



UNIVERCITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des hydrocarbures de l'énergie

Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers

Département des énergies renouvelables

Mémoire

Présenté pour l'obtention d'un diplôme de

MASTER

Spécialité : Energie Renouvelable

Option : Energies Renouvelables en mécanique

Présenté par :

Chahbi Mohammed

Berrached Moussa

Thème

**Etude comparative de deux systèmes hybrides
éolien/hydrogène et PV/éolien/hydrogène pour
alimenter une maison isolée en Adrar**

Soutenu publiquement le :20/09/2020

Devant le jury :

Président	Mr. Bouhekima Bachir	Professeur	Université d'OUARGLA
Examineur	Mr. Benmnine Djamal	M.C.B	Université d'OUARGLA
Encadreur	Mr. DOUAK MOHAMED	M.A.A	Université d'OUARGLA

Année universitaire 2019/2020

I. Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A Mes cher frères et sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A ma cher ami Imane pour son appui et son encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit L'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

**A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,**

**A Mes cher frères et sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur
soutien moral,**

**A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours
universitaire, Que ce travail soit L'accomplissement de vos vœux tant
allégués, et le fruit de votre soutien infailible,**

Merci d'être toujours là pour moi.

II. Remerciements :

Avant toute parole et mots, nous tenons à remercier DIEU le Tout Puissant, pour le courage et la patience qu'il nous a offert, afin de réaliser ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos parents et tous nos proches les plus chers.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur Mr M. Douak sans oublier Mr Mohammed laissaoui au centre de développement des énergies renouvelables Bouzariaa, qui nous ont apporté une aide précieuse.

Nous leurs exprimons notre gratitude pour leurs grandes disponibilités ainsi que pour leurs compréhensions et les encouragements qu'ils nous ont apporté, nous leurs sommes reconnaissants.

Nos sincères et profonds remerciements à nos professeurs de la Faculté des hydrocarbures de l'énergie Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers en particulier ceux du département des énergies renouvelables nous leurs exprimons un profond respect.

Nos remerciements à tous nos amis pour leurs aides et leur soutien. Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Table des matières

1.	Introduction générale :	15
1.1	Introduction.....	17
1.2	Généralités sur les systèmes hybrides	17
1.2.1	Définition d'un système hybride.....	17
1.2.2	Classification des systèmes hybrides	17
1.2.3	Critères d'optimisation et Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides	18
1.2.4	Configuration des systèmes d'énergie hybrides (SEH)	18
1.2.4.1	Architecture à bus à courant continu(CC)	19
1.2.4.2	Architecture mixte à bus à CC/CA	20
1.2.4.3	Architecture à bus à CA	21
1.3	Les différentes chaines de conversion d'un systèmes hybrides:.....	21
1.4	Système hybride étudié (PV /Eolienne/PAC/batteries)	22
1.4.1	Avantage et inconvénient du système :.....	23
	Avantages :	23
1.4.2	Les différents composants du système	23
1.4.2.1	Générateur photovoltaïque :	23
1.4.2.2	Les convertisseurs statiques.....	24
1.4.2.3	Energie éolienne	26
1.4.2.4	Pile à combustible	29
1.4.2.5	Electrolyseur	30
1.4.2.6	Les batteries [15].....	30
1.5	Conclusion	31
2.1.	Présentation générale du système.....	33
2.2.	Principaux composants	34
2.2.1.	Modules photovoltaïques	34
2.2.1.1.	Principe de la conversion photovoltaïque	34
2.2.1.2.	Caractéristiques des modules photovoltaïques	
2.2.1.2.1.	Caractéristiques I-V du module photovoltaïque.....	35
2.2.1.2.2.	Puissance maximale	36

Liste des figures

2.2.1.2.3.	Tension de circuit ouvert et courant de court-circuit	37
2.2.1.2.4.	Facteur de forme	37
2.2.1.2.5.	Effet de la température et de l'éclairement	37
2.2.2.1.	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	39
2.2.2.2.	Caractéristiques d'un aérogénérateur	41
2.2.2.3.	Puissance d'un aérogénérateur [34]	41
a	Puissance éolienne moyenne utile	41
b.	Puissance éolienne moyenne utilisable.....	42
2.2.3.	Électrolyseurs	43
2.2.3.1.	Description.....	43
2.2.3.2.	Principe de fonctionnement des électrolyseurs	43
2.2.3.3.	Caractéristiques des électrolyseurs	44
2.2.3.3.1.	Tension d'une cellule	44
2.2.3.3.2.	Caractéristique I-V des électrolyseurs	44
2.2.3.3.3.	Rendement d'un électrolyseur	45
2.2.4.	Stockage de l'hydrogène	46
a.	Stockage sous forme liquide.....	46
b.	Stockage gazeux sous haute pression.....	46
c.	Stockage par hydrures.....	46
2.2.5.	Piles à combustible	47
2.2.5.1.	Description.....	47
2.2.5.2.	Principe de fonctionnement d'une pile à combustible	47
2.2.5.3.	Types de piles à combustible.....	48
2.2.5.4.	Caractéristiques des piles à combustible	49
2.2.5.4.1.	Caractéristiques I-V d'une pile à combustible	49
2.2.5.4.2.	Pertes d'énergie d'une pile à combustible	49
2.2.5.4.3.	Rendement d'une pile à combustible.....	50
Conclusion.		50
3.1.	Introduction :	52
3.2.	Description du logiciel HOMER :	52
3.3.	Présentation du système hybride :	53

Liste des figures

3.3.1.	Scénario 1 : Un système hybride éolien–pile à combustible ;.....	53
3.3.2	Scénario 2 : Un système hybride éolien-photovoltaïque-pile à combustible.	53
3.4.	Données d’entrées :	54
3.4.1	Les données du vent :	54
3.4.2.	Les données solaires :	56
3.4.3	La charge électrique :	56
3.4.4	L’aérogénérateur :	58
3.4.5	Le générateur photovoltaïque :	59
3.4.6	L’électrolyseur :	59
3.4.7	La pile à combustible :	60
3.4.8	Le convertisseur :	60
3.4.9	Le réservoir d’hydrogène :	61
3.5.	Dimensionnement :	61
3.6	Simulation des systèmes considérés:	63
3.6.1.	Simulation du système éolien-pile à combustible :	63
3.6.1.1	Production énergétique du SEH :	63
3.6.1.2	Production énergétique mensuelle :	63
3.6.1.3	Production énergétique annuelle :	68
3.6.1.4	Comparaison entre la production électrique et la consommation de l’électrolyseur: .	70
3.6.2	Simulation du système éolien-photovoltaïque-pile à combustible :	72
3.6.2.1	Production énergétique du SEH :	72
3.6.2.2	Production énergétique mensuelle :	72
3.6.2.3	Production et consommation annuelle :	77
3.6.2.4	Comparaison entre la production des différentes sources et celle consommé par l’électrolyseur :	79
3.7.	Comparaison entre les deux scénarii étudiés:	81
3.8.	Conclusion :	82

III. Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1- 1	Classification des systèmes hybrides.....	17
Figure 1- 2	Différentes critères d'optimisation et logiciel de dimensionnement.....	18
Figure 1- 3	Configuration du SEH à bus continu.....	19
Figure 1- 4	Configuration du SHE à deux bus à CC et à CA	20
Figure 1- 5	configuration du système hybride à bus alternatif.....	21
Figure 1- 6	Le système d'énergie hybride étudié	23
Figure 1- 7	Circuit électrique de le hacheur dévolteur.	25
Figure 1- 8	Circuit électrique de le hacheur survolteur	25
Figure 1- 9	Schéma hacheur série-parallèle.	26
Figure 1- 10	Principaux organes du système de conversion éolien	26
Figure 1- 11	Eoliennes à axe vertical	27
Figure 1- 12	Composantes d'une éolienne axe horizontal.	28
Figure 1- 13	Schéma descriptif du principe de fonctionnement PAC.	29

Chapitre 2

Figure 2- 1	Description du système PV-W-PAC.....	33
Figure 2- 2	Principe de l'effet photovoltaïque	34
Figure 2- 3	Association de m cellules en série et n cellules en parallèle.	35
Figure 2- 4	Caractéristique de m cellules en série et n cellules en parallèle.....	36
Figure 2- 5	Caractéristiques puissance-tension d'un module PV	36
Figure 2- 6	Influence de la température sur la puissance de la jonction pour un éclairement constant.....	38
Figure 2- 7	Influence de l'éclairement sur les caractéristiques puissance-tension de la jonction pour une température constante.....	39
Figure 2- 8	Schéma descriptif d'une éolienne à axe horizontal	40
Figure 2- 9	Courbe typique de puissance d'un aérogénérateur en fonction de la vitesse du vent	41
Figure 2- 10	Distributions de vitesses du vent et limites des vitesses caractéristiques d'une machine quelconque (démarrage, nominale et arrêt).....	42
Figure 2- 11	Schéma de fonctionnement d'une cellule d'un électrolyseur	44
Figure 2- 12	Influence de la température sur la caractéristique courant-tension d'un électrolyseur alcalin.....	45
Figure 2- 13	Principaux composants d'une pile à combustible	47
Figure 2- 14	Principe de fonctionnement d'une pile à combustible de type PEM alimentée en hydrogène et en oxygène....	48
Figure 2- 15	: Caractéristiques "Tension-Densité de courant" de la pile à combustible	49

Chapitre 3

Figure 3- 1	Équipements sélectionnés dans HOMER	53
Figure 3- 2	Architecture des scénario 1 et 2 respectivement	54
Figure 3- 3	Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent pour la région d'Adrar à 10m du sol	55
Figure 3- 4	Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région d'Adrar	55
Figure 3- 5	Irradiation horizontal global et indice de clarté	56
Figure 3- 6	Simulation de la charge à alimenter	57
Figure 3- 7	Charge électrique moyenne	57

Liste des figures

Figure 3- 8Caractéristiques de l'aérogénérateur PGE 20/25	58
Figure 3- 9Courbe de puissance de l'aérogénérateur PGE 20 /25	58
Figure 3- 10tableau des configurations possibles	62
Figure 3- 11Dimensions choisis par HOMER pour la scénario 1 et 2 respectivement	63
Figure 3- 12Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de janvier.	63
Figure 3- 13Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de février.	64
Figure 3- 14: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mars.	64
Figure 3- 15Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'avril.	64
Figure 3- 16: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mai.	65
Figure 3- 17Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin.	65
Figure 3- 18: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juillet.	65
Figure 3- 19Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'aout.	66
Figure 3- 20: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de septembre.	66
Figure 3- 21: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'octobre.	66
Figure 3- 22: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de novembre.	67
Figure 3- 23Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre.	67
Figure 3- 24Production horaire de l'aérogénérateur et de la PAC	68
Figure 3- 25Production électrique moyenne mensuelle	69
Figure 3- 26Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production de l'aérogénérateur	69
Figure 3- 27Comparaison entre le stockage d'hydrogène et la production de l'éolienne pour le mois de février	70
Figure 3- 28Comparaison entre le stockage d'hydrogène et la production de l'éolienne pour le mois de novembre	70
Figure 3- 29: Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de février	71
Figure 3- 30Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de mai	71
Figure 3- 31Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois d'aout	71
Figure 3- 32Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de novembre	72
Figure 3- 33Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de janvier	72
Figure 3- 34: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de février	73
Figure 3- 35: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mars	73
Figure 3- 36Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'avril	73

Liste des figures

Figure 3- 37: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mai	74
Figure 3- 38Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin	74
Figure 3- 39Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juillet	74
Figure 3- 40: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'aout	75
Figure 3- 41: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de septembre	75
Figure 3- 42Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'octobre	75
Figure 3- 43Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de novembre	76
Figure 3- 44Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre	76
Figure 3- 45Production horaire du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et de la PAC	77
Figure 3- 46Production électrique moyenne mensuelle	78
Figure 3- 47Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production du générateur photovoltaïque et l'aérogénérateur	78
Figure 3- 48Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de février	79
Figure 3- 49: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de mai	79
Figure 3- 50: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois d'aout	80
Figure 3- 51: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de novembre	80
Figure 3- 52comparaison entre le cumul des deux configurations pour chaque mois de l'année	81

IV. Liste des tableaux

Tableau 2- 1 Différents types de piles à combustible.....	48
Tableau 3- 1Caractéristiques géographiques de la station de mesure d’Adrar	54
Tableau 3- 2Données statistiques de la vitesse du vent.....	56
Tableau 3- 3Propriétés du champ photovoltaïque	59
Tableau 3- 4Propriétés de l’électrolyseur	59
Tableau 3- 5Propriétés de la PAC	60
Tableau 3- 6Caractéristiques des convertisseurs.....	60
Tableau 3- 7Caractéristiques des réservoirs d’hydrogène.	61
Tableau 3- 8Fiche de consommation des appareils électrique pour une seule maison	61
Tableau 3- 9Production du SEH.....	68
Tableau 3- 10Consommation électrique	68
Tableau 3- 11Production du SEH.....	77
Tableau 3- 12Consommation électrique	77
Tableau 3- 13Comparaison de la production mensuelle moyenne entre les deux scenarios	81

V. Nomenclature

Abréviations

• SEH	Système d'énergie hybride
• PV	Photovoltaïque.
• PAC	Pile à combustible.
• CC	Courant continu.
• CA	Courant alternatif.
• GPV	Générateur photovoltaïque.
• PO	Méthode de perturbation et d'observation
• MPPT	Maximum power point tracking (poursuite de point de puissance maximal).
• PPM	Point de puissance maximale.
• PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell (Pile à combustible à membrane échangeuse de protons)
• FEM	Force électromotrice.
• STC	Condition d'essai standard (standard test condition).
• PDD	Profondeur de décharge des batteries
• EDC	Etat de charge.
• PEM	Proton Exchange Membrane
• SGP	Système gestion de puissance. Symboles

Symboles

• A_{PV}	Surface photovoltaïque (PV) (m ²)
• A_{WT}	Zone des pales d'éoliennes (m ²)
• bw_{min}	Bande passante minimale
• N_{H_2}	Nombre de réservoirs d'hydrogène
• N_{BAT}	Nombre de batteries
• N_d	Nombre de variables de décision
• P_{pv}	Puissance de sortie de chaque système PV (kW)
• bw	Bande passante de génération
• bw_{max}	Bande passante maximale
• P_{pv}	Puissance électrique de sortie des panneaux photovoltaïques (kW)
• C_B	Capacité nominale de la banque de batteries (kWh)
• PW_{FC}	Présent valeur pile à combustible (\$)

• CC	Coût en capital (\$)
• Pr	puissance nominale de l'éolienne (kW)
• CRF	Facteur de recouvrement du capital
• Pwt	Puissance produite de chaque éolienne (kW)
• C_{PV}	Coût unitaire du panneau PV (\$/m ²)
• Pwt	Puissance électrique de sortie des éoliennes (kW)
• C_{Mnt-PV}	Coût annuel d'exploitation et d'entretien du système pv (\$/m ² /an)
• PAR_{min}	Taux d'ajustement minimum de tangage
• C_{Mnt-WT}	Coût annuel d'exploitation et d'entretien des éoliennes (\$/m ² /an)
• PAR_{max}	Taux d'ajustement de tangage maximal
• C_{WT}	Coût unitaire de l'éolienne (\$/m ²)
• PAR	Taux d'ajustement de tangage
• C_{Mnt-FC}	Coût d'entretien annuel de chaque carburant
• r_1, r_2, r_3	Nombre aléatoire uniforme dans la plage [0, 1]
• CFC	coût de la pile à combustible (\$)
• R	Rayonnement solaire (kW/m ²)
• RC	Coût de remplacement (\$)
• SOC	État de la charge
• C_{H2}	Coût du réservoir de stockage (\$)
• s	Taille de l'étape
• C_{Mnt-H2}	Coût d'entretien annuel du réservoir d'hydrogène (\$/an)
• T	Température
• $T0$	température de départ
• CBS	prix de la batterie (\$)
• V	Vitesse du vent (m/s)
• DOD	Profondeur maximale de décharge
• Vr	Vitesse nominale du générateur éolien (m/s)
• E_{pv}	L'énergie électrique générée par les panneaux photovoltaïques (kWh)
• V_{cut-in}	Vitesse de coupure du générateur éolien (m/s)
• E_{wt}	Énergie électrique produite par les éoliennes (kWh)
• $V_{cut-out}$	Vitesse de découpe du générateur éolien (m/s)
• EL	Demande d'énergie (kWh)
• WF	Un vecteur ayant des éléments distribués au hasard dans la plage [-wf, wf]
• E_g	Les énergies générées par les panneaux photovoltaïques et les éoliennes (kWh)
• X_{FC}	Numéro de fois un remplacement d'une pile à combustible
• $HMCR$	Mémoire d'harmonie compte tenu du taux
• $X(iter)$	Solution actuelle
• $iter$	Index d'itération
• X_{new}	Nouvelle solution
• $iter_{max}$	Nombre maximal d'itérations
• η_{pv}	L'efficacité combinée des collecteurs pv et de la

• DC/DC	convertisseur (%) j taux d'intérêt (%)
• η_{FC}	Efficacité (%) Coût du cycle de vie de LCC (\$)
• η_{inv}	Efficacité de l'onduleur (%)
• L_{FC}	Durée de vie de la pile à combustible (année)
• η_{Elect}	Efficacité électrolyser (%)
• MC	Coût d'entretien (\$)
• η_{BC}	Efficacité de charge de la banque de batterie (%)
• n	Durée de vie du système (années)
• η_{BD}	L'efficacité de décharge de la banque de batterie (%)
• N_{pv}	Nombre de panneaux PV
• σ	Taux d'autodécharge horaire
• N_{wt}	Nombre d'éoliennes

1. Introduction générale :

Les énergies renouvelables apparaissent de plus en plus une des solutions alternatives d'avenir en raison de raréfaction des ressources fossiles, mais certaines énergies renouvelables ne peuvent pas satisfaire les besoins de la société en raison de leur dépendance météorologique et donc la solution la plus favorable est la combinaison de plusieurs sources autrement dit les systèmes multi-sources ou systèmes hybrides.

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono sources elles présentent un intérêt évident par leur flexibilité incomparable par rapport aux solutions mono sources. Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implémentation en amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite en aval. [1]

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire est une contribution pour une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelables dans un système à énergie hybride (SEH). Notre travail sera réparti en trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous donnons une description générale des systèmes à énergie hybride (SEH), ainsi que des notions sur les différentes sources constituant le système Étudier. Il est composé d'un générateur photovoltaïque, éolienne, d'une pile à combustible, d'un Électrolyseur et des batteries de stockage.

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation du système à énergie hybride étudié. Il s'agit de représenter chaque constituant par son modèle mathématique.

Dans le chapitre trois on a préféré diviser le travail en deux parties. Sera consacré au dimensionnement et la simulation de notre système hybride EnR/H2, ces différentes simulations effectuées sous le logiciel HOMER pour évaluer les performances de l'installation choisie, dans des conditions de fonctionnement autonome.

CHAPITRE : 1

1.1 Introduction

Les systèmes d'énergies hybrides sont parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables. 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. [2]

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.

1.2 Généralités sur les systèmes hybrides

1.2.1 Définition d'un système hybride

Un système d'énergie hybride est composé d'au moins deux sources énergétiques reliées au bus par des convertisseurs, permettant de contrôler la tension et le courant fournis par chacune des différentes sources. [3]

Objectif d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable, tout en fournissant une bonne qualité.

1.2.2 Classification des systèmes hybrides

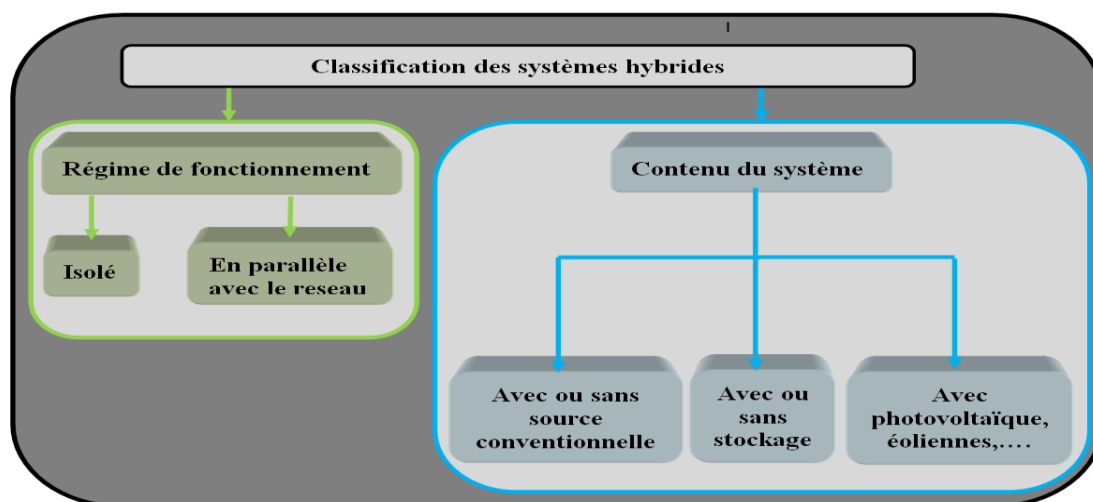


Figure 1- 1Classification des systèmes hybrides

Les classifications de SEH sont réalisées selon différents critères, généralement des classifications les plus répandus [2] sont illustrée sur la Figure (1-1) ci-dessous.

1.2.3 Critères d'optimisation et Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement parmi lesquels les plus connus sont présentés dans la figure (1-2) ci-dessous.

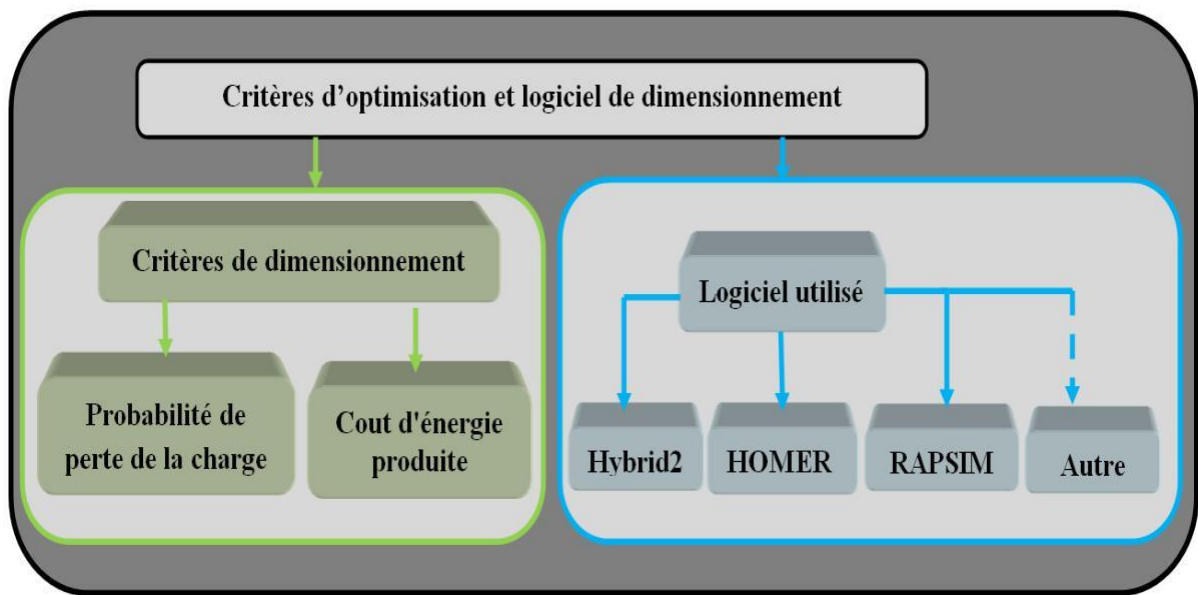


Figure 1- 2 Différentes critères d'optimisation et logiciel de dimensionnement

1.2.4 Configuration des systèmes d'énergie hybrides (SEH)

Les générateurs électriques d'un SEH peuvent être connectés en différentes manières. Ces configurations constituées par des sources d'énergies renouvelables comme le photovoltaïque et le vent, systèmes de stockage et des générateurs diesels, ils se résument en trois types [4], [6]:

- ❖ Architecteur à bus à CC
- ❖ Architecteur à bus CC-CA (la connexion et mixte, bus à CC et bus à CA)
- ❖ Architecteur à bus à CA

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

1.2.4.1 Architecture à bus à courant continu(CC)

Dans le système hybride présenté dans la figure (1-3), 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. Les générateurs sont connectés en série avec l'onduleur pour alimenter les charges alternatives. L'onduleur doit alimenter les charges alternatives à partir du bus continu.

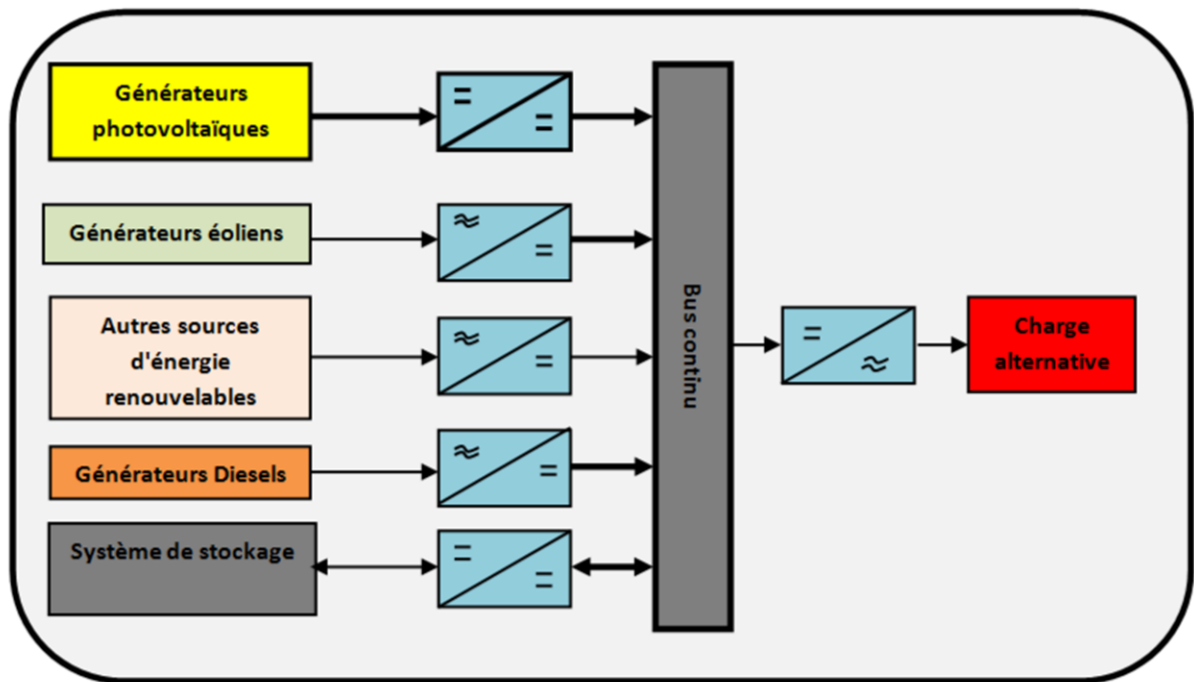


Figure 1- 3 Configuration du SEH à bus continu

Avantage:

- ❖ La connexion de toutes les sources à un bus à CC simplifie le système de commande.
- ❖ Le panneau photovoltaïque peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance maximale pendant la demande en Puissance.

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 panneaux photovoltaïques et la pile à combustible ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge.

1.2.4.2 Architecture mixte à bus à CC/CA

La configuration à deux bus, à CC et à CA, est présentée dans la figure (1-4). Celle-ci a des performances supérieures par rapport à la configuration antérieure. Dans cette configuration les sources d'énergies 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 de l'onduleur. Les convertisseurs situés entre les deux bus (le redresseur et l'onduleur) peuvent être remplacés par un convertisseur bidirectionnel, qui est en fonctionnement normal, réalise la conversion CC/CA (fonctionnement onduleur).

