الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Electrique



Projet de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Electrique

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commandes Electriques

THEME

Optimisation d'un système hybride photovoltaïque/éolienne pour l'électrification d'un site isolé

Présenté par :

- **AIDOUN Anouar**
- **BOURAHLA Abdel Karim**

Encadré par :

- **Dr. YAHIAOUI ADEL**

2020/2021

Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier ALLAH qui nous a aidé
et nous a donné la patience et le courage de finir le mémoire.

Évidemment, je veux commencer ces remerciements en montrant mon profond respect et ma gratitude au **Dr. Yahiaoui Adel,** docteur à l'université Médéa pour son encadrement et ses conseils patiemment pour ce travail.

Je remercie chaleureusement le président du jury qui m'a fait

L'honneur de présider le jury, ainsi que pour sa contribution à ma formation.

Je veux exprimer mes remerciements aux membres de jury,

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

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents que Dieu me les garde,

Mes frères et sœurs,

Toute ma famille

Tous ceux qui me sont chers.

الملخص

في هذه العمل، قمنا بمحاكاة النظام الهجين باستخدام برنامج الطاقة هومر، حيث يتكون النظام الهجين من (الألواح الشمسية، تور بينات الرياح، خلايا الوقود، المحلل الكهربائي) مع بطاريات التخزين لتزويد منطقة تيميمون المعزولة بمحافظة أدرار بالكهرباء.

وبأخذ النتائج المقدمة ببرنامج هومر لمنطقة تيميمون تحصلنا على تكلفة المشروع لمدة 25سنة وتكلفة الطاقة (1 كيلو واط ساعة / دولار أمريكي) و كذلك العدد الأمثل والخصائص لكل من (الألواح الشمسية تور بينات الرياح ، خلايا الوقود ، المحلل الكهربائي) مع بطاريات التخزين .

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة، النظام الهجين، الطاقة الكهروضوئية، تور بينات الرياح، خلايا الوقود، محلل الكهربائي، هومر .

Abstract

In this work, we simulated hybrid renewable energy system using the Homer software, where the hybrid system consists of solar PV panels, wind turbines, fuel cells, electrolyzer and batteries to supply electricity for isolated Timimoun area in Adrar governorate.

By taking the results presented in the Homer program for the Timimoun region, we get the cost of the project for 25 years and the cost of energy (1 kWh / USD), as well as the optimal number and characteristics of each component of proposed system.

Key words: renewable energy, hybrid system, photovoltaic energy, wind turbines, fuel cells, electrolysis device, HOMER.

Résumé

Dans ce travail, nous avons simulés le système hybride à l'aide du logiciel HOMER, le système hybride constitue panneaux solaires, éoliennes, piles à combustible, électrolyseur avec des batteries de stockage pour fournir de l'électricité dans la zone isolée de Timimoune dans la wilaya d'Adrar.

D’après les résultats présentés par le logiciel Homer pour la région de Timimoune, nous avons obtenu le coût du projet sur 25 ans, le coût énergétique (1 kWh/USD), ainsi que le nombre optimal et les caractéristiques de optimaux (panneaux solaires, éoliennes, piles à combustible, électrolyseur et les batteries.

Mots clés : énergie renouvelable, système hybride, énergie photovoltaïque, éoliennes, piles à combustible, analyseur d'électrolyseur, HOMER.

Liste des symboles et nomenclatures

PV : Photovoltaïque

Ppv : Puissance de photovoltaïque

Npv : Nombre des cellules photovoltaïque

ER : énergie renouvelable

Ci : Coût initial

Epv : l'énergie produite par le générateur photovoltaïque

Ew : l'énergie produite par l'éolienne

Ech : l'énergie demandée par la charge

PV-E : Système hybride photovoltaïque-éolienne

I : Courant

V : Tension

Homer : Hybride model d'Optimisation pour l'énergie renouvelable

(Logiciel produit par le Laboratoire National de l'énergie renouvelable).

NREL : Laboratoire national des énergies renouvelables

NPC : coût à valeur actuelle (Net present cost)

COE : Le coût d'énergie

ONM : Office national météorologie

SEH : Système énergie hybride

KW : Kilo Watt

MW : Méga Watt

CC : Courant continu

CA : Courant alternatif

Pmpp : Puissance max

Impp : Courant à puissance max

Vmpp : Tension à puissance max.

Isc : Courant de court-circuit

Voc : Tension en circuit ouvert

Isc : Coefficient de température

Ah : Ampère par heure

Cin : le coût initial en capital

Crep : le coût de remplacement

Com : le coût d'opération et maintenance

$: Dollar

FC : Pile combustible (Fuel Cell)

CRF : Facteur de Récupération du Capital

PVsal : la valeur actuelle de récupération du système hybride

η : Rendement énergétique

Pcon : Puissance de convertisseur

Liste des figures

Figure I. 1.Structure de la production d'électricité mondiale en sur 2008-2018 4
Figure I. 2.Énergie Biomasse 5
Figure I. 3.Différent types de l'hydraulique 5
Figure I. 4.Une source d'énergie géothermique 6
Figure I. 5.Énergie solaire thermique 7
Figure I. 6.Système Photovoltaïque 8
Figure I. 7.Carte préliminaire des irradiations solaires de l'Algérie 8
Figure I. 8.Fonctionnement d'une cellule solaire 9
Figure I. 9.Effet photovoltaïque 10
Figure I. 10.Cellule, module et panneau photovoltaïque 12
Figure I. 11.Schéma des déférents éléments de l'éolien 14
Figure I. 12.Eolienne à axe horizontal 15
Figure I. 13.Eolienne à axe verticale. 16
Figure I. 14.Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale 19
Figure I. 15. Tracé des vitesses moyennes du vent à10mdu sol. 20
Figure I. 16.principe du travail d'électrolyse généralement. 21
Figure I. 17.Schéma de fonctionnement de la pile à combustible 22

Figure II. 1schéma de principe de la pile à combustible /électrolyseur 30

Figure III. 1.Modèle conceptuel du logiciel HOMER. 38
Figure III. 2.Interface HOMER – Fichier vierge. 39
Figure III. 3.Interface HOMER – Équipements à ajouter. 40
Figure III. 4.Interface HOMER – Équipements sélectionnés 41
Figure III. 5.Interface HOMER – Équipements sélectionnés 41
Figure III. 6. Interface HOMER – Fichier complété 42
Figure III. 7.Interface HOMER – Résultats des calculs 42
Figure III. 8.Données à fournir. 43
Figure III. 9.Résultats obtenus après simulation. 44
Figure III. 10. Résumé des résultats. 45
Figure III. 11. Fenêtre des résultats détaillés 46

Figure IV. 1.Localisation géographique du site en étude. 50
Figure IV. 2.L'irradiation dans une année 51
Figure IV. 3.Le profil de l'éclairement moyen 51
Figure IV. 4.Variation de l'éclairement journalier au cours des 12 mois de l'année 51
Figure IV. 5.Le profil de vitesse de vent dans une année 52
Figure IV. 6.vitesse de vent horaire pour la journée pour 2 mois 52
Figure IV. 7.Variation de vitesse de vent journalier au cours des 12 mois de l'année 53
Figure IV. 8.Profil de température 53

Figure IV. 9.Le profil de charge dans une année 54
Figure IV. 10.Le profil de charge journalière suivant les saisons 54
Figure IV. 11.Montage électrique du système hybride 55
Figure IV. 12.Tous les résultats optimisés de système hybride 56
Figure IV. 13.Résultats optimale pour le système hybride 56
Figure IV. 14.Résultats optimisés d'un système 57
Figure IV. 15. Quantité de production d'électricité 57
Figure IV. 16.fonctionnement annuel de générateur photovoltaïque 58
Figure IV. 17.Fonctionnement annuel de générateur éolienne 59
Figure IV. 18.Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries 60
Figure IV.19.Résultats obtenue par l'onduleur. 61
Figure IV. 20.Résultats obtenues par le redresseur. 61
Figure IV. 21.Les différents coûts du système. 62
Figure IV. 22.Résumé des coûts des diverses composantes. 62
Figure IV. 23.Comparaison de résultat de composant de système 63
Figure IV. 24.Montage électrique du système hybride 64
Figure IV. 25.Configuration du système possible pour le système d'alimentation solaire PV- éolien-pile combustible. 64
Figure IV. 26.Sensitive résultats de système hybride global 65
Figure IV.27.Résultats optimisés d'un système. 65
Figure IV. 28. Quantité de production d'électricité. 65
Figure IV.29.Production annuelle d'hydrogène 67
Figure IV.30.Statistiques mensuelles pour d'hydrogène 67
Figure IV.31.Statistiques mensuelles pour d'hydrogène 68
Figure IV. 32.Résultats obtenue par l'onduleur 69
Figure IV.33.Résultats obtenues par le redresseur. 69
Figure IV.34.Les différents coûts du système 70
Figure IV.35.Résumé des coûts des diverses composantes 70
Figure IV. 36.Comparaison de résultat de composant de système 71
Figure IV. 37.Montage électrique du système hybride 72
Figure IV.38.Configuration du système possible pour le système d'alimentation solaire PV-éolien-pile combustible – batterie 72
Figure IV.39.Sensitive résultats de système hybride global 73
Figure IV. 40. Résultats optimisés d'un système 73
Figure IV.41.Quantité de production d'électricité. 74
Figure IV.42.Production horaire d'énergie par le photovoltaïque 75
Figure IV. 43. Production horaire d'énergie par l'éolien 75
Figure IV. 44.Utilisation de la charge des batteries à travers une année 76
Figure IV. 45.Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries 76
Figure IV.46.Résultats obtenue par l'onduleur 77
Figure IV. 47. résultats obtenues par le redresseur 78
Figure IV. 48. Production horaire par d'hydrogène 78
Figure IV.49.Statistiques mensuelles pour d'hydrogène 78

Figure IV. 50. Résultats obtenues par pile combustible 79
Figure IV. 51.Les différents coûts du système 80
Figure IV. 52.Résumé des coûts des diverses composantes 80
Figure IV. 53.Comparaison de résultat de composant de système 81

Liste des tableaux

Tableau I. 1.Taille des éoliennes 15
Tableau I. 2.Répartition du potentiel solaire en Algérie 18

Tableau II. 1.Tableau technique du Panneau solaire choisi. 24
Tableau II. 2.Tableau technique du convertisseur choisi. 25
Tableau II. 3.Tableau technique de la batterie choisie. 25
Tableau II. 4.Tableau technique de l'éolienne choisie. 25
Tableau II. 5.Tableau technique de l'électrolyseur choisie. 25
Tableau II. 6.Tableau technique de réservoir d'hydrogène choisie. 26
Tableau II. 7.Tableau technique de pile combustible choisi. 26

Tableau III. 1.significatif de logiciel HOMER ci-dessous 37

Tableau IV. 1. Quantité annuelle de production d'électricité 58
Tableau IV. 2.Information concernant la production d'énergie par le PV 58
Tableau IV. 3.Information concernant la production de l'énergie éolienne 59
Tableau IV.4.Résultats obtenue par les batteries 60
Tableau IV. 5.Le coût et le coût élémentaire des composants en dollars. 62
Tableau IV. 6.Le coût et le coût élémentaire des composants en dinars. 63
Tableau IV. 7. Quantité annuelle de production d'électricité 66
Tableau IV. 8.Information concernant la production d'énergie par le PV 66
Tableau IV. 9.Information concernant la production de l'énergie éolienne 66
Tableau IV.10.Information concernant la production d'hydrogène 67
Tableau IV. 11.Résultats obtenue par de la pile à combustible 68
Tableau IV. 12.Résultats obtenue par le convertisseur 68
Tableau IV.13. Le coût et le cout élémentaire des composants en dollars. 70
Tableau IV. 14. Le cout et le cout élémentaire des composants en dinars. 71
Tableau IV.15.Quantité annuelle de production d'électricité 74
Tableau IV. 16. Information concernant la production d'énergie par le PV 74
Tableau IV. 17. Information concernant la production de l'énergie éolienne 75
Tableau IV. 18.Les résultats obtenus par les batteries. 76
Tableau IV. 19. Résultats obtenue par le convertisseur 77
Tableau IV.20.Information concernant la production d'hydrogène 78
Tableau IV. 21.Résultats obtenue par de la pile à combustible 79
Tableau IV. 22.Le cout et le cout élémentaire des composants en dollars. 81
Tableau IV. 23.Le cout et le cout élémentaire des composants en dinars. 81

Table des matières

Résumé.....
Mots clés : .....
Liste des symboles et nomenclatures .....
Liste des figures.....
Liste des tableaux.....
Introduction générale 1
I.1. Introduction: 3
I.2. Les énergies renouvelables : 3
I.3. Les déférents types des énergies renouvelables : 4
I.3.1.La biomasse : 4
I.3.2.L'hydraulique :.....5
I.3.3. La géothermie : 6
I.3.4.Le solaire : 6
I.3.4.1.Energie solaire photovoltaïque : 7
a)Définition :.....7
b) Description d'un système PV : 8
c)Principe de fonctionnement du photovoltaïque.....8
d) Technologie des cellules solaires 10
A) - La cellule amorphe :.....10
B) – La cellule cristalline (qu'il soit mono ou poly) :.....10
B).1- La cellule monocristalline :.....10
f) Avantages et inconvénients d'une installation PV.....12
I.3.5. L'éolienne 13
I.3.5.1.Constitution d'un système éolienne 14
I.3.5.2.Classification des éoliennes : 14
I.3.5.3.Principe de Fonctionnement :.....16
A). Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :.....16
I.4. Energies solaire et éolienne en Algérie :.....17
I.4.1.Potentiel solaire en Algérie 18
I.4.2.Potentiel éolienne en Algérie.....19
I.5. L'hydrogène :.....20

I.5.1.Les électrolyseur 20
I.5.2.Réservoir d'hydrogène 21
I.5.3.pile à combustible 22
I.6.Conclusion 23
chapitre II. Modélisation des composant du système hybride 2
II.1. Introduction.....24
II.2. Le choix des composants :.....24
II.2.1.Caractéristiques technique de chaque composant :.....24
II.2.2.Caractéristiques économique de chaque composant :.....26
II.3. Modélisation des composants du système 27
II.3.1.Les panneaux photovoltaïque 27
II.3.2. Les Éolienne.....28
II.3.3 Pile à combustible (FC) / électrolyseur 28
II.3.4. Les batteries 30
II.3.5.Les convertisseurs 31
II.4. Paramètres économique pour système d'énergie renouvelable hybride 32
II.4.1.Coût de l'énergie (COE) 33
II.4.2.Valeur actuelle net (NPC) 33
II.5. Conclusion 35
chapitre III. Présentation de logiciel.....25
« HOMER » 25
III.1. Introduction.....36
III.2. Présentation du logiciel HOMER 36
III.3. Principal caractéristiques 37
III.4. Interfaces.....39
III.5. Données d'entrée.....43
III.6. Résultats pouvant être obtenus 44
III.7. Méthodologies spécifiques aux simulations 47
Résultats à analyser.....47
III.8. Conclusion 48
chapitre IV. Résultats de simulation et discussion 36
IV.1. Introduction 49
IV.2. Présentation des données du site.....49
IV.3. Les données Météorologique 50

IV.3.1.Données relative à l'irradiation 50
IV.3.2.Données relative à vitesse de vent : 52
IV.3.3.Données relative à la température 53
IV.3.4.Données relative à profile de charge 53
IV.4. Construction de système hybride de génération d'énergie 55
IV.5. Résultats du premier système PV-éolien-batterie 55
IV.5.1.Le générateur photovoltaïque : 58
IV.5.2. Le générateur éolienne : 59
IV.5.3.Résultats obtenue par les batteries : 59
IV.5.4.Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels. 60
IV.5.5.Interprétation des résultats optimisés 61
IV.5.6.Comparaison de résultat de composant de système 63
IV.6. Le deuxième système PV-éolien-pile combustible 64
IV.6.1.Le générateur photovoltaïque : 66
IV.6.2.Le générateur d'éolienne : 66
IV.6.3.Production annuelle d'hydrogène 67
IV.6.4.Production mensuelle de la pile à combustible : 68
IV.6.5.Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels 68
IV.6.6.Interprétation des résultats optimisés 69
IV.6.7.Comparaison de résultat de composant de système 71
IV.7. Troisième système : PV-éolienne -pile combustible -batterie 72
IV.7.1.Le générateur photovoltaïque 74
IV.7.2. Le générateur éolienne 75
IV.7.3.Résultats obtenue par les batteries 76
Tableau IV. 18.Les résultats obtenus par les batteries. 76
IV.7.4. Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels 77
IV.7.5.Production annuelle d'hydrogène 78
IV.7.6. Production mensuelle de la pile à combustible 79
IV.7.7.Interprétation des résultats optimisés 80
IV.7.8.Comparaison de résultat de composant de système 81
IV.8. Comparaison pour les trois simulations 82
IV.9. Conclusion 82
Conclusion générale 85
Bibliographie 87

Introduction générale

Introduction générale

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que tendanciellement, les consommations d'énergie vont continuer à augmenter, sous l'effet de la croissance économique d'une part, et de l'augmentation de la consommation d'électricité par habitant d'autre part, quels que soient les cas de figures envisagés.

Pour cela les énergies renouvelables apparaissent à nos jours et à long terme comme la solution adéquate qui couvre ce besoin énergétique en diminuant l'inconvénient majeur émis par les énergies fossiles.

Elles sont devenues une forme d'énergie indispensable par leur souplesse, la simplicité d'utilisation et la multiplicité des domaines d'activités où elles sont appelées à jouer un rôle. Ces modes de production ainsi que les moyens de distribution associés sont amenés à subir de profonds changements au cours des prochaines décennies.

Ces énergies sont exploitées en mono source ou en hybride et en mode autonome ou connectés au réseau. Vu la dépendance de leur production des conditions météorologiques, ces sources sont intermittentes. Ainsi, l'association de plusieurs sources (mode hybride) s'avère utile pour couvrir les saisons de l'année. Afin d'assurer l'équilibre production-consommation, des systèmes de stockage d'énergie sont nécessaire [1].

De plus, des sources d'énergie complémentaires telles que les groupes électrogènes sont sollicités en cas de manque d'énergies renouvelables. Il existe plusieurs types des systèmes hybrides de production électrique autonomes comme le photovoltaïque-éolienne-batterie, le photovoltaïque-éolienne-pile à combustible, ou le photovoltaïque-éolienne-pile à combustible -batterie.

Dans ce mémoire, nous présentons une étude économique à l'aide du logiciel HOMER d'un système hybride conçus pour alimenter le site isolé du Timimoune, le système étudié est composé essentiellement du générateur photovoltaïque une pile à combustible et l'électrolyseur de l'eau pour produire l'hydrogène avec la présence des batteries et des convertisseurs.

Ce mémoire est structuré comme suite :

D'abord, et après cette introduction, dans la première partie de premier chapitre sera consacré au recensement des différentes sources d'énergies renouvelables et les caractéristiques des générateurs PV et éolien.

La deuxième partie est consacrée à un gisement solaire et éolien en Algérie. Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques et modélisation des composants d'un système hybride.

Dans le troisième chapitre on présente le logiciel Homer utilisé dans ce travail.

Dans le dernier chapitre on présente les résultats de simulations numériques par le logiciel HOMER, d'un système hybride réel éolien -solaire-bile à combustible et batteries pour un site isolé de la région de Timimoune.

Enfin une conclusion générale et les perspectives sont données.

Chapitre I. Généralités

I.1.Introduction:

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

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

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

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

I.2.Les énergies renouvelables :

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

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

Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie [2]

La figure I.1 présente la production mondiale d'électricité en 2008-2018

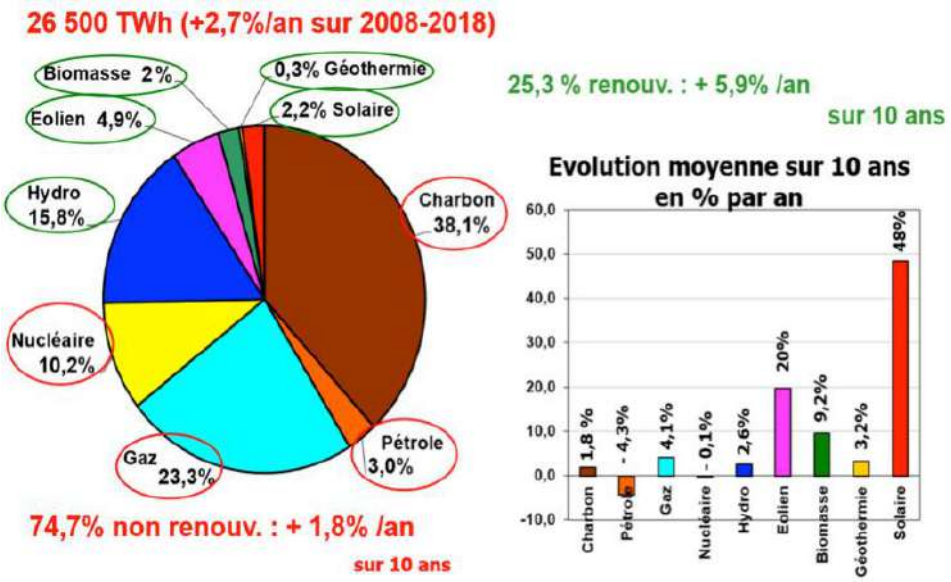


Figure I. 1. Structure de la production d'électricité mondiale en sur 2008-2018[47]

I.3.Les déférents types des énergies renouvelables :

I.3.1.La biomasse :

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

- Lors de la fermentation des déchets, le gaz méthane peut être capté et utilisé comme source d'énergie,

- La biomasse elle-même peut être incinérée.

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

L'intérêt est que le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère lors de l'incinération de la biomasse ou le méthane est compensé par celui absorbé par la repousse des plantes qui, entre outre, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro [3].

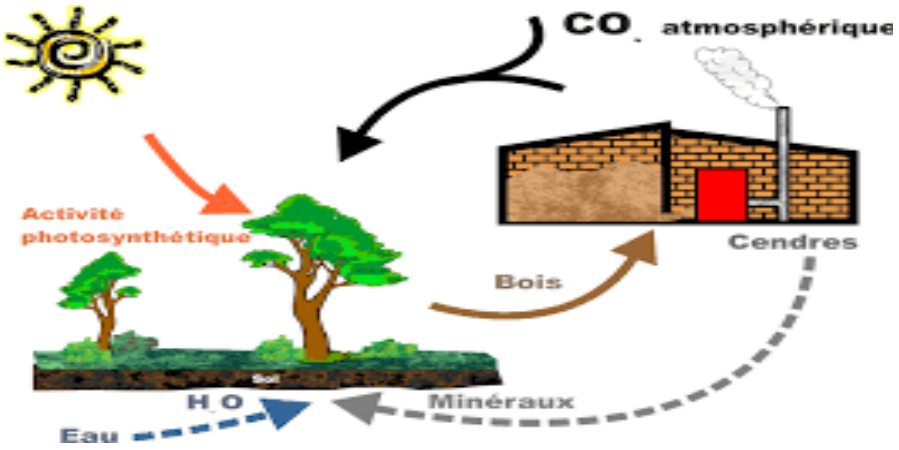
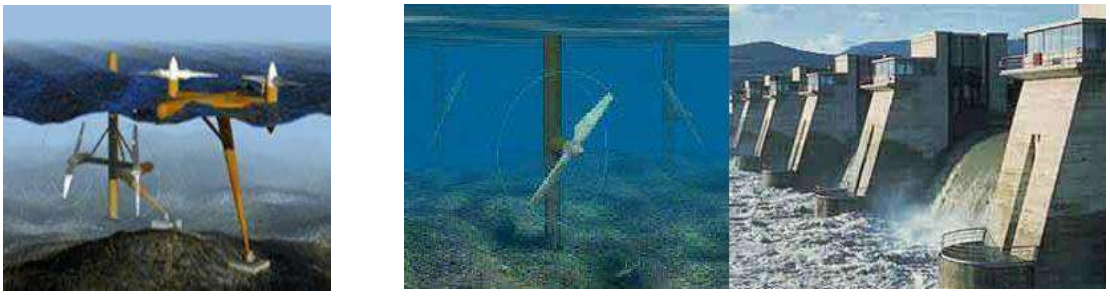


Figure I. 2.Énergie Biomasse

I.3.2.L'hydraulique :

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source à l'avantage de ne pas être polluante. On peut maitriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients [4].



a) Marémotrice b) Hydrolienne c) Barrage

Figure I.3. Différent types de l'hydraulique

I.3.3. La géothermie :

Dans le contexte des sciences pour l'ingénieur, le terme de « géothermie » regroupe des moyens de capter l'énergie thermique de l'intérieur du globe terrestre et de l'utiliser comme source de chaleur ou de la convertir en électricité par des turbines et générateurs électriques. Pour capter l'énergie géothermique, un fluide est mis en circulation dans les profondeurs de la terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe captive naturelle, de l'eau injectée dans une roche chaude imperméable ou dans des puits spéciaux. Dans tous les cas, le fluide se réchauffe et remonte avec une température supérieure [3].

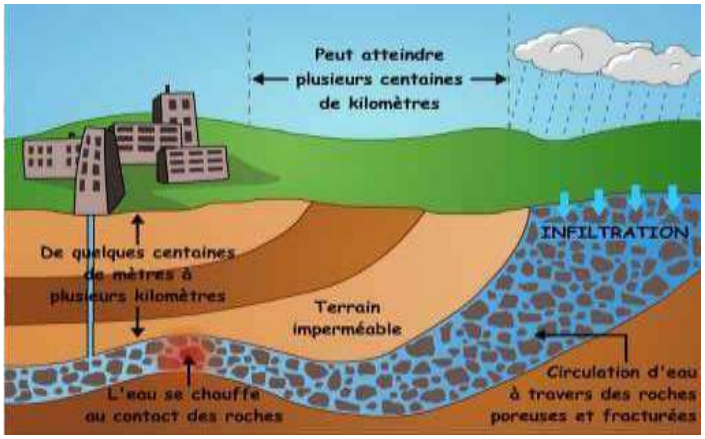


Figure I.4. Une source d'énergie géothermique

I.3.4.Le solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KW c/m2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année [6].

