est utilisée pour déterminer la puissance côté charge, P_{in} (kW) étant la puissance Continue absorbée par l'onduleur, P_{out} (kW) étant la puissance de sortie CA et η_{inv} (%) étant le rendement de l'onduleur.

$$\eta_{ond} = \frac{P_{sortie}}{P_{entrée}} \quad (IV.7)$$

IV.2.5. Dimensionnement des Batteries

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie supplémentaire produite par le PV et l'éolienne, et pour fournir cette énergie lorsque le PV et l'éolienne ne parviennent pas à répondre à la demande de la charge requise. Le générateur diesel fonctionne lorsque les autres sources d'énergie ne sont pas suffisantes pour alimenter la demande de la charge requise. Qui a une tension nominale de 12 V, une capacité nominale de 170 Ah et une puissance nominale de 1,2 kWh. L'efficacité de l'aller-retour du parc de batteries est de 90%.

Les batteries ont été spécifiées avec un coût d'investissement de 300 \$, des coûts de remplacement de 100 \$, des coûts d'exploitation et de maintenance de 100 \$/an et une durée de vie de 10 ans. Le dimensionnement des batteries a été sélectionné en tant qu'optimiseur HOMER, afin que HOMER puisse trouver la meilleure taille par rapport aux autres spécifications et contraintes du système.

IV.3. Simulation de système Hybride sous Homer avec les deux algorithmes

L'architecture de système PV/éolienne/DG/batterie est présentée sur La Figure (IV.3)

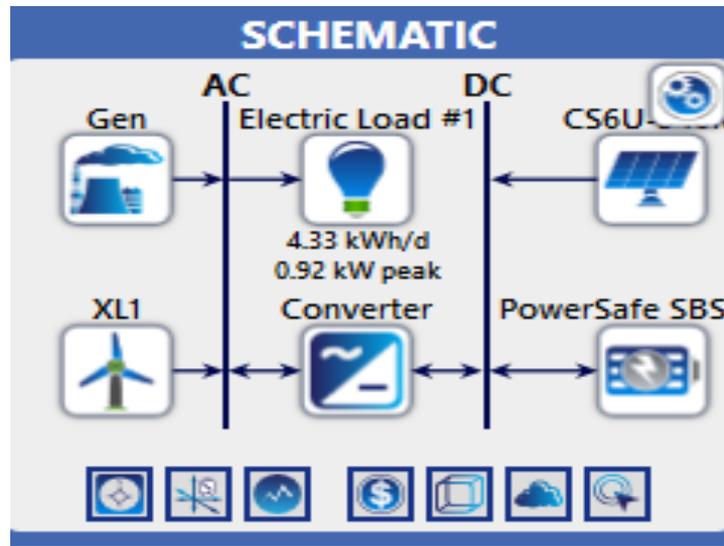


Figure IV.3 : Configuration de système étudié sous Homer Pro.

IV.3.1. Données météorologiques et géographique du système hybride

Les données météorologiques et géographiques et les composants du système (panneaux, éolienne, batterie) sont les mêmes données utilisées dans le deuxième chapitre.

IV.3.2. Les deux méthodes de simulation

Dans Homer pro il existe plusieurs algorithmes de simulation, pour notre étude les algorithmes suivants sont utilisés :

- ✚ Méthode 1 : Algorithme Prédicatif (Homer Prédicatif Dispatch PS)
- ✚ Méthode 2 : Algorithme Combiné (Homer Combined Dispatch CD)



Figure IV.4 : Les deux algorithmes de simulation Prédicatif et combiné.

IV.3.3. Résultat de la première méthode avec l’algorithme prédictif

Le système le plus optimisé avec l’algorithme prédictif c’est la combinaison photovoltaïque avec un générateur de 0.8 kW équivalent à 10 panneaux de 80 w avec un générateur éolien d’avec 1.10 kW et trois batteries les résultats sont présenté dans La Figure (IV.5) :

IV.3.3.1. Les résultats obtenus par Homer Pro

Architecture							Cost				System	
CS6U-340M (kWh)	XL1	Gen (kW)	PowerSafe SBS 170F	Converter (kW)	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (l/yr)		
0.800		1.10	3	0.510	\$8,381	\$0.410	\$445.25	\$2,626	69.9	161		
0.340	1	1.10	2	0.478	\$11,696	\$0.573	\$445.41	\$5,938	78.9	117		
	1	1.10	2	0.476	\$12,773	\$0.625	\$550.37	\$5,658	57.3	231		
		1.10	3	0.673	\$12,883	\$0.631	\$840.57	\$2,017	0	543		

Figure IV.5 : Résultats optimaux pour le système avec l’algorithme Prédictif.

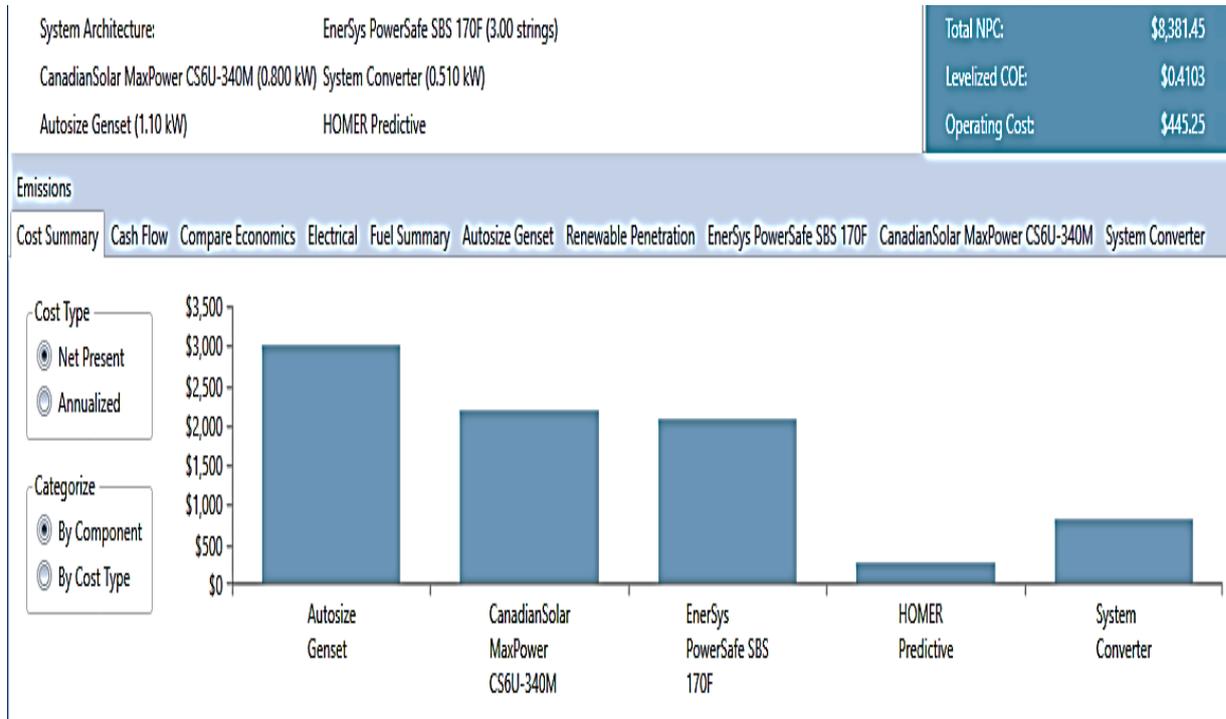


Figure IV.6 : Résumé de cout présent net par équipement selon l’algorithme prédictif

La simulation avec cet algorithme nous a donnée plusieurs résultats sont affiche dans le tableau de La Figure (IV.5) et nous on a choisissse la solution optimale qui affiche dans la première ligne de tableau.

La simulation détaille de cout de l’investissement pour notre système par Homer pro ont obtenu les résultats suivants, voir La Figure (IV.6)

- Le prix de l’investissement initial est de : 2 ,625.53 Dollars.
- Le prix total (incluant l’investissement initial + les coûts d’entretien et de remplacement Sur 25 ans) : 8,381.46 Dollars.

IV.3.3.2. Analyse d’investissement avec l’algorithme prédictif appliqué

La Figure (IV.7) représentant le flux de trésorier cumulé sur 25 ans du système donné à Homer pro et du système proposé par l’algorithme prédictif. L'axe des x représente le temps en années, et l'axe des y représente le flux de trésorerie cumulé en dollars.

