

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB. BLIDA
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DES ENERGIESRENOUVELABLES**



POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME deMaster Energies Renouvelables
Option : Energies Renouvelables et Habitat Bioclimatique

**Electrification d'un habitat bioclimatique au
moyen d'énergies renouvelables**

Présenté par : Encadré par :

- **TITRI Mohamed Anis •DR Lila AicheHamane**

Promotion 2017/2018

Remerciment

Tout d'abord, je remerci **ALLAH** notre créateur de nos avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail .

Je remerci mon encadreur **D. L Aiche-Sumane** Qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et son suivi du début jusqu'à la fin de ce travail.

Je tiens également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance

Enfin, Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma familles qui ma toujours soutenue et à tout ceux qui ont participer pour la réalisation de ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation.

Résumé

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

Dans ce travail, nous présentons l'étude d'un système hybride éolien photovoltaïque avec stockage basé sur l'hydrogène pour un habitat résidentiel situé dans la région de Bouzareah.

Cette étude comprend le dimensionnement du système, ainsi que l'évaluation de ses performances.

La simulation se fera à l'aide du logiciel HOMER. Les résultats de la simulation définissent la taille des panneaux photovoltaïques, la puissance de l'éolienne et la capacité de stockage de l'hydrogène qui alimenteront en électricité la maison.

Abstract

Electricity production from stand alone power system offer a safety supply to the consumer with respecting the environment.

In this paper the design and simulation of hybrid stand alone system for application in Bouzareah

This study include a sizing of the system the evaluation of the performance and an economic study. The simulation is make with HOMER The results of the simulation define the optimal type and size of the renewable-based system to be applied in each of the locations examined at the minimum system cost.

ملخص

انتاج الكهرباء اللامركزي من مصادر الطاقة المتجددة يوفر امن اكبر للمستهلكين مع احترام البيئة

في هذه الورقة يتم تقديم دراسة نظام هجين للرياح و الألواح الشمسية مع التخزين لمنزل سكني يقع في منطقة بوزريعة و تتضمن هذه الدراسة تصميم النظام و تقييم الاداء و التحليل الاقتصادي المحاكاة الديناميكية تتم بواسطة برنامج النتائج الواردة من برنامج المحاكاة تحدد حجم قدرة الألواح الشمسية و طاقة الرياح وسعة تخزين HOMER البطاريات لتكون التغذية بالكهرباء في المنزل تامة

INTRODUCTION GENERALE :

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

Mais dans les pays industrialisés, dès le XIXème siècle, elles furent progressivement marginalisées aux profits d'autres sources d'énergie que l'on pensait plus prometteuses.

Des récentes estimations ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus ne sont toujours pas raccordé aux grands réseaux d'électricité [1] (ce qui représente environ 44% de la population mondiale), pour la plus part située dans les pays du tiers monde dont l'Algérie,

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

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

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

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

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire .En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays couvre certains de ses besoin en énergie solaire .

La production de l'électricité est donc forcément, , synonyme de perturbations. L'utilisation excessive d'un mode de production accentue fortement l'effet nuisible qui lui est associé et il apparaît évident que la diversification des sources est une solution à promouvoir.

Le rôle d'un système hybride (éolien – photovoltaïque) de production d'électricité sans interruption dans les régions isolées n'est pas seulement d'apporter « une puissance énergétique », mais un outil de développement social et économique des zones rurales. Le nombre de kilowattheures produit peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais ces quelques dizaines ou centaines de kilowattheures peuvent ranimer tout l'espoir d'un village ou d'une communauté

CHAPITRE 1 : Etat de l'art du système hybride Eolien PV Hydrogène

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

1.1. Introduction :

Le terme « Système d'Energie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées mais la présence du générateur diesel dans ce type de système hybride autonome suscite certaines discussions quant aux notions de « propreté » et de durabilité.

1.2. L'origine de la notion du système [1]:

Un système est un ensemble d'objets organisés en fonction d'un but et immergé dans un environnement.

- Le système est un outil conceptuel,
- L'ensemble doit former une identité ou une unité cohérente et autonome,
- Les objets ou éléments peuvent être réels ou conceptuels.

1.3. Définition de système hybride [2]:

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables.

Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité.

Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante , et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue.

Les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

1.4. Les avantages des systèmes hybrides [3]:

- Diminution de la consommation de carburant et des contraintes d'approvisionnement
- Indépendance énergétique et visibilité à long terme du coût de l'énergie
- Durée de vie des groupes électrogènes allongée, maintenance allégée
- Réduction des nuisances sonores et de la pollution de l'air du site.

1.5. Présentation du système hybride :

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles[4].

1.5.1. Principaux Composants des systèmes hybrides :

Les systèmes d'énergie hybride sont généralement constitués de sources d'énergie classique, de sources d'énergie renouvelable. Ils peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie hydroélectrique, marémotrice, géothermique, etc, des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage des charges principales et un système de surveillance.

Le système qui nous intéresse comprend [1]:

1.5.1.1. Générateurs photovoltaïques :

Une cellule élémentaire composée de matériaux semi-conducteurs est capable de convertir l'énergie de photons reçus à sa surface en une différence de potentiel, créée par une délocalisation d'électrons dans le matériau. La circulation des électrons dans le circuit extérieur permet à la cellule PV de fonctionner comme un générateur. Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite les modules PV peuvent être regroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée.

1.5.1.2. Aérogénérateur :

Aérogénérateur ou éolienne, un dispositif qui permet de capter l'énergie cinétique du vent afin de la transformer en électricité. Le vent fait tourner les pales du rotor des éoliennes

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

qui sont reliés à une génératrice pour permettre la production de l'électricité. Celle-ci est soit stockée dans des batteries, soit directement envoyée sur le réseau électrique.

1.5.1.3. Pile à combustibles :

Parmi les technologies envisagées pour l'avenir en termes de production d'énergie électrique décentralisée, la pile à combustible est considérée comme une solution très prometteuse. Ce convertisseur d'énergie, à la fois propre et efficace, permet de convertir l'énergie chimique de l'hydrogène, vecteur énergétique en énergie électrique, utilisable directement, et une énergie thermique qu'il est possible de valoriser. L'utilisation de cette cogénération permet d'atteindre des rendements très intéressants, jusqu'à 80% dans certains cas. Les piles à combustibles (PAC), générateurs statiques d'électricité et de chaleur.

1.5.1.4. Systèmes de stockage :

Le stockage d'énergie est un facteur clef dans un système d'énergie hybride en site isolé. Dans la plupart des cas, les batteries représentent encore la technologie la plus rentable. Elles sont d'habitude du type plomb – acide. Les batteries nickel – cadmium sont rarement utilisées. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie.

L'hydrogène est le candidat le plus apte à combler les lacunes des accumulateurs. Le surplus de courant alimente un électrolyseur qui produit de l'hydrogène à partir de l'eau. Une pile à combustible emploie ensuite ce gaz pour générer de la chaleur et des électrons.

1.5.1.5. Convertisseurs :

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu (CC) en à courant alternatif (CA) et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement ils sont généralement monophasés ou triphasés.

Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC pour adapter la tension entre deux sources.

1.5.1.6. Charges :

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

1.6. Classification [5]:

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi. Dans la suite sont présentées les classifications les plus répandues.

1.6.1. Le régime du fonctionnement :

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes :

Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique.

Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.

1.6.2. La structure du système hybride :

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système.

✓ **Le premier critère** est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

Exemples des Systèmes hybrides avec source d'énergie conventionnelle :

- Systèmes photovoltaïque/source conventionnelle
- Systèmes éolien/source conventionnelle

Exemples des systèmes hybrides sans source conventionnelle

- Systèmes hybrides photovoltaïque/stockage
- Système hybride photovoltaïque/éolien/stockage
- Système hybride éolien/stockage

✓ **Un second critère** possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc.

✓ **La dernière classification** possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc.

1.7. Etudes des systèmes hybrides :

Au vue de ces nombreux critères, il est aisé d'imaginer la diversité des études sur les systèmes hybrides disponibles. Une synthèse non exhaustive des études réalisées sur ces systèmes est présentée dans ce paragraphe.

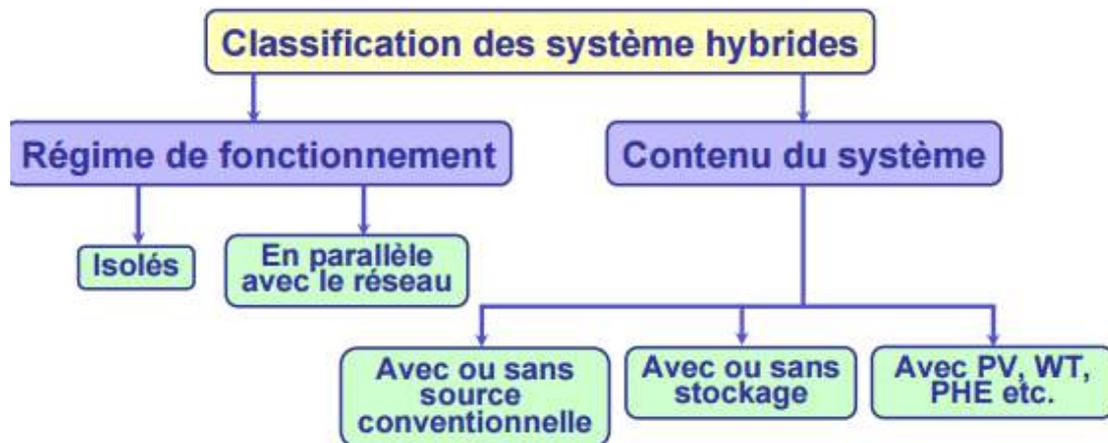


Figure 1.1: Classification des systèmes hybrides

1.7.1. Critères d'optimisation du système hybride :

Différents critères sont utilisés pour optimiser les systèmes en fonction du site d'installation. Les critères les plus fréquemment utilisés sont :

➤ **La probabilité de perte de la charge** ou la probabilité de perte d'approvisionnement, ces deux critères sont univoques et rendent compte du rapport énergie non satisfaite et énergie totale consommée sur la période d'étude choisie.

➤ **Le coût d'énergie produite** Diverses approches sont utilisées pour le calcul du coût : il dépend de l'énergie demandée par le consommateur, du coût d'investissement initial pour l'achat des composants du système, du coût de leur installation, du coût de maintenance et de remplacement (pour les éléments qui ont une vie d'exploitation plus courte que celle de l'élément qui définit la vie d'exploitation du système hybride) etc.

1.7.2. Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides :

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement parmi lesquels les plus connus sont :

➤ **Hybrid2** – ce logiciel est destiné à l'étude de différents systèmes hybrides avec divers éléments. Il dispose d'outils pour effectuer une analyse économique. La présentation des résultats peut être réalisée de deux manières – des résultats synthétisés ou des résultats détaillés avec variation dans le temps ;

➤ **HOMER** (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) – avec ce logiciel, il est possible de modéliser des systèmes hybrides qui travaillent en parallèle avec le réseau électrique ou en régime autonome. Il dispose de modèles de générateurs

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

conventionnels et à sources d'énergie renouvelables. De plus, le logiciel contient des algorithmes d'optimisation à l'aide desquels il est possible de choisir le meilleur système hybride ;

➤ **RAPSIM** (Remote Area Power Supply Simulator) – c'est un logiciel de simulation pour différents modes d'un approvisionnement en courant alternatif. Il peut être utilisé pour le dimensionnement d'installations photovoltaïques, de générateurs éoliens et diesel dans des systèmes hybrides isolés.

1.8. Etat de l'art des systèmes hybrides Energies renouvelables hydrogène :

Plusieurs études ont été faites et se poursuivent jusqu'à présent sur les systèmes à énergies renouvelables basées sur le stockage sous forme d'hydrogène.

Nous présentons des études qui ont été mené depuis 2014, a travers le monde :

An integrated energy storage system based on hydrogen storage Process configuration and case studies with wind power 2014 [6]:

Cet article a pour objectif de maintenir l'équilibre entre la demande et la production par l'intégration d'un système de stockage d'énergie basé sur le stockage d'hydrogène et le cycle combiné hydrogène-oxygène.

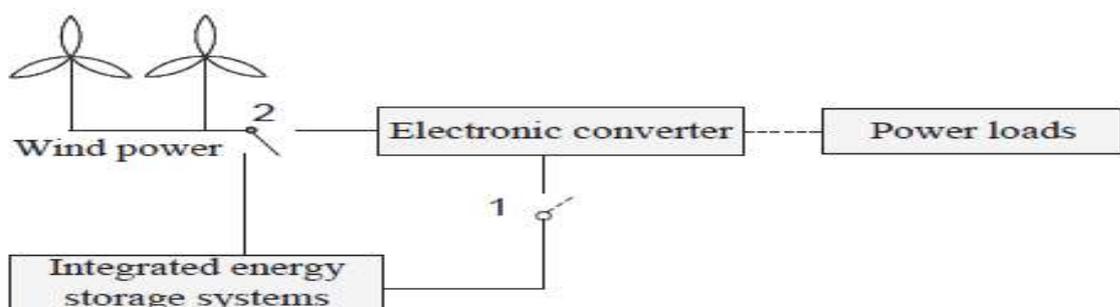


Figure 1.2: diagramme du système de stockage d'énergie installé

Dans cette étude, une comparaison du stockage intégré et d'autres moyens de stockage d'énergies a été effectuée, de même le cas d'études avec l'énergie éolienne pour les modes opératoires intermittent et continu.

Les résultats montrent que le système intégré présente un outil adéquat pour le développement des énergies renouvelables, le système de stockage permet la réduction des caractéristiques

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

intermittente et variable du vent. L'efficacité nette moyenne du système intégré peut atteindre jusqu'à 50% et son cout est aux alentours de 2000\$/kW.

Une autre étude donne[7] une estimation de la production d'Hydrogène d'une installation autonome effectué selon 03 configurations possibles utilisant les systèmes éolien et PV :

Système Eolien (A), Système Photovoltaïque (B), et le système Hybride Eolien-PV (C).

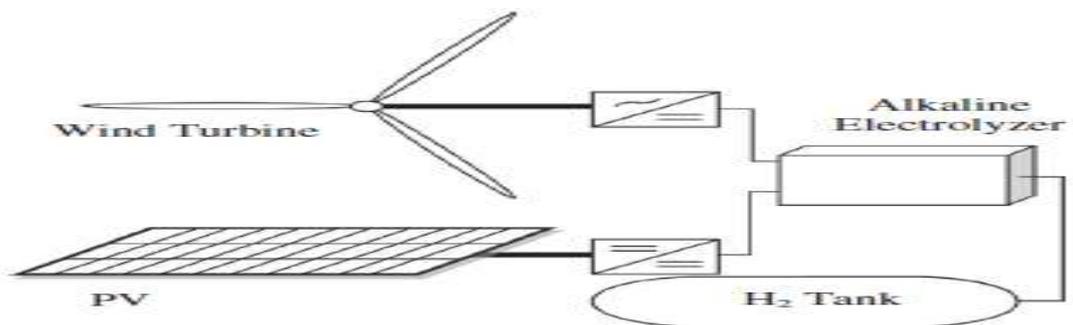


Figure 1.3: Diagramme du système hybride éolien photovoltaïque

Un dimensionnement de l'installation a été effectué dans le but de produire le maximum d'Hydrogène possible en alimentant un électrolyseur de 10 KW, puis le stocker en une durée d'une semaine.

Le logiciel MATLAB Simulink est utilisé pour la simulation des différents éléments constituant le système.

Les résultats ont montrés que le système (c)est le mieux placé pour la région de Sahand, Iran.La contribution du photovoltaïque est faible par rapport à l'éolien, mais pour une faible vitesse du vent le système Hybride reste plus fiable qu'un système a une seule source.

En 2015 l'évaluation préliminaire du potentiel d'Hydrogène produit par l'énergie éolienne a été effectué, pour réduire l'utilisation des carburants fossiles dans le transport routier de la Suède.