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

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



Figure I.5.Énergie solaire thermique

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

I.3.4.1.Energie solaire photovoltaïque :

a)Définition :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie.

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension I(V) non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau de rayonnement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble [4]

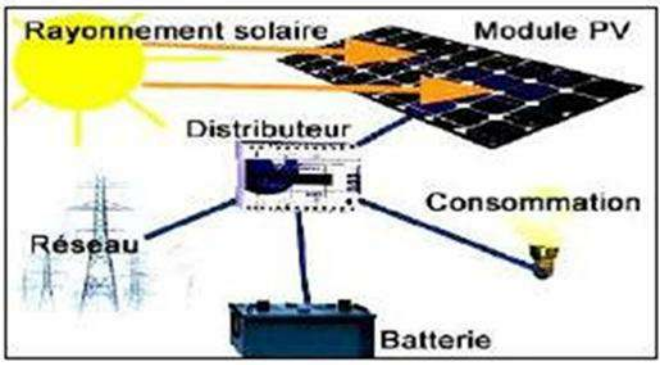


Figure I.6. Système Photovoltaïque [5].

b) Description d'un système PV :

Le mot « photovoltaïque » vient de grec « photos » et signifiant lumière et de « volta » du nom du physicien italien qui en 1800 découvrit la pile électrique. Mais c'est en 1839 que le français Antoine Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie.

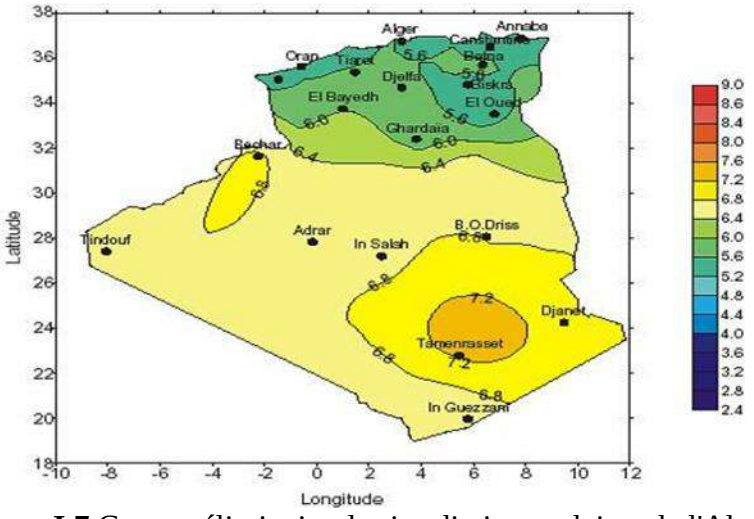


Figure I.7. Carte préliminaire des irradiations solaires de l'Algérie

c)Principe de fonctionnement du 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 Net les trous vers la zone P. Une jonction PN a été formé. [7]

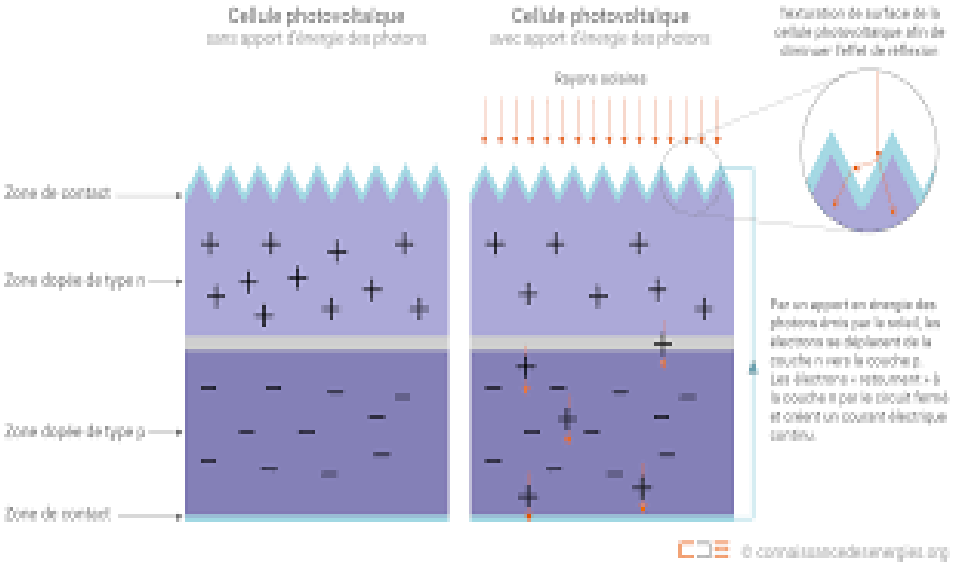


Figure I.8. Fonctionnement d'une cellule solaire

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. [8]

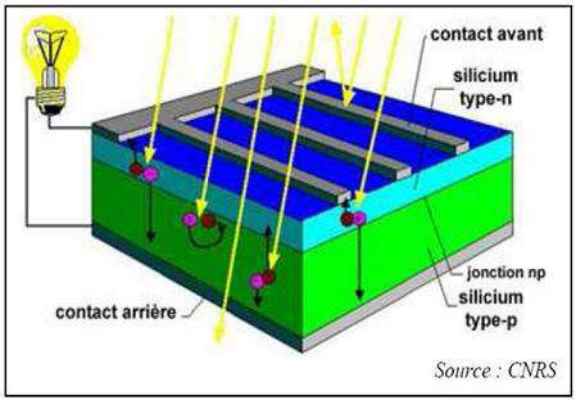


Figure I.9. Effet photovoltaïque

d) Technologie des cellules solaires

Les technologies des cellules solaires se divisent en deux grandes familles :

A) - La cellule amorphe :

Les coûts de fabrication sont sensiblement meilleur marchés que ceux du silicium cristallin. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une alternative économique est recherchée, ou, quand très peu d'électricité est nécessaire (par exemple, alimentation des montres, calculatrices, luminaires de secours). Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir. Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin.

Les cellules en silicium amorphe sont actuellement de moins en moins utilisées : 9,5 % de la production mondiale en 2000, alors qu'elles représentaient 12 % en 1999.

D'autres techniques semblent gagner du terrain aujourd'hui, ce sont les technologies en ruban et les couches minces. [9]

B) – La cellule cristalline (qu'il soit mono ou poly) :

Est une technologie éprouvée et robuste (espérance de vie : 30 ans), dont le rendement est de l'ordre de 13 %. Ces cellules sont adaptées à des puissances de quelques centaines de watts à quelques dizaines de kilowatts. Elles représentent près de 80 % de la production mondiale en 2000.

B).1- La cellule monocristalline :

Sont des cellules qui s'approche-le plus du modèle théorique, elle est effectivement composée d'un seul cristal divise en deux couches. Son procédé de fabrication est long et

exigeant en énergie, plus onéreux, il est cependant plus efficace que la cellule poly-cristalline

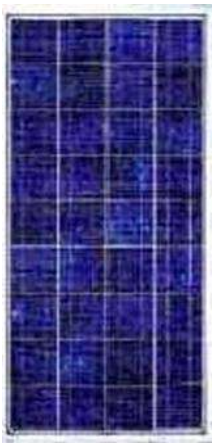
B).2- La cellule poly-cristalline

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées : elles représentent 49 % de l'ensemble de la production mondiale en 2000.

L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication, leurs rendements est de 13% jusqu'à 20% en labo.



Cellule monocristalline



Cellule poly-cristalline



cellule amorphe

e)-Panneau Photovoltaïque

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série (augmenter la tension) et en parallèle (augmenter le courant) pour former un panneau (ou champ PV).La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend : [10]

• Des besoins en électricité

• De la taille du panneau

• De l'ensoleillement du lieu d'utilisateur

• De la saison d'utilisateur

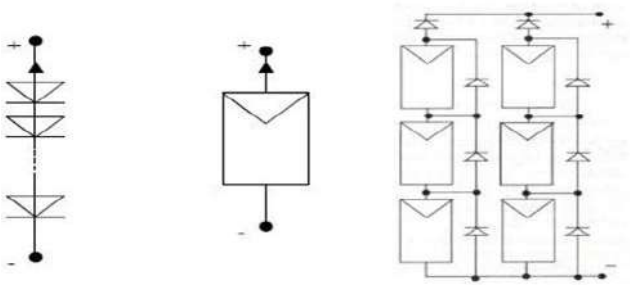
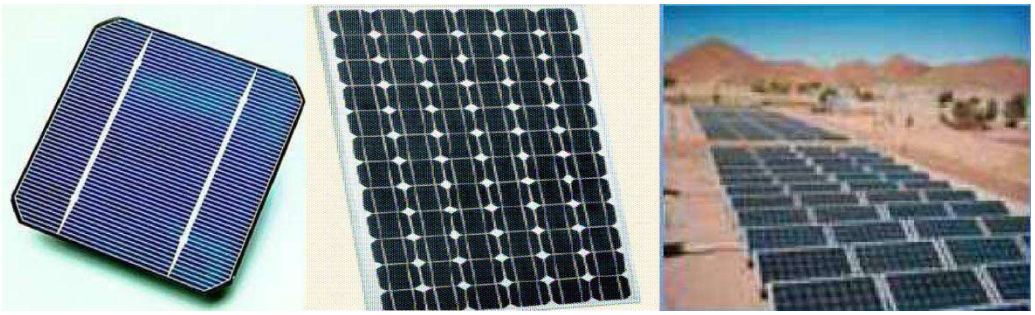


Figure I.10. Cellule, module et panneau photovoltaïque [11]



Cellule photovoltaïque (Monocristalline) Panneau photovoltaïque Champ photovoltaïque

f) Avantages et inconvénients d'une installation PV

Avantages

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

• Ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux ;

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. De manière générale, 100 [m²] de capteurs évitent la consommation d'1 [Tep] d'énergies fossiles (Tonne équivalent pétrole). Une production d'1[MWh] permet de substituer 0,086 [TEP] d'énergie et d'éviter l'émission de 120 [kg] de CO2. Il n'y a pas de pièce en mouvement, ni de bruit et pas de production de polluants. Sur la base de 108 [g] de CO2 émis par kWh électrique produit, la quantité de CO2 évitée est de près de 4 [tonnes /an].

• Ils sont très fiables.

L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.

• Ils n'exigent presque aucun entretien.

• Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.

• Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité.

• Ils donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité.

• Production d'électricité décentralisée.

 Inconvénients

Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. S'il est souhaité d'utiliser l'énergie solaire à cette fin, il sera préférable de considérer d'autres solutions de rechange comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.

Les systèmes raccordés au réseau sont rarement de la technologie PV. Étant donné que ces systèmes peuvent être coûteux, le choix d'un système photovoltaïque dépend souvent d'une décision personnelle axée sur le style de vie ; tout comme le type de maison ou de voiture que vous pourriez avoir.

• Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à230 V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (<30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.

I.3.5. L'éolienne

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

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

Pendant ces dernières années l'éolien c'est très fortement développé, dans le monde et plus particulièrement en Europe. Les avancements technologiques dans ce domaine, ne cessent de progresser [15].

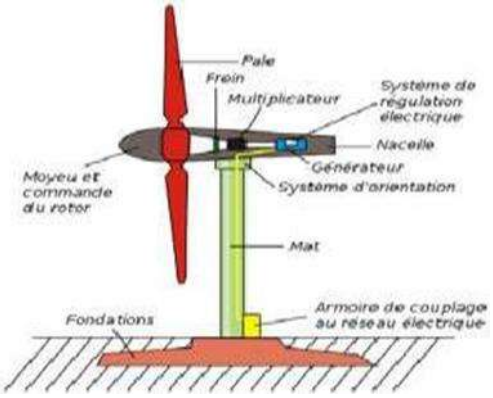


Figure I.11. Schéma des déférents éléments de l'éolienne

I.3.5.1.Constitution d'un système éolienne

Le système de conversion éolienne est principalement constitué par :

- Une turbine éolienne avec ses annexes mécaniques dont le rôle est de convertir une partie de l'énergie du vent en énergie mécanique.

- Un générateur électrique qui transforme une partie de l'énergie mécanique disponible sur l'arbre en énergie électrique.

-Une charge électrique qui peut être statique ou dynamique, ou un réseau de distribution d'énergie électrique.

- Une interface d'électronique de puissance, qui est en général placé entre le générateur et la charge, qui adapte la forme de l'énergie électrique fournie par le générateur à ce qui exige la charge.

- Un système de commande et de régulation qui assure la conversion optimale en régime stationnaire, et éventuellement en régime dynamique [14].

I.3.5.2.Classification des éoliennes :

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

1) Taille des aérogénérateurs :

Tableau I.1. Taille des éoliennes

TAILLE	Diamètre de l'hélice	Puissance Délivrée
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 KW
Moyenne	12 m à45 m	De 40KW à 1MW
Grande	45 m et plus	1MW et plus

2) L'organe capteur :

Le but de l'organe capteur est de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique pour des raisons de conversion d'énergie électromécanique, on cherche à obtenir un mouvement de rotation. Il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice [16].

a) Capteurs à axe horizontal :

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

Leur principal avantage revient sur leur rendement très supérieur à celui des autres types [16, 17].

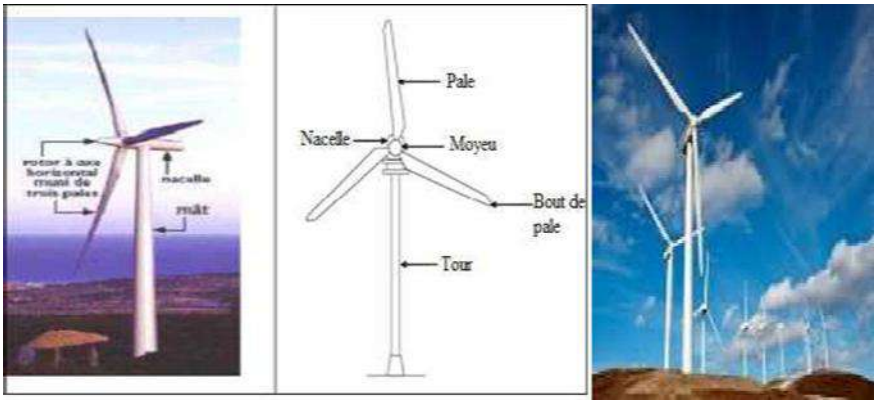


Figure I.12. Eolienne à axe horizontal**.**

b) Capteurs à axe verticale :

Ce type d'éoliennes ne peuvent pas démarrer toute seule, Un système de lancement s'avère donc nécessaire. Le principal avantage des machines à axe vertical est que le dispositif de génération électrique repose sur le sol, ne nécessitant donc pas l'édification d'une tour montrée par la figure I.13 [18].



Éolienne de type Darrieus Éolienne de type Savonius

Figure I.13. Eolienne à axe verticale.

I.3.5.3.Principe de Fonctionnement :

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

- Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique [19].

A). Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne :

a) Avantages :

- L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement [20].
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable.

- Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO2 rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique [21].
- Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance [22].
- La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie conventionnelles [23].

b) Inconvénients:

- Le vent peut parfois souffler à des intensités irrégulières.
- Les éoliennes sont parfois bruyantes et modifient le paysage d'une région.
- La production dépend de l'intensité des vents et non de la demande en énergie [24].

I.4.Energies solaire et éolienne en Algérie :

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

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

Les énergies renouvelables constituent une solution économique viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud.

Les énergies renouvelables permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable et de leur impact limité sur l'environnement

La valorisation des énergies renouvelables ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

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

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

En effet, les pouvoirs publics se sont engagés à accorder un soutien direct au programme de développement des énergies renouvelables notamment au profit des populations défavorisées Et des régions déshéritées [2].

I.4.1.Potentiel solaire en Algérie

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

La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ 7 KWh/m2/jour. Elle est repartie comme suit : Au Nord : 5,6kWh/m2/jour ; Au sud : 7,2kWh/m2/jour [25].

Tableau I.2.Répartition du potentiel solaire en Algérie [4]

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

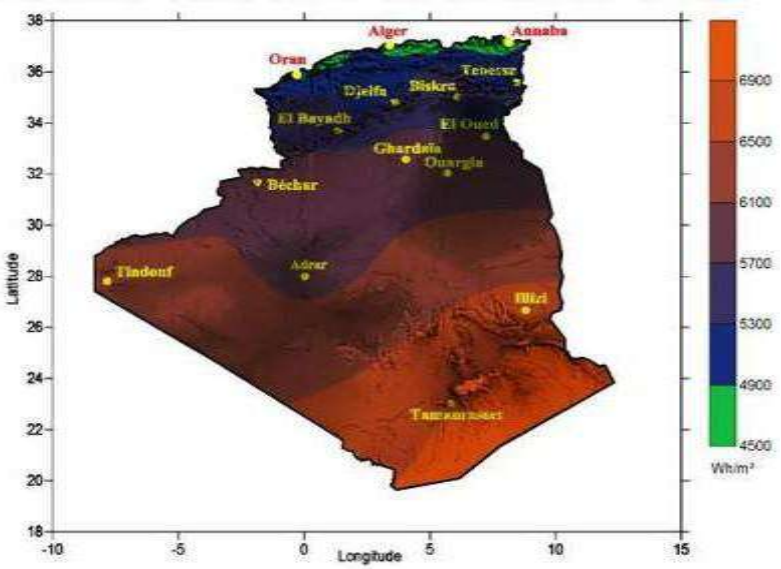


Figure I.14.Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur surface horizontale [12].

I.4.2.Potentiel éolienne en Algérie

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

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

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeurde6m/s dansa région d'Adrar.

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheïter ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud [26].

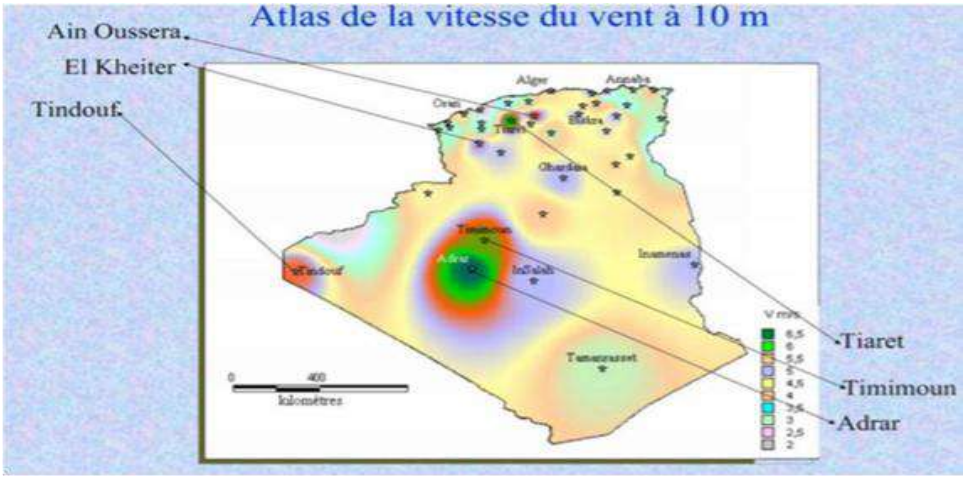


Figure I.15. Tracé des vitesses moyennes du vent à10m du sol. [5]

I.5.L'hydrogène :

L'hydrogène pourrait constituer un vecteur énergétique de l'avenir. En effet, d'une part les réserves de carburants fossiles ne sont pas éternelles et d'autre part on sait que le moteur à hydrogène est beaucoup plus respectueux de l'environnement que le moteur thermique, puisqu'il permet d'éviter les émanations de gaz carbonique et l'effet de serre. Le cœur du moteur à hydrogène est une pile à combustible qui fonctionne suivant le modèle d'une centrale électrique, avec un apport d'hydrogène et d'oxygène, l'oxygène étant prélevé directement dans l'air extérieur. Au contact chimique de l'oxygène, l'hydrogène produit de l'eau. Ce processus dégage de l'énergie sous forme d'électricité qui fait tourner le moteur [5].

Ce type d'énergie renouvelable dépend de l'élément suivant :

I.5.1.Les électrolyseur

Un électrolyseur est l'appareil inverse de la pile à combustible. L'électrolyseur dispositif qui génère de l'hydrogène, est une cellule électrolytique qui est alimentée par un courant électrique provenant d'une source externe (system hybride). Il décompose l'eau en hydrogène et oxygène lorsqu'il est électriquement aliment afin de produire la réaction d'oxydoréduction électrochimique.

Les électrolyseurs à membrane ont de mauvaises performances de cellules Par contre, leur contrôle est plus simple. Il est préférable d'utiliser un électrolyseur haute

pression afin d'éviter l'utilisation d'un compresseur énergivore pour réduire la taille de l'unité de stockage de gaz [27].

Dans l'anode apparaissent des atomes d'oxygène, des protons et des électrons; tandis que dans la cathode se produit une réaction de réduction dans laquelle les protons (H +) forment avec les électrons des molécules d'hydrogène gazeux [28]. Les pièces qui constituent un électrolyseur sont les suivantes: deux plaques qui fonctionnent comme anode et cathode ; deux mailles qui distribuent le courant électrique; deux diffuseurs de gaz et les électrodes à membrane (MEA), c'est-à-dire la structure principale de l'électrolyseur [27].

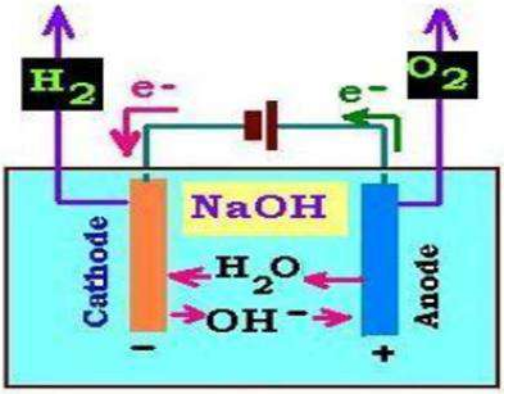


Figure I.16.principe du travail d'électrolyse généralement

Les principaux aspects de l'utilisation des électrolyseurs sont qu'ils pourraient être couplés aune source d'énergie renouvelable et diminuer ainsi l'émission de contaminants atmosphériques [28].Les électrolyseurs alcalins ont de très bonnes performances au niveau des cellules (rendement potentiel : 80 %, rendement faradique : 99 %) mais le périphérique nécessaire induit une fort consommation intrinsèque.

I.5.2.Réservoir d'hydrogène

L'hydrogène peut être stocké sous forme gazeuse ou liquide. Sous forme gazeuse, c'est l'hydrogène comprimé à une pression de 200-300 bar, densité proche11 kg / m3. Le principal problème avec ce type de stockage est la faible densité volumique diverses applications. Sous forme liquide, l'hydrogène est d'abord liquéfié avant d'être stocké.

La densité de l'hydrogène liquéfié est estimée à 71 kg / m3, ce qui est atteint exigences d'application dans divers secteurs (R. Baudriers, 2010). L'hydrogène est préféré il est stocké sous forme liquide au lieu de forme gazeuse. [30]

I.5.3.pile à combustible

Une pile à combustible est un dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique du combustible directement en énergie électrique à haut rendement et à faible impact environnemental. Les piles à combustible utilisent de l'hydrogène combustible primaire et oxygène comme agent oxydant. La réaction de l'hydrogène et de l'oxygène génère de l'électricité et leur mélange forme de l'eau. La pile à combustible se compose de deux électrodes (anode et cathode) séparée par l'électricité.

Une pile à combustible est un type de stockage d'énergie. Dans son principe de fonctionnement de base, il se comporte comme une batterie mais il en diffère en raison de la régénération continue du substrat qui permet la continuité traiter. De manière générale, il existe différents types de combustibles et d'oxydants qui doivent être manipulés par la pile à combustible est mais la plus largement utilisée aujourd'hui est l'hydrogène comme réactif et l'air ambiant comme agent oxydant. [30]

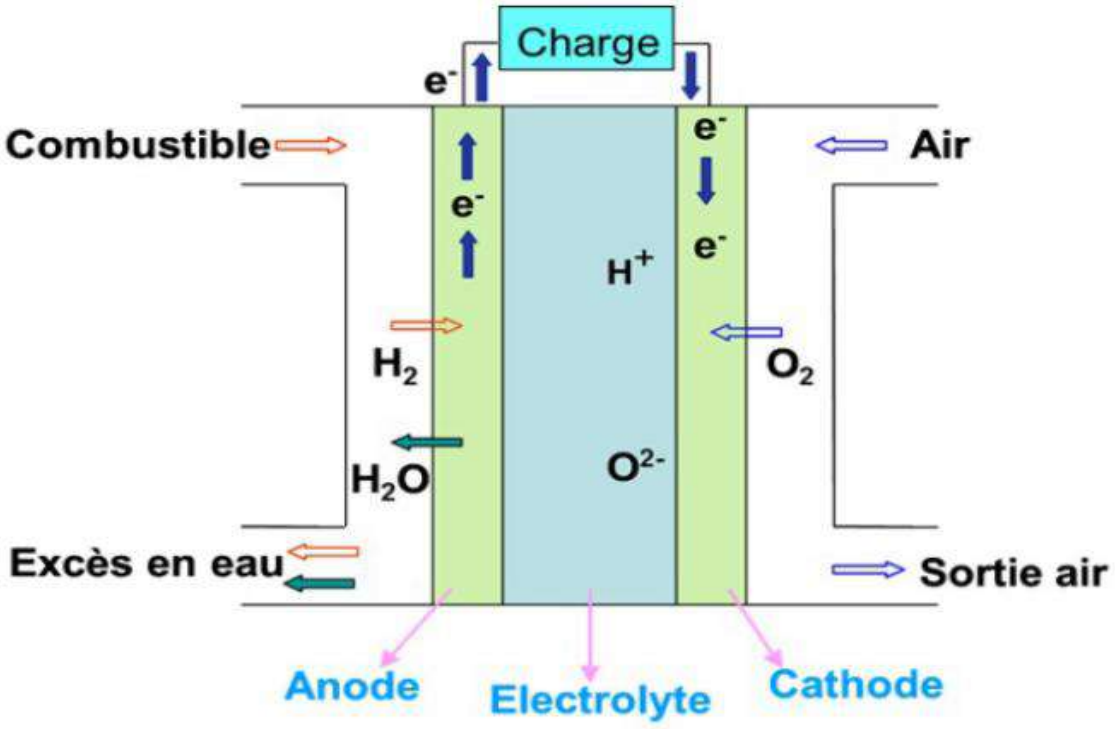


Figure I.17. Schéma de fonctionnement de la pile à combustible [31]

I.6.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni une description générale des différentes méthodes de production d'énergie électrique à partir de sources renouvelables. Nous avons également présenté les différents concepts qui entrent dans la conception énergétique: le solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne et l'énergie hydrogène de pile combustible. D'autre part, nous avons discutés tous les composants de ces systèmes photovoltaïques et éoliens, en plus de leurs principes de fonctionnement, ce qui permet de présenter l'analyse du système hybride constitué de ces systèmes.

chapitre II.Modélisation des composant du système hybride

II.1.Introduction

La modélisation est une représentation mathématique d'un phénomène physique (réel). Elle permet est de prendre en compte l'évolution des différentes conditions météorologiques données ou estimées qui caractérisent ses performances sur une longue période.