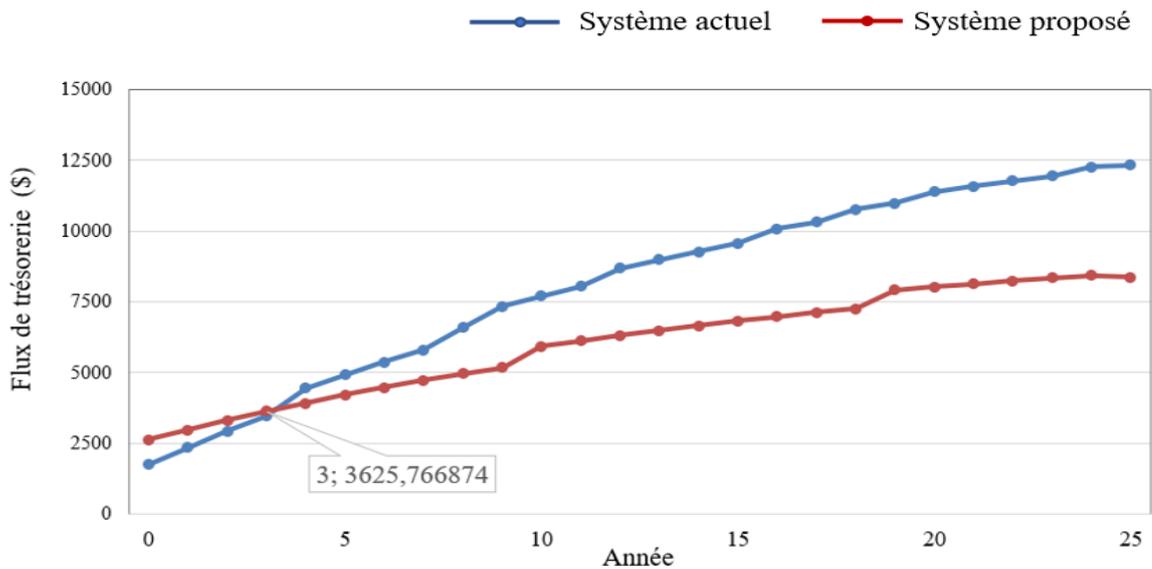


Figure IV.7 : Courbes comparatives du flux trésorerie des deux systèmes.

Nous proposons d'ajouter 0,80 kW de photovoltaïque et 2,3 kWh de capacité de batterie. Cela réduirait les coûts d'exploitation à 445,25 \$/an. Le cout d'investissement a un retour sur investissement de 3,09 ans et un IRR de 39,8%.

Le système actuel est moins coûteux que le système proposé dans les trois premières années mais après le point d'intersection sur la figure ci-dessus qui es 3.09 années sur la durée de vie du projet, on constate que le système proposé commence à récupérer son investissement initial ou il présente le retour d'investissement comme mentionné auparavant de 39.8%., après cette période jusque à la dure de vie total estimé à 25 ans le système actuel est plus couteux avec un cout de 12500 \$ Par rapport système proposé avec un cout de 8381.46 \$

IV.3.3.3. Production annuelle photovoltaïque comparant a la charge totale servie

La Figure (IV.8) représente la production en énergie des panneaux solaire en (kWh) par rapport à la production totale de système.

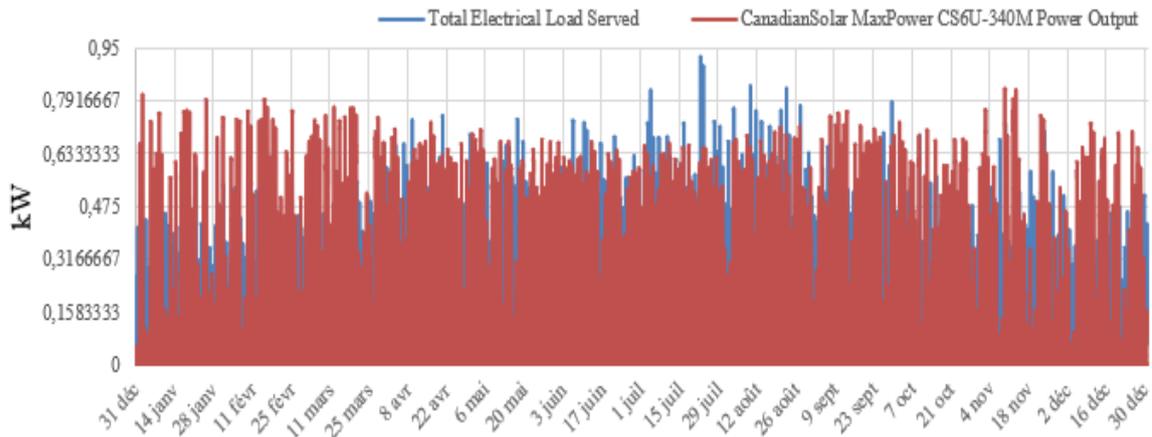


Figure IV.8 : Production photovoltaïque par rapport à la charge totale alimentée.

IV.3.3.4. Production des panneaux photovoltaïques

Selon la Figure (IV.9) on remarque que les panneaux solaires produisent de l'énergie pendant les heures d'ensoleillement, c'est-à-dire entre 6h heures et 18 heures. Cette production suit un schéma prévisible, où l'intensité de la production augmente progressivement le matin à mesure que le soleil se lève, atteint un pic vers midi à 0.8 (kWh/m²) pendant l'été (juin, Juillet) et des pics jusqu'à (0.3 - 0,4) (kWh/m²) pendant l'hiver (décembre, janvier) puis diminue progressivement dans l'après-midi à mesure que le soleil se couche.

En été, ce phénomène est particulièrement marqué, avec des pics de production autour de midi. Cela s'explique par la position du soleil, qui est plus haute dans le ciel durant cette saison, permettant aux panneaux solaires de capter un maximum de lumière directe. De plus, la durée d'ensoleillement est plus longue en été, ce qui étend la période de production maximale.

Il est important de noter que la production d'énergie par les panneaux solaires peut varier en fonction des conditions météorologiques. Cependant, la tendance générale montre une forte corrélation entre la position du soleil dans le ciel et la quantité d'énergie produite tout au long de l'année.

Figure (IV.9) représente la production en énergie des panneaux solaire en kWh pendant une année selon les heures de la journée.

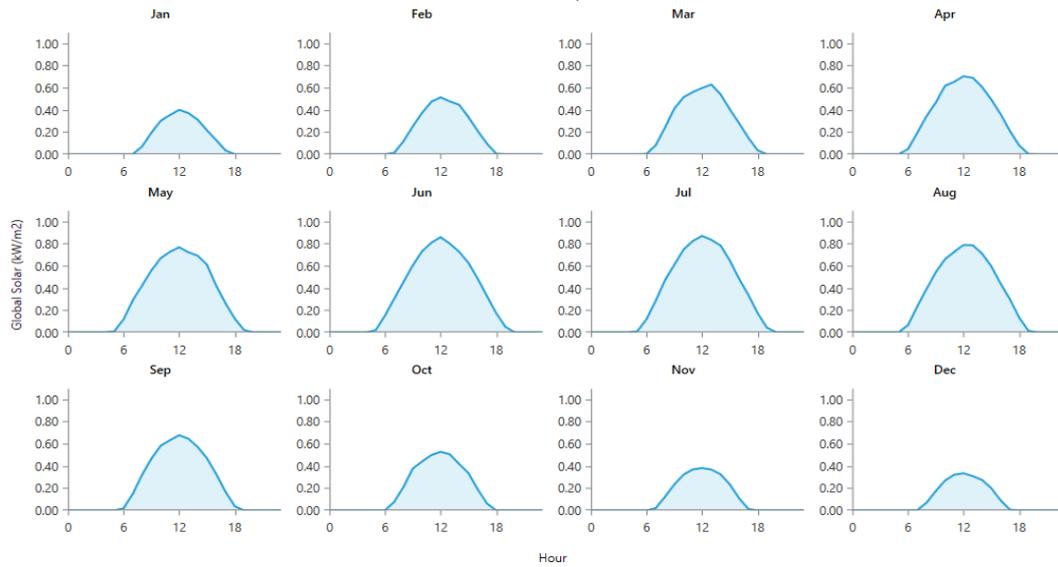


Figure IV.9 : La production annuelle photovoltaïque.

IV.3.3.5. Production du générateur diesel

Figure (IV.10) représente la production en énergie du générateur diesel en (kWh) par rapport à la production totale de système

On a enregistré que le diesel générateur est plus sollicité durant le période ou la charge totale est croissante pour compenser l'insatisfaction de production photovoltaïque analysée auparavant.