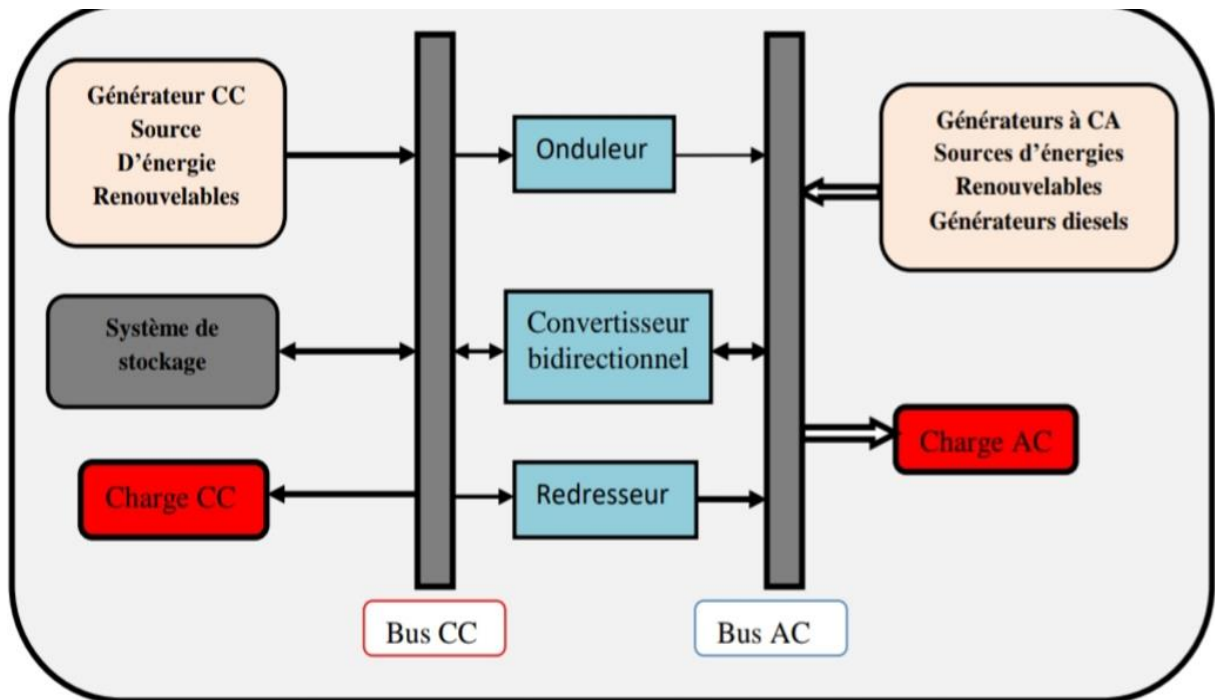


Figure 1- 4 Configuration du SHE à deux bus à CC et à CA

Avantages:

- ❖ 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 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 de sortie du générateur CA).

1.2.4.3 Architecture à bus à CA

Toutes les sources de productions sont reliées au bus CA via des convertisseurs sauf le générateur diesel qui peut fixer la fréquence de bus. Un couplage de tous les consommateurs et de tous les générateurs du côté CA permet désormais de réaliser des systèmes flexibles, il est possible d'intégrer différentes sources énergétiques, aussi bien renouvelable que conventionnelles.

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 ;

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.

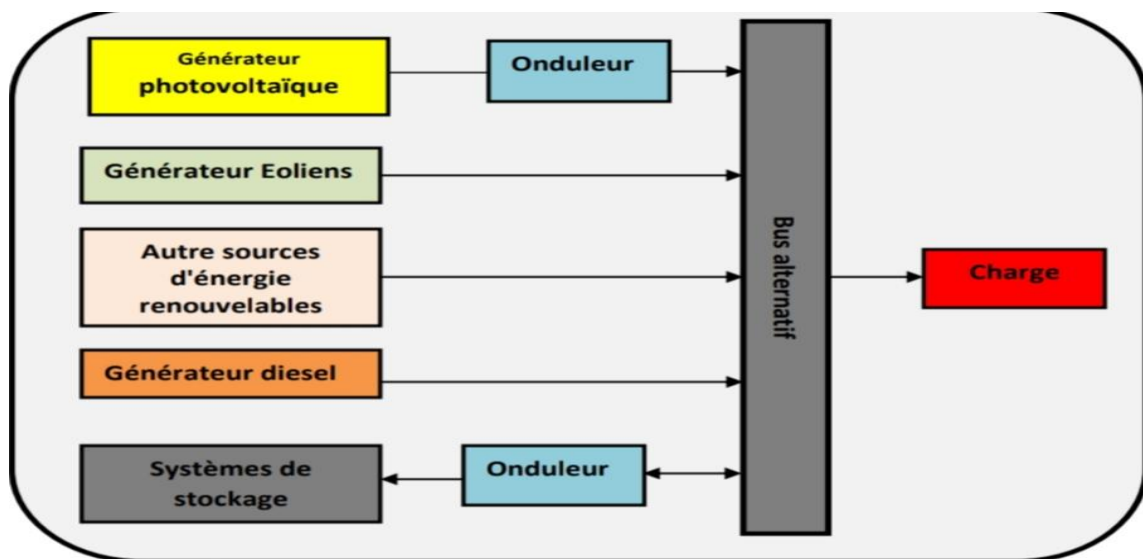


Figure 1- 5 configuration du système hybride à bus alternatif

1.3 Les différentes chaînes de conversion d'un systèmes hybrides:

Le système hybride de production d'énergie, de façon générale, est exploite plusieurs sources disponibles. Alor nous allons citer les différentes combinaisons des systèmes hybrides : [5]

- ❖ SEH photovoltaïque/éolien/groupe électrogène;
- ❖ SEH photovoltaïque/groupe électrogène;
- ❖ SEH éolien/source conventionnelle;
- ❖ SEH photovoltaïque/éolien/stockage;
- ❖ SEH photovoltaïque/pile à combustible/stockage.

Ce système hybride fonctionne surtout en mode autonome dans des sites où l'approvisionnement en carburant diesel ou le raccordement au réseau électrique est difficile, voire même impossible.

1.4 Système hybride étudié (PV /Eolienne/PAC/batteries)

L'architecture complète du système multi-source étudié dans le cadre de ce travail est illustrée dans la figure 1.6. Le système d'énergie hybride autonome proposé est composé de la combinaison de trois sources d'énergie : photovoltaïque, éolienne, pile à combustible plus le système de stockage. Tous ces éléments sont connectés à un bus DC d'une tension nominale de 660 V, afin d'alimenter les charges continues et alternatives et un électrolyseur. Un onduleur triphasé assure l'interfaçage de la charge AC avec le bus DC. Selon la figure 1.6, nous avons :

- Le système PV se compose de plusieurs panneaux photovoltaïques connectés au bus DC via un hacheur du type Buck-boost qui permet d'obtenir le maximum de puissance du GPV grâce à l'utilisation d'un algorithme MPPT.
- Le système éolien formé par une turbine éolienne à axe horizontal, une machine synchrone à aimants permanents, un pont de diodes qui assure la conversion électrique AC/DC et un hacheur du type boost qui permet d'obtenir le maximum de puissance de l'éolien grâce à l'utilisation d'un algorithme MPPT.
- La pile à combustible est liée au bus DC par un hacheur de type boost.
- La batterie est reliée au bus DC à travers un convertisseur réversible en courant, il contrôle l'intensité du courant délivré ou consommé par la batterie tout en assurant une adaptation de la tension entre la batterie et le bus DC.

Une modélisation de chaque composant est décrite ci-dessous.

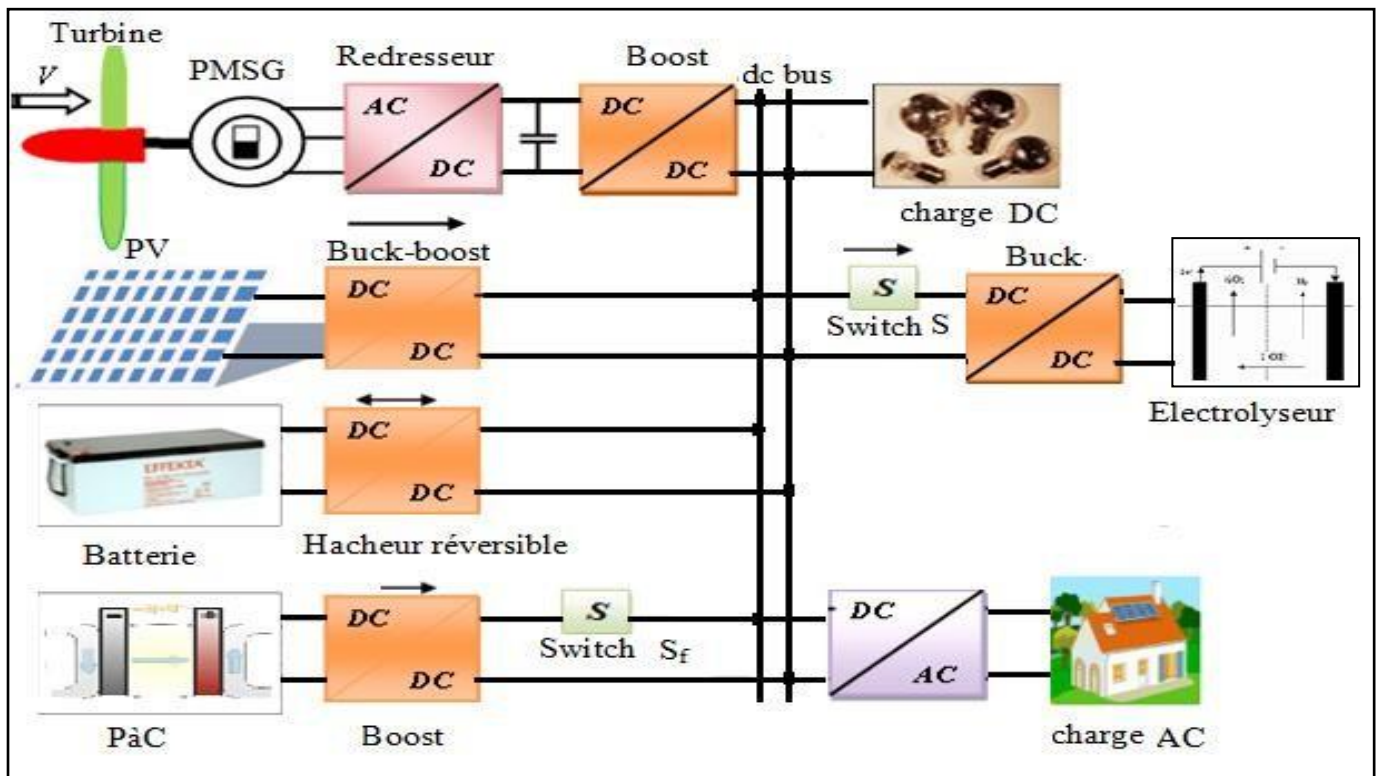


Figure 1- 6 Le système d'énergie hybride étudié

1.4.1 Avantage et inconvénient du système :

Avantages :

- ❖ Capable de satisfaire des charges évolutives;
- ❖ Production d'une énergie propre;
- ❖ Non dépendant d'une seule source d'énergie.

Inconvénients :

- ❖ Coût de réalisation élevé;
- ❖ Complexité de système par rapport à d'autres systèmes.

1.4.2 Les différents composants du système

1.4.2.1 Générateur photovoltaïque :

C'est un générateur électrique de courant continu il est complet assurant la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques. L'énergie est stockée dans des accumulateurs et transformée en courant alternatif suivant le type d'application.

1.4.2.1.1 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque les plus importants sont :

Avantages

- ❖ Energie indépendante, et performante, est renouvelable et gratuit.
- ❖ Energie propre
- ❖ Non-polluante Aucun bruit.

Inconvénients :

- ❖ Les rendements des panneaux PV sont encore faibles.
- ❖ Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- ❖ Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

1.4.2.2 Les convertisseurs statiques

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative.

1.4.2.2.1 Convertisseur DC/AC (Onduleur)

Le Convertisseur est dimensionné en fonction de transformer le courant continu, produit par le générateur solaire, en courant alternatif monophasé ou triphasé. Un onduleur est généralement connu pour fonctionner sur une plage assez réduite. Il est très efficace pour des caractéristiques d'entrées et de sortie fixe. Son coût assez élevé et la nature variable de l'ensoleillement et du couple résistant des pompes en générale ont longtemps exclu l'emploi des moteurs à courant alternatif pour le pompage solaire. [7]

1.4.2.2.2 Convertisseur DC/DC (Hacheur)

Les convertisseurs de tension continu-continu sont utilisés pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue de départ peut être un panneau photovoltaïque ou une batterie d'accumulateurs.

On distingue trois types de convertisseurs continu-continu :

a) Convertisseur dévolteur (hacheur série)

Ce convertisseur permet de convertir une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur [8]

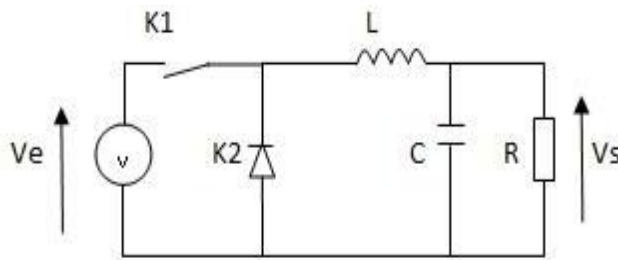


Figure 1- 7Circuit électrique de le hacheur dévolteur.

Fonctionnement

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage T ($T=1/f$), comporte deux étapes :

- ❖ Lors de la première étape, l'interrupteur $K1$ passant et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. Cette phase dure de 0 à αT , avec α compris entre 0 et 1 . α est appelé rapport cyclique.
- ❖ Lors de la seconde étape, l'interrupteur $K1$ est bloqué. La diode devient passante. Cette phase dure de αT à T .

b) Convertisseur survolteur (hacheur parallèle) [9]

Un convertisseur survolteur (Boost) permet de convertir une tension d'entrée continue en une autre tension continue de plus forte mais de valeur supérieure à celle de l'entrée. C'est pour cela qu'il est dit élévateur de tension.

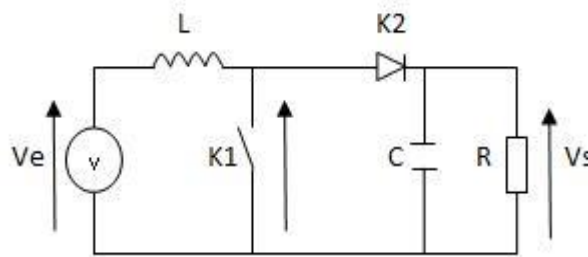


Figure 1- 8Circuit électrique de le hacheur survolteur

Fonctionnement

- ❖ Lors de la première partie du cycle de fonctionnement, de 0 à $\alpha.T$, l'interrupteur commandé est fermé (passant). Cette fois, la source et la charge ne sont pas en contact durant cette phase. La diode est alors bloquée.

Lors de la seconde partie du cycle, de $\alpha.T$ à T , on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. C'est alors que la source et la charge sont reliées.

c) Convertisseur dévolteur-survolteur

Dans ce dispositif, la tension peut être augmentée ou diminuée selon le mode de commutation. Cependant, La tension de sortie est de signe opposé à la tension d'entrée. Tandis que, lorsque l'interrupteur K1 est sur la position (on) le courant dans l'inductance

Augmente, l'énergie est stockée ; et quand l'interrupteur tourne sur la position (off). La tension à Travers l'inductance est renversée et l'énergie stockée se transfert vers la charge via la diode.

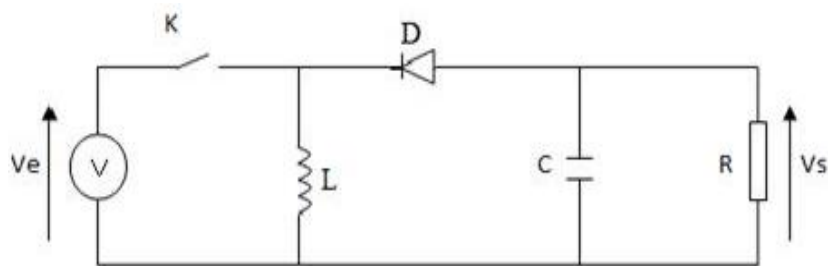


Figure 1- 9 Schéma hacheur série-parallèle.

1.4.2.3 Energie éolienne

Un aérogénérateur, plus habituellement appelé éolienne, est un système qui permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice [10]

Le schéma des principaux organes du système de conversion éolien est représenté par la figure 1.10.

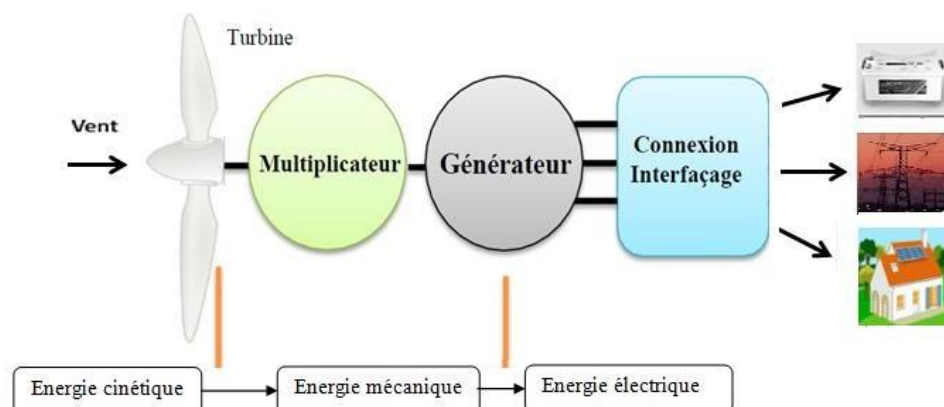


Figure 1- 10 Principaux organes du système de conversion éolien

L'énergie éolienne est modulaire, ce qui permet de retenir en fonctionnement la plus grande partie de l'installation lorsqu'une pièce est défectueuse. Elles sont rentables dans les régions bien ventées.

Néanmoins, les inconvénients suivants sont présents:

- Tributaire aux conditions météorologiques
- Coût de construction reste très élevé;
- Appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident ;
- Bruit et impact visuel

1.4.2.3.1 Configurations d'aérogénérateurs

Les configurations d'aérogénérateurs sont possibles. Selon la forme d'un système éolien, nous distinguons deux grandes familles : éoliennes à axe vertical et éoliennes à axe horizontal

a) Eoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc facilement accessibles. Certaines de ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage, pour cette raison, ce type d'éoliennes est très peu répandu et assez mal connu.

Il existe principalement trois technologies : turbines Darrieus classiques, turbines Darrieus à pâles droites (type H), turbine de type Savons (figure 1.11). [11]



Figure 1- 11 Eoliennes à axe vertical

b) Eoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus utilisées, parce qu'elles :

- Présentent un rendement aérodynamique plus élevé;
- Démarrent de façon autonome ;
- Présentent un faible encombrement au niveau du sol ; Malgré cela, elles possèdent certains inconvénients.
 - Coût de construction très élevé;
 - Appareillage se trouve au sommet de la tour, ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.

Une éolienne à axe horizontales généralement constituée par les trois éléments de base qui sont : le mât (tour ou pylône), le rotor (moyeu et pales) et la nacelle (figure 1.12). [12]

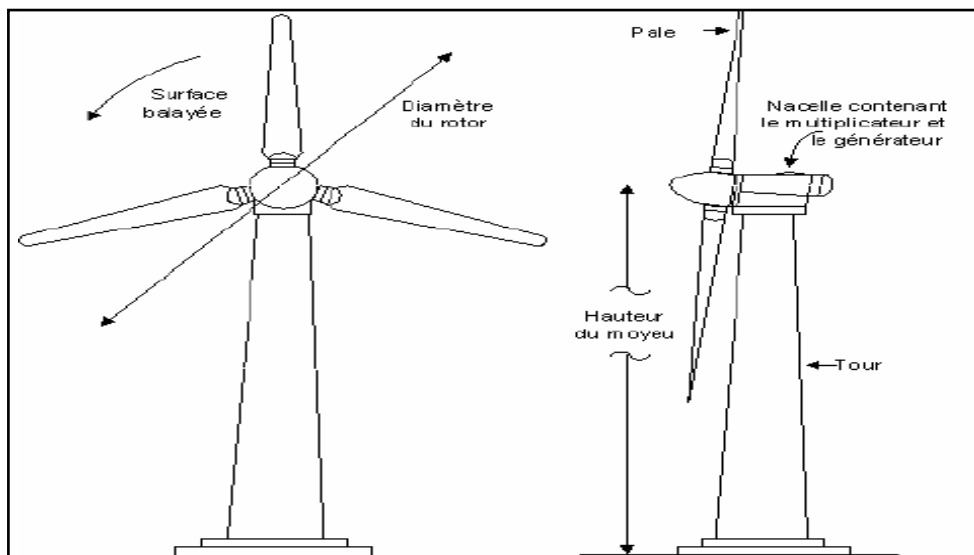


Figure 1- 12 Composantes d'une éolienne axe horizontal.

Mât (Tour): C'est un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, où à l'intérieur sont disposés les câbles pour transporter l'énergie électrique, Il doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Utiliser la tour pour supporter l'ensemble (rotor, nacelle), à une hauteur suffisante afin de bénéficier au maximum de l'énergie du vent.

Rotor: il est composé des pâles qui sont montées sur un moyeu. Le rôle essentiel du rotor est de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

- **Pales:** Les pâles sont une partie très importante des éoliennes. Elles captent l'énergie cinétique du vent, et la transfèrent au moyeu du rotor. Le nombre de pâles influe directement Sur l'efficacité de conversion du rotor. Plus le nombre de pales est élevé, plus le couple de démarrage sera grandet plus la vitesse de rotation sera petite
- **Moyeu:** C'est le support des pâles, qui permet d'orienter ces dernières pour réguler la vitesse de rotation.

Nacelle: montée au sommet du mât, elle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler la turbine éolienne au générateur électrique.

- **Générateur électrique :** il transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- **Multiplicateur :** Il adapte la vitesse de rotation de la turbine éolienne à celle du générateur électrique.

1.4.2.4 Pile à combustible

1.4.2.4.1 Définition

Une PAC est un générateur électrochimique d'énergie ,elle transforme directement l'énergie chimique du combustible en énergie électrique sans passer par l'énergie thermique.[13]

1.4.2.4.2 Principe de fonctionnement

Elle est fonctionnée sur le mode inverse de l'électrolyse de l'eau. En fait, on efface la source de tension on alimente en hydrogène et oxygène et on constate l'apparition d'une tension électrique entre les deux électrodes; le dispositif est devenu un générateur électrique qui fonctionnera aussi longtemps qu'il sera alimenté. PAC est constituée de deux électrodes (anode et cathode) séparées par un électrolyte qui bloque le passage des électrons mais laisse circuler les ions.

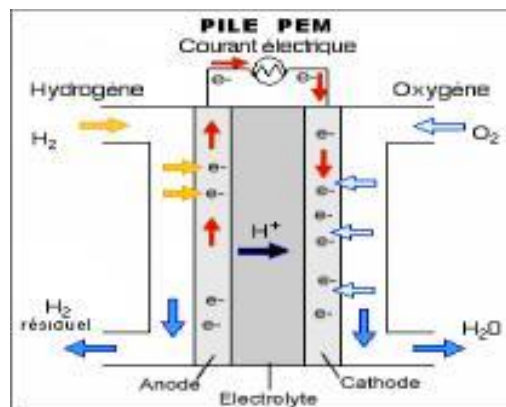


Figure 1- 13 Schéma descriptif du principe de fonctionnement PAC.

1.4.2.5 Electrolyseur

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

Electrolyseurs alcalin

Electrolyseurs PEM (Proton Exchange Membrane)

Electrolyseurs à haute température [14]

1.4.2.6 Les batteries [15]

Les batteries sont généralement intégrées au générateur photovoltaïque, elles permettent le stockage de l'électricité pour les systèmes isolés, et restitue la nuit ou les journées nuageuse cette électricité accumulée durant la journée. Il existe différents types de batteries.

1.4.2.6.1 Caractéristiques générales des batteries

Les accumulateurs destinés aux installations photovoltaïques doivent avoir les qualités

Suivantes :

- ❖ Être robustes;
- ❖ Avoir un bon rendement de charge et de décharge;
- ❖ Avoir une faible résistance interne;
- ❖ Avoir un taux d'autodécharge faible;
- ❖ Maintenance réduite;

- ❖ Posséder une grande réserve d'électrolyte;
- ❖ Avoir une durée de vie importante.

1.4.2.6.2 Différents types de batterie

- ❖ La batterie plomb acide;
- ❖ La batterie nickel cadmium;
- ❖ La batterie sodium chlorure de nickel;
- ❖ La batterie lithium-ion;
- ❖ La batterie zinc air.

Dans ce travail, notre choix se porte sur les batteries plomb acide vue aux avantages qu'elles présentent:

- ❖ Prix qui revient moins cher que les autres types de batteries;
- ❖ Elles sont solides;
- ❖ Capable de fournir des courants élevés.

1.5 Conclusion

L'objectif de ce travail est d'étudier un système hybride destiné à alimenter une charge variable dans l'habitat. Il est constitué essentiellement de panneaux photovoltaïques, éolienne, d'une pile à combustible et de batteries de stockage. Un état de l'art de ces différents éléments a été fait dans ce chapitre afin de comprendre leur fonctionnement. L'étape qui suivra sera le dimensionnement du système à étudier, une étape importante, pour chiffrer les éléments de l'installation. Puis viendra l'étape de modélisation en vue d'une simulation sous Homer.

CHAPITRE 2

Après avoir étudié et cité les différents composants du système à étudier, nous procédons à la modélisation de ce dernier, ce qui nécessite un ensemble d'équations caractérisant chaque élément du système. L'objectif de cette modélisation consiste à obtenir par simulation, les caractéristiques dynamiques du panneau photovoltaïque, les aérogénérateurs, et la pile à combustible, les électrolyseurs et le système de stockage d'hydrogène.