Ainsi, dans ce chapitre nous présenterons la sélection des composants du système, et la modélisation du système hybride éolien-pv-batteries en utilisant des modèles mathématiques de type ≪ entrée-sortie ≫ élaboré, permettant de calculer la puissance électrique produite à partir de la variation d'énergie de ce dernier. Dans tous les cas, nous utiliserons des modèles de la littérature.

II.2.Le choix des composants :

II.2.1.Caractéristiques technique de chaque composant :

Tableau II.1. Tableau technique du Panneau solaire choisi

Générateur PV (VICTRON 330)	Valeur
Puissance max Pmpp	330 W
Courant à puissance max. Impp	8.86 A
Tension à puissance max. Vmpp	37.3 V
Courant de court-circuit Isc	9.57 A
Tension en circuit ouvert Voc	44.72 V
Rendement de puissance	10 ans 90% + 25 ans 80%
Coefficient de température de Voc (%)	-0,35/°C
Coefficient de température d'Isc (%)	+0,04/°C
Coefficient de température de Pmpp (%)	-0,45/°C
Résistance aux impacts (grêle)	23 m/s, 7,53 g
Nombre de cellules couplées en série	72
Température de fonctionnement	-40°C à +85°C
Type de cellules	Poly cristallin

Tableau II.2. Tableau technique du convertisseur choisi.

Convertisseur (VICTRON Phoenix)	**Valeur**
Puissance du convertisseur à 25°C / 40°C	2500 / 2250 W
Rendement	94%
Tension d'entrée	12V/24V/48V
Tension de sortie	230V
Température de fonctionnement	-20 à +50 °C

Tableau II.3. Tableau technique de la batterie choisie

Hoppecke 20 OPzS	**Valeur**
La capacité nominale	2500Ah
Tension nominale	12V
Température de fonctionnement	Décharge -20°C 60°C
	Charge 0 °C 50°C

Tableau II.4. Tableau technique de l'éolienne choisie.

Eolienne (Whisper 200)	**Valeur**
Diamètre rotor	2.7m
Poids	39.46 kg
Vitesse de vent de démarrage	3,1m/s
Vitesse de vent maximum	55 m/s
Puissance nominale	1000W
Nombre de pales	3

Tableau II.5.Tableau technique de l'électrolyseur choisie.

Electrolyseur (Gensalt OT 10)	**Valeur**
Puissance max	200 W
Pression maximal autorisée dans la cellule	2.75 bar (KPa)
Température maximum de l'eau	40°C
Température minimal de l'eau	5°C
Alimentation Hz	220-240 VAC/50Hz
Garantie	2 ans

Tableau II.6. Tableau technique de réservoir d'hydrogène choisie.

Réservoir d'hydrogène	**Valeur**
Dimension (L*W*H)	5*4*3.5m
Poids	2 tonnes
Capacité	100m^ 3
Durée de vie	10-15 ans

Tableau II.7. Tableau technique de pile combustible choisi.

Pile combustible (G-HFCS-6kW)	**Valeur**
Puissance	6000 W
Tension nominal	72V
Courant nominal	83.8A
Rendement	>=50%
Poids du system	16.45kg
Poids de la pile	9.84kg
Température ambiante de stockage	-10 à +50°C
Pression de l'hydrogène	0.04 – 0.06 MPa
Consommation d'hydrogène	70L/min
Pureté de l'hydrogène	>99.99
Durée de vie	20 ans

II.2.2.Caractéristiques économique de chaque composant :

Générateur PV (VICTRON 330)

- Capitale : 275.072$
- Cout de remplacement : 0$
- Cout de Maintenance : 35.6$
- Durée de vie : 25 ans

Convertisseur (VICTRON Phœnix)

- Capitale : 1491.3057$
- Cout de remplacement : 0$
- Cout de Maintenance : 8$
- Durée de vie : 20 ans

Batterie (plomb ouvert EXIDE OPzS Solar)

- Capitale : 1755.66$
- Cout de remplacement : 10$
- Cout de Maintenance : 1.5$
- Durée de vie : 15 ans

Eolienne (Whisper 200)

- Capitale : 33985.02$
- Cout de remplacement : 0 $
- Cout de Maintenance : 20 $
- Durée de vie : 20 ans

Electrolyseur (Gensalt OT 10)

- Capitale : 1134.72 $
- Cout de remplacement : 0 $
- Cout de Maintenance : 25 $

Réservoir d'hydrogène

- Capitale : 1000$
- Cout de remplacement : 150$
- Cout de Maintenance : 30$

Pile combustible (G-HFCS-6kW)

- Capitale : 27062$
- Cout de remplacement :0$
- Cout de Maintenance : 1$

II.3.Modélisation des composants du système

II.3.1.Les panneaux photovoltaïque

La puissance d'un système PV (p_{PV}) au temps t peut être obtenue en le rayonnement solaire comme la formule suivante Modèle du module PV [32]

$$P_{PV}(t) = I(t) \times A \times \eta_{PV} \quad (1)$$

Où I est le rayonnement solaire, A désigné la zone PV etη_{PV} est l'efficacité du système PV et du convertisseur. Si l'on considère un système avec des panneauxN_{PV} , la puissance totale produite est [32]

$$P_{PV}(t) = N_{PV} \times p_{PV}(t) \quad (2)$$

II.3.2. Les Éolienne

Pour une éolienne, si la vitesse du vent dépasse la vitesse d'enclenchement, l'éolienne commence à produire de l'énergie. Si la vitesse du vent est égale ou supérieure à la vitesse nominale du vent de l'éolienne, le générateur produira une puissance constante. Cependant, si la vitesse du vent dépasse la vitesse de coupure de l'éolienne, l'éolienne cesse de générer pour protéger l'éolienne et le composant contre les dommages. (La puissance générée à partir de chaque temps t de l'éolienne est estimée par [33 ,34]

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0 \\ P_{r-wt} \frac{V(t)-V_{cut-in}}{V_r - V_{cut-in}} \\ P_{r-wt} \end{cases} \quad (3)$$

Sujet à $V(t) \leq V_{cut-in}$ OR $V(t) \geq V_{cut-out}$

$V_{cut-in} < V(t) < V_r$

$V_r < V(t) < V_{cut-out}$

Où $V(t)$ est la vitesse du vent au temps *t* (m/s),P_{r-wt} est la puissance nominale de l'éolienne en kW, et,$V_{cut-out}$,V_{cut-in} et Vr sont respectivement la vitesse de coupure, V_{cut-in}et la vitesse nominale de l'éolienne (m / s). Si le nombre d'éoliennes est N_{Wt}, alors la puissance totale produite est modélisée comme [32]

$$P_{wtotal}(t) = N_{Wt} \times P_{Wt}(t) \quad (4)$$

II.3.3 Pile à combustible (FC) / électrolyseur

Dans le système hybride éolien / PV et pile à combustible, le système de stockage fonctionne dans les conditions suivantes: si la puissance générée par le vent est supérieure à la demande de charge au temps t, alors l'électrolyseur sera permis de générer de

l'hydrogène pour remplir le réservoir d'hydrogène. (La quantité d'hydrogène à stocker dans le réservoir d'hydrogène est estimée comme suit: [35]

$$E_{stor}(t) = E_{stor}(t-1) + \left[(E_{PV}(t) \times \eta_{inv}) + (E_{wt}(t) \times \eta_{inv}) - \frac{E_{Load}(t)}{\eta_{inv}}\right] \times \eta_{Elect} \quad (5)$$

Où $E_{stator}(t)$ et$E_{stator}(t-1)$ sont l'énergie stockée dans les réservoirs d'hydrogène au temps (t) et (t – 1) en kWh, respectivement,E_{Load} est la demande de charge électrique en kWh, η_{inv} est le rendement de l'onduleur, et η_{Elect} est l'efficacité de l'électrolyseur.

Lorsque la demande de charge électrique sur l'éolienne est insuffisante, la pile à combustible est utilisée pour fournir la demande supplémentaire nécessaire à la charge électrique. (Par conséquent, la quantité d'hydrogène stockée dans les réservoirs d'hydrogène à l'heure t est calculée selon l'équation suivante:

$$E_{stor}(t) = E_{stor}(t-1) \; - \frac{[(E_{Load}(t)/\eta_{inv}) - (E_{PV}(t) \times \eta_{inv}) + (E_{wt}(t) \times \eta_{inv})]}{\eta_{FC} \times \eta_{inv}} \quad (6)$$

Où η_{FC} est le rendement de la pile à combustible qui est estimé à l'aide de l'équation suivante:

$$\eta_{FC} = \frac{3.6(P_{Gen})}{(F_0 + F_1 P_{Gen}) LHV_{Hydogen}} \quad (7)$$

Pour garantir les conditions d'utilisation de l'hydrogène par le générateur à pile à combustible, la courbe de combustible est ajustée pour suivre la l'hydrogène produit par l'électrolyseur sur la base de l'équation suivante:

$$F = F_0 Y_{Gen} + F_1 Y_{Gen} \quad (8)$$

La génération de piles à combustible est simulée pour une optimisation complète tout au long de l'année. Cela signifie que la génération de piles à combustible supposent des périodes de faible génération d'éoliennes, mais cela ajuster la puissance de sortie pour maintenir 100% d'hydrogène fraction.

Électrolyse de l'eau. L'électrolyse de l'eau est le processus de diviser l'eau en hydrogène oxygène gazeux en passant courant continu dans l'eau à l'aide d'électrodes. Renouvelable l'hydrogène peut être produit en utilisant les ressources renouvelables à travers électrolyse de l'eau décrite comme une ER verte émergente La technologie. (Le processus d'électrolyse est exprimé comme suit:

$H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2, \Delta\Delta H^{\circ}$=286Kj/mol at 25 °C, 1ba (9)

Le schéma de principe de la figure II.1 illustre la configuration pour production d'hydrogène

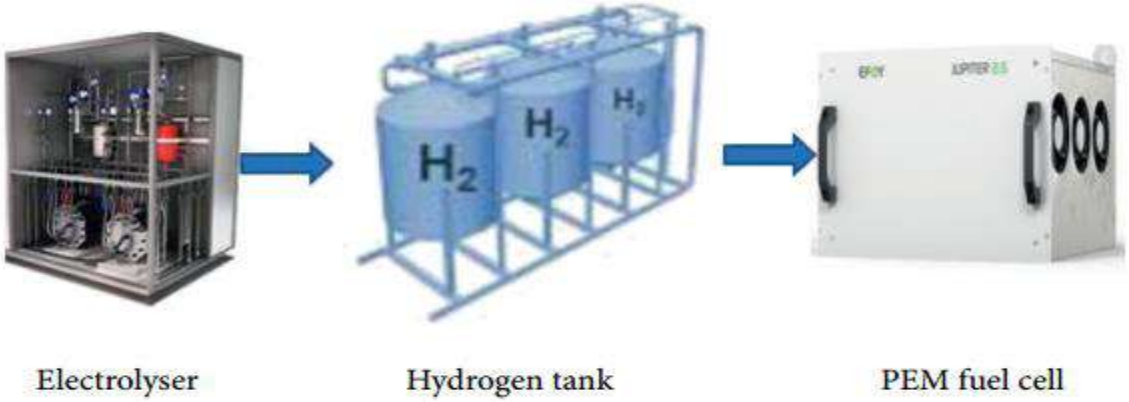


Figure II.1. Schéma de principe de la pile à combustible /électrolyseur

II.3.4. Les batteries

En raison de la nature intermittente de ressources éoliennes, les systèmes de stockage de batteries sont devenus une partie commune de la plupart des configurations hybrides RE. (Batterie les changements du système de stockage en réponse au système hybride configuration. L'état de charge de la batterie est obtenu comme suit: lorsque la puissance totale de l'éolienne est supérieure à la demande de charge, la batterie est commutée sur état de charge utilisant l'énergie excédentaire produite par le vent turbine à charger. e quantité de charge de la batterie à le temps t est estimé comme suit [36] :

$$E_{Batt}(t) = E_{Batt}(t-1) \times (1-\sigma) + [(E_{PV}(t) \times \eta_{inv}) + (E_{wt}(t) \times \eta_{inv}) - \frac{E_{Load}(t)}{\eta_{inv}}] \times \frac{\eta_{BC}}{\eta_{inv}} \quad (10)$$

Où

$E_{Batt}(t)$ Et $E_{Batt}(t-1)$ sont la quantité de charge de le stockage de la batterie au temps t et $(t-1)$ en kWh, respectivement,η_{inv} est le rendement de l'onduleur, η_{BC} est le rendement de charge du système de stockage de batterie, et σ est l'autodécharge horaire taux.

Lorsque la puissance totale de l'éolienne et PV est inférieure à celle de la demande, la batterie passe à l'état de décharge et comble la pénurie

II.3.5.Les convertisseurs

Les différents appareils électriques de notre système ne fonctionnent pas à la même tension ou ne sont pas du même type : nous avons le courant continu (Direct Current : DC) ou le courant alternatif (Alternating Current : AC). Nous devons donc insérer des convertisseurs DC/AC et/ou DC/DC (éleveur ou abaisseur de tension) afin de pouvoir les connecter entre eux. Et il exprime le rendement de conversion, pour tous types de convertisseurs, selon l'équation suivante [37]

$$\eta_{Conv} = \frac{P_S}{P_E} \tag{11}$$

Avec

η_{Conv} Rendement de conversion du convertisseur (%)

P_E Puissance en entrée du convertisseur (W)

P_S Puissance en sortie du convertisseur (W)

Où

$$P_E = P_S + P_{Pertes} \tag{12}$$

La puissance électrique perdue P_{Pertes} (W) peut donc s'exprimer en fonction de PS selon la relation suivante : [37]

$$P_{Pertes} = P_S\left(\frac{1}{\eta_{Conv}} - 1\right) \tag{13}$$

En appelant

$$\eta_{Pertes} = \frac{P_{Pertes}}{P_{Nom}} \tag{14}$$

Avec

P_{Nom} Puissance nominale du convertisseur (W) et

$$\eta = \frac{P_S}{P_{Nom}} \tag{15}$$

On obtient:

$$\eta_{Conv} = \frac{\eta}{\eta + \eta_{Pertes}} \tag{16}$$

On définit le rendement de pertes η_{Pertes} par l'équation. (Les pertes par chute de tension étant négligées): [37]

$$\eta_{Pertes} = \eta_0 + m.\eta^2 \quad (17)$$

Avec

η_0 Pertes à vide du convertisseur (-)

m Pertes résistives du convertisseur (-)

On obtient finalement (II-17) le rendement du convertisseur : [37]

$$\eta_{Conv} = \frac{\frac{P_S}{P_{Nom}}}{\frac{P_S}{P_{Nom}} + \eta_0 + m\left(\frac{P_S}{P_{Nom}}\right)^2} \quad (18)$$

Où les paramètres η10 et η100 sont définis de la manière suivante :

$$\eta_0 = \frac{\frac{10}{\eta_{10}} - \frac{1}{\eta_{1à0}} - 9}{99} \quad (19)$$

Et

$$m = \frac{1}{\eta_{10}} - \eta_0 - 1 \quad (20)$$

En connaissant les valeurs du rendement à 10% et à 100% de la puissance nominale (η_{10} et η_{100}), on détermine les valeurs des deux paramètresη_0 et m qui permettent de calculer le rendement du convertisseur pour toutes les puissances délivrées. Nous considérons que la puissance nominale du convertisseur est la puissance maximale que celui-ci peut délivrer.

II.4.Paramètres économique pour système d'énergie renouvelable hybride

Dans HOMER, le taux d'intérêt annuel est un paramètre d'entrée nécessaire. Le taux d'intérêt annuel peut être estimé comme suit:

$$i = \frac{i_0 - f}{1 + f'} \quad (21)$$

Où

i est le taux d'intérêt.

i_0 est le taux d'intérêt nominal.

f est le taux d'inflation par ans.

II.4.1.Coût de l'énergie (COE)

Le coût actualisé de l'énergie est le coût moyen de l'énergie électrique utile produite par le système hybride. Le coût actualisé de l'énergie peut être estimé à l'aide de l'équation suivante:

$$COE = \frac{NPC \times CRF}{E_{ann,tot}} \quad (22)$$

Où

COE est le coût actualisé de l'énergie en dollars,

NPC est la valeur actuelle net,

$E_{ann,tot}$ Est la charge électrique annuelle demandée par la charge et CRF est le facteur de récupération du capital. La valeur du CRF peut être estimée à l'aide de l'équation suivante:

$$CRF(i,N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (23)$$

II.4.2.Valeur actuelle net (NPC)

La NPC est définie comme la valeur actuelle du coût initial et de fonctionnement de l'hybride sur la durée de vie du système. On peut également supposer qu'il s'agit du coût du cycle de vie du système. La durée de vie du système hybride dans cette étude est de 25 ans. La (NPC) est donc un paramètre de sortie important pour déterminer la faisabilité économique de tous les systèmes. HOMER classe les systèmes ER en fonction de la NPC du système. L'équation suivante peut être utilisée pour trouver la NPC du système hybride

$$NPC = C_{in} + C_{rep} + C_{O\&M} + PV_{sal} \quad (24)$$

Où

$\boldsymbol{C_{in}}$: le coût initial en capital.

$\boldsymbol{C_{rep}}$: le coût de remplacement.

$C_{O\&M}$:le coût d'exploitation et d'entretien.

$\boldsymbol{PV_{sal}}$: la valeur actuelle de récupération du système hybride.

Le coût en capital initial du système hybride ($\boldsymbol{C_{in}}$) est déterminé à l'aide de l'équation suivante:

$$C_{in} = (C_{PV} \times C_{Unit,PV}) + \left(WT_p \times P_{r-wt} N_{wt}\right) + (E_{Batt} \times B_P) + \left(Inv_p \times Inv_r\right) + (FC_P \times FC_r) + (ELZ_P \times ELZ_r) + \left(H_{2Tp} \times H_{2Tr}\right) \quad (25)$$

Où

WT_p est le prix de l'éolienne par kW ($ / kW).

E_{Batt} est la capacité de la batterie (kWh).

B_P est le prix de la batterie ($ / kWh).

$C_{PV}, C_{Unit,PV}$ Sont respectivement, la capacité totale (kW) et le coût unitaire ($/kW) du générateur PV.

Inv_p est le prix de l'onduleur ($ / kWh).

Inv_r est la capacité de l'onduleur (kW).

FC_P est le prix de la pile à combustible ($ / kW).

FC_r est la capacité de la pile à combustible en KW.

ELZ_P est le prix de l'électrolyseur ($ / kW).

ELZ_r est la capacité de l'électrolyseur en KW.

H_{2Tp} est le prix du réservoir d'hydrogène ($ / kg).

H_{2Tr}et correspond à la capacité du réservoir d'hydrogène en kg.

Le coût de remplacement du système d'énergie renouvelable hybride est estimé à l'aide de l'équation suivante [38,39].

$$C_{rep} = \sum_{i=1}^{N_{rep}} \left(C_{RC} \times C_U \times \left(\frac{1+i}{1+r}\right)^{N \times (i/N_{rep}+1)}\right) \quad (26)$$

Où

N_{rep} est le nombre de remplacements.

C_{RC} est la capacité de l'unité de remplacement (kW pour l'éolienne, l'onduleur, générateur PV, la pile à combustible et l'électrolyseur; kWh pour le système de stockage sur batterie et kg pour le réservoir d'hydrogène).

C_U est le coût unitaire de remplacement ($ / kW pour l'éolienne, générateur PV, la pile à combustible, l'électrolyseur et l'onduleur, $ / kWh pour la batterie et $ / Kg pour le réservoir d'hydrogène).

N_{rep} est le nombre de composants de remplacement sur la durée de vie du projet.

$C_{O\&M}$ est le coût d'exploitation et de maintenance du système hybride, exprimé dans l'équation suivante [40]

$$C_{O\&M} = C_{O\&M0} \times (\frac{1+i}{1-r}) \times (1 - \left((\frac{1+i}{1+r})^N\right) r \neq 1$$

$$C_{O\&M} = C_{O\&M0} \times Nr = 1 \quad (27)$$

La valeur de récupération actuelle du composant dans le système hybride est déterminée à l'aide de l'équation suivante [41]

$$\mathrm{PV_{sal}} = \sum_{i=1}^{N_{rep+1}} \mathrm{V_{sal}} \times ((\frac{1+r}{1+r})^{N\times(i/N_{rep}+1)}) \quad (28)$$

Ou

PV sal : est la valeur de récupération des composants de système d'énergie hybride.

II.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé où choisi chaque composant du système hybride éolien-PV-batteries-pile à combustible-électrolyseur-réservoir d'hydrogène. Ainsi, la modélisation nous a permis de représenter le comportement du système étudié sous forme d'équations mathématiques afin d'évaluer la caractéristique de chaque élément constituant notre installation.

D'autre part, nous avons abordé les lois économiques telles que NPC et COE.

chapitre III.Présentation de logiciel

« HOMER »

III.1. Introduction

Étant donnés les différents efforts des dernières années à travers le monde pour diminuer la dépendance au pétrole, beaucoup de ressources ont été mises de l'avant pour développer les énergies renouvelables et principalement, l'énergie solaire photovoltaïque. Cette énergie est en forte croissance partout à travers le monde. Les outils comme les logiciels font partie des grandes réalisations concernant cette énergie à promouvoir.

De nombreux logiciels existent maintenant pour modéliser, optimiser ou dimensionner les différents systèmes conçus à partir de l'énergie renouvelable. Beaucoup de ces logiciels sont spécialisés pour un type d'énergie particulier. Il en existe un bon nombre pour le solaire photovoltaïque [44]

III.2.Présentation du logiciel HOMER

HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. Il permet de faire des simulations de systèmes avec des énergies renouvelables et avec des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou fossile. La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions [45].

Tableau III.1. Significatif de logiciel HOMER ci-dessous

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

III.3.Principal caractéristiques

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

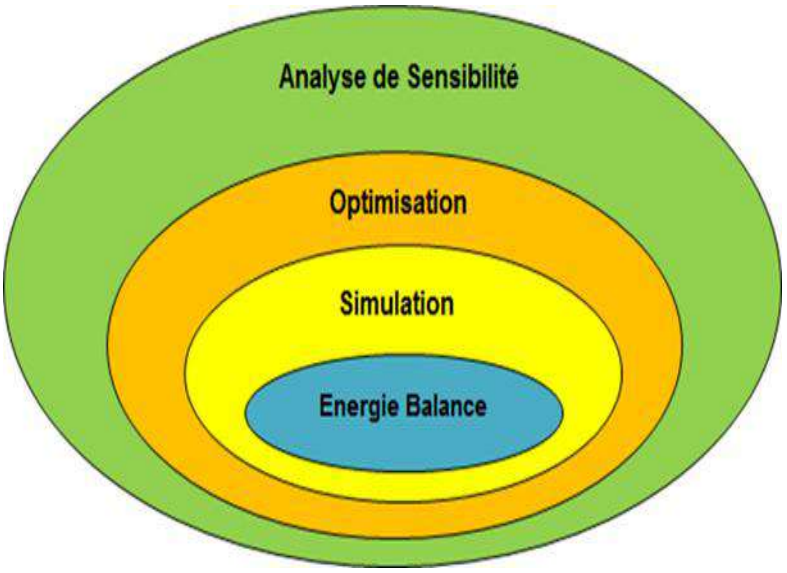


Figure III.1. Modèle conceptuel du logiciel HOMER.

Le logiciel permet de faire la simulation d'un système selon des données de gisement (solaire, éolien, diesel, etc.) en fonction d'une demande énergétique (besoins en énergie). Par la suite, il est possible d'analyser plusieurs configurations différentes pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût. Le logiciel simule toutes les configurations demandées et donne la meilleure solution, la solution la moins chère, parmi celles-ci. Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés (variation du coût de la technologie, variation dans les données de gisement, etc.). Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.

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

- Panneaux solaires photovoltaïques
- Éoliennes
- Barrage hydroélectrique au fil de l'eau,
- Biomasse
- Génératrices (diesel , essence ,biogaz ,combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, Co alimentées),
- Réseau électrique,

- Micro turbines
- Piles à combustible.