Cela montre que l'intérêt de générateur diesel comme un dispositif d'appoint et de secours

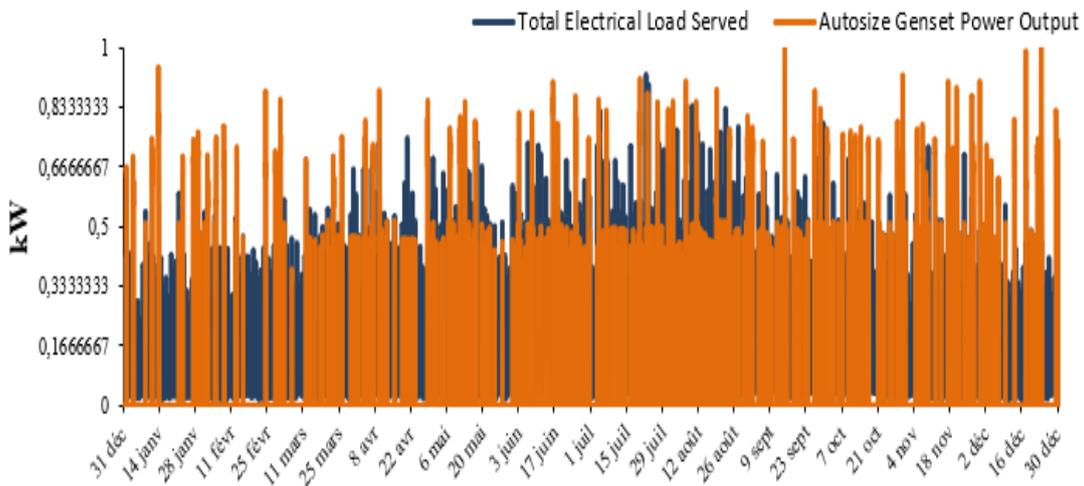


Figure IV.10 : Production du générateur diesel par rapport à la charge totale alimentée(servie).

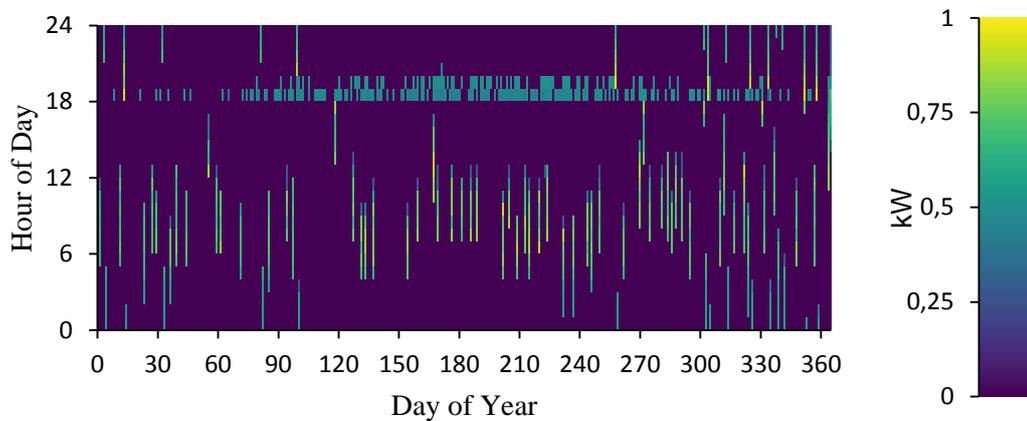


Figure IV.11 : Production annuelle du générateur diesel.

D'après la figure (IV.11) on remarque que la production du générateur diesel est plutôt aléatoire et qu'il est utilisé principalement pour compléter la production des panneaux photovoltaïques. Contrairement aux panneaux solaires, dont la production est prévisible et dépend des heures d'ensoleillement (8h-18h), la production du générateur diesel ne suit pas un schéma régulier.

Cette production aléatoire du générateur diesel s'explique par son rôle de source d'énergie de secours. Le générateur est mis en service principalement lorsque la production des panneaux photovoltaïques est insuffisante pour répondre à la demande énergétique. Cela peut se produire durant les périodes de faible ensoleillement, telles que les jours nuageux ou pendant la nuit, lorsque les panneaux solaires ne produisent pas d'énergie.

Le recours au générateur diesel pour compléter la production des panneaux solaires permet de garantir une alimentation continue en électricité. Par exemple, pendant les pics de consommation ou en cas de défaillance temporaire du système photovoltaïque, le générateur diesel entre en action pour combler le déficit énergétique.

En résumé d'après la Figure (IV.10) et Figure (IV.11) que le générateur diesel joue un rôle de soutien dans le système énergétique hybride, intervenant de manière intermittente et en complément des panneaux photovoltaïques pour assurer une production d'énergie stable et fiable.

IV.3.3.6. Consommation du carburant par le générateur diesel

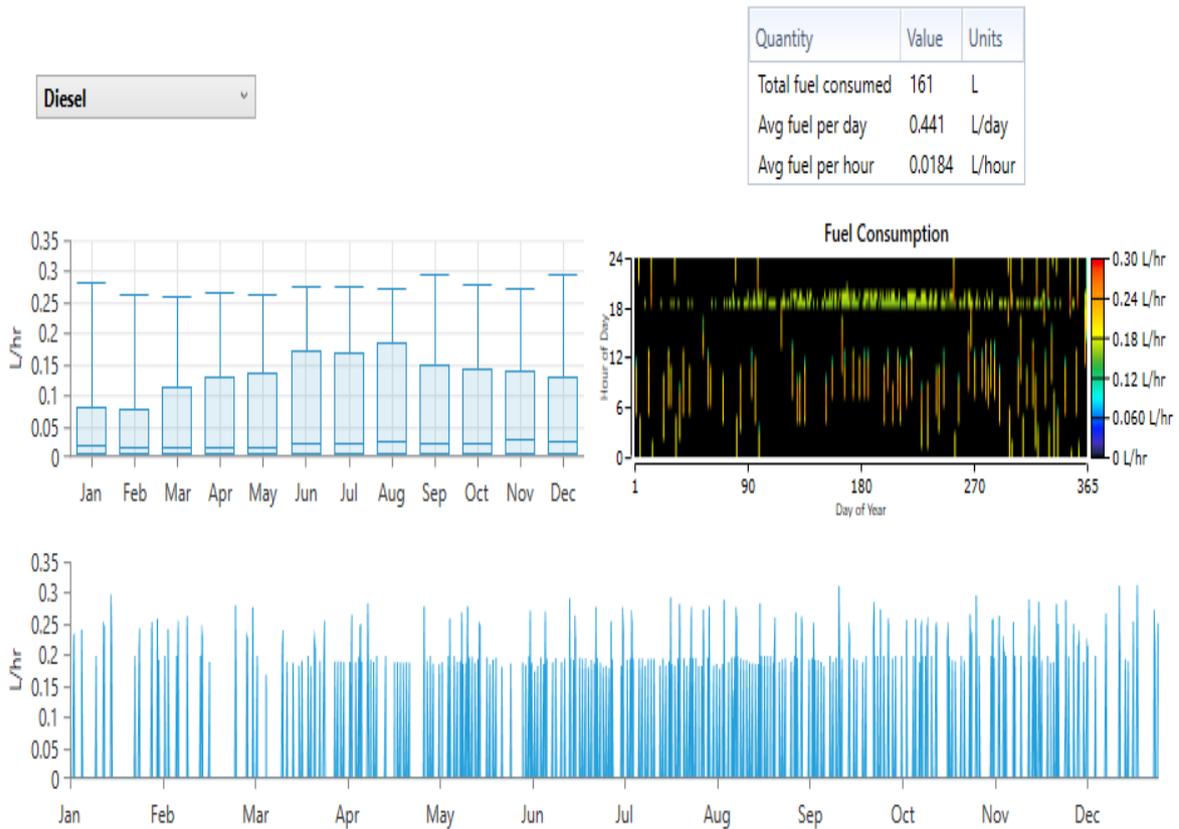


Figure IV.12 : La consommation de carburant par générateur diesel.

On remarque que La consommation de carburant est généralement plus élevée en été avec un pic de (0.26L/h) cela revient à la consommation, tanque dans cette période il Ya un plus de consommation, en mois décembre alors qu'en hiver elle atteint un pic de (0.3 L/h) en mois (décembre, novembre) est ça par rapporte à la chute de consommation dans cette période. Cela est dû à l'Energie produite par les panneaux photovoltaïque car ils sont complémentaires et la consommation de carburant d'un générateur peut être plus élevée dans des conditions froides ou humides ou à une consommation élevée.

Figure (IV.12) montre aussi :

- ✓ Consommation totale de carburant : 161 litres
- ✓ Consommation moyenne de carburant par jour : 0,441 litre/jour
- ✓ Consommation moyenne de carburant par heure : 0,0184 litre/heure.

IV.3.3.7. Différentes émissions polluantes

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	421	kg/yr
Carbon Monoxide	2.66	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0.116	kg/yr
Particulate Matter	0.0161	kg/yr
Sulfur Dioxide	1.03	kg/yr
Nitrogen Oxides	2.49	kg/yr

Figure IV.13 : Résumé des émissions du générateur sous l’algorithme combinée.

Figure (IV.13) montre les émissions de CO₂ du générateur diesel dans notre système hybride selon l’algorithme combinée

Détails des émissions

- **Dioxyde de carbone (CO₂)** : 457 kg/an. Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui contribue au changement climatique.
- **Monoxyde de carbone (CO)** : 2,88 kg/an. Le CO est un gaz toxique qui peut causer des problèmes de santé.
- **Hydrocarbures non brûlés (HC)** : 0,126 kg/an. Les HC sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires.
- **Matières particulaires (PM)** : 0,0175 kg/an. Les PM sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires et d'autres problèmes de santé.
- **Dioxyde de soufre (SO₂)** : 1,12 kg/an. Le SO₂ est un polluant atmosphérique qui peut causer des problèmes respiratoires et des pluies acides.
- **Oxydes d'azote (NO_x)** : 2,71 kg/an. Les NO_x sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires et des pluies acides.

