الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master en

Option : énergie solaire et éolienne –commande et électronique industrielle

THEME

Dimensionnement d'un système hybride pour subvenir aux besoins de l'université de Médéa

Proposé et dirigé par

Dr.Ahmed Ferrai

Préparé et présenté par,

M. Bellouni Faress
M. Zellak Elhadi

Remerciement

Nous tenons à remercier vivement Mr. FERRAI hamid notre promoteur qui a fourni des efforts énormes, par ses informations ses conseils et ses encouragements

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

Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près et de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Nous dédicaçons ce modeste travail :

- A nos chers parents qui n'ont soutenu durant toute la durée nos études.
- A nos chères familles
- A tous amis et nos proches
- A tous nos camarades dans promotion 2017
- A tous ceux qui sont chers
- A tous ceux qui nous aidé à mètre fin de ce projet.

bellouni et zellak

Sommaire

1. Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.2 Energie éolienne ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.3 Energie solaire ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.4 Energie hydraulique ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.5 Energie de la biomasse ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.6 Energie géothermique ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.7 Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**
Chapitre II ..... **Error! Bookmark not defined.**
Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1 Type de fonctionnement ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.2Définition et missions des systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.3 Principaux Composants des systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.4 Générateurs photovoltaïques ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.5 Exemples de topologies de systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.6 Configuration de bus dans les systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.7 Inconvénient majeur dans un SEH ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.8. Méthodes de modélisation et simulation des SEH ..... **Error! Bookmark not defined.**
Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**
Chapitre III ..... **Error! Bookmark not defined.**
Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1. Description du système PV-W-FC ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.2. Utilisation du logiciel HOMER ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.3. Création du système hybride ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4. Caractéristiques de la région de Médéa ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.5 Profils de charge de l'université de Médéa ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.6. Caractéristiques techniques des composants utilisés ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.7. Paramètres économiques ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.8. Optimisation du système ..... **Error! Bookmark not defined.**
Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Classification des SEH par gamme de puissance. .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableaux 3.1: Tableaux de la consommation de la charge Médéa (pole universitaire)**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.2: Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Médéa.**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.3: *Données du rayonnement solaire de la région de Médéa.*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.4: *Données du vent de la région de Médéa.* .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.5 : *Résultats de l'étude statique de la vitesse du vent*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.6: *Caractéristiques des panneaux* PV.....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau3.7: *Caractéristiques des électrolyseurs*.....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.8: *Caractéristiques des convertisseurs*. .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau3.9: *Caractéristiques des réservoirs d'hydrogène*. .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 3.11 :*Polluants émis par différents carburants*. .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau3.11: *Caractéristiques économiques de chaque composant du système* PV-W-FC**Error! Bookmark not defined**

Table de figure

***Figure*1.1 :** *Constitution d'une éolienne*.....**Error! Bookmark not defined.**

***Figure 1.2 :** Schéma d'une station de fourniture et de production d'énergie électrique par aérogénérateu*.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure1.3 : Constitution d'une installation photovoltaïque.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 1.4 : Capteur thermique solaire.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 1.5 : Schéma d'une microcentrale .....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-1: Modules photovoltaïques sur support (Source: Web EREN, US (Département of Energie)**Error! Bookmark**

Figure 2-2 : Système éolien basé sur la machine synchrone à aimants permanents [15]**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-3: Configuration du générateur diesel [18] .....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-4: Solaire-éolien, stockage à batteries, installation isolée [21].....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-5: Solaire-éolien, batteries de stockage et hydrogène, installation isolée [22]**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-6: Solaire-éolien, stockage à hydrogène, installation isolée [23].....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-7: Eolien, stockage à hydrogène et par super condensateurs, installation isolée [24]**Error! Bookmark not defin**

Figure 2-8: Éolien-diesel, stockage à hydrogène, installation isolée [25].....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-9: Petits systèmes de puissance CA avec composants couplés du côté CC [28]**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-10 : Configuration du SEH à bus CC.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-11: Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA .....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-12: Configuration de bus CA .....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 2-13:(a) Circuit électrique, (b) Diagramme bloc, (c) Graphe de liaison**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.1: Bilan énergétique du système PV-W-FC.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure3.2: Bibliothèque HOMER.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.3: Diagramme du système hybride PV-W-FC simulé par HOMER.**Error! Bookmark not defined.**

Tableaux 3.4: Tableaux de la consommation de la charge Médéa (pole universitaire)**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.5 : *Évolutionde l'ensoleillement mensuel.*.....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.6: *Variation de la température mensuelle moyenne de la région de Médéa*.**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.7 : *Profil journalier de la vitesse du vent au site de l'université de Médéa*.**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.8 : *Évolution mensuelle de la vitesse moyenne du vent pour la région de Médéa***Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.9: *Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région de Médéa.***Error! Bookmark not def**

Figure3.10: Variation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur de l'aérogénérateur.**Error! Bookmark not defined**

Figure 3.11 : *Évolution mensuelle de la consommation électrique pour l'université***Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.12 : *Profil de charge mensuel d'un jour typique de l'université de Médéa*.**Error! Bookmark not defined.**

Figure 3.14: *Propriétés de l'aérogénérateur utilisé* .....**Error! Bookmark not defined.**

Table de figure

introduction génerale

Introduction générale

Aujourd'hui, l'électricité est la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Sa production est assez facile et il existe de nombreuses solutions plus ou moins performantes mais dont les coûts peuvent être parfois élevés.

L'électricité est un vecteur énergétique produit a partir de diverses sources énergétiques. L'électricité générée à partir des combustibles fossiles a pris la part la plus importante.

La raréfaction progressive des hydrocarbures ainsi que l'impact climatique de leur utilisation exigent des solutions alternatives pour répondre à la demande d'énergie pourtant si nécessaire au développement économique. L'utilisation de l'énergie d'origine renouvelable est la solution la plus prometteuse pour résoudre ce problème.

La production mondiale d'électricité renouvelable a atteint 3762.6 TWh en 2008, soit 18.7% de la production totale [1]. Cette part reste supérieure à la production d'électricité d'origine nucléaire (13.5% en 2008) mais largement inférieure à l'électricité produite à partir des combustibles fossiles 67.6%. Les 0.2% restants sont apportés par la combustion des déchets qualifiés de non renouvelable [1].

L'une des sources d'énergies renouvelables les plus prometteuses vient de la conversion des radiations solaires en énergie électrique à l'aide de systèmes photovoltaïques. L'utilisation de la technologie photovoltaïque possède de multiples avantages pour l'environnement bien que, dans certains cas, les coûts ne soient pas encore compétitifs par rapport aux systèmes d'alimentation électrique classiques. Toutefois, aujourd'hui, cette technologie se développe comme une solution durable créant un marché à croissance rapide et de nouvelles opportunités d'emploi.

En outre, parmi les sources potentielles d'énergies renouvelables, l'éolien représente une part importante. L'énergie éolienne, si elle ne peut pas compenser ou remplacer les sources traditionnelles d'énergies fossiles, constitue néanmoins une voie intéressante de réduction des émissions de CO2.

Le développement de l'énergie éolienne s'est très nettement accéléré depuis une douzaine d'années. Par voie de conséquence, le coût du kilowattheure éolien a progressivement baissé et la fiabilité des machines s'est améliorée. Les développements réalisés depuis une dizaine d'années portent principalement sur l'accroissement des échelles et des productions unitaires des éoliennes à axe horizontal. Les plus grandes machines atteignent actuellement des puissances unitaires de production de 5MW.

L'utilisation de plusieurs sources d'énergie dans un système d'énergie hybride doit avoir

une incidence profitable sur la production d'énergie, en termes de coût et de disponibilité, étant entendu que le bilan écologique est supposé a priori favorable. Les sources des énergies renouvelables, comme le solaire photovoltaïque et l'éolienne, ne délivrent pas une puissance constante. Le stockage est un facteur clef dans un système d'énergie hybride.

Il fournit non seulement une solution technique au gestionnaire du réseau pour assurer en temps réel l'équilibre production-consommation mais il permet également d'utiliser au mieux les ressources renouvelables en évitant un délestage en cas de surconsommation.

Associé à une production locale d'origine renouvelable, un stockage décentralisé présenterait également l'avantage d'améliorer la robustesse du réseau électrique.

Il permet également de résoudre d'une façon économique l'approvisionnement en énergie des zones isolées. L'électricité peut en effet être stockée directement dans des super condensateurs et dans des supers à conducteurs, ou indirectement par sa transformation en d'autres formes énergétiques. La forme énergétique de stockage peut être mécanique en comprimant l'air ou en pompant l'eau à des niveaux supérieurs, ou chimique dans des batteries ou par la production de l'hydrogène. L'utilisation de l'hydrogène comme un moyen de stockage des énergies renouvelables a connu, ces dernières années, une augmentation très importante.

L'intérêt de l'hydrogène résulte de son abondance sur terre, de sa forte capacité énergétique massique et de son caractère non polluant, sous réserve de le produire à partir de filières technologiques elles-mêmes propres.

Il peut être utilisé directement (combustion classique) ou indirectement par la combustion catalytique, par la génération de vapeur, par les hydrides ou par l'utilisation de la pile à combustible qui converti l'hydrogène en électricité.

L'utilisation des énergies renouvelables avec l'hydrogène, comme un moyen de stockage, nous a orienté vers une autonomie de production d'énergie électrique.

Il existe plusieurs types de systèmes hybrides de production électrique autonomes comme le Photovoltaïque-Pile à combustible (PV-FC), Éolienne-Pile à combustible (W-FC) ou le Photovoltaïque-Éolienne-Pile à combustible (PV-W-FC).

Pendant les heures de disponibilités de l'énergie solaire et/ou éolienne, le système hybride produit l'énergie qui alimente la charge. L'excès d'énergie est utilisé par les électrolyseurs pour produire de l'hydrogène pendant les périodes de non disponibilité suffisante des énergies solaire et éolienne. L'hydrogène converti en électricité par les piles à combustible alimente en énergie la charge.

L'implantation de ces systèmes nécessite une estimation brève de l'intensité du rayonnement solaire et la vitesse du vent, ainsi que la connaissance de la consommation électrique journalière afin de déterminer la taille optimale de chaque composant du système.

Plusieurs logiciels sont utilisés pour la simulation et le dimensionnement des systèmes hybrides A titre d'exemple il y a HOMER, SOMES, RAPSIM, SOLSIM, INSEL. Tous ces logiciels .ont pour finalité d'optimiser les systèmes hybrides. Toutefois les stratégies d'optimisation diffèrent d'un logiciel à un autre.

En utilisant le logiciel de dimensionnement HOMER, l'objet de ce mémoire porte sur le dimensionnement d'un système énergétique autonome PV-W-FC capable de subvenir aux besoins électriques de l'université de Médéa Ce présent mémoire est constitué de trois chapitres :

- Le premier chapitre s'attache à présenter les différentes ressources énergétiques renouvelables existantes.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des systèmes hybrides, les caractéristiques ainsi que les différents types de chaque composant du système à dimensionner tel que les panneaux photovoltaïques, les aérogénérateurs, et les piles à combustible.
- Le troisième chapitre les caractéristiques géographiques et météorologiques du site de Médéa, est Évolution mensuelle de la consommation électrique pour l'université De Médéa pour l'année 2016.

chapitre I

1. Introduction

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

Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires.

Les chocs pétroliers successifs depuis les années 70 ont démontré les risques économiques et géopolitiques de la production d'énergie reposant sur l'exploitation des ressources fossiles, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. Et la solution proposée a concerné le renforcement du nucléaire émergeant. Cependant, si l'option électronucléaire a suscité après son lancement de grands espoirs, la réalité s'est révélée beaucoup moins rose. Une bonne partie des pays industrialisés utilisant cette technologie ont décidé l'arrêt définitif de la construction des centrales nucléaires.

De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques conventionnels dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles d'accès.

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.

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets;
- elles sont inépuisables;
- elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux;
- elles offrent une importante indépendance énergétique.

Ces énergies renouvelables sont présentées, ainsi que leurs modes de productions énergétiques dans les paragraphes suivants.

1.2 Energie éolienne

1.2.1 Généralités

Tout comme l'énergie qui se trouve dans les combustibles fossiles, les énergies renouvelables (sauf les énergies marémotrice et géothermique) sont dérivées de l'énergie solaire. En effet, le soleil émet chaque heure quelques 1,74 1014 kilowattheures d'énergie à notre planète. La terre reçoit, en d'autres termes, une puissance équivalente à 1,74 1017 watts. [3]

Environ un à deux pour cent de l'énergie émise par le soleil est converti en énergie éolienne.

La technologie éolienne génère de l'électricité à partir d'un élément naturel inépuisable, le vent qui entraîne un mouvement de rotation des pales. Le principe de fonctionnement permet de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique.

1.2.2 Utilisation de l'énergie éolienne pour la production de l'électricité

1.2.2.1 Principe de fonctionnement d'une éolienne

Les éoliennes permettent de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. La très large majorité des éoliennes installées dans le monde sont des machines à axe horizontal (1, 2 ou 3 pales verticales), car leur rendement est supérieur à celui des autres types d'éoliennes.

1) Automate
2) anémomètre, girouette
3) moteur d'orientation
4) arbre lent
5) multiplicateur
6) arbre rapide
7) génératrice
8) frein à disque

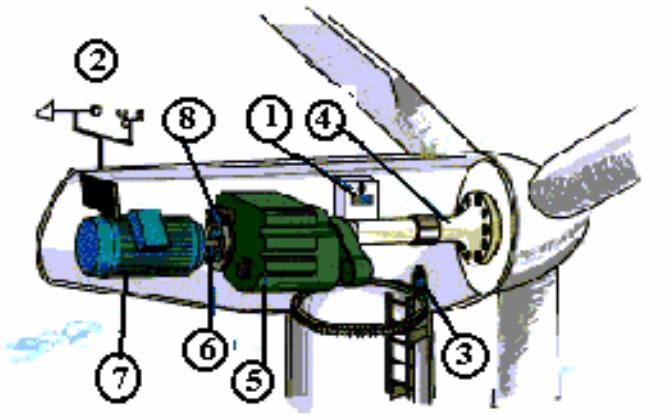


Figure* I.*1 : *Constitution d'une éolienne*

Lorsque le vent devient suffisant (3 à 5 m/s), l'automate (1) de la figure 1.1, renseigné par l'anémomètre et la girouette (2) fixés au sommet de la nacelle, commande au moteur d'orientation (3) de placer l'éolienne face au vent. Le vent entraîne les pales qui font tourner un arbre lent (4). Le multiplicateur (5) augmente la vitesse de rotation et

imprime cette accélération à l'arbre rapide (6). Celui-ci transmet le mouvement rotatif au générateur (7) qui produit de l'énergie électrique.

Les éoliennes de puissance ne fonctionnent et ne produisent pas en permanence. Elles ont besoin d'une vitesse de vent minimale pour commencer à produire de l'énergie. Inversement, elles se freinent puis s'arrêtent automatiquement lorsque la vitesse du vent est trop élevée (environ 100 Km/h). Ainsi, les aérogénérateurs ne produisent de l'électricité qu'entre deux vitesses de vent appelées 'vitesse de démarrage' et 'vitesse de coupure'.

Pour freiner la rotation des éoliennes, on utilise souvent le principe de pales à pas variable ou 'pitch control' : les pales sont mobiles autour de leur axe longitudinal et s'orientent automatiquement de façon à diminuer la portance au vent. Lorsque la vitesse du vent est trop importante et que ce mécanisme ne suffit plus à freiner le mouvement rotatif, l'éolienne se place perpendiculairement au vent (on dit qu'elle se met en drapeau, comme les voiles d'un bateau). Le rotor devient ainsi immobile.

Un autre système de régulation, appelé "stall-control" est également parfois utilisé : c'est alors le profil aérodynamique de la pale qui permet à l'éolienne de réguler.

Les éoliennes disposent en outre d'un frein mécanique (8), dit frein d'urgence, (figure 1.1). Celui-ci, placé sur l'arbre rapide, permet de suppléer le freinage par les pales en cas de défaillance, ou bien de maintenir l'éolienne en position arrêtée en période de maintenance.

1.2.2.2 Configuration d'une station éolienne pour la production d'électricité

Toutes les stations éoliennes destinées à la production d'énergie électrique ont une configuration qui correspond à l'organigramme de la figure 1.2.

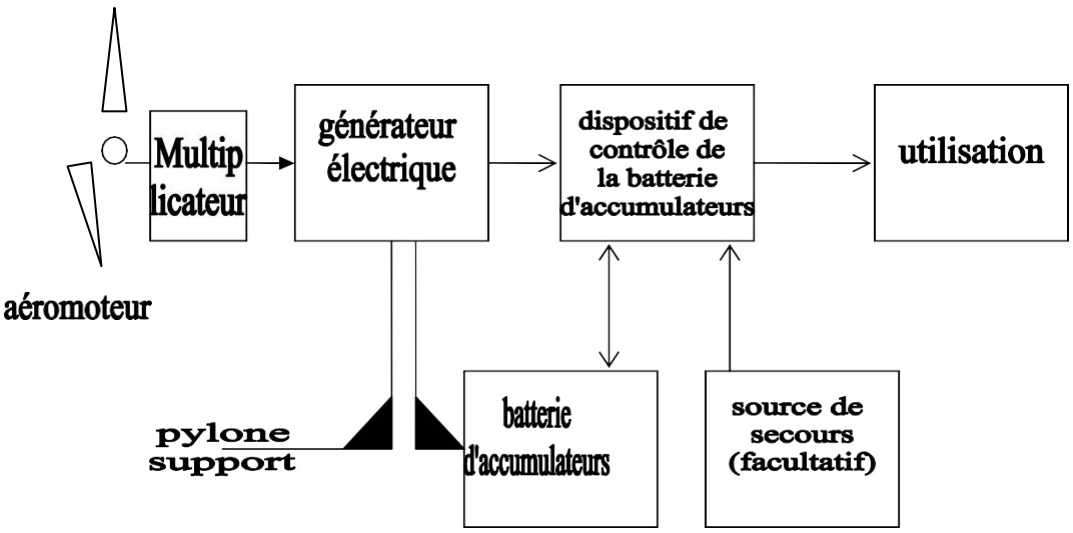


Figure I.2 : *Schéma d'une station de fourniture et de production d'énergie électrique par aérogénérateur*

1.2.2.2.1 Le multiplicateur

Le multiplicateur est un convertisseur de puissance. Il multiplie la vitesse d'entrée (rotor de l'éolienne) pour atteindre la vitesse de sortie exigée par la génératrice électrique.

1.2.2.2.2 La génératrice électrique

La génératrice électrique transforme l'énergie mécanique en une énergie électrique. Les génératrices des éoliennes diffèrent un peu des autres types de génératrices raccordées au réseau électrique. Une des raisons pour cette différence est que la génératrice d'une éolienne doit pouvoir fonctionner avec une source de puissance (c'est-à-dire le rotor de l'éolienne) qui fournit une puissance mécanique (un couple) très fluctuante.

La génératrice peut être soit synchrone, soit asynchrone. Elle produit du courant alternatif à fréquence variable et le courant alternatif à fréquence variable n'est pas utilisable dans le réseau électrique public. Par conséquent, il faut d'abord le convertir en courant continu. La conversion de courant alternatif à fréquence variable en courant continu est réalisée par l'emploi de redresseurs. Ce courant est ensuite convertit en courant alternatif à fréquence fixe, puis filtré dans le cas d'un raccordement au réseau.

1.2.2.2.3 Le dispositif de stockage

La caractéristique essentielle du vent est sa discontinuité dans le temps, un certain nombre d'études ont eu pour objet de mettre au point des systèmes permettant de stocker l'énergie produite par le vent et non utilisée, afin de l'utiliser pendant les périodes de calme.

Les systèmes de stockages les plus utilisés sont les batteries d'accumulateurs au plomb .

1.2.2.2.4 Le dispositif de contrôle

Un système de régulation et de contrôle est nécessaire pour protéger les batteries des surcharges et décharges profondes.

1.2.3 Conception d'un système éolien autonome

C'est un système de petite taille, non connecté au réseau, peut être autonome, s'il ne fournit que l'électricité provenant de la conversion de l'énergie éolienne, ou hybride, s'il fournit de l'électricité provenant de l'énergie éolienne, ainsi que d'une autre source qui remédie au manque de vent. Ce sont des systèmes de puissance allant de 10 kilowatts à 50 kilowatts. [2], [3]

La capacité de ces systèmes est suffisante pour assurer l'approvisionnement en électricité d'une installation donnée.