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

- Banque des batteries
- Volants d'inertie
- Flow batteries
- Hydrogène

On peut aussi entrer divers types de besoins énergétiques :

- Profils de consommation journaliers avec des variations selon les saisons
- charge différée pour le pompage d'eau ou pour la réfrigération
- charge thermique
- mesures d'efficacité énergétique

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

III.4. Interfaces

Le logiciel HOMER est facile à utiliser et son interface est similaire aux logiciels usuels, il est donc muni d'un menu dans le haut ainsi que des icônes que l'on peut utiliser sans aller dans les menus. On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois zones importantes comme indiqué sur la Figure(III.3) : la zone de définition du système, celle des ressources et celle des résultats

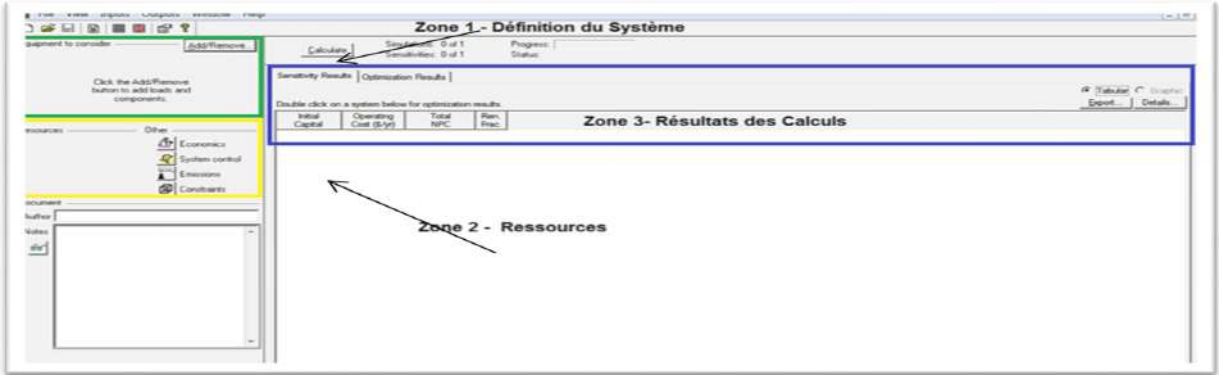


Figure III.2. Interface HOMER – Fichier vierge.

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

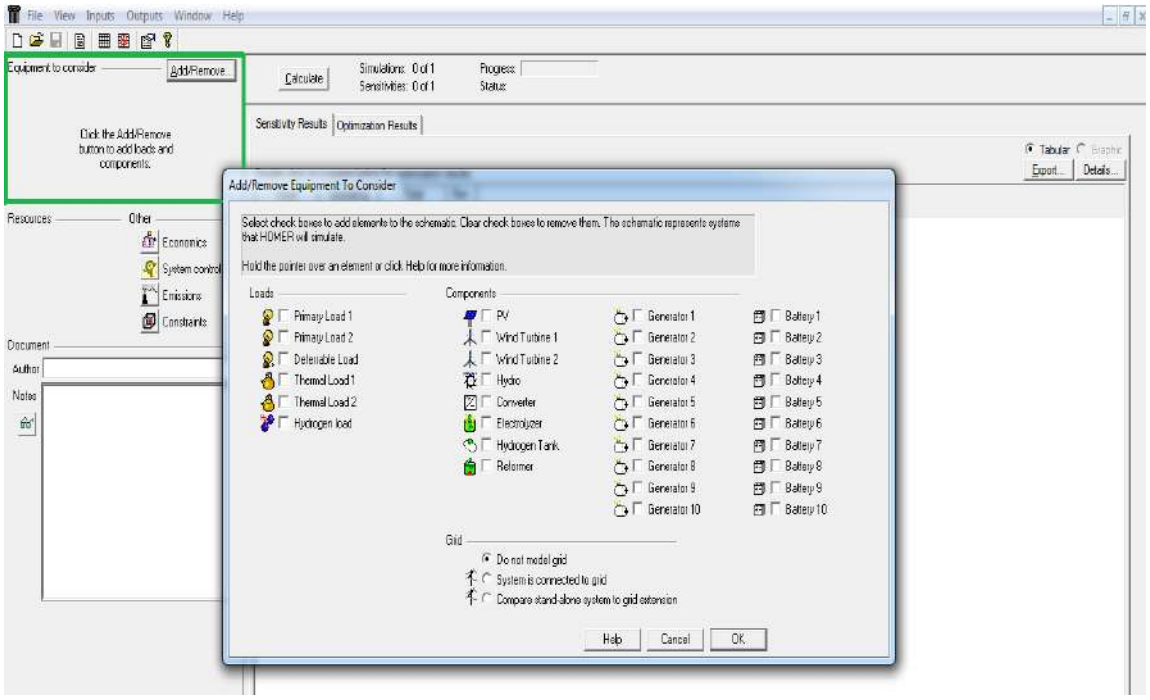


Figure III.3. Interface HOMER – Équipements à ajouter.

Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la zone 1 de définition du système comme à la Figure .et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles, dans la zone 2 de définition des ressources comme à la Figure **(**III.4)

.

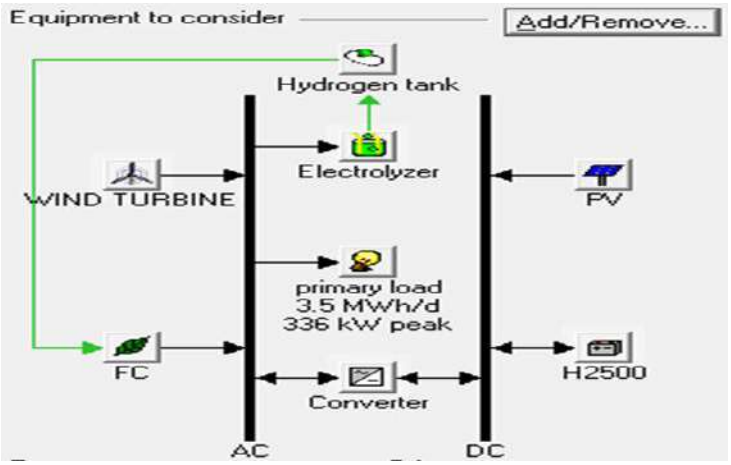


Figure III.4. Interface HOMER – Équipements sélectionnés

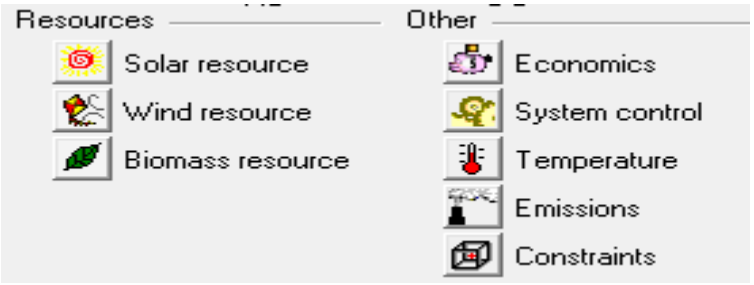


Figure III.5. Interface HOMER – Équipements sélectionnés

Dans ces deux zones, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir ; ce sont les données à fournir pour faire une simulation. Les données d'entrée pour le présent projet seront définies dans la zone 4. Une fois ces données sont entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l'icône comme il est illustré dans la Figure (III.6).

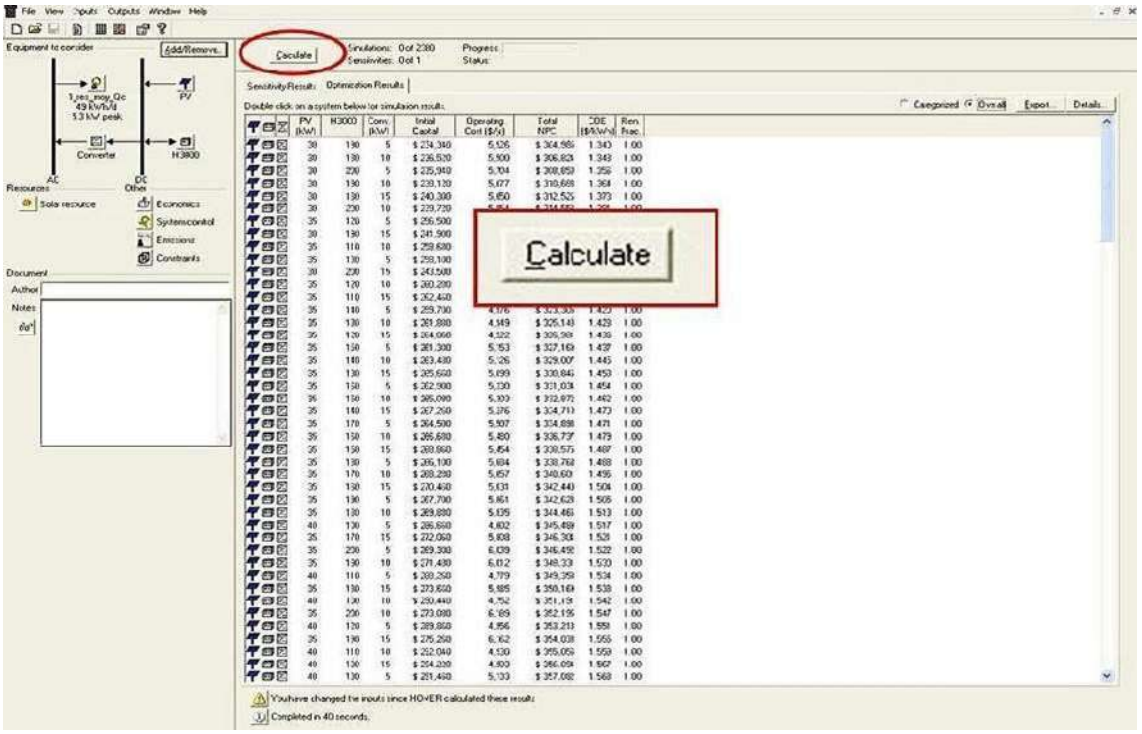


Figure III.6. Interface HOMER – Fichier complété

Lorsque le calcul est complété, les résultats apparaissent et la solution la plus économique est la première comme illustré à la Figure (III.7). Un résumé du système et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.

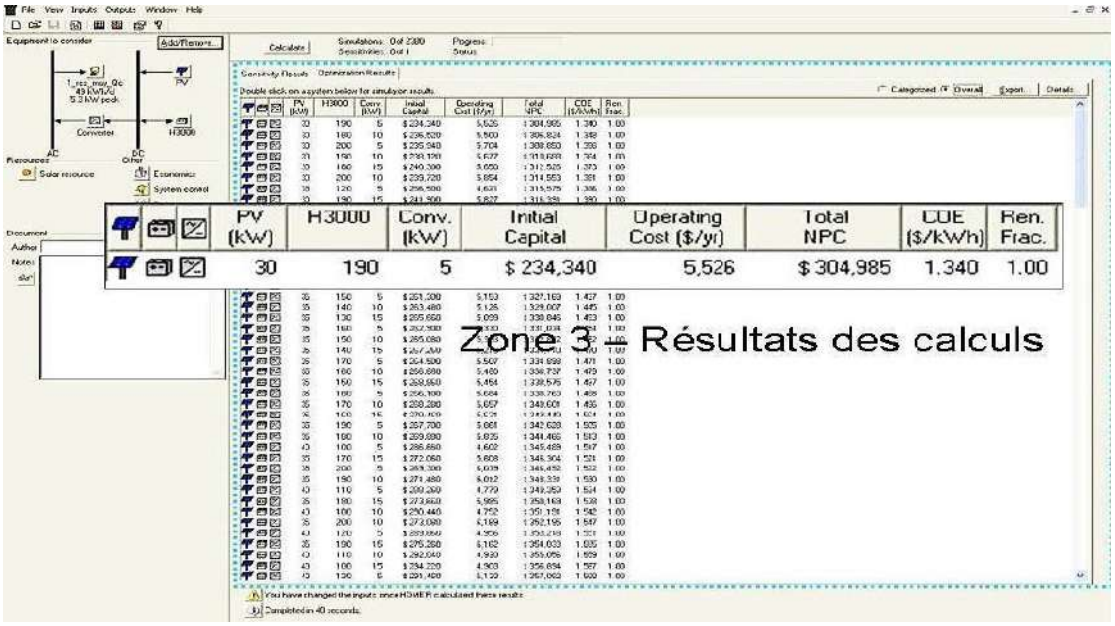


Figure III.7.Interface HOMER – Résultats des calculs

III.5. Données d'entrée

Les données à faire entrer sont celles reliées à la zone 1 et 2 du logiciel HOMER. Il s'agit de données reliées à la consommation énergétique, aux équipements (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, génératrices, onduleurs, batteries ou autres équipements) et aux ressources nécessaires comme les données de gisement solaire ou éolien, aussi bien que les données reliées au combustible utilisé par la génératrice. Dans la zone 2 des ressources, il y a aussi certains paramètres économiques que l'on peut modifier. D'autres paramètres permettent différents contrôles du système (surtout au niveau de la simulation des banques de batteries et des génératrices). Dans la zone des ressources, on peut aussi mettre des pénalités monétaires pour les émissions émises ou bien un seuil limite d'émissions à ne pas dépasser lorsque la simulation sera effectuée. Finalement, certaines contraintes peuvent être exigées comme une fraction minimale d'énergie renouvelable à avoir dans le système ou encore accepter un certain pourcentage de 34 déficits en énergie. Une fois toutes les sections remplies, Figure (III.8), on peut lancer la simulation en cliquant sur l'icône « calculer ».

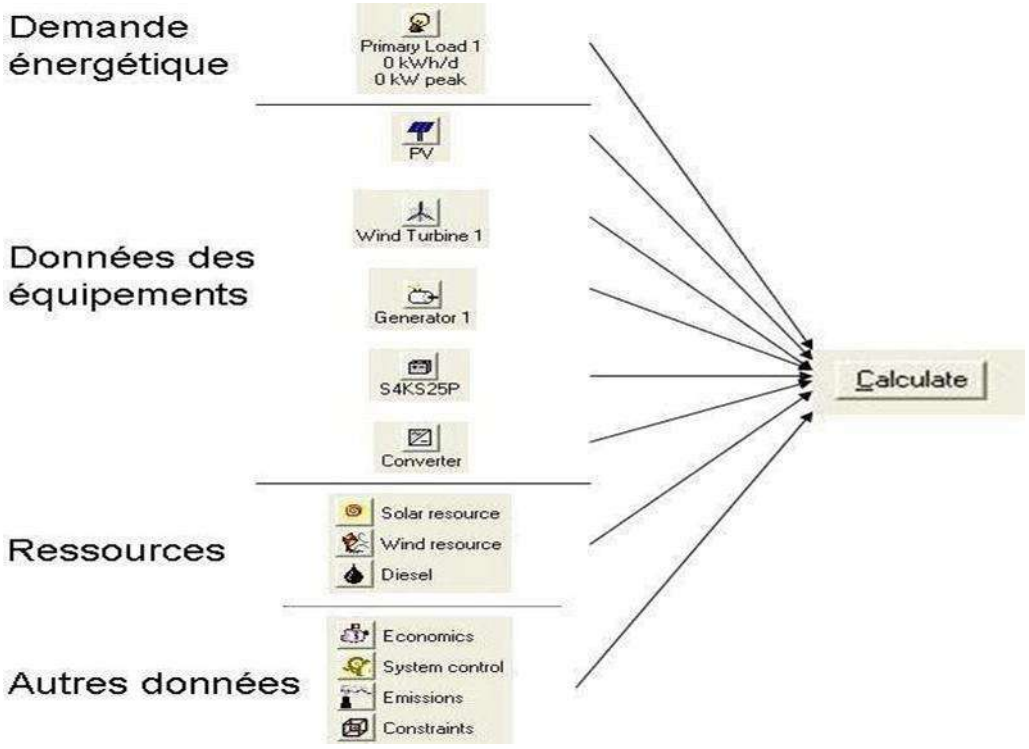


Figure III.8. Données à fournir.

III.6. Résultats pouvant être obtenus

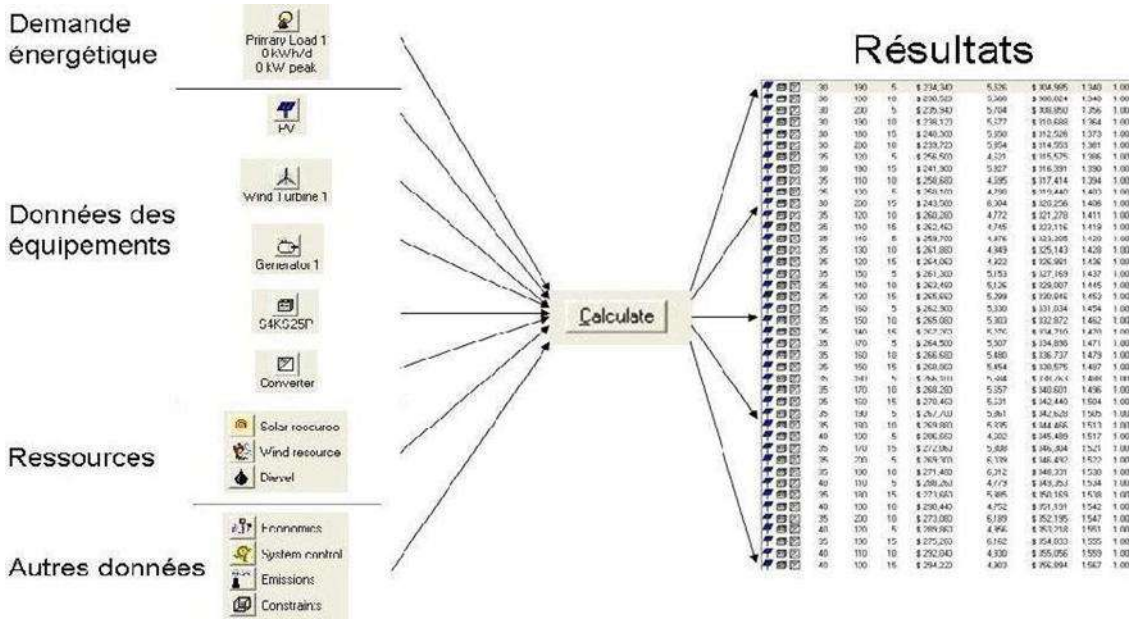


Figure III.9.Résultats obtenus après simulation**.**

Une fois toutes les données ont été entrées et la simulation lancée, on obtient de nombreux résultats comme illustré à la Figure (III.9). Etant donné qu'il est possible de faire entre de nombreuses configurations différentes pour un même type de système, il est possible de visualiser la liste des résultats de deux façons : « Categorized » et « Overall». Si on choisit l'option « Categorized», la liste présente l'option la plus économique pour chaque catégorie de système et donc par type de système. Par exemple, HOMER affichera seulement la meilleure option pour un système de type photovoltaïque avec batteries même si la simulation a été faite selon plusieurs configurations différentes (différents nombres de panneaux, différents nombres de batteries). Pour l'option «Overall», HOMER affiche tous les systèmes sur la même liste. Le premier résultat affiché est le plus économique parmi tous les types de systèmes simulés. Il est donc important d'optimiser chaque type de système afin d'éliminer les systèmes qui ne sont pas viables. Pour ce faire, on effectue plusieurs simulations dans le but de converger vers un système optimal pour chaque type de système.

Il est très important de se rappeler que le premier résultat donné par HOMER dans la liste des résultats est toujours le système le plus économique trouvé selon « *Net Present Cost*» (coût à valeur actuelle) parmi tous les systèmes et toutes les configurations simulés.

Comme mentionné précédemment, les résumés des systèmes et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.

Un exemple de résumé est montré à la Figure (III.10**)**. On y retrouve les informations suivantes : icônes des équipements du système (partie 1) et leur capacité ou le nombre de batteries (partie 2), l'investissement initial devant être fait (partie 3), les coûts d'opération par an (partie 4), le coût total du système à la valeur actuelle (partie 5), le coût de l'énergie en $/kWh (partie 6) et finalement, la proportion d'énergie renouvelable utilisée dans le système (partie 7).

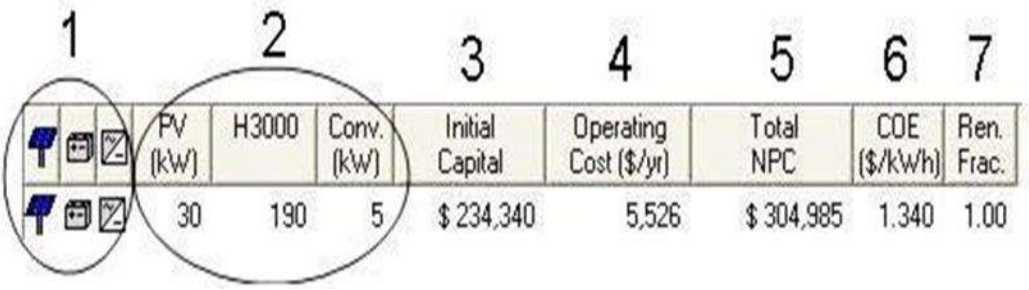


Figure III.10.Résumé des résultats.

Pour plus de détails sur les différents résultats obtenus dans HOMER, il faut cliquer sur le résultat désiré et une fenêtre, Figure (III.11), s'ouvre avec plus d'informations.

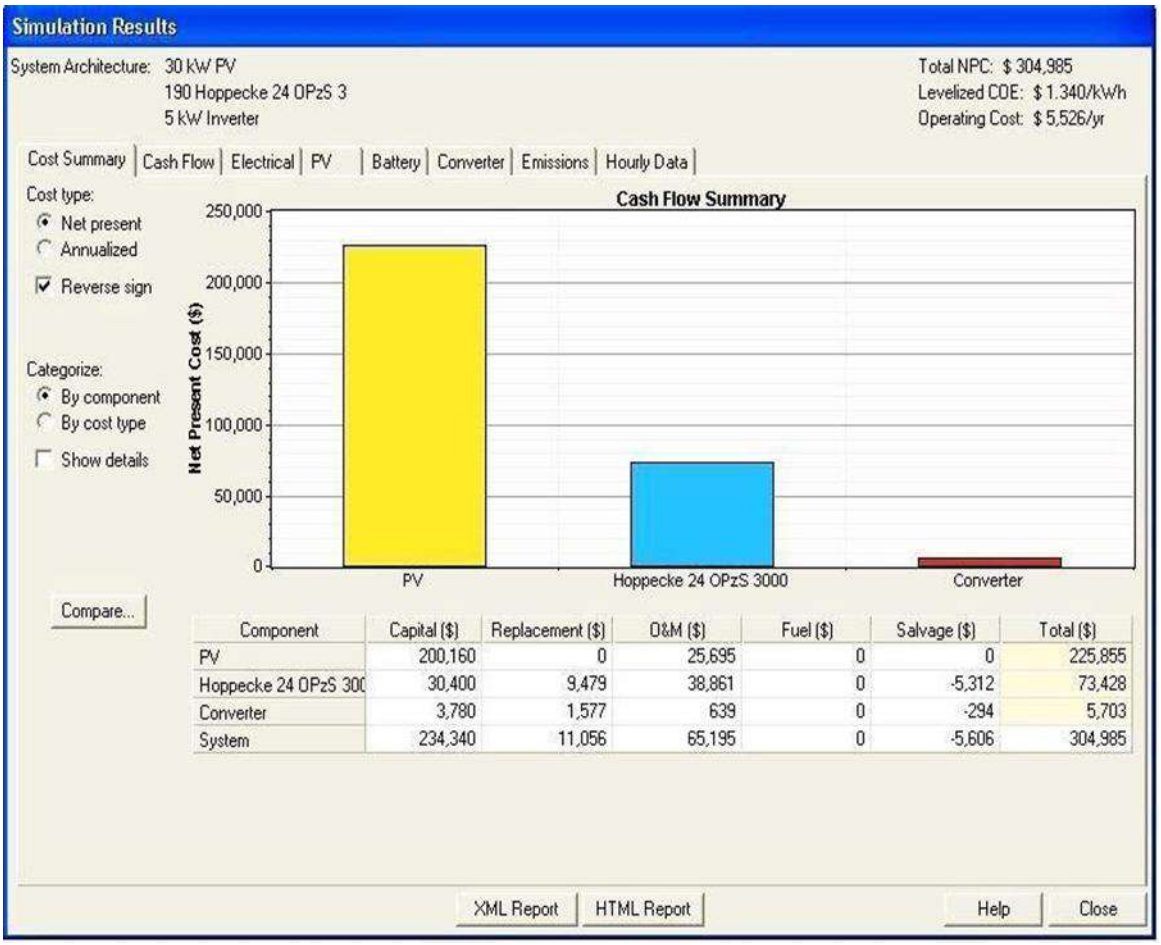


Figure III.11. Fenêtre des résultats détaillés

Dans cette fenêtre, on retrouve des onglets comme le résumé des coûts, le flux monétaire, des informations sur l'électricité (production, consommation, excès d'énergie, etc.), des détails sur l'énergie et la puissance offertes des équipements (panneaux, batteries, convertisseur), le détail des émissions et finalement, on peut visualiser les données simulées d'heure en heure [46].

III.7.Méthodologies spécifiques aux simulations

Une démarche pour le dimensionnement est définie conjointement avec une démarche pour les simulations sur HOMER pour les systèmes, La démarche générale pour le dimensionnement et les simulations est résumée en quelques étapes :

1. Évaluation de la demande énergétique (consommation d'énergie)
2. Pré-dimensionnement à la main des équipements;
3. Identifier les équipements nécessaires au système (panneaux solaires, convertisseur, batteries) dans le logiciel HOMER;
4. Entrer les données nécessaires dans le logiciel :

a. de consommation énergétique;

b. de gisement solaire pour le lieu désiré;

c. pour les équipements (prix des équipements et coût d'opération et d'entretien);

5. Lancer le calcul dans HOMER;
6. Optimiser les résultats du logiciel HOMER de façon itérative pour arriver à la solution optimale pour ce système;
7. Faire des analyses de sensibilité, si nécessaire;
8. Valider le système.

Résultats à analyser

Les résultats qui seront analysés sont les données de dimensionnement pour les panneaux solaires, les éoliennes, la génératrice diésel pour le système. Ensuite, les coûts d'opération (les annuités), le coût total à sa valeur actuelle du système ainsi que le coût de l'énergie en $/kWh et le pourcentage d'excès d'énergie seront analysé.

III.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le logiciel HOMER permettant une compréhension idéale du fonctionnement du programme ainsi que les objectifs à atteindre. Il offre une approche orientée sur la réalisation de projets plutôt qu'une approche d'optimisation de systèmes. Après l'introduction de tous les rapports de prix, les types d'appareils utilisés et les données météorologiques nécessaires le long de l'année. Ce logiciel est très populaire et est actuellement utilisé dans plus de 200 pays et par plus de 40 000 utilisateurs. Pour le présent projet, la version utilisée est HOMER 2.68 beta qui est disponible gratuitement, et est développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory) des Etats-Unis. Il permet un calcul simplifié des possibilités pour un projet électrique hybride selon son domicile.

chapitre IV.Résultats de simulation et discussion

IV.1. Introduction

Dans cette étude, nous fournirons de l'électricité à une zone isolée (en dehors du réseau électrique), grâce à l'utilisation d'un système basé sur les énergies renouvelables disponible dans cette région en Algérie.