L'éolienne Vestas 112 et l'électrolyseur PEM sont les principaux éléments qui constituent le système.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

Cette évaluation a permis l'estimation du taux de réduction de la consommation des carburants fossiles et les émissions du CO₂ jusqu'à 50%, par l'utilisation de 2% seulement du total du potentiel d'Hydrogène produit par l'énergie éolienne local.

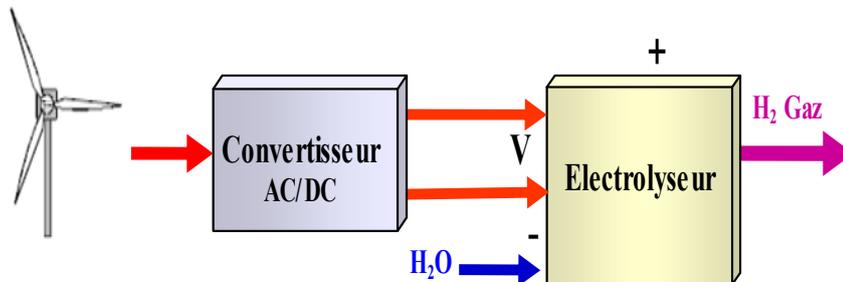


Figure 1.4: Système de production de l'hydrogène à partir de l'énergie éolienne [9, 10]

En 2015, L. Aiche Hamane [9,10,11] a proposé une configuration d'un système de production d'hydrogène à partir de l'énergie éolienne. Ce système comprend une éolienne, un convertisseur AC/DC et enfin d'un électrolyseur alcalin amélioré fournissant de l'hydrogène comprimé à 30 bars. Deux approches ont été utilisées pour la simulation. La première est statistique, elle est basée sur l'estimation de valeurs moyennes. La seconde, quant à elle, est dynamique, elle est basée sur une simulation horaire grâce au logiciel TRNSYS.

R. Sarrias. Merra [12], a traité le fonctionnement couplé d'un électrolyseur et d'une éolienne. Quatre modèles différents d'électrolyseur sont présentés et évalués dans ce travail. Ces modèles sont étudiés sous MATLAB/Simulink. Les quatre évaluations sont étudiées et leurs résultats comparés pour des vitesses de vents et des demandes de réseau variables.

Cette tâche est effectuée par le SCS, qui place les références de puissance active et réactive pour les deux dispositifs, afin d'accomplir les demandes variables de réseau. Par conséquent, on peut observer deux sous-systèmes différents : l'Actif et le réactif.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

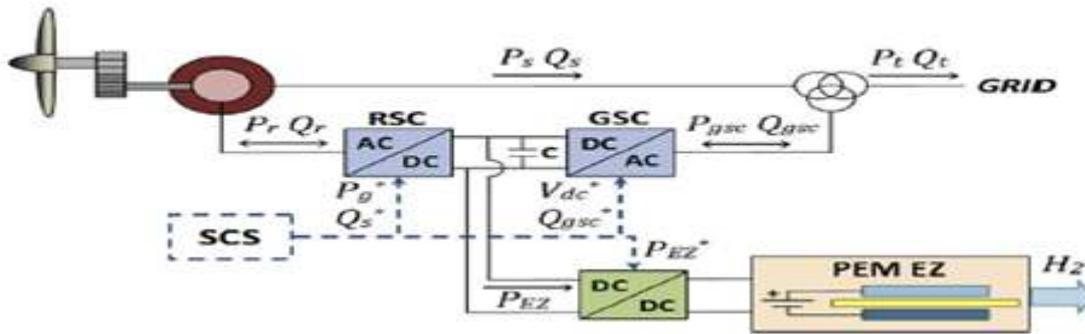


Figure 1.5: schéma complet du système hybride

L'utilisation d'électrolyseurs semble comme étant l'option idéale pour profiter de l'énergie éolienne excessive qui autrement serait gaspillée. L'hydrogène produit peut être employé plus tard comme porteur d'énergie pour la production d'électricité des piles à combustible ou de combustible pour le transport dans différents véhicules, ou dans l'industrie chimique.

Les auteurs Shahid Hussain Siyal, Dimitris Mentis, Mark Howells[13]: ont effectué une analyse économique de la production autonome d'hydrogène à partir de l'énergie éolienne en Suède. Cette analyse est faite en utilisant le logiciel HOMER.

Le logiciel HOMER Revalue le système d'énergie éolienne afin d'alimenter des stations à hydrogène situés sur trois sites.

HOMER permet également d'analyser les effets de variation dans des paramètres d'apport choisis sur les paramètres de production d'un système énergétique.

Les résultats spécifient qu'aux sites choisis le carburant hydrogène renouvelable peut être produit tout au long de l'année et permet de ravitailler en combustible 200 véhicules quotidiennement.

Finalement, il peut être dit que dans le proche avenir le changement du fossile au secteur des transports alimenté renouvelable pourrait être le sujet plus populaire en Suède en raison de l'énergie future et des cibles d'environnement mises par le gouvernement suédois.

Economic evaluation of hybrid off-shore wind power and hydrogen storage system 2015 [14]:

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

Cette recherche mène une évaluation économique d'une centrale hybride, se composant d'une ferme d'éoliennes en off-shore et d'un système de production-stockage d'hydrogène dans la région française du Pays de la Loire.

Cette recherche étudie le cas où la puissance a employé pour produire de l'hydrogène vient de l'énergie renouvelable. L'étude de cas consiste dans un arrangement contractuel qui est spécifique du système hybride, où les deux les opérateurs de vent et d'hydrogène partagent leurs coûts et avantages. L'évaluation économique est basée sur l'opération optimale de l'énergie éolienne et de la production d'hydrogène au moyen d'une dynamique établie.

Deux compresseurs sont utilisés, un de pression de 200 bars pour la disposition de power-to-power, et un compresseur de 700 bars pour application de power-to-mobility.

Les résultats montrent des bénéfices négatifs pour tous les scénarios dus à des charges de placements élevées en infrastructures de vent et d'hydrogène.

Applying small wind turbines and photovoltaic system to facilitate electrolysis hydrogen production 2016 [15]:

Cette étude a développé un système modulaire décentralisé, hybride PV-petites éoliennes pour remplir un réservoir de 25 kg d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau.

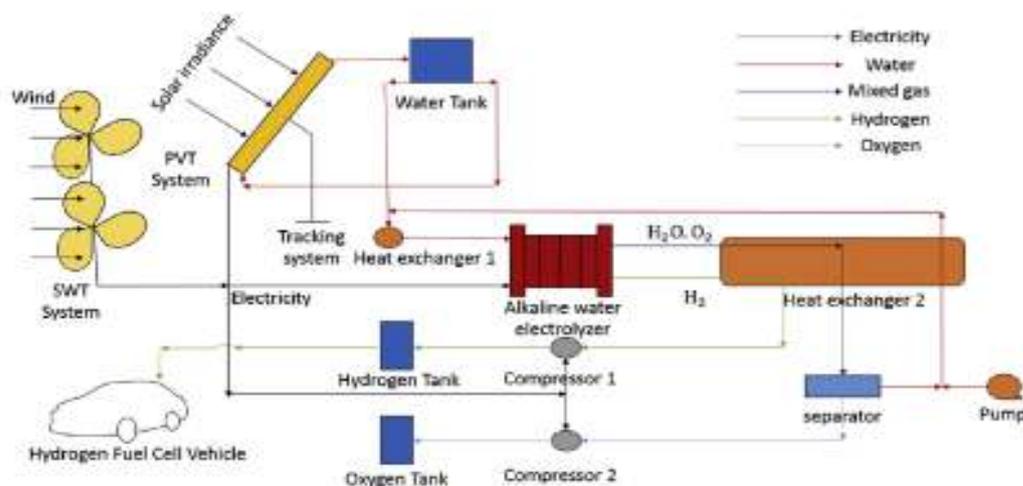


Figure 1.6: Schéma complet du système hybride Pv-petites éolienne

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

La simulation est effectuée par le logiciel MATLAB/simulink pour observer l'effet de la température en fonction des densités de courant dans l'électrolyseur sur le taux d'hydrogène et l'efficacité de faraday.

Les résultats ont montrés que pour une température de 60°C, l'efficacité de production d'hydrogène augmente lorsque la densité de courant augmente.

Quand la température et la densité de courant augmente, une diminution du voltage cause une augmentation de l'efficacité de production d'hydrogène.

Le système hybride PV-éoliennes produit 25 kg d'hydrogène en un temps minimal 49.2 h a une densité I-100.

Analysis of hydrogen production from wind energy in the southeast of Iran 2016 [16]:

Le but de cette étude est d'examiner la capacité de l'énergie éolienne pour la production d'Hydrogène, dans 05 localisations en la Province de Sistan & Baluchestan, Iran. Par Quatre différents types d'éoliennes ont été étudiés d'une capacité allant de 300-900 KW (Vestas V47, AWE 52-900, EWT Directwind 500/54, et Nordtank-300).

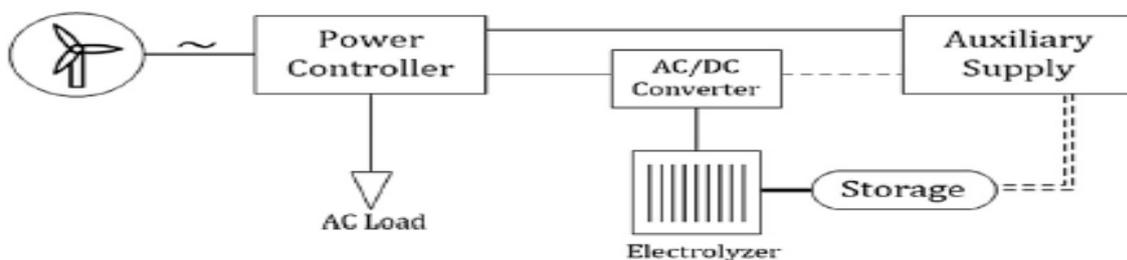


Figure 1.7: Système de conversion éolienne hydrogène

Les résultats ont montré que le model AWE 52-900 détient les meilleures performances en terme de production totale d'énergie.

A review on wind energy and wind hydrogen production in Turkey A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion 2016 [17]:Dans la figure 1.8 le système éolienne-électrolyseur est considéré comme une installation de production d'hydrogène et l'énergie en excès est vendue au réseau pour réduire les couts de production.

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

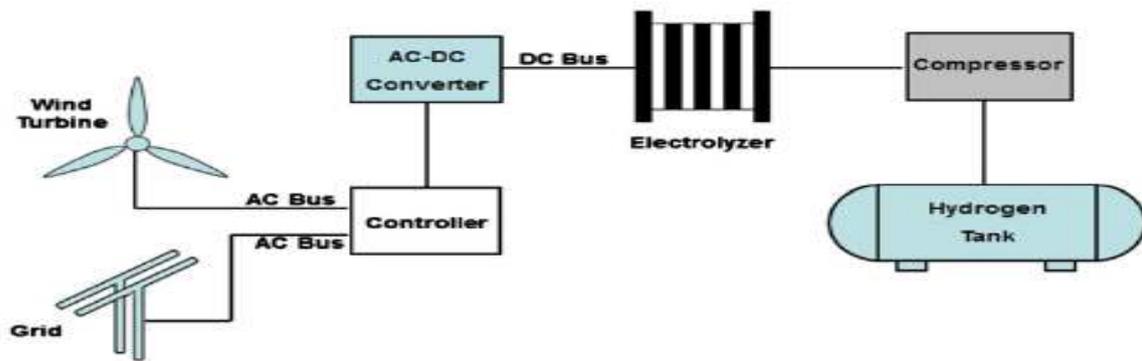


Figure 1.8: Elément du système éolien électrolyseur

L'objectif de cette publication est d'établir une comparaison de la production d'hydrogène et les variations des coûts de production dans 05 localisations différentes situées dans le centre Anatolien en Turquie, pour 03 scénarios différents avec 04 systèmes de conversion d'énergie éolienne à 03 différentes hauteurs du moyeu.

Les résultats ont montré que le maximum d'hydrogène est requis pour le 3ième scénario, et un système de conversion de 1300kw a une hauteur du moyeu de 100m, et le minimum coût de production est atteint pour un système de conversion de 2300kw dans la même région.

Evaluating the wind energy potential for hydrogen Production 2016 [18]:

Dans cette étude, le potentiel de développement d'énergie éolienne pour le but de production hydrogène dans la province Fars de l'Iran. Les caractéristiques d'énergie éolienne ont été statistiquement analysées pour déterminer le potentiel d'énergie éolienne pour produire l'hydrogène comme carburant de voitures dans différentes villes examinées d'Abadeh, Juyom, Eqlaed et Marvdasht.

Les performances de quatre éoliennes à grande échelle différentes pour produire l'énergie éolienne dans Abadeh sont évaluées. Il est trouvé que l'hydrogène de l'énergie éolienne dans Abadeh alimenterait environ 22 voitures par semaine. De ce fait, la ville d'Abadeh a le meilleur potentiel pour exploiter l'énergie éolienne que les autres villes.

A techno economic assessment of large scale wind hydrogen production with energy storage in Western Canada 2016 [19]:

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

La production d'hydrogène via la méthode du reformage de la vapeur de méthane (Steam Methane Reforming-SMR) domine le marché mondial et génère des gaz à effet de serre.

Dimensionnement et simulation d'un système hybride éolien-photovoltaïque autonome avec batteries intégré dans un habitat individuel 2016 thèse master faite par Zouakou Souhil

Cette étude comprend le dimensionnement du système, l'évaluation de ses performances ainsi que l'analyse économique. La simulation dynamique se fera à l'aide du logiciel Trnsys .

Etude et simulation d'un système hybride photovoltaïque éolien moteur a hydrogène 2017 thèse de master faite par Aidel Achour

Utilisation du logiciel HOMER pour dimensionner et simuler un système hybride éolien-PV-moteur à hydrogène pour l'alimentation d'une charge de 220kwh/j (8 foyer à Adrar).

Etude de faisabilité d'un système PV-Eolien-Hydrogène pour l'alimentation d'un ensemble d'habitation bioclimatique 2017 thèse de master faite par Benghalia Zakaria

Dimensionnement d'une installation hybride constituée des panneaux solaires, d'éoliennes et stockage par hydrogène pour l'alimentation en électricité d'un immeuble de 6 appartements isolée situe dans les régions d'Oran, et de Bouzareah.

1.9 Contribution

Après avoir défini les systèmes hybrides, puis passés en revue les travaux publiés pour les systèmes Pv-éolien-pile à combustible. Nous proposons dans le présent travail d'étudier, simuler et dimensionner un système hybride Pv-éolien-pile à combustible dans la région de Bouzareah. Pour cela les données de vitesse du vent ainsi que celle du rayonnement solaires sont utilisées pour la simulation. Le logiciel utilisé est HOMER qui est particulièrement destiné à la simulation des systèmes hybrides contenant des sources d'énergies renouvelables .

Chapitre 1 : Etat de l'art du système hybride Eoliens PV Hydrogène

Chapitre 2 : Définition du système et du site

Chapitre 2 : Etude théorique du système hybride Eolien-PV-Hydrogène

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre on présente une étude théorique des composants du système hybride PV-Eolien-Hydrogène

2.2 Gisement solaire :

2.2.1 Définition du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil.

Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible¹. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées.

La Terre est située à 150 millions de km du Soleil. Celui-ci émet en permanence 1026 Watt sous forme de rayonnement et la Terre reçoit 178 millions de milliard de Watt sur sa face éclairée soit 350 Watt par m² à l'équateur.

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique composé essentiellement:

- De lumière visible de longueur d'onde comprise entre 400nm et 800 nm ;
- De rayonnement infra rouge (IR) de longueur d'onde inférieure à 400 nm ;
- De rayonnement ultra violet (UV) de longueur d'onde supérieure à 800nm.

Sur Terre, l'atmosphère (via le dioxyde de carbone, l'ozone, la vapeur d'eau...) absorbe en grande partie les IR et les UV et un peu la lumière visible. Ainsi plus l'épaisseur d'atmosphère traversée est importante, plus la quantité d'énergie solaire reçue par le sol est faible.