1.2.3.1 Evaluation du site

La connaissance du site d'implantation d'un système éolien passe obligatoirement par l'estimation et l'évaluation de la quantité d'énergie éolienne disponible. En principe la vitesse annuelle moyenne du vent devrait être supérieure à 15 Km/h, soit 4 m/s, pour que l'on puisse envisager l'installation d'un système éolien.

La mesure de la vitesse nous aidera à déterminer la taille de l'éolienne et la capacité de stockage des batteries pour répondre aux besoins énergétiques.

1.2.3.2 Evaluation des besoins en énergie

C'est la détermination de la quantité d'énergie dont on a besoin pour faire fonctionner les appareils à alimenter. Il s'agit en fait de :

- déterminer pendant combien d'heures fonctionnent nos appareils,
- déterminer la quantité d'énergie que consomme chacun d'eux en watts

1.2.3.3 Taille de l'éolienne et de la tour à installer

Connaissant la quantité d'énergie éolienne disponible à l'endroit choisi, ainsi que la quantité d'énergie dont on a besoin, on peut déterminer la taille de l'éolienne en essayant de faire correspondre ces deux valeurs.

Ensuite on choisi le pylône d'une hauteur à définir pour exposer le générateur éolien à une fourniture d'une énergie plus importante. Ce pylône coûterait cher.

1.2.3.4 Calcul de la capacité de stockage des batteries

La capacité des batteries se mesure en ampères-heures. On doit donc calculer le nombre d'ampères heures que les batteries doivent fournir pendant les journées où le vent n'atteint pas la valeur minimale.

La procédure de calcul de ce stockage énergétique est la suivante : [4], [3]

- Calculer la quantité journalière d'énergie à utiliser. Soit E cette énergie exprimée en Wh.
- Calculer le nombre de jours où le vent n'atteint pas sa valeur minimale. Soit n;
- Calculer la quantité d'énergie que doivent fournir les batteries pendant ces jours. Soit E_b exprimée en Wh :

$$E_b = E \times n \qquad (1.1)$$

- Calculer le nombre d'ampères-heures nécessaires, en divisant Eb par la tension des batteries Vb. Soit C_b :

$$C_b = \frac{E_b}{V_b} \qquad (1.2)$$

- La capacité des batteries nécessaire pour répondre aux besoins, quelque soit le profil de charge, est égale au double de la capacité calculée Cb, puisqu'on ne peut soutirer plus de 50 %, si l'on veut éviter qu'elles ne se déchargent excessivement.

1.2.4 Potentiel éolien

L'Algérie à un régime de vent modéré et une étude de l'évolution saisonnière et annuelle de la vitesse moyenne du vent a permis de faire une première identification des régions ventées de l'Algérie [5].

Cette étude montre que le sud du pays est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud-ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s. Elle dépasse même la valeur de 6 m/s sans atteindre 7 m/s dans la région d'Adrar et se situe entre 5 m/s et 6 m/s pour la région de Tindouf, et entre 4 et 5 m/s dans la chaîne passant par Bechar, Timimoun, In Salah et Tamanrasset et à Biskra. Elle peut atteindre la vitesse de 4 m/s à Alger, Ghardaïa et Hassi Messaoud.

1.2.5 commentaire

Les principaux avantages de cette énergie renouvelable sont :

- l'autonomie en électricité,

la possibilité de produire continuellement de façon journalière. Ce secteur, en particulier, connaît une croissance annuelle de 25 %. [6]

C'est l'industrie européenne qui domine le marché, d'après la référence [6] elle représente 60 % du marché mondial et un taux d'accroissement annuel de plus de 35 %. Les objectifs qui étaient assignés à ce secteur en 1997 pour l'an 2000 ont été doublés (8000 MW installés au lieu des 4000 MW prévus).

Cette croissance rapide a amené les planificateurs à revoir les chiffres projetés initialement pour 2030, pour affirmer qu'ils seront vraisemblablement atteints en 2020 (avec 100 000 MW de puissance installée dans le monde).

Cette croissance est accompagnée d'une amélioration constante de la technologie, avec des machines plus puissantes, plus performantes et à moindre coût (éoliennes de 2,5 MW inaugurées en RFA en Juin 2001). Parallèlement, les coûts de production sont en baisse de 15 % par an. [3]

Seulement si on a besoin 24 heures sur 24 de l'électricité, on doit envisager l'installation d'un système de secours ou une combinaison d'énergies. Les sources d'énergies qui peuvent être combinés avec l'énergie éolienne sont diverses : les capteurs d'énergie solaire, les générateurs diesel ou à essence et même hydroélectrique.

Dans le cas contraire, une combinaison éolienne/batteries du stockage sera suffisante. La promotion de l'électricité produite à partir des sources d'énergie renouvelable est au premier rang des priorités des pays industrialisés pour des raisons de sécurité et de diversification de l'approvisionnement en énergie.

1.3 Energie solaire

1.3.1 Généralités

Le soleil nous envoie de l'énergie sous forme de rayonnement, à travers quelque cent cinquante millions de kilomètres d'espace, sous la forme d'un rayonnement dont le spectre se répartit essentiellement entre les longueurs d'ondes 0,3 µm et 0,4 µm.

L'atmosphère terrestre perturbe cette répartition spectrale, modifie l'intensité du rayonnement solaire incident qui est réfléchi, diffusé et absorbé par les gaz, les aérosols et les nuages. Dans les conditions les plus favorables, cette puissance rayonnée atteint environ 1000 Watts par mètre carré au sol.

La réponse à de nombreux besoins, exige la mise au point des filières techniques de conversion de l'énergie solaire ainsi que des machines adaptées. Les capteurs à effet de serre, permettent le chauffage des piscines, de l'eau sanitaire et des locaux, et alimentent en chaleur les séchoirs, les distillateurs et les machines frigorifiques.

Les collecteurs solaires à concentration permettent d'atteindre des températures élevées de l'ordre de 350 °C, et d'une manière plus complexe quelques milliers de degrés. Ils alimentent généralement des installations agro-alimentaires, des usines de dessalement et des centrales thermiques solaires de production d'électricité.

Enfin les modules photovoltaïques convertissent directement, l'énergie solaire en électricité. Les applications sont multiples : radio, téléphone, télévision, éclairage, pompage, irrigation, réfrigération, force motrice, et couvre une vaste gamme de puissance allant de quelques watts à plusieurs mégawatts.

1.3.2 Energie solaire photovoltaïque

1.3.2.1 Introduction

Le mot 'photovoltaïque' vient du grec 'photo' qui signifie lumière et de 'voltaïque' qui tire son origine du nom d'un physicien italien Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité. L'effet photovoltaïque, a été découvert par Becquerel en 1839,

mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante dans le domaine spatial. Les recherches d'après guerre ont permis d'améliorer leurs performances et leur taille, mais il faudra attendre la crise énergétique des années soixante-dix pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque et ses applications terrestres.

Notons que le processus de conversion est indépendant de la chaleur, au contraire, le rendement des cellules solaires diminue quand leur température augmente. [7]

1.3.2.2 Les photopiles [8], [9-10]

Les photopiles sont aussi appelées cellules photovoltaïques, elles sont constituées de matériaux semi conducteurs spéciaux qui permettent aux électrons, qui sont excités lorsque le matériel est exposé à la lumière du soleil, d'être libérés de leurs atomes et produisent un courant électrique. Le courant circule dans une seule direction (comme aux bornes d'une pile) et c'est pourquoi on dit que cette électricité est à courant continu (D.C).

Le semi-conducteur le plus utilisé est le silicium, qui est très présent à la surface du globe (28 % de l'écorce terrestre) et possède 4 électrons de valence. Le silicium peut être utilisé sous diverses formes : cristalline, poly cristalline et même amorphe.

La tension fournie par une cellule solaire est assez faible, un peu moins de 0,5 V au point de puissance optimale.

Comme beaucoup d'éléments de circuit, une cellule solaire est caractérisée par une relation entre la tension à ses bornes et le courant photo généré. L'allure de cette relation.

1.3.2.3 Les installations photovoltaïques autonomes [11], [12], [10]

Plusieurs cellules photovoltaïques, sous une tension d'environ 0,5 V, doivent être connectées entre elles pour former un module dont la conception offre une protection contre les intempéries, ceci en vue de garantir une durée de vie suffisante (de l'ordre de 20 à 30 ans pour les cellules au silicium cristallin, beaucoup moins pour les cellules au silicium amorphe).

De la sorte, on ne dispose à la sortie du module que de deux conducteurs électriques pour relier le module à un circuit électrique extérieur. La principale caractéristique d'un module photovoltaïque est sa puissance nominale (appelée improprement puissance crête du fait qu'elle n'est dépassée que très rarement).

Cette puissance correspond à des conditions normalisées et standardisées. [13] Il s'agit notamment, selon les normes internationales, de ce qui suit :

- d'un rayonnement solaire de 1000 W/m2,
- d'une température interne des cellules de 25 °C,
- d'un spectre du rayonnement AM 1.5.

Une installation photovoltaïque n'est pas seulement constituée de modules. Elle comporte aussi :

- ✓ des châssis et supports pour l'installation et la fixation des modules sur le site et pour leur orientation optimale vers le soleil.
- ✓ des accessoires de câblage (câbles, protection anti-foudre…).
- ✓ un onduleur, lorsqu'il faut convertir le courant continu issu des modules photovoltaïques en courant alternatif nécessaire à beaucoup d'appareils électriques.
- ✓ un système de stockage de l'énergie électrique issue du panneau photovoltaïque (ensemble de modules photovoltaïques).
- ✓ Dans une installation photovoltaïque, le stockage assure deux fonctions principales :
- ✓ il permet de satisfaire les besoins malgré le caractère aléatoire et discontinu du soleil (rythme jour et nuit, variation en fonction des heures du jour et des saisons).
- ✓ il assure un rôle de tampon entre la production et l'utilisation en fixant la tension du système.

Le système de stockage est constitué de batteries stationnaires, parce qu'on lui demande de stocker une énergie et de la restituer en cas de coupure secteur qui est le non ensoleillement dans notre cas. Les batteries les plus utilisées sont les accumulateurs électrochimiques au plomb.

On prévoira une diode anti-retour pour éviter que la batterie ne se décharge pendant la nuit. De même un régulateur de charge évite à la fois les décharges excessives de la batterie et coupe l'énergie en provenance des photopiles quand la batterie est pleine. (Figure 1.3)

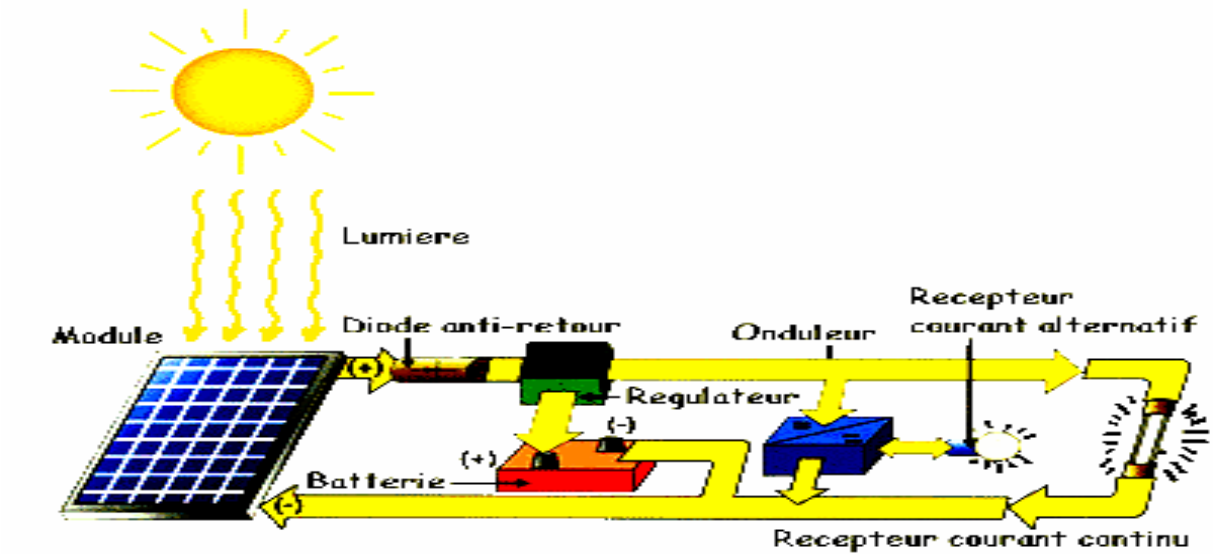


Figure I.3 : Constitution d'une installation photovoltaïque

1.3.2.4 Conception des générateurs photovoltaïques *[14], [15], [16]*

Dimensionner un système photovoltaïque, c'est déterminer en fonction des sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne photovoltaïque, à savoir, la taille du générateur, la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, voire l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation.

Quelque soit la méthodologie utilisée et la précision avec laquelle sont pris en compte les différents composants de la chaîne, on reste confronté à deux types d'estimations :

La première

Sur la demande, qui dans la plupart des cas, est assez grossièrement définie, car souvent mal connue et qui subit des fluctuations journalières, hebdomadaires ou saisonnières.

La seconde

Sur le gisement solaire au sujet duquel on se heurte à un manque crucial de données représentatives.

Ces deux sollicitations constituent les entrées du problème à résoudre.

Lors de la présentation des différentes méthodologies de dimensionnement, on précisera pour chacune d'elles le type d'entrées nécessaires, la démarche adoptée dans le calcul et le type de sorties proposées.

Quelle que soit la méthode utilisée, la tension du système doit être fixée par l'utilisateur.

1.3.2.5 commentaire

Forte de cette progression, la profession du photovoltaïque investit beaucoup en recherche et développement sur l'amélioration des technologies actuelles et l'avènement de nouvelles alternatives.

L'électricité d'origine photovoltaïque coûte cher actuellement, par rapport à l'électricité fournie sur le réseau. Toutefois, il s'agit d'une source d'électricité extrêmement précieuse pour les endroits éloignés des réseaux électriques, notamment dans les pays en développement où l'électrification complète n'est pas encore terminée.

D'ici 2020, les coûts devraient devenir concurrentiels, et d'ici 2050, le coût des modules solaires devrait avoir diminué de moitié par rapport aux prix actuels. Pour pallier l'intermittence de l'alimentation photovoltaïque, on mettra au point des techniques de stockage et des programmes sur l'amélioration des cellules photovoltaïques, principaux sujets abordés : l'utilisation des techniques de découpe et de report de couches minces, les cellules à concentration, aux rendements de conversion élevés (plus de 20 %).

1.3.3 Energie solaire thermique

1.3.3.1 Introduction

Le flux solaire peut être également converti directement en énergie calorifique (chaleur) par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques. Cette technique est applicable au chauffage des habitations, des piscines, à la production d'eau chaude sanitaire, ou encore au séchage des récoltes (fourrage, céréales, fruits). Le problème de conversion se pose pour l'électricité solaire en d'autres termes que pour le chauffage solaire. [8], [17]

1.3.3.2 Les capteurs solaires thermiques

La chaleur est récupérée grâce à un fluide (eau + antigel ou air) caloporteur, qui s'échauffe en circulant dans un absorbeur placé sous un vitrage. Celui-ci laisse pénétrer la lumière solaire et minimise les pertes par rayonnement infrarouge de l'absorbeur en utilisant l'effet de serre. Ce vitrage permet en outre de limiter les échanges de chaleur avec l'atmosphère (Figure 1.4).

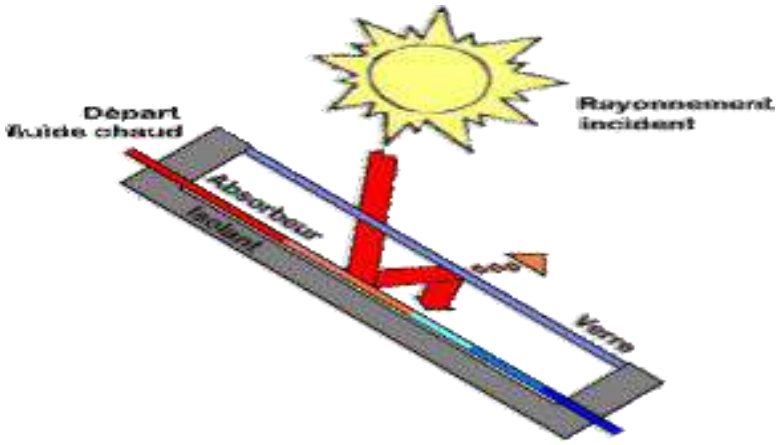


Figure I.4 : Capteur thermique solaire

1.3.3.3Processus de conversion thermomécanique

Comme les combustibles fossiles et l'énergie nucléaire, la chaleur peut être transformée en électricité par le processus thermodynamique et plus particulièrement thermomécanique. Il y a plusieurs façons de réaliser cette transformation : par utilisation du moteur à pistons, ou de la turbine à gaz.

Il reste à résoudre le problème de conversion, nécessitant de la chaleur, la limite supérieur du rendement de conversion de la chaleur solaire en électricité est donnée par le rendement de Carnot [8]

$$\frac{T\ chaud - T\ froid}{T\ chaud} \qquad (1.3)$$

T étant mesuré en Kelvin à partir de zéro absolu.

On peut voir à partir de cette formule ci-dessus, que le rendement augmente avec la température de la source chaude. Plus précisément, c'est la différence de température entre les sources chaude et froide qui régissent le rendement, mais en pratique la température de la source froide reste inchangée et dépend de l'agent réfrigérant, en général l'eau.

En conséquence, une centrale électrique solaire thermomécanique nécessite généralement une alimentation en eau : ceci peut s'avérer être un facteur restrictif pour l'implantation d'installations dans les zones arides.

1.3.3.4 Le solaire thermodynamique

On désigne par 'solaire thermodynamique, l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur à température élevée, puis celle-ci en énergie mécanique (et électrique) à travers un cycle thermodynamique.

Ces techniques sont encore, pour l'essentiel, dans un état expérimental. Une revue des principales techniques exploitées est donnée ci-après :

Les aspects techniques

Toute installation thermodynamique solaire doit remplir les mêmes fonctions pour transformer l'énergie du rayonnement incident en énergie électrique avec la meilleure efficacité possible.

On les examine ci-après dans l'ordre suivant :

- la concentration du rayonnement sur l'entrée du récepteur,
- son absorption sur les parois du récepteur et la transformation de son énergie en chaleur,
- le transport et, éventuellement, le stockage de cette chaleur,
- sa délivrance à un cycle thermodynamique associé à un alternateur pour la production d'électricité.

La concentration

Pour transformer le rayonnement solaire en chaleur, il suffit en principe de le réceptionner sur une plaque noire. Pour travailler à température élevée, ce qui est nécessaire ici pour alimenter un cycle thermodynamique performant, il faut diminuer fortement la surface de réception pour maintenir, en proportion, ces pertes à un niveau raisonnable.

C'est ce que l'on fait en disposant devant le récepteur une optique qui concentre sur celui- ci le rayonnement capté sur une surface bien supérieure. On caractérise la performance du système par le chiffre de sa 'concentration' qui est le rapport de la surface de collecte sur la surface du capteur.

Dans la pratique cette optique est systématiquement constituée de miroirs.

La réception du rayonnement

Il faut maintenant absorber le rayonnement concentré sur une surface noire (ou dans un volume semi transparent, noir dans son épaisseur), et de ce seul fait absorbante pour le spectre visible (et donc pour le spectre solaire qui en est énergétiquement très proche), et transférer la chaleur ainsi générée à un fluide caloporteur.

Le transport et le stockage de la chaleur

La transformation thermoélectrique de l'énergie récoltée

Cette transformation se fait le plus souvent de manière tout à fait conventionnelle grâce à une turbine à vapeur d'eau couplée à un alternateur

1.3.3.5 commentaire

Il faut d'abord constater qu'une centrale solaire quelle qu'elle soit aura à déployer une importante surface de miroirs (on dit plus simplement surface de verre) par unité d'énergie produite, car la ressource elle-même est très dispersée. C'est là le fait central qui explique le coût à priori élevé des techniques à mettre en œuvre.

Pour en tirer parti, il faut, avec beaucoup d'acharnement, rechercher les rendements maxima pour tous les éléments de la chaîne de transformation et trouver des solutions économiques au déploiement de surfaces importantes de miroirs.

1.3.4Potentiel énergétique [18]

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (Hauts Plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m^2/an au Nord et 2263 kWh/m^2/an au Sud du pays.

1.3.5 Commentaire

Le photovoltaïque se distingue du solaire thermique qui ne produit pas de l'électricité mais transforme le rayonnement solaire en chaleur.