2.1. Présentation générale du système

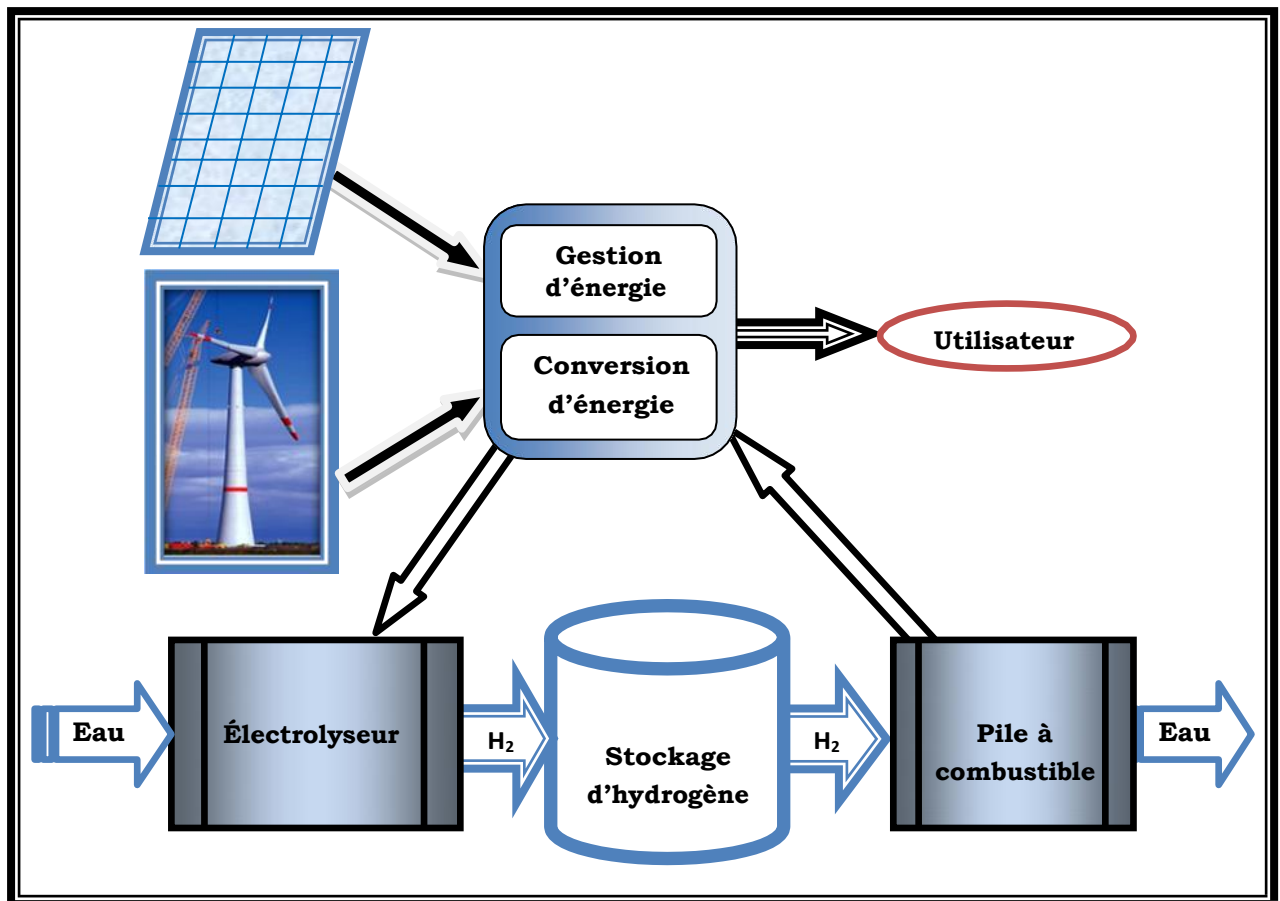


Figure 2- 1 Description du système PV-W-PAC

Dans le système étudié (Figure 2.1), le champ photovoltaïque et les aérogénérateurs alimentent directement l'utilisateur. Surplus énergétique est stocké sous forme chimique selon les besoins. Une unité d'électrolyseur dissocie l'eau en hydrogène et oxygène. L'hydrogène est stocké. Lorsque le champ photovoltaïque et les aérogénérateurs ne peuvent pas fournir la totalité de la demande d'électricité, la pile à combustible est connectée. Elle régénère l'électricité stockée en recombinaison l'hydrogène et l'oxygène provenant directement de l'air. La pile à combustible produit de l'eau pure qui est stockée pour approvisionner

l'électrolyseur.

2.2. Principaux composants

Ce système est composé d'un générateur solaire photovoltaïque, d'un générateur éolien et d'un système de stockage d'énergie constitué d'un électrolyseur, d'une unité de stockage d'hydrogène et d'une pile à combustible.

2.2.1. Modules photovoltaïques

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopiles assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. En effet, une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension : entre 0.5 et 1.5V selon les technologies [16].

2.2.1.1. Principe de la conversion photovoltaïque

Sous l'effet d'un rayonnement lumineux incident, les électrons des bandes de valence du semi-conducteur vont pouvoir passer dans la bande de conduction et devenir libres.

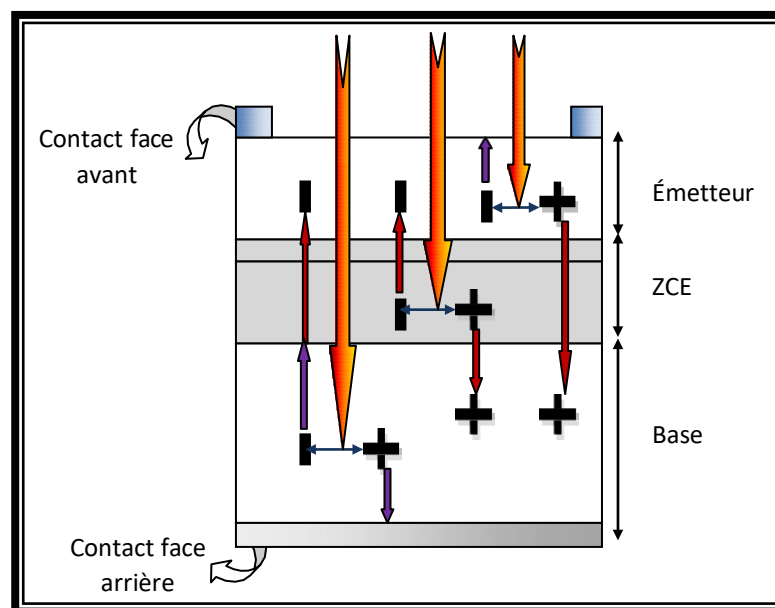


Figure 2- 2 Principe de l'effet photovoltaïque

Ce phénomène va engendrer au sein de la structure du semi-conducteur la création de pair électron-trou. Ceux-ci, sous l'effet de la barrière de potentiel, vont s'accumuler sur chacune des Faces extérieures des zones P et N. Ainsi, une différence de potentiel entre les faces

extérieures de la jonction est créée : la photopile est prête à fonctionner [19].

2.2.1.2. Caractéristiques des modules photovoltaïques

2.2.1.2.1. Caractéristiques I-V du module photovoltaïque

La tension et le courant d'un module photovoltaïque constitué de m cellules en parallèle et n cellules en série (Figure 2.3) sont donnés par l'équation [20]:

$$I_{pv}^M = I_{SC}^M \left[1 - \left(\exp \frac{V_{pv}^M - V_{CO}^M + R_{pv}^M I_{pv}^M}{m V_t^C} \right) \right] \quad \text{II.1}$$

Où

V_t^C est la tension thermique d'une cellule $V_t^C = \frac{m k_B T_C}{e}$

R_{pv}^M est la résistance équivalente du module ;

I_{pv}^M est le courant de sortie

V_{pv}^M est la tension de sortie du module ;

I_{CC}^M est le courant de court-circuit du module, ;

V_{CO}^M est la tension en circuit ouvert du module qui est ;

$$V_{CO}^C = V_t^C \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \quad \text{II.2}$$

I_s est le courant de saturation inverse de la jonction PN.

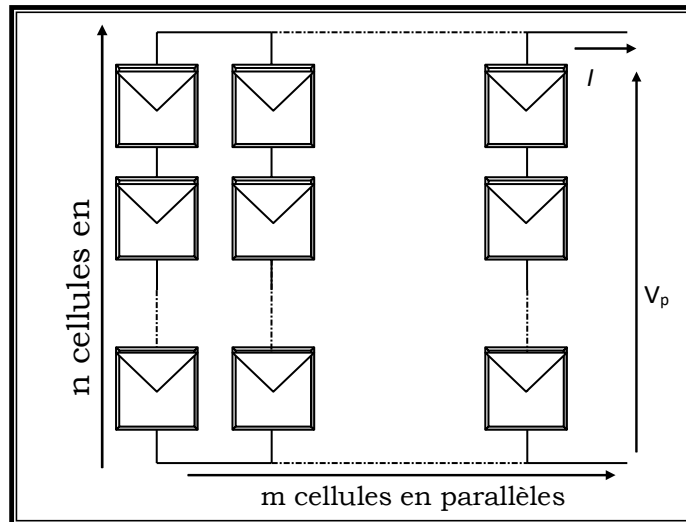


Figure 2- 3 Association de m cellules en série et n cellules en parallèle.

Les caractéristiques I-V d'un module photovoltaïque constitué de n cellule en série et m cellule en parallèle sont présentés par la figure (2.4):

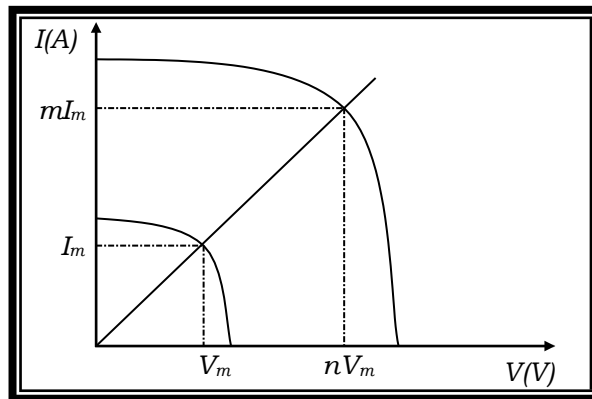


Figure 2- 4 Caractéristique de m cellules en série et n cellules en parallèle

2.2.1.2.2. Puissance maximale

La puissance crête ou puissance maximale du module photovoltaïque sous ensoleillement est le paramètre essentiel. C'est le point idéal de la caractéristique courant- tension dans les conditions de référence.

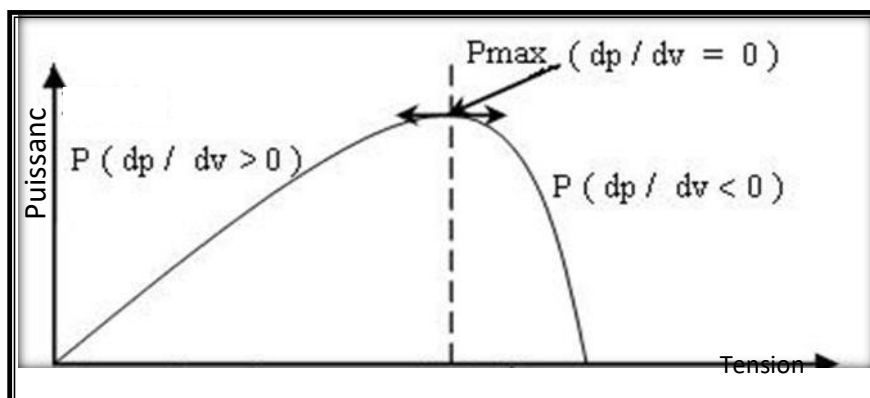


Figure 2- 5 Caractéristiques puissance-tension d'un module PV

Pour un module photovoltaïque constitué de n cellule en série et m cellule en parallèle la puissance maximale est présentée par l'équation suivante :

$$P_m = n.m.V_m.I_m \quad \text{II.3}$$

Tel que :

V_m est la tension maximale de la cellule élémentaire.

I_m est le courant maximal de la cellule élémentaire.

2.2.1.2.3. Tension de circuit ouvert et courant de court-circuit

La tension de circuit ouvert V_{oc}^M est mesurée sans aucune circulation de courant, c'est la tension à vide du module. Cette tension ne soit pas directement utile, mais elle apporte des informations.

Le courant de court-circuit I_{cc}^M est mesuré à tension nulle. Il n'est pas un paramètre très intéressant pris tout seul [16].

2.2.1.2.4. Facteur de forme

Lorsque la tension de circuit ouvert et le courant de court-circuit sont connus, on peut accéder au facteur de forme FF :

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc}^M \cdot I_{cc}^M} \quad \text{II.4}$$

Ce paramètre compris entre 0 et 1, qualifie la forme plus ou moins carrée de la forme de la caractéristique courant-tension du module. Généralement ce facteur de forme est de 0.6 à 0.85 [16].

2.2.1.2.5. Effet de la température et de l'éclairement

La température et l'éclairement ont une influence directe et importante sur l'énergie produite par le panneau PV. Cette influence est présentée par l'équation (II.6) [17].

$$\tau \alpha H_T = \eta H_T + U_L (T_c - T_a) \quad \text{II.6}$$

Avec :

τ est le coefficient de transmission de la couverture du panneau PV ;

α est le coefficient d'absorption du panneau PV ;

H_T est l'irradiation solaire totale au niveau du panneau PV ;

U_L est le coefficient de transfert thermique de la couverture du panneau PV ; T_c est la température de la cellule PV ;

T_a est la température ambiante.

Dont la température de la cellule PV dépend de plusieurs paramètres (équation II.7) [17].

$$T_c = T_a + (NOTC - T_{a,NOTC}) \left(\frac{H_T}{H_{T,NOTC}} \right) \left(1 - \frac{\eta_{mp}}{\tau \alpha} \right) \quad \text{II.7}$$

Avec :

NOTC est la température de la cellule PV dans son fonctionnement

normal ; T_a , *NOTC* est la température ambiante avec *NOTC* définie ;

H_T , *NOTC* est l'irradiation solaire avec *NOTC* définie ;

η_{mp} est le rendement de la cellule PV au point de fonctionnement maximum.

Un exemple de caractéristiques puissance-tension d'un panneau PV en silicium monocristallin à éclairement constant en fonction de la température est présenté par la figure (2.6):

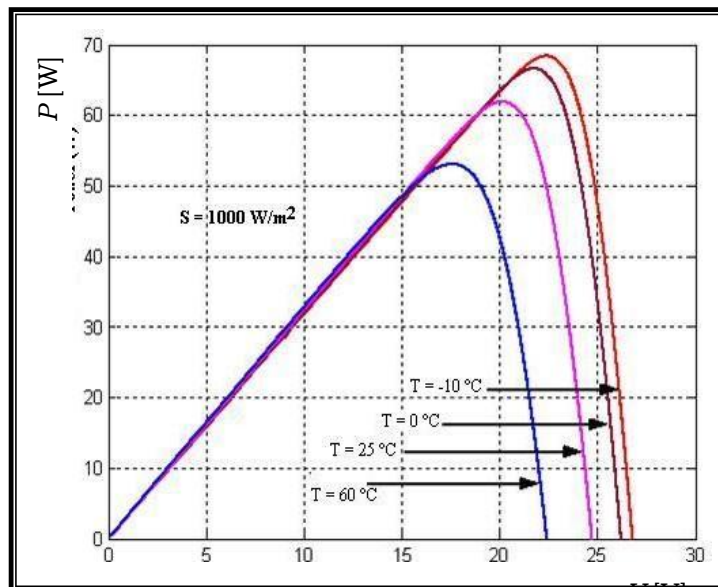


Figure 2- 6 Influence de la température sur la puissance de la jonction pour un éclairement constant

De plus, l'éclairement a une influence très importante sur les caractéristiques puissance- tension d'une jonction, comme le montre la figure suivante :

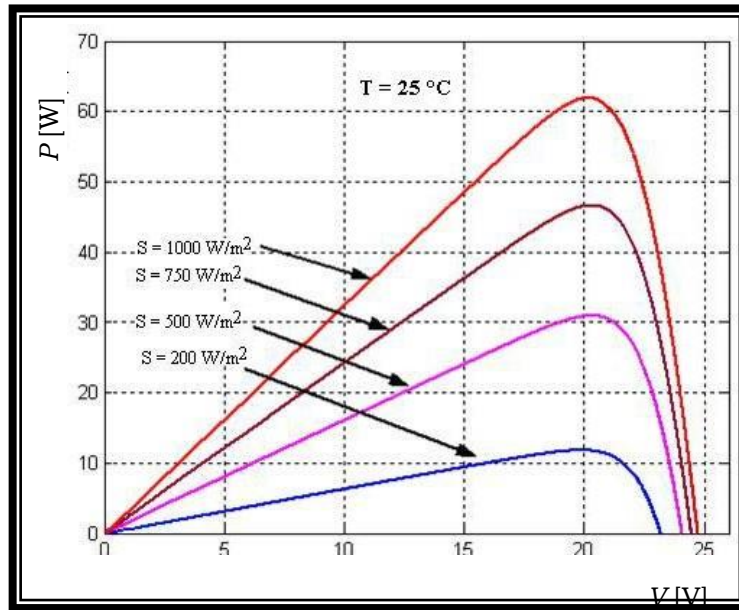


Figure 2- 7 Influence de l'éclairement sur les caractéristiques puissance-tension de la jonction pour une température constante

2.2.2. Aérogénérateurs

2.2.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Une éolienne à axe horizontal est constituée d'un *mât* qui permet de placer l'éolienne à une hauteur où la vitesse du vent est plus élevée et plus régulière qu'au sol.

Au sommet du mât se trouve une *nacelle* équipée d'un *rotor* à axe horizontal, sur lequel est monté une *hélice* généralement de trois *pâles*.

L'hélice entre en rotation par la force du vent et permet ainsi la production d'énergie mécanique en tout lieu suffisamment venté. Le vent fait tourner les pâles.

L'énergie mécanique ainsi produite est transformée en énergie électrique dans la nacelle grâce à une *génératrice*. L'énergie produite est fonction de la surface balayée.

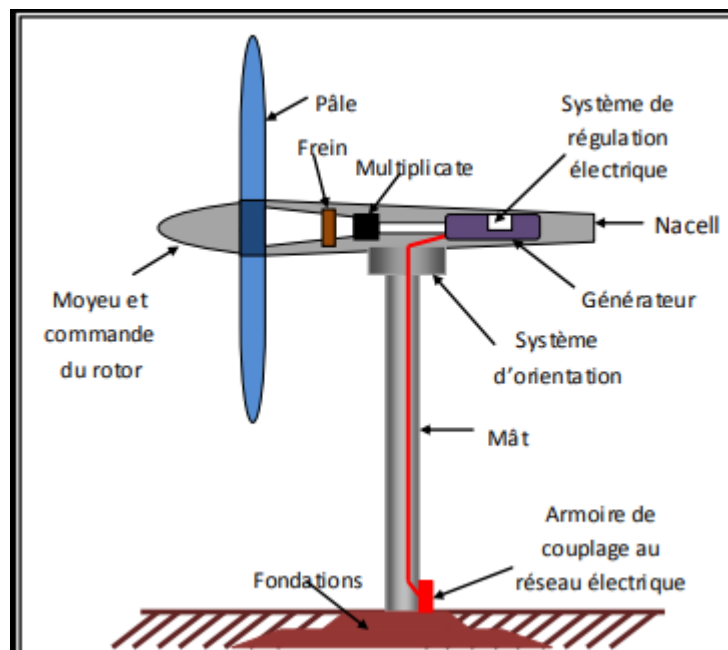


Figure 2- 8 Schéma descriptif d'une éolienne à axe horizontal

Le diagramme ci-après représente le processus de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique pour les différentes configurations des machines électriques à vitesse variable utilisées dans les systèmes éoliens :

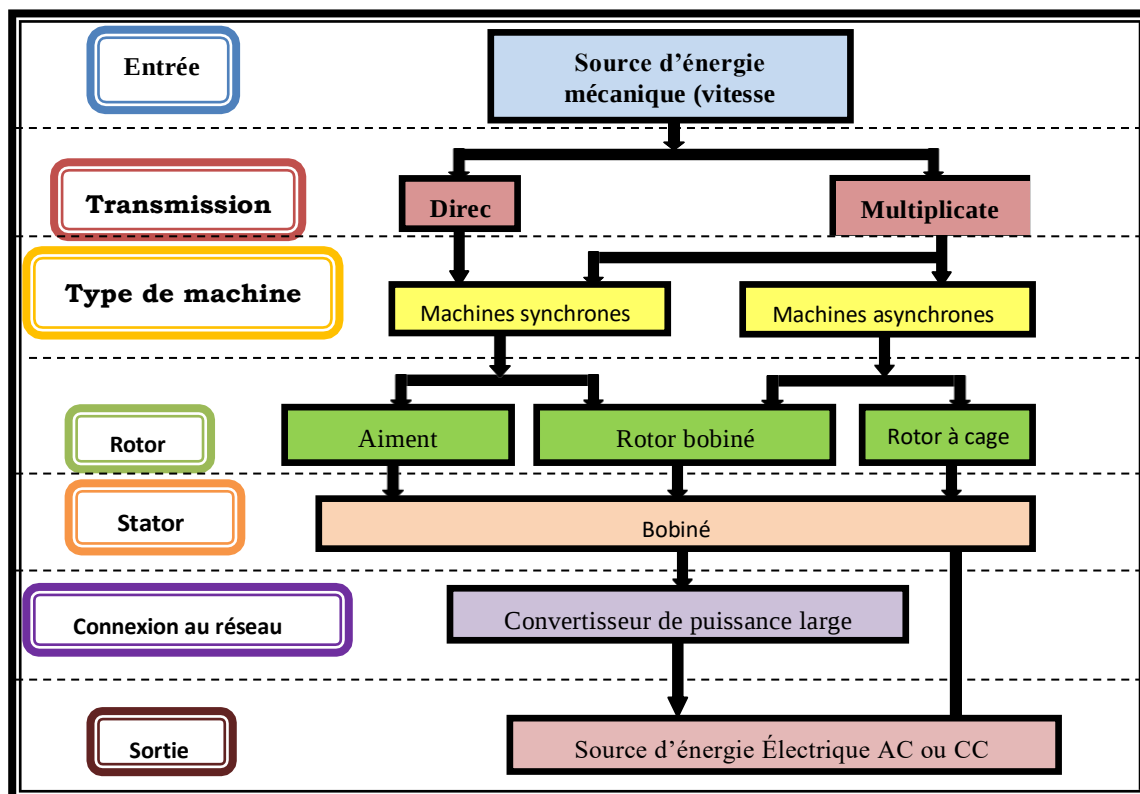


Diagramme 2.1: Processus de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique [28].

2.2.2.2. Caractéristiques d'un aérogénérateur

La courbe de puissance convertie d'un aérogénérateur en fonction de la vitesse du vent est généralement fournie par les constructeurs. La Figure (2.9) montre la courbe typique d'un aérogénérateur.

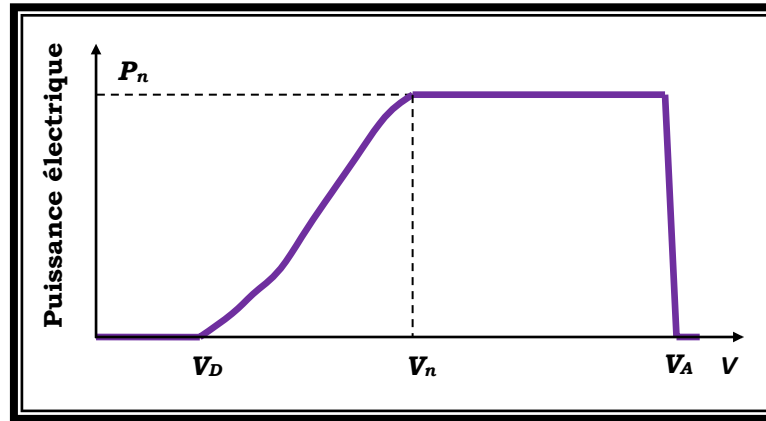


Figure 2- 9 Courbe typique de puissance d'un aérogénérateur en fonction de la vitesse du vent

Un aérogénérateur est dimensionné pour développer une puissance nominale P_n à partir d'une vitesse du vent nominale V_n . Il y a d'autres grandeurs dimensionnées : V_D la vitesse du vent {partir de laquelle l'aérogénérateur commence { fournir de l'énergie et V_A la vitesse maximale du vent au-delà { de laquelle l'aérogénérateur doit être stoppé pour des raisons de sûreté de fonctionnement.

2.2.2.3. Puissance d'un aérogénérateur [22]

a Puissance éolienne moyenne utile

Une éolienne est caractérisée par une vitesse de démarrage V_D , une vitesse nominale V_n et une vitesse d'arrêt V_A spécifiques, données par le constructeur. Attendu que seules les vitesses de vent comprises entre V_D et V_A contribuent { la conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique, la puissance récupérée { l'axe (puissance utile) est égale {:

$$\langle P_u \rangle = \frac{1}{2} \rho A' \langle V_u^3 \rangle \quad \text{II.8}$$

Avec

A' est la surface balayée par l'hélice.

La vitesse V_u est déduite de la courbe représentative de la distribution de Wei bull entre les

limites de la machine (Figure 2.10) et en tenant compte du fait que lorsque la vitesse nominale V_n est atteinte, l'augmentation de la vitesse du vent n'a aucun effet sur le régime de la roue. Ainsi, la densité de puissance utile est donc égale à:

$$P_u = \begin{cases} 0 & \text{pour } V < V_D \\ \frac{1}{2} \rho V^3 & \text{pour } V_D \leq V \leq V_n \\ \frac{1}{2} \rho V_n^3 & \text{pour } V_n \leq V \leq V_A \\ 0 & \text{pour } V \geq V_A \end{cases} \quad \text{II.9}$$

La vitesse cubique utile moyenne est donnée par intégration de la vitesse cubique pondérée par la fonction de probabilité en considérant comme bornes d'intégration les limites imposées par la machine, soit:

$$\langle V_u^3 \rangle = \int_{V_D}^{V_n} f(V) V^3 dV + V_n^3 \int_{V_n}^{V_A} f(V) dV \quad \text{II.10}$$

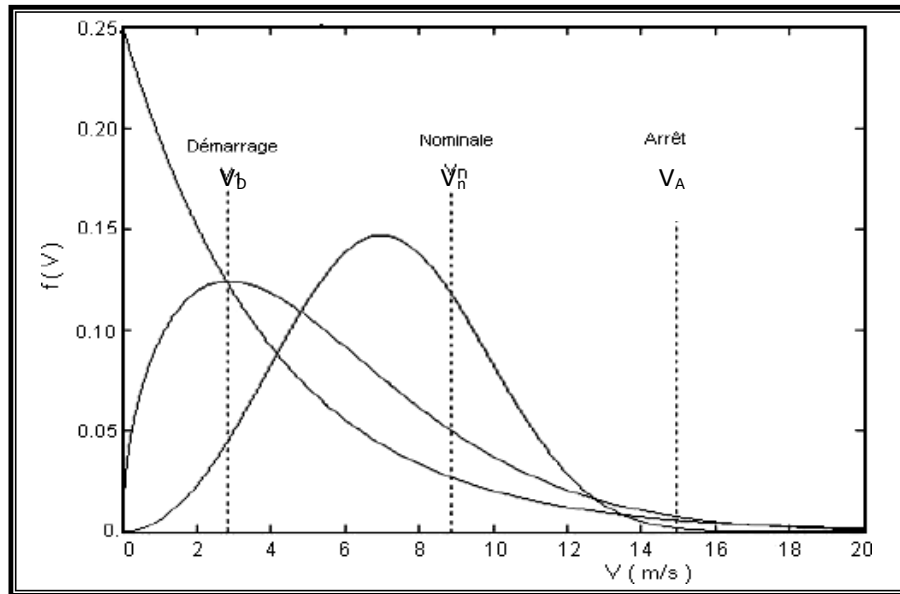


Figure 2- 10 Distributions de vitesses du vent et limites des vitesses caractéristiques d'une machine quelconque (démarrage, nominale et arrêt)

b. Puissance éolienne moyenne utilisable

En considérant le rendement η' de la machine, la puissance éolienne moyenne réellement utilisable s'écrit:

$$\langle P_e \rangle = \eta' \langle P_u \rangle \quad \text{II.11}$$

Le rendement représente le rapport entre la puissance nominale donnée par le constructeur et la puissance théorique calculée pour une vitesse du vent constante et égale à la vitesse nominale.

Soit

$$\eta' = \frac{\langle P_n \rangle}{\langle P_{Théorique} \rangle} \quad \text{II.12}$$

avec

$$P_{Théorique} = \frac{1}{2} \rho A' \langle V_n^3 \rangle \quad \text{II.13}$$

Les systèmes de conversion de l'énergie éolienne sont donc utilisés de façon optimale si leur choix est effectué, correctement, en fonction des paramètres du site d'implantation.

2.2.3. Électrolyseurs

Un électrolyseur est l'appareil inverse de la pile {combustible. Il décompose l'eau en hydrogène et en oxygène lorsqu'il est électriquement alimenté [23] (Figure 2.11).