Quand on se rapproche des pôles, les rayons sont plus inclinés: la même quantité d'énergie se répartie sur une plus grande surface. C'est pourquoi le rayonnement solaire par unité de surface reçu diminue de l'équateur vers les pôles (ceci, avec l'inclinaison de l'axe de la Terre, est à l'origine du phénomène des saisons).

L'énergie solaire est également réduite:

- Par l'alternance des jours et des nuits ;
- Par la couverture nuageuse (celle-ci réduit à 50 % l'énergie solaire) ;
- Par la variation saisonnière.

Chapitre 2 : Etude théorique du système hybride Eolien-PV-Hydrogène

Le rayonnement solaire peut être réfléchi, diffusé ou absorbé.

1. Réfléchi par la surface terrestre, C'est-à-dire renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse.

Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.

2. Diffusé, C'est-à-dire renvoyé dans toutes les directions. Le phénomène de diffusion se produit dans un milieu contenant de fines particules ou des molécules et dépend fortement de la taille des particules considérées.

Par exemple, l'influence des molécules est plus intense pour les courtes longueurs d'onde (bleu) que pour les grandes (rouge), en raison de la loi de diffusion de Rayleigh en λ^{-4} , où λ est la longueur d'onde.

C'est la raison pour laquelle la voûte céleste apparaît en général

bleue et le Soleil couchant rougeâtre (les rayonnements violet et bleu ayant été diffusés).

Les molécules diffusent la lumière dans toutes les directions ; cependant, deux directions sont privilégiées : la diffusion avant et la diffusion arrière.

Pour les particules les plus grosses (cas des gouttelettes de nuages), la diffusion se fait majoritairement en avant.

3. Absorbé par les composants gazeux de l'atmosphère.

Cette absorption est dite sélective, car elle s'opère pour des valeurs de longueur d'onde bien précises.

Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et, à un degré moindre, à l'oxygène.

On appelle rayonnement solaire direct celui qui arrive au sol sans avoir subi de diffusion. Le spectre du rayonnement solaire direct reçu à la surface terrestre s'éloigne de façon notable du rayonnement atteignant la limite supérieure de l'atmosphère, en particulier du fait de l'absorption par les constituants gazeux de l'atmosphère.

Dans certaines bandes de longueur d'onde, le rayonnement est atténué ou même annulé. Les principales bandes d'absorption sont dues à l'ozone entre 0,2 et 0,3 μm (dans le domaine ultraviolet), au dioxyde de carbone autour de 2,75 μm et 4,25 μm , mais surtout à la vapeur d'eau dont l'absorption est prépondérante (en particulier autour de 0,9 μm , de 1,1 μm , de 1,4 μm , de 1,9 μm , de 2,4 à 2,9 μm et de 3 à 4 μm) et qui module principalement l'allure du spectre solaire reçu au sol.

2.3 Puissance éolienne :

La puissance d'une éolienne est directement liée au diamètre de son rotor. La puissance électrique produite dépend ensuite principalement de la vitesse du vent.

2.3.1 Puissance et énergie d'une éolienne :

La puissance potentielle se calcule en watt (W) ou en kW (1 kW = 1 000 W). L'énergie se calcule en fonction du temps en W-heure (ou kW-h) : 1 kW de puissance délivrée pendant une heure donne 1 kW-h.



Figure 2.1 Champ d'aérogénérateurs ou d'éoliennes

Les éléments qui déterminent la puissance de sortie (kW-h produits) d'une éolienne sont :

- la vitesse du vent ;
- le diamètre du rotor ;
- la masse de l'air ;
- le nombre et la forme de pales ;
- le rendement mécanique du rotor vers l'axe de la génératrice ;
- le rendement électrique de la génératrice ;
- la limite de Betz.

Bon à savoir : le nombre et la forme des pales donneront une plage d'utilisation optimum (rendement selon telle ou telle vitesse de vent).

2.3.2 Puissance éolienne : quelques valeurs

On peut donner un ordre d'idées des puissances potentielles sur différentes éoliennes.

- Micro éoliennes : diamètre de rotor de 0,5 à 2 m : de 100 W à 1 kW.
- Petites éoliennes : diamètre de rotor de 2 à 12 m : de 1 kW à 36 kW.
- Moyennes éoliennes : diamètre de 12 à 35 m entre 36 et 350 kW.
- Grandes éoliennes : diamètre de rotor de 35 à 125 m : 350 kW à 5 MW.

Le petit et moyen éolien est adapté à l'équipement de particulier, d'exploitants agricoles, d'entreprises. Les moyennes et grandes éoliennes sont destinées à la production d'électricité pour le réseau.

Bon à savoir : 1 tranche de centrale nucléaire produit entre 900 et 1300 MW. Les plus grosses éoliennes produisent 5 MW

2.3.3 Puissance éolienne de sortie :

L'éolienne tire son énergie de l'énergie cinétique du vent. L'énergie cinétique du vent dépend de sa masse et de sa vitesse selon la formule : $E_c = 1/2 mV^2$ (1)

La masse m de l'air se nomme ρ .

Les éoliennes récupèrent cette énergie cinétique en ralentissant le vent dans l'espace déterminé par la surface de leur rotor.

Il faut donc calculer le débit d'air qui passe dans l'éolienne (kg par seconde).

$$D = \rho \cdot S \cdot V \quad (2)$$

Celui ci dépend en effet :

- de la vitesse du vent V ;
- de la surface S couverte par les pales (qui forme donc un cercle, soit πR^2) ;
- de la masse de l'air ρ .

2.3.4 Calcul de puissance :

En liant ces deux formules, le calcul de la puissance électrique de l'éolienne peut s'exprimer par une formule simplifiée :

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 S \quad (3)$$

dans laquelle :

- P est la puissance (en W) ;
- S est la surface du cercle de rayon égal à la longueur d'une pale ;
- V est la vitesse du vent (en m/s , c'est-à-dire mètre par seconde) ;
- ρ est la masse volumique (le "poids") de l'air.

2.3.5 Diamètre du rotor :

Le diamètre du rotor est le double du rayon formé par les pales.

- La quantité d'énergie récupérée lorsque le vent traverse le rotor est proportionnelle à sa surface.
- La surface d'un cercle est donnée par la formule $\pi \times \text{Rayon au carré}$.
- Donc la puissance se développe de manière exponentielle par rapport au rayon des pales.

Chapitre2 : Etude théorique du système hybride Eolien-PV-Hydrogène

2.3.6 "Poids" de l'air :

La masse de l'air (ρ) peut varier d'environ 20 % en fonction de la température et surtout de l'humidité. Une valeur moyenne de 1,2 kg/m³ est admise pour le calcul.

2.3.7 Puissance éolienne exponentielle :

Comme on le voit, la puissance fournie par un aérogénérateur est proportionnelle :

- Au carré du rayon du rotor : cela implique que si le diamètre double la puissance est multipliée par 4.
- Au cube de la vitesse du vent : cela implique que si la vitesse du vent double, la puissance est multipliée par 8.

Comme on le voit le diamètre du rotor et la vitesse du vent influe de manière très importante sur l'énergie produite.

2.3.8 Puissance éolienne utile :

Cette puissance de sortie potentielle est théorique. Dans les faits, celle-ci est limitée par :

- la limite de Betz ;
- les plages de puissances : vitesse de vent minimum de démarrage, vitesse de vent maximum avant coupure de sécurité, vitesse plateau ;
- le rendement mécanique du rotor ;
- le rendement électrique du générateur.

Bon à savoir : le constructeur d'éoliennes doit être capable de vous renseigner sur ces valeurs.

2.3.9 Limite de Betz :

Si le vent sortait à la même vitesse que celle à laquelle il rentre, la puissance collectée serait nulle.

Mais si l'on voulait récupérer toute l'énergie du vent, celui-ci sortirait après les pales à une vitesse nulle, ce qui est impossible. La loi de Betz (Allemand Albert Betz, 1919) détermine qu'une éolienne ne pourra jamais convertir plus de 16/27 (soit 59%) d'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

2.3.10 Plages de puissances :

Ces plages de puissances sont déterminées en partie par la forme et le nombre de pales :

Chapitre2 : Etude théorique du système hybride Eolien-PV-Hydrogène

- Pour produire de l'énergie le vent doit avoir une vitesse minimum (souvent 3 m/s, soit 10 km/h) ;
- Par sécurité si le vent est trop fort l'éolienne est déconnectée (souvent à partir de 90 km/h) ;
- Entre les deux l'énergie produite augmente exponentiellement jusqu'à atteindre un plateau, on atteint alors la puissance nominale. Ce plateau est atteint avant la vitesse maximum. Des dispositifs freinent alors le rotor

Les éoliennes ont différentes formes et nombres de pales. Celles-ci ont donc une portance et une trainée différentes ce qui explique qu'elles aient des plages de fonctionnement optimum différents.

Ainsi par exemple :

- Les rotors verticaux démarrent et s'arrêtent très vite, de même que les éoliennes aux nombreuses pales (utilisées souvent en éoliennes de pompage).
- Les tripales démarrent et s'arrêtent plus vite que les bipales.

Bon à savoir : le choix d'une éolienne doit se faire aussi selon les vitesses moyennes de vent pour avoir la plage optimum.

2.3.11 Rendement :

La puissance utile dépend aussi des performances du rotor et du générateur et de leur perte mécanique et électrique. Le meilleur rendement est de 60 à 65 %, mais certaines éoliennes ont des rendements de 30 à 50%, ceci est dû à des pertes :

- Les pertes mécaniques proviennent de la conversion d'énergie du rotor vers la génératrice.
- Les pertes électriques du générateur.

Bon à savoir : d'autres pertes électriques sont aussi communes à toutes les productions électriques (transformateur, stockage, distribution avec des pertes en réseau).

L'élaboration de l'ensemble des Atlas éoliens par les chercheurs de l'EPST CDER, a été effectuée par des analyses statistiques en utilisant des distributions, afin d'ajuster les données collectées auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM). Bien que le nombre de points de mesures répartis sur l'ensemble du territoire national soit relativement faible par rapport à la grande surface du pays, les cartes éoliennes établies par les chercheurs du CDER restent sans doute une base de référence pour les différents acteurs du secteur socio-économique qui prévoient le développement de cette énergie dans le pays.

2.4 Description d'un système PV :

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand chose: pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique.

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants:

- un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- un convertisseur DC/AC
- une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard

La Figure 3.5 représente symboliquement les divers éléments du système le plus général.

Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales

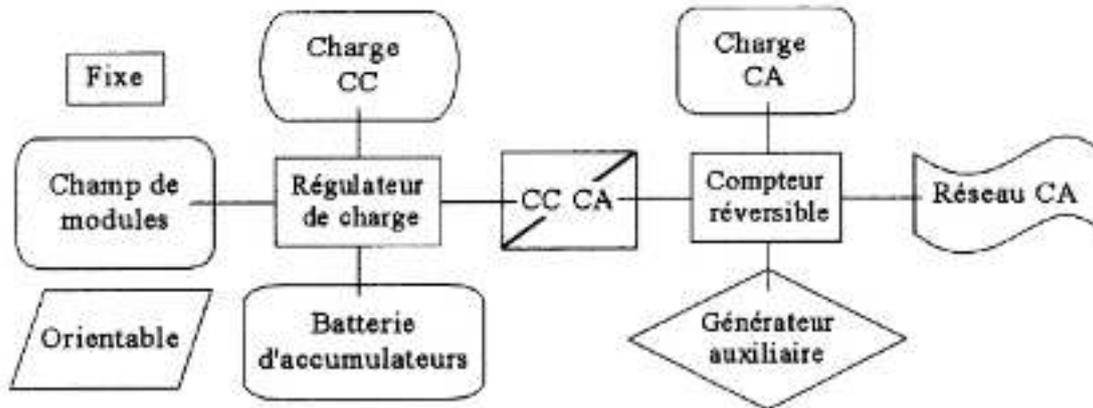


Figure 2.2 : Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

Chapitre2 : Etude théorique du système hybride Eolien-PV-Hydrogène

2.5 La pile a combustible :

Une pile à combustible est une pile dans laquelle la génération d'une tension électrique se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air.

Les étapes principales des piles à combustible sont :

- 1839 : découverte de l'effet pile à combustible par l'allemand Christian Schönbein.
- de 1839 à 1842 : Réalisation du premier modèle de laboratoire de pile à combustible par William R. Grove.
- 1932 : Reprise des études de la pile à combustible par Francis T. Bacon, qui réalise un premier prototype de 1 kW en 1953, puis 5 kW en 1959. Ce prototype servira de modèle pour les futures piles à combustible utilisées lors des missions spatiales Apollo.

Le très long écart de temps (plus d'un siècle) qui s'est écoulé entre la réalisation du premier modèle de pile à combustible et les premières utilisations s'explique par le très fort développement qu'ont connu les autres types de générateurs d'énergie électrique et par le fait que le coût des matériaux utilisés dans la pile à combustible reste encore actuellement élevé.

2.6.1 Rendements globaux :

Un groupe électrogène permet un rendement de 25 % et une pile à hydrogène peut atteindre 50 à 60 % (voire beaucoup plus avec la récupération de chaleur), mais les rendements énergétiques cumulés de la synthèse du dihydrogène et de la compression ou liquéfaction sont encore assez faibles. Ici, le dihydrogène n'est pas une source d'énergie primaire ; c'est un vecteur d'énergie.

2.6.2 Principe de fonctionnement :

Le principe de la pile à combustible est l'inverse d'une électrolyse. La réaction chimique produite par l'oxydation et la rencontre de gaz produit de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Le fonctionnement de la pile à combustible nécessite un approvisionnement en combustible, le plus utilisé étant l'hydrogène. Une pile à combustible produit une tension électrique d'environ 0,7 à 0,8 volt¹², selon la charge (densité de courant) et produit de la chaleur. Leur température de fonctionnement varie de 60 à 200 °C selon les modèles. L'eau est généralement évacuée sous forme de vapeur avec l'excédent de dioxygène.

Il existe plusieurs types de piles à combustibles dont les plus connues sont :

- la pile à membrane échangeuse de protons,
- la pile à oxyde solide.

2.7 Electrolyseur :

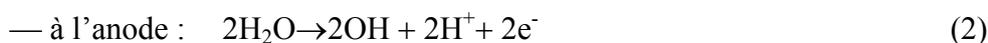
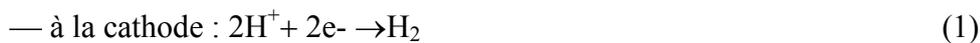
2.7.1 Electrolyse de l'eau :

Jusqu'aux années 50, l'électrolyse de l'eau était utilisée pour la production d'hydrogène et d'oxygène. Aujourd'hui, l'électrolyse fournit seulement un petit pourcentage de l'hydrogène du monde, lequel est fourni aux applications qui exigent de petits volumes d'hydrogène de grande pureté.

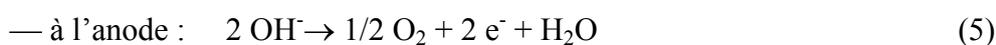
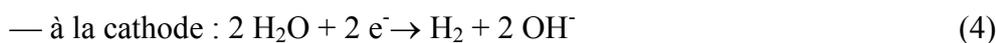
Désormais, l'électrolyse est associée à une future utilisation des énergies renouvelables.

L'électrolyse de l'eau est une réaction électrochimique de décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène. Elle est rendue possible par le passage d'un courant continu à travers deux électrodes immergées dans un électrolyte liquide ou solide .

En solution acide, on admet généralement que la décomposition de l'eau s'effectue suivant les réactions:



b) En solution alcaline, par contre, les ions OH^- prédominent et le phénomène est habituellement exprimé par les équations (3.4) et (3.5) :



Dans les deux cas, la réaction globale s'écrit:



avec $\Delta H = 285 \text{ kJ/mol H}_2\text{O}$ enthalpie de dissociation de l'eau.

Chapitre 3 : Etude théorique du système hybride Eolien PV Hydrogène

3.1. Introduction

L'énergie solaire et l'énergie éolienne dépendent fortement des conditions météorologiques (ensoleillement, vitesse du vent) du site d'installation du système hybride.