L'énergie solaire thermique s'utilise principalement au travers de deux applications : le chauffage de l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux. Cette énergie est rentable à la production. Elle a un prix modeste sur le marché mondial mais Il faut un plan d'eau à proximité.

L'énergie solaire photovoltaïque est un moyen intéressant de réduire les coûts de distribution de l'électricité dans certaines régions. Particulièrement disponible dans la plupart des pays, c'est une source d'énergie d'une fiabilité remarquable qui présente un bilan énergétique et environnemental tout à fait favorable.

1.4 Energie hydraulique

1.4.1 Introduction

Utilisée depuis environ 3 000 ans, la force de l'eau fournit aujourd'hui, en plus de l'énergie mécanique, de l'énergie électrique. Cette électricité, dite " houille blanche ", participe grandement au développement énergétique propre. C'est une énergie solaire et renouvelable, car le soleil est à l'origine du cycle de l'eau, dont est issue l'énergie hydraulique.

1.4.2 Principe de fonctionnement

L'énergie d'un cours d'eau ou d'une chute d'eau fait tourner une petite turbine (une hélice) qui crée de l'énergie mécanique, convertie par un alternateur en électricité.

La puissance et l'énergie produite dépendent du débit et de la hauteur de chute. Le cours d'eau doit donc garder un débit minimum quelle que soit la saison pour assurer une production d'électricité même en période d'étiage.

Dans la majorité des cas, une partie du cours d'eau est dérivée par un canal d'amenée pour obliger l'eau à passer dans la turbine. Si le débit est trop faible, il est possible de stocker l'eau dans un réservoir tampon et d'ouvrir les vannes du canal d'amenée quelques heures par jour. La production d'électricité peut être donc continue ou discontinue en fonction des ressources hydrauliques.

1.4.3 Utilisation de la micro hydraulique

Pour un usage domestique, tout appareil électrique à petite consommation peut fonctionner sur une installation micro hydraulique (micro centrale) : réfrigérateurs, ampoules, petit électroménager, Hi-fi et vidéo, appareils de télécommunication, etc.

Une vigilance particulière est à apporter à l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE), afin d'éviter les dépenses inutiles d'énergie. L'électricité produite peut éventuellement être stockée dans des batteries, si des besoins importants sont concentrés sur une courte durée.

Les éléments constituants l'installation hydroélectrique sont :

- **Ouvrage de prise d'eau**

La prise d'eau est constituée par une dérivation dont l'entrée est limitée par un seuil et qui dirige le débit ainsi dérivé vers le canal d'amenée. Le contrôle du débit s'effectue le plus souvent, soit par un barrage mobile dans la rivière, soit par une vanne dans le canal d'amenée.

- **Canal d'amenée**

Il relie la prise d'eau à l'entrée de la centrale. Il est habituellement en écoulement libre à ciel ouvert.

- **Vannes batardeaux**

Vannes d'isolation généralement rectangulaires, dont le fonctionnement est similaire à celui d'une guillotine, et qui permettent d'isoler la microcentrale de la rivière en cas de nécessité (entretien de l'installation, protection contre les crues,...)

- **Grille et dé grilleur**

La grille protège la turbine contre les corps charriés par la rivière, tandis que le dé grilleur, sorte de peigne ou de râteau, débarrasse la grille des éléments flottants accumulés.

- **Conduite forcée ou chambre de mise en charge**

La conduite forcée est un tuyau qui relie l'extrémité du canal d'amenée (au sommet de la pente) à la turbine (au pied de la pente). Elle supporte à son extrémité inférieure une pression de service voisine de la hauteur de chute.

- **La turbine**

La turbine transforme l'énergie de l'eau en énergie mécanique. La turbine a remplacé la roue à aubes qui était utilisée jusqu'au 19ème siècle dans les moulins à eau.

- **La régulation de vitesse**

La régulation synchronise la vitesse de rotation de la turbine avec l'alternateur. Elle permet aussi le démarrage et l'arrêt de la turbine.

- **L'alternateur**

L'alternateur permet de transformer l'énergie mécanique en électricité (Figure 1.5).

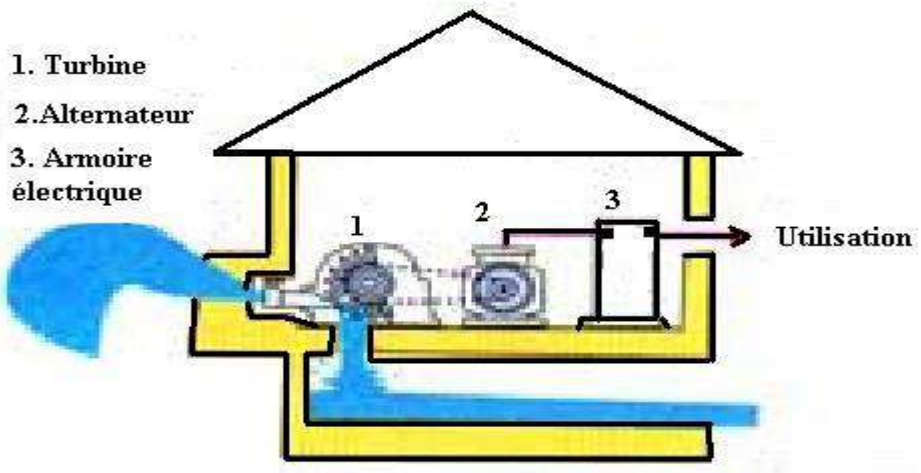


Figure I.5 : Schéma d'une microcentrale

- **Réseau de transport et de distribution de l'électricité produite**

L'énergie produite peut être autoconsommée par le producteur (matériel électrique) ou être revendue au réseau.

- **Canal de restitution**

Ce canal relie la sortie des turbines au lit du cours d'eau aménagé.

1.4.4 Dimensionnement

Pour faire une micro centrale il faut une chute. Plus la chute est basse, plus il faut d'eau ! Et enfin plus il faut d'eau, plus la machine est grosse donc chère ! Il n'existe pas de micro centrale hydraulique en dessous de 1,8 à 3 mètres de chute. Donc inutile de poser la question! (On entend par chute: la hauteur entre le point de la prise d'eau, et le niveau le plus bas de l'eau rendue à la rivière).

Une formule magique 7 **QH**. Cette petite merveille vous permet de calculer la puissance approximative d'une centrale hydraulique : 7 est un coefficient de rendement (intégrant d'autres informations), **Q** le débit en litre et **H** la hauteur en mètres. Exemple : 1000 litres seconde avec 5 mètres de hauteur de chute : 7 x 1000 x 5 = 35 kW

1.4.5 Potentiel de l'hydroélectricité

Les quantités globales tombant sur le territoire algérien sont importantes et estimées à 65 milliards de m3, mais finalement profitent peu au pays : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la mer.

Schématiquement, les ressources de surface décroissent du nord au sud. On évalue actuellement les ressources utiles et renouvelables de l'ordre de 25 milliards de m3, dont environ 2/3 pour les ressources en surface.

Une centaine de sites pour la construction de barrages ont été recensés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation.

1.4.6 Conclusion

La technologie des microcentrales hydroélectriques est très certainement la mieux maîtrisée de toutes les énergies renouvelables.

L'entretien de l'installation est très simple et les frais de fonctionnement sont réduits (quelques % de l'investissement total).

Il s'agit bien entendu d'une énergie propre dans ce sens qu'elle ne génère, directement, aucune émission nocive et ne nécessite aucun transport.

Cependant la production d'électricité d'une microcentrale est parfois caractérisée par des fluctuations importantes suite à la grande variabilité des débits de certains sites. Et les

coûts d'investissement peuvent être assez importants pour certaines installations.

L'installation d'une microcentrale hydroélectrique nécessite des sites appropriés et peut avoir un impact négatif sur l'environnement. Une microcentrale mal intégrée dans son environnement, peut générer des perturbations de diverses natures, comme l'atteinte du paysage par l'aspect peu esthétique de la centrale ainsi que le bruit généré par l'installation peut provoquer une gêne pour le voisinage proche.

1.5 Energie de la biomasse

1.5.1 Introduction

Formidable réservoir d'énergie, la biomasse englobe diverses matières premières organiques d'origine végétale : cultures spécifiques, recyclage de déchets agricoles, industriels ou ménagers. Energie stockable et non fluctuante, elle présente pourtant de nombreux atouts.

Face à la menace de l'effet de serre, l'utilisation de la biomasse a un rôle neutre : exploités à des fins énergétiques, les végétaux restituent le carbone stocké durant leur croissance.

La valorisation énergétique de la biomasse conduit à trois principaux produits, en fonction du type de biomasse et des techniques mises en œuvre. Les trois produits énergétiques utiles de la biomasse sont la chaleur, l'électricité (ou les deux combinées en cas de cogénération) ainsi que le transport (les biocarburants). Ces produits présentent des caractéristiques physiques très variées : solide (paille, copeaux, bûches), liquide (huiles végétales, bio alcool), gazeux (biogaz).

1.5.2 Procédés de conversion de la biomasse en énergie

La voie utilisée pour la production de l'énergie est la voie sèche utilisant de la biomasse solide. Elle est principalement constituée par la filière thermochimique, qui regroupe les technologies de la combustion, de la gazéification et de la pyrolyse.

La combustion

C'est l'oxydation complète du combustible, en général en présence d'un excès d'air, et produit de la chaleur. Les techniques de combustion de la biomasse solide, et principalement du bois, sont nombreuses.

Dans le cas des chaudières, la chaleur est transférée à un medium caloporteur, souvent l'eau. L'eau chaude ou la vapeur ainsi obtenues sont utilisées dans les procédés industriels ou dans les réseaux de chauffage urbain.

La vapeur peut également être envoyée dans une turbine ou un moteur à vapeur pour la production d'énergie mécanique ou, surtout, d'électricité.

La gazéification

De la biomasse solide est également une décomposition thermique de la matière, mais en atmosphère réductrice (les quantités d'air sont réduites). Cette gazéification est réalisée dans un réacteur spécifique, le gazogène.

Le résultat est la transformation complète de la matière solide, hormis les cendres, en un gaz combustible. Ce gaz, après épuration et filtration, est alors brûlé dans un moteur à combustion interne pour la production d'énergie mécanique ou d'électricité.

La pyrolyse

C'est la décomposition thermique de la matière carbonée sous vide ou sous atmosphère inerte (absence d'air ou air fortement réduit). Elle conduit à la production d'un solide, le charbon de bois ou le charbon végétal, d'un liquide, l'huile pyrolytique, et d'un gaz combustible. La conduite de la pyrolyse peut être orientée vers la maximisation de la production de charbon ou d'huile pyrolytique.

Certaines techniques de la filière thermochimique (combustion, pyrolyse) peuvent également traiter des biomasses humides. Mais ceci se réalise aux dépens de l'efficacité énergétique. Il peut être plus intéressant avec ces biomasses humides - déchets organiques verts très humides, déchets ménagers, effluents d'élevage, d'agro-industrie - de les traiter par voie humide.

La principale filière de cette voie est la bio méthanisation qui produit un gaz riche en méthane et à haute valeur calorifique. Ce biogaz est brûlé en chaudière pour la production de chaleur ou dans un moteur à combustion interne pour la production d'électricité ; il est également possible de combiner chaleur et électricité (cogénération) à partir d'une installation de bio méthanisation.

1.5.3 Le potentiel de la biomasse

a) Potentiel de la forêt

Le potentiel actuel est évalué à environ 37 Millions de Tep (Tonnes équivalent pétrole). Le potentiel récupérable est de l'ordre 3,7 Millions de Tep. Le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10 %.

b) Potentiel énergétique des déchets urbains et agricole

Cinq millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1.33 millions de Tep/an.

1.5.4 commentaire

Les gaz de combustion sont utilisés en chaudière pour la production d'énergie thermique ou d'énergie mécanique par l'intermédiaire de turbine à vapeur, avec ou sans cogénération. La production de chaleur est la principale forme actuelle de valorisation énergétique de la biomasse au niveau mondial. Les technologies sont pour la plupart bien maîtrisées.

Les niveaux de puissance électrique susceptibles d'être satisfaits par l'intermédiaire de la technologie mettant en jeu la combustion sont fonction du procédé.

Ainsi les moteurs à vapeur ont des capacités variant de 100 à 600 kilowatts électriques (kW), alors qu'avec les turbines à vapeur ces capacités varient de quelques centaines de kilowatts à plusieurs dizaines de mégawatts électriques en faisant de ces options technologiques un réel outil pour le développement et l'électrification rurale.

Sa valorisation pose néanmoins des problèmes de logistique dès lors qu'il s'agit de traiter les volumes de matières premières nécessaires à l'obtention de sources d'énergie suffisantes et rentables. Actuellement, le coût de l'énergie produite demeure trop élevé dans nombre d'applications.

1.6 Energie géothermique

1.6.1 Introduction

Notre sous-sol possède des énergies fossiles mais aussi de la chaleur provenant de la désintégration spontanée des éléments radioactifs naturels présents dans tout le globe terrestre. Généralement, la température augmente d'environ 3 °C par 100 mètres de profondeur.

Dans certains contextes (notamment volcanique ou de magmatisme récent), l'augmentation de la température peut être beaucoup plus importante. Selon le contexte géologique et la profondeur, cette chaleur est plus ou moins exploitable.

L'eau des précipitations qui s'infiltre en profondeur se réchauffe au contact de ces zones. Cette eau chaude s'échappe naturellement par endroits, sous forme de source chaude ou de geyser. Cette énergie est utilisée depuis l'antiquité pour se chauffer, pour cuisiner ou pour alimenter des thermes.

La géothermie se décompose en deux filières : la production de chaleur et la production d'électricité.

1.6.2 Production d'électricité

Elle est possible sur des gisements à haute enthalpie. Quand la température de la nappe aquifère est supérieure à 200 °C (haute température), suivant le caractère corrosif ou non du fluide géothermal, on utilise un cycle indirect ou direct avec une turbine à vapeur. La technique binaire, utilisant un fluide intermédiaire, dont la propriété est de se vaporiser à une température inférieure à celle de l'eau, permet de produire de l'électricité a partir de nappes aquifères (zones du sous-sol imprégnées d'eau) dont la température s'échelonne entre 150 et 200 °C (moyenne température).

1.6.3 Potentiel de l'énergie géothermique

Plus de deux cent (200) sources chaudes ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33 %) d'entre elles ont des températures supérieures à 45 °C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118 °C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5 °C / 100 m.

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone de Ain Boucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk

1.7 Conclusion

Les énergies renouvelables ont un attrait certain lorsqu'on considère qu'elles peuvent fournir de l'électricité, écologiquement et à bon marché, aux populations isolées, des localités n'ont en effet pas les moyens de se relier à un réseau d'électricité, mais elles peuvent tirer profit des techniques qui ont été mises au point pour domestiquer les sources naturelles d'électricité et de chaleur.

Étant donné que trois milliards de personnes n'ont pas d'électricité, il ne fait aucun doute que les énergies renouvelables peuvent jouer un rôle clé et concourir au développement économique des régions pauvres.

On peut domestiquer l'énergie lumineuse du Soleil pour chauffer l'eau des piscines, des maisons et des usines, chauffer des locaux, produire de l'électricité, distiller de l'eau et cuire des aliments.

On peut exploiter de diverses façons l'énergie solaire stockée dans des matières organiques. Le bois et la tourbe produisent de la chaleur lorsqu'on les brûle, et les céréales de l'éthanol lorsqu'on les fermente.

chapitre II

Chapitre II

Introduction

Parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables, il ya les systèmes d'énergie hybrides. Le terme système d'énergie 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, l'énergie photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesel utilisés généralement pour produire l'électricité dans les régions isolées. Les systèmes d'énergie hybride sont généralement conçus pour répondre à un besoin énergétique allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète de villages ou de petites îles. Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi [4].

2.1 Type de fonctionnement

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux catégories: Dans la première catégorie, on trouve les systèmes hybrides connectés au réseau.

Les systèmes hybrides de la seconde catégorie fonctionnent en mode autonome, ils doivent satisfaire aux besoins des consommateurs situés dans les zones éloignées du réseau électrique: îles, villages isolés, refuges de montagne.

2.2Définition et missions des systèmes hybrides

Un système d'énergie hybride (SEH) est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies : une ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables. L'objectif d'utiliser des technologies multiples est de réunir les avantages et les meilleures caractéristiques opérationnelles de chaque système [4] et [5].

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

Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance (tableau I-1).

Tableau 1-1 : Classification des SEH par gamme de puissance.

Puissance du SEH [KW]	Application
Faible : < 5	**Systèmes autonome : stations de télécommunications, pompage de l'eau, autre**
Moyenne : 10-250	**Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, des zones rurales…**
Grande : > 500	**Grands réseaux isolés (ex : réseaux insulaires)**

Les grandes installations de SEH en site isolé peuvent être classifiées en fonction du degré de pénétration de l'énergie renouvelable [5] défini par la proportion de la puissance (énergie) produite par les sources d'énergie renouvelable et la puissance demandée par la charge demandée.

2.3 Principaux Composants des systèmes hybrides

Les systèmes d'énergie hybride sont en général constitués de sources d'énergie classique (groupe électrogène), de sources d'énergie renouvelable (éolienne, solaire). Ils peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie hydroélectrique, et avec des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (batterie, , le stockage hydrogène…etc), des charges principales et de délestages et un système de surveillance.

2.4 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 [8].

La plupart des cellules PV mesurent autour de 100 cm2 et ne produisent qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt [9], [10] et [11].

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrées sont de l'ordre (13 à 16 % pour les cellules composées de silicium monocristallin, 11 à 13 % avec du silicium polycristallin et 7 à 8 % avec du silicium amorphe).

Les modules PV sont protégés par des diodes by-pass (diode by-pass, diode anti-retour) afin d'éviter le fonctionnement inverse des cellules occultées, pouvant entraîner une surchauffe voire une destruction de celles-ci.

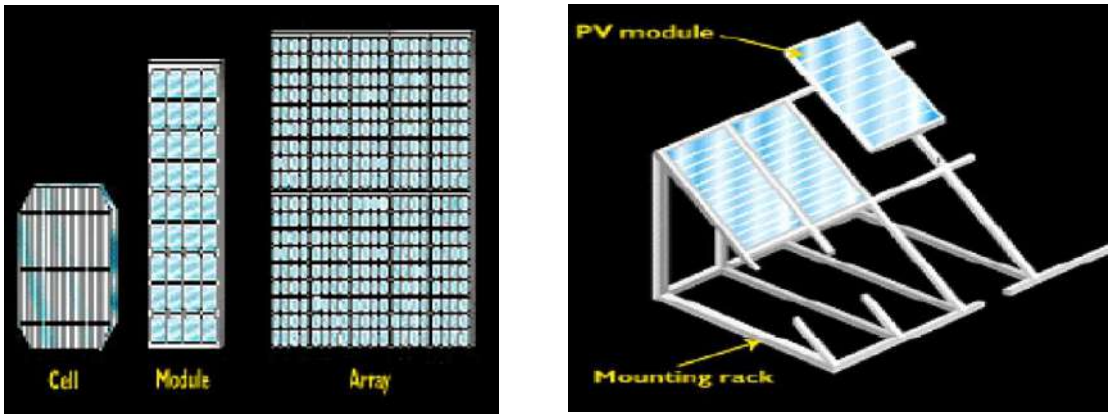


Figure 2-1: Modules photovoltaïques sur support (Source: Web EREN, US (Département of Energie)

2.4.1 Caractéristiques d'un module

Voici la description des paramètres d'un module [12] :

- **La puissance crête Pc** : la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les conditions standards : ensoleillement de 1000 W/m² à l'horizontale, température ambiante de 25°C, masse d'air optique (AM) égale à 1,5.
- **La caractéristique I (V):** Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide Vco :** Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit Icc** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

- **Point de fonctionnement optimum (Um, Im) :** Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, Pm = Um. Im
- **Rendement maximal :** Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme :** Rapport entre la puissance optimale Pm et la puissance maximale que peut avoir la cellule : Vco. Icc

2.4.2 Eoliennes

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Un aérogénérateur (couramment appelé « éolienne ») est une machine qui utilise l'énergie éolienne pour produire de l'énergie électrique. La technologie des aérogénérateurs a énormément évoluée ces 20 dernières années entraînant une spécialisation des différents types d'éolienne.

Le petit éolien, désigne les éoliennes de petites et moyennes puissances, de 100 watts à 20 kilowatts, montées sur des mâts de 10 à 35 mètres, raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé. Le petit éolien est utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils électriques (pompes, éclairage, ...) de manière économique et durable, principalement en milieu rural. Par exemple, une petite éolienne accompagnée d'un module solaire photovoltaïque et d'un parc de batteries peut garantir l'autonomie énergétique d'un voilier (éclairage, instruments de bord...).