IV.3.3.8. Analyse de la Production électrique

Figure (IV.14) représente la production électrique total en MWh des panneaux photovoltaïques et du générateur diesel pendant une année

Le système photovoltaïque solaire canadien a une capacité nominale de 0,800 kW. La production annuelle est de 1 283 kWh/an.

La puissance du système de générateur, évaluée à 1,10 kW en utilisant le diesel comme carburant, est de 475 kWh/an.

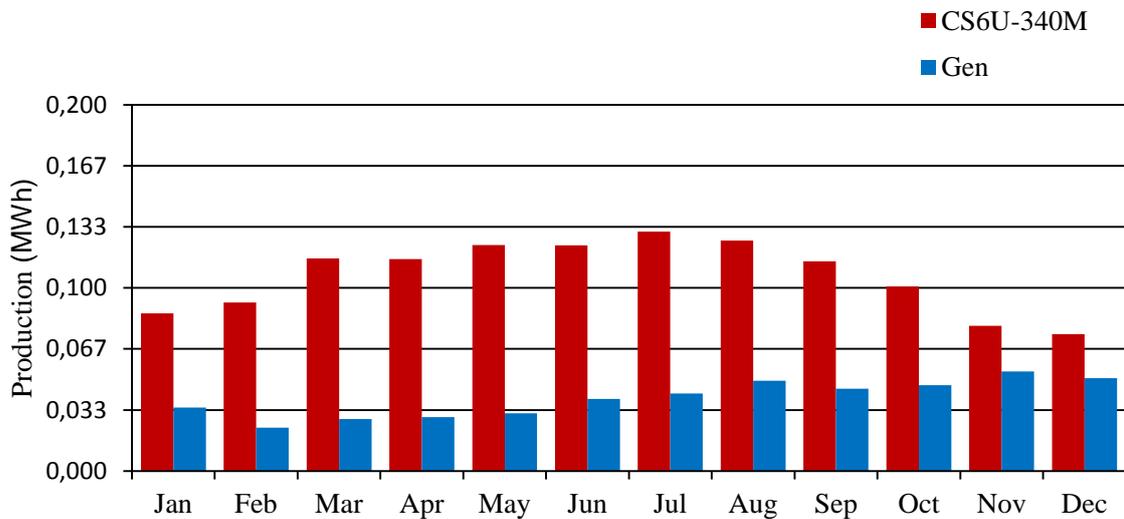


Figure IV.14 : Fraction de Production électrique photovoltaïques et du générateur diesel.

D'après Figure (IV.14) on remarque que le générateur diésel est plus sollicité à partir de mois de juillet ou c'est le pic de consommation de la charge journalière, le générateur diésel augmente la production lorsque les panneaux photovoltaïques sont moins performants dans les périodes d'hiver et d'été réduite. Donc il compense la production électrique d'une façon complémentaire cela montre l'intérêt d'intégrer cette source a énergie fossile dans le système hybride.

IV.3.3.9. Analyse de système de stockage des batteries

Figure (IV.15) représente l'état de charge de dispositif de stockage des batteries en pourcentage pendant une année selon les heures de la journée.

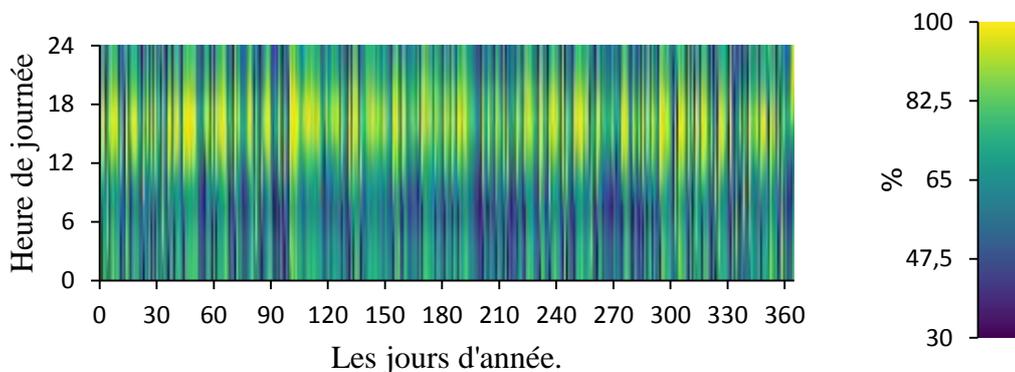


Figure IV.15 : L'état de charge des batteries.

D’après la Figure (IV.15) On remarque que les batteries se charge plutôt vers les heures de pics d’ensoleillement entre 11h et 18h et elles se déchargent vers le matin entre 6h et 10h.

La capacité nominale du système de stockage EnerSys est de 6,91 kWh. Le débit annuel est de 814 kWh/an. Et la capacité évaluée 6.91 kWh de durée de vie prévue à 9.06 ans.

La production annuelle est de 814 kWh/an ainsi les coûts de capitaux \$900.00 avec le coût de maintenance 30,0 \$/an en prenant compte des Pertes 18,6 kWh/an et autonomie de 26,8 h.

IV.3.4. Résultat de simulation par l’algorithme combiné

Le système le plus optimisé avec l’algorithme combiné c’est PV/DG/batterie montré sur la Figure (IV.16) et Figure (IV.17) :

IV.3.4.1. Les résultats d’optimisation obtenus par Homer Pro

La simulation détaille de cout de l’investissement pour notre système par Homer pro ont obtenu les résultats suivants, voir la Figure (IV.17)

- Le prix de l’investissement initial est de : 2 ,285.27 Dollars.
- Le prix total (incluant l’investissement initial + les coûts d’entretien et de remplacement Sur 25 ans) : 7,936.47 Dollars.

Architecture							Cost					
				CS6U-340M (kW)	XL1	Gen (kW)	PowerSafe SBS 170F	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)
				0.800		1.10	2	0.375	CD	\$7,936	\$0.389	\$437.14
				0.340	1	1.10	2	0.349	CD	\$11,461	\$0.561	\$430.22
						1.10	2	0.783	CD	\$12,331	\$0.604	\$818.50
					1	1.10	2	0.402	CD	\$12,582	\$0.616	\$537.31

Figure IV.16 : Résultats d’optimisations pour le système avec l’utilisation de l’algorithme combiné.

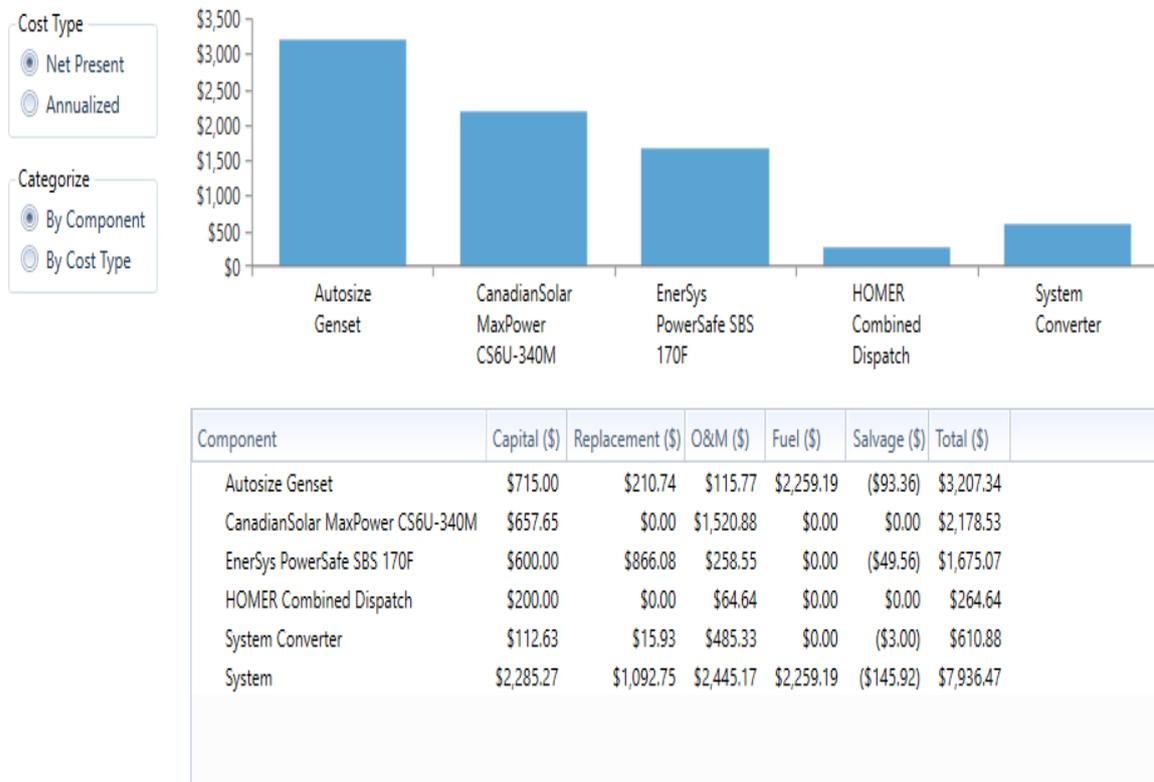


Figure IV.17 : Résumé de cout net présent par équipement.