Dans ce chapitre nous allons donner une brève description de la région sur laquelle l'étude a été réalisée ainsi que les caractéristiques climatiques du site .ensuite nous présenterons la maison qui a servi à l'étude et nous calculerons la charge électrique en fonction des besoins des habitants.

3.2. Caractéristiques climatiques de l'Algérie [2]

L'Algérie dispose d'un gisement solaire très important à cause de sa situation privilégiée, dont la durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert. Le total de l'énergie reçue est estimé à 169400 TWh/an.

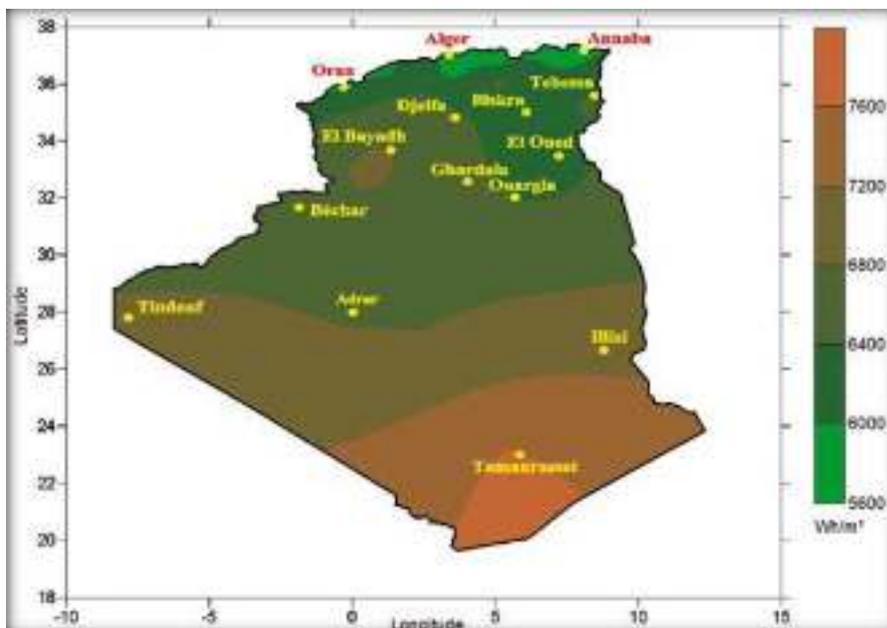


FIGURE 3.1 Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale

La ressource éolienne de l'Algérie varie considérablement d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. La figure 2.2 représente la carte de la répartition géographique de la vitesse du vent à 50 m du sol. Cette carte a été établie à partir des données de vitesse du vent mesurées à 10 m du sol au niveau de 75 stations du réseau de l'ONM.

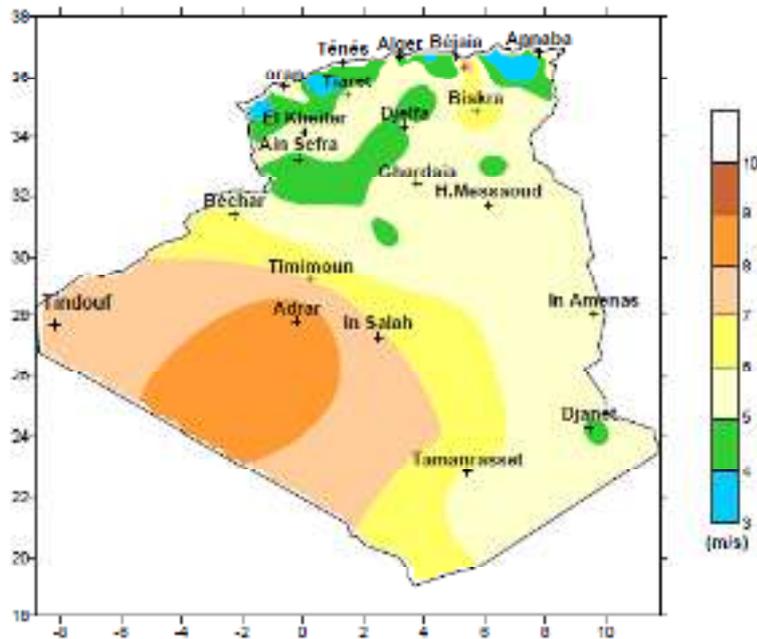


Figure 3.2 Carte de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 50 m du sol [20]

Il est à noter que le sud algérien est caractérisé par des vitesses de vent plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud ouest avec des vitesses supérieures à 4m/s et qui dépassent la valeur de 6m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers de Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et El kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au nord et Biskra au sud [20].

3.3. Choix des sites

Nous avons choisi le site de Bouzareah, parce que cette région appartient à une zone climatique bien distincte du pays le littoral et aussi parce que comme mentionné cette région dispose d'un potentiel renouvelable non négligeable, et enfin parce que nous disposons des données horaires de vitesse de vent issues des stations météo, quant à la température et l'irradiation elles sont extraites du logiciel de données météo METEONORM version 7.

3.4. Présentation du logiciel METEONORM

METEONORM est un logiciel qui contient une base très exhaustive de données météorologiques issues de stations de mesure mais il peut également calculer ces données pour des zones où il n'existe pas de station météo en faisant une interpolation à l'aide d'algorithmes spécifiques. Il permet aussi à partir des moyennes mensuelles de trouver les données horaires avec plus au moins de précision.

Bases de données

- Base de données contenant plus de 8 325 stations météo
- Paramètres mesurés : moyennes mensuelles du rayonnement global, température, humidité, précipitation, jours avec précipitation, vitesse et direction du vent, durée d'ensoleillement

- Périodes couvertes : 1961 à 1990 et 2000 à 2009 pour les données de température, d'humidité, de précipitations, de vitesses du vent.
- Données de rayonnement global mises à jour pour la période 1981- 2010
- Nouveaux paramètres dérivés : pluie battante, spectre UVA/B et rayonnement érythémateux
- Utilisation de données satellite pour régions à faible densité de stations météo
- Couvre l'ensemble du globe, y compris les régions polaires .

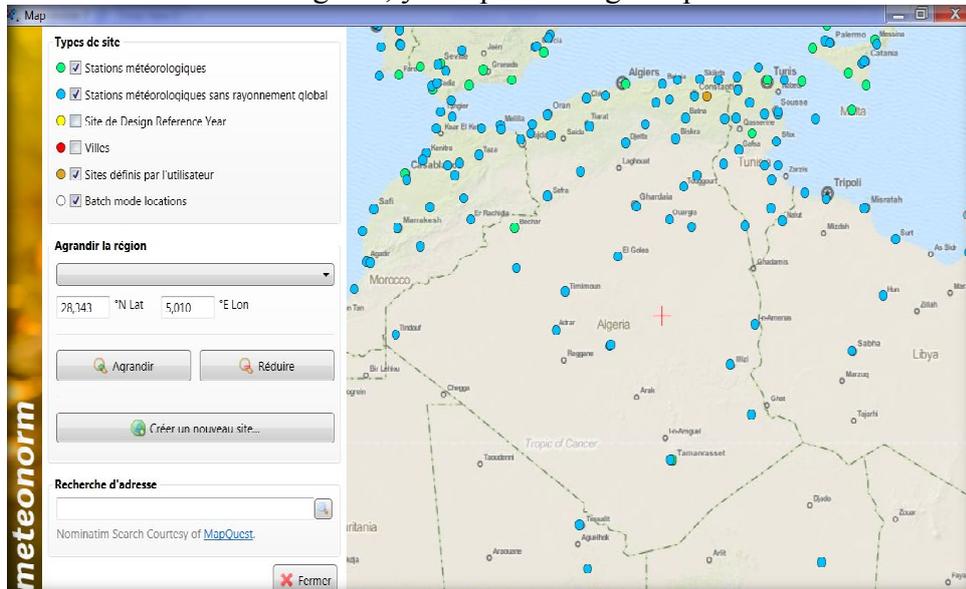


FIGURE 3.3 Vue des stations météo algériennes disponible sur le logiciel METEONORM

3.5. Caractéristiques climatiques de la région choisi

3.5.1. Caractéristiques de la région de Bouzareah

Bouzareah est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la proche banlieue Ouest d'Alger. Ses coordonnées sont $36^{\circ} 47' 24''$ Nord $3^{\circ} 01' 04''$ Est sa hauteur est de 384 m et elle est habitée par 94203 habitants. Le Climat de Bouzareah et donc d'Alger est de type méditerranéen. Elle est connue par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides, la neige est rare mais pas impossible. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août. [21]

Chapitre 03 : Définition du système et du site



FIG 3.4 Emplacement du CDER à Bouzareah (Alger)

Tableau 3.1 Moyennes mensuelles du rayonnement ,température et vitesse du vent à Bouzareah

	Gh KWh/m2	Dh KWh/m2	BnKWh/m2	Ta °C	FF m/s
Janvier	92	29	150	10.2	3.3
Février	101	43	118	11.8	5
Mars	152	54	166	14.2	3.4
Avril	183	68	176	16.1	4.2
Mai	218	80	198	19.4	3.5
Juin	230	73	227	23.4	3.3
Juillet	248	57	268	26.1	3.2
Août	217	64	221	26.3	3.2
Septembre	168	52	189	23.4	3.3
Octobre	133	46	161	20.1	2.6
Novembre	97	30	149	14.6	2.7
Décembre	82	28	130	11.9	2.8
Année	1918	624	2152	18.1	3.4

Pour la région de Bouzareah nous remarquons que le rayonnement global horizontal reçu est de 1918 KWh/m² sur une année. Il atteint le maximum au mois de juillet avec 248 KWh/m² reçu alors que le minimum se situe au mois de décembre avec 82 KWh/m² reçu. La température annuelle des moyennes mensuelles est de 18.1 °C , le mois de janvier est le plus froid avec

une température moyenne minimum de 10.2 °C alors que le mois d'Août est le plus chaud avec 26.3 °C de moyenne . Pour les vitesses du vent la moyenne annuelle est de 3.4 m/s , le

Chapitre 03 : Définition du système et du site

mois le plus défavorable est le mois de novembre avec 2.7 m/s de moyenne alors que le mois le plus venté est le mois de février avec 5 m/s .

3.6. Définition de la maison d'étude

On va alimenter en énergies renouvelables un ilot de 4 maisons de type de celle de soudania La maison type qui va servir pour notre étude est la maison prototype du CNERIB. Le choix s'est porté sur cette maison parce que d'une part elle a une architecture simple, elle est rectangulaire avec une toiture a deux versants, ce type de maison est très répandu surtout dans les zones rurales ,et d'autre part c'est une maison à basse énergie construite avec des matériaux isolants. Donc c'est très intéressant de coupler l'aspect thermique à l'aspect électrique et de réduire très fortement la dépense énergétique de celle-ci.



Figure 3.5 Vue externe de la maison

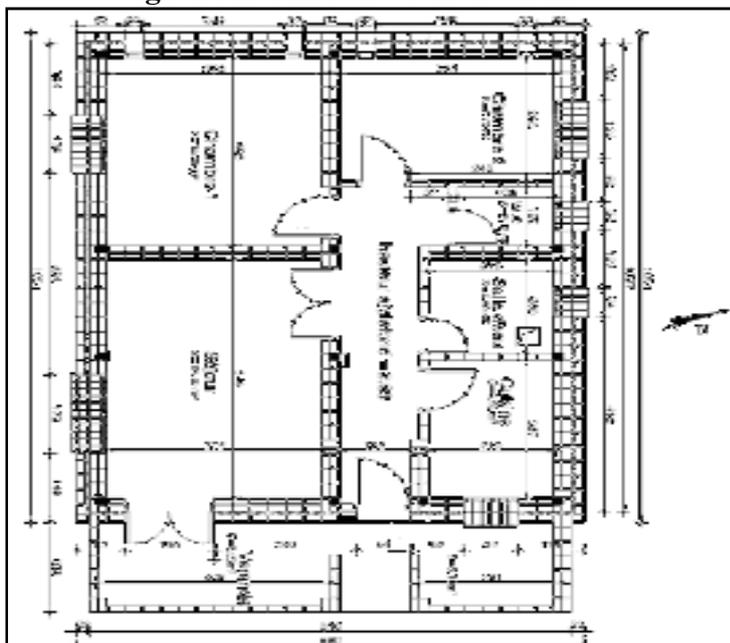


Figure 3.6 Plan détaillé de la maison

La maison contient deux chambres une salle de séjour , une cuisine, et enfin une salle de bain et des toilettes .



Figure 3.7 Vue de façade de la maison

La plus grande face de la toiture fait $(6.08 \times 10,51) = 63,9 \text{ m}^2$, elle est inclinée de 18° , l'autre surface fait $(2.56 \times 10.51) = 26.90 \text{ m}^2$ et est inclinée de 40° .

3.7. Détermination du profil de consommation

La maison est habitée par 4 personnes, un couple avec deux enfants le père travaille et les deux enfants étudient ils sont absents de la maison de 7 h à 17 h ,la mère ne travaille pas . Les deux chambres sont éclairées chacune par une lampe halogène, dans le séjour il y'a deux lampes halogènes, un téléviseur plat et un ordinateur. En cuisine on dispose d'une lampe néon, d'une cuisinière électrique qui se compose de 3 plaques de cuisson, d'un réfrigérateur, et d'un ventilateur pour évacuer les odeurs de cuisson et aussi d'un cumulus d'eau chauffée par un système d'appoint électrique. Dans La salle de bain il y'a une lampe halogène et une machine à laver. Les WC sont éclairés par une lampe halogène. La maison dispose aussi d'un climatiseur installé au niveau du couloir.

Tableau 3.2 Listes des appareils électrique et leurs puissances

Appareilles électrique	Puissance en watt	Appareilles électrique	Puissance en watt
Lampe halogène	15	Lave-linge	1500
Lampe néon	25	Réfrigérateur + congélateur	300
Téléviseur plat	43	Climatiseur	800
Ordinateur	70	Appoint électrique	1000
Table de cuisson électrique (3 foyers)	300	ventilateur de cuisine	30

Pour notre étude nous avons choisi de déterminer une consommation horaire journalière. Nous choisirons le cas le plus défavorable entre deux profils de consommation établi pour une journée type en hiver et en été, la journée la plus courte en hiver (21 décembre) et la plus longue en été (21 juin) .

Tableau 3.3 Profil journalier de consommation pour la période hiver

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur	300
1-2	Réfrigérateur	300
2-3	Réfrigérateur	300
3-4	Réfrigérateur	300
4-5	Réfrigérateur	300
5-6	Réfrigérateur+appoint	1300
6-7	3lampe+néon+réfrigérateur+cuissant+ventilateur	500
7-8	Néon+Réfrigérateur	325
8-9	Réfrigérateur+lave linge	1800
9-10	Réfrigérateur	300
10-11	Réfrigérateur+cuissant+ventilateur	630
11-12	Réfrigérateur	300
12-13	Réfrigérateur	300
13-14	Réfrigérateur+TV	343
14-15	Réfrigérateur+TV	343
15-16	Réfrigérateur+TV	343
16-17	Réfrigérateur+cuissant+ventilateur	430
17-18	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC+appoint	1473
18-19	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC	473
19-20	4lampe+néon+réfrigérateur+TV+PC+cuissant+ventil	828
20-21	Réfrigérateur+néon	325
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	443
22-23	Réfrigérateur	300
23-24	Réfrigérateur	300

Tableau 3.4 Profil journalier de consommation pour la période d'été

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur+climatiseur	1100
1-2	Réfrigérateur+climatiseur	1100
2-3	Réfrigérateur	300
3-4	Réfrigérateur	300
4-5	Réfrigérateur	300
5-6	Réfrigérateur	300
6-7	Réfrigérateur+cuissant+ventilateur	430
7-8	Réfrigérateur	300
8-9	Réfrigérateur+lave linge	1800
9-10	Réfrigérateur	300
10-11	Réfrigérateur+cuissant+ventilateur	630
11-12	Réfrigérateur	300
12-13	Réfrigérateur	300
13-14	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
14-15	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
15-16	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
16-17	Réfrigérateur+cuissant+ventilateur	430
17-18	Réfrigérateur+TV+PC	413
18-19	Réfrigérateur+TV+PC	413
19-20	Réfrigérateur+TV+PC+cuissant+ventil	743
20-21	Réfrigérateur+néon	325
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	443
22-23	2lampe+réfrigérateur+TV+PC+climatiseur	1243
23-24	Réfrigérateur+climatiseur	1100

Le Total de la consommation par jour est de 15,625 kWh pour la journée d'été et de 12,556 kWh pour la journée d'hiver.