L'élément essentiel pour qu'une petite éolienne soit économiquement rentable est le vent, qui doit être à la fois puissant et fréquent. Les petites éoliennes classiques sont généralement à axe horizontal. Elles comprennent le plus souvent deux à trois pales [13].
Les petites éoliennes peuvent avoir un système mécanique de modification de l'angle de calage des pales ou d'orientation face au vent, alors que les grandes éoliennes utilisent des systèmes de commande électroniques. Les différents types de protections utilisées par les petits systèmes éoliens sont :

- Basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal [14];
- Pas variable par pression du vent. Les pales en fibre se déforment et provoquent un décrochage;
- Déviation par rapport à l'axe du vent. Le rotor se trouve légèrement décalé par rapport à l'axe de rotation et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique.

La configuration électrique d'un aérogénérateur a une grande influence sur son fonctionnement.

Cette configuration basée sur la caractéristique de la vitesse.

Le fait qu'une éolienne fonctionne à vitesse fixe ou à vitesse variable dépend par exemple de cette configuration.

Les deux types de machine électrique les plus utilisés dans l'industrie éolienne sont

les machines synchrones et les machines asynchrones. Celle utilisé dans cette étude est la génératrice synchrone.

2.4.3 Génératrices synchrones

Dans le cas des entraînements directs (sans multiplicateur mécanique), on utilise des machines synchrones (voire figure I- 6). Leurs performances, notamment en terme de couple massique, sont très intéressantes lorsqu'elles ont un très grand nombre de pôles. Leur fréquence étant alors incompatible avec celle du réseau, le convertisseur de fréquence s'impose naturellement. C'est pourquoi les machines à entraînement direct sont toutes à vitesse variable.

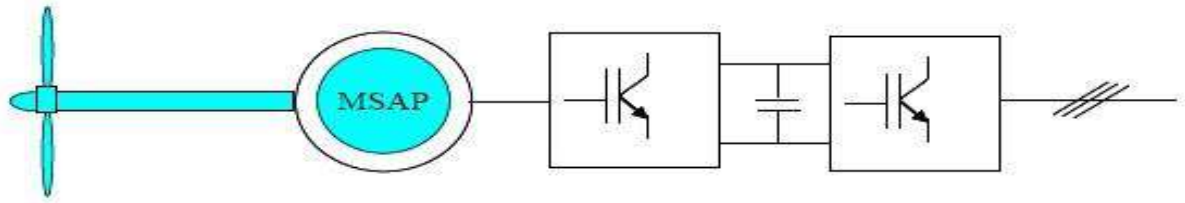


Figure 2-2 : Système éolien basé sur la machine synchrone à aimants permanents [15]

Les performances des machines synchrones multipolaires, notamment en termes de couple massique, sont très intéressantes. Leur vitesse de rotation étant différente de celle liée à la fréquence du réseau, le convertisseur de fréquence s'impose. Ce type de générateur à inducteur bobiné nécessite un système de bagues et balais pour transmettre le courant continu (Figure 1-9). Le courant d'excitation constitue un paramètre de réglage qui peut être utile pour l'optimisation énergétique, en plus du courant d'induit réglé par l'onduleur.

2.4.5 Piles 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 [16].

Une pile combustible est un générateur qui convertit directement l'énergie interne d'un combustible en énergie électrique, en utilisant un procédé électrochimique contrôlé. Elle met en jeu, sans les mélanger, un combustible (hydrogène, méthanol, monoxyde de carbone..) et un comburant (généralement de l'oxygène pris dans l'air).

2.4.6 Générateur diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (figure I-11). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse) sur le moteur diesel [17]. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.

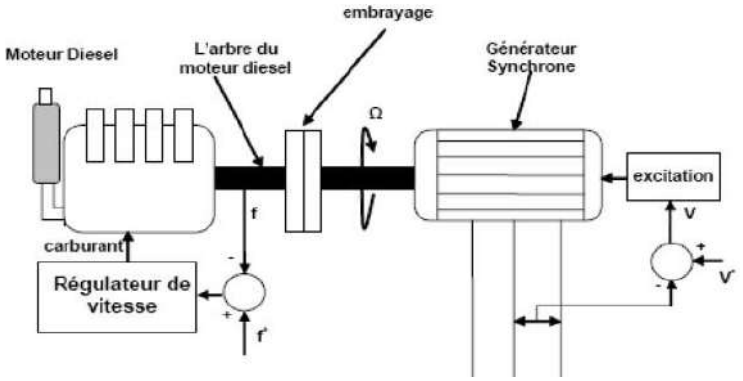


Figure II-3: Configuration du générateur diesel [18]

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

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

2.4.7 Système de supervision

La plupart des systèmes hybrides comportent une certaine forme de commande. Parfois, la commande est intégrée individuellement dans chaque composant du système. Un autre type de commande plus global permet la surveillance de certains ou de tous les composants. Les fonctions spécifiques peuvent inclure la commande de démarrage et d'arrêt des générateurs diesels, l'ajustement de leurs points de fonctionnement, le chargement des batteries et la répartition de la puissance pour les différents types de charges.

2.4.8 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.
- Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC pour adapter la tension entre deux sources.

2.4.9 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.

2.5 Exemples de topologies de systèmes hybrides

Nous présentons ici une rapide synthèse des études de quelques topologies possibles pour un système hybride, qui ont été réalisées et qui nous ont conduits à l'étude de ces systèmes.

Quelques exemples, habituellement utilisés à l'échelle industrielle, d'architectures de chaînes de conversion d'énergie sont donnés en association avec différents types de génératrices. Dans les limites de nos travaux, nous nous sommes intéressés à des systèmes hybrides de petite puissance dédiés à un site isolé et autonome.

2.5.1 Solaire-éolien, batteries de stockage, installation isolée

Fréquemment rencontrée dans les pays développés : alternative au réseau et dans les pays en voie de développement : électrification rurale.

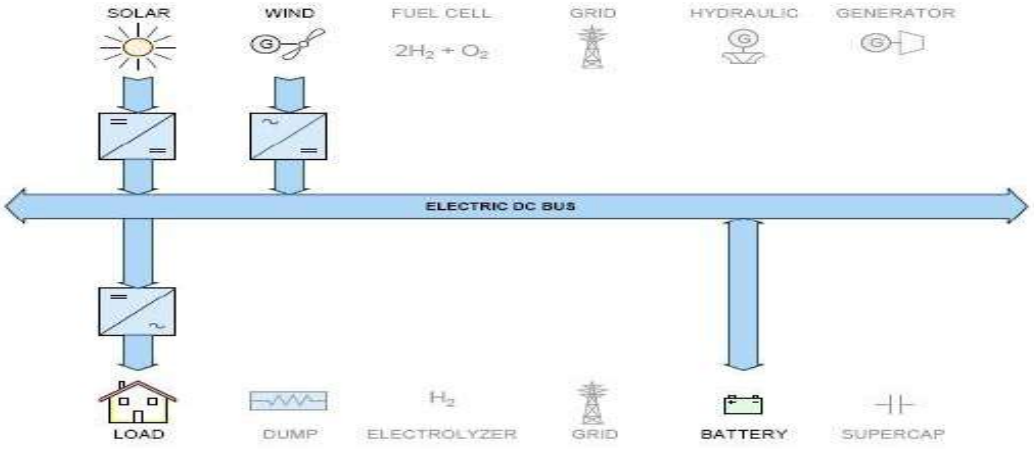


Figure II-4: Solaire-éolien, stockage à batteries, installation isolée [21]

2.5.2 Solaire-éolien, batteries de stockage et hydrogène, installation isolée

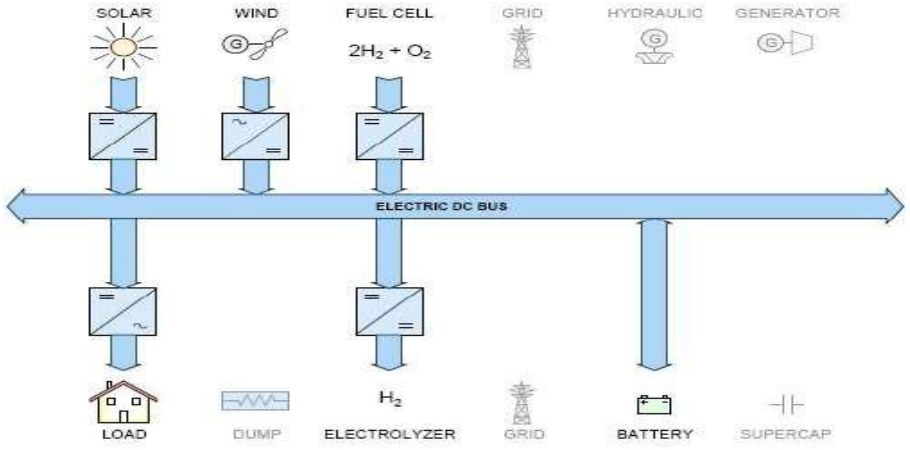


Figure 2-5: Solaire-éolien, batteries de stockage et hydrogène, installation isolée [22]

2.5.3 Solaire-éolien, stockage à hydrogène, installation isolée

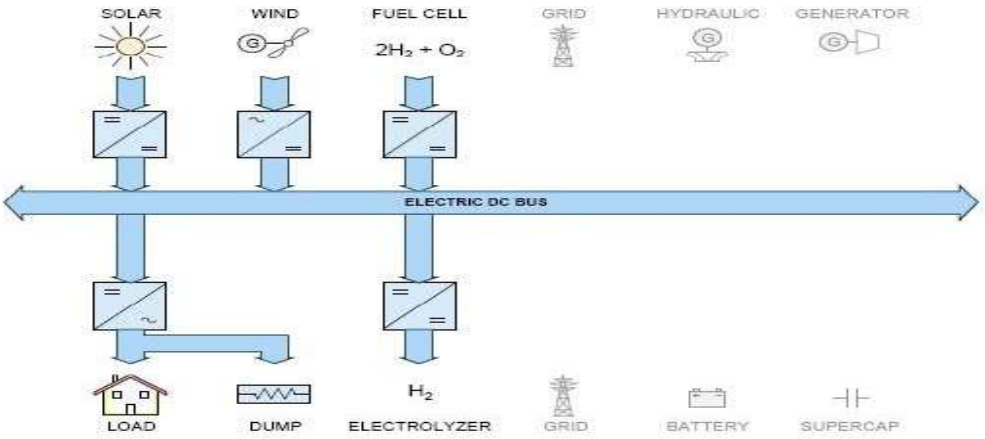


Figure 2-6: Solaire-éolien, stockage à hydrogène, installation isolée [23]

2.5.4 Éolien, stockage à hydrogène et par super condensateurs, installation isolée

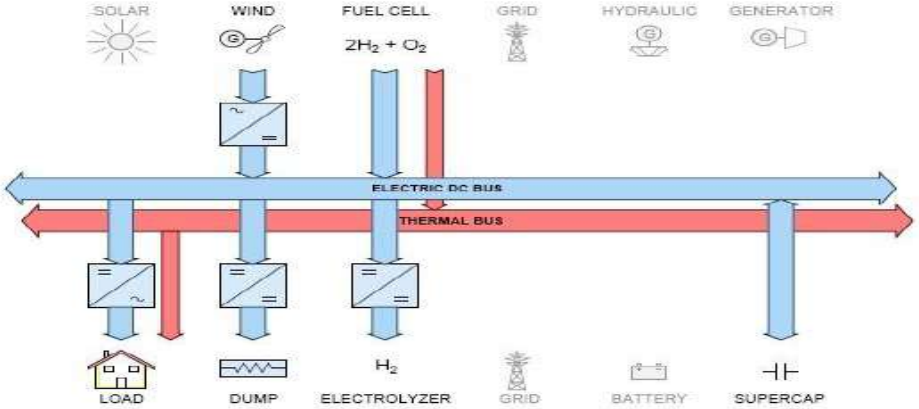


Figure 2-7: Eolien, stockage à hydrogène et par super condensateurs, installation isolée [24]

2.5.5 Eolien-diesel, stockage à hydrogène, installation isolée

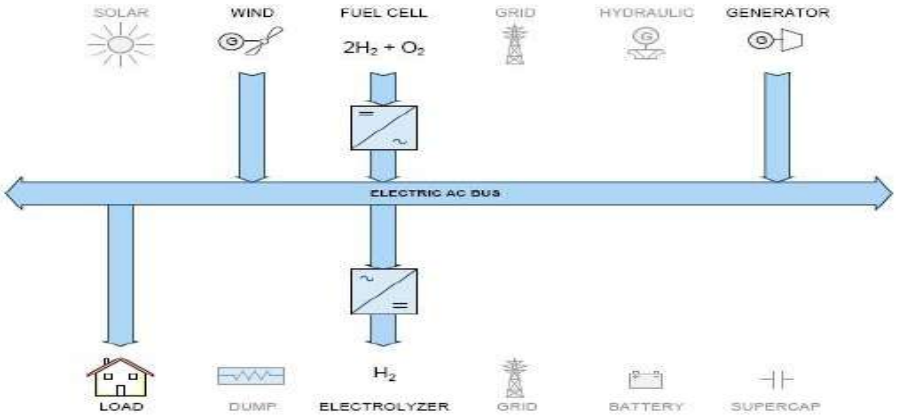


Figure 2-8: Éolien-diesel, stockage à hydrogène, installation isolée [25]

On a présenté un aperçu des topologies des systèmes hybrides les plus répandues. Les figures (I.15 - I.16- I.17 -I.18- I.19) montrent les diagrammes schématiques de quelques exemples des types de systèmes hybrides.

L'analyse des divers systèmes présents en littérature montre un schéma (modèle) général de système hybride, avec des types différents de convertisseurs nécessaires CA/CC

– CC/CC, unidirectionnel – bidirectionnel, différents niveaux de tensions et courants ainsi que des systèmes de contrôle différents.

2.5.6 Configuration de bus dans les systèmes hybrides

Les générateurs électriques d'un SEH peuvent être connectés en différentes configurations. Ces configurations constituées par des sources d'énergies renouvelables, des batteries et des générateurs diesels se résument en trois types :

Architecture à Bus CC (bus à courant continu) et architecture à Bus CC-CA (la connexion mixte, bus à CA et bus à CC) [26], architecture à Bus CA (bus à courant alternatif) [27].

Nous présenterons ci-après, une description ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque configuration.

2.6 Configuration de bus dans les systèmes hybrides

Les générateurs électriques d'un SEH peuvent être connectés en différentes configurations. Ces configurations constituées par des sources d'énergies renouvelables, des batteries et des générateurs diesels se résument en trois types :

Architecture à Bus CC (bus à courant continu) et architecture à Bus CC-CA (la connexion mixte, bus à CA et bus à CC) [26], architecture à Bus CA (bus à courant alternatif) [27].

Nous présenterons ci-après, une description ainsi que les avantages et les inconvénients de chaque configuration.

2.6.1 Architecture à bus à CC

Cette technologie est née du besoin de coupler des consommateurs CA (plage de puissance moyenne) avec des générateurs CC et, de plus, de charger la batterie du côté CC par le biais d'un groupe électrogène (à ce propos, voir la figure I.19).

Ces configurations d'installation servent à l'alimentation de consommateurs éloignés (par ex. petites entreprises ou fermes). La plage de puissance globale est située entre 1 et 5 kW, la tension CC allant de 12 à 48 V.

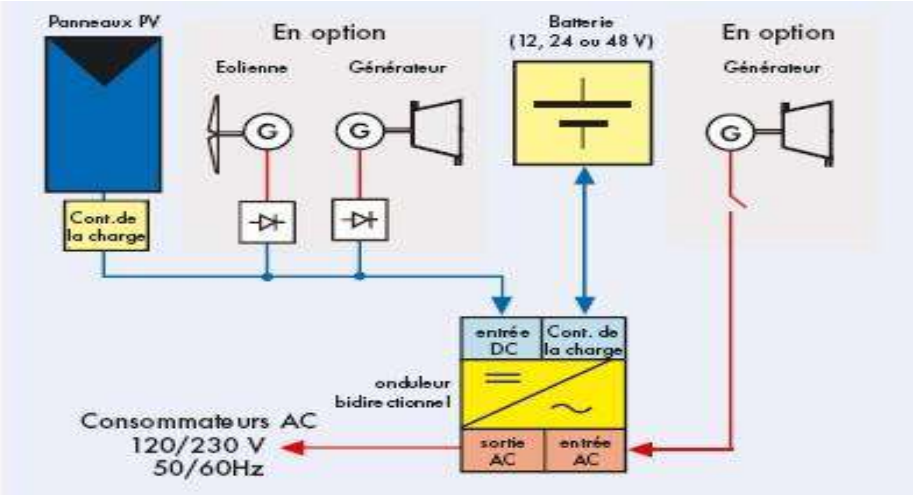


Figure 2-9: Petits systèmes de puissance CA avec composants couplés du côté CC [28]

Un couplage CC (toute l'énergie converge vers un bus CC)[29][30].

Dans le système hybride présenté dans la figure I-20, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus à CC. Ainsi, les systèmes de conversion d'énergie à CA fournissent d'abord leur puissance à un redresseur pour être convertie en CC. Le ou les générateur(s) diesel(s) sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges à CA. Les générateurs diesels ne peuvent donc pas alimenter les charges à CA directement.

L'onduleur doit alimenter les charges à CA à partir du bus à CC et doit suivre la consigne fixée pour l'amplitude et la fréquence [31]. Les batteries et l'onduleur sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge, alors que le générateur diesel est dimensionné pour alimenter les pics de charge et les batteries en même temps. La puissance délivrée peut être contrôlée par la commande du courant d'excitation de la partie électrique du générateur diesel ou en incorporant un régulateur de charge dans les sources d'énergie renouvelable. Les avantages et les désavantages d'un tel système sont présentés ci-après.

- **Avantages**
  - La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande.
  - Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75-85 %.
- **Inconvénients**
  - Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.
  - Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge.

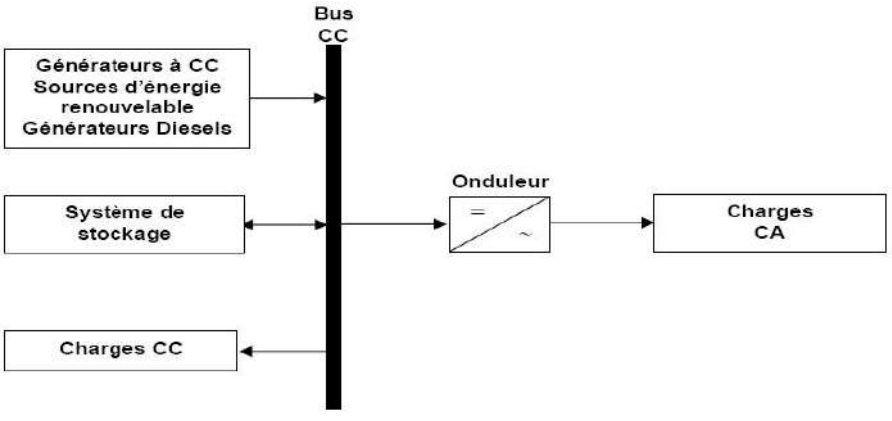


Figure 2-10 : Configuration du SEH à bus CC

2.6.2 Architecture mixte à bus à CC/CA

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la figure I-21. Celle-ci a des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure (un couplage CC). Dans cette configuration, les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels peuvent alimenter une partie de la charge à CA directement, ce qui permet d'augmenter le

rendement du système et de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur. Le ou les générateur(s) diesel(s) et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle en synchronisant leurs tensions en sortie. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui, en fonctionnement normal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur) [32], [33]. Quand il y a un surplus d'énergie de la part du générateur diesel, il peut aussi charger les batteries (fonctionner en redresseur).

L'onduleur bidirectionnel peut alimenter les pics de charge quand le générateur diesel est surchargé.

Pour les systèmes hybrides ayant une puissance en-dessous de 100 kW, la connexion mixte, bus à CA et bus à CC, avec des batteries de stockage, est très répandue [34] [35].