Et la zone à laquelle nous appliquerons l'étude est la province algérienne de Timimoune.

Afin de construire ce système électrique, nous devons avoir toutes les informations nécessaires emplacement spécifié. Les informations typiques sont: le profil de charge, rayonnement solaire des panneaux solaires, température, vitesse du vent pour la production d'énergie éolienne, le coût initial de chaque composant (générateurs énergies renouvelables et batteries), coût et durée de vie du projet. Puis avec ces données, nous pouvons exécuter des simulations pour obtenir la meilleure configuration de système d'énergie renouvelable hybride pour le site étudié.

IV.2.Présentation des données du site

La wilaya du Timimoune est une wilaya algérienne depuis le 26/11/2019, situé à 1225 kilomètres au sud d'Alger, et il couvre une superficie totale de 65000 kilomètres carrés, et sa population est estimée à 150000 personnes.

- Elle est limitée par :
- Au sud : la wilaya de Adrar
- Au nord : la wilaya d'el Bayadh
- A l'Est : la wilaya de Ain Saleh et wilaya d'el Manea.
- A l'Ouest : la wilaya de Baní Abbas.
- Coordonnées du site :
- Latitude : 29.25°
- Longitude : 0,28°
- Altitude : 312m



Figure IV. 1. Localisation géographique du site en étude.

- Le climat du site :

La plupart des régions de site prévalent dans un climat désertique sec, et la température est large entre le jour et la nuit et entre l'hiver et l'été, entre 4 et 25 degrés en hiver et entre 18 et 38 degrés en été.et la vitesse du vent est 15 à 25km par heure

IV.3.Les données Météorologique

Pour obtenir les données météorologiques horaires pour l'année 2020 (rayonnement, vitesse de vent et température), nous avons utilisés l'ONM (L'office National Météorologie).

A l'aide du logiciel HOMER et des valeurs des données météorologique et des caractéristiques du site de mesure, nous obtenons ce que suit :

IV.3.1.Données relative à l'irradiation

HOMER crée les valeurs de rayonnement solaire chaque heure pour toute l'année voir les figure IV.2, IV.3et IV.4 :

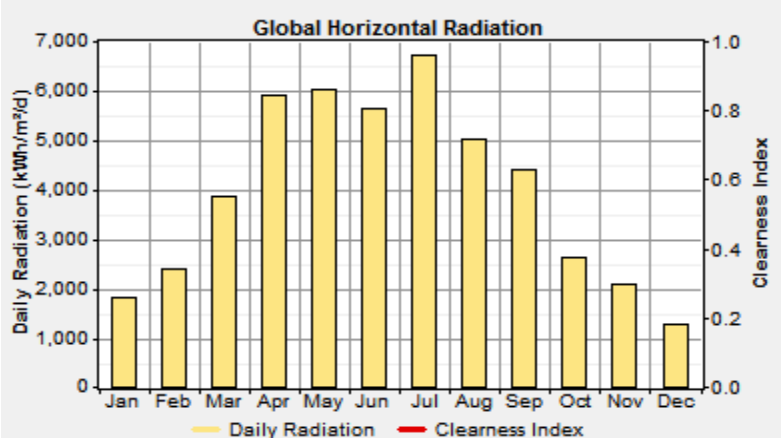


Figure IV. 2.L'irradiation dans une année

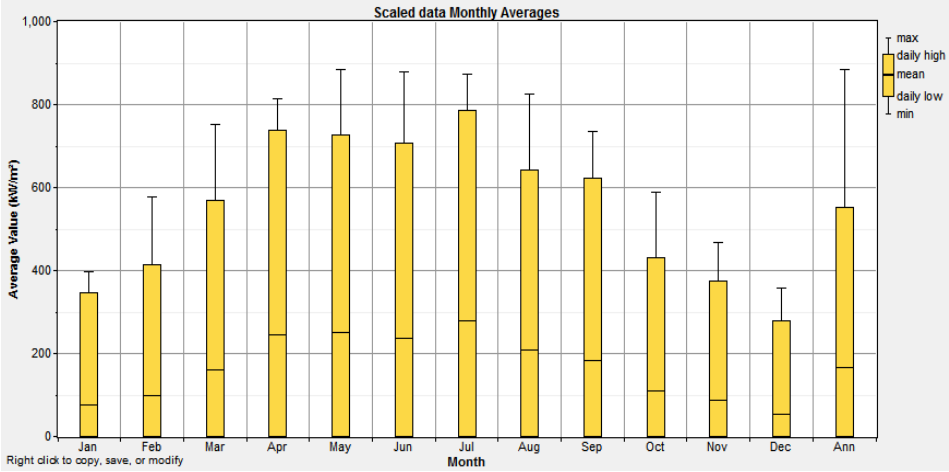


Figure IV. 3. Le profil de l'éclairement moyen

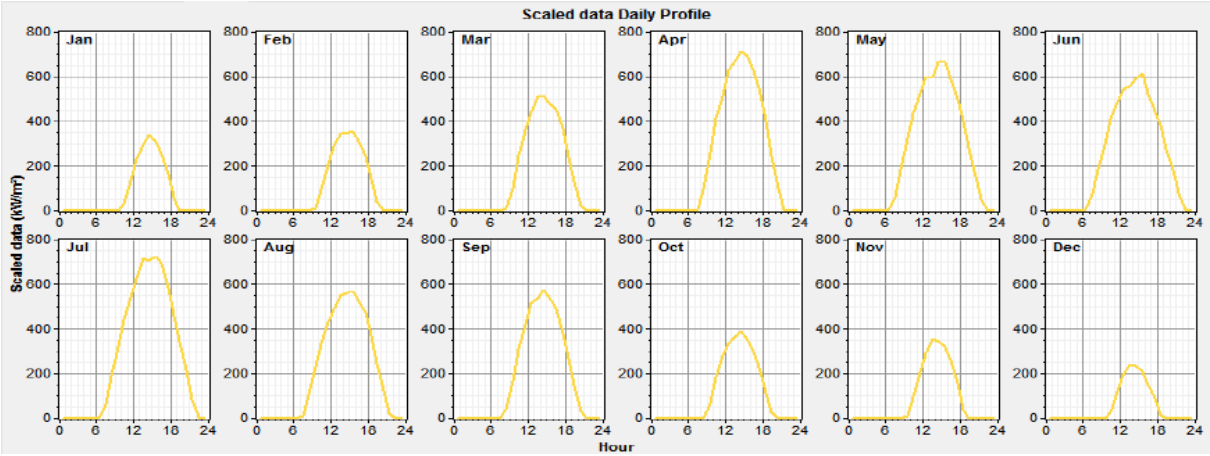


Figure IV. 4. Variation de l'éclairement journalier au cours des 12 mois de l'année

IV.3.2.Données relative à vitesse de vent :

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

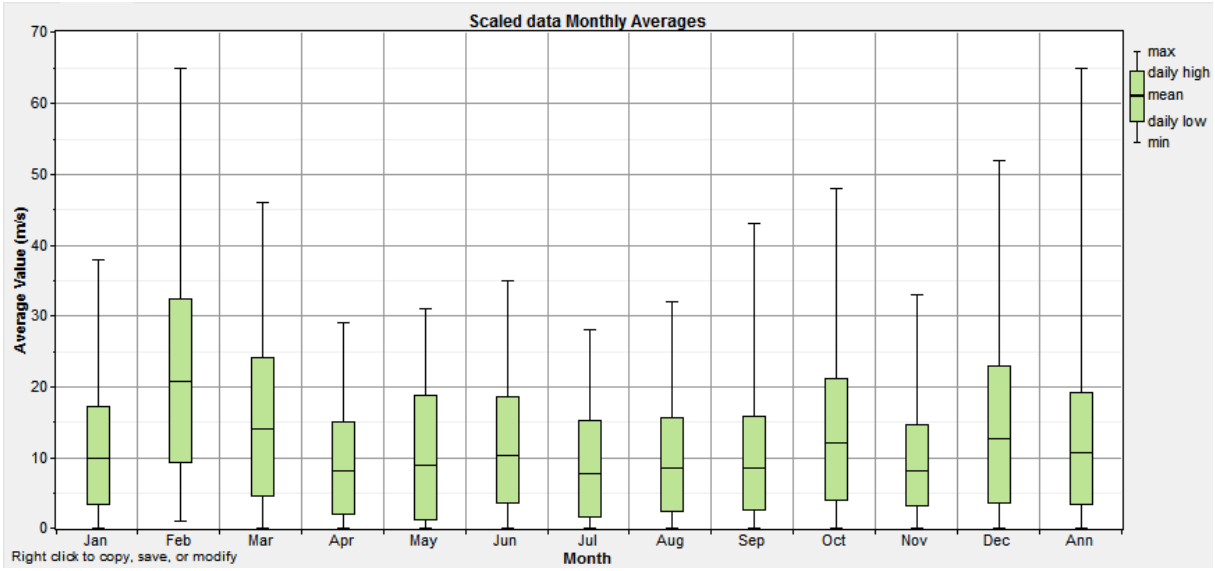


Figure IV. 5. Le profil de vitesse de vent dans une année

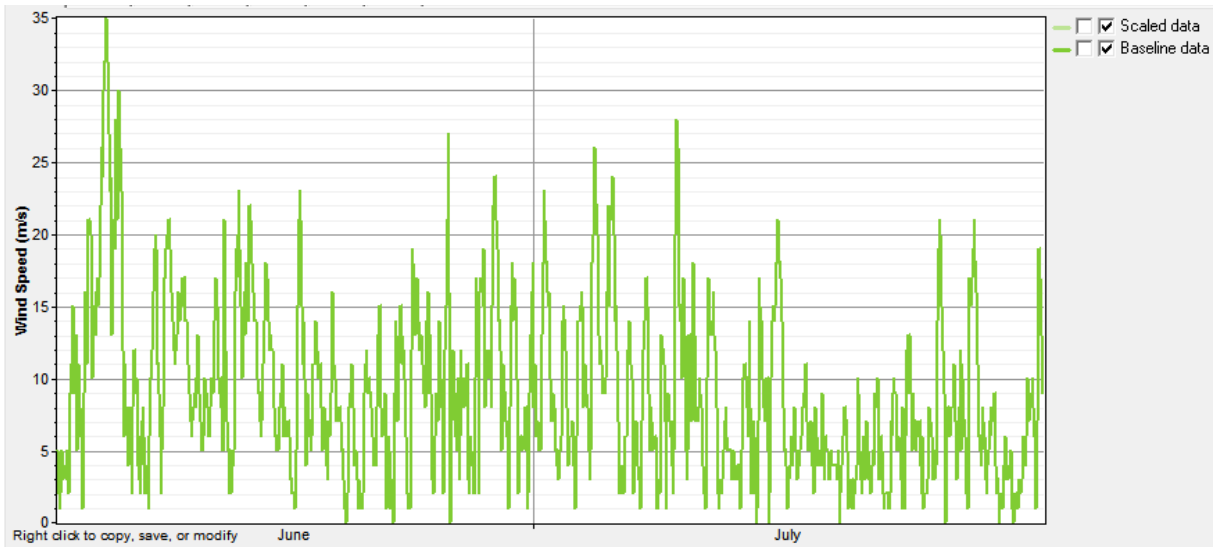


Figure IV. 6.vitesse de vent horaire pour la journée pour 2 mois

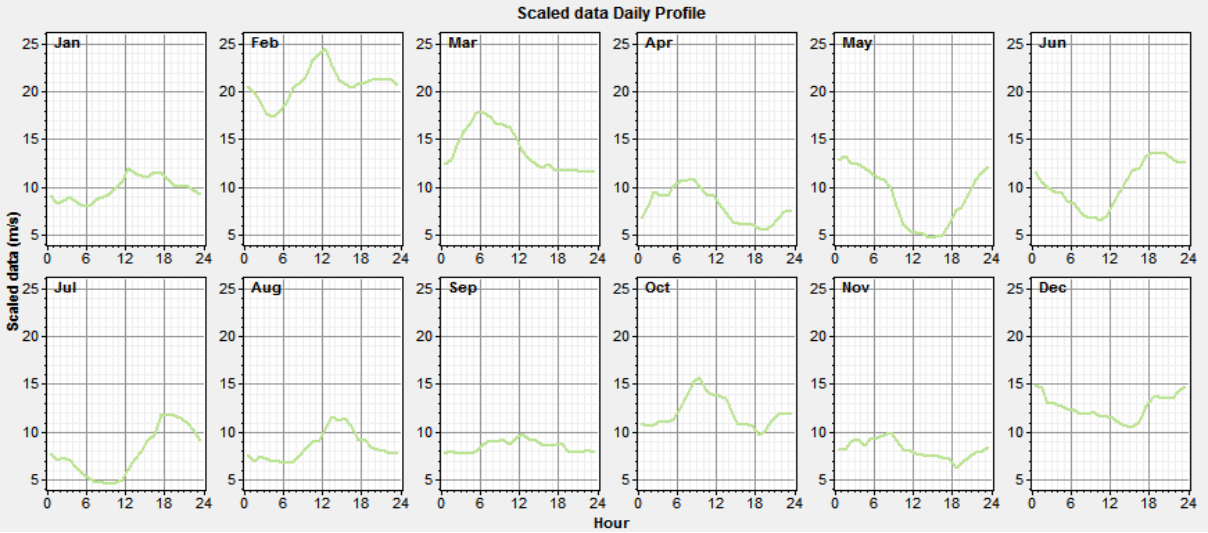


Figure IV. 7. Variation de vitesse de vent journalier au cours des 12 mois de l'année

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

IV.3.3.Données relative à la température

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles (Figure IV.8) montre que le mois le plus chaud est le mois de Juillet et aout avec une température moyenne de l'ordre de 34°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de -2°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 22°C.

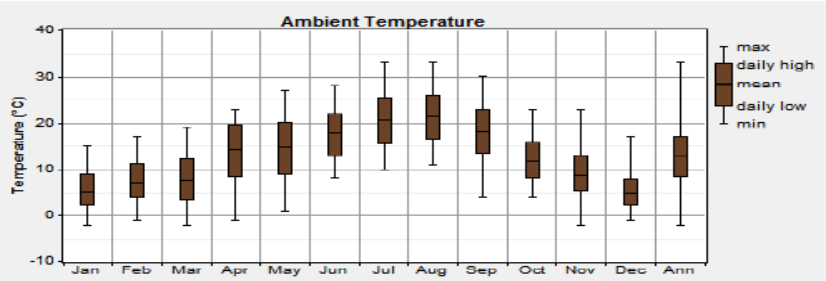


Figure IV. 8. Profil de température

IV.3.4.Données relative à profile de charge

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

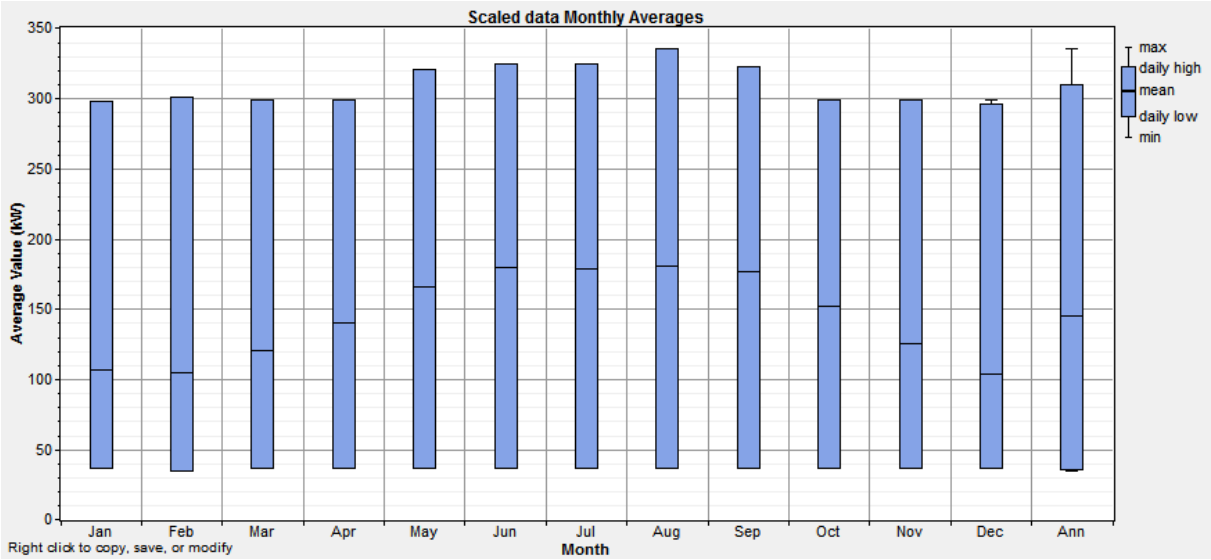


Figure IV. 9.Le profil de charge dans une année

La figure (IV.9) représente la consommation énergétique moyenne mensuelle durant l'année 2020.

On note, que l'énergie consommé est alors d'environ 3.5 MWh/J sur l'année 2020, soit une puissance crête de 336KW

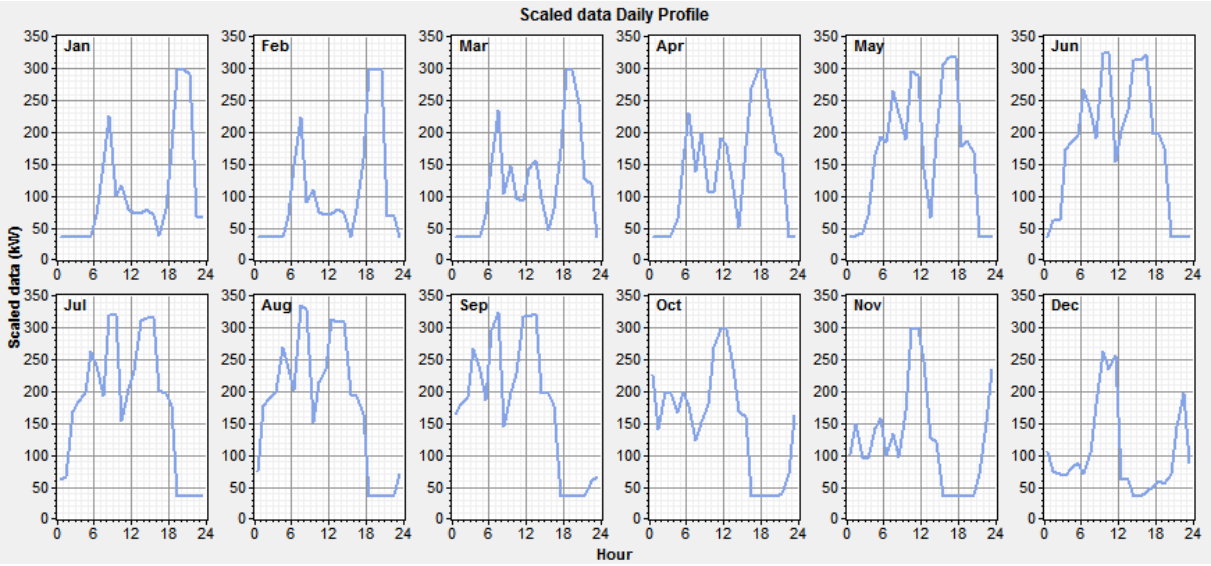


Figure IV. 10. Le profil de charge journalière suivant les saisons

D'après la figure (IV.10) la consommation électrique de site Timimoune diffère, d'un mois à un autre et d'une saison à une autre.

On remarque que la consommation est moyenne dans la période entre 00 :00h à06 :00h et 18 :00h à 24 :00h est faible, et être plus grande dans la période 06 :00h à 18 :00h

Ce changement de consommation causé par la différence de fonctionnement des appareils électroménagers, entre la nuit et le jour, l'hiver et l'été.

IV.4.Construction de système hybride de génération d'énergie

Sur l'environnement HOMER nous avons défini chaque élément de notre installation, en se basant sur toutes les caractéristiques et les données fournies, mentionné précédemment (les caractéristiques techniques et économique des composants, et les données météorologiques)

Dans ce travail, nous effectuons trois simulations avec les mêmes données météorologiques, et nous changeons chaque simulation les composantes (PV, éolien, hydrogène, batterie). Présenté par la figure IV.11

Afin de choisir le meilleur simulateur, en termes de cout, pour alimenter le site isolé Timimoune

On a proposé trois simulations pour le système hybride

IV.5.Résultats du premier système PV-éolien-batterie

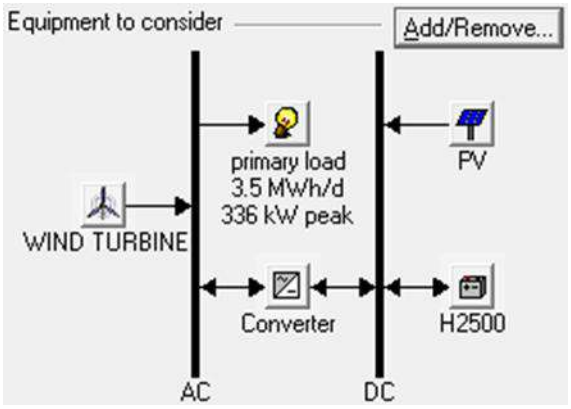


Figure IV. 11. Montage électrique du système hybride

Après la simulation, nous avons obtenu les résultats suivant

PV (kW)	W200	H2500	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
370	300	6464	400	CC	$ 21,886,594	68,886	$ 22,621,932	1.673	1.00	20.0
370	300	6464	400	LF	$ 21,886,594	68,886	$ 22,621,932	1.673	1.00	20.0
500	300	6464	400	CC	$ 21,922,344	73,696	$ 22,709,028	1.680	1.00	20.0
500	300	6464	400	LF	$ 21,922,344	73,696	$ 22,709,028	1.680	1.00	20.0
550	300	6464	400	CC	$ 21,936,094	75,546	$ 22,742,526	1.682	1.00	20.0
550	300	6464	400	LF	$ 21,936,094	75,546	$ 22,742,526	1.682	1.00	20.0
600	300	6464	400	CC	$ 21,949,844	77,395	$ 22,776,022	1.685	1.00	20.0
600	300	6464	400	LF	$ 21,949,844	77,395	$ 22,776,022	1.685	1.00	20.0
370	300	6464	800	CC	$ 22,125,154	70,166	$ 22,874,156	1.692	1.00	20.0
370	300	6464	800	LF	$ 22,125,154	70,166	$ 22,874,156	1.692	1.00	20.0
370	300	6464	900	CC	$ 22,184,794	70,486	$ 22,937,212	1.697	1.00	20.0
370	300	6464	900	LF	$ 22,184,794	70,486	$ 22,937,212	1.697	1.00	20.0
500	300	6464	800	CC	$ 22,160,904	74,976	$ 22,961,252	1.698	1.00	20.0
500	300	6464	800	LF	$ 22,160,904	74,976	$ 22,961,252	1.698	1.00	20.0
550	300	6464	800	CC	$ 22,174,654	76,826	$ 22,994,748	1.701	1.00	20.0
550	300	6464	800	LF	$ 22,174,654	76,826	$ 22,994,748	1.701	1.00	20.0
370	300	6464	1000	CC	$ 22,244,434	70,806	$ 23,000,268	1.701	1.00	20.0
370	300	6464	1000	LF	$ 22,244,434	70,806	$ 23,000,268	1.701	1.00	20.0
500	300	6464	900	CC	$ 22,220,544	75,296	$ 23,024,308	1.703	1.00	20.0
500	300	6464	900	LF	$ 22,220,544	75,296	$ 23,024,308	1.703	1.00	20.0
600	300	6464	800	CC	$ 22,188,404	78,675	$ 23,028,246	1.703	1.00	20.0
600	300	6464	800	LF	$ 22,188,404	78,675	$ 23,028,246	1.703	1.00	20.0
550	300	6464	900	CC	$ 22,234,294	77,145	$ 23,057,804	1.705	1.00	20.0

Figure IV.12. Tous les résultats optimisés de système hybride

On remarque que le meilleur système se utilisée c'est la 1ère ligne, Parce que le classement était associé à la valeur NPC (Coût actuel net) du plus petit au plus grand parce que la plus petite valeur IC (capital initial) de la première ligne avec une valeur de (21886594dollars) pourl'année2020. Après la simulation on trouve la sensitive des résultats comme suit :

PV (kW)	W200	H2500	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
370	300	6464	400	CC	$ 21,886,594	68,886	$ 22,621,932	1.673	1.00	20.0

Figure IV. 13.Résultats optimale pour le système hybride

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, Eolienne, batteries) dans la ligne 1.Cet agencement a été lié à la valeur totale du NPC (Net Présent Cost), de la plus petite à la plus grand

A partir de ce résultat, nous constatons que le système hybride idéal utilisé est celui qui contient

PV Array	370 kW
Wind turbine	300 WIND TURBINE
Battery	6,464 BATTRY
Inverter	400 kW
Rectifier	400 kW

Figure IV. 14.Résultats optimisés d'un système

D'après les valeurs obtenue on a besoins de 370 kW PV, éolienne 300KW, 6464 batterie de type Hoppecke 20 OPzS et 400 convertisseur pour satisfaire la charge de année, qui égale 336kW

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

PV: 311 KW.

Éolienne: 292 KW.

Batteries: 32320KW.