IV.3.4.2. Flux de trésorerie des deux systèmes actuel et proposé par l'algorithme

Figure (IV.18) représentant le flux de trésorerie cumulé sur 25 ans du système de base et du système proposé par l'algorithme combiné.

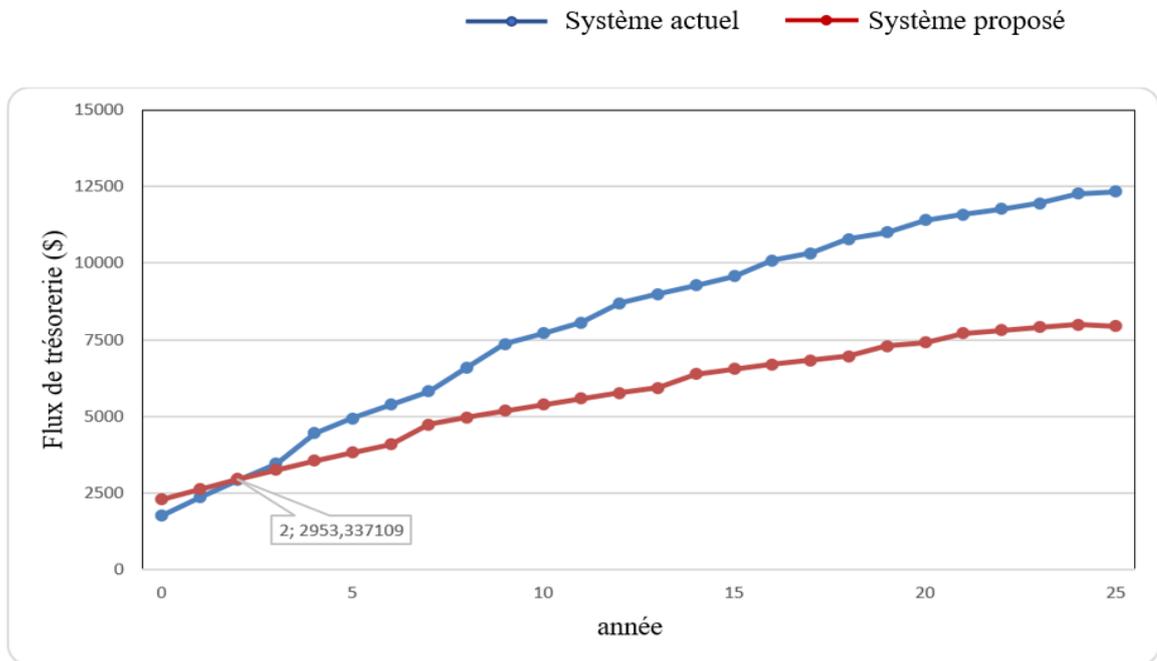


Figure IV.18 : Flux de trésorerie des deux systèmes.

Nous proposons d'ajouter 0,80 kW de photovoltaïque. Cela réduirait le coût d'exploitation à 437,14 \$/an. Avec un retour sur investissement de 1,95 ans et un IRR de 61.5%

Le système actuel est moins coûteux que le système proposé dans les deux mais après le point d'intersection sur la figure ci-dessus qui es 1.95 année presque deux années sur de la durée de vie du projet, ou on constate que le système proposé commence à récupérer son investissement initial à partir de ce point sur la figure qui es le retour sur investissement a partir de cette valeur de 1.95 an jusque à la dure de vie total estimé à 25 ans le système actuel est plus couteux avec un cout de 12,500 \$ Par rapport système proposé avec un cout de 7,900\$.

Ce micro-réseau nécessite 4 323 kWh/jour et a une puissance maximale de 0 920 kW. Dans le système proposé, les sources de production suivantes alimentent la charge électrique selon la combinaison photovoltaïque-fossile présentée sur la figure ci-dessous.

Le système photovoltaïque de Canadian Solar a une capacité nominale de 0,800 kW. La production annuelle est de 1 283 kWh/an.

La production d'énergie du générateur, d'une puissance nominale de 1,10 kW utilisant du diesel comme carburant, est de 529 kWh/an.

IV.3.4.3. Production électrique

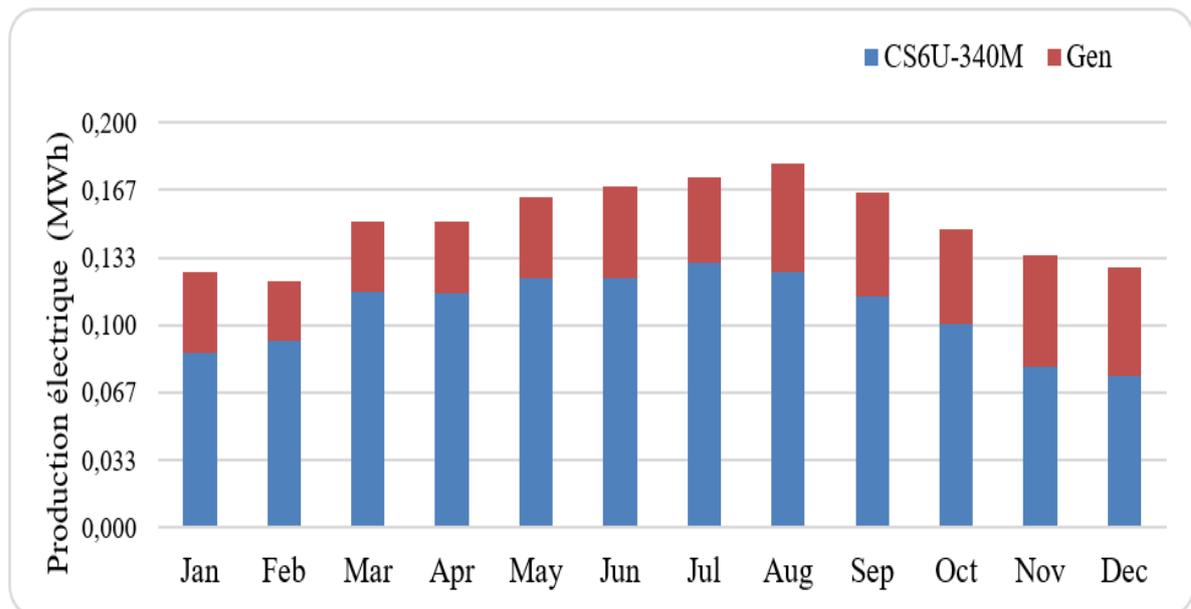


Figure IV.19 : Fraction de la Production électrique photovoltaïques et du générateur diesel.

D'après Figure (IV.19) on remarque que le générateur diésel est plus sollicité à partir de mai avec l'algorithme combiné que avec l'algorithme prédictif surtout en juillet où c'est le pic de consommation de la charge journalière, le générateur diésel augmente la production lorsque les panneaux photovoltaïques sont moins performants dans les périodes d'hiver et d'été réduite. Donc il compense la production électrique beaucoup plus avec cet algorithme que l'algorithme prédictif.

IV.3.4.4. Production annuelle photovoltaïque

La Figure (IV.20) représente la production des panneaux solaires en kWh par rapport au besoin total de la charge.

On constate que les panneaux solaires produisent beaucoup plus d'énergie durant l'été, notamment en mai, juin, juillet et août. Cette augmentation de production s'explique par

plusieurs facteurs. Premièrement, durant cette saison, le soleil est positionné plus haut dans le ciel, ce qui permet aux panneaux solaires de capter un maximum de lumière directe.

La charge est satisfaite durant toute l'année avec un excès de consommation entre le mois de mai et juillet du au pic de charge important en cette période de saison dans cette période le générateur photovoltaïque a besoin de la compensation de diesel générateurs.