3.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé du gisement solaire et éolien en Algérie ,ensuite nous avons défini le site qui sert pour faire l'étude avec les moyennes mensuelles du rayonnement et du vent qui nous ont servi à déterminer le potentielle énergétique de la région choisie . Et enfin nous avons donné les caractéristiques de la maison qui servira pour notre étude avec le profil de consommation électrique.

4.1 : Introduction :

Dans ce chapitre sera présenté un système hybride de production électrique a partir de différentes sources pour le sites de Bouzereah.

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement et de simulation des systèmes a énergie hybride qui ont pour but de les optimiser, mais la stratégie d'optimisation diffère d'un logiciel a un autre .Nous avons opté dans notre cas pour l'utilisation du logiciel HOMER.

4.2 : Description du logiciel HOMER :

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, de systèmes photovoltaïques, de systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et bien d'autres.

HOMER a été initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale.

C'est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée sur une année. Ainsi il est possible de prendre en compte la variation de paramètres comme la demande en électricité, l'apport d'énergie solaire ou d'énergie éolienne. Il est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers formatés correctement.

HOMER est avant tout un modèle économique. Vous pouvez utiliser le logiciel pour comparer les différentes combinaisons de tailles et de nombres de composants, et d'étudier comment les variations de la disponibilité des ressources affectent le coût d'installation et d'exploitation des différentes solutions de systèmes.

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir tous les éléments de ce dernier, en utilisant les composants définis dans la bibliothèque du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, le logiciel nous permet de l'ajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque.

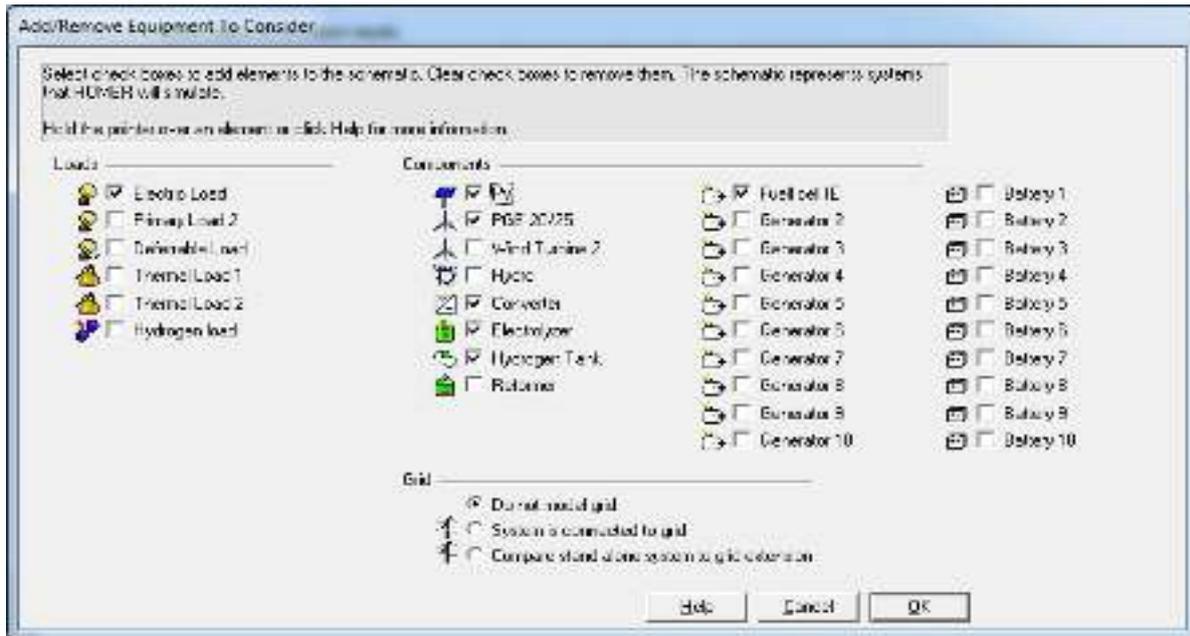


Figure4.1 : Bibliothèque HOMER

Simuler une installation hybride avec HOMER permet d'obtenir de nombreuses informations. En particulier :

- Pour chaque composant : la production utile, le taux d'utilisation, les horaires d'utilisation, la durée de vie moyenne ;
- Les coûts associés à l'utilisation de chaque composant du système.

A ceci s'ajoute la possibilité de comparer très rapidement des architectures et des configurations, sur la base du coût du kWh par rapport à des paramètres de sensibilités. Les analyses de sensibilité permettent ainsi d'appréhender les facteurs de risque lié au choix de la configuration.

4.3 : Présentation du système hybride :

Une étude paramétrique fait l'objet de ce travail, qui se résume en la simulation d'un système hybride pour la production électrique en hiver et en été.

Configuration 1 : Un système hybride éolien-pile à combustible en hiver.

Configuration 2 : Un système hybride éolien-photovoltaïque-pile en été.

L'électricité produite sert à alimenter une certaine charge électrique, et l'énergie qui est en excès servira à produire l'hydrogène qui sera stocké et par la suite consommé par la pile à

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

combustible, lorsque ses sources d'énergie sont insuffisantes pour alimenter la charge considérée.

La configuration des systèmes hybrides de génération d'énergie simulée à l'aide du logiciel HOMER sont présentés sur la figure.4.2.

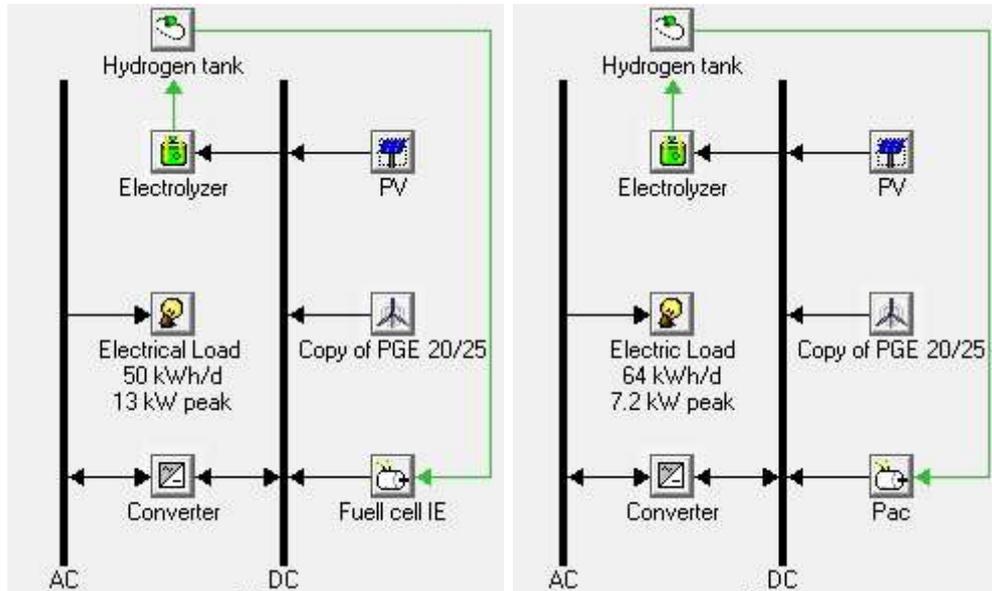


Figure 4.1: Architecture des configurations 1 et 2 respectivement

4.4. Données d'entrées :

4.4.1. Les données du vent :

Les données des vitesses du vent du site de Bouzareah sont utilisées pour la simulation. Elles sont constituées de vitesses mensuelles moyennes ainsi que des paramètres de Weibull k et c mesurés à la hauteur de 10 m du sol.

Le tableau 4.1 représente les caractéristiques géographiques de la station de mesure de Bouzareah

Caractéristiques géographiques de la station de mesure de Bouzareah

Tableau 4.1: Caractéristiques géographiques de la station de mesure de Bouzareah

Latitude	Longitude	Altitude	Rugosité
36.783°	3.017°	385m	0.01m

Nous pouvons voir sur la figure 4.3, l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent du site de Bouzareah . On remarque que la vitesse varie en fonction des mois, elle est la plus élevée en février avec 5 m/s puis vient le mois d'avril 4.25m/s, le reste de l'année elle varie autour de 2.7 m/s et 3.5 m/s

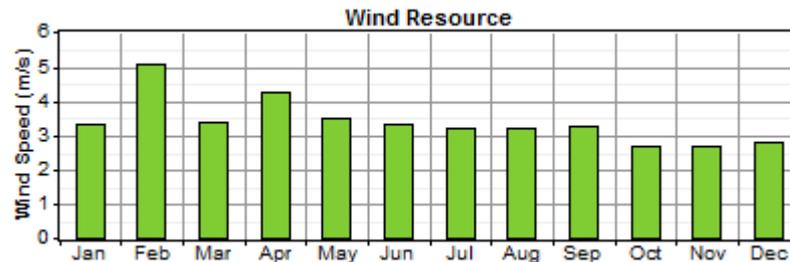


Figure 4.2: Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent pour la région de Bouzareah à 10m du sol

Une analyse statistique des données horaires des vitesses et leur distribution pour des classes données ont été effectuées pour le site de Bouzareah à l'aide du logiciel HOMER.

La classification des fréquences du vent effectuée à l'échelle annuelle pour le site de Bouzareah est représentée sur la figure 4.4.

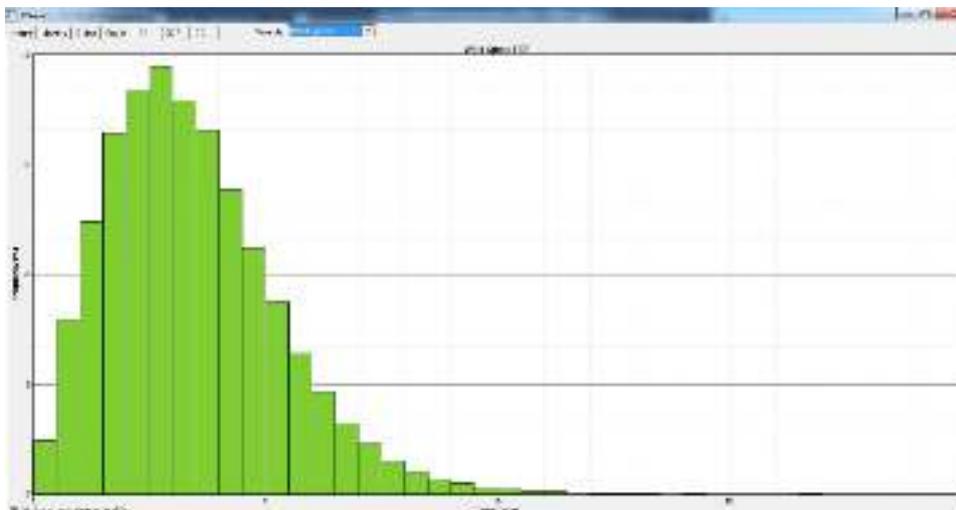


Figure 4.3: Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région de Bouzareah

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

Les valeurs des paramètres de weibull k et c ainsi que la vitesse moyenne du vent pour la station de Bouzareah sont données au Tableau 4.2.

K	C	$\langle v \rangle$
2	0.85	4.37

4.4.2. Les données solaires :

Les données du rayonnement solaire du site de Bouzareah sont utilisées pour la simulation. Elles sont constituées du rayonnement solaire journalier ainsi que l'indice de clarté comme le montre la figure 4.5.

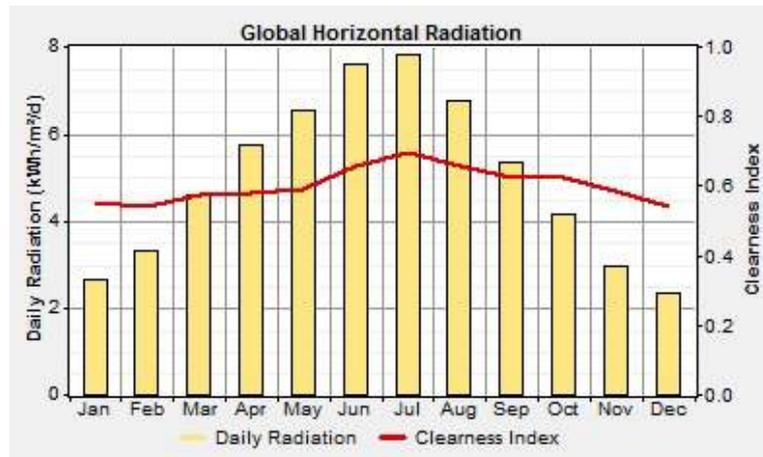


Figure 4.4: Rayonnement horizontal global et indice de clarté

Les données du rayonnement solaire ne sont pas disponibles, ces informations moyennes mensuelles ont été prises du logiciel METEONORM 7 en introduisant les caractéristiques géographiques citées précédemment du site de Bouzareah .

4.4.3. La charge électrique :

Assurer une production continue et alimenter une charge électrique respectivement de 13 kWh/j et 7.2KWh/j pour hiver et été sept jours sur sept sans arrêt tel est le défi que doit relever notre système hybride.

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

Le tableau situé tout en bas dans la figure 4.6 représente la puissances maximale (peak) et minimal fourni par le système pour atteindre la charge considérée.

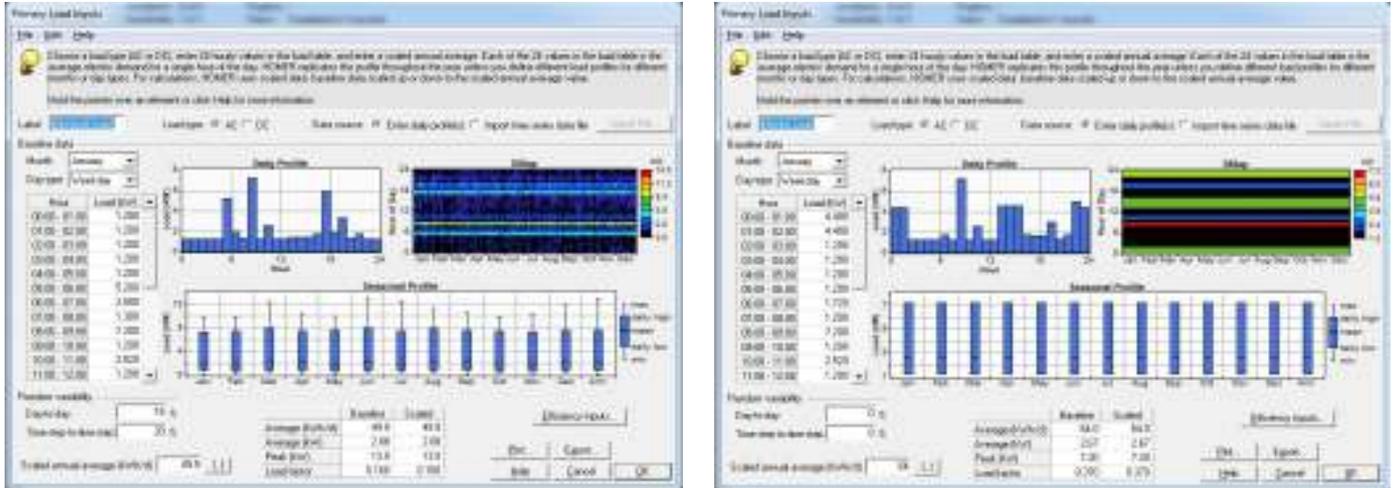


Figure 4.5: Simulation de la charge à alimenter

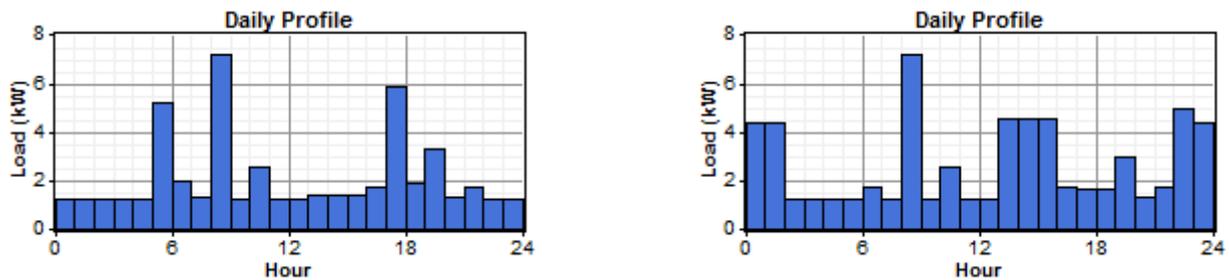


Figure 4.6: Charge électrique moyenne horaire

La figure 4.7 représente les charges électrique moyenne horaire pendant une journée. On note que la charge atteint son maximum aux environs de 9h , qui représente les heures de pointe des fonctionnaires.