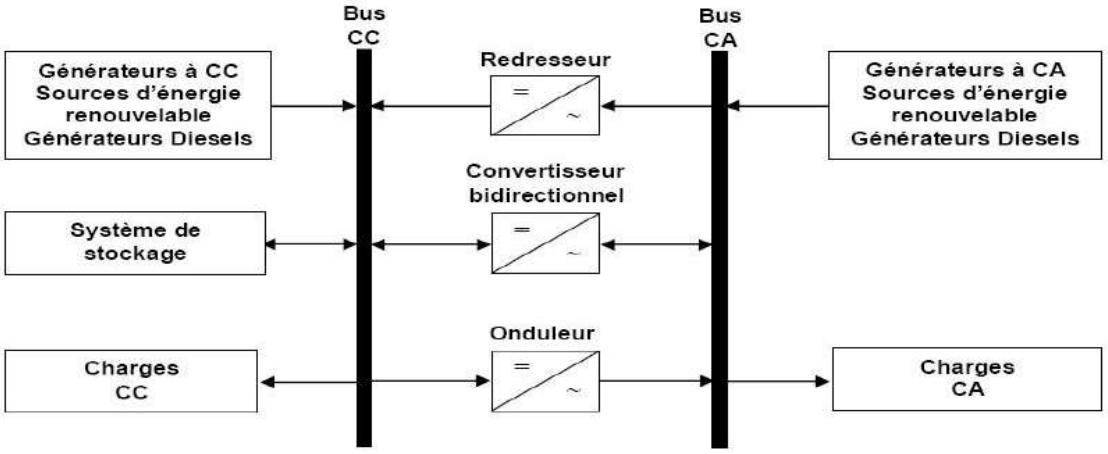


Figure 2-11: Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA

- **Avantages**
  - Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Cependant, les deux sources peuvent fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.
  - La possibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système d'alimenter les pics de charge.
- **Inconvénients**
  - La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle (l'onduleur doit être capable de fonctionner en autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en sortie avec les tensions en sortie du GD).

2.6.3 Configuration de bus CA

De nouvelles approches sont proposées pour améliorer la modularité par un couplage CA (toute l'énergie converge vers un même bus CA) [36][37]. Toutes les sources de productions sont reliées au bus AC via des convertisseurs sauf le générateur diesel qui peut fixer la fréquence de bus.

2.6.4 L'aspect pratique de la configuration de bus exclusivement CA.

Un couplage de tous les consommateurs et de tous les générateurs du côté CA permet désormais de réaliser des systèmes flexibles constitués de composants modulaires. En fonction de l'application et des sources d'énergie disponibles, il est possible d'intégrer différentes sources énergétiques, aussi bien renouvelables que conventionnelles. Le système peut en outre être élargi en toute simplicité par ajout de composants ou de générateurs électriques pour répondre à des besoins en énergie croissants.

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

L'ingénierie des systèmes modulaires avec couplage du côté CA a été développée pour la première fois par l'Institut national de l'énergie solaire (ISET, Université de Kassel) et par l'entreprise SMA Technologie AG.

L'utilisation du courant alternatif présente plusieurs avantages et inconvénients :

- **Avantages**
  - Un découplage des différentes sources de production, ce qui permet d'agir de façon assez indépendante les unes sur les autres ;
  - Le générateur diesel peut fixer la tension et la fréquence de bus (AC).
  - Capacité d'augmenter et de réduire la tension à l'aide d'un simple dispositif passif (transformateur);
  - Appareillage de connexion bon marché et disponible facilement;
  - Les circuits triphasés produisent un champ magnétique rotatif permettant des moteurs compacts et efficaces;
  - La fréquence peut être utilisée comme moyen de contrôle (dérive de fréquence) [38].

- **Inconvénients**
  - Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs ;
  - La connexion de toutes les sources sur un bus à CA complique le système de commande

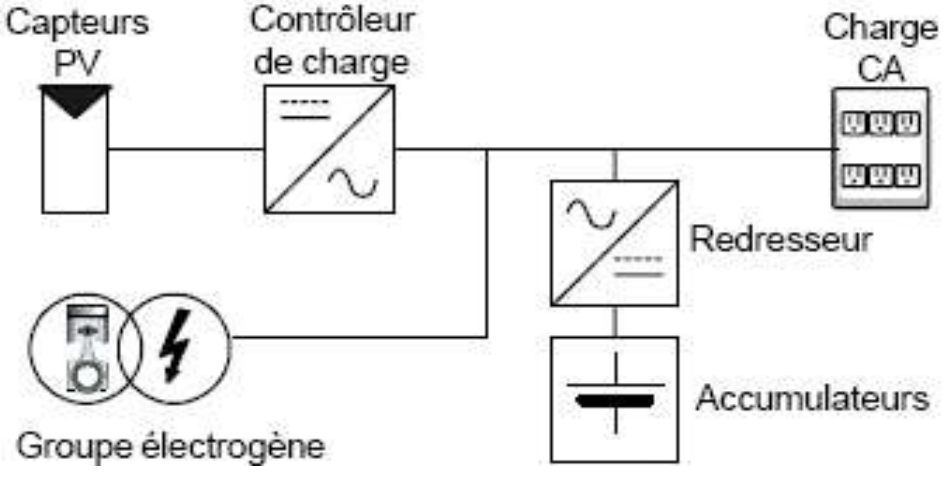


Figure 2-12: Configuration de bus CA

2.7 Inconvénient majeur dans un SEH

Un inconvénient majeur dans un SEH connecté en réseau triphasé isolé est le déséquilibre de tension entre les phases. Un récepteur électrique triphasé déséquilibré ou de récepteurs monophasés déséquilibrés alimentés par un réseau isolé triphasé peuvent conduire à des déséquilibres de tension. Ces déséquilibres provoquent des couples de freinage parasites et des échauffements supplémentaires dans les machines tournantes à CA.

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

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

2.7.1 Commande des SEH

Le problème principal dans la commande de SEH est de pouvoir fournir l'énergie demandée par la charge, malgré les grandes variations de l'énergie produite, tout en maintenant la fréquence et la tension du bus à CA dans des limites acceptables. Les variations de la production sont causées par la nature stochastique des ressources renouvelables.

Deux aspects principaux doivent être pris en compte dans la commande du SEH :

1. La stratégie de fonctionnement, qui implique des décisions liées au flux d'énergie à l'échelle de plusieurs heures ou jours et des actions pour améliorer le fonctionnement du système,

2. La qualité de l'énergie, à l'échelle des secondes ou millisecondes. Cela concerne la stabilité de la fréquence et de la tension, les protections, etc.

2.7.2 Stratégie de fonctionnement

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un SEH de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible [13] [17].

Le fonctionnement d'un SEH dépend des paramètres suivants :

- Le profil de charge : les variations diurnes, les variations saisonnières, les pics et les creux, etc.
- Les caractéristiques des ressources renouvelables : les valeurs moyennes, l'écart type, la fréquence des événements, les valeurs extrêmes, les variations diurnes et saisonnières, etc..
- Les caractéristiques des générateurs classiques : le type de carburant, les limites de fonctionnement, etc.
- La configuration du système : le nombre et les types de composants (les sources d'énergie renouvelable, les sources classiques, les charges contrôlables, les types de stockage, les convertisseurs de puissance, etc.)
- Les normes de qualité de l'énergie : les exigences en ce qui concerne les variations de la fréquence et de la tension.

Par conséquent, certaines stratégies de fonctionnement peuvent être plus efficaces dans des applications particulières.

2.8. Méthodes de modélisation et simulation des SEH

Nous présentons un état de l'art sur la modélisation et la simulation des systèmes hybride complexes, pour la conception d'un système, il convient de considérer celui-ci à différents niveaux d'abstraction afin de réaliser différentes analyses. On trouve Différents niveaux de modélisation pour les domaines mécanique, électronique analogique et électronique numérique : le niveau système, le niveau comportemental, le niveau circuit (composant) et le niveau physique. Touts ces niveaux ne sont pas développés dans ce mémoire. En effet, nous nous sommes intéressés qu'au niveau comportemental en se basant sur les techniques qui existent déjà. Cette synthèse nous permettra de limiter le travail numérique nécessaire pour déterminer les paramètres de notre modèle; une étude par bloc des différentes chaînes de conversion (système PV et aérogénérateur).

2.8.1. Modélisation comportementale

Une fois la méthodologie de la modélisation comportementale choisie, les interactions entre les composants des différents domaines sont prises en compte, ainsi que l'environnement de conception. .Cette performance dépend de la méthode de simulation et des signaux de caractérisation choisis. Deux approches de modélisation et de simulation, au niveau comportemental, ont été définies: La modélisation fonctionnelle et la méthode par circuit équivalent. Nous les présentons dans ce qui suit :

2.8.1.1 Modélisation fonctionnelle

Cette approche de modélisation fonctionnelle est une alternative prometteuse pour la modélisation des systèmes hybrides. Elle tire profit des niveaux d'abstraction possibles et des langages offerts dans le cadre de la simulation à signaux mixtes. Il est cependant nécessaire de mettre le point sur les limitations que présente cette méthode. Durant la description d'un système, le concepteur doit spécifier, en suivant cette méthode, les relations définissant l'interaction entre les différents signaux dans le système. La définition de ces relations est non triviale dans le cas des systèmes multi domaines, ce qui implique

aussi la caractérisation de l'interface existant entre les composants du modèle d'un système hybride qui sont dans des domaines d'énergie différents.

2.8.1Modélisation basée sur le graphe

Les graphes ont été utilisés pour représenter les systèmes interconnectés dans plusieurs domaines. Pour la modélisation des systèmes, il existe en effet trois types de modèles basés sur les graphes : les graphes de liaisons (bond-graph), les graphes linéaires, et les diagrammes blocs. La figure IV-1 montre les modèles en diagramme bloc et en graphe de liaison d'un circuit électrique simple.

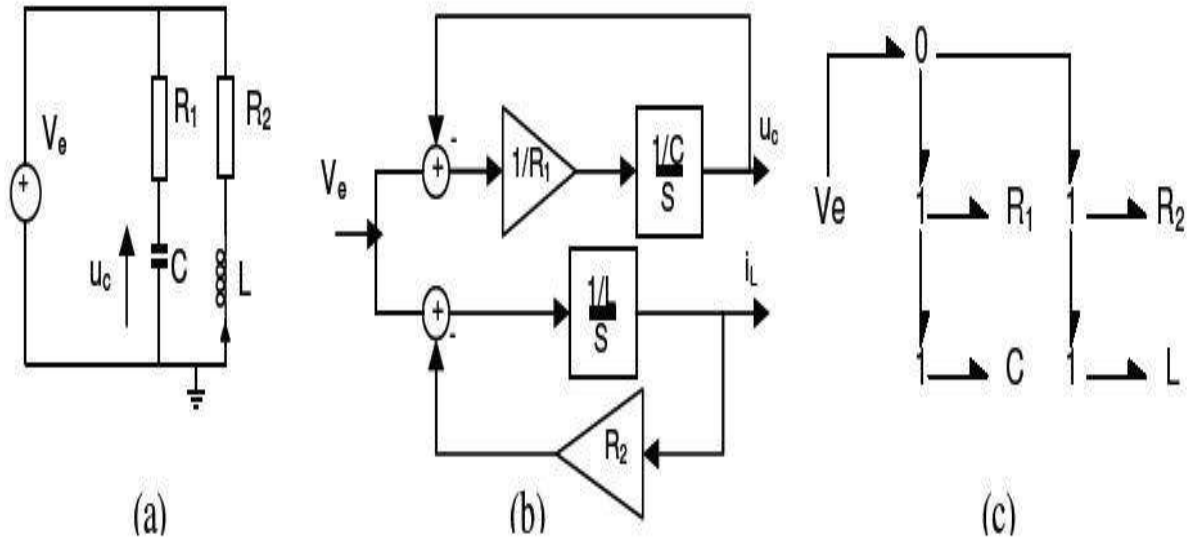


Figure 2-13:(a) Circuit électrique, (b) Diagramme bloc, (c) Graphe de liaison

2.8.2 Modélisation par graphe de liaison

La modélisation par le graphe de liaison (bond-graph) se situe entre le système physique et les modèles mathématiques classiques. La technique de modélisation par graphe de liaison est basée sur la caractérisation des phénomènes d'échange de puissance (par un lien) au sein du système.

2.8.3. Modélisation par diagramme bloc

Les diagrammes blocs sont utilisés pour la modélisation des flots de signaux échangés en entrées/sorties d'un système. Les modèles créés contiennent des fonctions primitives décrivant les relations entre les entrées et les sorties (ex : Simulink,…). Les systèmes complexes sont partitionnés en sous-systèmes selon une configuration hiérarchique.

2.9 Modélisation comportementale basée sur le circuit électrique équivalent

Cette méthode de modélisation comportementale est basée sur des modèles définis sous la forme de circuits électriques équivalents. Ces circuits équivalents représentent les sous- systèmes dans d'autres domaines d'énergie.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des systèmes hybrides.

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

Sommaire

1. Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.2 Energie éolienne ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.3 Energie solaire ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.4 Energie hydraulique ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.5 Energie de la biomasse ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.6 Energie géothermique ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.7 Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**

Chapitre II 26

Introduction 26

2.1 Type de fonctionnement 26

2.2Définition et missions des systèmes hybrides 26

2.3 Principaux Composants des systèmes hybrides 27

2.4 Générateurs photovoltaïques 27

2.5 Exemples de topologies de systèmes hybrides 32

2.6 Configuration de bus dans les systèmes hybrides 34

2.7 Inconvénient majeur dans un SEH 38

2.8. Méthodes de modélisation et simulation des SEH 39

Conclusion 41

Chapitre III ..... **Error! Bookmark not defined.**

Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.1. Description du système PV-W-FC ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2. Utilisation du logiciel HOMER ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3. Création du système hybride ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4. Caractéristiques de la région de Médéa ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.5 Profils de charge de l'université de Médéa ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.6. Caractéristiques techniques des composants utilisés ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.7. Paramètres économiques ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.8. Optimisation du système ..... **Error! Bookmark not defined.**

Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**

chapitre III

Chapitre III

Introduction

Le système hybride PV-W-FC utilise deux sources d'énergie : éolienne et photovoltaïque, avec un système de stockage par hydrogène. Ce type de système peut présenter une solution pour les régions éloignées d'un grand réseau interconnecté. Dans ce contexte, un dimensionnement correct et rentable du système PV-W-FC est très important.

Le dimensionnement d'un tel système implique la détermination des caractéristiques des sources et du système de stockage pour des ressources énergétiques données.

Ce chapitre présente les caractéristiques géographiques et météorologiques de la Wilaya de Médéa, le site dans lequel on a proposé l'installation du système qu'il faut subvenir aux besoins électriques de l'université de Médéa.

Dans la deuxième partie du chapitre, on va décrire les caractéristiques techniques et économiques de chaque composant du système

3.1. Description du système PV-W-FC

La Figure 3.1 est un schéma simplifié pour décrire le fonctionnement annuel du système PV-W-FC. Le fonctionnement du système et l'influence de ses paramètres, proviennent de l'analyse de l'ensemble des simulations réalisées.

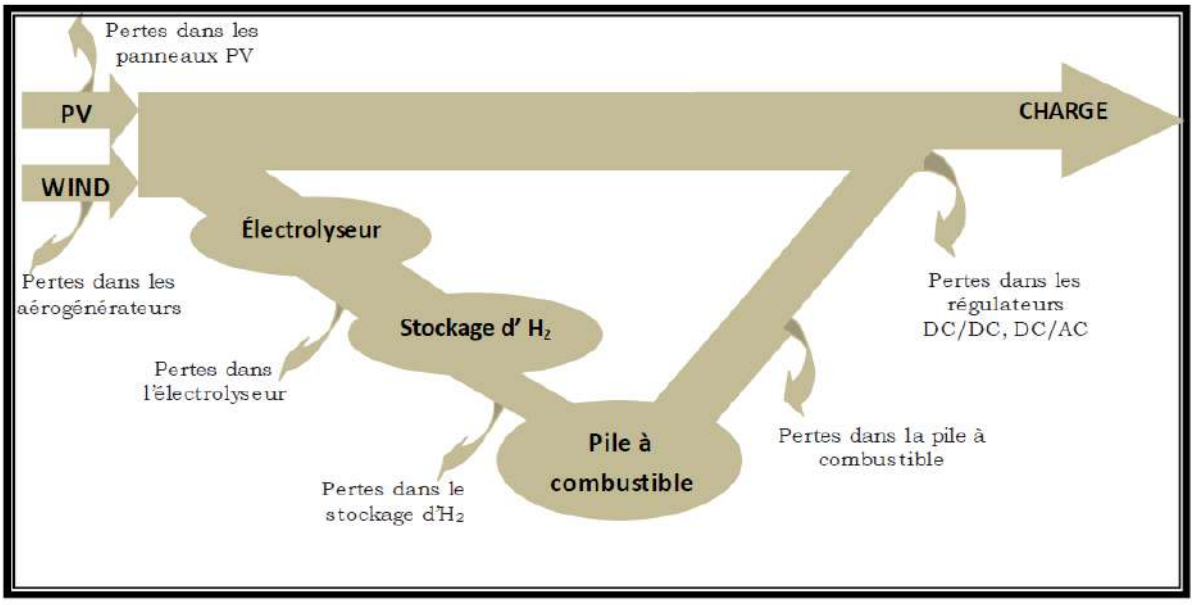


Figure 3.1: Bilan énergétique du système PV-W-FC.

La somme des énergies annuelles photovoltaïque et éolienne est l'énergie totale qui entre dans le système. Une partie de cette énergie est fournie directement à la charge. La seconde partie passe par le système de stockage d'hydrogène et réduite par les pertes dans les cellules électrochimiques liées aux rendements énergétiques et faradiques. La somme de ces

deux énergies est encore diminuée par la perte dans les convertisseurs et par la perte de la consommation intrinsèque. Le rendement du système dépend de l'ensemble de ces pertes.

Le volume de stockage est dimensionné pour que l'énergie stockée au cours du mois le plus défavorable soit égale l'énergie consommée au cours de ce mois.

3.2. Utilisation du logiciel HOMER

HOMER, c'est un outil développé par « National Renouvelable Energie Laboratoire » (NREL), capable de dimensionner et optimiser un système hybride contenant différents composants : éolienne, PV, réseau, pile à combustible et batteries [3]. Le modèle doit renseigner les ressources disponibles, les options technologiques, les coûts et les charges à respecter par le système.

Les charges peuvent être saisies en tant que profil de charge quotidien ou importées d'un fichier de données horaires. En tout état de cause, les valeurs horaires des charges doivent être définies pour chacune des 8760 heures d'une année [42].

En ce qui concerne les composants, des fonctions de coût linéaires sont adoptées et les dimensions des composants à prendre en considération doivent être préalablement prévues afin de réaliser l'optimisation. Le nombre de tailles multiplié par le nombre de composants donne le nombre de configurations de systèmes simulés par le programme [42].

HOMER est un modèle de séries chronologiques et effectue un bilan énergétique horaire le long d'une année pour chaque configuration de système rentrée par l'utilisateur. Il affiche ensuite la liste des configurations de systèmes triés par le coût actuel net (qui combine le coût en capital-annualisé par l'amortissement du composant au cours de sa durée de vie en utilisant les taux d'actualisation réelle et celui de remplacement, fonctionnement et entretien).

Des analyses de sensibilité peuvent également être effectuées pour certaines variables (par exemple des coûts de carburant, la vitesse moyenne annuelle du vent).

Enfin, une analyse de contrainte peut également être effectuée au moyen d'un facteur de capacité annuelle limitée à une valeur maximale : si ce paramètre est fixé à 0%, alors le système doit satisfaire les charges tout le temps, alors que s'il est fixé des valeurs de 1% 5% des Économies considérables en puissance de crête et des différences entre les scénarios optimisés sont obtenues [42].

3.3. Création du système hybride

D'après la bibliothèque de logiciel HOMER, on peut insérer les différents éléments de notre système hybride tel que la charge, les modules photovoltaïques, les éolienne , les piles à combustible, les électrolyseurs, les convertisseurs et les systèmes de stockage d'hydrogène.