2.2.3.1. Description

Typiquement, la cellule d'électrolyse est constituée de deux électrodes (cathode et anode), d'un électrolyte et d'un générateur de courant.

2.2.3.2. Principe de fonctionnement des électrolyseurs

Dans l'électrolyseur de l'eau, le courant électrique dissocie la molécule d'eau en ions d'oxygène et d'hydrogène :

- A l'anode (électrode reliée au pôle positif), l'oxygène se dégage,
- A la cathode (électrode reliée au pôle négatif) l'hydrogène produit sera récupéré.

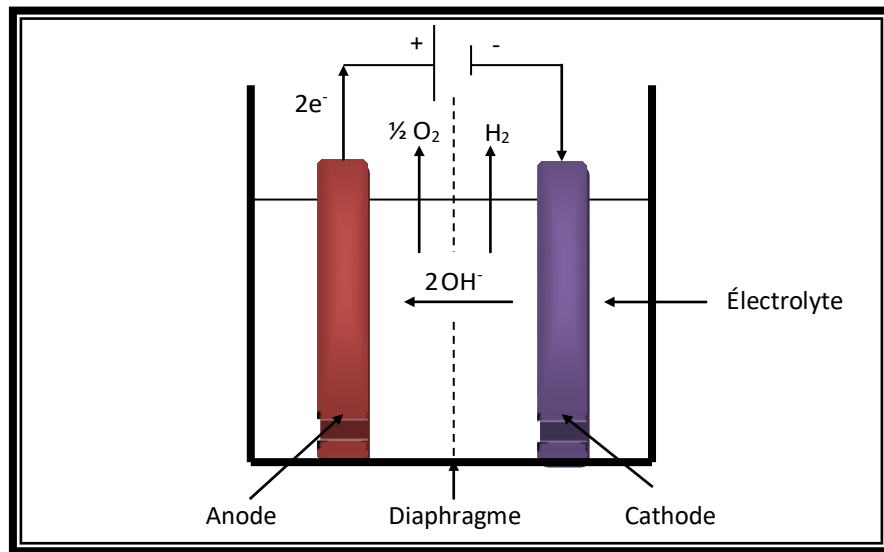


Figure 2- 11 Schéma de fonctionnement d'une cellule d'un électrolyseur

Les réactions mises en jeu sont les suivantes :

A l'anode : $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ A la

cathode : $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ Soit

la réaction : $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$

2.2.3.3. Caractéristiques des électrolyseurs

2.2.3.3.1. Tension d'une cellule

La tension pratique d'une cellule d'électrolyseur est calculée de la manière suivante [21]:

$$U = E_{rev} + U_n + U_c + R_0 I' \quad \text{II.14}$$

Avec :

E_{rev} est la tension réversible [V] ;

U_c est la surtension cathodique [V];

U_n est la surtension anodique [V];

R_0 est la résistance électronique et ionique de l'ensemble électrodes-membranes-électrolyte [Ω];

I' est le courant des cellules [A].

2.2.3.3.2. Caractéristique I-V des électrolyseurs

La Figure (2.12) montre les caractéristiques électriques d'une cellule d'électrolyse de technologie alcaline améliorée. La tension {vide est d'environ 1,23 V. Lorsque l'intensité augmente, les pertes

augmentent : la tension augmente. La tension d'une cellule est généralement limitée à 2 V [23].

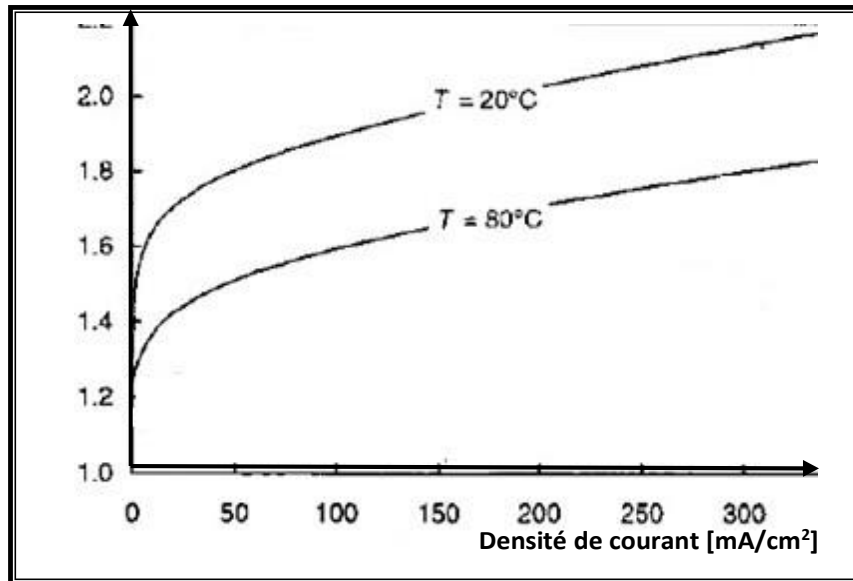


Figure 2- 12 Influence de la température sur la caractéristique courant-tension d'un électrolyseur alcalin

2.2.3.3.3. Rendement d'un électrolyseur

On obtient le rendement global ou rendement de puissance des cellules de l'électrolyseur en multipliant le rendement énergétique (η_{ee}) et le rendement faradique (η_F) [23].

$$\eta_{elc} = \eta_F \times \eta_{ee} \quad \text{II.15}$$

- Le rendement énergétique : le rapport de l'énergie globale mise en jeu sur l'énergie consommée. Il se calcule simplement en divisant le potentiel thermo neutre par la tension de la cellule :

$$\eta_{ee} = \frac{U_{th}}{U} \quad \text{II.16}$$

où

U est la tension de la cellule [V],

U_{th} est le potentiel thermo neutre.

- Le rendement faradique : provient du flux de gaz produit par un électrolyseur.

$$\eta_F = \frac{n' \times F}{n_c \times I_a} \times F_{GAZ} \quad \text{II.17}$$

où

F_{gaz}	est le flux de gaz [moles^{-1}];
n_c	est le nombre de cellules;
I_a	est l'intensité de l'électrolyseur [A];
η_F	est le rendement faradique [%];
n'	est le nombre de moles d'électrons échangées par mole d'eau ($n' = 2$ pour l'hydrogène, $n' = 4$ pour l'oxygène).

2.2.4. Stockage de l'hydrogène

La possibilité de stockage rend l'hydrogène particulièrement attractif par rapport à l'électricité.

a. Stockage sous forme liquide

L'hydrogène est produit sous forme gazeuse, et à pression faible. La liquéfaction consiste à faire passer l'hydrogène de sa phase gazeuse à sa phase liquide. Cette technique est avantageuse car on dispose d'une grande quantité d'énergie pour un faible volume de stockage cependant la liquéfaction est très coûteuse en énergie [24].

b. Stockage gazeux sous haute pression

Le stockage de l'hydrogène sous forme gazeuse est une solution prometteuse mais avec de nombreuses contraintes. En effet, l'hydrogène léger et donc volumineux doit être comprimé pour réduire l'encombrement des réservoirs. Cette technique de stockage se heurte à deux problèmes : d'une part, la petite taille de la molécule de l'hydrogène induit des risques de fuites à travers les réservoirs, d'autre part, l'hydrogène fragilise certains matériaux. Pour répondre à ces contraintes, des réservoirs en matériaux polymères sont étudiés pour remplacer les réservoirs métalliques actuels [25].

c. Stockage par hydrures

Ce mode de stockage fait l'objet de nombreuses études : il s'agit de stocker l'hydrogène dans certains matériaux carbonés ou dans des alliages métalliques capables d'absorber l'hydrogène. Ces matériaux sont connus sous le nom d'hydrures. Il est restitué à la demande par

effet thermique entretenu [25].

2.2.5. Piles à combustible

2.2.5.1. Description

La pile à combustible se compose de multiples cellules électrochimiques composées de deux électrodes (une anode, chargée négativement, et une cathode chargée positivement) séparées par un électrolyte.

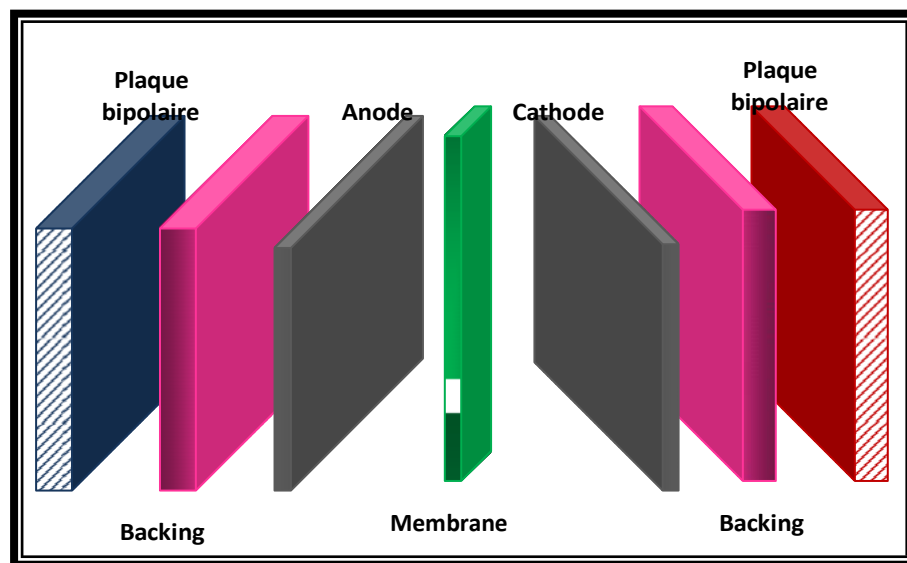
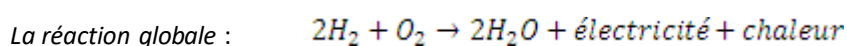
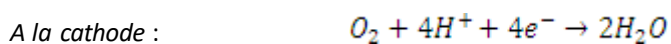


Figure 2- 13 Principaux composants d'une pile à combustible

2.2.5.2. Principe de fonctionnement d'une pile à combustible

La pile à combustible fonctionne sur le mode inverse de l'électrolyse de l'eau. Tandis que l'électrolyse décompose l'eau en hydrogène et en oxygène sous l'action d'un courant électrique, la pile à combustible recombine l'hydrogène et l'oxygène pour produire de l'électricité, de l'eau et de la chaleur selon les équations :



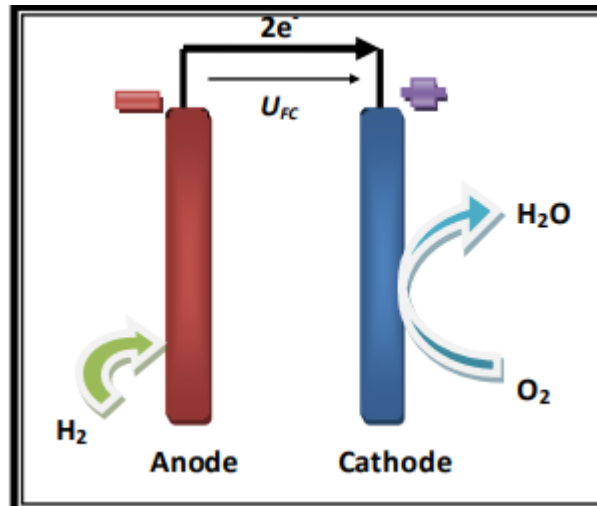


Figure 2- 14 Principe de fonctionnement d'une pile à combustible de type PEM alimentée en hydrogène et en oxygène.

2.2.5.3. Types de piles à combustible

On compte actuellement 7 types de pile à combustible:

- **AFC** (Pile à combustible alcaline),
- **PEMFC** (Pile à combustible à membrane à échange polymère),
- **DMFC** (Pile à combustible à méthanol direct),
- **DEFC** (Pile à combustible à éthanol direct),
- **PAFC** (Pile à combustible à acide phosphorique),
- **MCFC** (Pile à combustible à carbonate fusionnée),
- **SOFC** (Pile à combustible à oxyde solide).

Tableau 2- 1 Différents types de piles à combustible

	AFC	PAFC	PEMFC	DMFC	MCFC	SOFC
	Basse température				Haute température	
Température	50 à 250°C	150 à 220°C	70 à 200°C	70 à 90°C	600 à 800°C	700 à 1050°C
Electrolyte	Potasse liquide	acide phosphorique liquide	membrane en polymère solide	membrane en polymère solide	sel de carbonate fondu liquide	céramique solide
combustibles possibles	hydrogène	hydrogen, gaz naturel (reformage)	hydrogène	méthanol	hydrogène, gaz naturel, méthanol...	hydrogène, gaz naturel, méthanol...
Gamme de puissance	1W à 100kW	200 kW à 10MW	1W à plusieurs kW	500kW à 10 MW	1kW à 100MW	1kW à 100MW
Rendement électrique	55 à 60%	35- 45% +75% en cogénération	30-45%	-	50- 60%	50-55% 70% en cogénération
Applications	spatial, défense, équipements portables	stationnaire, cogénération, transport	spatial, transport, stationnaire, équipements portables	transport, équipements portables	stationnaire, transport, cogénération, production décentralisée	stationnaire, cogénération

2.2.5.4. Caractéristiques des piles à combustible

2.2.5.4.1. Caractéristiques I-V d'une pile à combustible

Dans une pile à combustible, l'énergie libérée par les réactions électrochimiques sous la condition standard de température et de pression est de 56.32 kcal/mole. La tension réversible est 1.229 [18].

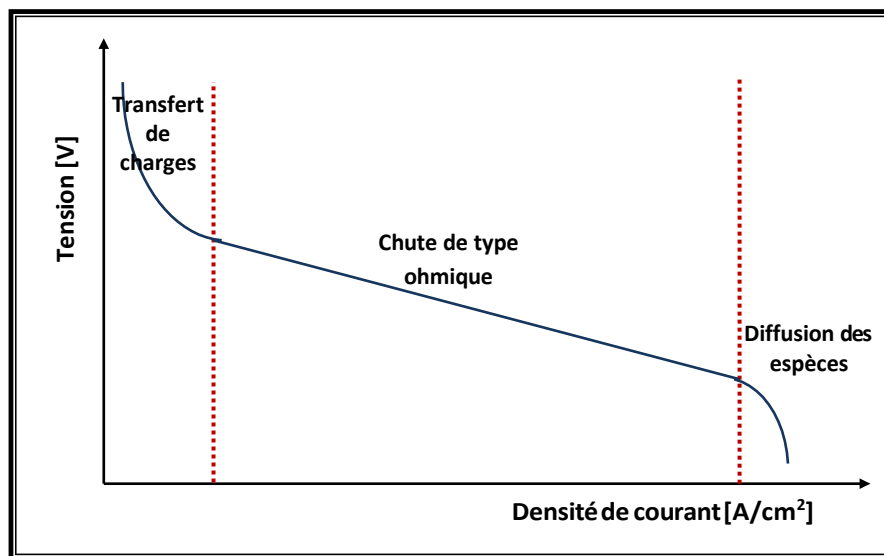


Figure 2- 15 : Caractéristiques "Tension-Densité de courant" de la pile à combustible

2.2.5.4.2. Pertes d'énergie d'une pile à combustible

Lorsque la pile débite, la tension E_{rev} est diminuée par les surtensions. Celles-ci dépendent directement de la valeur de la densité de courant.

- a. Pertes d'activation** : sont dues au démarrage des réactions chimiques l'anode et la cathode [26].
- b. Pertes ohmiques** : sont causées par la résistance électrique de la membrane et par la résistance électrique de l'ensemble électrodes/plaques bipolaires [27].
- c. Pertes par diffusion** : s'effectuent quand le courant augmente {une valeur très grande, les réactions qui ont lieu atteignent un taux très grand comparé au taux auxquels les réactifs peuvent transporter aux électrodes. Par conséquent, les réactions sont amorties résultant une perte par diffusion [26].

2.2.5.4.3. Rendement d'une pile à combustible

On obtient le rendement global des piles à combustible, ou rendement de puissance, en multipliant le rendement faradique (η_{Fi}) et le rendement énergétique (η_e) [23]:

$$\eta_{FC} = \eta_{Fi} \times \eta_e \quad \text{II.18}$$

- Rendement faradique : provient du fait qu'une partie de l'hydrogène et de l'oxygène migre {Travers la membrane et se recombine sans que l'on puisse récupérer l'énergie. Ce rendement est généralement très proche de 1.

$$\eta_{Fi} = \frac{n_c \times I}{n \times F} \times \frac{1}{F_{gaz}} \quad \text{II.19}$$

- rendement énergétique : égal au rapport de l'énergie délivrée sur l'énergie globale mise en jeu.

$$\eta_e = \frac{U}{U_{th}} \quad \text{II.20}$$

où

U est la tension de la cellule [V],

U_{th} est le potentiel thermo neutre (1.48V).

Conclusion

Dans ce chapitre, on a décrit dans un premier temps la description générale du système PV-EOL-PAC. On a présenté ensuite le principe de fonctionnement, les caractéristiques, les performances et les différents types de chaque composant de ce système.

Le choix optimal d'un tel système doit tenir en compte du coût global du système, la performance, les coûts engendrés par la maintenance et la durée de vie de chaque composant.

Pour arriver au meilleur choix, il faut faire une brève comparaison entre les différents types de chaque composant du système PV-EOL-PAC du point de vue technologique et du point de vue économique.

CHAPITRE 3

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre sera présente les différents résultats obtenus après optimisation du système hybride avec le logiciel HOMER, à partir de différentes sources pour le site D'Adrar. Deux Scénario seront étudiées.

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

3.2. Description du logiciel HOMER :

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

La première version a été développée en 1993 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), pour les programmes d'électrification rurale.

Il est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers formatés correctement.

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

C'est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée sur une année.

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir tous les éléments de ce dernier, en utilisant les composants définis dans l'Équipement du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est

Nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans l'Équipement.

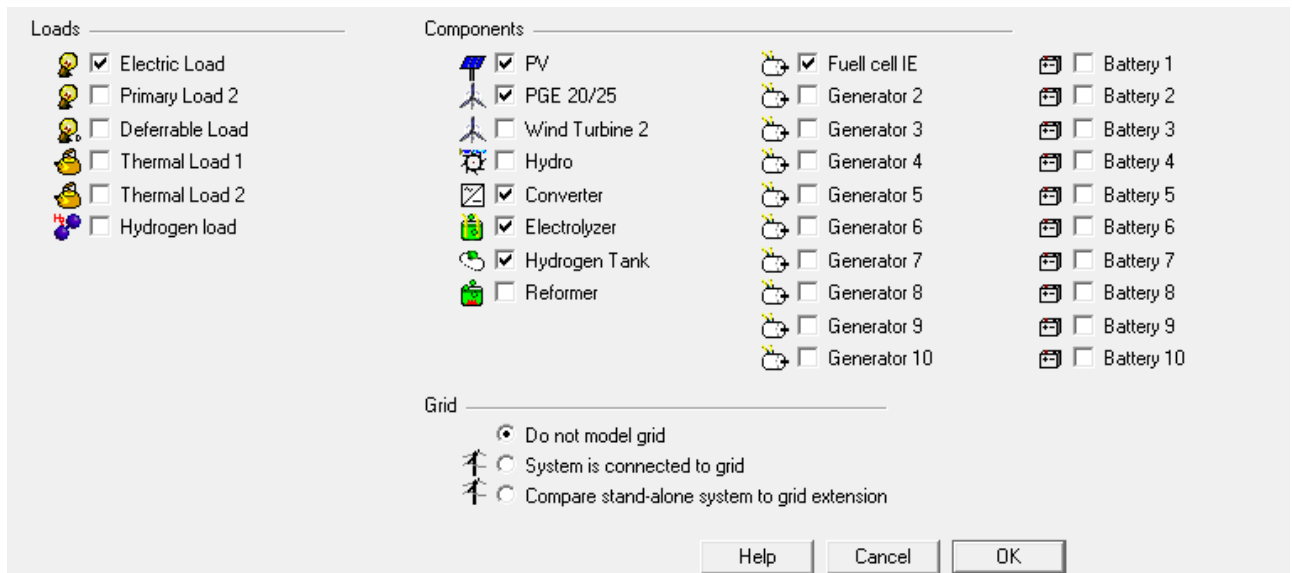


Figure 3- 1Équipements sélectionnés dans HOMER

3.3. Présentation du système hybride :

Une étude paramétrique fait l'objet de ce travail, qui se résume en la simulation de deux différents systèmes hybrides pour la production électrique. Les systèmes considérés sont :

3.3.1. Scénario 1 : Un système hybride éolien–pile à combustible ;

3.3.2 Scénario 2 : Un système hybride éolien-photovoltaïque-pile à combustible.

L'électricité produite sert à alimenter une certaine charge électrique, et l'énergie qui est en excès servira à produire l'hydrogène qui sera stocké et par la suite consommé par la pile à combustible, lorsque ses sources d'énergie sont insuffisantes pour alimenter la charge considérée.

La Scénario des systèmes hybrides de génération d'énergie simulée à l'aide du logiciel HOMER sont présentés sur la figure.3.2.

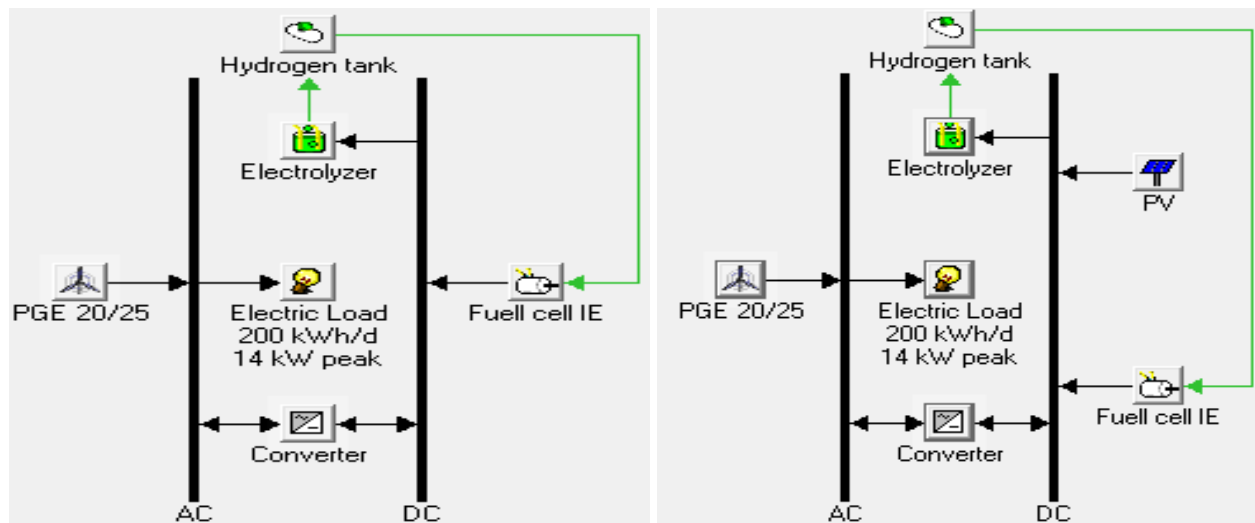


Figure 3- 2 Architecture des scénario 1 et 2 respectivement

3.4. Données d'entrées :

3.4.1 Les données du vent :

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

Le tableau 3.1 représente les caractéristiques géographiques de la station de mesure d'Adrar

Caractéristiques géographiques de la station de mesure d'Adrar

Latitude	Longitude	Altitude	Rugosite
28,22°	0,28°	276 m	0,01 m

Tableau 3- 1 Caractéristiques géographiques de la station de mesure d'Adrar

Nous pouvons voir sur la figure 4.3, l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent du site d'Adrar. On remarque que la vitesse varie en fonction des mois, elle est la plus élevée en juillet avec 6,5 m/s puis viennent les mois de mars, aout et septembre avec 6.1 m/s, mais à part le mois de janvier et décembre le reste de l'année elle varie autour de 5.7 m/s.

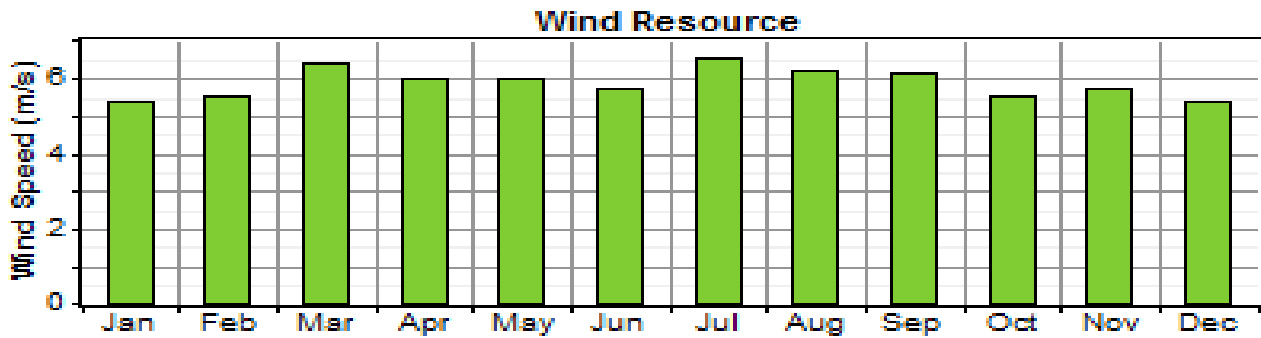


Figure 3- 3 Evolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent pour la région d'Adrar à 10m du sol

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

La classification des fréquences du vent effectué à l'échelle annuelle pour le site d'Adrar est représentée sur la figure 3.4.

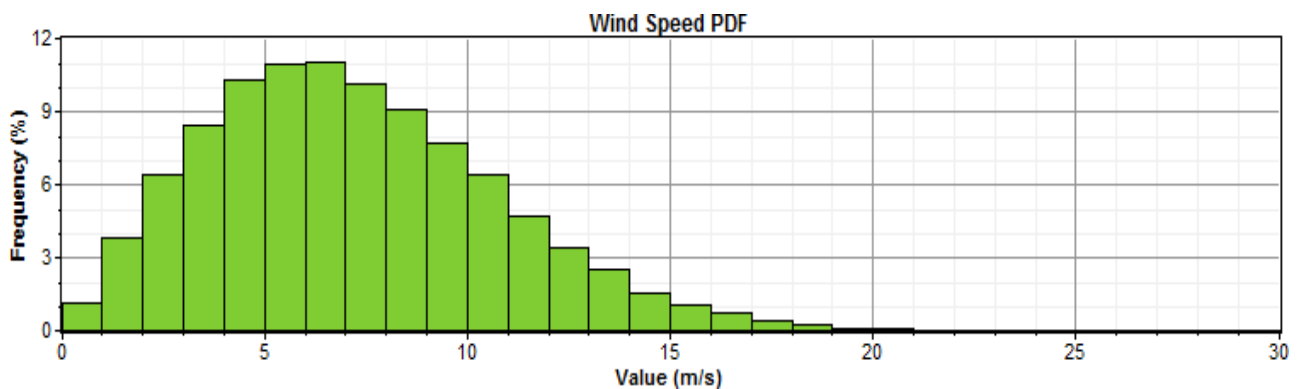


Figure 3- 4 Variation de la fréquence des vitesses du vent mesurées pour la région d'Adrar

Les valeurs des paramètres de weibull k et c ainsi que la vitesse moyenne du vent pour la station de Adrar sont données au Tableau 3.2.

Tableau 3- 2Données statistiques de la vitesse du vent

k	c	< v>
2,15	7,2 m/s	5,87 m/s

3.4.2. Les données solaires :

Les données du rayonnement solaire du site d'Adrar sont utilisées pour la simulation. Elles sont constituées de l'irradiation solaire mensuelle ainsi que l'indice de clarté comme le montre la figure 3.5.