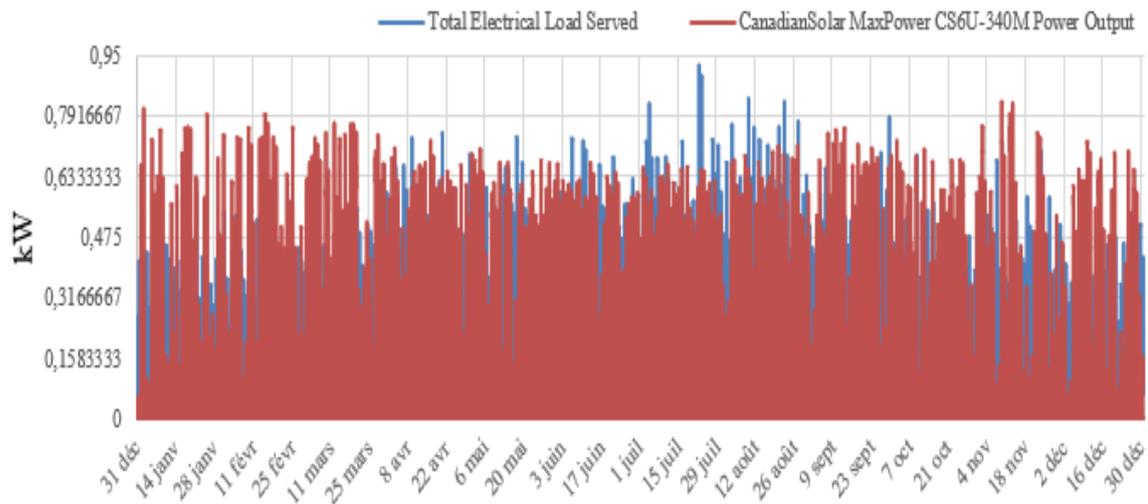


Figure IV.20 : Production photovoltaïques par rapport à la charge totale servie.

Figure (IV.21) représente la production en énergie des panneaux solaire en kWh pendant une année selon les heures de la journée elle reflète et justifie les résultats montrés auparavant sur la Figure (IV.20).

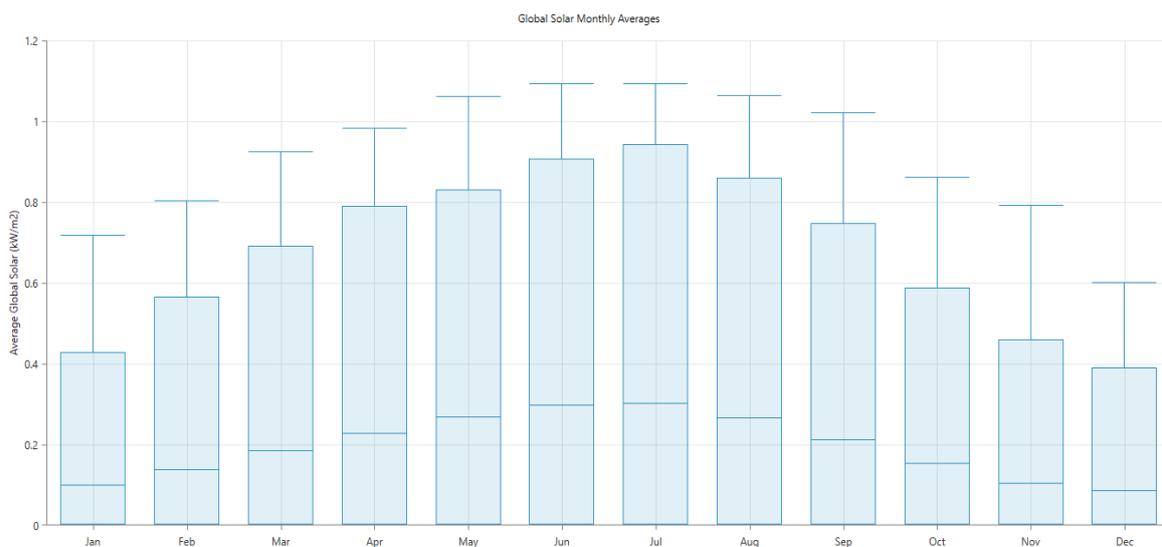


Figure IV.21 : L'irradiation solaire globale moyenne mensuelle.

Cette lumière directe est essentielle pour une production d'énergie optimale. Deuxièmement, la durée d'ensoleillement est considérablement plus longue en été. En effet, les journées s'étendent sur une période plus importante, ce qui prolonge la période de production maximale des panneaux solaires. Ces deux facteurs combinés (une incidence plus directe des rayons solaires et une durée d'ensoleillement accrue) contribuent à une production énergétique beaucoup plus élevée durant les mois estivaux.

IV.3.4.5. Résumé de production électrique des Batteries

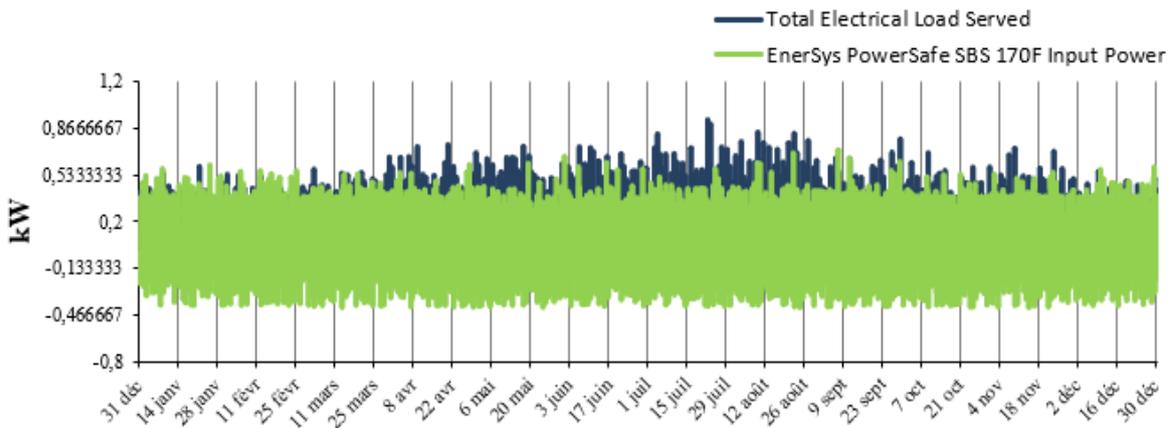


Figure IV.22 : L'énergie stockée dans les batteries par rapport à l'alimentation totale de la charge

La capacité nominale du système de stockage EnerSys est de 4,61 kWh. Le débit annuel est de 719 kWh/an.

La Capacité nominale des batteries est 4,61 kWh de durée de vie prévue de 6,84 ans et un coût d'investissement de 600,00 \$ avec le Coût d'entretien de 20,0 \$/an ajoutant les pertes 21,9 kWh/an et autonomie 17,9 heures.

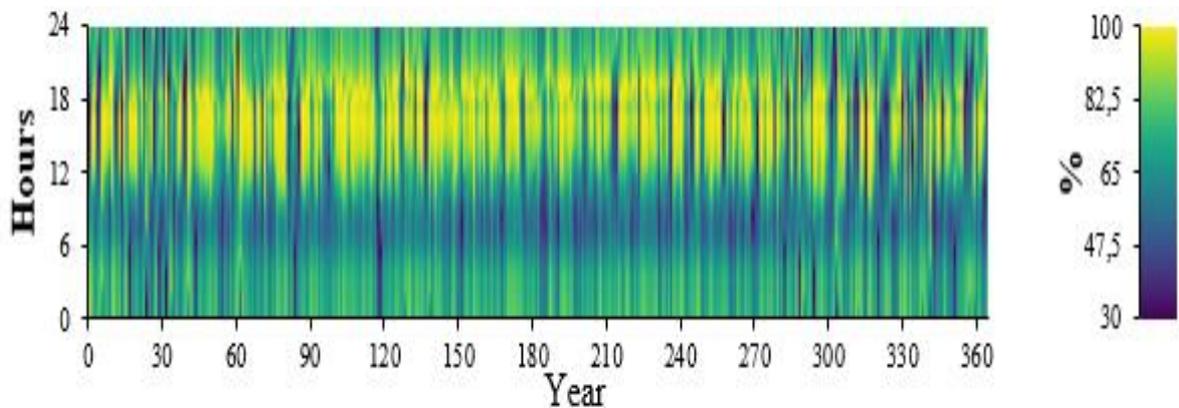


Figure IV.23 : L'état de charge des batteries

D'après La Figure (IV.23) on observe que les batteries se chargent principalement pendant les heures de fort ensoleillement, c'est-à-dire entre 11h et 18h. Durant cette période, l'intensité de la lumière solaire est à son maximum, permettant une charge optimale des batteries. En revanche, les batteries se déchargent principalement le matin, entre 6h et 10h, lorsque l'ensoleillement est encore faible. Cette décharge matinale correspond à une période où la demande en énergie est souvent plus élevée et où la production solaire est insuffisante pour répondre aux besoins, nécessitant ainsi l'utilisation de l'énergie stockée.