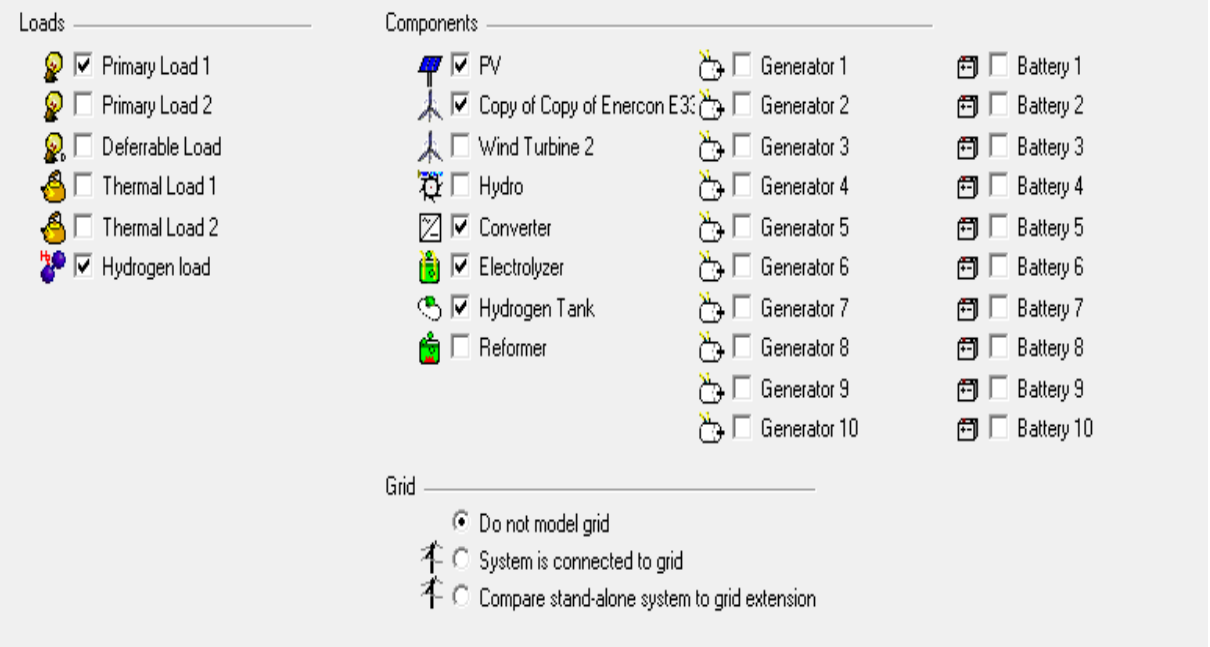


Figure3.3: Bibliothèque HOMER.

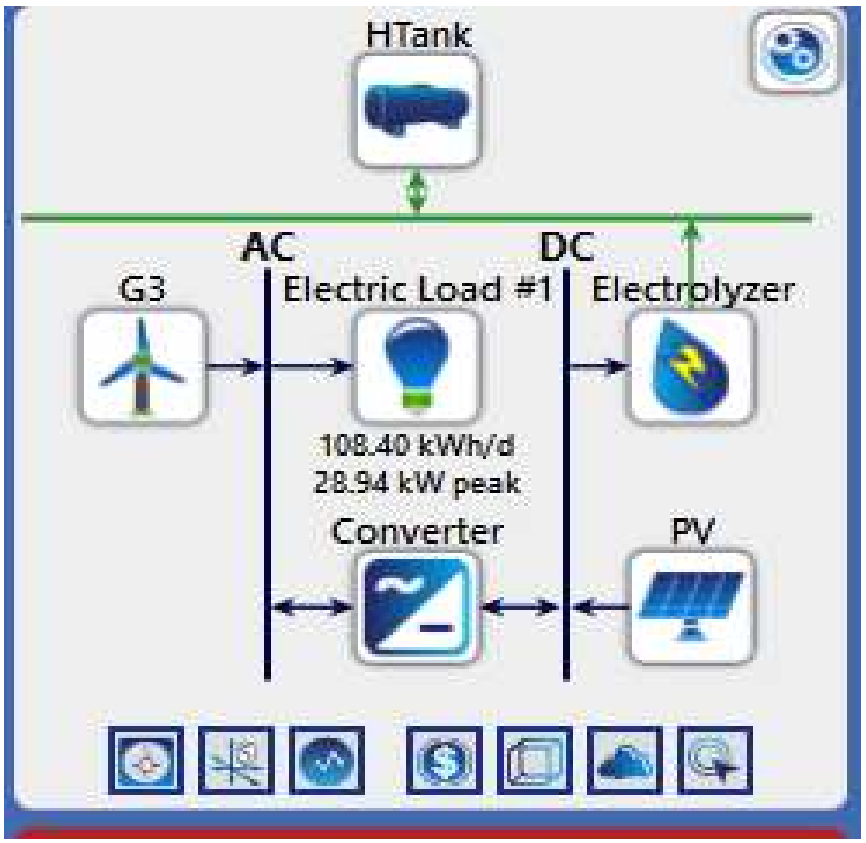


Figure 3.4: Diagramme du système hybride PV-W-FC simulé par HOMER.

Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	4.000	4.000	4.000	7.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.000	4.000	3.000	4.000
1	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	0.000	3.000	3.000	3.000	4.000	4.000	3.000
2	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	5.000	5.000	5.000	3.000	4.000	4.000	3.000
3	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	5.000	5.000	5.000	3.000	4.000	4.000	3.000
4	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	4.000	5.000	5.000	3.000	4.000	4.000	3.000
5	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	4.000	5.000	5.000	3.000	4.000	3.000	3.000
6	3.000	5.000	4.000	7.000	4.000	3.000	2.000	2.000	0.000	3.000	2.000	3.000
7	3.000	6.000	6.000	4.000	4.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.000	2.000	5.000
8	8.000	8.000	10.000	4.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	13.000
9	2.000	8.000	14.000	4.000	4.000	4.000	2.000	2.000	2.000	3.000	2.000	18.000
10	2.000	8.000	14.000	4.000	7.000	8.000	2.000	2.000	2.000	4.000	2.000	12.000
11	2.000	8.000	14.000	4.000	7.000	6.000	2.000	2.000	2.000	4.000	2.000	7.000
12	2.000	7.000	12.000	4.000	7.000	6.000	2.000	2.000	2.000	4.000	2.000	7.000
13	3.000	6.000	9.000	4.000	7.000	5.000	2.000	2.000	2.000	3.000	2.000	9.000
14	3.000	5.000	8.000	4.000	7.000	5.000	2.000	2.000	2.000	3.000	2.000	5.000
15	4.000	4.000	8.000	4.000	7.000	4.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	5.000
16	4.000	2.000	6.000	3.000	7.000	3.000	2.000	2.000	2.000	1.000	3.000	5.000
17	5.000	2.000	5.000	3.000	6.000	3.000	2.000	2.000	2.000	1.000	3.000	5.000
18	5.000	4.000	6.000	3.000	6.000	3.000	2.000	2.000	4.000	3.000	3.000	5.000
19	5.000	4.000	6.000	3.000	6.000	3.000	2.000	2.000	5.000	3.000	3.000	5.000
20	6.000	4.000	6.000	6.000	6.000	4.000	2.000	2.000	6.000	3.000	3.000	5.000
21	9.000	4.000	6.000	6.000	4.000	5.000	4.000	4.000	6.000	3.000	5.000	5.000
22	9.000	4.000	6.000	6.000	4.000	5.000	4.000	4.000	6.000	3.000	5.000	5.000
23	9.000	4.000	6.000	6.000	4.000	5.000	4.000	4.000	6.000	3.000	5.000	5.000

Copy changes to right Copy changes to weekend

Tableaux 3.1: Tableaux de la consommation de la charge Médéa (pole universitaire)

3.4. Caractéristiques de la région de Médéa

Le dimensionnement du système hybride PV-W-FC est basé sur les données météorologiques et géographiques effectuées pour la région de Médéa. Pour cette étude, nous nous sommes procurés, auprès de l'ONM, les données météo de Cette dernière année. Ces relevés sont effectués à Médéa (pôle universitaire).

3.4.1. Données géographiques

Le tableau ci-après, représente les différentes caractéristiques géographiques de la station de mesure de Médéa.

Tableau 3.2: Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Médéa.

Latitude	Longitude	Altitude	Rugosité	Albédo
36°15.9' N	2°47.9' E	981 m	0.05	0.05

3.4.2. Données météorologiques

3.4.2.1. Variation mensuelle de l'irradiation

Pour l'ensoleillement, nous avons acquis, auprès de l'ONM, les données mensuelles de la durée d'insolation de Cette dernière année.

Le facteur d'éclairement est déterminé en utilisant l'équation suivant:

$$\delta = \frac{ss}{ss_0} \qquad (3.1)$$

La durée d'insolation est prise partir des données. La durée d'insolation maximale est déterminée en utilisant l'équation (3.2) et les données astronomiques du lieu.

$$ss_0 = \frac{2}{15}\omega_0 \qquad (3.2)$$

A l'aide du logiciel HOMER et des valeurs du facteur d'éclairement et des caractéristiques du site de mesure (tableau3.2), l'irradiation journalière moyenne pour chaque mois de l'année est déterminée. Les résultats sont reportés au tableau (.32). En figure (3.5), l'évaluation mensuelle de l'irradiation (en jaune) ainsi que celle du facteur d'éclairement (en bleu) sont représentées.

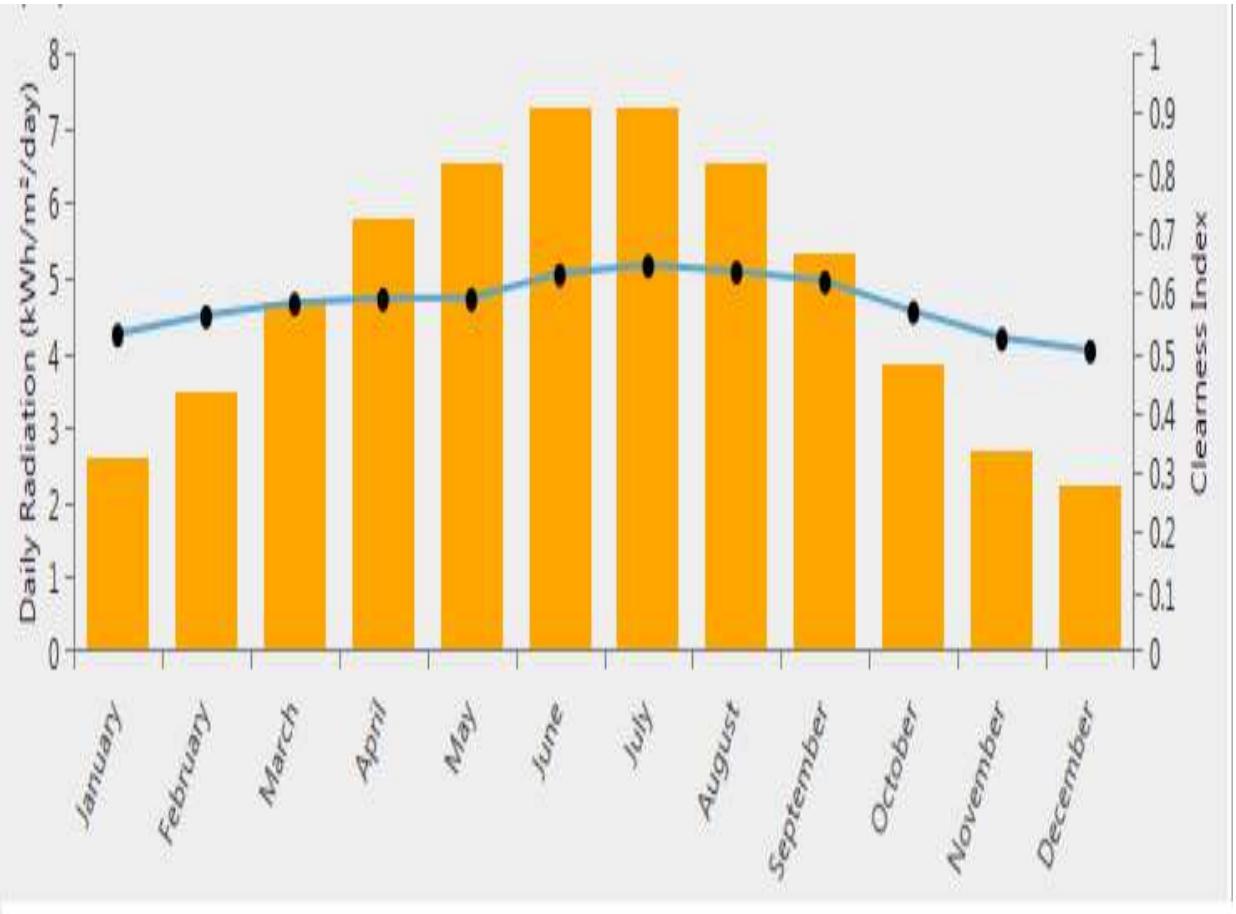


Figure 3.5 : *Évolutionde l'ensoleillement mensuel*.

Tableau 3.3: *Données du rayonnement solaire de la région de Médéa.*

Mois	Facteur d'éclairement	Irradiation (kWh/m²/j)
Janvier	0.527	2.570
Février	0.558	3.470
Mars	0.580	4.680
Avril	0.587	5.800
Mai	0.587	6.510
Juin	0.628	7.260
Juillet	0.643	7.260
Aout	0.632	6.510
Septembre	0.616	5.340
Octobre	0.566	3.820
Novembre	0.521	2.690
Décembre	0.500	2.230

3.4.2.2. Données de la température

Pour la température de la région de Médéa, de la même manière, nous nous sommes procurés, auprès de l'ONM, les valeurs mensuelles moyennes de la température de Cette dernière année. L'ONM a enregistré des températures très élevées, que l'on ne peut pas les négliger dans notre étude.

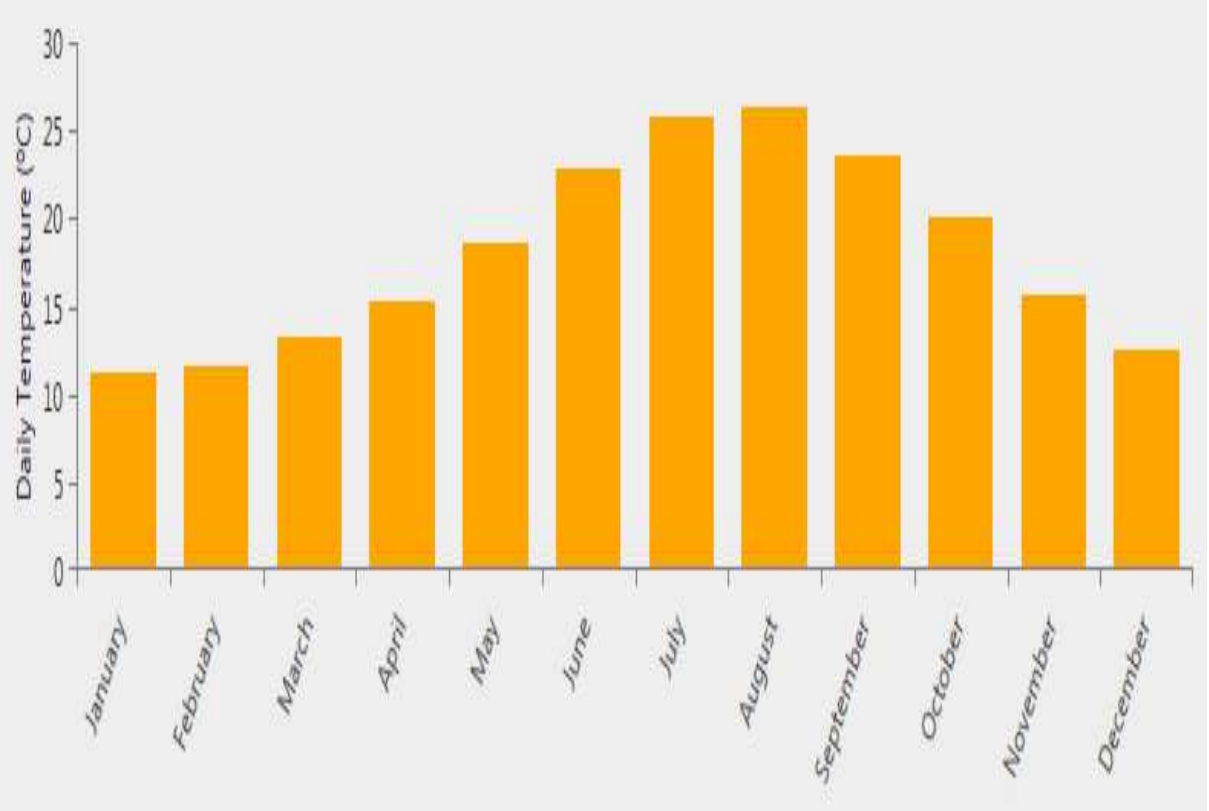


Figure 3.6: *Variation de la température mensuelle moyenne de la région de Médéa.*

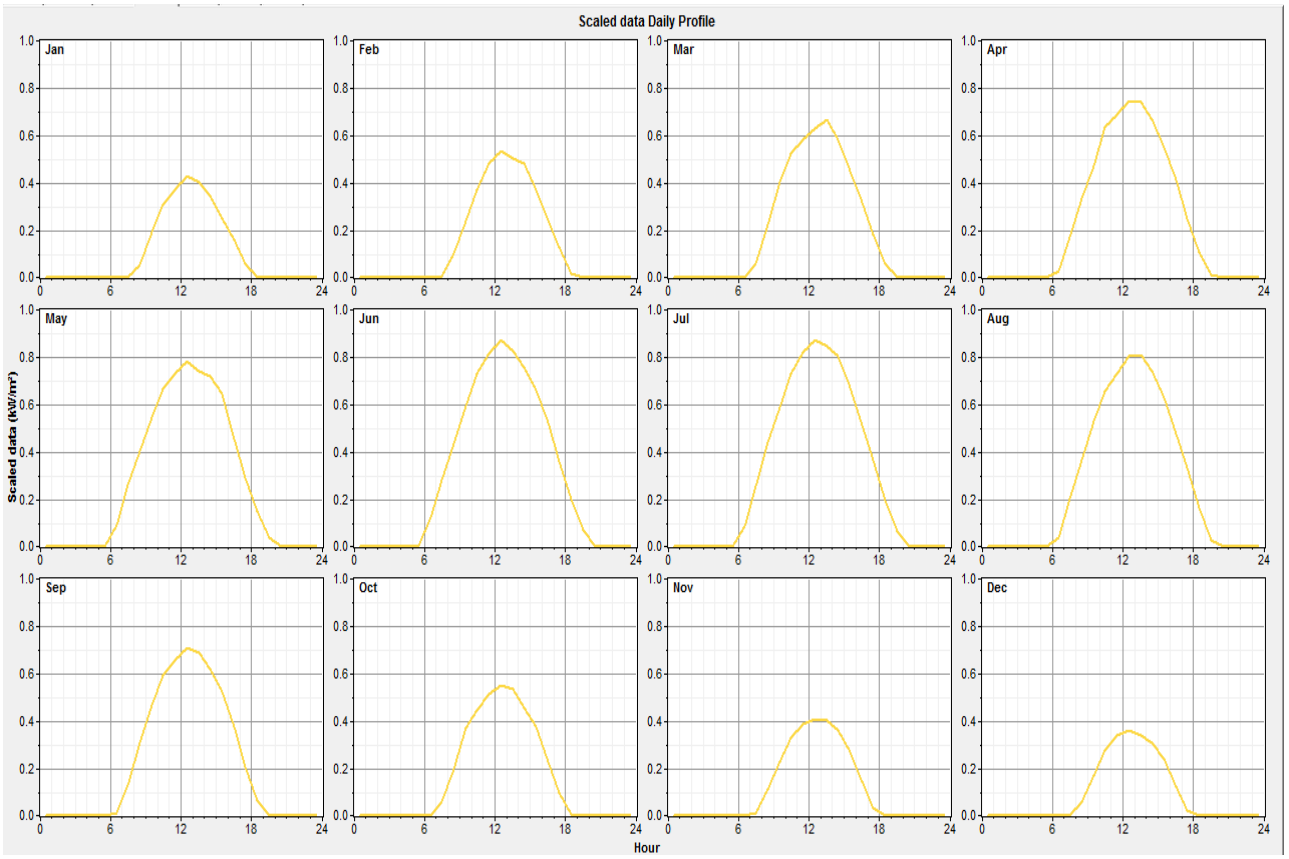


Figure 3.7 : *Profil journalier du solaire au site de l'université de Médéa.*

Tableau 3.4: *Données du vent de la région de Médéa.*

mois	La vitesse de vent
Janvier	4.920
Février	5.080
Mars	5.030
Avril	5.030
Mai	4.340
Juin	4.460
Juillet	4.700
Aout	4.400
Septembre	4.250
Octobre	4.340
Novembre	4.830
Décembre	4.701

3.4.2.3. Données du vent

Pour le gisement éolien nous avons procédé de la même manière, à partir des données tri-horaires des vitesses du vent de l'ONM de Cette dernière année Nous pouvons voir dans la figure (3.8) l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent.