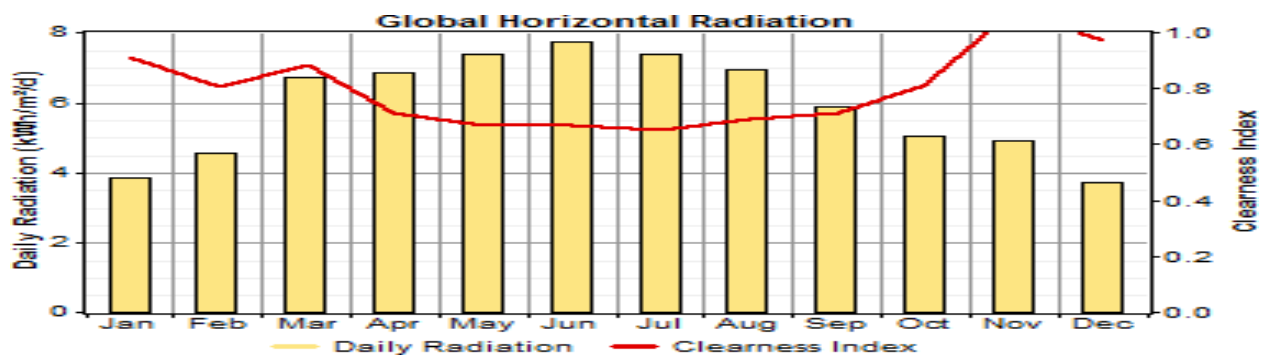


Figure 3- 5Irradiation horizontale globale et indice de clarté

Les données du rayonnement solaire ne sont pas disponibles, ces informations moyennes mensuelles ont été prises du logiciel METEONORM 5 en introduisant les caractéristiques géographiques citées précédemment du site d'Adrar.

3.4.3 La charge électrique :

Assurer une production continue et alimenter une charge électrique de 200 kWh/j (7 /7) jours sans arrêt tel est le défi que doit relever notre système hybride.

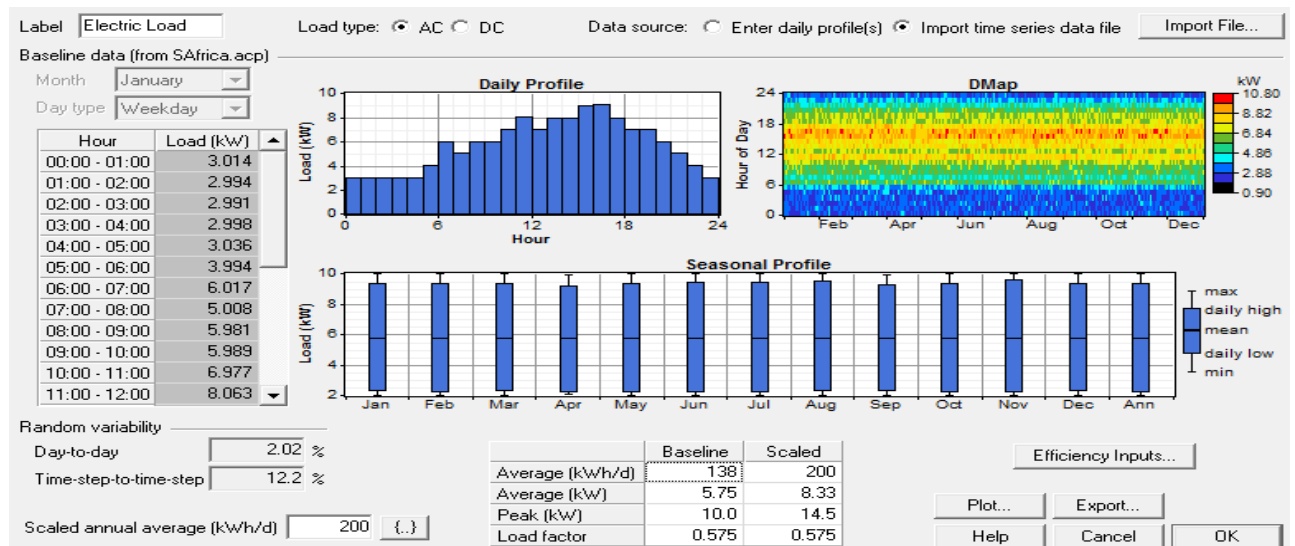


Figure 3- 6Simulation de la charge à alimenter

Le tableau dans la figure 3.6 les puissances maximale (peak) et minimal fourni par le système pour atteindre la charge considérée.

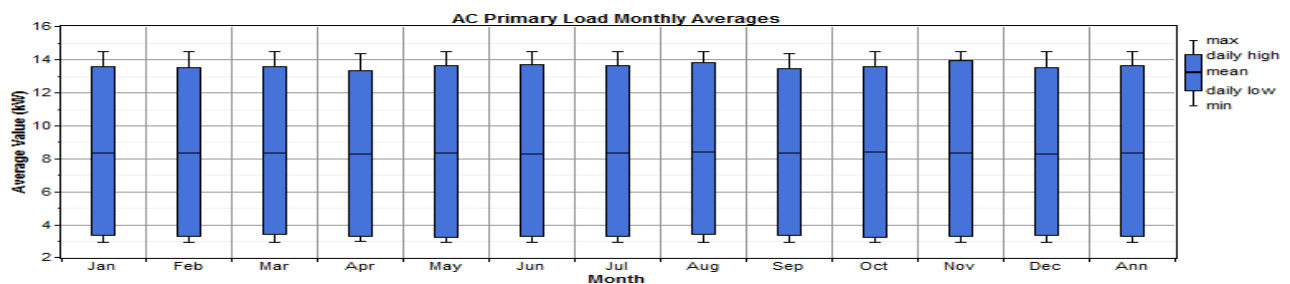


Figure 3- 7Charge électrique moyenne

La figure 3.7 représente la charge électrique moyenne pendant une année. On note une variation mensuelle, on remarque que la charge atteint son maximum aux mois de juillet et août et un minimum au mois d'octobre.

3.4.4 L'aérogénérateur :

L'aérogénérateur utilisé dans ce système est le PGE 20/25 de 25 kW dont les caractéristiques sont présentées sur la figure 4.8. Sa durée de vie est de 17 ans, son moyeu atteint une hauteur de 30 m et sa courbe de puissance est représentée sur la figure 3.9.



Figure 3- 8Caractéristiques de l'aérogénérateur PGE 20/25

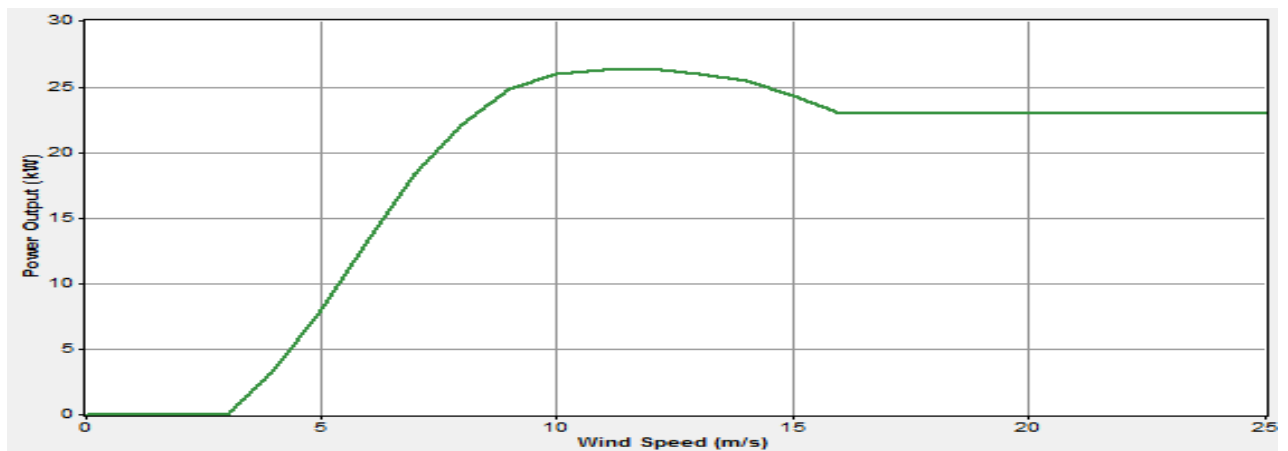


Figure 3- 9Courbe de puissance de l'aérogénérateur PGE 20 /25

3.4.5 Le générateur photovoltaïque :

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

Propriétés	Valeurs
Puissance	10 kW (CC)
Durée de vie	20 ans
Inclinaison	30°
Orientation	0° Sud
Réflectivité du sol	0.45
coefficient de perte de puissance du à la température	-0.5 % / °C
température nominale d'utilisation	47°C
rendement dans les conditions standards.	13%

Tableau 3- 3Propriétés du champ photovoltaïque

3.4.6 L'électrolyseur :

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

Propriétés	Valeurs
Type	Alcalin
Puissance	10 kW
Durée de vie	15 ans
Rendement	85%
Mode de fonctionnement	CC
Rapport de la charge minimale	20%

Tableau 3- 4Propriétés de l'électrolyseur

3.4.7 La pile à combustible :

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

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

Propriétés	Valeurs
Type	PEM
Puissance	15 KW
Mode de fonctionnement	CC
Durée de vie	87000 heures
Consommation spécifique	0,07 kg/kWh

Tableau 3- 5Propriétés de la PAC

3.4.8 Le convertisseur :

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

Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les systèmes hybrides [25]: les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

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

Le tableau 3.6 représente les caractéristiques techniques du convertisseur utilisé.

Caractéristiques	Valeurs
Puissance	40 kW
Durée de vie	15 ans
Rendement CA/CC	85%
Rendement CC/CA	90%

Tableau 3- 6Caractéristiques des convertisseurs

3.4.9 Le réservoir d'hydrogène :

L'hydrogène stocké doit être suffisant pour subvenir aux besoins des piles à combustible. Les réservoirs doivent être suffisants pour stocker le gaz d'hydrogène en respectant les caractéristiques citées dans le tableau suivant.

Propriétés	Valeurs
Capacité de stockage	800 kg
Durée de vie	25 ans
Volume réservé	10%

Tableau 3- 7Caractéristiques des réservoirs d'hydrogène.

3.5. Dimensionnement :

L'objectif de ce travail est d'assurer l'électrification d'un ensemble d'habitat situé à Adrar avec une charge de 200 kWh/j.

Le dimensionnement d'une installation, nécessite la connaissance de la puissance des appareils électriques à alimenter, pour cela nous avons fait une évaluation de la consommation des appareils les plus courants pour une seule maison. A l'aide des puissances moyennes des appareils électriques, on a pu avoir les résultats suivants:

Appareil	Nombre	Puissance (W)	Durée de fonctionnement par jours (en heures)		Nombre de jours d'utilisation par semaine	Consommation en kWh/jours
			Saison sèche	Saison des pluies		
Television	2	95	12	8	7	1,90
Refrigerator	2	200	8	8	7	3,20
Four électrique	1	2500	1	1	3	1,07
machine à laver	1	3000	2	1	2	1,29
fer à repasser	1	1000	0,5	0,5	5	0,36
sèche-cheveux	1	2000	1	1	1	0.29
chargeur de telephone	5	5	1	1	7	0,03
ampoules	10	75	13	10	7	8,63
routeur Wi-Fi	1	5	20	15	7	0,09
climatiseur	2	500	18	0	7	9,00
Consommation total						25,84

Tableau 3- 8Fiche de consommation des appareils électrique pour une seule maison

D'après les résultats du tableau 3.8, on note qu'une seule maison consomme 25.84 kWh/j, donc il est possible en moyenne d'alimenter 7 maisons avec une charge de 200 kWh/j.

A l'aide du logiciel HOMER, nous avons défini chaque élément de nos installations en se basant sur toutes les caractéristiques et les données fournies dans les paragraphes précédents.

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

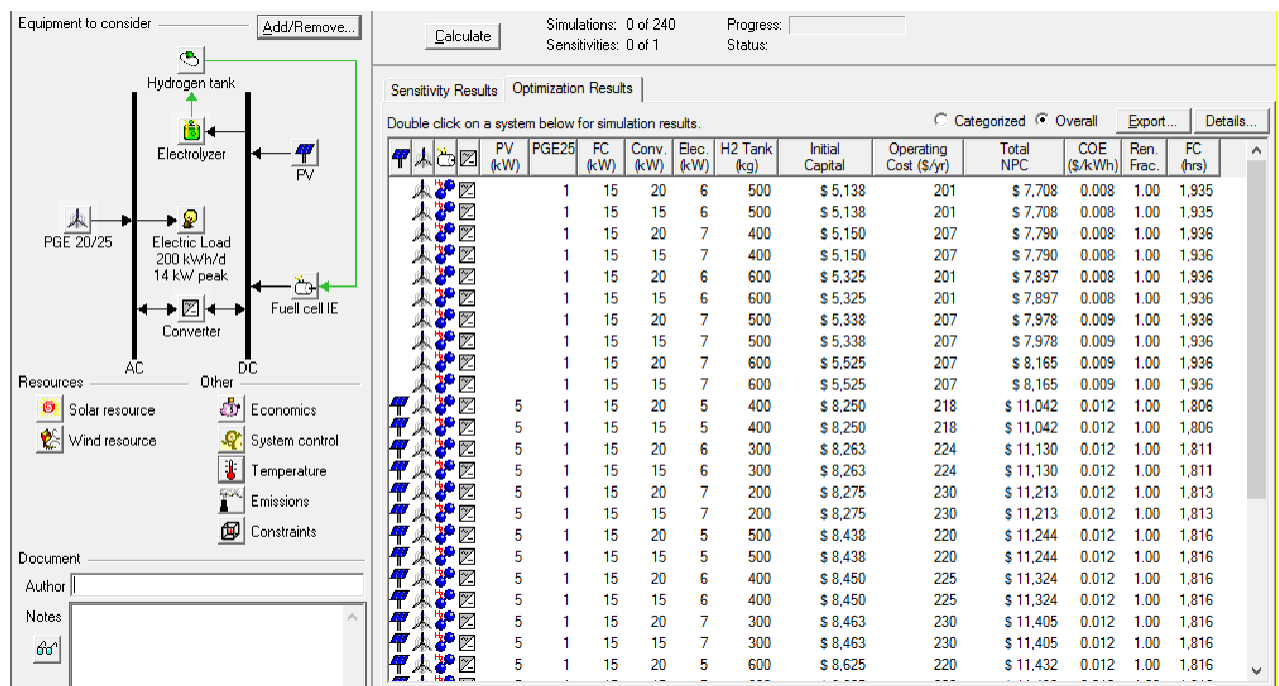


Figure 3- 10tableau des configurations possibles

Le tableau permet de visualiser toutes les configurations faisables du système proposé. Ils sont énumérés dans l'ordre de la plus rentable à la moins rentable.

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

Dans notre cas HOMER a choisi les dimensions suivantes :

	PGE25 (Quantity)	FC (kW)	Converter (kW)	Electrolyzer (kW)	H2 Tank (kg)
1	1	5.00	20.00	4.00	200.00
2		10.00	30.00	5.00	300.00
3		15.00	40.00	6.00	400.00
4		20.00	50.00	7.00	500.00
5					600.00
6					700.00
7					
8					
9					
10					

<< Hide Winning Sizes						Overall winner	Category winner	Help	Cancel	OK
-----------------------	--	--	--	--	--	----------------	-----------------	------	--------	----

	PGE25 (Quantity)	FC (kW)	Converter (kW)	Electrolyzer (kW)	H2 Tank (kg)
1	1	5	20	4	200
2		10	30	5	300
3		15	40	6	400
4		20	50	7	500
5					600
6					700

Figure 3- 11Dimensions choisis par HOMER pour la scénario 1 et 2 respectivement

3.6 Simulation des systèmes considérés:

3.6.1. Simulation du système éolien-pile à combustible :

3.6.1.1 Production énergétique du SEH :

3.6.1.2 Production énergétique mensuelle :

Les figures 3.12 à 3.23 représentent une comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour chaque mois de l'année.

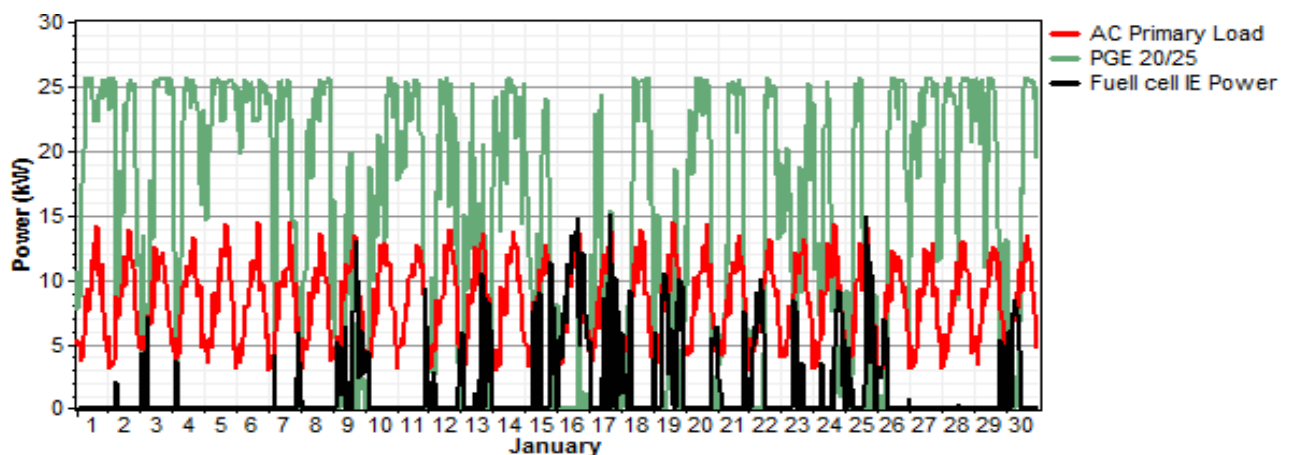


Figure 3- 12 Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de janvier.

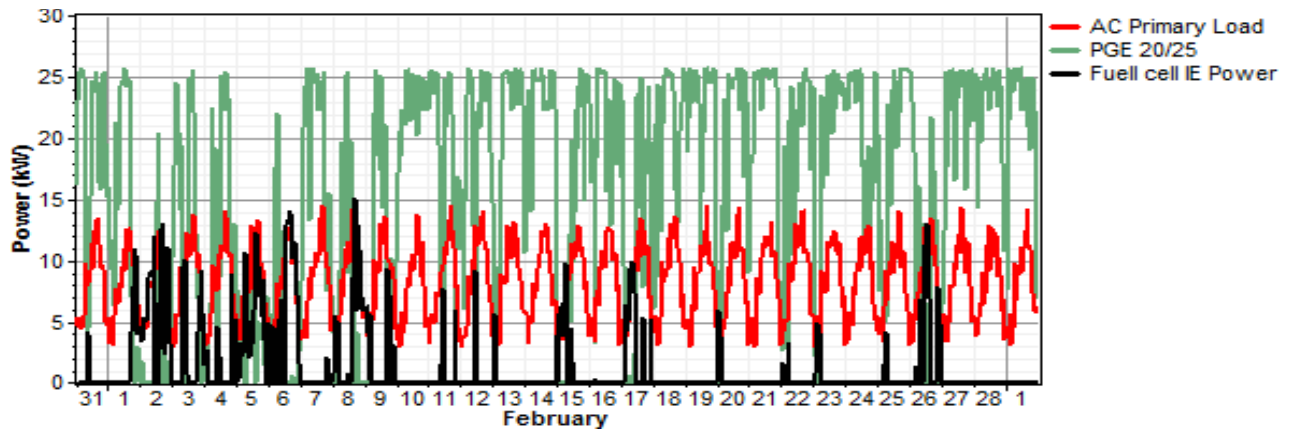


Figure 3- 13 Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de février.

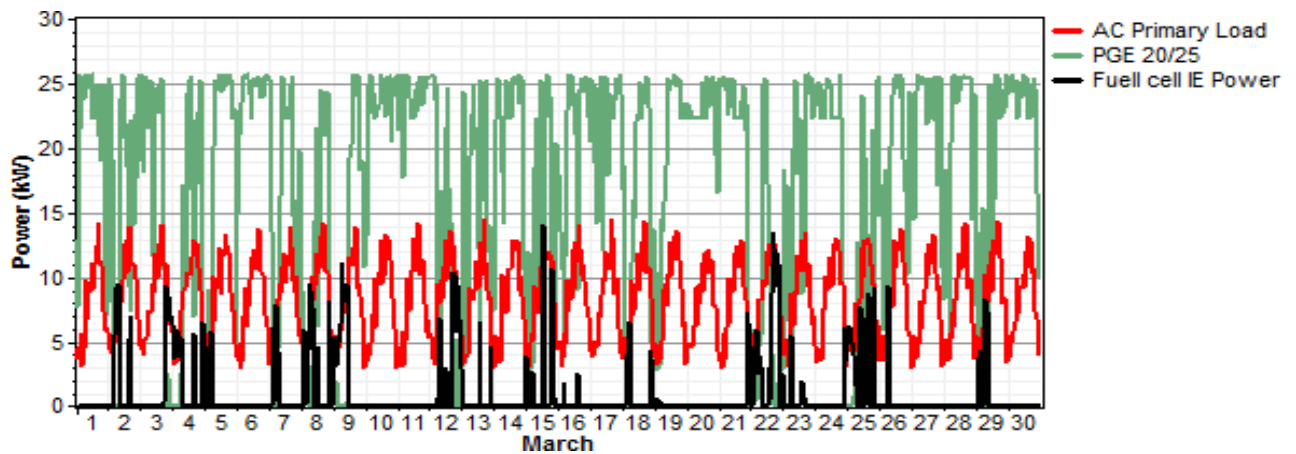


Figure 3- 14: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mars.

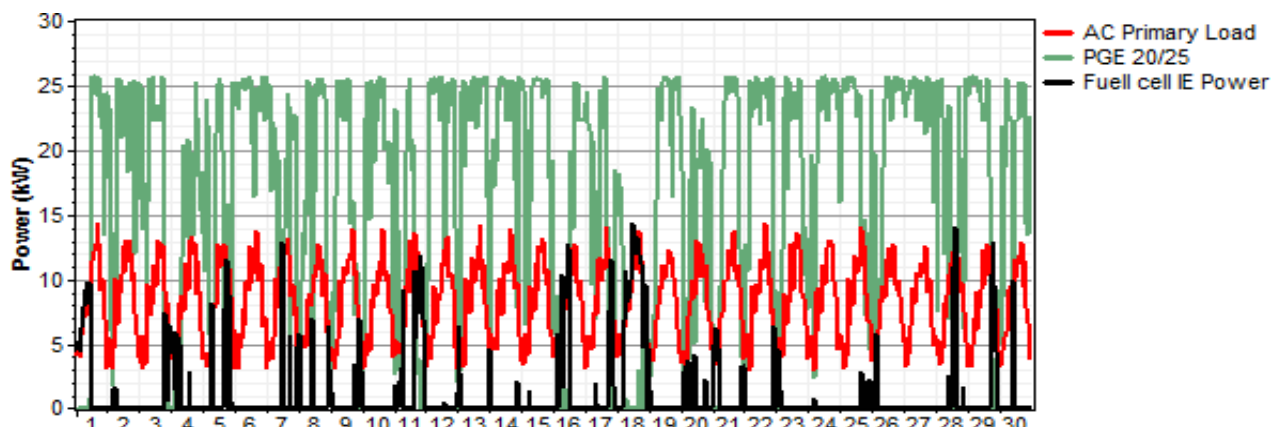


Figure 3- 15 Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'avril.

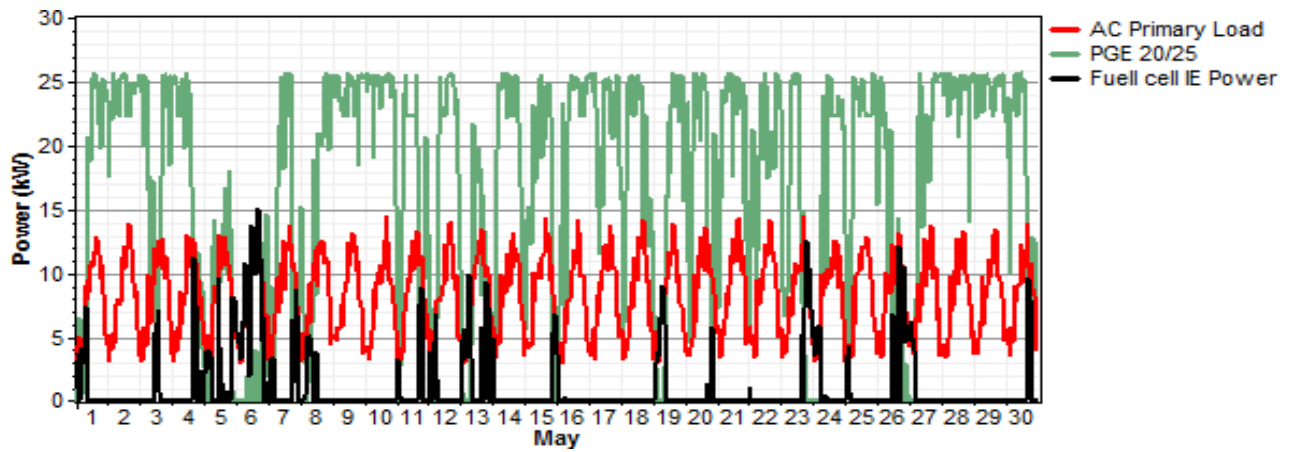


Figure 3- 16: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mai.

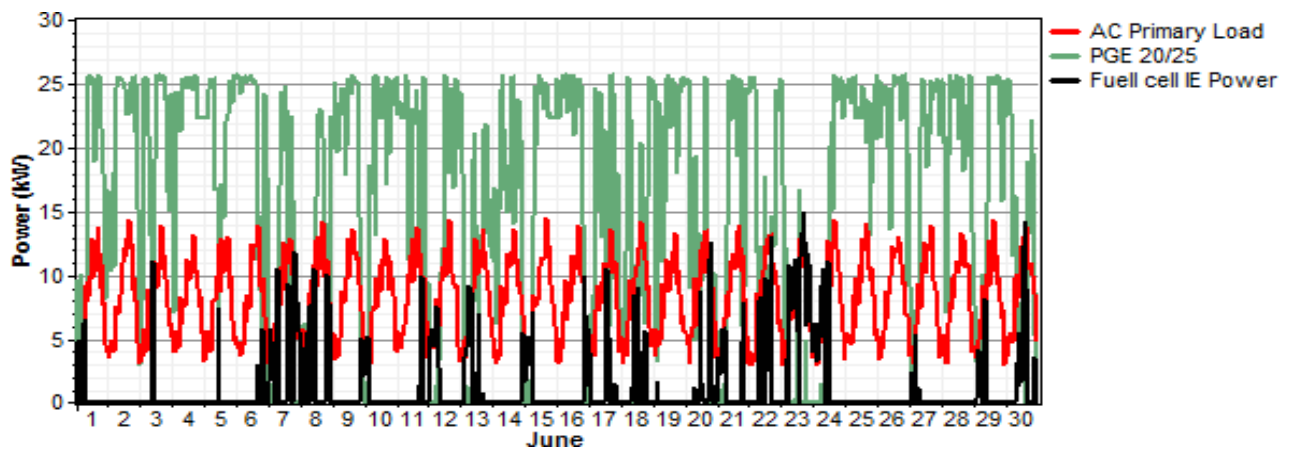


Figure 3- 17 Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin.