4.4.4. L'aérogénérateur :

L'aérogénérateur utilisé dans ce système est le PGE 20/25 de 25kw DC pour les deux cas. Sa durée de vie est de 17 ans, son moyeu atteint une hauteur de 30 m et sa courbe de puissance est représentée sur la figure 4.8.

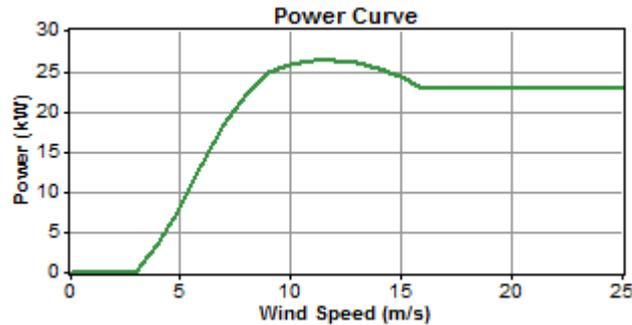


Figure 4.8: Courbe de puissance de l'aérogénérateur PGE 20/25

4.4.5. Le générateur photovoltaïque :

Le champ photovoltaïque qui constitue notre système présente les caractéristiques suivantes :

Tableau 4.2: Propriétés du champ photovoltaïque

Propriétés	Valeurs
Puissance	55 kW(hiver) 50 kW(été) (DC)
Durée de vie	20 ans
Inclinaison	30°
Orientation	Sud
Réfectivité du sol	0.45
coefficient de perte de puissance du à la température	-0.5 % / °C
température nominale d'utilisation	47°C
rendement dans les conditions standards.	13%

4.4.6. L'électrolyseur :

L'électrolyseur est utilisé pour produire de l'hydrogène lorsque l'énergie éolienne ou photovoltaïque est produite en excès. Pour notre système l'électrolyseur choisi porte les caractéristiques cité dans le tableau suivant :

Tableau 4.3: Propriétés de l'électrolyseur

Propriétés	Valeurs
Puissance	50 kW(hiver) 60 kW(été)
Durée de vie	15 ans
Rendement	85%
Mode de fonctionnement	DC

4.4.7. La pile à combustible :

Lorsque les différentes sources ne suffisent pas à la demande, alors c'est à la PAC d'intervenir pour remédier au manque d'énergie.

La PAC choisi pour notre étude, présente les propriétés suivantes :

Tableau 4.4: Propriétés de la PAC

Propriétés	Valeurs
Puissance	11.5 KW(hiver) 8 KW(été)
Mode de fonctionnement	DC
Durée de vie	87000 heures
Consommation spécifique	0,07 kg/kWh

4.4.8. Le convertisseur :

Le convertisseur est un système qui permet le conditionnement de la puissance de manière à adapter la puissance électrique de sortie d'un système à celle d'entrée d'un autre. Ce composant peut convertir un courant alternatif AC en courant continu DC et vice versa, il est destiné également à adapter la tension DC/DC sachant que les composants des systèmes renouvelables sont caractérisés par des courbes tension-courant I-V différentes.

Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les systèmes hybrides [4]: les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

Dans notre cas, nous avons besoin de convertir le DC de sortie du générateur photovoltaïque et de la pile à combustible en un courant alternatif d'entrée de la charge, et le AC de sortie de l'aérogénérateur produit en excès en DC d'entrée de l'électrolyseur. Nous nous intéressons donc à la conversion de type AC/DC et DC/AC.

Le tableau 4.6 représente les caractéristiques techniques du convertisseur utilisé.

Tableau 4.5: Caractéristiques des convertisseurs

Caractéristiques	Valeurs
Puissance	13.5 Kw(hiver) 8.5 Kw(été)
Durée de vie	15 ans
Rendement CA/CC	85%
Rendement CC/CA	90%

4.4.9. Le réservoir d'hydrogène :

L'hydrogène produit par l'électrolyseur est stocké dans un réservoir pour être utilisé par la PAC afin de combler la demande.

Le réservoir utilisé se caractérise par ce qui suit :

Tableau 4.6: Propriétés du réservoir d'hydrogène

Propriétés	Valeurs
Capacité de stockage	850 kg(hiver) 800 kg(été)
Durée de vie	25 ans
Volume réservé	10%

4.5. Dimensionnement :

L'objectif de ce travail est d'assurer l'électrification d'un habitat situé à Bouzareah avec une charge de 50 kWh/j et 64 kWh/j respectivement pour l'hiver et l'été

Le dimensionnement d'une installation, nécessite la connaissance de la puissance des appareils électriques à alimenter, pour cela nous avons fait une évaluation de la consommation des appareils les plus courants pour d'une maison.

Tableau 4.8 Listes des appareils électrique et leurs puissances

Appareils électrique	Puissance en watt	Appareils électrique	Puissance en watt
Lampe halogène	15	Lave-linge	1500
Lampe néon	25	Réfrigérateur + congélateur	300
Téléviseur plat	43	Climatiseur	800
Ordinateur	70	Appoint électrique	1000
Table de cuisson électrique (3 foyers)	300	ventilateur de cuisine	30

Pour notre étude nous avons choisi de déterminer une consommation horaire journalière. Nous choisirons le cas le plus défavorable entre deux profils de consommation établi pour une journée type en hiver et en été, la journée la plus courte en hiver (21 décembre) et la plus longue en été(21 juin) .

Tableau 4.9 Profil journalier de consommation pour la période hiver

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur	300
1-2	Réfrigérateur	300
2-3	Réfrigérateur	300
3-4	Réfrigérateur	300
4-5	Réfrigérateur	300
5-6	Réfrigérateur+appoint	1300
6-7	3 lampe+néon+réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	500
7-8	Néon+Réfrigérateur	325
8-9	Réfrigérateur+lave linge	1800
9-10	Réfrigérateur	300
10-11	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	630
11-12	Réfrigérateur	300
12-13	Réfrigérateur	300
13-14	Réfrigérateur+TV	343
14-15	Réfrigérateur+TV	343
15-16	Réfrigérateur+TV	343
16-17	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	430
17-18	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC+appoint	1473
18-19	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC	473
19-20	4 lampe+ néon+réfrigérateur+TV+PC+cuisin+ventil	828
20-21	Réfrigérateur+néon	325
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	443
22-23	Réfrigérateur	300
23-24	Réfrigérateur	300

Tableau 4.10 Profil journalier de consommation pour la période d'été

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur+climatiseur	1100
1-2	Réfrigérateur+climatiseur	1100
2-3	Réfrigérateur	300
3-4	Réfrigérateur	300
4-5	Réfrigérateur	300
5-6	Réfrigérateur	300
6-7	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	430
7-8	Réfrigérateur	300
8-9	Réfrigérateur+lave linge	1800
9-10	Réfrigérateur	300
10-11	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	630
11-12	Réfrigérateur	300
12-13	Réfrigérateur	300
13-14	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
14-15	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
15-16	Réfrigérateur+TV+climatiseur	1143
16-17	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	430
17-18	Réfrigérateur+TV+PC	413
18-19	Réfrigérateur+TV+PC	413
19-20	Réfrigérateur+TV+PC+ cuisinière +ventil	743
20-21	Réfrigérateur+néon	325
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	443
22-23	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC+climatiseur	1243
23-24	Réfrigérateur+climatiseur	1100

Le Total de la consommation par jour est de 15,625 kWh pour la journée d'été et de 12,556 kWh pour la journée d'hiver.

HOMER simule les configurations du système avec toutes les combinaisons des composants spécifiés en entrée. Il élimine les résultats de toutes les configurations de systèmes infaisables, qui ne sont pas en adéquation avec la demande en électricité ni ne sont compatibles avec les ressources.

Le logiciel HOMER s'utilise selon un processus itératif. On a entamé les calculs avec des données d'entrée approximatives. Après analyses des résultats, affinez les estimations et répétez le processus autant de fois que nécessaire pour obtenir des résultats raisonnablement précis.

4.6. Simulation des systèmes considérés:

4.6.1. Simulation du système éolien-pv-pile à combustible (hiver) :

4.6.1.1. Production énergétique du SEH :

4.6.1.1.1. Production énergétique mensuelle :

Les figures suivantes représentent une comparaison entre la production électrique de photovoltaïque l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour chaque mois de l'année.

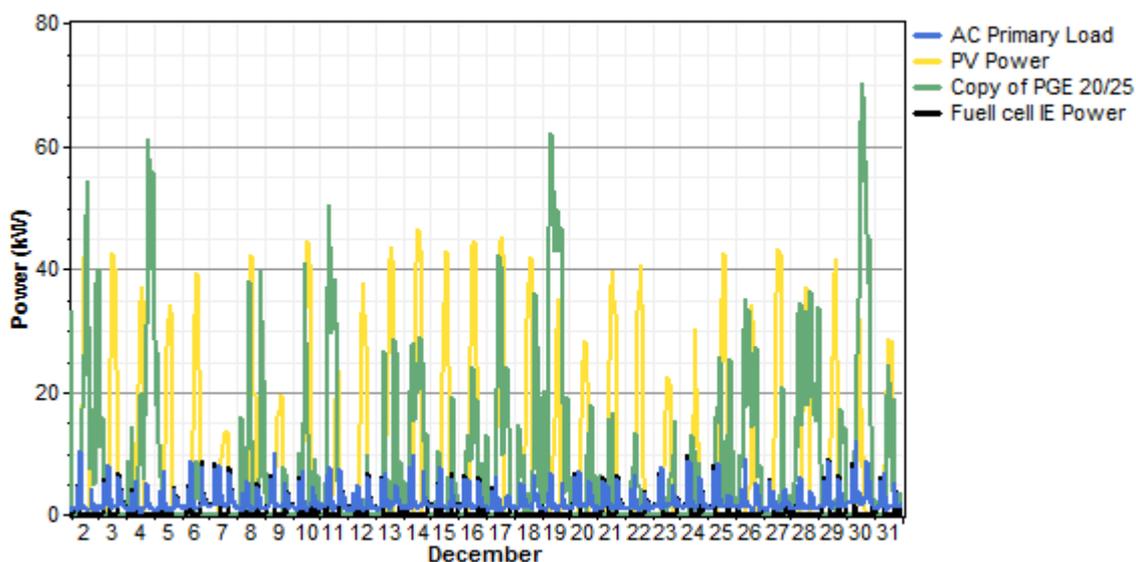


Figure 4.9: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, pv, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre.

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

D'après la Figure 4.9, représentant la production électrique de l'aérogénérateur, générateur photovoltaïque, la pile à combustible et la charge pour chaque mois de l'année, On remarque que le système satisfait largement la demande en électricité et que l'aérogénérateur contribue moins que le pv pour le mois de décembre.

4.6.1.1.2. Production énergétique annuelle :

Tableau 4.11: Production du SEH

Production	kWh/yr	%
PV array	103,481	43
Wind turbines	133,682	55
Fuell cell IE	5,184	2
Total	242,346	100

Tableau 4.7: Consommation électrique

Consumption	kWh/yr	%
AC primary load	18,175	9
Electrolyzer load	185,034	91
Total	203,209	100

D'après le tableau 4.11 on voit que l'énergie éolienne produit 55% de l'énergie annuelle et que la pile à combustible produit seulement 2% d'énergie électrique.

D'après le tableau 4.12 l'électrolyseur consomme 91% de l'énergie électrique produite, afin de produire et stocker de l'énergie sous forme d'hydrogène.

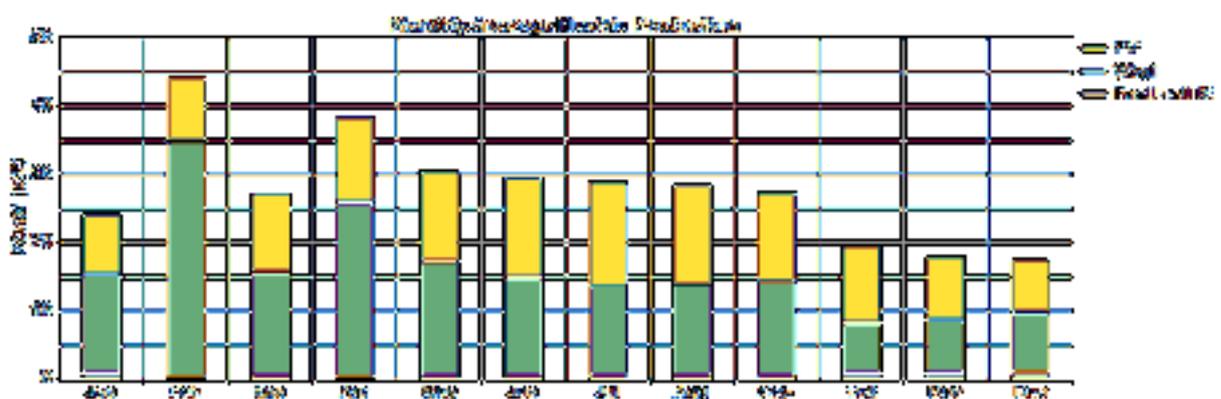


Figure 4.10: Production électrique moyenne mensuelle

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

Les résultats représentés en figure 4.10, montrent la variation de la contribution de l'éolienne et du pv et de la PAC en remarque que pour le mois de février et avril l'éolienne contribue plus que le pv pour l'hiver.

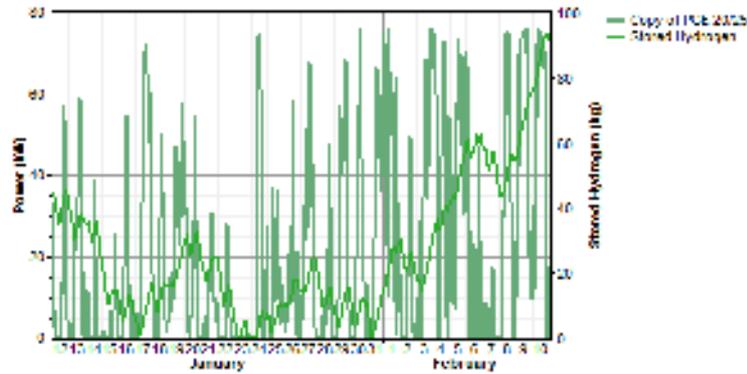


Figure 4.11: Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production de l'aérogénérateur

D'après la figure 4.11 on constate que le stockage d'hydrogène dépend de la production électrique de l'aérogénérateur, ce qui signifie que l'énergie produite en excès permet la production, d'une quantité d'hydrogène considérable, qui diminue au fur et à mesure que la vitesse du vent diminue.

4.6.1.2. Comparaison entre la production électrique et la consommation de l'électrolyseur:

La figure de 4.12 représentant la production éolienne ainsi que la consommation électrique de l'électrolyseur à l'échelle horaire pour la période hiver. On remarque clairement que l'excès d'énergie éolienne est utilisé par l'électrolyseur pour la production d'hydrogène.