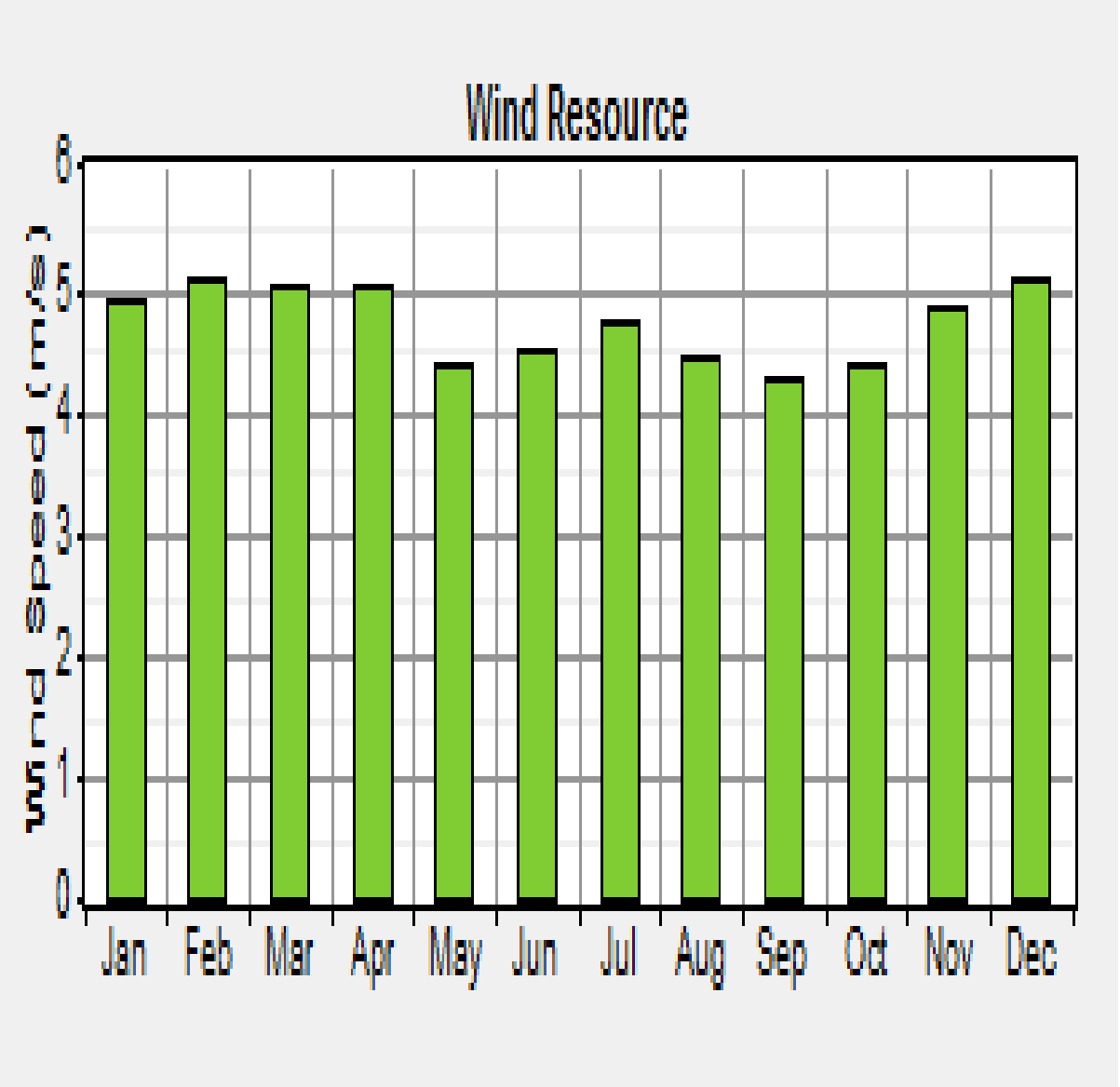


Figure 3.8 : *Évolution mensuelle de la vitesse moyenne du vent pour la région de Médéa*

Une analyse statistique des données tri-horaires des vitesses et leurs distributions pour des classes données ont été effectuées pour la région de Médéa l'aide de logiciel HOMER.

La classification des fréquences du vent effectuée l'échelle annuelle pour le site de Médéa est représentée par l'histogramme de la figure (3.9) donné par HOMER.

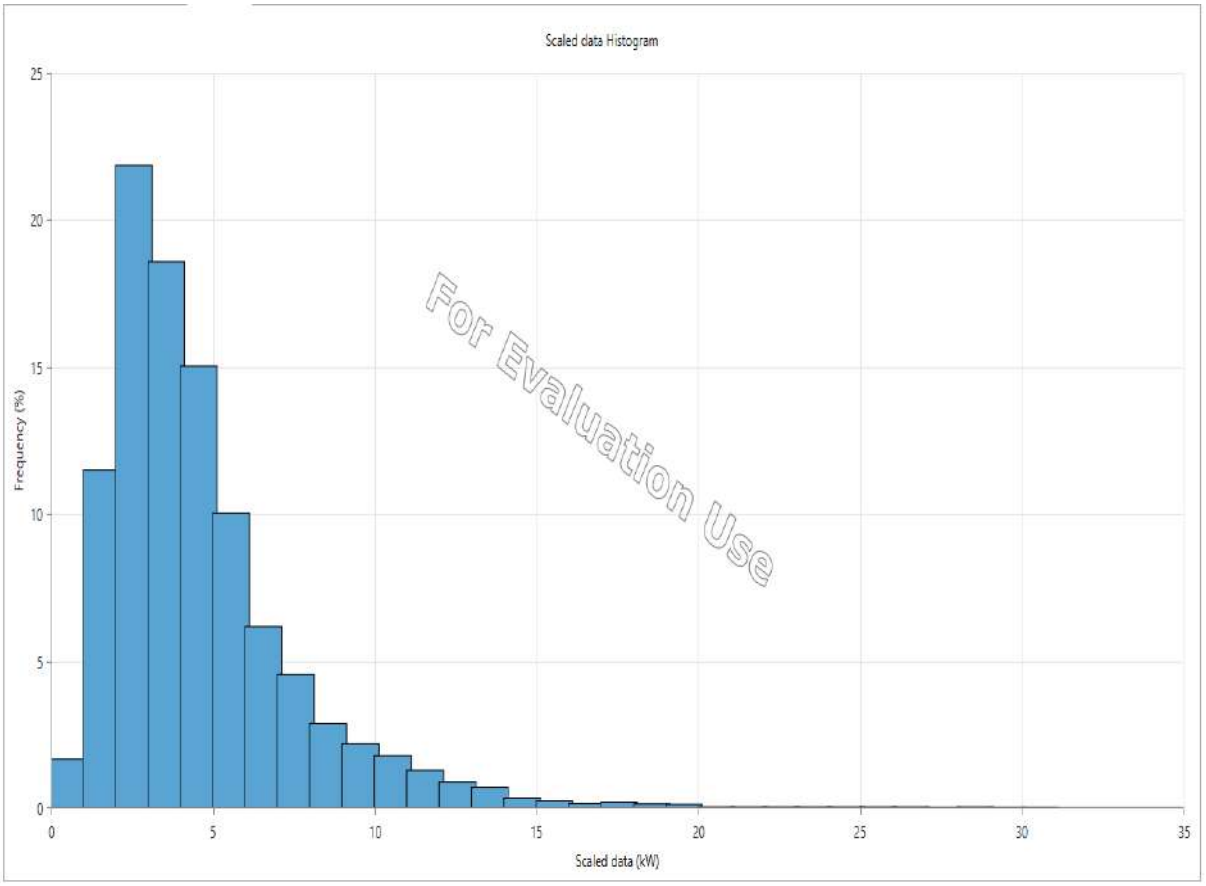


Figure 3.9: *Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région de Médéa.*

Les valeurs des paramètres de Weibull *k* et *C* ainsi que la vitesse moyenne du vent pour la station de Médéa ont été déterminées par HOMER (Tableau 3.5).

Tableau 3.5 : *Résultats de l'étude statique de la vitesse du vent.*

K	*C [m/s]*	*⟨V⟩ [m/s]*
1.98	4.82	4.70

La situation topographique de la station de Médéa est vérifiée par la faible valeur de la vitesse moyenne enregistrée.

La vitesse du vent varie avec la hauteur en fonction de la rugosité du sol. Le logiciel HOMER utilise la loi de logarithmique de la variation verticale de la vitesse en fonction de la rugosité du sol du site d'installation du système à dimensionner. En figure (3.10), les variations de la vitesse du vent en fonction de la hauteur du mât et de la rugosité du sol du lieu sont reportées.

Pour le cas de Médéa (station de mesure), on a pris une rugosité de $0.05m$.

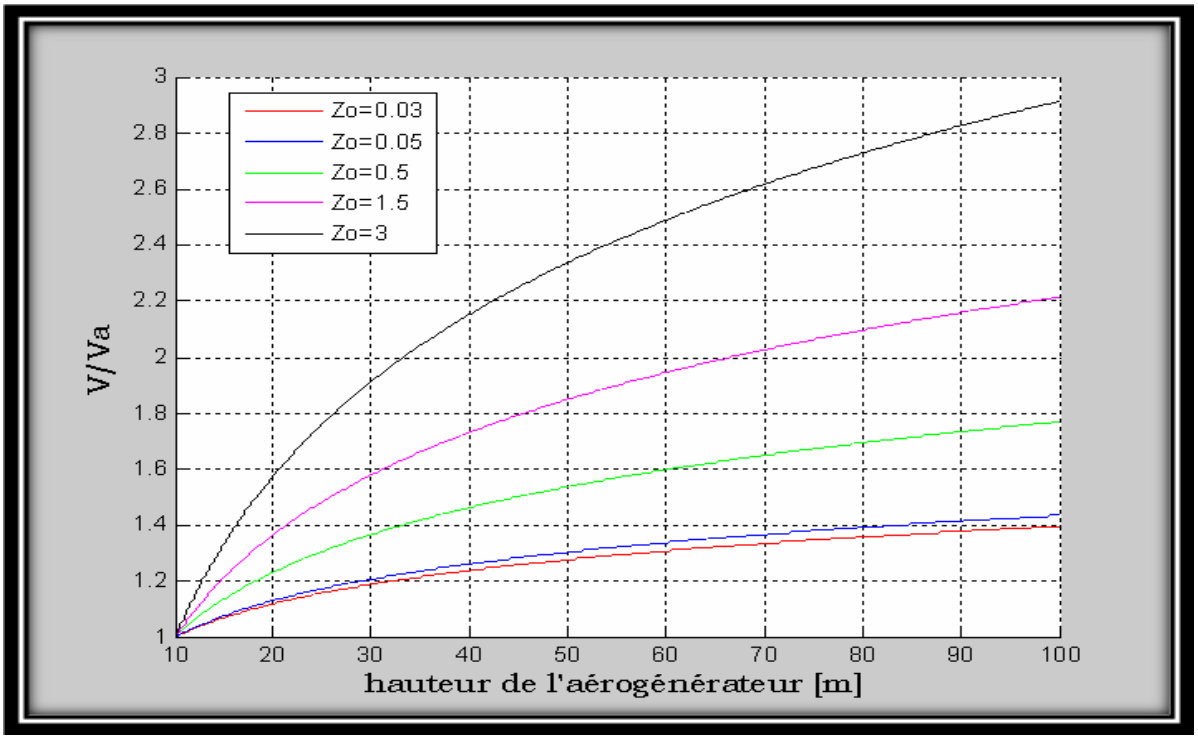


Figure3.10: Variation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur de l'aérogénérateur.

3.5 Profils de charge de l'université de Médéa

Pour le profil de consommation, nous avons utilisé les données fournies par la société SONELGAZ. Elles correspondent à la puissance électrique mensuelle consommée pour l'université de Médéa durant l'année 2016.

Nous pouvons voir sur la figure (3.11) l'évolution mensuelle de la puissance sur une année.

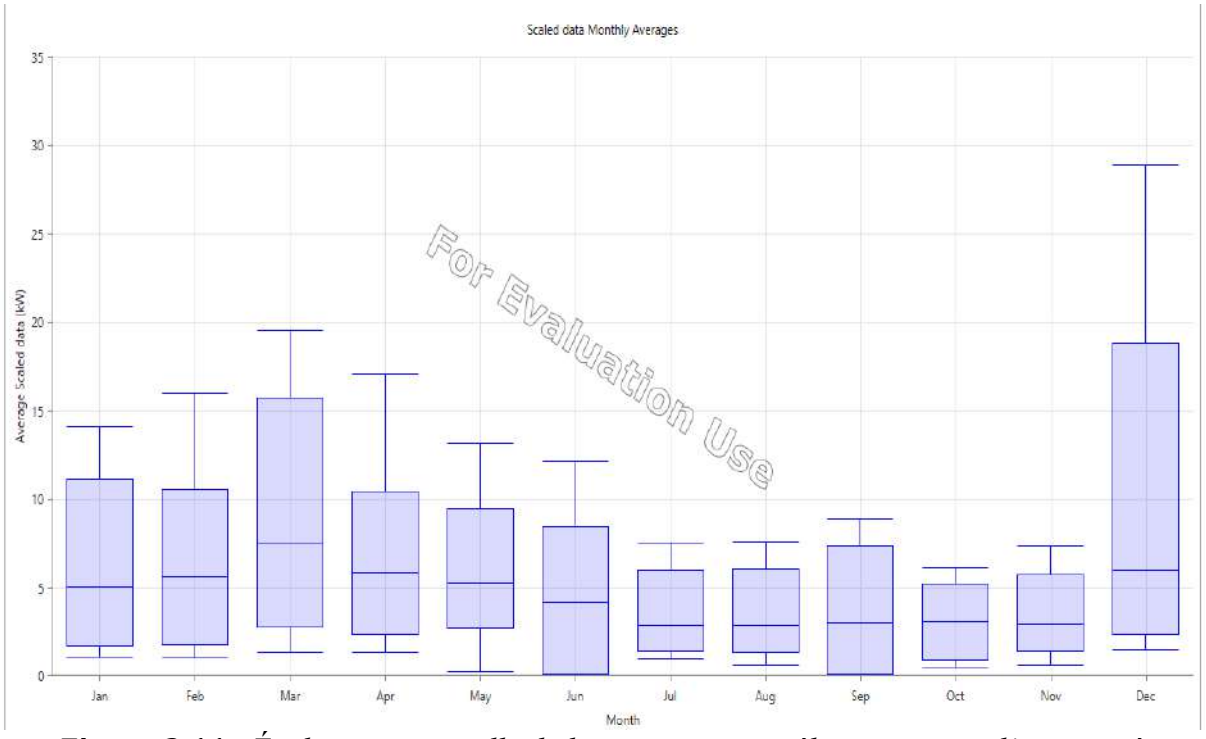


Figure 3.11 : *Évolution mensuelle de la consommation électrique pour l'université*

De Médéa pour l'année 2016.

La consommation électrique de l'université de Médéa diffère, d'un mois à un autre et d'une saison une autre. Cela est dû au fait que le travail au niveau de l'université n'est pas régulier. Les week-ends et les vacances scolaires influent sur la consommation.

La diminution de la consommation pendant l'été (principalement le mois d'aout) est dû ainsi bien au congé annuel des travailleurs et qu'aux vacances des étudiants.

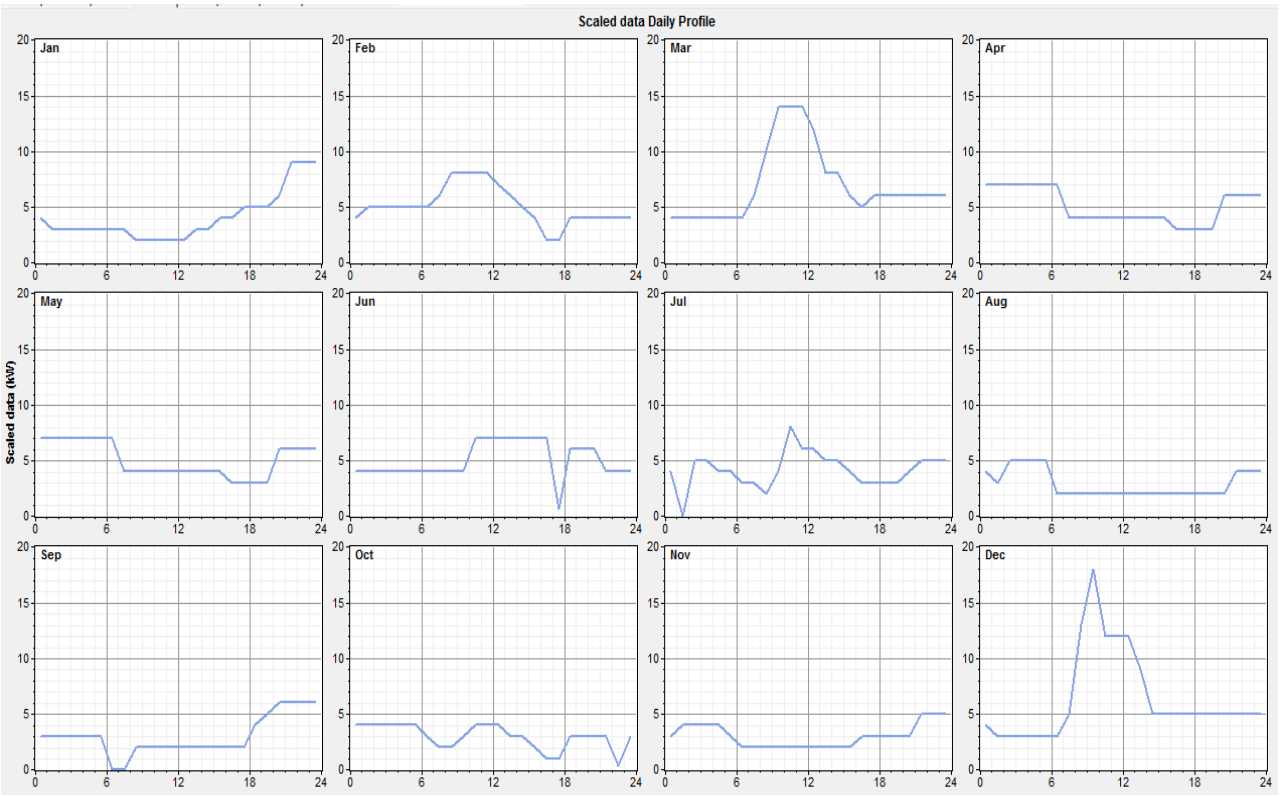


Figure 3.12 : *Profil de charge mensuel d'un jour typique de l'université de Médéa.*

3.6. Caractéristiques techniques des composants utilisés

3.6.1. *Surface du panneau photovoltaïque*

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités [9]. Deux paramètres définissent la position des modules photovoltaïques :

- l'*inclinaison* : l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal. (Sud, Nord, Sud-ouest…);
- l'*orientation* (azimut): le point cardinal vers lequel est tournée la face active du panneau (sud, nord, sud, ouest…)

3.6.1.1. Choix de l'inclinaison

Le choix de l'inclinaison des panneaux dépend du profil de consommation énergétique de l'utilisateur final, mais aussi du système de stockage considéré.

Si un stockage saisonnier est utilisé, l'inclinaison des panneaux solaires est fixée de manière maximiser la captation de l'énergie sur l'année.

Dans le cas du stockage journalier, l'inclinaison est alors fixée de manière maximiser la captation de l'énergie durant les périodes les plus défavorables en termes de disponibilité de la ressource renouvelable associée une forte consommation de l'utilisateur final. En l'occurrence, ces périodes correspondent généralement un mois d'hiver, où la disponibilité de la ressource est faible (journées d'ensoleillement courtes, conditions météorologiques défavorables) tandis que la consommation est plus importante [29].

Pour notre système, on a proposé plusieurs valeurs d'inclinaison.

3.6.1.2. Choix de l'orientation

L'azimut permet d'ajuster la captation au niveau journalier. L'irradiation solaire maximale survenant généralement le midi (soleil au zénith), une orientation plein sud (dans l'hémisphère nord) permet donc de collecter le maximum d'énergie solaire au moment où l'irradiation est maximale. En utilisant directement l'énergie captée par le panneau, si les besoins d'un utilisateur sont plus importants le matin, on préférera orienter les panneaux au sud-est pour maximiser la captation à cet instant de la journée [29].

Pour le dimensionnement de notre système on a choisi une orientation en plein Sud, c'est-à-dire à un azimut de 0°.

3.6.1.3. Effet de la température

Dans notre étude on utilise les panneaux photovoltaïques fabriqués par la société française AEV (Accord Eco Vert).

Les caractéristiques de ces panneaux sont présentées dans le tableau (3.6).