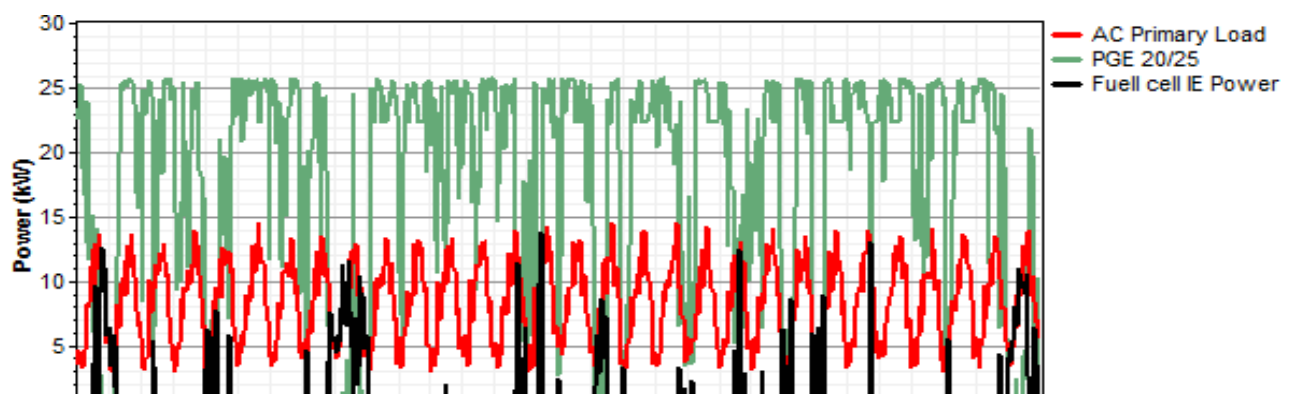


Figure 3- 18: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juillet.

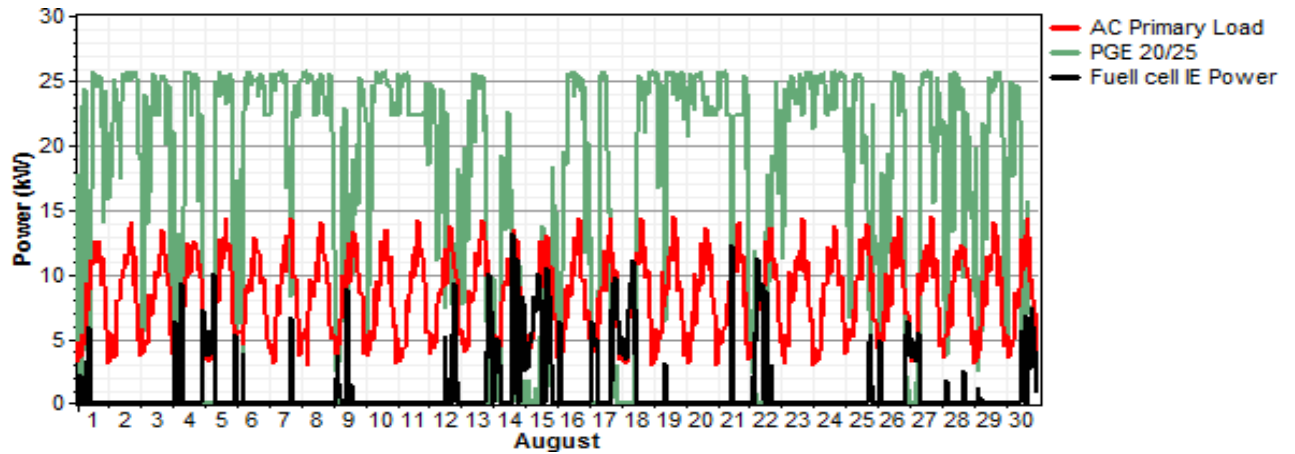


Figure 3- 19: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'août.

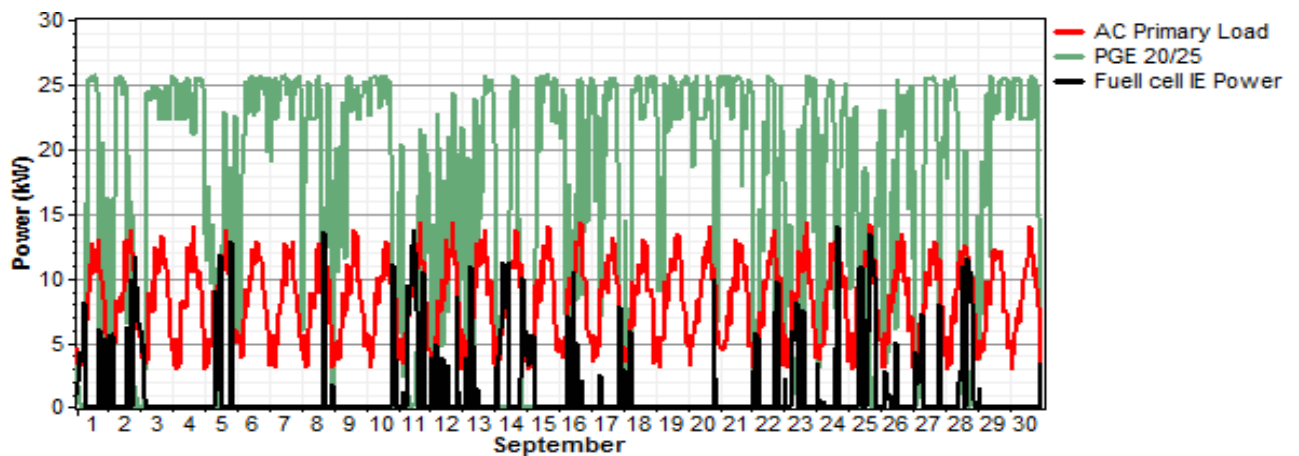


Figure 3- 20: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de septembre.

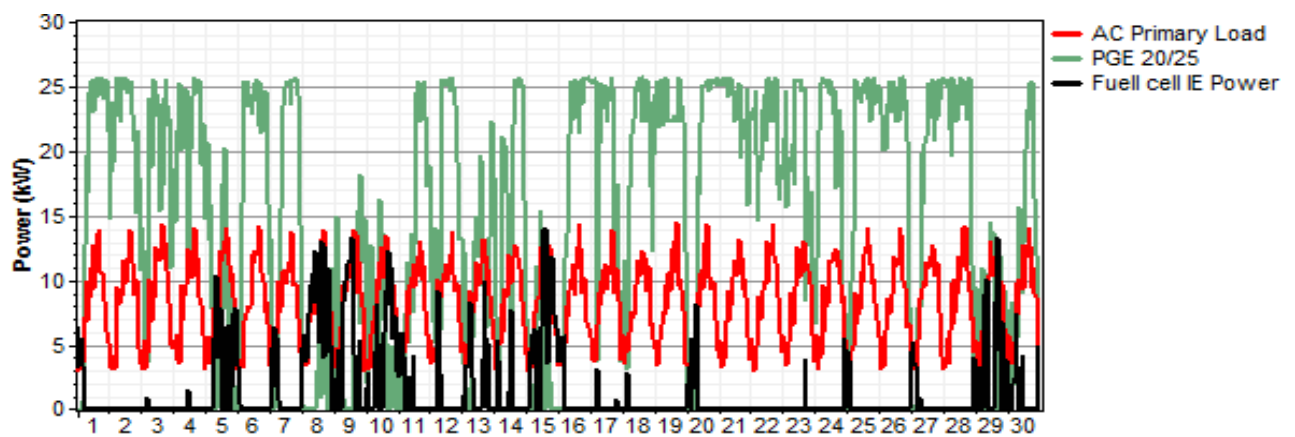


Figure 3- 21: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'octobre.

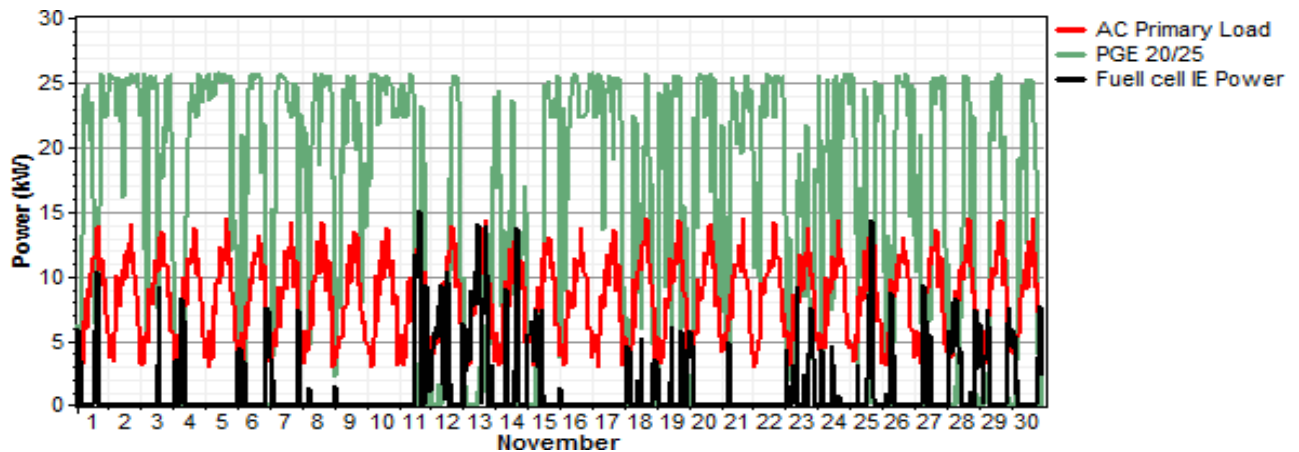


Figure 3- 22: Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de novembre.

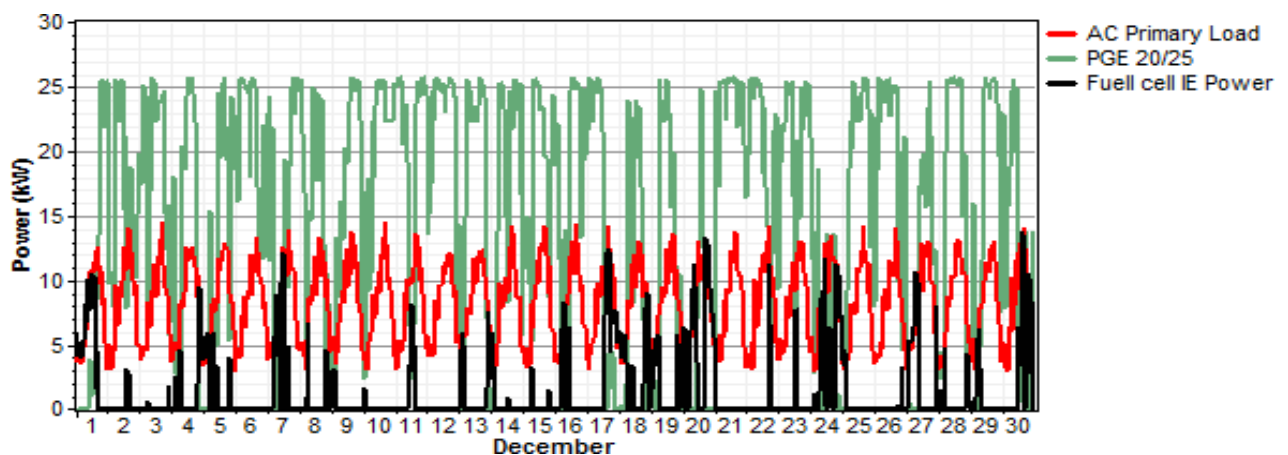


Figure 3- 23 Comparaison entre la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre.

D'après les Figures 3.12 jusqu'à 3.23, représentant la production électrique de l'aérogénérateur, la pile à combustible et la charge pour chaque mois de l'année, On observe une alternance entre la production de l'aérogénérateur et la PAC, on remarque bien que la production est plus élevée pour l'aérogénérateur surtout pour les mois les plus venté comme mars, juillet, août et septembre, cette production est moins importante pour une faible vitesse du vent comme cela est représenté sur les figures des mois de janvier, octobre et décembre ou la production électrique de la pile à combustible est maximale.

Pour bien voir et comprendre la complémentarité entre les systèmes on a représenté un exemple de production d'énergie moyenne pour un jour de janvier sur la figure 3.24.

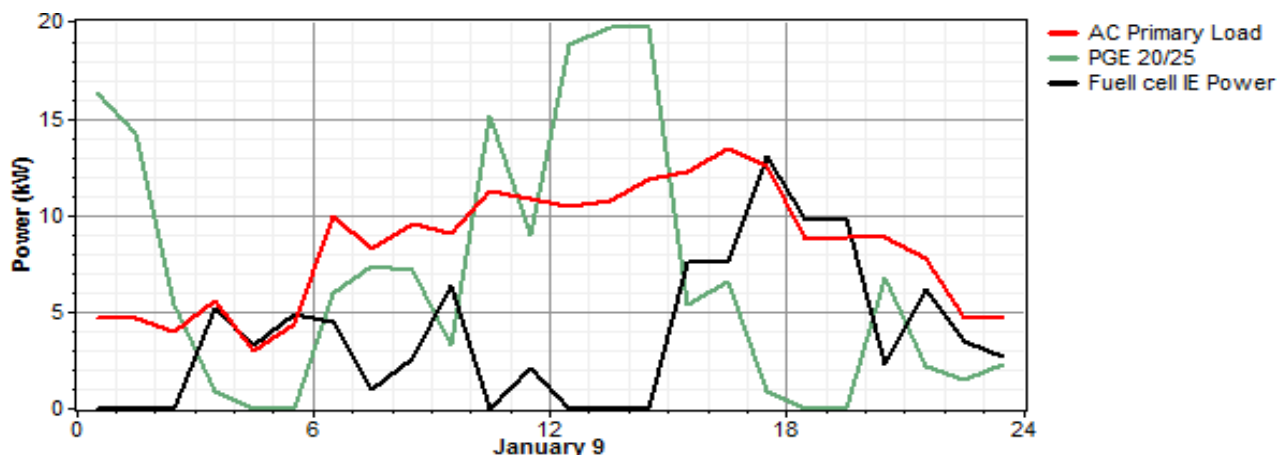


Figure 3- 24 Production horaire de l'aérogénérateur et de la PAC

La figure 3.24 montre une alternance entre la production horaire des deux sources, on remarque qu'aux environs de 14h, la production éolienne passe par un maximum alors que la PAC présente une production nulle, et aux alentours de 18h l'aérogénérateur présente une très faible production ne satisfaisant pas au besoin, alors la PAC intervient pour compenser le manque.

3.6.1.3 Production énergétique annuelle :

Les tableaux 3.9 et 3.10 représentent la production et la consommation d'énergie sur une année.

Production	kWh/yr	%
Wind turbine	147,270	93
Fuell cell IE	10,907	7
Total	158,177	100

Tableau 3- 9 Production du SEH

Consumption	kWh/yr	%
AC primary load	72,998	66
Electrolyzer load	37,262	34
Total	110,260	100

Tableau 3- 10 Consommation électrique

D'après le tableau 4.9 on voit que l'énergie éolienne produit 93% de l'énergie annuelle et que la pile à combustible produit seulement 7% d'énergie électrique avec un rendement électrique moyen de 42.9%, ce qui signifie que l'éolienne PGE 20/25 présente les bonnes caractéristiques pour la région d'Adrar.

D'après le tableau 4.10 l'électrolyseur consomme 34% de l'énergie électrique produite, afin de produire et stocker de l'énergie sous forme d'hydrogène.

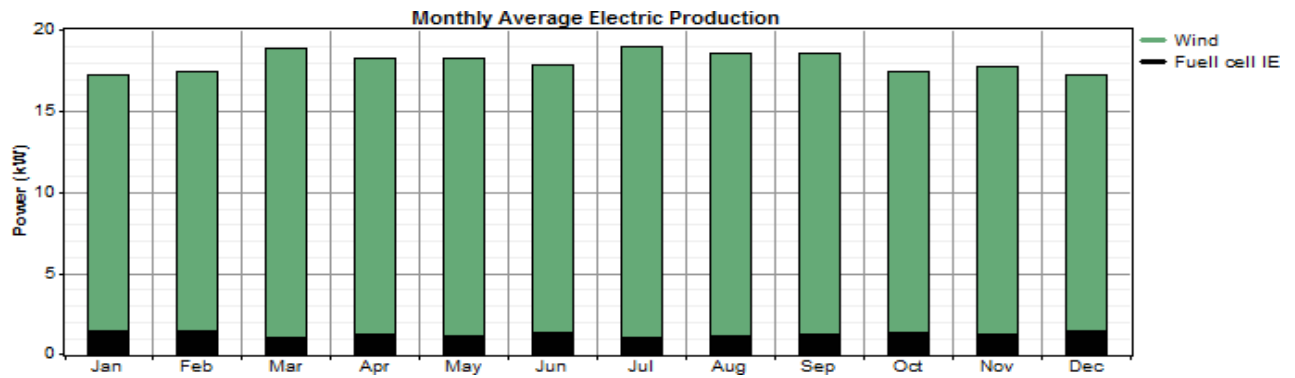


Figure 3- 25 Production électrique moyenne mensuelle

Les résultats représentés en figure 3.25, montrent une nette variation saisonnière, avec une production minimale en automne et en hiver qui augmente au printemps pour atteindre un maximum en été.

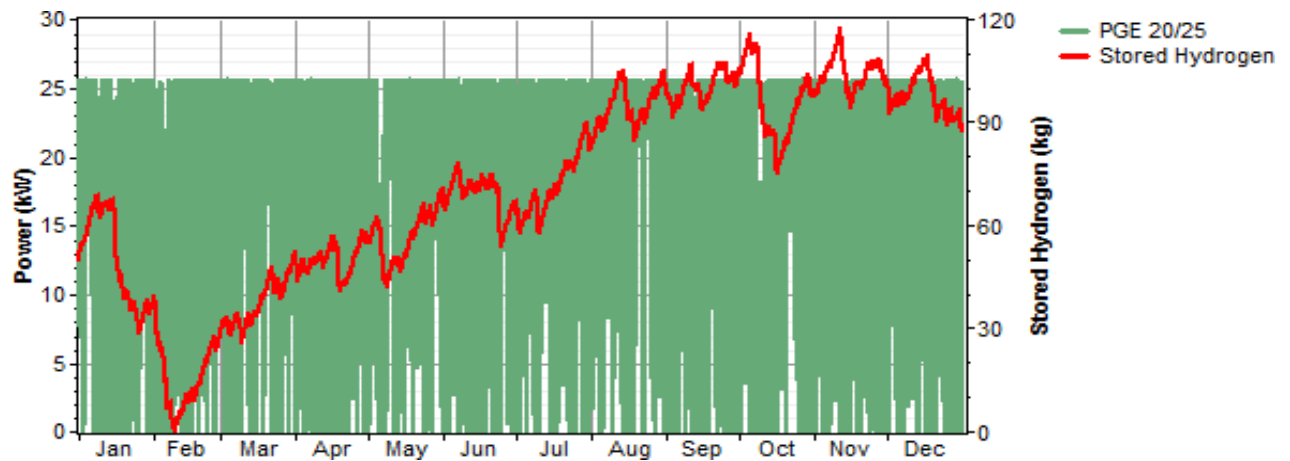


Figure 3- 26 Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production de l'aérogénérateur

D'après la figure 3.26 on constate que le stockage d'hydrogène dépend de la production électrique de l'aérogénérateur, ce qui signifie que l'énergie produite en excès permet la production, d'une quantité d'hydrogène considérable, qui diminue au fur et mesure que la vitesse du vent diminue.

Pour bien comprendre la relation entre le stockage d'hydrogène et l'énergie produite par l'aérogénérateur ; on montre les figures 3.27 et 3.28 qui représentent la production minimale et maximale d'hydrogène pour les mois de février et novembre respectivement.

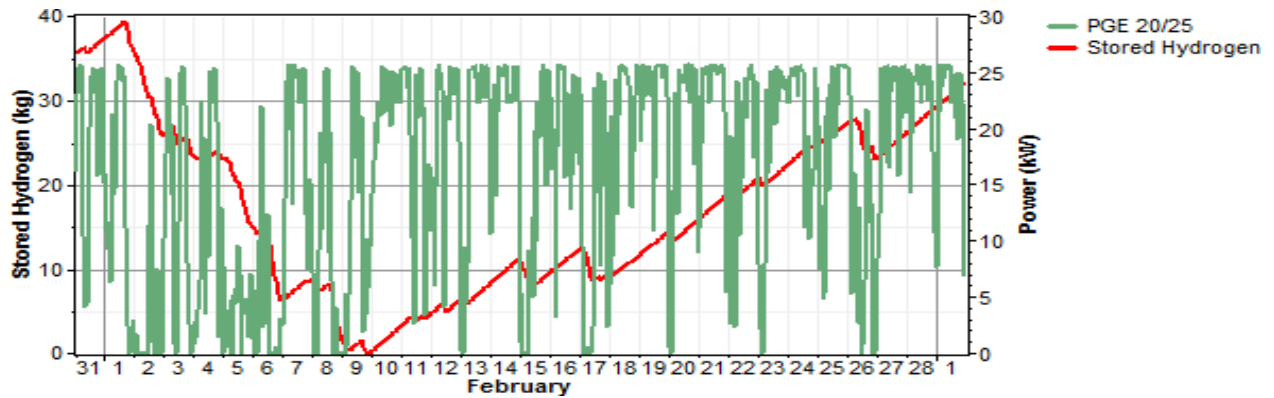


Figure 3- 27 Comparaison entre le stockage d'hydrogène et la production de l'éolienne pour le mois de février

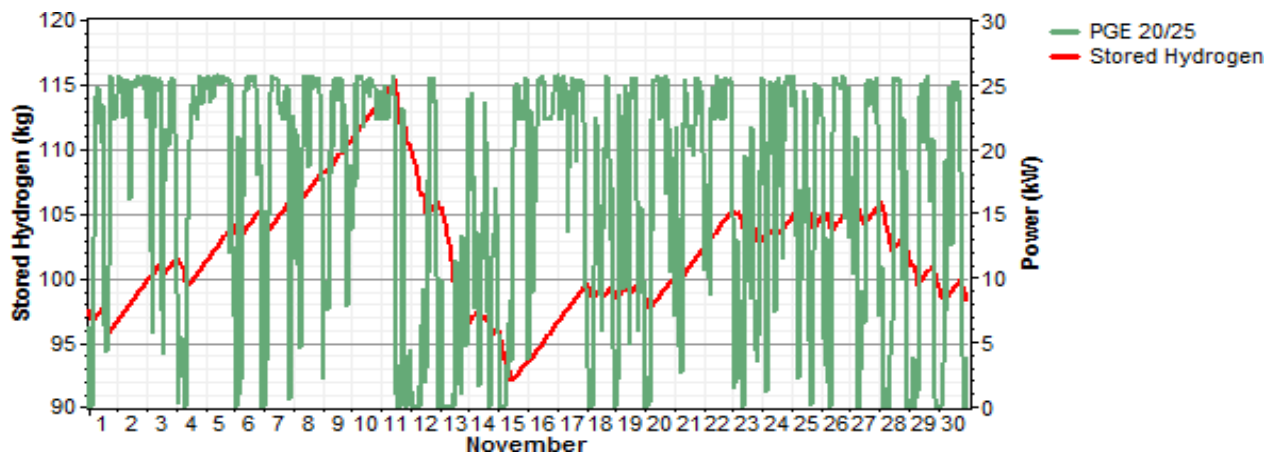


Figure 3- 28 Comparaison entre le stockage d'hydrogène et la production de l'éolienne pour le mois de novembre

Les figures 3.27 et 3.28 montrent une nette variation de la quantité d'hydrogène stocké qui est dépendante de la production de l'aérogénérateur, on remarque que cette quantité passe par un minimum durant le mois de février et un maximum en novembre, cette variation est due au caractère intermittent de l'énergie éolienne.

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

Les figures de 3.29 à 3.32 représentant la production éolienne ainsi que la consommation électrique de l'électrolyseur à l'échelle horaire pour un mois de chaque saison. On remarque clairement que l'excès d'énergie éolienne est utilisé par l'électrolyseur pour la production d'hydrogène.