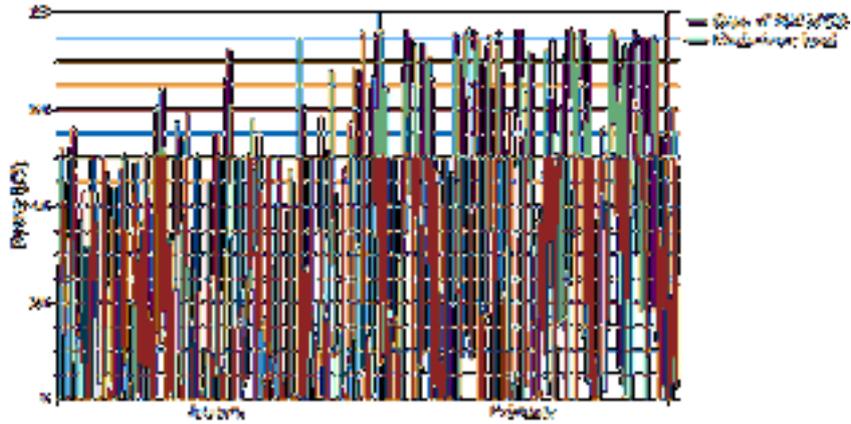


Figure 4.12: Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour la période hiver

le déclenchement de l'électrolyseur dépend de l'énergie en excès qui est produite par l'aérogénérateur pour être stocké sous forme d'hydrogène.

4.6.2. Simulation du système éolien-photovoltaïque-pile à combustible :

Cas d'été

4.6.2.1. Production énergétique du SEH :

4.6.2.1.1. Production énergétique mensuelle :

La figure 4.13 représente une comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge en été mois de juin pour ce mois en remarque que le pv contribue le plus dans la production électrique .

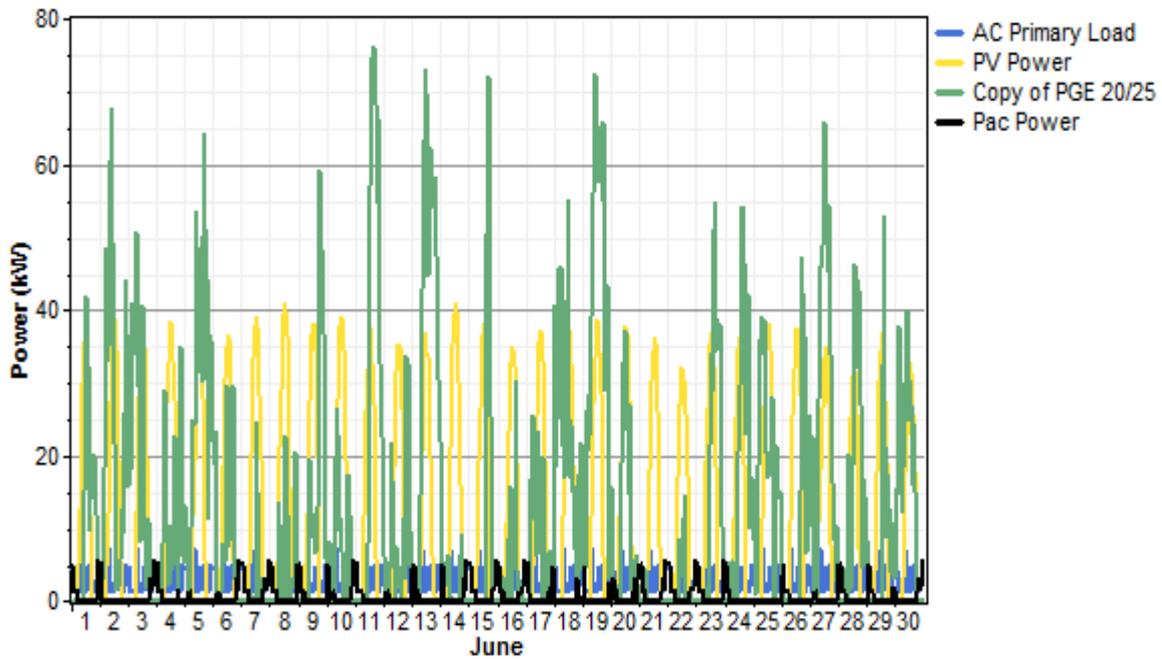


Figure 4.13: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, pv, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin.

D'après la Figures 4.13, représentant la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et la pile a combustible, On observe une alternance entre les différentes sources, on remarque bien que la production est toujours élevée pour le générateur photovoltaïque en été, pour l'aérogénérateur le mois le plus venté est février, pour la pile a combustible en remarque qu'elle travaille lorsque il ya peut ou très peut de production que ca soit de l'aérogénérateur ou de générateur photovoltaïque .

Afin de bien comprendre la complémentarité entre les systèmes on a représenté un exemple de production d'énergie moyenne pour un jour de juin sur la figure 4.14.

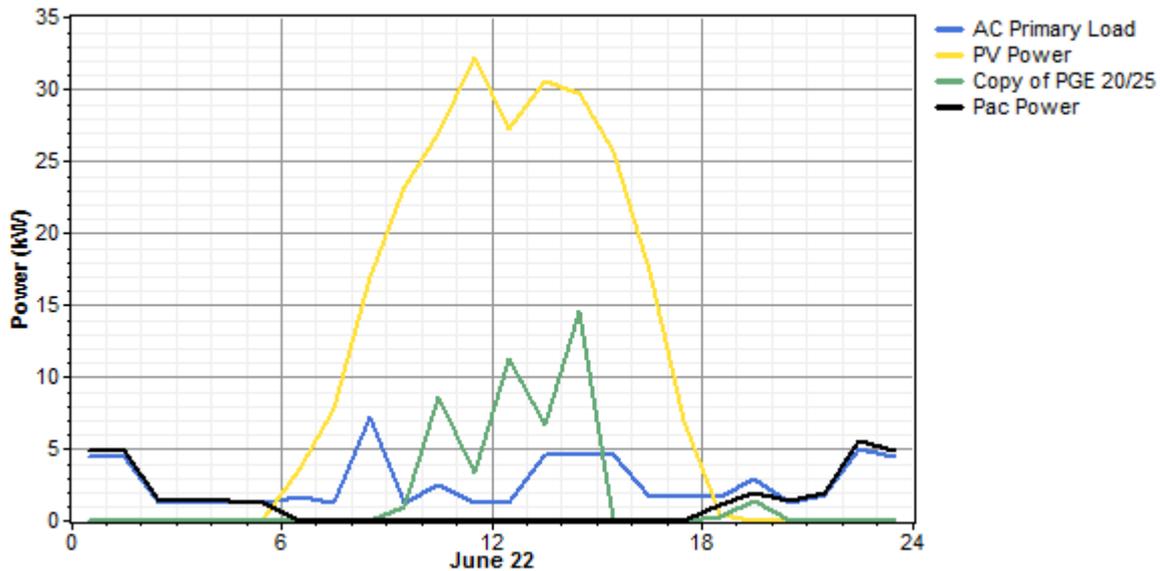


Figure 4.14: Production horaire du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et de la PAC

On remarque bien que la figure 4.14 traduit exactement le principe de fonctionnement de notre système hybride, lors de la diminution de la production de l'aérogénérateur et du générateur photovoltaïque, la PAC fournit l'énergie nécessaire pour combler la demande.

On remarque que lorsque le cumul des deux sources éolienne et PV, présente une production excédentaire, la PAC est en état d'arrêt. Pour une production déficitaire, la PAC intervient pour satisfaire à la demande.

4.6.2.1.2. Production et consommation annuelle :

Les tableaux 3.13 et 3.14 représentent la production et la consommation d'énergie sur une année.

Tableau 4.13: Production du SEH

Production	kWh/yr	%
PV array	85,425	38
Wind turbines	133,682	59
Pac	6,928	3
Total	226,035	100

Tableau 4.14: Consommation électrique

Consumption	kWh/yr	%
AC primary load	23,329	11
Electrolyzer load	180,426	89
Total	203,755	100

D'après les tableaux 4.13 et 4.14 on voit que l'éolienne contribue à 59% de la production d'énergie annuelle le photovoltaïque de 38% et la pile à combustible 3%.

Pour la consommation l'électrolyseur consomme 89% de l'énergie électrique produite. Ce qui permet de produire et stocker de l'énergie sous forme d'hydrogène.

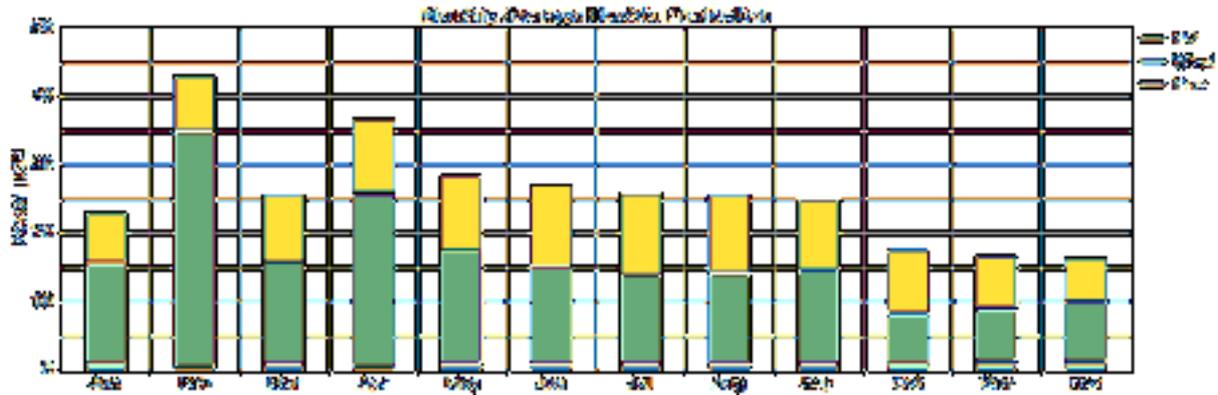


Figure 4.15: Production électrique moyenne mensuelle

On remarque que la contribution du générateur photovoltaïque est la plus dominante pendant les mois février-avril. Pour la PAC, la production est supérieure pour le mois d'octobre vu le faible rendement de l'aérogénérateur par rapport aux autres mois.

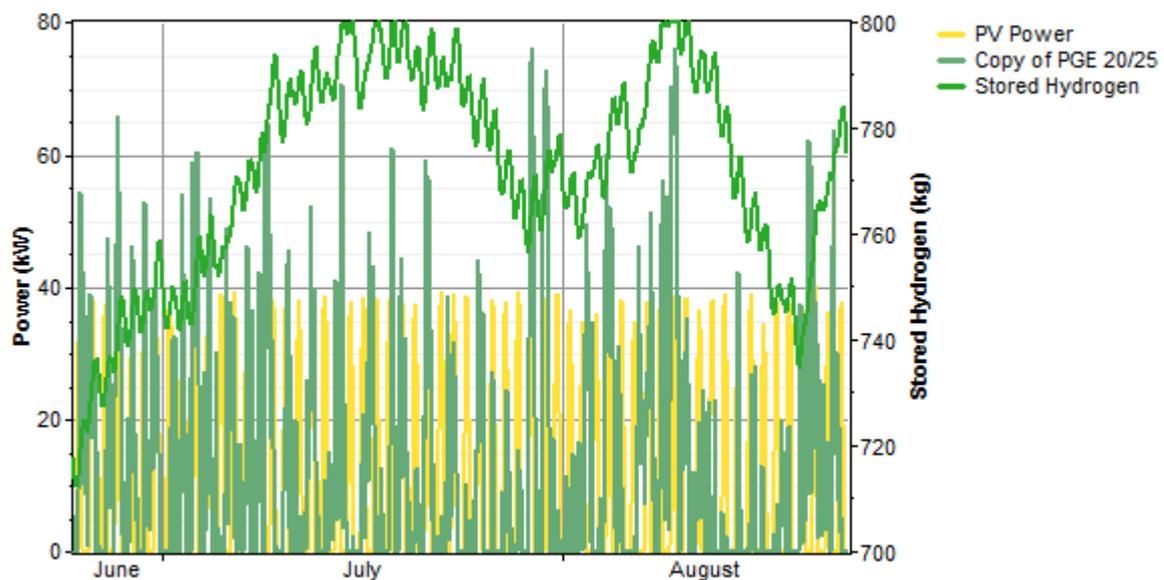


Figure 4.16: Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production du générateur photovoltaïque et l'aérogénérateur

D'après la figure 4.16 on constate que le stockage d'hydrogène est proportionnel à la production électrique à partir de l'aérogénérateur et du générateur photovoltaïque, c'est-à-dire l'énergie produite en excès grâce aux deux sources, la quantité d'hydrogène stocké devient plus importante, cette quantité diminue lorsque le cumul présente une déficience, et dans ce cas la quantité stockée d'hydrogène sera utilisée pour alimenter notre PAC.

4.6.2.2. Comparaison entre la production des différentes sources et celle consommé par l'électrolyseur :

La figure 4.17 représente une comparaison entre la production du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et celle consommé par l'électrolyseur pour la période été .

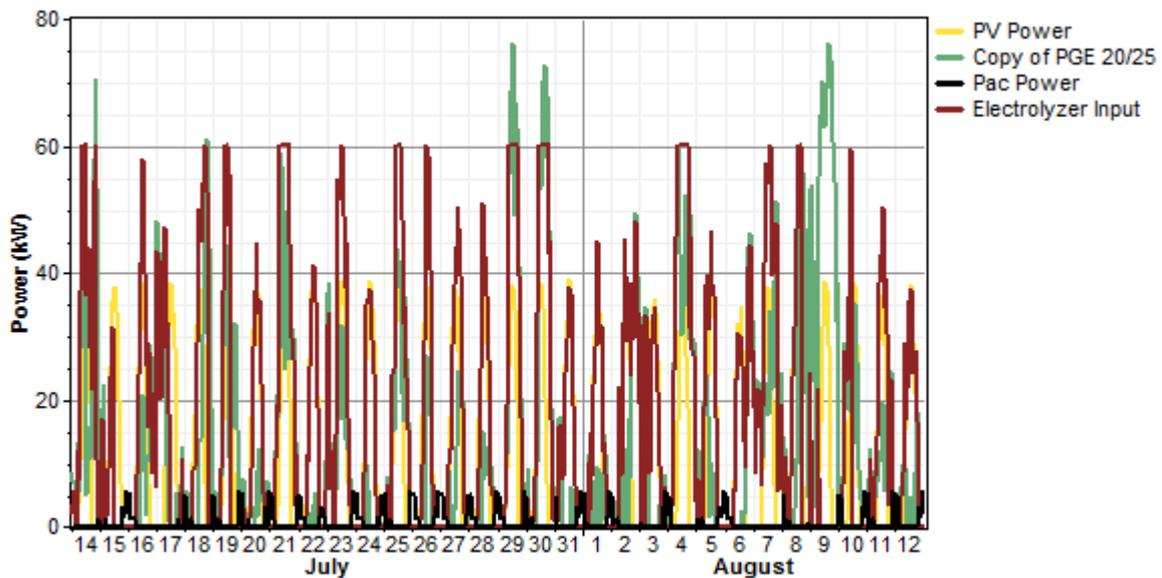


Figure 4.17: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour la période été

La figure 4.17 représente la production éolienne et photovoltaïque ainsi que la consommation électrique de l'électrolyseur pour la période été. On remarque clairement que l'excès d'énergie photovoltaïque est utilisé par l'électrolyseur pour la production d'hydrogène. Donc l'hydrogène est un moyen de stockage du surplus d'énergie.

Les résultats représentés dans la figure 4.17, montrent que la consommation de l'électrolyseur dépend de l'excès du cumul des deux sources.