Tableau 3.6: *Caractéristiques des panneaux* PV [43].

Technologie	Silicium multi-cristallin
Coefficient thermique de la cellule	- 0.5 %/°C
NOCT	47°C
Rendement dans les conditions standards	13%

3.6.2. *Aérogénérateurs*

Les aérogénérateurs utilisés dans ce projet sont de la société allemande fuhrlander.

C'est fuhrlander 30 qui a les caractéristiques présentés sur les figures (3.13) et (3.14). Sa puissance peut atteindre 30kW (AC) à la vitesse de 15m/s ce qui est équivalent à 32.2 km/h.

La durée de vie considérée pour ces aérogénérateurs est de 20 ans.



Figure 3.13: d'aérogénérateur allemande de type fuhrlander

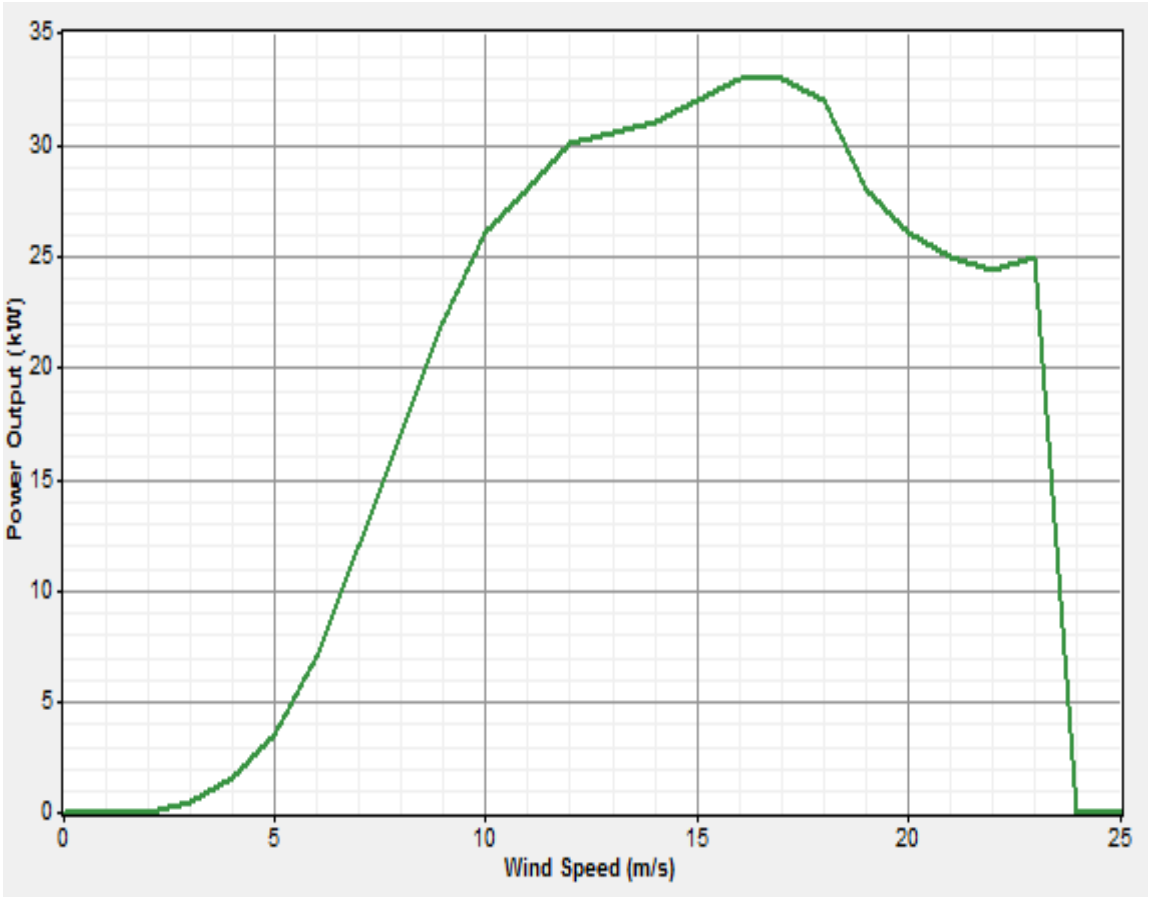


Figure 3.14: *Propriétés de l'aérogénérateur utilisé*

3.6.3. *Électrolyseurs*

Les électrolyseurs utilisés pour produire de l'hydrogène nécessaire pour alimenter les piles à combustible suffisantes pour alimenter les charges maximales de l'université de Médéa.

Deux technologies d'électrolyse peuvent répondre aux spécifications d'entrée de l'étude : l'électrolyse alcaline et l'électrolyse PEM.

Les autres technologies d'électrolyse, notamment la technologie SOFC ou la technologie de dissociation par l'effet de la température, ont été sciemment écartées d'emblée du champ de

la présente étude car leurs caractéristiques techniques ne les rendent pas compatibles avec les paramètres de fonctionnement du système [37].

Le tableau (3.7) présente les caractéristiques techniques des technologies alcalines et PEM des électrolyseurs.

Ainsi, il est possible de mettre en évidence les avantages de chaque technologie [37]:

- La technologie PEM possède l'avantage principal de répondre instantanément aux variations de la source énergétique en entrée.

- La technologie alcaline présente les rendements et durées de vie les plus élevés ce qui permet un meilleur amortissement de l'investissement initial. Par ailleurs, l'heure actuelle, les plus grandes installations de production sont de type alcalin.

Le tableau ci-dessous représente les caractéristiques techniques de l'électrolyseur utilisé.

Tableau3.7: *Caractéristiques des électrolyseurs*

Caractéristique	*Valeur*
Type	Alcalin/PEM
Rendement	75%
Mode de fonctionnement	DC
Durée de vie	25 ans

3.6.4. *Convertisseurs*

Dans les systèmes PV-W-FC, les convertisseurs sont utilisés pour transformer le courant continu (CC) en courant alternatif (CA) et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les systèmes hybrides [3]: les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans notre système, ils sont utilisés pour convertir le CA produit par les aérogénérateurs à un CC qui est utilisé par les électrolyseurs pour produire de l'hydrogène.

Les onduleurs convertissent le CC en CA, ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil [3].

Dans le système étudié, on a utilisé les onduleurs pour transformer le CC produit par les générateurs photovoltaïques et les piles à combustible en CA pour alimenter la charge.

Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC [3]. Dans notre cas on les y utilise pour adapter entre deux sources d'énergie, par exemple, entre les générateurs photovoltaïques et les piles à combustible, ou entre les redresseurs et les générateurs photovoltaïques.

Le tableau (3.8) représente les caractéristiques techniques du convertisseur utilisé.

Tableau 3.8: *Caractéristiques des convertisseurs*.

Caractéristique	*Valeur*
Durée de vie	15 ans
Rendement (DC/AC)	90%
Rendement (AC/DC)	90%

3.6.5. *Réservoirs d'hydrogène*

L'hydrogène stocké doit être suffisant pour subvenir aux besoins des piles combustibles.

Les réservoirs doivent être suffisants pour stocker le gaz d'hydrogène en respectant les caractéristiques citées dans le tableau suivent.

Tableau3.9: *Caractéristiques des réservoirs d'hydrogène*.

Caractéristique	*Valeur*
Durée de vie	20 ans
Volume réservé	95%

3.6.6. *Piles à combustible*

Les piles combustibles doivent être d'une puissance suffisante pour alimenter le maximum de la demande énergétique de la charge, en respectant les caractéristiques du tableau (3.10).

Tableau 3.10: *Caractéristiques des piles à combustible*.

Caractéristique	valeur
Durée de vie	43800 heures
Consommation spécifique	0,03 kgH2/ kWh

Mode de fonctionnement	DC

Les polluants émis par la pile à combustible dépondent du carburant utilisé. Le tableau suivant représente les polluants produits par différents carburants.

Tableau 3.11 :*Polluants émis par différents carburants* [45].

Polluant **(Kg/GJ)**	*Hydrocarbure*	*Charbon*	*Hydrogène*
CO_2	72.40	100	0
CO	0.80	0.65	0
SO_2	0.38	0.50	0
NO_x	0.34	0.32	0.10

3.7. Paramètres économiques

L'optimisation des puissances installées va se faire selon des critères économiques. Il nous faut donc prendre en considération le coût d'installation de chaque élément du système complet.

Le tableau (3.12) représente les coûts d'investissement initial, de remplacement et d'opération et maintenance des différents composants du système PV-W-FC en dollars américain ainsi que les autres caractéristiques techniques tel que la durée de vie et le rendement de ces composants.

Tableau3.11: *Caractéristiques économiques de chaque composant du système* PV-W-FC

Composant	*Aérogénérateurs*	*Modules PV*	*Électrolyseur*	*Stockage d'hydrogène*	*Piles à combustible*	*Convertisseurs*
Coût d'Investissement Initial [UDZD/unité]	***350000***	***650000***	***200000***	***130000***	***300000***	***80000***
Coût de remplacement [UDZD/unité]	***200000***	***550000***	***150000***	***120000***	***250000***	***75000***
O&M [UDZD/unite-an	***9500***	***6500***	***2500***	***1500***	***17500***	***800***
Durée de vie [ans]	***20***	***20***	***20***	***20***	***5***	***15***
Rendement [%]	***-***	***13***	***75***	***95***	***50***	***90***
Unité	***1 kW***	***1 kW***	***1 kW***	***1 kg***	***1 kW***	***1 kW***

Il est à noter comme la technologie du photovoltaïque ainsi que la technologie de l'hydrogène est en plein mutation, les caractéristiques économiques sont en pleine évolution. Il a été montré [47] que les coûts des panneaux photovoltaïques est en plein

décroissance. Les valeurs prises dans le tableau (3.11) correspondent à des valeurs maximales.

3.8. Optimisation du système

Le but des procédés d'optimisation du système est de déterminer la valeur optimale de chaque composant pour la meilleure solution de dimensionnement de notre système.

Les variables de dimensionnement qu'il faut introduire dans notre simulation sont :

- La puissance crête de la surface photovoltaïque ;
- La puissance crête de la surface photovoltaïque ;
- Le nombre des aérogénérateurs ;
- La puissance nominale des piles à combustible ;
- La puissance nominale des convertisseurs AC/CC et CC/AC ;
- La puissance nominale des électrolyseurs ;
- La taille du système de stockage d'hydrogène.

Dans le processus d'optimisation, HOMER simule plusieurs possibilités de dimensionnement et trie les meilleurs résultats pour chaque scénario, selon le point de vue économique.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les principales données nécessaires pour faire le dimensionnement du système hybride PV-W-FC qui est capable de fournir de l'énergie nécessaire pour alimenter la charge, qui est dans notre cas l'université de Médéa.

Sommaire

1. Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.2 Energie éolienne ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.3 Energie solaire ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.4 Energie hydraulique ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.5 Energie de la biomasse ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.6 Energie géothermique ..... **Error! Bookmark not defined.**

1.7 Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**

Chapitre II ..... **Error! Bookmark not defined.**

Introduction ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.1 Type de fonctionnement ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.2Définition et missions des systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.3 Principaux Composants des systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.4 Générateurs photovoltaïques ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.5 Exemples de topologies de systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.6 Configuration de bus dans les systèmes hybrides ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.7 Inconvénient majeur dans un SEH ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.8. Méthodes de modélisation et simulation des SEH ..... **Error! Bookmark not defined.**

Conclusion ..... **Error! Bookmark not defined.**

Chapitre III 43

Introduction 43

3.1. Description du système PV-W-FC 43

3.2. Utilisation du logiciel HOMER 44

3.3. Création du système hybride 44

3.4. Caractéristiques de la région de Médéa 46

3.5 Profils de charge de l'université de Médéa 52

3.6. Caractéristiques techniques des composants utilisés 53

3.7. Paramètres économiques 58

3.8. Optimisation du système 59

Conclusion 59

Liste des figures

Liste des figures

Conclusion General

Conclusion General

Le dimensionnement d'un tel système d'énergie hybride est toujours nécessaire pour rendre plus compétitive l'intégration des sources d'énergies alternatives dans le bilan des grands systèmes de production d'énergie. Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire est la contribution d'un système hybride constitué des panneaux photovoltaïques, des aérogénérateurs et d'un système de stockage par hydrogène. L'utilisation de l'hydrogène pour le stockage d'électricité nous a donné une autonomie pour notre système.

Le dimensionnement du système PV-W-FC est basé sur les données météorologiques et radiométriques de la région de Médéa. Une estimation de l'irradiation solaire et la vitesse moyenne du vent a été faite selon les données des durées d'insolation mensuelles ainsi que des données tri-horaires de la vitesse du vent.

En ce qui concerne la poursuite de ce travail, différentes perspectives s'ouvrent :

- Le domaine de l'électronique de puissance est un facteur clef dans les systèmes énergétiques hybrides couplant plusieurs appareils de production et de conversion d'énergie. Le développement commercial des composants de production d'énergie nécessitera la standardisation des caractéristiques électriques des convertisseurs d'énergie.
- L'évaluation de la gestion d'énergie au sein du système hybride et les phénomènes transitoires liés à la connexion de plusieurs composants électriques.
- *Caractéristiques économiques de chaque composant du système* PV-W-FC

Introduction générale

[1] EDF, « *La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde* », Collection chiffres et statistiques, onzième inventaire, Observ'ER, France, 2009.

Chapitre 01

[2]L.Louis and J.R.Bucciarelli. The effect of day to day correlation in solar radiation on the probability of loss of power in a stand alone photovoltaic energy system. solar energy, (1986) Vol 36, N°.1, pp: 11-14.

[3] **Wind power**: www.wind power.org.

[4] R. Chedid and S. Rahman. *Unit sizing and control of hybrid Wind-solar power systems*. Energy Conversion, IEEE Transactions on, (1997), Vol 12 N° 1, pp: 79–85.

[5] L.Hamane. *Les Ressources Eoliennes de l'Algérie*. Bulletin des Energies Renouvelables, (Juin 2003), N° 3 pp: 10-11

[6] A. Benlemlih. *Prpmotion of the electricity produced from wind mills and preparation of an adapted regulatory*, framework, Casablanca. e-mail: benlemlih@one.org.ma.

[7] M. Orgeret. *Les piles solaires, le composant et ses applications*. Ed: Masson

[8] W.Palz *L'électricité Solaire***.** Ed: Dunod Unesco, (1981).

[9] Ch.Chauliaguet., P.Baratcabal. et J.P.Batellier. *L'énergie Solaire dans le* Batiment. Ed: Eyrolles, (1980).

[10] T. Fogelman et R. Montloin. *Installations photovoltaïques dans l'habitat isolé*. Ed: Edisud.

[11] R.Ramakumar, L.Abouzahr, K.Kishnan and K.Ashenayi. *Design Scenarios for integrated renewable energy systems***.** Energy Conversion, IEEE Transaction on, (1995), Vol10 N0 4, pp: 736-746.

[12] R.Ramakumar, L.Abouzahir and K.Ashenayi., *A knowledge-based approach to the design of integrated renewable energy systems*. IEEE, (1992).

[13] W. Meinecke, DLR (Germany), M. Bohn NREL (USA). *Solar energy concentrating systems. Applications and technologies* . (1994).

[14] A.Mellit. Dimensionnement des systèmes photovoltaïques en ALGERIE. Thèse de magistère en électronique, U.S.T.H.B., (2002).

[15] G.S.M.Teale and P.R.Wolfe. *System sizing , the theory and the practice*. Fifth E.C. solar energy conference held et kavouri (Athens), Greece, 17-21 (octobre 1983), pp: 417-423 .

[16] D.Mayer. *Dimensionnement des systèmes photovoltaïques sur batteries*. Electricité solaire pour les zones rurales et isolées, (Juillet 92).

[17] Michel Rodot et Abdelhanine Benallou. *Electricité Solaire au service du développement rural*. Guide de l'Ingénieur, Collection Etudes et filières, (1993).

Chapitre 02

[1] Vaughn C. Nelson, Ken L. Starcher, Robert E. Foster, R. Nolon Clark, Deon Raubenheimer, "Wind hybrid systems technology characterization", West Texas AM University – AEI, New Mexico State University – SWTDI, USDA – ARS Bushland, Vista University, May 2002.

[2] E. Ian Baring-Gould, L. Flowers, P. Lundsager, "Worldwide status of wind-diesel applications", Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.

[3] J .Labbé, "L'hydrogene electrolytique comme Moyen de Stockage d'electricite Pour Systemes Photovoltaïques Isoles", Thèse de Doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, pp. 5-17-18-21-50-68-69 , 21 décembre 2006.

[4] M. Huart, "Guide des énergies renouvelables", Association pour la Promotion des Energies Renouvelables, Ministère de la Région Wallonne éditeur, 1994.

[5] J. Muller, R. Desserrières, "Conversion photovoltaïque", Publié par: Club CRIN, 2002.

[6] C. Alonso, J. Alzeu, C. Andrieu, S. Astier, J. Bonal, A. H. Ben, C. Combes, F. Costa, B. Dakyo, R. Desserrières, J. Fonio, O. Gergaud, C. Glazie, J-C. Muller, B. Multon, C.Nichita, X. Roboam, P. Rossetti, "L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables", ECRIN, ISBN : 2-912154-08-1, Paris, 2002.

[7] F. Benyarou " Conception assistée par ordinateur des systèmes photovoltaïques modélisation, dimensionnement et simulation ", Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen Juillet 2004.

[8] A. ABDELLI, " Optimisation multicritère d'une chaîne éolienne passive", Thèse de Doctorat, L'institut National Polytechnique De Toulouse, p 9-13,15 octobre 2007.

[9] P. Lundsager, H. Bindner, N. Clausen, S. Frandsen, L. H. Hansen, J. C. Hansen, "Isolated systems with wind power", Risø-R-1256(EN), 2001.

[10] P. Bauer, S.W.H. De Haan, C.R. Meyl, JTG. Pierik, "Evaluation of Electrical Systems for offshore Windfarms ", CDROM of the IEEE IAS Conf., oct. 2000.

[11] I. Kamwa, B. Saulier, "Modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome", Raport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.

[12] Michel Vandenbergh **,** "Systèmes hybrides PV/Diesel pour l'électrification rurale" Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) e. V.Königstor 59 D-34119 Kassel (Germany).

[13] F. Valenciaga, P.F. Puleston "Supervisor Control for a Stand-Alone Hybrid Generation System Using Wind and Photovoltaic Energy " IEEE Transactions on Energy Conversion ,June 2005.

[14] K. Agbossou, M. Kolhe, J. Hamelin, T.K. Bose "Performance of a Stand-Alone Renewable Energy System Based on Energy Storage as Hydrogen" IEEE Transactions on Energy Conversion, September 2004

[15] D.B. Nelson, M.H. Nehrir, C.Wang "Unit Sizing and Cost Analysis of Stand-Alone Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Power Generation Systems" Renewable Energy,August 2005

[16] M.J. Khan, M.T. Iqbal "Dynamic Modeling and Simulation of a Small Wind-Fuel Cell Hybrid Energy System" Renewable Energy, 30, 2005.

[17] T. Senjyu, T. Nakaji, K. Uezato, T. Funabashi "A Hybrid Power System

Using Alternative Energy Facilities in Isolated Island" IEEE Transactions on Energy Conversion, June 2005.

[18] S. Roussin, "Le journal semestriel des systèmes photovoltaïques hybrides au Canada" , Centre De La Technologie De L'énergie De Canmet—Varennes Programme Photovoltaïque Et Systèmes Hybrides, P 4 ,Numero 7, Ete 2004 .

chapitre 03

[1] I.VECHIU, "Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome", thèse de doctorat, université de HAVER, 2005.

[2] R.SAISSET, "*Contribution à l'étude systémique de dispositifs énergétiques à composants électrochimiques*", thèse de doctorat, institut national polytechnique de Toulouse, 2004.

[3] A.LABOURET, M.VILLOZ, « *Énergie solaire photovoltaïque* », DUNOD, France, 2ème édition, 2005.

[4] J.LABBÉ, « L'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isoles », thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 2006.

[5] Accord Eco Vert, www.accord-ev.com.

[6] M.VINARD, "Evaluation technico-économique d'une centrale de production d'hydrogène à partir d'énergie éolienne", AEROWATT, 2008.

[7] VEZIROGLU T., "Hydrogen Energy system: a Permanent Solution to Global Problems", I.A.H.E. 1999.

[8] Y. HONGXING, Z. WEI, L. CHENGZHI, "Optimal design and techno-economic analysis of a hybrid solar–wind power generation system", Applied Energy 86 (2009) 163–169.