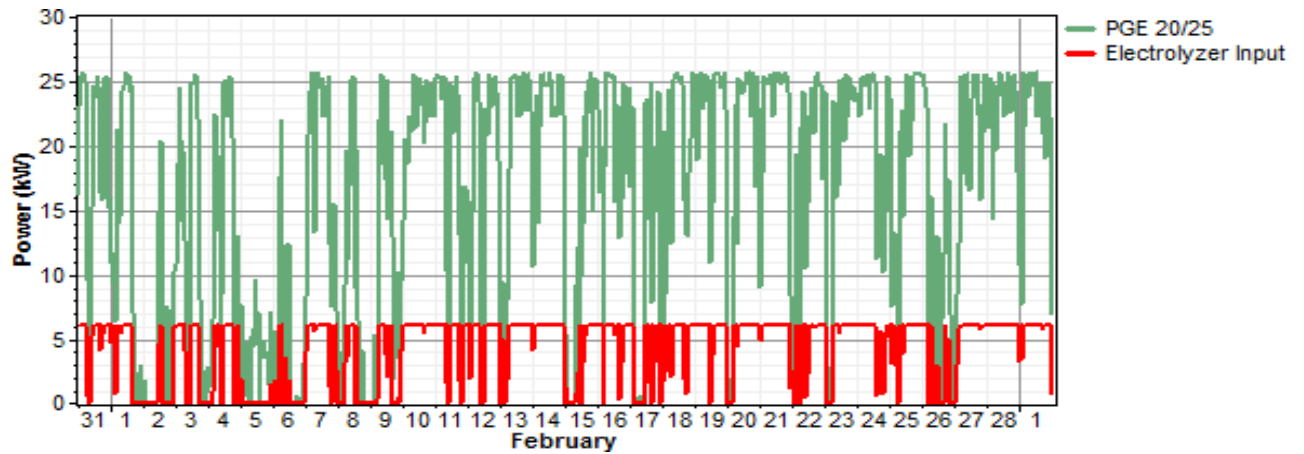


Figure 3- 29: Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de février

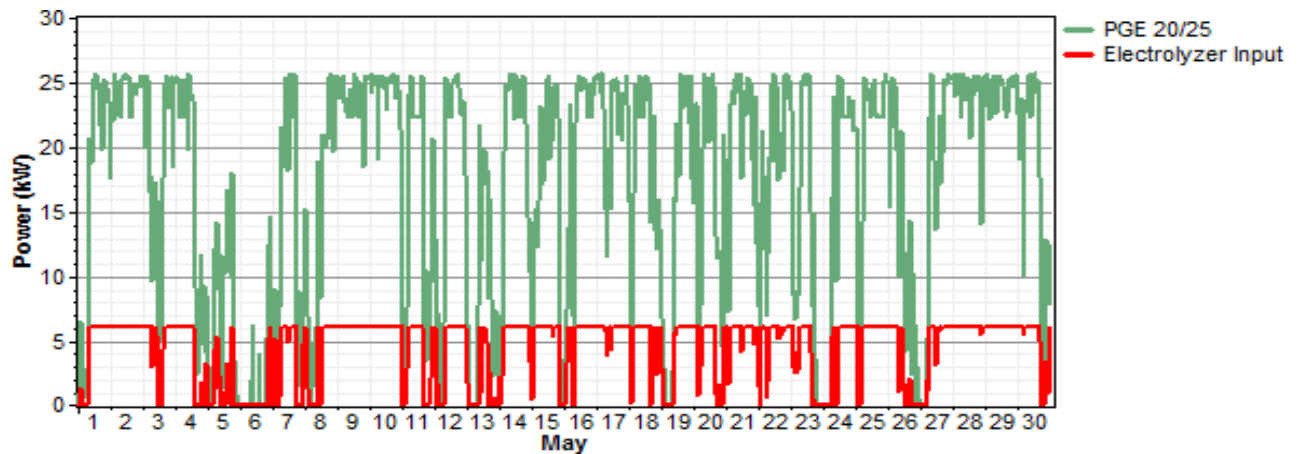


Figure 3- 30 Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de mai

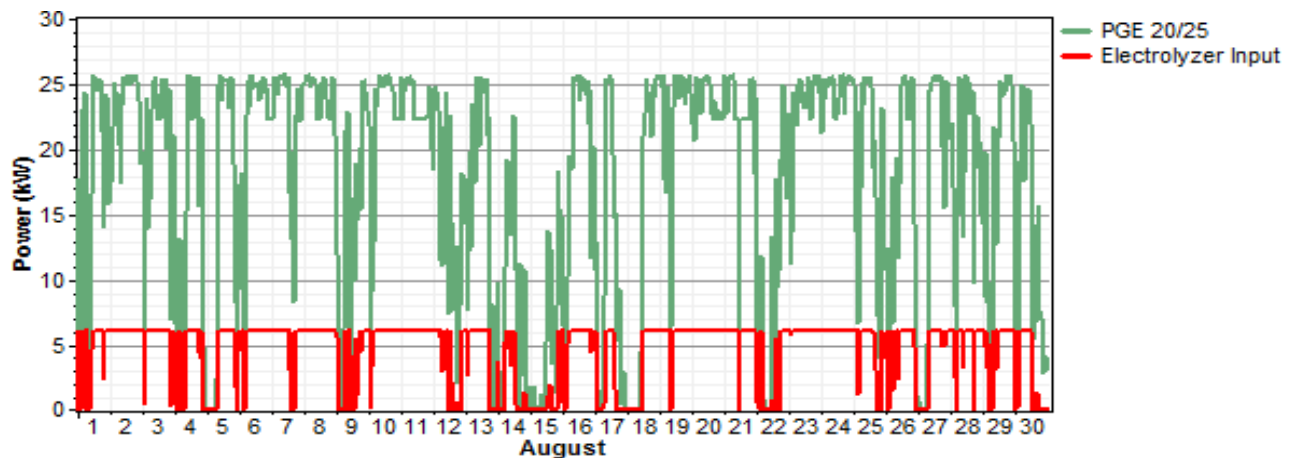


Figure 3- 31 Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois d'août

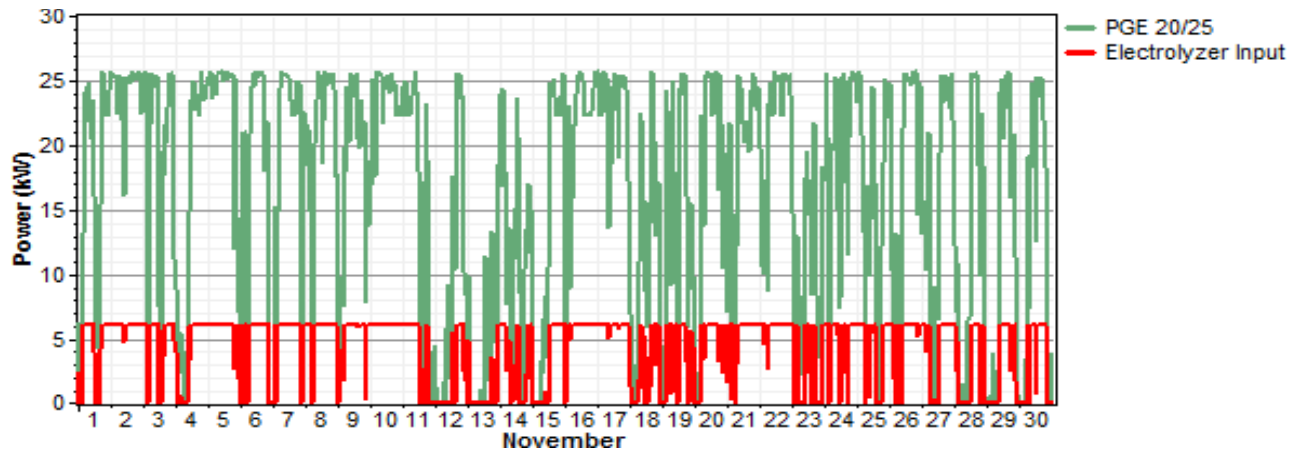


Figure 3- 32 Comparaison entre l'énergie éolienne produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de novembre

Les figures de 3.29 à 3.32 représentant la production éolienne ainsi que la consommation électrique de l'électrolyseur pour un mois de chaque saison. On remarque que le déclenchement de l'électrolyseur dépend de l'énergie en excès qui est produite par l'aérogénérateur pour être stocké sous forme d'hydrogène.

3.6.2 Simulation du système éolien-photovoltaïque-pile à combustible :

3.6.2.1 Production énergétique du SEH :

3.6.2.2 Production énergétique mensuelle :

Les figures 3.33 à 3.44 représentent une comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour chaque mois de l'année.

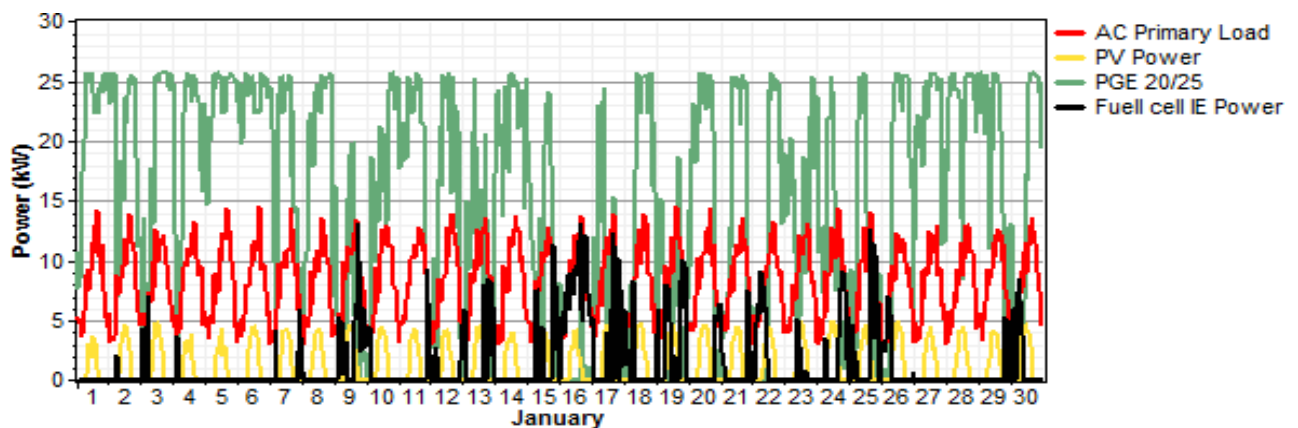


Figure 3- 33 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de janvier

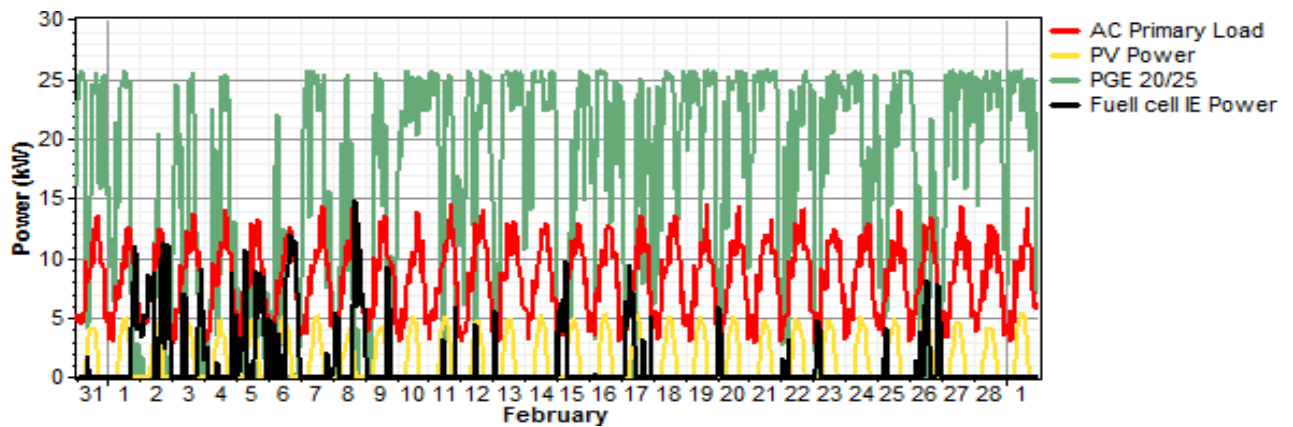


Figure 3- 34: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de février

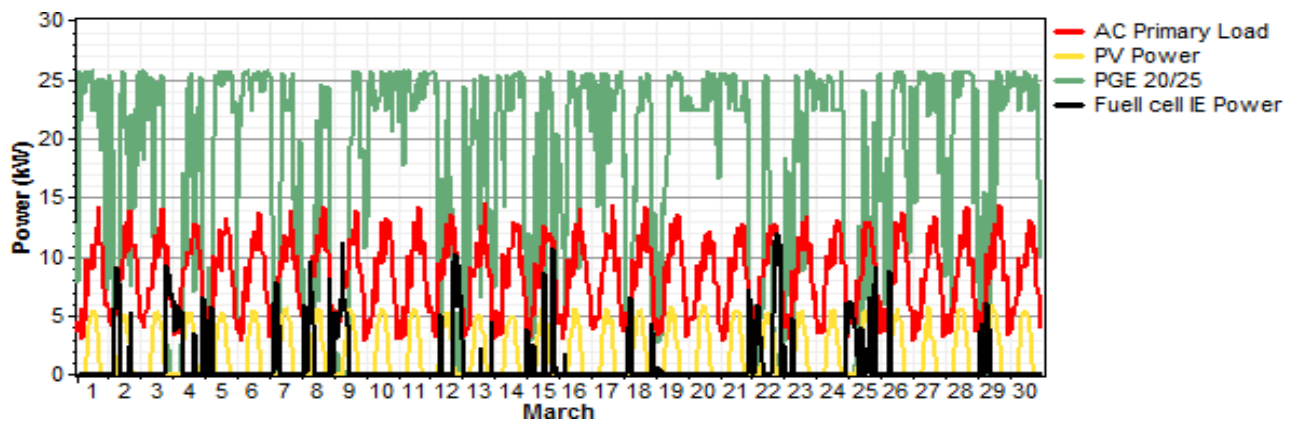


Figure 3- 35: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mars

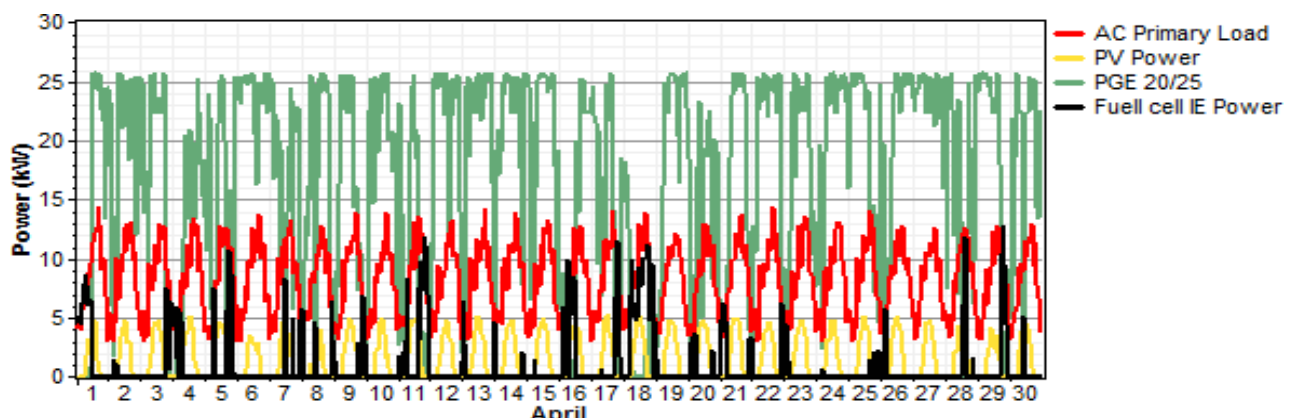


Figure 3- 36 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'avril

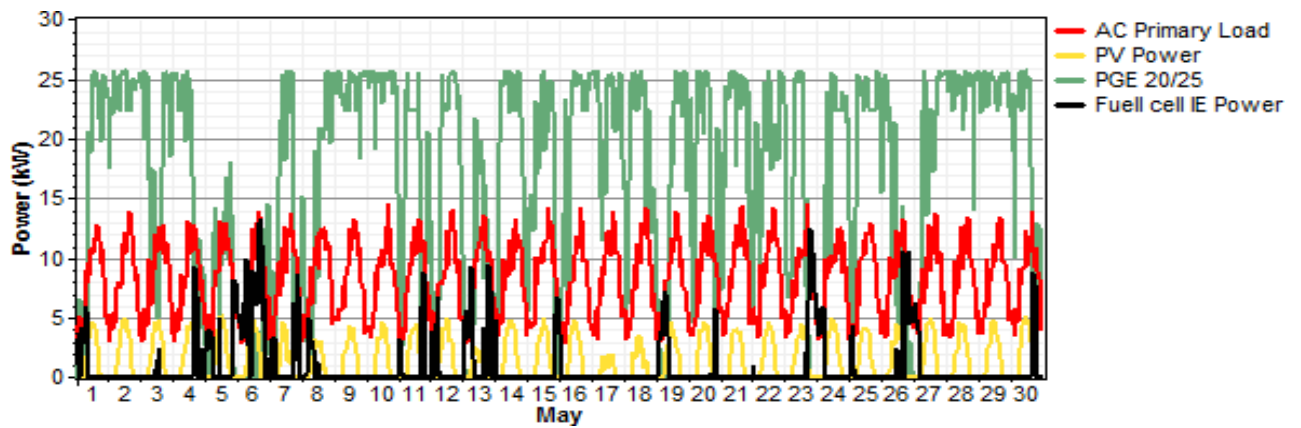


Figure 3- 37: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de mai

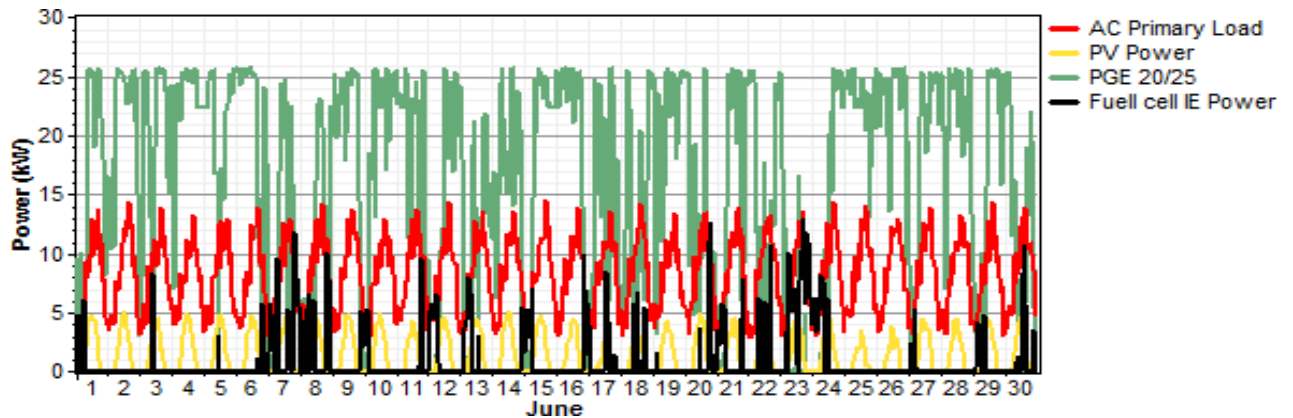


Figure 3- 38 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juin

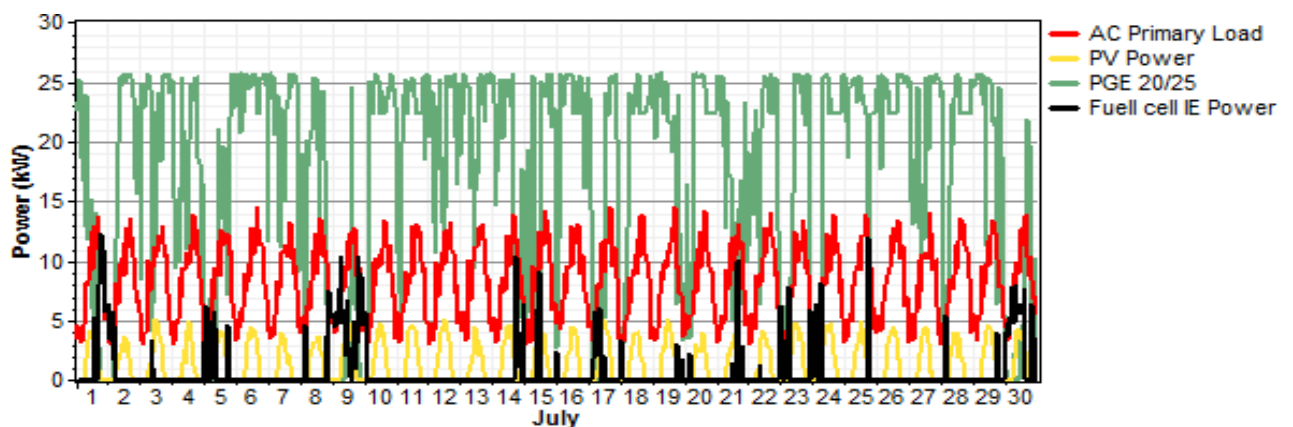


Figure 3- 39 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de juillet

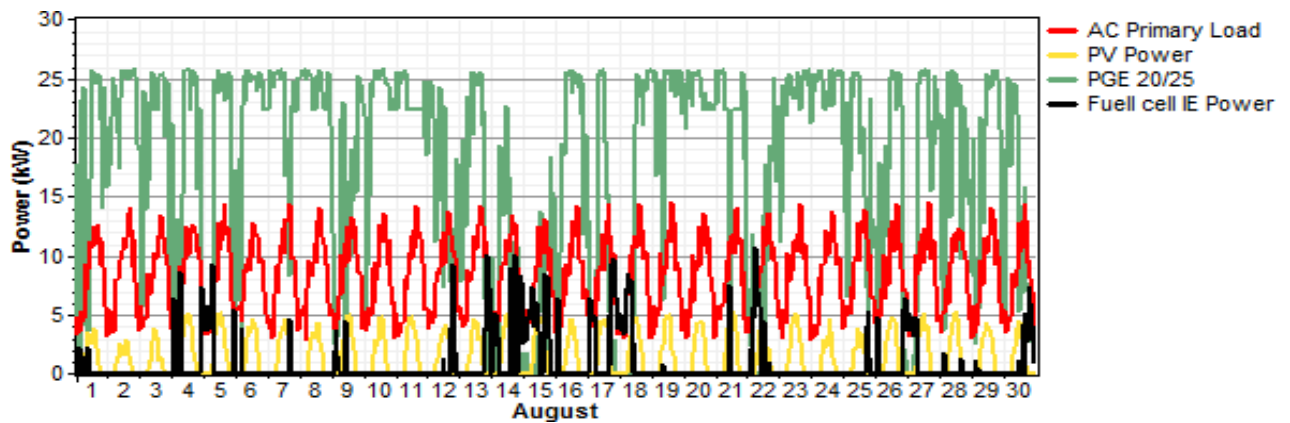


Figure 3- 40: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'août

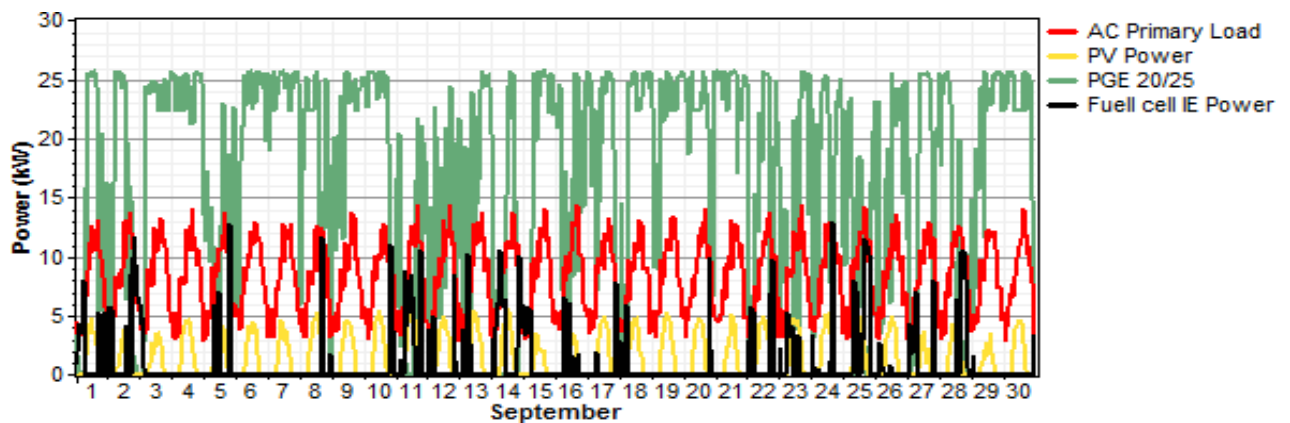


Figure 3- 41: Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de septembre

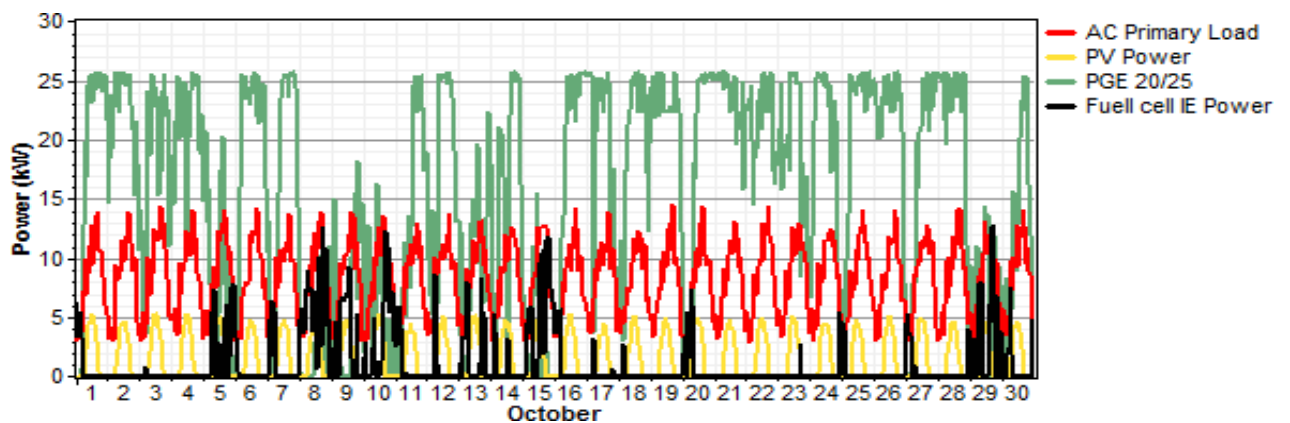


Figure 3- 42 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois d'octobre

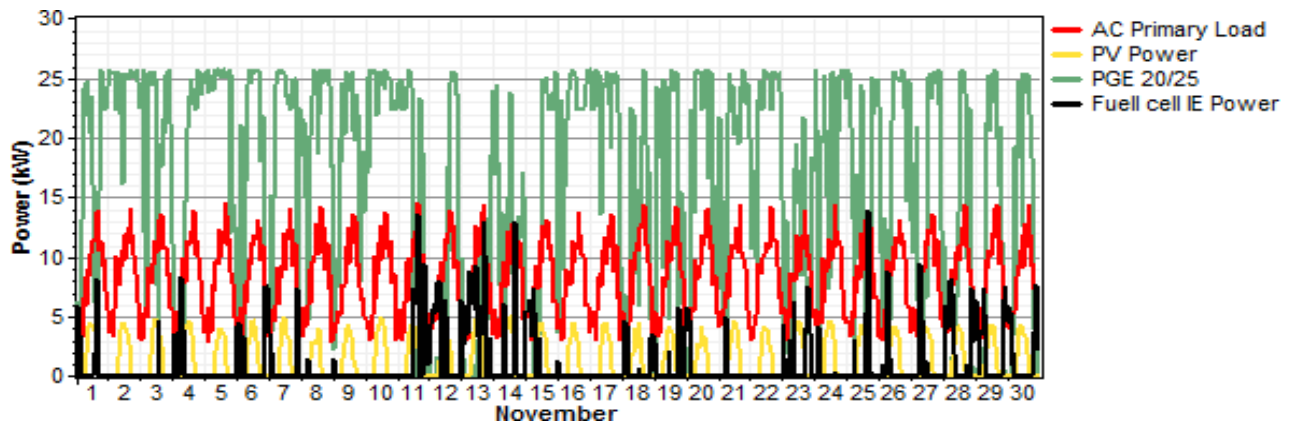


Figure 3- 43 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de novembre

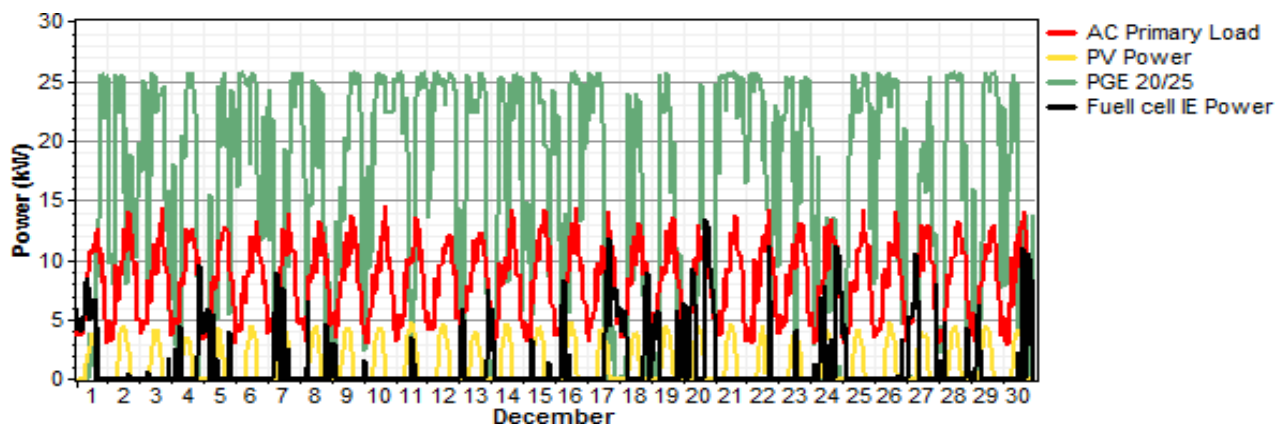


Figure 3- 44 Comparaison entre la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur, la pile à combustible, et la charge pour le mois de décembre

D'après les Figures 3.33 jusqu'à 3.44, représentant la production électrique du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et la PAC, On *control* une alternance entre les différentes sources, on remarque bien que la production est toujours élevée pour l'aérogénérateur surtout pour les mois les plus venté comme mars, juillet et août, cette production est moins importante pour une faible vitesse du vent comme cela est représenté sur les figures des mois de janvier, octobre et novembre ou la production électrique de la pile à combustible est maximale.

Afin de bien comprendre la complémentarité entre les systèmes on a représenté un exemple de production d'énergie moyenne pour un jour de janvier sur la figure 3.45.