Convertisseur : 1 seul convertisseur de 336 KW. Chaque générateur produit de l'énergie individuellement. L'énergie produite du système optimal est montrée dans la figure IV.16 ci-dessous

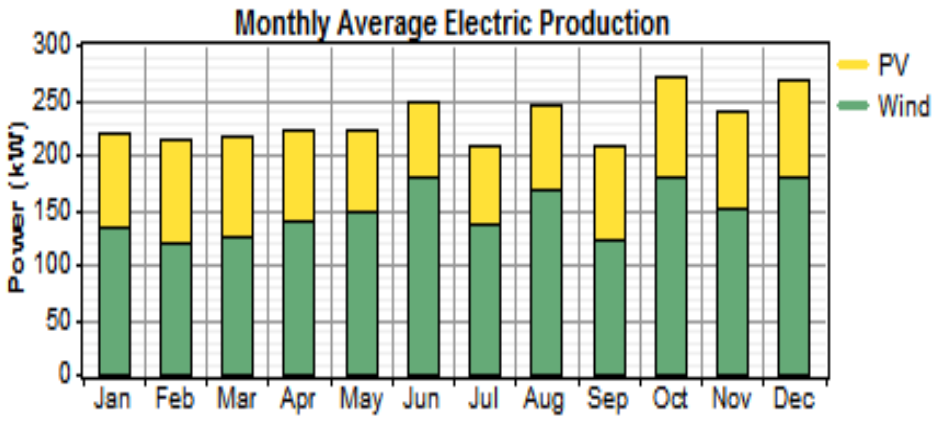


Figure IV. 15. Quantité de production d'électricité

Dans les tableaux suivants, on présente des résultats approfondis pour le même système. Le tableau IV.1 présente le taux de production d'énergie électrique pour chaque générateur tout au long de l'année.

Tableau IV. 1. Quantité annuelle de production d'électricité

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	729,034	36%
Wind turbines	1, 306,100	64%
Total	2, 035,134	100%

IV.5.1.Le générateur photovoltaïque :

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

Tableau IV. 2. Information concernant la production d'énergie par le PV

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	311	kW
PV penetration	57.6	%
Hours of operation	3,915	hr/yr
Levelized cost	0.0319	$/kWh

La figure IV.16 présente une présentation de production d'énergie par le PV, ce type de graphe met en évidence un an de données horaires, chaque heure de l'année est présenté par une couleur qui simule une information précise d'une valeur des donnés. Cette présentation permet devoir plus clairement les informations utiles pour une interprétation facile et concrète.

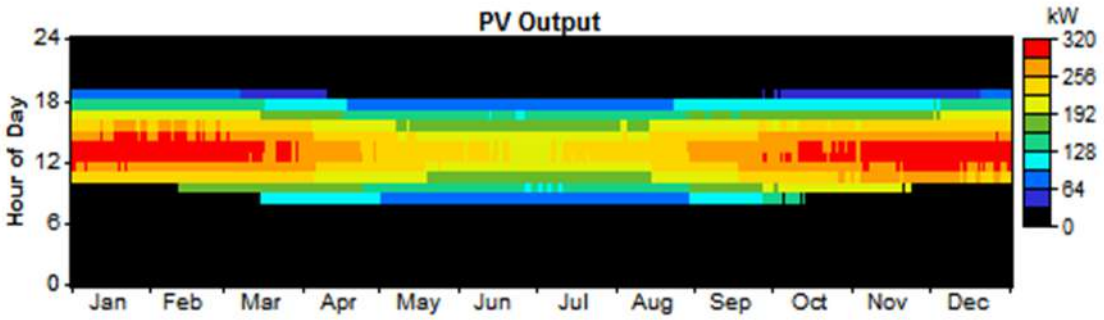


Figure IV. 16.fonctionnement annuel de générateur photovoltaïque

On peut remarquer que la période de fonctionnement de PV est bornée dans les mois d'hiver entre9h du matin au 18h, et inversement dans la saison d'été cette limite se stabilise entre 6 du matin jusqu'au 17h. La production des PV est nulle dans l'heure pointe selon le profil de charge journalière à 20h, ce qui introduit en parallèle le fonctionnement d'autres générateurs ou bien le recours d'énergie stockée dans les batteries pour répondre au demande de charge.

IV.5.2. Le générateur éolienne :

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

Tableau IV. 3. Information concernant la production de l'énergie éolienne

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	292	kW
Wind penetration	103	%
Hours of operation	7,065	hr/yr
Levelized cost	0.736	$/kWh

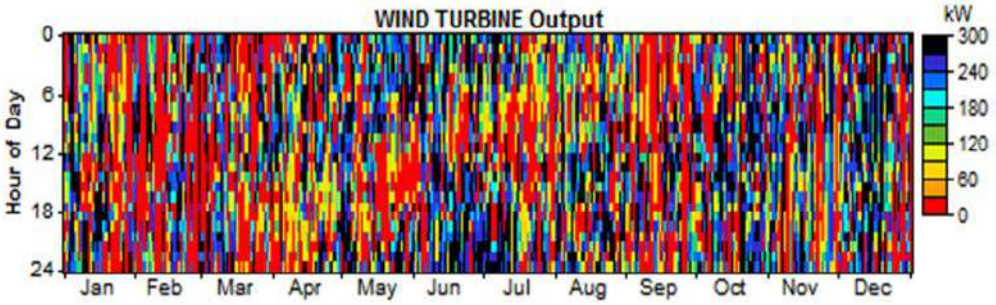


Figure IV. 17. Fonctionnement annuel de générateur éolienne

IV.5.3.Résultats obtenue par les batteries :

Tableau IV.4.Résultats obtenue par les batteries

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Nominal capacity	32,320	KWh	Energy in	406,244	kWh/yr
Usable nominal capacity	12,928	KWh	Energy out	350,515	kWh/yr
Autonomy	89.4	Hr	Storage depletion	1,041	kWh/yr
Lifetimethroughput	57, 451,444	KWh	Losses	54,688	kWh/yr
Battery wear cost	0.001	$/kWh	Annualthroughput	377,970	kWh/yr
Averageenergycost	0.000	$/kWh	Expected life	20.0	yr

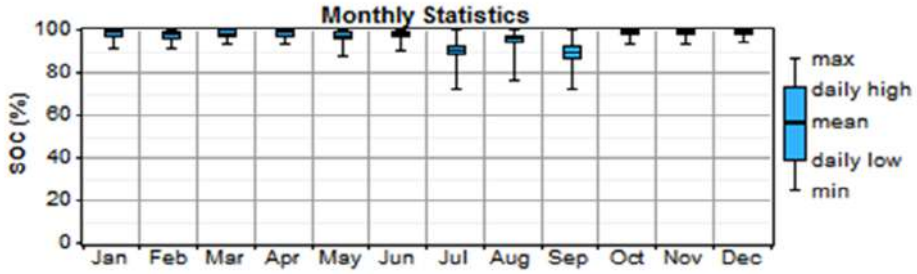


Figure IV. 18. Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries

La batterie est une partie importante et fondamentale dans ce système économique d'énergie électrique et est utilisée d'une façon permanente durant toute la journée, où son niveau de charge est compris entre (87 et 100%) durant les jours d'année soit (406244KWh/an (in) et 350515 kWh/an out). Elle est utilisée comme l'élément essentiel et fondamental pour la génération d'énergie surtout pendant la nuit et ceci à cause du manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'une autre part pour des raisons diverses, parmi ces raison : la difficulté de livraison et la liaison avec cette région éloignée des zones productrice.

IV.5.4.Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels.

Un convertisseur statique est un montage utilisant des interrupteurs à semi-conducteurs permettant par une commande convenable de ces derniers de régler un transfert d'énergie entre une source d'entrée et une source de sortie. Dans notre cas utilise un redresseur pour redresser le courant alternatif en courant continu avec un onduleur qui travailler le contraire de le redresseur ce dernier Modifie le courant continu (DC) en courant alternatif (AC), La tension d'entrée, la tension et la fréquence de sortie et la gestion globale de l'alimentation dépendent de la conception du ou des équipements spécifiques. L'onduleur ne produit pas de puissance; Le courant est fourni par la source DC.

On remarque que la relation entre l'onduleur et le redresseur est complémentarité c'est-à-dire 1ère complète le 2ème pour assure bien fonctionnement des bus AC et DC

Tableau IV.5. Résultats obtenue par le convertisseur

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	400	400	kW
Mean output	61	23	kW
Minimum output	0	0	kW
Maximum output	336	230	Kw
Capacity factor	15.2	5.7	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,526	3,136	hrs/yr
Energy in	592,139	220,709	kWh/yr
Energy out	532,927	198,638	kWh/yr
Losses	59,212	22,071	kWh/yr

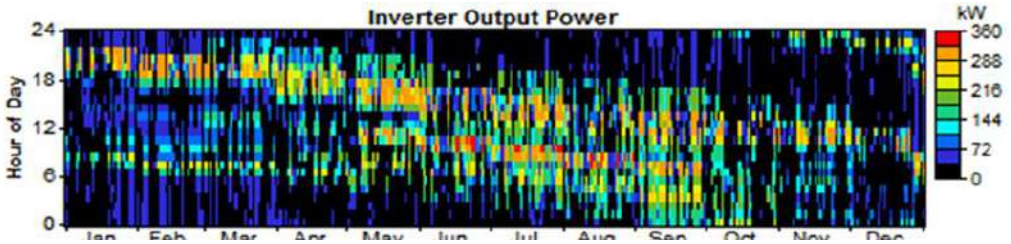


Figure IV.19.Résultats obtenue par l'onduleur.

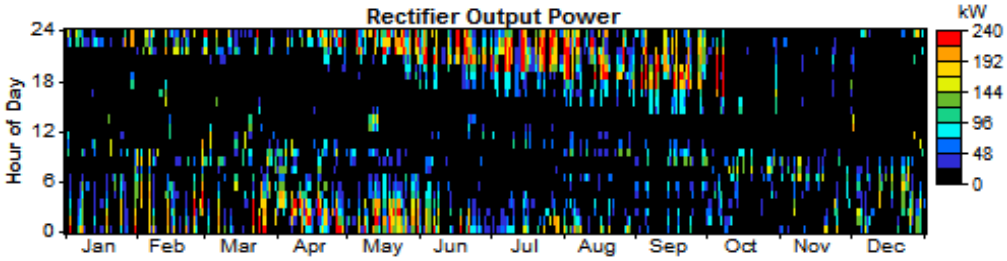
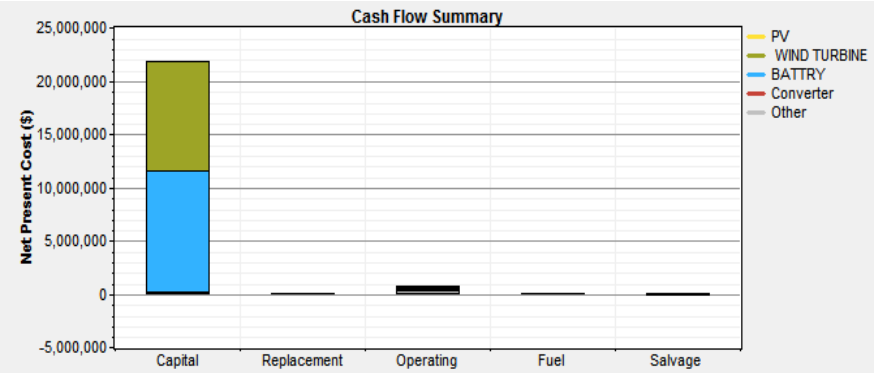


Figure IV. 20.Résultats obtenues par le redresseur.

IV.5.5.Interprétation des résultats optimisés

Le coût total estimé sur une année de travaux à tous les coûts du projet (capital, remplacement, O et M, salvage) est (22621932$) (26191045DZD) avec (1.673 $/KWh)(92.85DZA/KWh).Les résultats ont été répartis comme suit :Nous trouvons que le coût le plus élevé dans le système utilisé qui est représenté par le prix d'O&M de (728548 $) (2198860886 DZD), après le remplacement de (13868 $) (79437040DZA) et (salvage) de (-7079 $) (-10142487.4DZA)



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	101,750	0	146,138	0	0	247,888
WIND TURBINE	10,195,500	0	64,049	0	0	10,259,547
BATTRY	11,350,784	13,868	103,503	0	-7,079	11,461,075
Converter	238,560	0	13,664	0	0	252,224
Other	0	0	401,195	0	0	401,195
System	21,886,594	13,868	728,548	0	-7,079	22,621,932

Figure IV. 21.Les différents coûts du système.

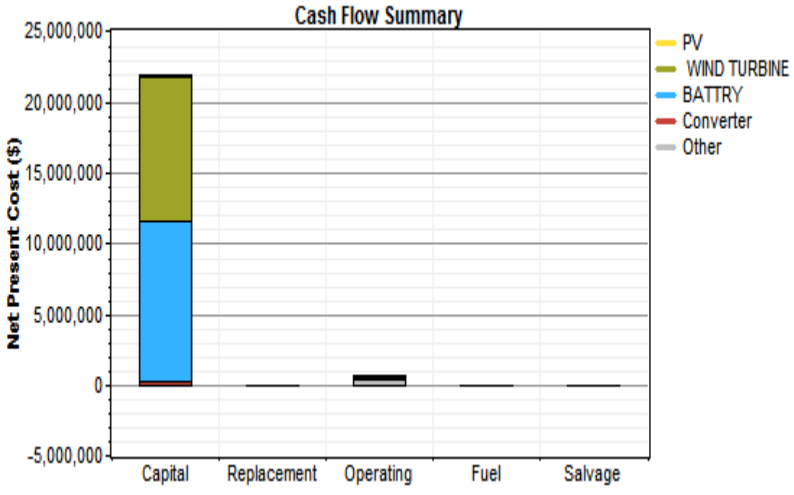


Figure IV. 22.Résumé des coûts des diverses composantes.

Tableau IV. 5.Le coût et le coût élémentaire des composants en dollars.

Composant	**PV**	**Éolienne**	**Batterie**	**Convertisseur**
Cout ($)	247888	10259547	11461075	252224
Cout élémentaire ($/KWh)	0.0319	0.736	0.000	-

Le cout total de système global c'est 22220734$ avec un coût élémentaire 0.7679$/KWh

On a : 1 U.S. dollar = 133.43 DZA

Tableau IV. 6.Le coût et le coût élémentaire des composants en dinars.

Composant	**PV**	**Éolienne**	**Batterie**	**Convertisseur**
Cout (DZA)	166505446.26	1368929304.30	1529248945.04	33654248.3
Cout élémentaire (DZA/KWh)	4.26	98.20	0.000	-

Le cout de système global c'est 2964908093.47 DZA avec un cout d'énergie 102.46DZA/KWH.

IV.5.6.Comparaison de résultat de composant de système

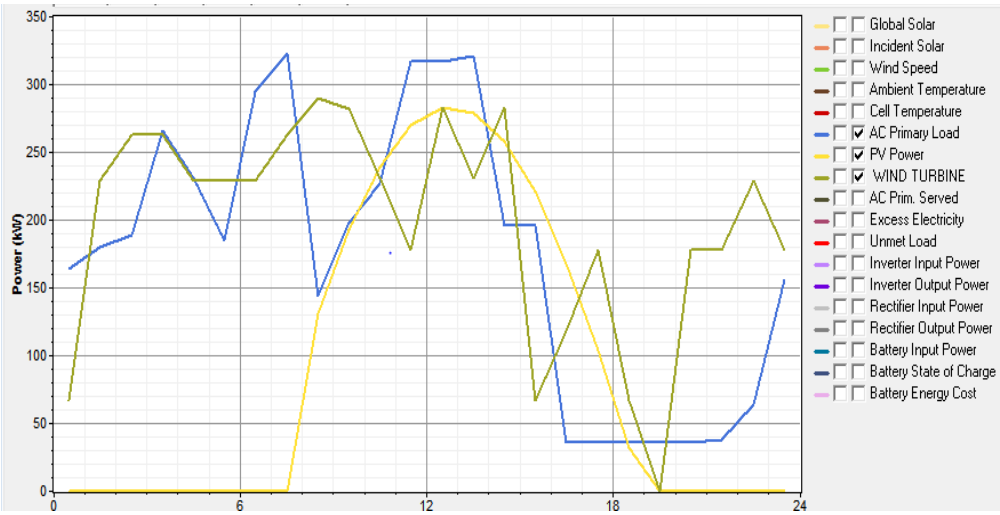


Figure IV. 23. Comparaison de résultat de composant de système

Cette courbe représente les résultats obtenus dans les 24 heures de la quantité d'énergie générée par la vitesse du vent et l'énergie solaire par rapport à la quantité d'énergie électrique consommée, ou l'on note :

La quantité d'énergie solaire est inexistante sur le terrain (0 à 7 heures), et dans le même domaine, l'énergie éolienne est de 260 kilowatts, et l'énergie consommée est de 300 kilowatts.

Dans la plage (7 à 12 heures), la quantité d'énergie solaire commence à augmenter jusqu'à atteindre 280 kW et la quantité d'énergie éolienne est de 290 kW, mais La quantité d'énergie consommée était de 320 kW.

Et dans le cas où l'énergie consommée supérieure à l'énergie produite par la vitesse du vent et l'énergie solaires, ce manque d'énergie est compensé par la batterie, et ce la nuit.

IV.6.Le deuxième système PV-éolien-pile combustible

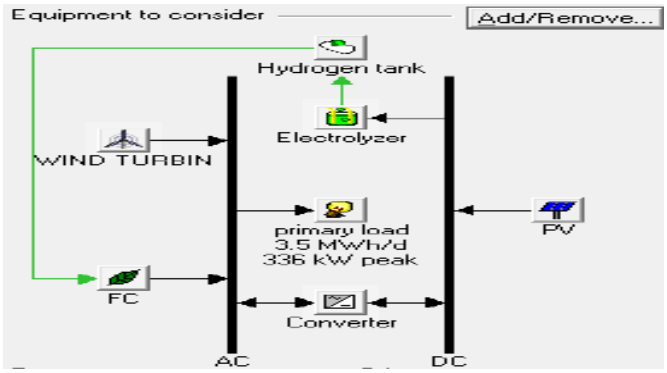


Figure IV. 24. Montage électrique du système hybride

Après la simulation, nous avons obtenu les résultats suivant

PV (kW)	W200	Label (kW)	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Label (hrs)
360	270	320	300	10	200	CC	$ 11,108,527	359,473	$ 14,945,821	1.105	0.76		5,017
360	270	320	300	10	200	LF	$ 11,108,527	359,473	$ 14,945,821	1.105	0.76		5,017
350	270	320	300	10	200	CC	$ 11,105,777	360,116	$ 14,949,939	1.106	0.76		5,036
350	270	320	300	10	200	LF	$ 11,105,777	360,116	$ 14,949,939	1.106	0.76		5,036
360	270	320	300	20	200	CC	$ 11,119,877	359,723	$ 14,959,839	1.107	0.76		5,017
360	270	320	300	20	200	LF	$ 11,119,877	359,723	$ 14,959,839	1.107	0.76		5,017
350	270	320	300	20	200	CC	$ 11,117,127	360,366	$ 14,963,957	1.107	0.76		5,036
350	270	320	300	20	200	LF	$ 11,117,127	360,366	$ 14,963,957	1.107	0.76		5,036
360	270	320	300	30	200	CC	$ 11,131,227	359,973	$ 14,973,858	1.108	0.76		5,017
360	270	320	300	30	200	LF	$ 11,131,227	359,973	$ 14,973,858	1.108	0.76		5,017
350	270	320	300	30	200	CC	$ 11,128,477	360,616	$ 14,977,976	1.108	0.76		5,036
350	270	320	300	30	200	LF	$ 11,128,477	360,616	$ 14,977,976	1.108	0.76		5,036
360	270	320	300	10	300	CC	$ 11,208,527	362,848	$ 15,081,843	1.116	0.76		5,017
360	270	320	300	10	300	LF	$ 11,208,527	362,848	$ 15,081,843	1.116	0.76		5,017
350	270	320	300	10	300	CC	$ 11,205,777	363,491	$ 15,085,961	1.116	0.76		5,036
350	270	320	300	10	300	LF	$ 11,205,777	363,491	$ 15,085,961	1.116	0.76		5,036
360	270	320	300	20	300	CC	$ 11,219,877	363,098	$ 15,095,861	1.117	0.76		5,017
360	270	320	300	20	300	LF	$ 11,219,877	363,098	$ 15,095,861	1.117	0.76		5,017
350	270	320	300	20	300	CC	$ 11,217,127	363,741	$ 15,099,979	1.117	0.76		5,036
350	270	320	300	20	300	LF	$ 11,217,127	363,741	$ 15,099,979	1.117	0.76		5,036

Figure IV. 25. Configuration du système possible pour le système d'alimentation solaire PV- éolien-pile combustible.

On remarque que le meilleur système se utilisée c'est la 1ère ligne, Parce que le classement était associé à la valeur NPC (Coût actuel net) du plus petit au plus grand parce que la plus petite valeur IC (capital initial) de la première ligne avec une valeur de (11108527dollars) pour l'année 2020

Après la simulation on trouve la sensitive des résultats comme suit :

	PV (kW)	W200	Label (kW)	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Label (hrs)
	360	270	320	300	10	200	CC	$ 11,108,527	359,473	$ 14,945,821	1.105	0.76		5,017

Figure IV. 26.Sensitive résultats de système hybride global

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, Eolienne, pile combustible) dans la ligne 1.Cet agencement a été lié à la valeur totale du NPC (Net Présent Cost), de la plus petite à la plus grand

A partir de ce résultat, nous constatons que le système hybride idéal utilisé est celui qui contient :

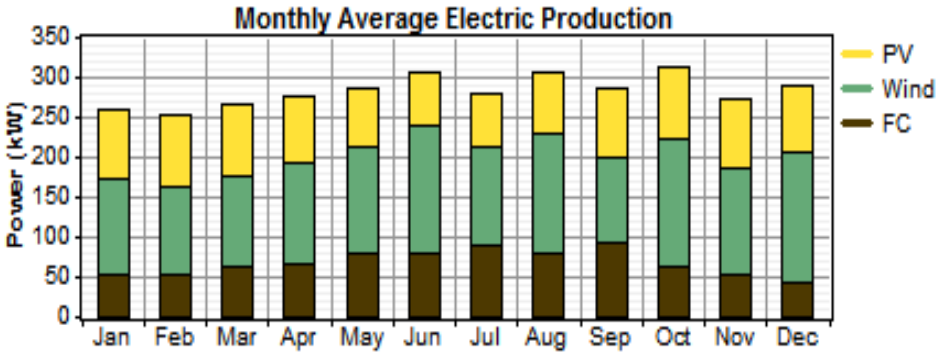


Figure IV.27.Résultats optimisés d'un système.

Le système optimal choisi pour notre étude de cas était composé de 360 kW de système solaire PV, 270 éoliennes turbines, 320kW de pile à combustible, 300kW de convertisseurs, et 10kW d'électrolyseurs et 200kg de réservoir d'hydrogène.

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

PV Array	360 kW
Wind turbine	270 WIND TURBIN
FC	320 kW
Inverter	300 kW
Rectifier	300 kW
Electrolyzer	10 kW
Hydrogen Tank	200 kg

Figure IV. 28. Quantité de production d'électricité.

Dans les tableaux suivants, on présente des résultats approfondis pour le même système. Le tableau IV.7 présente le taux de production d'énergie électrique pour chaque générateur tout au long de l'année.

Tableau IV. 7. Quantité annuelle de production d'électricité

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	709,330	29%
Wind turbines	1, 175,461	47%
FC	598,943	24%
Total	2, 483,733	100%

IV.6.1.Le générateur photovoltaïque :

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

Tableau IV. 8. Information concernant la production d'énergie par le PV

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	Kw
Maximum output	303	kW
PV penetration	56.0	%
Hours of operation	3,915	hr/yr
Levelized cost	0.0319	$/kWh

IV.6.2.Le générateur d'éolienne :

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

Tableau IV. 9. Information concernant la production de l'énergie éolienne

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	262	kW
Wind penetration	92.8	%
Hours of operation	7,065	hr/yr
Levelized cost	0.736	$/kWh

IV.6.3.Production annuelle d'hydrogène

La Figure.IV.29 présente la production annuelle d'hydrogène

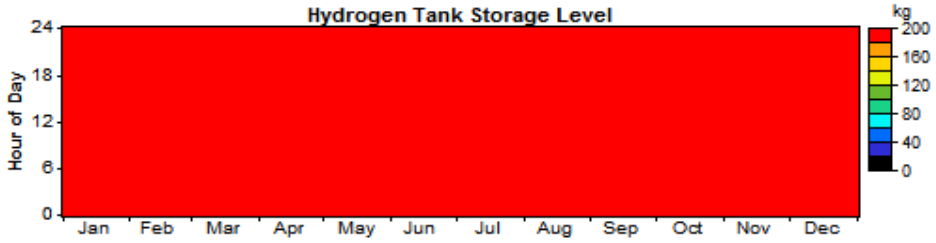


Figure IV.29. Production annuelle d'hydrogène

Les paramètres de sont d'hydrogène montrés dans le tableau suivant :

Tableau IV.10. Information concernant la production d'hydrogène

Variable	Value	Units
Hydrogen production	35	kg/yr
Hydrogen consumption	-109,532	kg/yr
Hydrogen tank autonomy	46.1	hours

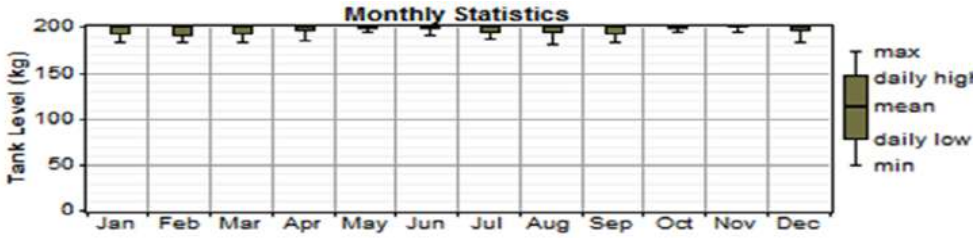


Figure IV.30. Statistiques mensuelles pour d'hydrogène

L'hydrogène est une partie importante et essentielle de ce système d'alimentation électrique économique, et il est utilisé en permanence tout au long de la journée, car son niveau de charge varie entre (180Kg et 200Kg) pendant les jours de l'année. Il est utilisé comme base et élément essentiel pour la production d'électricité surtout la nuit et cela est dû au manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'autre part pour diverses raisons, notamment : la difficulté de se connecter et de se connecter à cette zone à l'écart des zones de production.