4.7. Comparaison entre les deux configurations étudiées:

Une étude paramétrique a été simulée pour le site de Bouzareah à l'aide du logiciel HOMER, et les résultats sont présentés dans le tableau 4.15 :

Tableau 4.8: Comparaison de la production mensuelle moyenne entre les deux configurations

Mois	Configuration 1		
	PV (kW)	Wind (kW)	Fuel cell (kW)
janvier	8	14	2
février	9	34	1
mars	11	14	2
avril	12	25	1
mai	13	15	2
juin	15	13	2
juillet	16	12	1
août	14	13	1
septembre	13	13	1
octobre	12	5	2
novembre	10	6	2
décembre	7	8	2

Chapitre 4 : Dimensionnement et simulation du système hybride

Mois	Configuration 2		
	PV (kW)	Wind (kW)	Fuel cell (kW)
janvier	7	14	2
février	8	34	1
mars	10	14	2
avril	11	25	1
mai	12	15	2
juin	11	14	1
juillet	12	12	1
août	11,5	13	1
septembre	10	14	1
octobre	9	5	2
novembre	8	6	2
décembre	6	8	2

D'après le tableau 4.15 On note que la production de l'aérogénérateur est presque la même pour les deux configurations et que le taux d'utilisation de la PAC en été est légèrement supérieur pour la 2eme configuration et la production de générateur pv et supérieur pour la 2eme configuration.

4.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons utilisées le logiciel HOMER afin de dimensionner un système hybride EnR-H2 pour assurer l'électrification d'un habitats situé au niveau de CNERIB avec une charge de 16 kWh/j. On a trouvé que les dimensions optimales des composants répondant au site de Bouzareah pour les deux configurations différentes pour les composants suivant : un convertisseur de 2 kW, une capacité de stockage de 80 kg, et un électrolyseur de 4 kW, pour les deux configurations. Par ailleurs les dimensions de l'éolienne est de 3 kW, du générateur photovoltaïque est de 5.5 kW, et de la PAC de 1.5 kW

Les résultats ont montré une bonne complémentarité entre l'énergie produite par les différentes sources et celle produite par la PAC. En effet pour les périodes de faible production, le système fait appel à la PAC pour combler le manque. Donc nous concluons que l'électrolyseur permet le stockage de l'énergie excédentaire sous forme d'un vecteur énergétique appelé hydrogène, pour enfin le restitué par la PAC afin de compenser le manque d'énergie du a l'intermittence des sources renouvelables.

D'après la comparaison effectuée entre les deux configurations, on remarque que la production saisonnière présente une différence considérable, on note que cette différence est due à la présence d'une troisième source qui contribue à la production totale d'énergie. Donc on conclue que la première configuration avec deux sources présente une production déficitaire par rapport à la deuxième configuration, d'où un système a trois sources reste plus fiable qu'un système à deux source en terme de production.

Chapitre 4 :
Dimensionnement et
simulation du système
hybride

Table des matières

Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale	1
CHAPITRE 1 :	
1.1. Introduction	3
1.2. L'origine de la notion du système	3
1.3. Définition de système hybride	3
1.4. Les avantages des systèmes hybrides	4
1.5. Présentation du système hybride	4
1.5.1. Principaux Composants des systèmes hybrides	4
1.5.1.1. Générateurs photovoltaïques	4
1.5.1.2. Aérogénérateur	4
1.5.1.3. Pile à combustibles	5
1.5.1.4. Systèmes de stockage	5
1.5.1.5. Convertisseurs	5
1.5.1.6. Charges	6
1.6. Classification	6
1.6.1. Le régime du fonctionnement	6
1.6.2. La structure du système hybride	6
1.7.1. Critères d'optimisation du système	8
1.7.2. Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides	8
1.8. Etat de l'art des systèmes hybrides Energies renouvelables hydrogène	9
1.9 Contribution	16
CHAPITRE 2 :	
2.1. Introduction	17
2.2 Gisement solaire	17
2.2.1 Définition du rayonnement solaire	17
2.3 Puissance éolienne	18

2.3.1 Puissance et énergie d'une éolienne	19
2.3.2 Puissance éolienne : quelques valeurs	19
2.3.3 Puissance éolienne de sortie	20
2.3.4 Calcul de puissance	20
2.3.5 Diamètre du rotor	20
2.3.6 "Poids" de l'air	21
2.3.7 Puissance éolienne exponentielle	21
2.3.8 Puissance éolienne utile	21
2.3.9 Limite de Betz	21
2.3.10 Plages de puissances :	21
2.3.11 Rendement	22
2.4 Description d'un système PV	23
2.5 La pile a combustible	24
2.6.1 Rendements globaux	24
2.6.2 Principe de fonctionnement	24
2.7 Electrolyseur	25
2.7.1 Electrolyse de l'eau	25
CHAPITRE 3 :	
3.1 Introduction	26
3.2. Caractéristiques climatiques de l'Algérie	26
3.3. Choix des sites	27
3.4. Présentation du logiciel METEONORM	27
3.5. Caractéristiques climatiques de la région choisi	28
3.5.1. Caractéristiques de la région de Bouzareah	28
3.6. Définition de la maison d'étude	30
3.7. Détermination du profil de consommation	31
3.8. Conclusion	34
CHAPITRE 4 :	
4.1 : Introduction	35
4.2 : Description du logiciel HOMER	35

4.3 : Présentation du système hybride	36
4.4. Données d'entrées	37
4.4.1. Les données du vent	37
4.4.2. Les données solaires	39
4.4.3. La charge électrique	39
4.4.4. L'aérogénérateur :	41
4.4.5. Le générateur photovoltaïque	41
4.4.6. L'électrolyseur :	42
4.4.7. La pile à combustible	42
4.4.8. Le convertisseur	42
4.4.9. Le réservoir d'hydrogène	43
4.5. Dimensionnement	43
4.6. Simulation des systèmes considérés	47
4.6.1. Simulation du système éolien-pile à combustible	47
4.6.1.1. Production énergétique du SEH	47
4.6.1.1.1. Production énergétique mensuelle	47
4.6.1.1.2. Production énergétique annuelle	48
4.6.1.2. Comparaison entre la production électrique et la consommation de l'électrolyseur	49
4.6.2. Simulation du système éolien-photovoltaïque-pile à combustible :	50
4.6.2.1. Production énergétique du SEH	50

4.6.2.1.1. Production énergétique mensuelle	50
4.6.2.1.2. Production et consommation annuelle	52
4.6.2.2. Comparaison entre la production des différentes sources et celle consommé par l'électrolyseur	54
4.7. Comparaison entre les deux configurations étudiées	55
4.8. Conclusion	57
Conclusion générale	58
Liste de figures :	
Chapitre 01 : Etat de l'art du système hybride Eolien PV Hydrogène	
Figure 1.1: Classification des systèmes hybrides	8
Figure 1.2: diagramme du système de stockage d'énergie installé	9
Figure 1.3: Diagramme du système hybride éolien photovoltaïque	10
Figure 1.4: Système de production de l'hydrogène à partir de l'énergie éolienne [9, 10]	11
Figure 1.5 complet du système hybride	12
Figure 1.6 Schéma complet du système hybride Pv-petites éolien	13
Figure 1.7 Système de conversion éolienne hydrogène	14
Figure 1.8 Elément du système éolien électrolyseur	15
Chapitre 02 : Définition du système et du site	
Figure 2.1 Champ d'aérogénérateurs ou d'éoliennes	19
Figure 2.2 Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général	23
Chapitre 03 : Etude théorique du système hybride Eolien PV Hydrogène	
Figure 3.1 Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale	26
Figure 3.2 Carte de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 50 m du sol	27
Figure 3.3 Vue des stations météo algériennes disponible sur le logiciel METEONORM	28
Figure 3.4 Emplacement du CDER à Bouzareah (Alger)	29
Figure 3.5 Vue externe de la maison	30
Figure 3.6 Plan détaillé de la maison	30
Figure 3.7 Vue de façade de la maison	31
Chapitre 04 : Dimensionnement et simulation du système hybride	
Figure 4.1 : Bibliothèque HOMER	36
Figure 4.2: Architecture des configurations 1 et 2 respectivement	37

Figure 4.3 Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent pour la région de Bouzareah à 10m du sol	38
Figure 4.3: Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région de Bouzareah	38
Figure 4.5 Rayonnement horizontal global et indice de clarté	39
Figure 4.4: Simulation de la charge à alimenter	40
Figure 4.5: Charge électrique moyenne horaire	40
Figure4.8: Courbe de puissance de l'aérogénérateur PGE20/25	41
Figure 4.9: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, pv, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre.	47
Figure 4.10: Production électrique moyenne mensuelle	48
Figure 4.11: Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production de l'aérogénérateur	49
Figure 4.12: Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour la période hiver	50
Figure 4.13: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, pv, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin.	51
Figure 4.14: Production horaire du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et de la PAC	52
Figure 4.15: Production électrique moyenne mensuelle	53
Figure 4.16: Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production du générateur photovoltaïque et l'aérogénérateur	53
Figure 4.17: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour la période été	54
Liste de tableaux :	
Chapitre 03 : Etude théorique du système hybride Eolien PV Hydrogène	
Tableau 3.1 Moyennes mensuelles du rayonnement ,température et vitesse du vent à Bouzareah	29
Tableau 3.2 Listes des appareils électrique et leurs puissances	31
Tableau 3.3 Profil journalier de consommation pour la période hiver	32
Tableau 3.4 Profil journalier de consommation pour la période d'été	33
Chapitre 04 : Dimensionnement et simulation de système hybride	
Tableau 4.1: Caractéristiques géographiques de la station de mesure de Bouzareah	37
Tableau 4.2. Paramètres K et C et vitesse moyenne de vent	39

Tableau 4.2: Propriétés du champ photovoltaïque	41
Tableau 4.3: Propriétés de l'électrolyseur	42
Tableau 4.4: Propriétés de la PAC	42
Tableau 4.5: Caractéristiques des convertisseurs	43
Tableau 4.6: Propriétés du réservoir d'hydrogène	43
Tableau 4.8 Listes des appareils électrique et leurs puissances	44
Tableau 4.9 Profil journalier de consommation pour la période hiver	45
Tableau 4.10 Profil journalier de consommation pour la période d'été	46
Tableau 4.11: Production du SEH	48
Tableau 4.7: Consommation électrique	48
Tableau 4.13: Production du SEH	52
Tableau 4.14: Consommation électrique	52
Tableau 4.8: Comparaison de la production mensuelle moyenne entre les deux configurations 1	55
Tableau 4.6: Comparaison de la production mensuelle moyenne entre les deux configurations 2	56

Références Bibliographiques :

[1] www.ummtto.dz

[2] M. Belhamel, S. Moussa, A. Kaabeche, 2002, « *Production d'Electricité au Moyend'unSystèmeHybrideEolien-Photovoltaïque-Diesel* », Centre de Développement des Energies Renouvelables, p 49.

[3] www.systemoffgrid.com

[4] A. Benachour, W. Boudjemaa, 2016, « *Etude et simulation d'un système hybride éolien-moteur à hydrogène* », Université de Blida 1, p 26, 60.

[5] L. Stoyanov, 2011, « *Etude des différentes structures du système hybride a source renouvelables* », Thèse de doctorat l'Université Technique de Sofia Bulgarie.

[6] Dan Gao, Dongfang jiang, pei Liu. Zheng Li, Sangao Hu, Hong Xu, 2014, “*An integrated energy storage system based on hydrogen storage Process configuration and case studies with wind power*”, Energy.

[7] A. khalilnejad, G.H.Riahy, 2014, “*A hybrid wind PV system performance investigation for the purpose of maximum hydrogen production and storage using advanced alkaline electrolyze*”, Energy Conversion and Management.

[8] Shahid Hussain Siyal, Dimitris Mentis, Ulla Mortberg, saleem Raza Samo, Mark Howells, 2015, “*A preliminary assessment of wind generated hydrogen production potential to reduce the gasoline fuel used in road transport sector of-Sweden*”, International journal of Hydrogen Energy.

[9] L. Aiche-Hamane, 2015, « *contribution à l'estimation du potentiel d'hydrogène produit par l'énergie éolienne* », Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, p 49, 50, 53, 56-60, 114-117, 135-137.

[10] L. Aiche- Hamane, M. Belhamel, B. Benyoucef, M. Hamane, décembre, 2010, “*Study of hydrogen production from wind power in Algeria*”, 18th World Hydrogen Energy Conference 2010 - WHEC 2010 Parallel Sessions Book 3: Hydrogen Production Technologies – Part 2, p 17-21, Detlef Stolten, Thomas Grube (Ed), Forschungszentrum Jülich GmbH.

- [11] L. Aiche-Hamane, M. Belhamel, B. Benyoucef and M.Hamane, 2009, "*Feasibility study of hydrogen production from wind power in the region of Ghardaia*", International journal of hydrogen Energy, Vol. 34, pp. 4947-4952.
- [12] Raul sarrias-Mena, Luis M.Fernandez-Ramirez, Carlos Andrés Garcia –Vazquez, francisco jurado, 2015, "*Electrolyzer models for hydrogene production from wind energy systems*", International journal of Hydrogen Energy.
- [13]Shahid Hussain Siyal, Dimitris Mentis, Mark Howells, -2015, "*Economic analysis of standalone wind -powered hydrogen refueling stations for road transport at selected sites in Sweden*", International journal of Hydrogen Energy.
- [14] Rodica Loisel, Laurent Baranger, nezha Chemouri, Stefania Spinu, Sophie pardo, 2015, "*Economic evaluation of hybrid off-shore wind power and hydrogen storage system*", International journal of Hydrogen Energy.
- [15] Pei-Hsing Huang, Jenn-Kun Kuo, Zong-Dain Wu, 2016, "*Applying small wind turbines and a photovoltaic system to facilitate electrolysis hydrogen production*", International journal of Hydrogen Energy.
- [16] Omid Alavi, Ali Mostafaeipour, Mojtaba Qolipour, 2016, "Analysis of hydrogen production from wind energy in the southeast of Iran", International journal of Hydrogen Energy.
- [17] Mustafa SerdarGenc, Muhammet çelik, Ilyas Karasu, 2016, "*A review on wind energy and wind hydrogen production in Turkey A case study of hydrogen production via electrolysis system supplied by wind energy conversion*", Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [18]Ali Mostafaeipour, Mohamed Khayyami, Ahmad Sedaghat, Kasra Mohammadi, Shahaboddin Shamshirband, Mohammad-Ali Sehati, Ehsan Gorakifard, 2016, "*Evaluating the wind energy potential for hydrogen Production*", International journal of Hydrogen Energy.
- [19] Babatunde olateju, Amit kumar, Marc Secanell, 2016, "*A techno-economic assessment of large scale wind-hydrogen production with energy storage in Western Canada*", International journal of Hydrogen Energy.
- [20] Lilia Aiche eps Hamane, 2003, thèse de magister, « contribution à l'élaboration de la carte du gisement énergétique éolien de l'Algérie »

[21] www.wikipedia.com

[22]. S.M. Boudia. Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 2013.

[23]. F. Chellali. Etude du comportement stochastique et cyclique du vent en Algérie. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, 2011.

[24]. F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani, A. Recioui. A contribution in the actualization of wind map of Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011 ;15:993-1002.

[25]. N. Kasbadji Merzouk. Evaluation du gisement énergétique éolien. Contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 2006.

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons dimensionné une installation hybride constituée de panneaux solaires, d'éoliennes avec stockage hydrogène pour l'alimentation en électricité d'une maison située au CNERIB Souidania .

A travers ce projet d'étude nous avons traité les points suivants :

1. Détermination du gisement solaire et éolien du site de Bouzareah , à partir des données de l'irradiation solaire et des vitesses du vent .nous avons constaté que la région de Bouzareah dispose d'un gisements solaire assez important avec un faible gisement éolien.
2. Détermination de la charge électrique de la maison.
3. Modélisation des systèmes hybrides : éolien et solaire. Nous avons sélectionné un ensemble de modules photovoltaïques et éoliens adaptée pour générer de l'électricité à partir du vent et de la ressource solaire disponible.
4. Dimensionnement du système hybride : Nous avons dimensionné le système hybride éolien solaire avec stockage hydrogène pour notre application pour le mois le plus défavorable en énergie solaire .

En perspective , ce travail pourra être complété en dimensionnant le système hybride par d'autres méthodes qui utilisent des algorithmes spécifiques et dont le but est d'éviter le surdimensionnement du système ce qui réduira le cout total de l'installation .