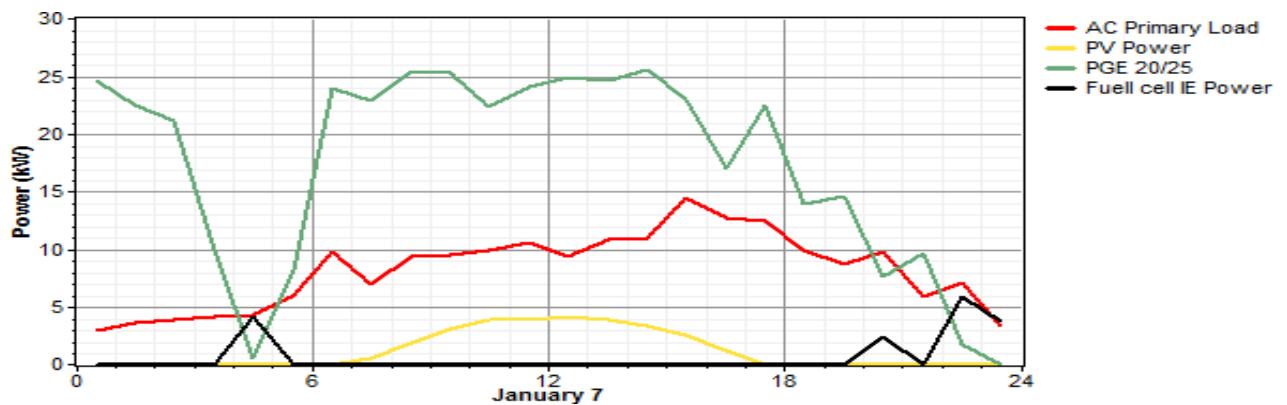


Figure 3- 45 Production horaire du générateur photovoltaïque, l'aérogénérateur et de la PAC

On observe bien que la figure 3.45 Indiquer exactement le principe de fonctionnement de notre système hybride, lors de la chute de la production de l'aérogénérateur et du générateur photovoltaïque, la PAC fournit l'énergie nécessaire pour combler la demande.

On observe que lorsque l'accumulation des deux sources éolienne et PV, actuelle une production excédentaire, la PAC est en état d'arrêt, tel qu'il est montré sur la figure 3.45 de 1 à 4h et de 5 a 19h. Pour une production déficitaire, la PAC intervient pour satisfaire à la demande.

3.6.2.3 Production et consommation annuelle :

Les tableaux 3.11 et 3.12 représentent la production et la consommation d'énergie sur une année.

Production	kWh/yr	%
PV array	10,734	6
Wind turbine	147,270	88
Fuell cell IE	9,287	6
Total	167,291	100

Tableau 3- 11 Production du SEH

Consumption	kWh/yr	%
AC primary load	72,973	69
Electrolyzer load	32,553	31
Total	105,526	100

Tableau 3- 12 Consommation électrique

D'après les tableaux 3.11 et 3.12 on voit que l'éolienne contribue à 88% de la production d'énergie annuelle alors que le photovoltaïque et la pile à combustible chacune produit seulement 6% d'énergie électrique avec un rendement électrique moyen de la PAC de 42.9 %, Ce qui traduit le choix de l'éolienne PGE 20/25 en terme de performances.

Pour un rendement de 85%, l'électrolyseur consomme 31% de l'énergie électrique produite. Ce qui permet de produire et stocker de l'énergie sous forme d'hydrogène.

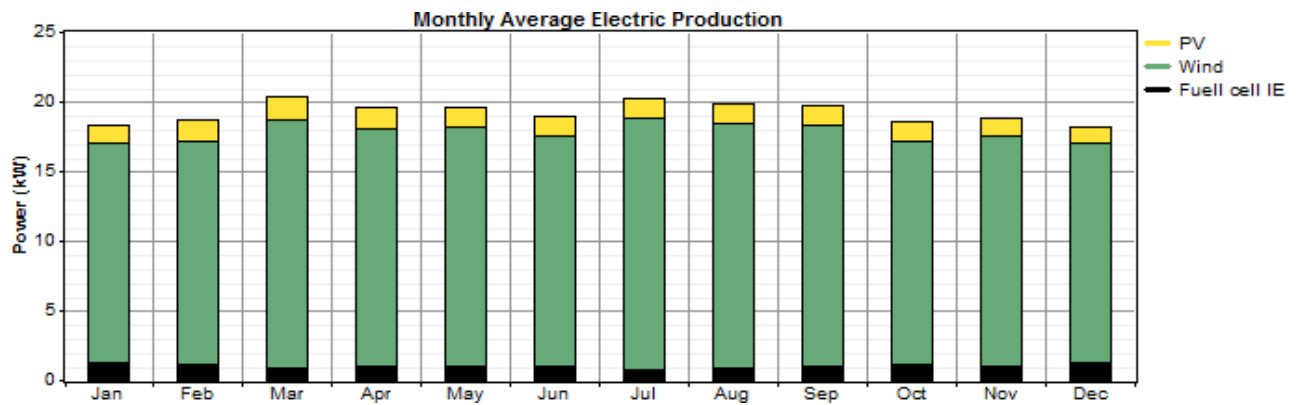


Figure 3- 46 Production électrique moyenne mensuelle

On observe que la contribution de l'aérogénérateur en la production énergétique durant les saisons de printemps et l'été est importante, cette production réduit en hiver et en automne suite à une diminution de la vitesse du vent, pour le générateur photovoltaïque on remarque que la production atteint son maximum en hiver et en automne, qui se caractérisent par une production électrique de la PAC.

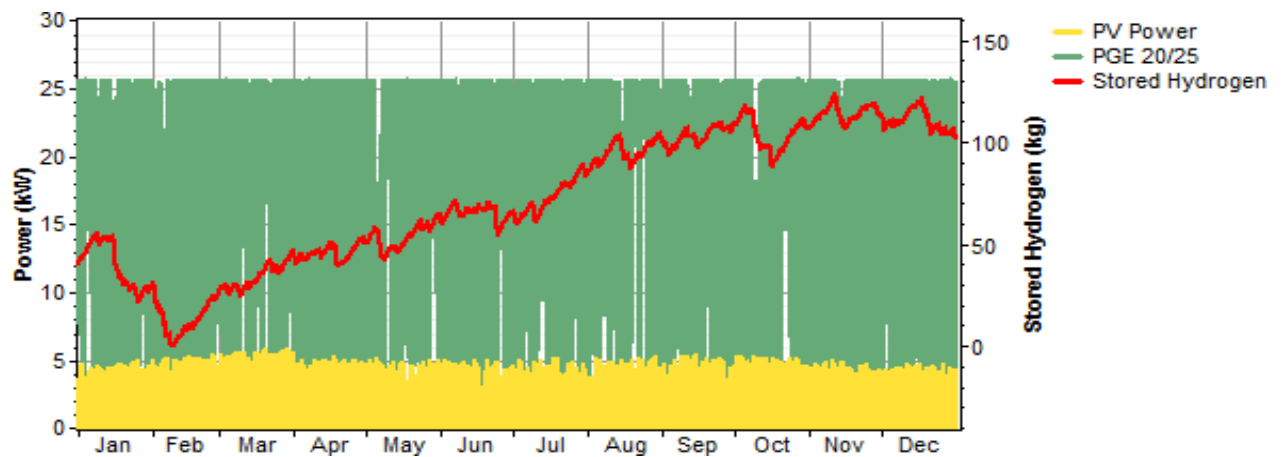


Figure 3- 47 Evolution du stockage de l'hydrogène en fonction de la production du générateur photovoltaïque et l'aérogénérateur

D'après la figure 3.47 on constat que le stockage d'hydrogène est relatif à la production électrique à partir de l'aérogénérateur et du générateur photovoltaïque, c'est-à-dire l'énergie produite en excès grâce aux deux sources, la quantité d'hydrogène stocké devient plus importante, cette quantité réduire lorsque l'accumulation présente une insuffisance, et dans ce cas la quantité stockée d'hydrogène sera utiliser pour alimenter notre PAC.

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

Les figures 3.48 à 3.51 représentent une comparaison entre la production du GPV, l'aérogénérateur, la PAC, et celle consommé par l'électrolyseur pour un mois de chaque saison de l'année.

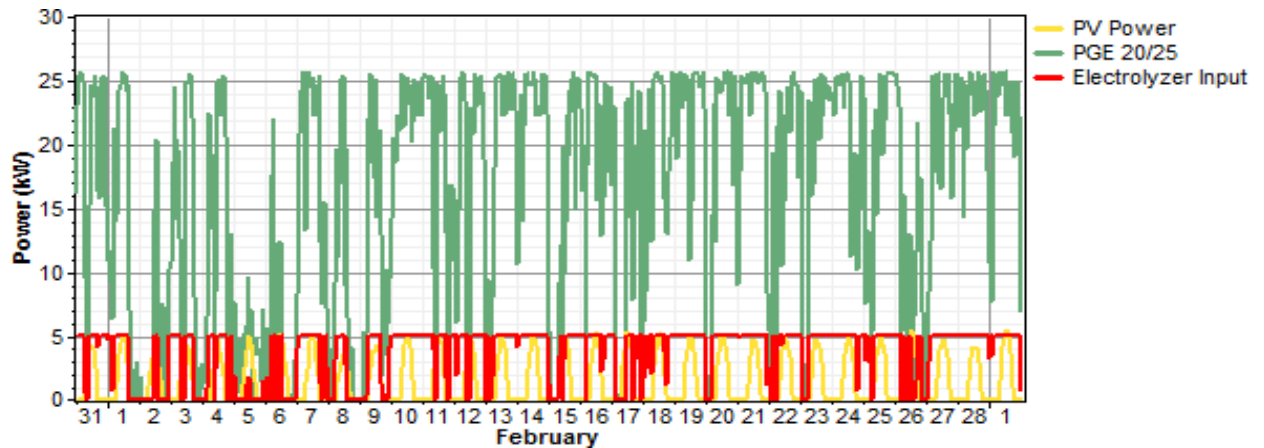


Figure 3- 48 Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de février

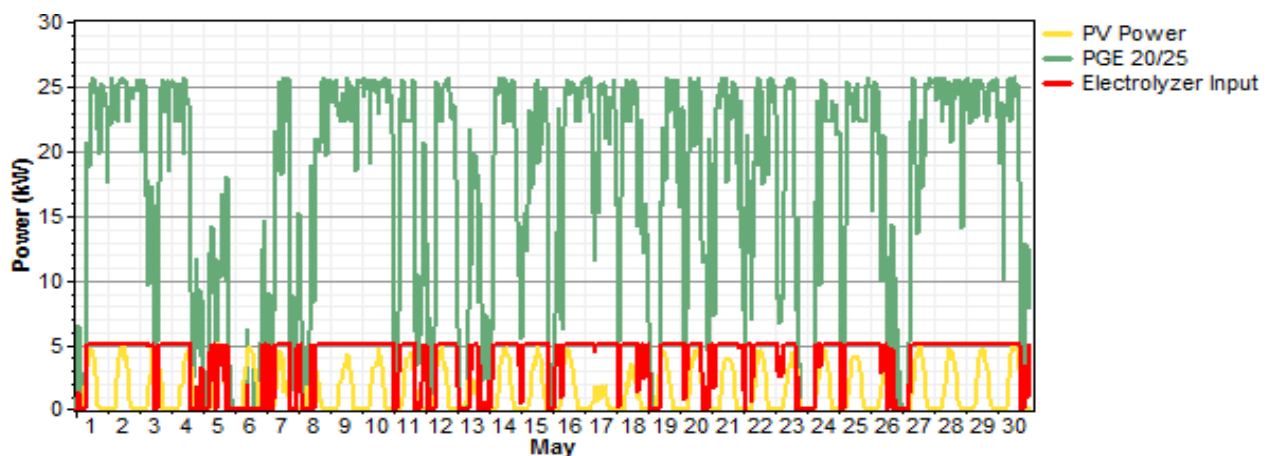


Figure 3- 49: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de mai

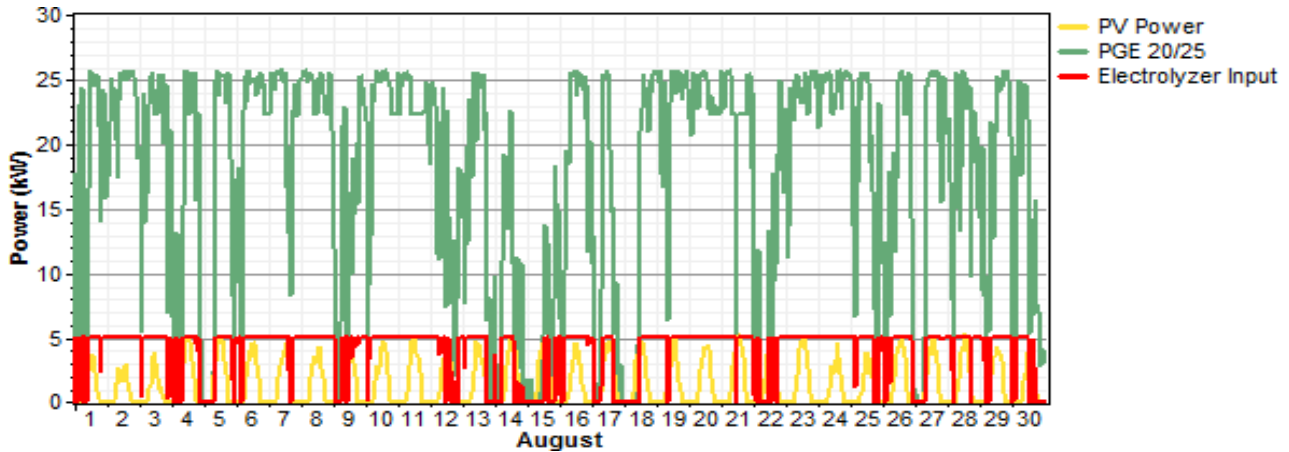


Figure 3- 50: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois d'aout

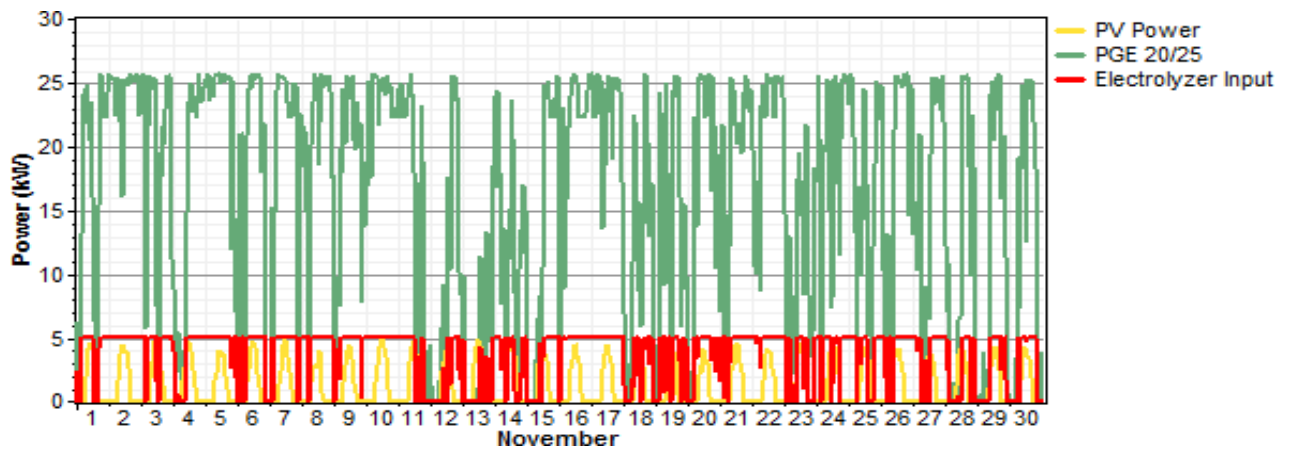


Figure 3- 51: Comparaison entre l'énergie éolienne et photovoltaïque produite et celle consommée par l'électrolyseur pour le mois de novembre

Les figures de 3.48 à 3.51 représentant la production éolienne et PV ainsi que la consommation électrique de l'électrolyseur pour un mois de chaque saison. On observe clairement que l'excès d'énergie éolienne est utilisé par l'électrolyseur pour la production d'hydrogène. Donc l'électrolyseur est un moyen de stockage de l'excédent d'énergie.

Les résultats représentés en les figures 3.48 et 3.51, montrent que la consommation de l'électrolyseur dépend de l'excès de l'accumulation des deux sources.

3.7. Comparaison entre les deux scénarii étudiés:

Une étude paramétrique a été simulée pour le site d'Adrar à l'aide du logiciel HOMER, et les résultats sont présentés dans le tableau 3.13 :

Mois	scenario1		scenario 2		
	Wind (kW)	Fuel cell (kW)	PV (kW)	Wind (kW)	Fuel cell (kW)
janvier	15,8	1,4728	1,2435	15,8	1,2754
février	16,049	1,4241	1,4523	16,049	1,1562
mars	17,84	1,0136	1,7239	17,84	0,8785
avril	17,095	1,1947	1,4796	17,095	1,0052
mai	17,141	1,166	1,4251	17,141	1,0069
juin	16,534	1,31	1,4254	16,534	1,058
juillet	18,016	0,9958	1,3945	18,016	0,8126
août	17,502	1,0918	1,4249	17,502	0,9019
septembre	17,342	1,2032	1,3984	17,342	0,9857
octobre	16,048	1,3757	1,4797	16,048	1,1255
novembre	16,516	1,2592	1,2522	16,516	1,0402
décembre	15,791	1,4462	1,1687	15,791	1,239

Tableau 3- 13 Comparaison de la production mensuelle moyenne entre les deux scénarios

D'après le tableau 3.13 On note que la production de l'aérogénérateur est la même pour les deux scénarii et que le taux d'utilisation de la PAC du deuxième scénario est moins élevé par rapport à la première, cela est dû à la présence d'une troisième source.

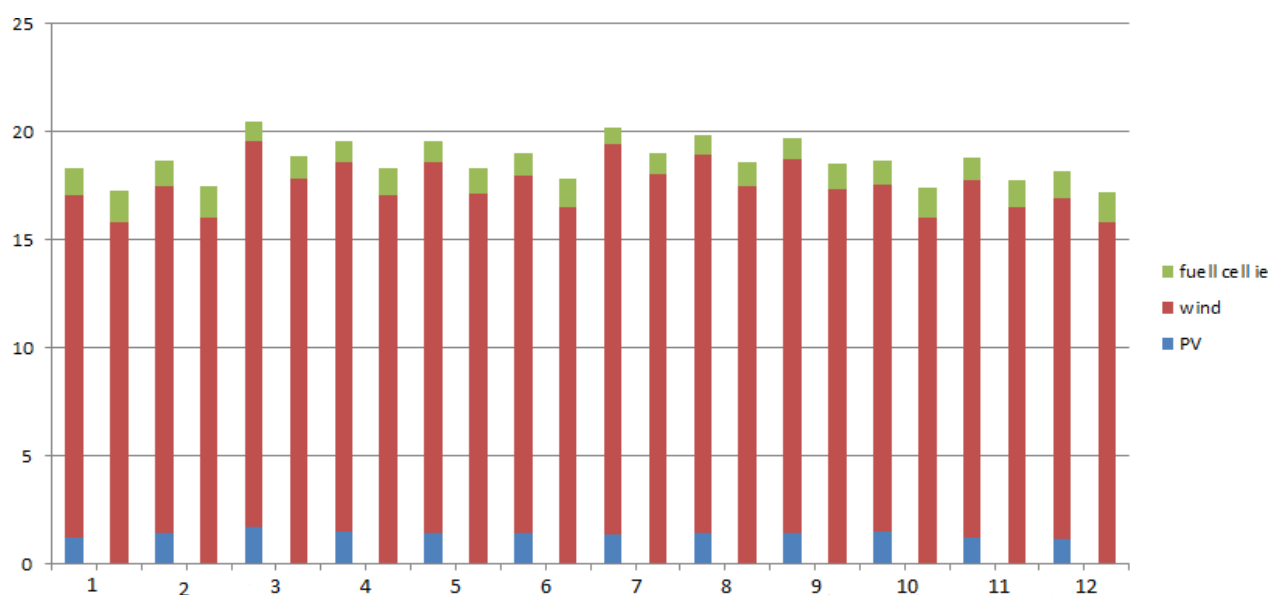


Figure 3- 52 comparaison entre le cumul des deux configurations pour chaque mois de l'année

La figure 3.52 Montre que la production de la deuxième scénario Eole-PV-PAC présente un surplus de production variation saisonnière par rapport à la première éolienne-PAC. Ce surplus varie le long de l'année de 3.2 en automne à 3.8 kW en hiver.

3.8. Conclusion :

Cette étude nous a permis de faire une comparaison entre les deux configurations proposées afin d'alimenter une charge de 200 kWh/j. La première présente seulement deux sources éolien-PAC, alors que la deuxième configuration comporte trois sources éolien-PV-PAC, les résultats de la simulation ont montrés qu'un système à trois sources est le mieux adapté pour la région d'Adrar en termes de production d'énergie

VI. Références

- [1] Z. Roumila, « Etude d'un système hybride (Photovoltaïque- Eolien- Diesel)», Mémoire de Doctorat, Université Bejaia, 2017/2018
- [2] L. Stoyanov, « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Thèse de Doctorat de l'Université Technique de Sofia, 2011.
- [3] H. Khamtache, L. Moali, « Gestion de puissance d'un Système Hybride », Mémoire de fin d'études, Université de Bejaia, 2016/2017.
- [4] I. Vechiu, « Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thèse de Doctorat de l'Université du Havre, France, 2005.
- [5] P.M. Koumba, « Etude d'intégration de sources d'énergie renouvelable à un réseau électrique autonome », Université du Québec, 2013.
- [6] L. Croci, « Gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/super-condensateurs », Thèse de Doctorat de l'université de Poitiers, 2013.
- [7] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B.S. Sy, « Le pompage photovoltaïque manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », Université d'Ottawa, 1998, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2015
- [8] Corinne Alonso, « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie », UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III, Décembre 2003.
- [9] N-O Cherchali, A. Morsli, M. S. Boucherit, L. Barazane and A. Tlemcani, « Application de la Logique Floue pour la Poursuite du Point de Puissance Maximale d'un Système Photovoltaïque », Laboratoire de Recherche en Electrotechnique et Automatique.
- [10] N. KASBADJI-MERZOUK, « *Evaluation du gisement énergétique éolien contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie* », thèse de doctorat, l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen (Algérie), 2006
- [11] B. Cheikh, „commande d'une machine asynchrone à double alimentation en vue de son application dans le domaine de l'énergie éolienne étude et expérimentation-, Thèse doctorat, l'université des sciences et de la technologie - Mohamed Boudiaf-Oran, 2007
- [12] A. Benjemaa, Coopération méta heuristique et logique floue pour le dimensionnement d'une installation hybride. Thèse doctorat

- [13] R. Alkama. «Cours pile à combustible», université de Bejaia, 2018
- [14] «Alloprof-L'électrolyseur de l'eau», Consulté le 02/04 /2018.
- [15] L.Debou et D.Maghribi. « Commande d'un système hybride (photovoltaïque éolienne) de production d'énergie», Mémoire d'ingénieure d'état. Université de Bejaia, 2008
- [16] A.LABOURET, M.VILLOZ, « *Énergie solaire photovoltaïque* », DUNOD, France, 2^{ème} édition, 2005.
- [17] J-A. DUFFIE, W-A. BECKMAN, “*Solar engineering of thermal processes*”, JOHN WILEY &
- [18] M.BOUHALLA, “*Design et dimensionnement d'une installation autonome PV-hydrogène*”, Mémoire de magister, Université Dr Yahia FARES de Medéa (Algérie), 2009.
- [19] “Effet Photovoltaïque”, Apex BP Solar, France, www.apex-france.com, 2000,
- [20] H.GAZTAÑAGA ARANTZAMENDI, “*Etude de structures d'intégration des systèmes de génération décentralisée: application aux microréseaux*”, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Grenoble, 2006.
- [21] J.LABBÉ, « *L'hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés* », thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 2006.
- [22] N. KASBADJI-MERZOUK, M. MERZOUK, “*Estimation du potentiel énergétique éolien utilisable Application au pompage dans les Hauts Plateaux*”, Revue des Energies Renouvelables Vol. 9 N°3, pp 155 – 163, CDER, Algérie, 2006.
- .
- [23] S. BUSQUET, « *Étude d'un système autonome de production d'énergie couplant un champ photovoltaïque, un électrolyseur et une pile à combustible : réalisation d'un banc d'essai et modélisation* », thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 2003.
- [24] A.DAMIEN, « *Hydrogène par électrolyse de l'eau* », Techniques de l'Ingénieur, J6366, 1992.
- [25] Supplément au journal "Uranie" de l'ARCEA/Gif N°ISSN 1637.4916- Fiche N° 36: Hydrogène, 2009, www.energethique.com.
- [26] E-F.MOGOS, « *Production décentralisée dans les réseaux de distribution. Etude pluridisciplinaire de la*

modélisation pour le contrôle des sources », thèse de doctorat, l'école nationale supérieure d'arts et métiers, 2005.

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

[28] D. SAHEB KOUSSA, « *Production d'électricité par un générateur éolien* », *revue des énergies renouvelable* 13 (2008).

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

Résumé

L'objectif de ce travail est d'effectuer une étude d'un système hybride afin d'alimenter une charge de 200 kWh/j. Les systèmes hybrides sont une solution innovante au problème du stockage des énergies renouvelables. Ces systèmes comprennent une ou plusieurs sources renouvelables d'énergie, un électrolyseur pour produire de l'hydrogène et de l'oxygène lorsque la source renouvelable fournit un excédent d'énergie, à l'inverse, lorsque la demande excède la capacité de la source renouvelable, une pile à combustible consomme les gaz afin de fournir le complément d'énergie nécessaire. Les données du rayonnement solaire et la vitesse du vent de la région d'Adrar sont utilisées pour la simulation. Les scénarios : Eolien- PAC et Eolien-PV- PAC sont simulées et optimisées à l'aide du logiciel HOMER, et les résultats ont montrées que le deuxième scénario est la mieux adaptée pour la région d'Adrar en termes de production.

Mots clés :

Système Photovoltaïque, Système éolien, PAC, Système hybride Photovoltaïque-éolien-PAC, Dimensionnement.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out a study of an hybrid system in order to supply a load of 200 kWh/d. hybrid systems are an innovative solution to the problem of storage of renewable energies. These systems include: one or several renewable sources of energy, an electrolyser to produce hydrogen and oxygen when the renewable source provides excess energy. conversely , A fuel cell consumes the gases in order to provide the additional energy required. The solar radiation data and the wind speed of the Adrar region are used for the simulation. The configurations: Wind-FC and Wind-PV-FC are simulated and optimized using the HOMER software. And the results showed that the second configuration is best suited for the Adrar region in terms of production.

Key words

Photovoltaic system, Wind power system, Fuel Cell (FC), Photovoltaic-wind-FC hybrid system, Dimensioning.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة لنظام هجين من أجل تشغيل حمولة 200 كيلو واط/ساعة في اليوم. النظم الهجينة هي حل مبتكر لمشكلة تخزين الطاقة المتجددة. وتشمل هذه النظم واحد أو أكثر من مصادر الطاقة المتجددة، كهربائي لإنتاج الهيدروجين والأكسجين عندما يوفر مصدر الطاقة المتجددة الطاقة الزائدة، وعلى العكس من ذلك، عندما يتجاوز الطلب قدرة المصدر المتجدد، خلية وقود تستهلك الغازات لتوفير الطاقة الإضافية اللازمة. وتستخدم في المحاكاة بيانات الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح من منطقة أدرار. السيناريوهات: يتم محاكاة نظام طاقة الرياح- خلايا الوقود ونظام الألواح الشمسية - خلايا الوقود وتحسينها باستخدام برنامج HOMER، وأظهرت النتائج أن السيناريو الثاني هو الأنسب لمنطقة أدرار من حيث الإنتاج.

الكلمات الرئيسية:

نظام الألواح الشمسية، نظام طاقة الرياح، خلايا الوقود، النظام الهجين الألواح الشمسية - نظام طاقة الرياح، التحجيم.