IV.6.4.Production mensuelle de la pile à combustible :

Tableau IV. 11.Résultats obtenue par de la pile à combustible

Quantity	Value	Units
Hours of operation	5,017	hr/yr
Number of starts	858	starts/yr
Operational life	2.99	Yr
Capacity factor	21.4	%
Fixed generation cost	53.3	$/hr
Marginal generationcost	0.00	$/kWhyr

Quantity	Value	Units
Electrical production	598,943	kWh/yr
Mean electrical output	119	kW
Min. electrical output	96.0	kW
Max. electrical output	320	kW

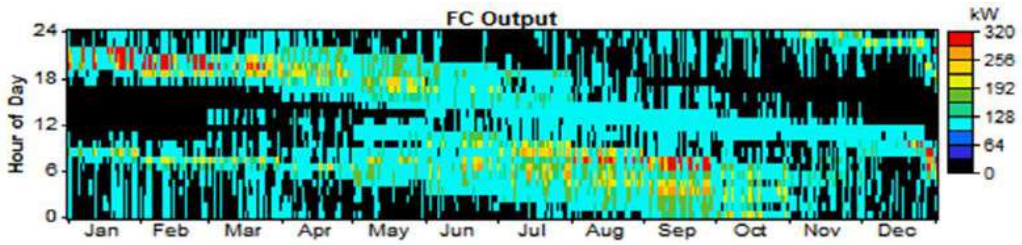


Figure IV.31. Statistiques mensuelles pour d'hydrogène

Comme le montre la figure IV.31, les piles à combustible fonctionnent toute la journée, c'est-à-dire qu'elles sont bien illustrées dans le diagramme. Le groupe motopropulseur à pile à combustible a une cote toute l'année, ce qui se traduit bien par des couleurs claires bien produites au printemps et en été, et une faible efficacité en hiver et en automne.

IV.6.5.Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels

Tableau IV. 12.Résultats obtenue par le convertisseur

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	300	300	kW
Mean output	15	0	kW
Minimum output	0	0	kW
Maximum output	225	10	kW
Capacity factor	5.0	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	1,803	94	hrs/yr
Energy in	146,682	869	kWh/yr
Energy out	132,014	782	kWh/yr
Losses	14,668	87	kWh/yr

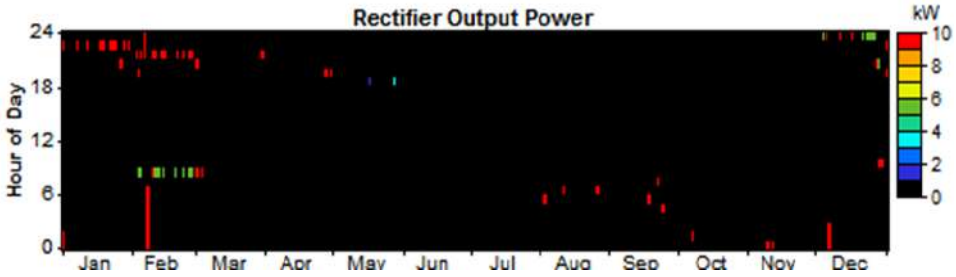


Figure IV. 32.Résultats obtenue par l'onduleur

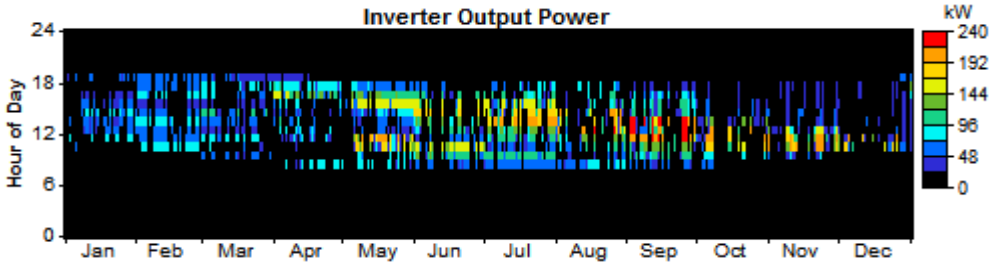
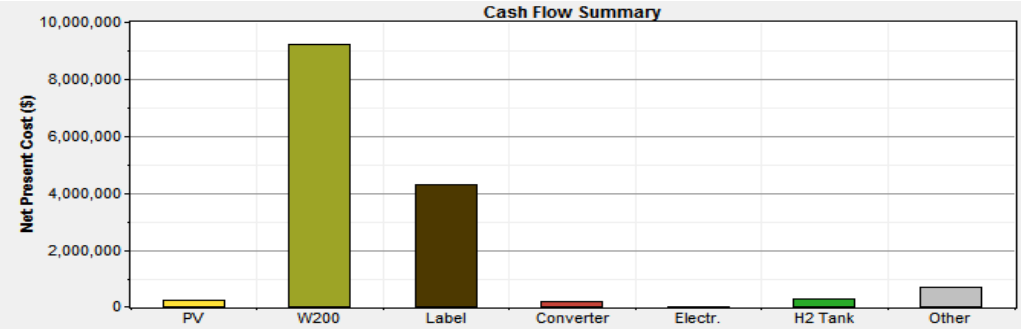


Figure IV.33.Résultats obtenues par le redresseur.

IV.6.6.Interprétation des résultats optimisés

Le coût total estimé sur une année de travaux à tous les coûts du projet (capital, remplacement, O et M, salvage) est (14945818$) (1994145766.65DZD) avec (1.105 $/KWh)(147.43DZA/KWh).Les résultats ont été répartis comme suit :Nous trouvons que le coût le plus élevé dans le système utilisé qui est représenté par le prix d'O&M de (3829295 $) (510923685.38 DZD), après le remplacement de (9457 $) (1261800.23DZA) et (salvage) de (-1460 $) (-194800.50DZA)



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	99,000	0	142,188	0	0	241,188
WIND TURBIN	9,175,950	0	57,644	0	0	9,233,592
FC	1,443,307	0	2,856,284	0	0	4,299,591
Converter	178,920	0	10,248	0	0	189,168
Electrolyzer	11,350	0	2,669	0	0	14,019
Hydrogen Tank	200,000	9,457	64,049	0	-1,460	272,046
Other	0	0	696,214	0	0	696,214
System	11,108,527	9,457	3,829,295	0	-1,460	14,945,818

Figure IV.34. Les différents coûts du système

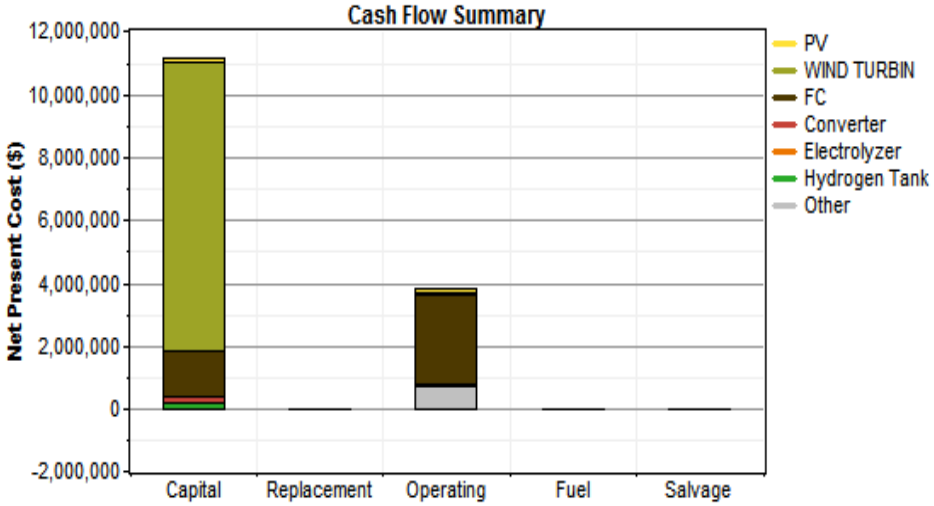


Figure IV.35.Résumé des coûts des diverses composantes

Tableau IV.13. Le coût et le cout élémentaire des composants en dollars.

Composant	**PV**	**Éolienne**	**Réservoir H2**	**Électrolyseur**	**Pile combustible**	**Convertisseur**
Cout ($)	241188	9233592	272046	14019	4299591	189168
Cout élémentaire ($/KWh)	0.0319	0.736	-	-	-	-

Le cout total de système global c'est 14236991$ avec un cout élémentaire 0.7679$/KWh

On a : 1 U.S. dollar = 133.43 DZA

Tableau IV. 14. Le cout et le cout élémentaire des composants en dinars.

Composant	**PV**	**Éolienne**	**Réservoir H2**	**Électrolyseur**	**Pile combustible**	**Convertisseur**
Cout (DZA)	165605508.90	123199201 2.60	36297737.55	1870485.08	573672929.18	25239740.40
Cout élémentaire (DZA/KWh)	4.26	98.20	-	-	-	-

Le cout de système global c'est 1899570524.18 DZA avec un cout d'énergie 102.46DZA/KWH.

IV.6.7.Comparaison de résultat de composant de système

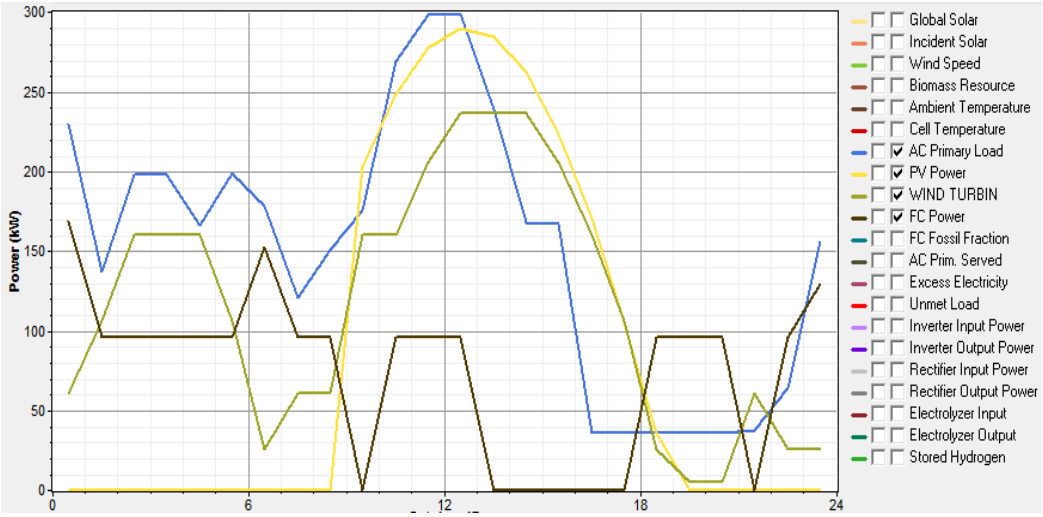


Figure IV. 36. Comparaison de résultat de composant de système

Cette courbe représente les résultats obtenus en 24 heures pour la quantité d'énergie produite par la vitesse du vent, l'énergie photovoltaïque et l'énergie produite par la pile combustible et on la compare à l'énergie électrique consommée (profile de charge), où l'on note :

La quantité d'énergie solaire est nulle de (0h à 8h et 19h à 24h), tandis que d'autres énergies ont des valeurs variables dans le même intervalle, (énergie de la vitesse de vent 160 kW, énergie de la pile combustible 100kW) ; autrement dit, la quantité d'énergie produite est supérieur ou égale à la quantité consommée.

En période prolongée (8h à 19h), la valeur de l'énergie produite par PV change passe à une valeur maximale, qui est 290 KW.

Tandis que d'autres énergies ont des valeurs variables (énergie de vitesse de vent 235 KW, énergie de la bile combustible 98 KW), a fin répondre à la consommation journalière estimée de 300 KW presque.

IV.7.Troisième système : PV-éolienne -pile combustible -batterie

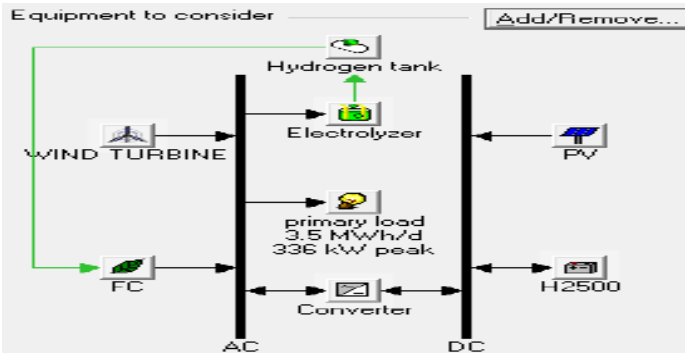


Figure IV. 37. Montage électrique du système hybride

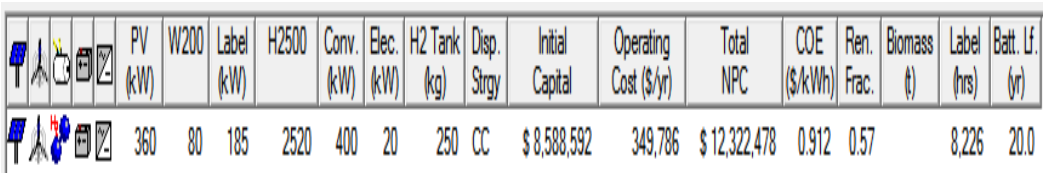
Par contre les résultats optimiser on le trouve comme suit :

PV (kW)	W200	Label (kW)	H2500	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
360	80	185	2520	400	20	250	CC	$ 8,588,592	349,786	$ 12,322,478	0.912	0.57		8,226	20.0
370	80	185	2520	400	20	250	CC	$ 8,591,342	349,632	$ 12,323,583	0.912	0.58		8,209	20.0
365	80	185	2520	400	20	250	CC	$ 8,589,967	349,909	$ 12,325,170	0.912	0.57		8,224	20.0
355	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,609,917	350,317	$ 12,349,470	0.913	0.57		8,233	20.0
360	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,611,292	350,286	$ 12,350,516	0.914	0.57		8,226	20.0
370	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,614,042	350,132	$ 12,351,621	0.914	0.58		8,209	20.0
365	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,612,667	350,409	$ 12,353,207	0.914	0.57		8,224	20.0
345	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,607,167	351,180	$ 12,355,936	0.914	0.56		8,273	20.0
340	80	185	2520	400	40	250	CC	$ 8,605,792	351,704	$ 12,360,155	0.914	0.56		8,296	20.0
355	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,632,617	350,817	$ 12,377,507	0.915	0.57		8,233	20.0
360	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,633,992	350,786	$ 12,378,553	0.916	0.57		8,226	20.0
370	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,636,742	350,632	$ 12,379,658	0.916	0.58		8,209	20.0
365	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,635,367	350,909	$ 12,381,244	0.916	0.57		8,224	20.0
345	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,629,867	351,680	$ 12,383,973	0.916	0.56		8,273	20.0
340	80	185	2520	400	60	250	CC	$ 8,628,492	352,204	$ 12,388,192	0.916	0.56		8,296	20.0
355	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,643,967	351,067	$ 12,391,526	0.917	0.57		8,233	20.0
360	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,645,342	351,036	$ 12,392,572	0.917	0.57		8,226	20.0
370	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,648,092	350,882	$ 12,393,677	0.917	0.58		8,209	20.0
365	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,646,717	351,159	$ 12,395,263	0.917	0.57		8,224	20.0
345	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,641,217	351,930	$ 12,397,992	0.917	0.56		8,273	20.0
340	80	185	2520	400	70	250	CC	$ 8,639,842	352,454	$ 12,402,211	0.917	0.56		8,296	20.0
355	80	185	2520	400	80	250	CC	$ 8,655,317	351,317	$ 12,405,544	0.918	0.57		8,233	20.0
360	80	185	2520	400	80	250	CC	$ 8,656,692	351,286	$ 12,406,590	0.918	0.57		8,226	20.0

Figure IV.38. Configuration du système possible pour le système d'alimentation solaire PV- éolien-pile combustible – batterie.

On remarque que le meilleur système se utilisée c'est la 1ère ligne, Parce que le classement était associé à la valeur NPC (Coût actuel net) du plus petit au plus grand parce que la plus petite valeur IC (capital initial) de la première ligne avec une valeur de (11108527dollars) pourl'année2020.

Après la simulation on trouve la sensitive des résultats comme suit :



	PV (kW)	W200	Label (kW)	H2500	Conv. (kW)	Elec. (kW)	H2 Tank (kg)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)	Ren. Frac.	Biomass (t)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	360	80	185	2520	400	20	250	CC	$ 8,588,592	349,786	$ 12,322,478	0.912	0.57		8,226	20.0

Figure IV.39. Sensitive résultats de système hybride global

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, Eolienne, pile combustible, batterie) dans la ligne 1.Cet agencement a été lié à la valeur totale du NPC (Net Présent Cost), de la plus petite à la plus grand

A partir de ce résultat, nous constatons que le système hybride idéal utilisé est celui qui contient

PV Array	360 kW
Wind turbine	80 WIND TURBINE
FC	185 kW
Battery	2,520 Copy of Copy of BATTERY
Inverter	400 kW
Rectifier	400 kW
Electrolyzer	20 kW
Hydrogen Tank	250 kg
Dispatch strategy	Cycle Charging

Figure IV. 40. Résultats optimisés d'un système

Le système optimal choisi pour notre étude de cas se composait de 360 kW de système solaire PV, 80 d'éoliennes, 185 kW de piles à combustible, 2520 batteries, 400 kW de convertisseurs, 20 kW d'électrolyseur et 250 kg de réservoir d'hydrogène

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

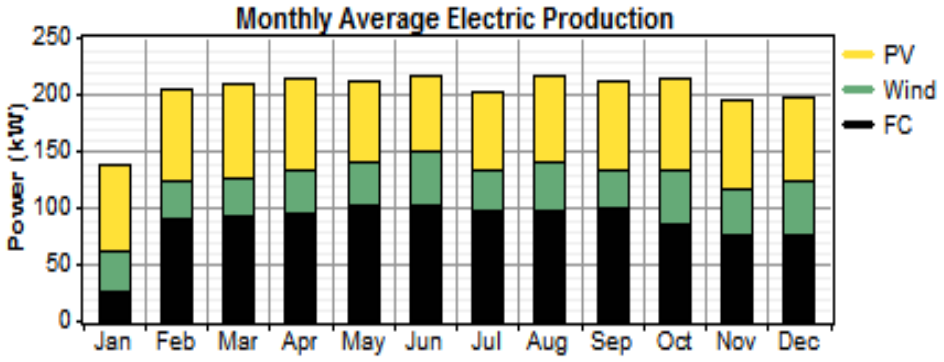


Figure IV.41. Quantité de production d'électricité.

Dans les tableaux suivants, on présente des résultats approfondis pour le même système. Le tableau IV.15 présente le taux de production d'énergie électrique pour chaque générateur tout au long de l'année

Tableau IV.15. Quantité annuelle de production d'électricité

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	667,895	38%
Wind turbines	348,287	20%
FC	758,649	43%
Total	1, 774,831	100%

IV.7.1.Le générateur photovoltaïque

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

Tableau IV. 16. Information concernant la production d'énergie par le PV

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	313	kW
PV penetration	52.7	%
Hours of operation	3,593	hr/yr
Levelized cost	0.0338	$/kWh

La figure IV.42 présente une présentation de production d'énergie par le photovoltaïque, ce type de graphe met en évidence un an de données horaires, chaque heure de l'année est présenté par une couleur qui simule une information précise d'une valeur de donnés.

Cette présentation permet devoir plus clairement les informations utiles pour une interprétation facile et concrète.

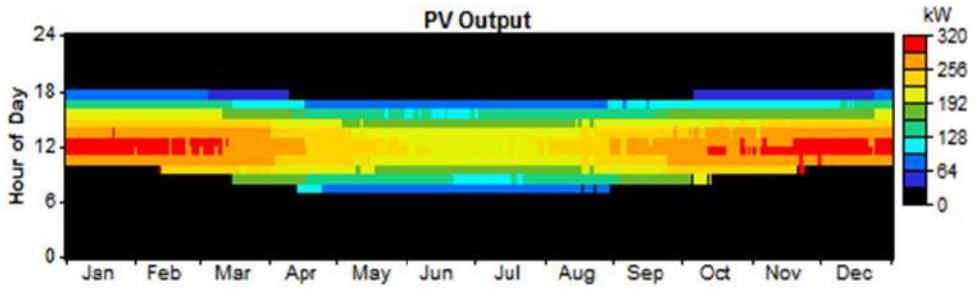


Figure IV.42. Production horaire d'énergie par le photovoltaïque

On peut remarquer que la période de fonctionnement de PV est bornée dans les mois d'hiver entre9h du matin au 18h, et inversement dans la saison d'été cette limite se stabilise entre 6 du matin jusqu'au 17h. La production des PV est nulle dans l'heure pointe selon le profil de charge journalière à 20h, ce qui introduit en parallèle le fonctionnement d'autres générateurs ou bien le recours d'énergie stockée dans les batteries pour répondre au demande de charge.

IV.7.2. Le générateur éolienne

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

Tableau IV. 17. Information concernant la production de l'énergie éolienne

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	Kw
Maximum output	77.8	kW
Wind penetration	27.5	%
Hours of operation	7,065	hr/yr
Levelized cost	0.736	$/kWh

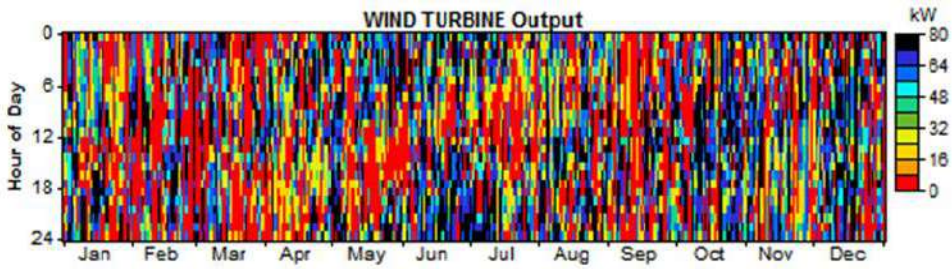


Figure IV. 43. Production horaire d'énergie par l'éolienne

Comme le montre la figure IV. 43, les éoliennes fonctionnent toute la journée, c'est-à-dire qu'elles sont bien illustrées dans le diagramme. La production d'énergie éolienne est évaluée toute l'année, ce qui se traduit bien par une production de couleur claire et bonne

IV.7.3.Résultats obtenue par les batteries

Tableau IV. 18. Les résultats obtenus par les batteries.

Quantity	Value	Units
Energy in	126,229	kWh/yr
Energy out	108,613	kWh/yr
Storage depletion	50.6	kWh/yr
Losses	17,566	kWh/yr
Annualthroughput	117,120	kWh/yr
Expected life	20.0	Yr

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	12,600	kWh
Usable nominal capacity	5,040	kWh
Autonomy	34.9	hr
Lifetimethroughput	22,397,532	kWh
Battery wear cost	0.001	$/kWh
Averageenergycost	0.000	$/kWh

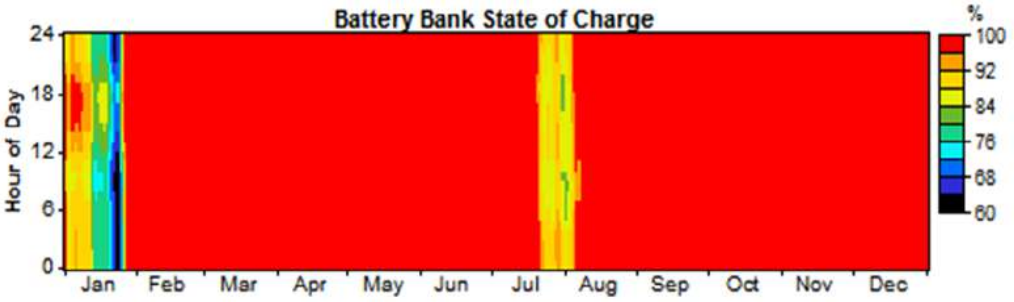


Figure IV. 44. Utilisation de la charge des batteries à travers une année

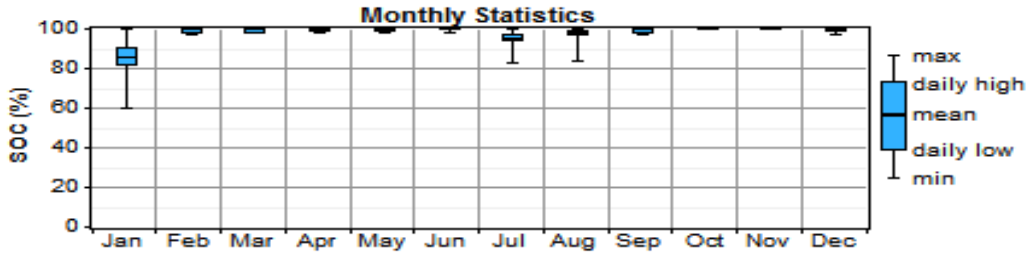


Figure IV. 45. Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries

La batterie est une partie importante et fondamentale dans ce système économique d'énergie électrique et est utilisée d'une façon permanente durant toute la journée, où son

niveau de charge est compris entre (80 et 100%) durant les jours d'année soit (126229KWh/an (in) et 108613 kWh/an (out)). Elle est utilisée comme l'élément essentiel et fondamental pour la génération d'énergie surtout pendant la nuit et ceci à cause du manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'une autre part pour des raisons diverses, parmi ces raison : la difficulté de livraison et la liaison avec cette région éloignée des zones productrice.

IV.7.4. Résultats obtenue par les convertisseurs bidirectionnels

On remarque que la relation entre l'onduleur et le redresseur est complémentarité c'est-à-dire 1ère complète le 2ème pour assure bien fonctionnement des bus AC et DC de SEH.