IV.3.4.6. Production de Diesel générateur

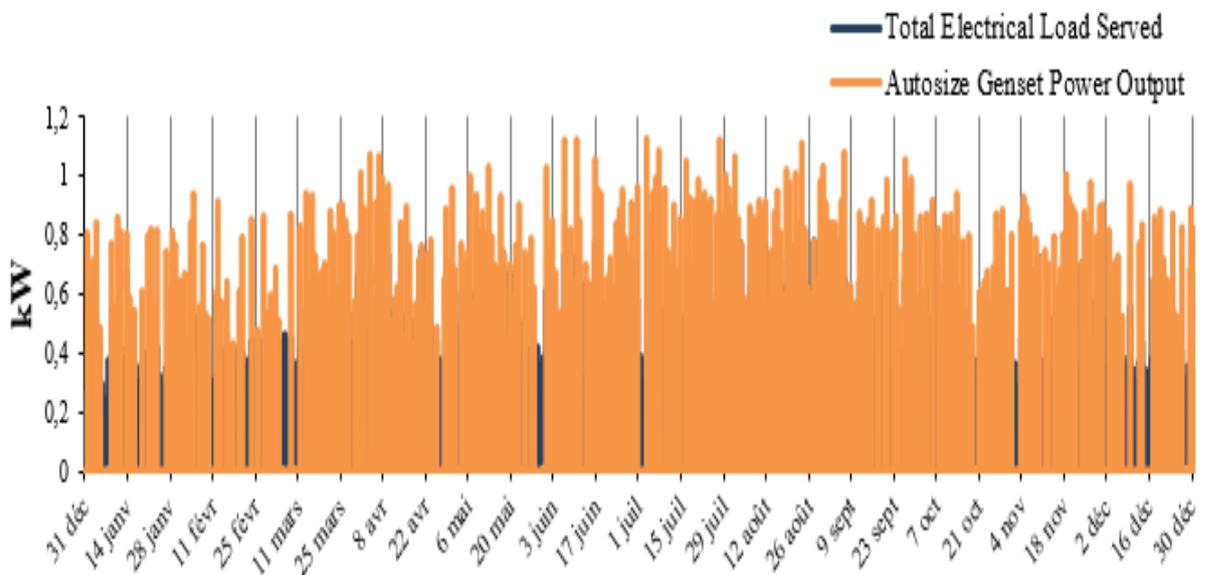


Figure IV.24 : Production du générateur diesel par rapport à l'alimentation totale de la charge.



Figure IV.25 : La consommation de carburant par le générateur diesel.

D’après La Figure (IV.25), on observe que la production du générateur diesel est relativement aléatoire et qu’il est principalement utilisé pour compléter la production des panneaux photovoltaïques, avec des pics d'utilisation en été en raison de la demande accrue en énergie.

Cette variabilité de la production du générateur diesel s'explique par son rôle de source d’énergie de secours. Le générateur est activé surtout lorsque la production des panneaux photovoltaïques ne suffit pas à satisfaire la demande énergétique. Cela survient notamment pendant les périodes de faible ensoleillement, comme les jours nuageux ou la nuit, lorsque les panneaux solaires ne produisent pas d’énergie.

L'utilisation du générateur diesel pour compléter la production solaire assure une alimentation continue en électricité. Par exemple, durant les pics de consommation ou en cas de défaillance temporaire du système photovoltaïque, le générateur diesel intervient pour compenser le déficit énergétique.

En résumé, la figure illustre clairement que le générateur diesel joue un rôle de soutien essentiel dans le système énergétique hybride, intervenant de manière intermittente et en complément des panneaux photovoltaïques pour garantir une production d'énergie stable et fiable.

La Figure (IV.25) montre aussi :

- Consommation totale de carburant : 175 litres
- Consommation moyenne de carburant par jour : 0,479 litre/jour
- Consommation moyenne de carburant par heure : 0,0199 litre/heure

IV.3.4.7. Résultats de différentes émissions polluantes

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	457	kg/yr
Carbon Monoxide	2.88	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0.126	kg/yr
Particulate Matter	0.0175	kg/yr
Sulfur Dioxide	1.12	kg/yr
Nitrogen Oxides	2.71	kg/yr

Figure IV.26 : Différentes émissions du générateur avec l’algorithme combiné.

La Figure (IV.26) montre les émissions de CO₂ du générateur diesel dans notre système hybride selon l’algorithme combinée

IV.3.4.8. Détails des émissions générées

- **Dioxyde de carbone (CO₂)** : 421 kg/an. Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui contribue au changement climatique.
- **Monoxyde de carbone (CO)** : 2,66 kg/an. Le CO est un gaz toxique qui peut causer des problèmes de santé.
- **Hydrocarbures non brûlés (HC)** : 0,116 kg/an. Les HC sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires.
- **Matières particulaires (PM)** : 0,0161 kg/an. Les PM sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires et d'autres problèmes de santé.
- **Dioxyde de soufre (SO₂)** : 1,03 kg/an. Le SO₂ est un polluant atmosphérique qui peut causer des problèmes respiratoires et des pluies acides.
- **Oxydes d'azote (NO_x)** : 2,49 kg/an. Les NO_x sont des polluants atmosphériques qui peuvent causer des problèmes respiratoires et des pluies acides.

IV.4. Comparaison des résultats

Dans Cette comparaison on examinera les avantages et les inconvénients spécifiques de chaque méthode pour déterminer laquelle est la plus adaptée aux défis de la transition énergétique.

Le tableau (VI.1) ci-dessous présente une évaluation détaillée des deux algorithmes :

Tableau IV.1 : Résultats de simulations avec les deux méthodes sous Homer Pro.

Algorithme	Nombre de panneau	Nombre de batterie	Nombre d'éolienne	Carburant consommé par le Diesel générateur	Emissions de CO ₂	Cout Net actuel (capital)
Combiné	3	2	0	175 L/ans	457 kg/ans	7936.43\$
Prédictif	3	3	0	161 L/ans	421 kg/ans	8381.46\$

IV.4.1. Analyse de l'étude comparative

Le tableau (VI.1) compare les résultats des deux simulations du système hybride photovoltaïque/diesel/batterie dans le logiciel HOMER Pro. Les deux algorithmes testés sont l'algorithme combiné et l'algorithme prédictif.

- Nombre de panneaux
- Les deux algorithmes utilisent le même nombre de panneaux solaires, soit 3.
- Nombre de batteries
- L'algorithme prédictif utilise une batterie supplémentaire par rapport à l'algorithme combiné, soit 3 batteries contre 2.
- Nombre d'éolienne
- Les deux algorithmes ont donnée 0 éolienne à cause de son cout beaucoup trop élevé.
- Diesel consommé
- L'algorithme combiné consomme moins de diesel que l'algorithme prédictif, soit 161 L/an contre 175 L/an.
- Émissions de CO₂
- Par conséquent, l'algorithme combiné produit moins d'émissions de CO₂ que l'algorithme prédictif, soit 457 kg/an contre 421 kg/an.

- Coût
- Malgré ses avantages en termes de consommation de diesel et d'émissions de CO₂, l'algorithme prédictif est plus coûteux que l'algorithme combiné, soit 8381,46 \$ contre 7936,43 \$.

IV.4.2. Explication des différentes performances

Les différences de performance entre les deux algorithmes peuvent s'expliquer par leur fonctionnement. L'algorithme combiné utilise une approche plus simple pour gérer la production d'énergie et la consommation de diesel. En revanche, l'algorithme prédictif utilise un modèle plus complexe qui prend en compte les prévisions de demande d'énergie et de production solaire.

IV.4.3. Facteurs nécessaires définissant le choix de l'algorithme

En plus des critères de coût et d'impact environnemental, d'autres facteurs peuvent influencer le choix de l'algorithme, tels que :

- La fiabilité de la demande d'énergie
- La variabilité de la production solaire
- Le coût des batteries
- Le coût du diesel
- Les contraintes de l'espace

IV.5. Conclusion

Dans cette dernière partie nous avons mené une étude comparative basé sur Le choix de l'algorithme optimal qui dépend des priorités du projet. On a constaté que les résultats obtenus répondent parfaitement à l'objectif principal qui est de minimiser les coûts d'investissement, l'algorithme combiné est le meilleur par rapport à celui prédictif.

Cependant sur la réduction de production des émissions polluantes at l'impact environnemental, on trouve que le système hybride avec le générateur diesel simulé sous l'algorithme prédictif évaluée à 1,10 kW en utilisant le diesel comme carburant, est de 475 kWh/an, moins polluant que le même système simulé avec l'algorithme combiné d'une production plus importante évaluée a 529 kWh/an.

En général l'intérêt d'intégrer le générateur diesel est important pour avoir une source d'appoint dans le cas des énergies renouvelables intermittente or qu'il exige un

dimensionnent précis suivant le pic de charge journalière et avec un choix de l'algorithme sous Homer Pro pour optimiser le cout d'investissent et réduire les émissions et le carburant consommé par le diésel générateur.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans notre mémoire, on a exploré les systèmes à énergies renouvelables en intégrant diverses technologies et en optimisant les systèmes hybrides. L'objectif principal était de comprendre les concepts clés, d'évaluer les outils d'optimisation et d'analyser les performances des configurations possibles pour ces systèmes.

Nous avons étudié les énergies photovoltaïques et éoliennes avec stockage, ainsi que l'importance de l'intégration des générateurs diesel, particulièrement pour les systèmes hybrides, afin d'assurer une source d'appoint fiable.

L'utilisation du logiciel Homer Pro a été cruciale pour l'évaluation et l'optimisation des systèmes hybrides. Ce logiciel nous a permis de simuler différentes configurations et de déterminer la faisabilité technique et économique des solutions proposées.

Les analyses comparatives des algorithmes d'optimisation ont révélé que l'utilisation du générateur diesel est plus efficace pour minimiser les coûts d'investissement. En fournissant une source d'énergie fiable et stable, le générateur diesel réduit la nécessité de surdimensionner les systèmes de stockage, ce qui abaisse les coûts initiaux.

En conclusion, ce mémoire a démontré l'importance des systèmes hybrides à énergies renouvelables et l'efficacité du logiciel Homer Pro pour leur optimisation. Les résultats ont mis en évidence les compromis nécessaires entre coûts, émissions et consommation de carburant, soulignant la complexité et l'importance d'une approche globale pour la conception de ces systèmes.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : [http://www.perso.wanadoo.fr/ageden/Ã©nergie_renouvelable/enr1.htm#1]
- [2] : ALLAGUI SALIM. LABIOD SALAH EDDINE - Etude et simulation d'un système photovoltaïque - MEMOIRE DE LICENCE
- [3] : SLAMANI Chanez « Etude et simulation d'un système hybride PV/Diesel/Batterie pour alimenter une maison isolé »
- [4] : M. Rabah ROUAS « Etude d'un système hybride éolien-photovoltaïque » Thèse de Doctorat 3^{ème} Cycle LMD
- [5] : Chadlia Hanene □ Baghana Chems Edine «INSTALLATION D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE DANS LE RESEAU ISOLE D'ADRAR (P.I.A.T) » MEMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
- [6] : Mazouz Karim « Etude D'une Batterie De Stockage Dans Un Système Photovoltaïque » Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master En Electrotechnique
- [7] : BOUKRARA Massinissa - MENASRI Taous « Evaluation et contrôle d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec stockage hybride (batterie/super-condensateur) » Mémoire de fin de Cycle En vue de l'obtention du Diplôme de Master
- [8] : KADDOUR MEHDI , BOUSTER IMED - Etude d'un système de conversion éolienne connecté au réseau - MÉMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : Master
- [9] : [<https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/fonctionnement-d-un-panneau-solaire-notre-guide-complet>]
- [10] : FERRAH BILLEL, Etude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien) mémoire PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTE
- [11] : Mémoire MASTER ACADEMIQUE Présenté par : Lamouri Sabah Thème : Etude de l'optimisation d'énergie dans un système hybride avec stockage UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2020/2021
- [12] : [https://hitek.fr/actualite/batteries-de-smartphone-rechargement--duree-de-vie-technologie_9127]

Références bibliographiques

- [13] : LEHZIEL MUSTAFA , BAGAA MOHAMMED 1 : La détection et la maintenance des capteurs dans le groupe électrogène Volvo Niveau : Master II. Option : Maintenance industrielle
- [14] : Chafa Aliane et Aziz Zerioul- Etude d'un groupe électrogène par simulation numérique - Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL
- [15] : MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES Pour L'obtention du Diplôme de Master Réalisation d'un onduleur à deux niveaux triphasé commandé par MLI vectorielle Préparé par : Mr : Chehb Adda Mr : Betta Rabeih
- [16] : LARFAOUI Thiziri - ZEBBOUDJ Mourad « Gestion d'un système multi-sources (photovoltaïque, éolien) avec stockage par batteries » mémoire En vue de l'obtention du master en électrotechnique
- [17] : Selection of the best dispatch strategy considering techno-economic and system stability analysis with optimal sizing
- [18] : Dispatch strategies based performance analysis of a hybrid renewable energy system for a remote rural area in India
- [19] : Technical, economic, and performance analysis of a hybrid energy system using a novel dispatch strategy
- [20] : Optimization of load dispatch strategies for an islanded microgrid connected with renewable energy sources
- [21] : Technical, economic, and environmental performance comparison analysis of a hybrid renewable energy system based on power dispatch strategies
- [22] : Boukamoum Youghorta - Etude de la stratégie de contrôle dans un système énergétique multi sources - PROJET DE FIN D'ETUDES
- [23] : [MÉMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique Par : Melouah Abou El Kacem Mohammed Sayah intitulé Dimensionnement d'un système hybride par les méthodes de prévision et HOMER PRO Université Larbi Tébessi– Tébessa – Promotion : 2021/2022]

Références bibliographiques

[24] : GHENAIM Sabah SEBKHI Yasmine - Simulation d'une Central PV connecté au réseau électrique par deux logiciels « PVSYST » et « HOMER Pro » - Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER

[25] : Smith, R., et al. (2020). "Optimization of Hybrid Renewable Energy Systems for Rural Electrification Using HOMER Pro : A Case Study of Rural Communities in Africa." *Renewable Energy*, 145, 231-245.

[26] : Johnson, L., et al. (2019). "Urban Energy Planning with HOMER Pro : Enhancing Sustainability in Smart Cities." *Energy Procedia*, 158, 1120-1125.

[27] : [A. Prashant Kumar, Analysis of Hybrid Systems: Software Tools. Electrical Engineering Department, Zeal College of Engineering and Research Narhe, Pune, India].

[28] : Brka, A., Al-Abdeli, Y. M., & Kothapalli, G. (2015). The interplay between renewables penetration, costing and emissions in the sizing of stand-alone hydrogen systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(1), 125–135.

<https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2014.10.132>

[29] : Das, H. S., Yatim, A. H. M., Tan, C. W., & Lau, K. Y. (2016).

Proposition of a PV/tidal powered micro-hydro and diesel hybrid system : A southern Bangladesh focus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1137–1148.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.09.038>

[30] : Ngan, M. S., & Tan, C. W. (2012). Assessment of economic viability

for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 634– 647.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.08.028>

[31] : Hiendro, A., Kurnianto, R., Rajagukguk, M., Simanjuntak, Y. M., & Junaidi. (2013). Techno-economic analysis of photovoltaic/wind hybrid system for onshore/remote area in Indonesia. *Energy*, 59, 652– 657. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.06.005>.

[32] Khalid, F., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2017). Thermo-economic analysis of a solar-biomass integrated multigeneration system for a community. *Applied Thermal Engineering*, 120, 645–653.

Références bibliographiques

<https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2017.03.040>

[33] R. Al-Rashed, T. Faza', O. Ayadi, [Potential of using Off-grid PV/Wind/Diesel Battery Hybrid Energy System in Jordan] 2021 12th International Renewable Engineering Conference (IREC)

DOI : 10.1109/IREC51415.2021.9427825

[34] Deshmukh, M. K., & Deshmukh, S. S. (2008). Modeling of hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 235–249.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2006.07.011>

[35] Kaabeche, A., & Ibtouen, R. (2014). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system. *Solar Energy*, 103, 171–182.

<https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2014.02.017>

[36] Al-Sharafi, A., Sahin, A. Z., Ayar, T., & Yilbas, B. S. (2017). Technoeconomic analysis and optimization of solar and wind energy systems for power generation and hydrogen production in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(November 2016), 33– 49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.157>

[37] Getting Started Guide for HOMER Version 3.14.7; (<https://www.homerenergy.com>).

Etude d'un système hybride PV /éolien /DG/Batteries

Résumé

Ce mémoire présente une étude approfondie sur les systèmes hybrides combinant photovoltaïque (PV), éolien, générateur diesel et batteries pour le stockage. Nous introduisons d'abord les concepts de base et les avantages de ces systèmes, puis nous détaillons l'utilisation du logiciel Homer Pro pour leur évaluation et optimisation. Une analyse spécifique est réalisée sur un système hybride PV/éolien/batterie, utilisant Homer Pro pour simuler différentes configurations. Enfin, nous intégrons un générateur diesel et comparons les algorithmes de simulation combiné et prédictif, montrant leur impact sur la performance et les coûts du système global.

Abstract

This thesis presents an in-depth study of hybrid systems combining photovoltaic (PV), wind, diesel generator, and battery storage. We first introduce the basic concepts and advantages of these systems, then detail the use of the Homer Pro software for their evaluation and optimization. A specific analysis is conducted on a hybrid PV/wind/battery system, using Homer Pro to simulate different configurations. Finally, we integrate a diesel generator and compare combined and predictive simulation algorithms, demonstrating their impact on the overall system performance and costs.

المخلص

يقدم هذا البحث دراسة متعمقة حول الأنظمة الهجينة التي تجمع بين الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والمولدات التي تعمل بالديزل وتخزين البطاريات.

نقدم أولاً المفاهيم الأساسية وفوائد هذه الأنظمة، ثم نفضل استخدام برنامج (HOMER) لتقييمها وتحسينها. يتم إجراء تحليل محدد لنظام هجين يجمع بين الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والبطارية، باستخدام برنامج (HOMER) لمحاكاة التكوينات المختلفة.

وأخيراً، نقوم بدمج مولد ديزل ومقارنة خوارزميات المحاكاة المدمجة والتنبؤية، موضحين تأثيرها على أداء النظام وتكاليفه الإجمالية