Tableau IV. 19. Résultats obtenue par le convertisseur

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	400	400	Kw
Mean output	44	6	kW
Minimum output	0	0	Kw
Maximum output	298	149	Kw
Capacity factor	10.9	1.6	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	3,933	4,171	hrs/yr
Energy in	424,076	60,708	kWh/yr
Energy out	381,669	54,637	kWh/yr
Losses	42,407	6,071	kWh/yr

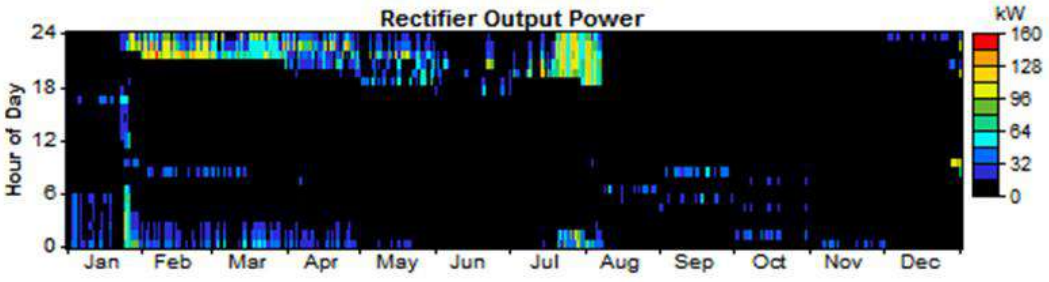


Figure IV.46.Résultats obtenue par l'onduleur

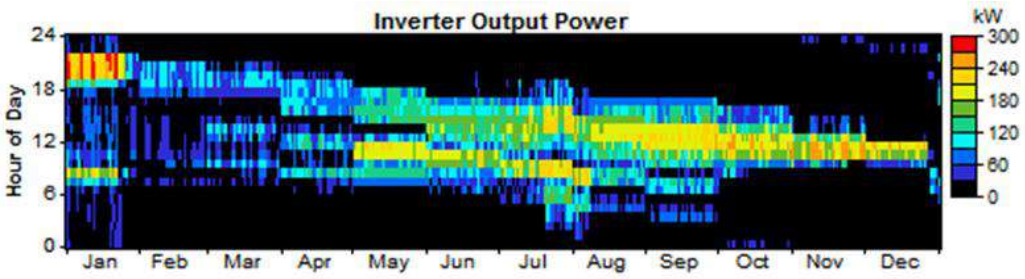


Figure IV. 47. résultats obtenues par le redresseur

IV.7.5.Production annuelle d'hydrogène

La Figure.IV.48 présente la production annuelle d'hydrogène

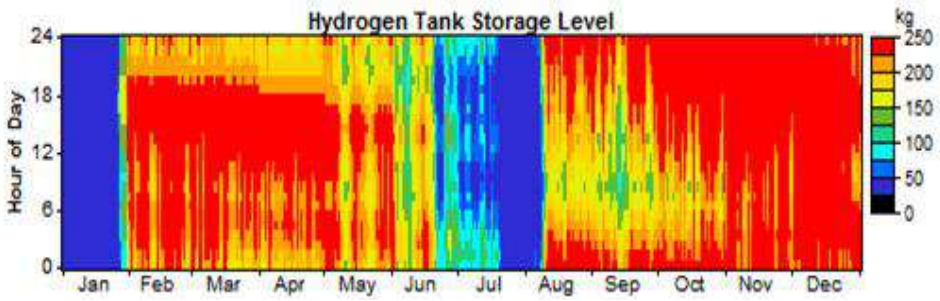


Figure IV. 48. Production horaire par d'hydrogène

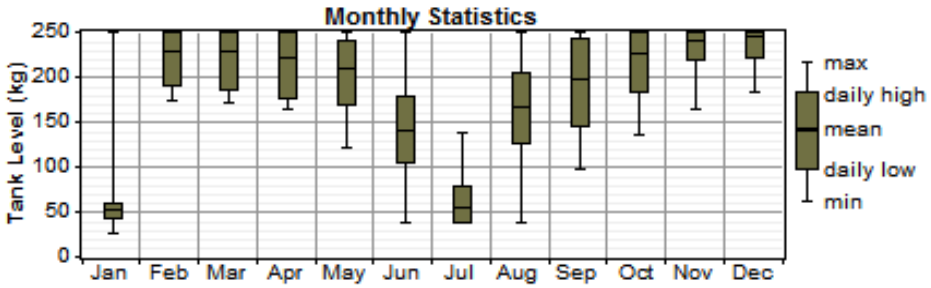


Figure IV.49. Statistiques mensuelles pour d'hydrogène

Les paramètres de son d'hydrogène montrés dans le tableau suivant :

Tableau IV.20. Information concernant la production d'hydrogène

Variable	Value	Units
Hydrogen production	1,070	kg/yr
Hydrogen consumption	-15,615	kg/yr
Hydrogen tank autonomy	57.6	Hours

L'hydrogène est une partie importante et essentielle de ce système d'alimentation électrique économique, et il est utilisé en permanence tout au long de la journée, car son niveau de charge varie entre (40Kg et 200kg) pendant les jours de l'année. Il est utilisé comme base et élément essentiel pour la production d'électricité surtout la nuit et cela est dû au manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'autre part pour diverses raisons, notamment : la difficulté de se connecter et de se connecter à cette zone à l'écart des zones de production.

IV.7.6. Production mensuelle de la pile à combustible

Tableau IV. 21.Résultats obtenue par de la pile à combustible

Quantity	Value	Units
Hours of operation	8,226	hr/yr
Number of starts	1	starts/yr
Operational life	1.82	Yr
Capacity factor	46.8	%
Fixedgenerationcost	30.8	$/hr
Marginal generationcost	0.00	$/kWhyr

Quantity	Value	Units
Electrical production	758,649	kWh/yr
Meane lectrical output	92.2	kW
Min. electrical output	55.5	kW
Max. electrical output	185	kW

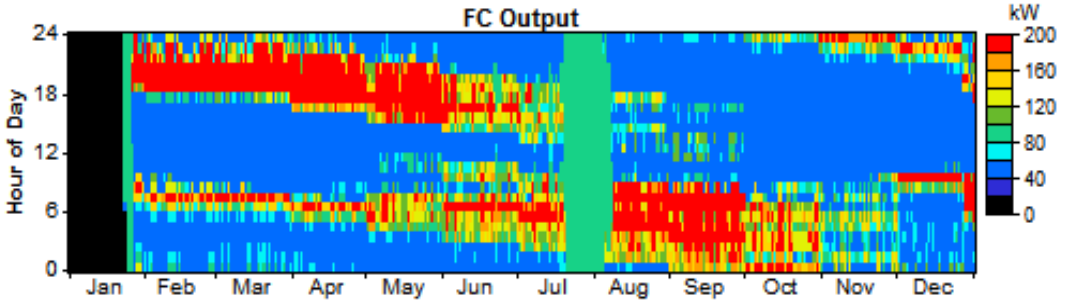
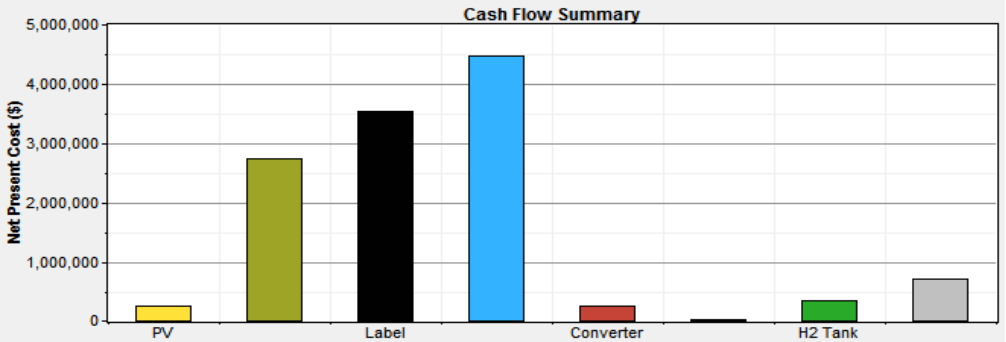


Figure IV. 50. Résultats obtenues par pile combustible

Comme le montre la figure IV.50, les piles à combustible fonctionnent toute la journée, c'est-à-dire qu'elles sont bien illustrées dans le diagramme. Le groupe motopropulseur à pile à combustible a une cote toute l'année, ce qui se traduit bien par des couleurs claires bien produites toute l'année, sauf en janvier qui devient noir pour indiquer que les piles à combustible ne fonctionnent pas.

IV.7.7.Interprétation des résultats optimisés

Le coût total estimé sur une année de travaux à tous les coûts du projet (capital, remplacement, O et M, salvage) est (12322474$) (1645173503.74DZD) avec (0.912 $/KWh)(121.76DZA/KWh).Les résultats ont été répartis comme suit :Nous trouvons que le coût le plus élevé dans le système utilisé qui est représenté par le prix d'O&M de (3721242$) (496823019.42 DZD), après le remplacement de (17228 $) (2300110.28DZA) et (salvage) de (-4585 $) (-612143.35DZA).



Component	Capital ($)	Replacement ($)	O&M ($)	Fuel ($)	Salvage ($)	Total ($)
PV	99,000	0	142,188	0	0	241,188
WIND TURBINE	2,718,800	0	17,080	0	0	2,735,880
FC	834,412	0	2,707,496	0	0	3,541,907
Copy of Copy of BATTE	4,425,120	5,407	40,351	0	-2,760	4,468,117
Converter	238,560	0	13,664	0	0	252,224
Electrolyzer	22,700	0	5,337	0	0	28,037
Hydrogen Tank	250,000	11,822	80,061	0	-1,825	340,057
Other	0	0	715,066	0	0	715,066

Figure IV. 51. Les différents coûts du système

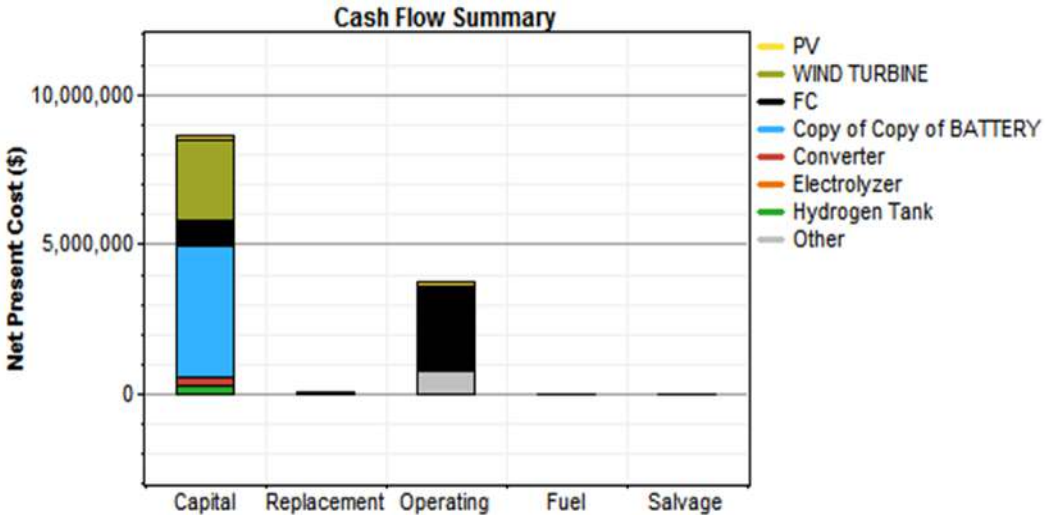


Figure IV. 52.Résumé des coûts des diverses composantes

Tableau IV. 22. Le cout et le cout élémentaire des composants en dollars.

Composant	PV	Éolienne	Batterie	Réservoir H2	Électrolyseur	Pile combustible	Convertisseur
Cout ($)	241188	2735880	4468117	340057	28037	3541907	252224
Cout élémentaire ($/KWh)	0.0319	0.736	-	-	-	-	-

Le coût total de système global c'est12322474 $ avec un cout élémentaire 0.7679$/KWh

On a : 1 U.S. dollar = 133.43 DZA

Tableau IV. 23. Le coût et le cout élémentaire des composants en dinars.

Composant	PV	Éolienne	Batterie	Réservoir H2	Électrolyseur	Pile combustible	Convertisseur
Coût (DZA)	32201009.88	365267338.80	596538300.67	45401010.07	3743219.87	472880003.57	33674426.24
Coût élémentaire (DZA/KWh)	4.26	98.20		-	-	-	-

Le cout de système global c'est 1645173503.74 DZA avec un cout d'énergie 102.46DZA/KWH.

IV.7.8.Comparaison de résultat de composant de système

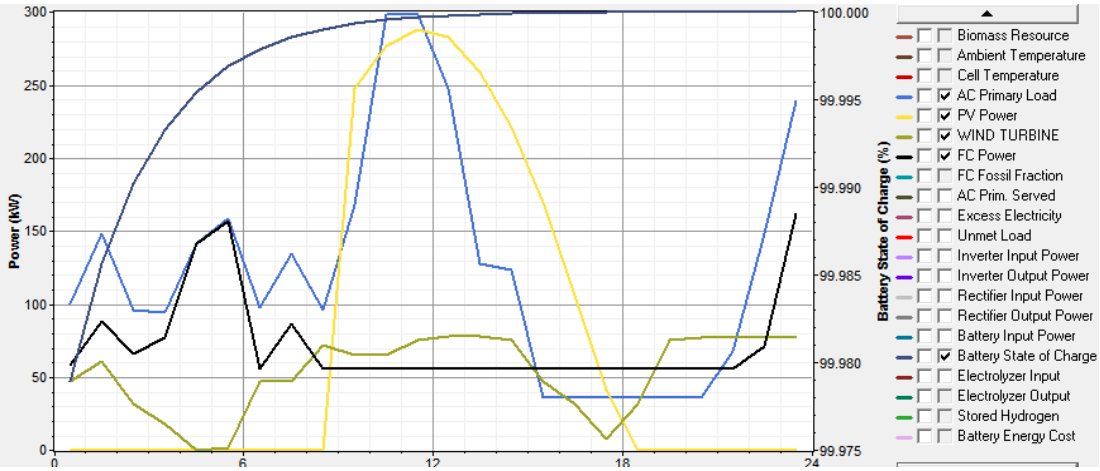


Figure IV. 53. Comparaison de résultat de composant de système

Cette courbe représente les résultats obtenus en 24 heures pour la quantité d'énergie produite par la vitesse du vent, l'énergie photovoltaïque et l'énergie produite par la pile combustible et stockage de batterie on la compare à l'énergie électrique consommée (profile de charge), où l'on note

La quantité stockage de batterie d'énergie augmentation de intervalle (0h 12h) et contenu de le 300 kW de intervalle (12h à 24h heure) et La quantité d'énergie solaire est nulle de (0h à 8h et 19h à 24h), tandis que d'autres énergies ont des valeurs variables dans le même intervalle, (énergie de la vitesse de vent 160 kW, énergie de la pile combustible 100kW et électrolyseur presque nulle) ; autrement dit, la quantité d'énergie produite est supérieur ou égale à la quantité consommée

En période prolongée (8h à 19h), la valeur de l'énergie produite par PV change passe à une valeur maximale, qui est 290 KW.

Tandis que d'autres énergies ont des valeurs variables (énergie de vitesse de vent 80 KW, énergie de la bile combustible 60 KW et l'électrolyseur 20kw), a fin répondre à la consommation journalière estimée de 300 KW.

IV.8.Comparaison pour les trois simulations

Dans ce chapitre, nous avons étudié trois systèmes qui produisent de l'énergie électrique. L'étude nous a montré que chaque système fournit de l'énergie électrique pour cette région, mais le coût de ces systèmes est différent d'un système à l'autre. Le système est PV/éolienne /battre. Son coût est de 22621932 dollars, et c'est le système le plus cher que nous ne pouvons adopter en raison de son coût élevé. Le système PV/éolienne /pile combustible est moins cher que le premier en terme de coût14945818 dollars, Ce système est également indésirable car il est plus cher que le système de PV/éolienne /pile combustible /batterie. Le coût de ce système est de12322474 dollars, ce qui le rend moins cher que les deux premiers systèmes, bien que ce système réponde aux besoins en énergie électrique de la région sans interruption.

IV.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude de simulation pour un système hybride éolien photovoltaïque avec la présence des batteries et des convertisseurs, avec à chaque fois que nous changeons comme on ajout la pile combustible et hydrogène, avec la batterie retirée.

Pour l'alimentation d'une charge donnée dans un concept autonome .la simulation est faite par le logiciel HOMER, qui nous permet de traiter des résultats réels basés sur des contraintes de coût et la variation d'entrées métrologique d'un site isolé.

Le critère le plus important dans cette simulation le coût (coût le plus bas),et la qualité et la continuité de la fourniture d'électricité .

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le monde, y compris en Algérie, il existe de nombreuses zones et village isolés et reculés qui ne sont pas raccordés au réseau électrique, en raison du cout élevé de leur approvisionnement, et puis hors du réseau électrique.

Dans cette étude, nous avons effectué l'analyse technico-économique d'un système d'énergie renouvelable conçus pour alimenter un profil de charge (site isolé de Timimoune), le système étudié est composé essentiellement du générateur photovoltaïque, éolienne, une pile à combustible et l'électrolyseur de l'eau pour produire l'hydrogène avec la présence des batteries et des convertisseurs.

Dans le but d'établir un dimensionnement optimal de notre système, nous avons utilisé le logiciel HOMER ce logiciel spécialisé pour l'optimisation économique et le dimensionnement du système pour évaluer la compatibilité technique ainsi que la fiabilité économique avant l'exécution du projet. Pour cela nous avons présenté une description générale de l'HOMER et les diverses opérations qui peut être effectuées , en suite nous avons commencé l'étude économique de l'installation (PV-éolienne-pile combustible-batterie) qui peut satisfaire l'alimentions de notre profile de charge (Timimoune) qui consommé une énergie de 3.5 MWh/jour, en premier lieu nous avons présenté les ressources énergétiques (irradiation, température et vitesse de vent) et les coûts de chaque composant des systèmes ensuite l' HOMER propose le système le plus optimum avec le dimensionnement du système hybride qui pourras être utilisé.

Dans cette étude nous avons pris en considération tous les coûts sur toute la durée de vie de projet. Ceux-ci incluent non seulement les coûts initiaux mais aussi les coûts de remplacement, le coût d'exploitation, et maintenance de l'installation.

Après avoir effectué les simulations des trois configurations du système (PV, éolienne, pile combustible, l'électrolyseur, batterie et stockage d'hydrogène), elles diffèrent les unes des autres en termes de composants. Nous avons constaté que la meilleure simulation en termes de coût, de qualité et de continuité énergétique est la configuration qui dépend des composants suivant (PV, éolienne, pile combustible, l'électrolyseur, batterie), avec coût total estimé 12322474 dollars.

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

Bibliographie

[1]:CHEBBOUB Chaouki « Etude et évaluation d'un système photovoltaïque électrolyseur-pile à combustible de génération d'électricité ». Mémoire Master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla 09 /07 /2019

[2]: S. BELAKEHAL « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables Thèse de Doctorat, Université de CONSTANTINE 2010

[3]: H. KANCHEV : «Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain » Thèse de Doctorat, PRES Université Lille Nord-de-France2014

[4]: C. DARRAS, '' Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE'', Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.

[5]: A. MIRECKI, « Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », thèse de doctorat, de l'institut national polytechnique de Toulouse, 5 avril 2005.

[6]: « La cellule photovoltaïque ». Document technique, Centre de recherche de Développement De l'ECAM.

[7] Dris Mida, "Contribution à la Modélisation d'un Système de Production d'Energie Electrique Hybride « Eolien – Photovoltaïque »Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences, 10/04/2019

[8] http://www.windsun.com/PV_Stuff/Solar_Panel_PDF.htm

[9] : L .ABDELHAMID, «contribution à l'amélioration des performance des générateur Eoliens-Evaluation de l'impact des énergies renouvelables sur l'environnement ». Thèse Doctorat, Université de Batna, 2012.

[10] http://membres.lycos.fr/tpepaillardbaroux/notions.htm

[11] Zarour Laid, « Etude technique d'un système d'énergie hybride Photovoltaïque-éolien hors réseau », Magistère en Electrotechnique, Université Mentouri De Constantine, Département D'électrotechnique, Algérie, 07/2010.

[12]. L.PROTIN and S.ASTIER, « Convertisseurs photovoltaïques », Technique d'ingénieur, D 3360, 1996.

[13] M. Huart, « Guide des énergies renouvelables », Association pour la promotion des énergies renouvelables, Ministère de la Région wallonne éditeur, 1994

[14] : L. Chang, 'Systèmes de Conversion de l'Energie Eolienne', IEEE Canadian Review, pp. 1 – 5,2002.

[15]: B.BOUKHEZZAR, « Stratégies de Commande pour L'optimisation et la Régulation de Puissance des Éoliennes à Vitesse Variable ». Thèse de Doctorat de l'université de Pari XI France, 2006

[16]: N. MEKKAOUI, « Contribution à la Modélisation et à la Commande d'une Mini-Centrale Eolienne à Base de Machines à Induction Simple et Double Alimentée ». Mémoire Magister, Université Batna, 2004

[17] : L.KHATTACHE, « Etude et commande d'un système éolien à base d'une machine électrique à double alimentée ». Mémoire Magister, Batna, 2007

[18] : A. RAMLI, « Contribution à l'amélioration des performances d'un aérogénérateur basé sur MSAP».
Mémoire de Magister, Université de Bejaïa, 2010

[19] N. La verdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes éoliens –Intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004.

[20] J. Chen, C. Nayar, L. XU, « Design and FE analysis of an outer-rotor PM generator for directly coupled wind turbine applications », proceeding of the IEEE industry applications conference, New York, USA, 1998, vol 1, pp. 387-394.

[21] S. El Aimani, « Modélisation des différentes technologies d'éoliennes intégrées dans un réseau de moyenne tension », thèse de doctorat, l'université des sciences et technologies de Lille (USTL)

[22] R. Michaux, P. Letellier, « Les machines discoïdes à champs axial dans les systèmes de production électrique », revue de l'électricité et de l'électronique, N° 3, mars 1997, pp. 37-42.

[23] J.W. Smith, J.A. Taylor, D. L. Books, R.C. Dugan, « Interconnection studies for Wind generation », conference papers IEEE2004, paper N° 04 C3, pp. C3-1.C3-8.

[24] : N. ZIDANE, «Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Energies Renouvelables ». Mémoire Magister, université farhat abbas setif ,2014.

[25] : K. AMOKRANE, « Etude et Performances des systèmes de pompage photovoltaïque

destinés pour l'alimentation en eau potable ». Mémoire Magister, UniversitéAbderrahmane Mira de Bejaia, 2008.
[26] K. Mammar and A. Chaker, 'Fuzzy Logic-Based Control of Power of PEM Fuel Cell System for Residential Application', Leonardo Journal of Sciences, N°14, pp. 147 – 166, 2009.

[27] D. Jury, "d'énergie à base d'hydrogène dans un réseau électrique Remerciements," 2019.
[28] S. Kutsaev*et al*, "Electron accelerators for novel cargo inspection methods," *Phys. Procedia*, vol. 90, pp. 115–125, 2017.
[29] G. Aragón-González, A. León-Galicia, R. González-Huerta, J. M. R. Camacho, and M. Uribe-Salazar, "Hydrogen production by a {PEM} electrolyser," *J. Phys. Conf*

[30] Devotha NSHIMIYIMANA, "Sizing of a hybrid solar PV-Wind-fuel cell power system for isolated location " 30 August, 2016

[31] BENRAYA Yamina," Gestion d'énergie électrique multisource d'un site isolé "27 / 10 / 2020

[32] Maleki A, Pourfayaz F, Hafeznia H et al. A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: a case study of eastern Iran. Energy Convers Manage 2017;153:129–43

[34] Maleki A, Rosen MA, Pourfayaz F. Optimal operation of a grid-connected hybrid renewable energy system for residential applications. Sustainability 2017;9:1314.
[35] Ahmadi S, Abdi S. Application of the Hybrid Big Bang–Big Crunch algorithm for optimal sizing of a stand-alone hybrid PV/wind/battery system. Sol Energy 2016;134:366–74

[36] Maleki A. Design and optimization of autonomous solar-wind-reverse osmosis desalination systems coupling battery and hydrogen energy storage by an improved bee algorithm. Desalination 25 August 2017 (inpress).

[37] Correspondence should be addressed to AmeviAcakpovi; acakpovia@gmail.com Received 27 July 2020; Revised 22 November 2020; Accepted 5 December 2020; Published 15 Décembre 2020 Académique Editor: Ping-Feng Pai

[38]C. Darras. Modélisation de systèmes hybrides photovoltaïque/hydrogène : applications site isolé, micro-réseau et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE (ANR PAN-H) Energie électrique. Université Pascal Paoli, 2010. Français. fftel-00591013ff

[39] A. M. Eltamaly and M. A. Mohamed, "A novel design and optimization software for autonomous PV/wind/battery hybrid power systems," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, Article ID 637174, 16 pages, 2014.

[40] M. A. Mohamed, A. M. Eltamaly, and A. I. Alolah, "PSObased smart grid application for sizing and optimization of hybrid renewable energy systems," *PLoS One*, vol. 11, no. 8, Article ID e0159702, 2016.

[41] O. Erdinc and M. Uzunoglu, "Optimum design of hybrid renewable energy systems: overview of different approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 3, pp. 1412–1425, 2012.

[42] S. Gaddada and S. P. K. Kodicherla, "Wind energy potential and cost estimation of wind energy conversion systems (WECSs) for electricity generation in the eight selected locations of Tigray region (Ethiopia)," *Renewables: Wind, Water, and Solar*, vol. 3, no. 1, pp. 1–13, 2016.

[43]Correspondence should be addressed to Amevi Acakpovi; acakpovia@gmail.com Received 27 July 2020; Revised 22 November 2020; Accepted 5 December 2020; Published 15 December 2020 Academic Editor: Ping-Feng Pai

[44]: KARA Abdelfattah, Université Ferhat Abbas, mémoire master 2 automatique, Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie 2014.

[45]: KARA Abdelfattah, Université Ferhat Abbas, mémoire master 2 automatique, Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie 2014.

[46] MS_GEER_2010-2011_Rapport_final_corrigé_nana_neuwouh.pdf, mémoire pour l'obtention du master spécialise génie électrique, énergétique et énergies renouvelables (geer) option : énergies renouvelables promotion 2010/2011.

[47] : L'électricité dans le mix énergétique mondial : Dynamique d'évolution et interprétation