

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

Bentadj Mehammed Aymen

Bourahlaoui Brahim

Thème :

Etude d'un système hybride à base d'hydrogène vert

Soumis au jury composé de :

M ^r . BENMIR Abdelkader	MCB	Président	UKM Ouargla
M ^r DJAFOUR Ahmed	Professeur	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
M ^r KOUACHE Ahmed Zouhir	Doctorant	Co-encadreur	UKM Ouargla
M ^r BOUHAFS Ali	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2023/2024

DÉDICACES

Mon parcours universitaire s'est terminé après la fatigue et les épreuves, et me voilà concluant mes recherches de fin d'études avec toute la vigueur et l'activité que je n'aurais pas faites sans la grâce d'Allah, remerciez Allah au début et à la fin

Consacrez cet humble effort

À ceux qui m'ont donné l'esprit de vie et ont illuminé les ténèbres du monde pour moi, à ceux qui ont été la raison de mon existence après Dieu et ont allumé le carburant de mon énergie et m'ont inondé de leurs prières sincères, à ceux qui m'ont inculqué l'amour de la Science et de l'apprentissage, à ceux dont l'amour s'élève au-dessus de tout amour, à ceux qui m'ont soutenu et m'ont fourni les moyens du bonheur et du succès, à mes parents, que Dieu les préserve.

À tous ceux qui m'ont soutenu et renforcé après Dieu dans mon voyage, à tous les cœurs qui m'ont rappelé, m'ont appelé et m'ont souhaité le meilleur.

Bentadj mehammed aymen

DÉDICACES

À celle que je préfère de moi-même, c'est elle qui s'est sacrifiée pour moi, et que je n'ai jamais vue ne ménager aucun effort pour me rendre heureuse pour toujours et à jamais, ici seule est ma mère bien-aimée

Nous marchons toujours sur les chemins de la vie, et celui qui contrôle nos esprits reste avec nous dans chaque chemin que vous empruntez, pour vous, propriétaire d'un bon visage et de bonnes actions, je ne vous ai pas vu lésiner

Pour le reste de ma vie, tu es mon cher père

*À ceux qui sont mon refuge et un symbole de ma fierté et de ma fierté, je suis d'eux et ils sont de moi...
Frère*

Et mes chères sœurs.

Et à mes amis et collègues du lot, je vous dédie cet humble travail, en espérant d'Allah Tout-Puissant qu'Il nous apporte son aide et son succès

Bourahlaoui brahim

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu Tout-Puissant et je le remercie pour le succès de notre accomplissement de cet humble travail

Je voudrais également exprimer mes sincères remerciements au professeur superviseur Dr. "Djafour Ahmed" et au professeur superviseur adjoint " KOUACHE Ahmed Zouhir " pour leurs conseils avisés et avisés, tout au long

La période d'achèvement de ce mémorandum.

Merci également aux professeurs qui sont membres du comité de discussion BENMIR Abdelkader et BOUHAFS Ali Qui a gentiment lu cette note.

Je tiens également à remercier tout le personnel universitaire, les professeurs et les administrateurs.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cet objectif Le mémoire

Sommaire

DÉDICACES	I
DÉDICACES	II
REMERCIEMENTS	III
Sommaire	IV
LISTE DES ACRONYMES	VII
LISTE DES SYMBOLES	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAU	X
INTRODUCTION GÉNÉRALE	a
CHAPITRE-I- <u>Gisement solaire et énergie photovoltaïque</u>	1
<i>I.1 . Introduction</i>	<i>2</i>
<i>I.2 Données relatives au soleil</i>	<i>2</i>
<i>I.3 Rayonnement solaire</i>	<i>2</i>
<i>I.4 . Mouvements de la Terre</i>	<i>2</i>
<i>I.5 . Spectre du rayonnement</i>	<i>3</i>
<i>I.6 Position du soleil et le temps</i>	<i>4</i>
1.6.1 Position du soleil	4
1.6.2 Définition des différents temps	6
<i>I.7 Potentiel solaire en Algérie</i>	<i>6</i>
<i>I.8 L'énergie photovoltaïque (PV)</i>	<i>7</i>
1.8.1 Le panneau solaire :	8
1.8.2 Système de stockage	9
1.8.3 Types des systèmes photovoltaïques	9
1.8.4 Modélisation mathématique d'un panneau PV :	10
1.8.5 Influence et la Caractéristique PV	12
<i>Conclusion :</i>	<i>14</i>
CHAPITRE-II-Hydrogene et pile à combustible	15
<i>II.1 Introduction</i>	<i>16</i>
<i>II.2 Définition</i>	<i>16</i>
<i>II.3 Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène et comparaisons avec le gaz nature ..</i>	<i>17</i>
<i>II.4 Méthodes de production de l'hydrogène</i>	<i>17</i>
II.4.1. Production d'hydrogène par oxydation partielle	17

II.4.2.	Production d'hydrogène par la Gazéification de charbon	17
II.4.3.	Production de l'hydrogène par vaporeformage:	18
II.4.4.	Production d'hydrogène par nucléaire.....	18
II.4.5.	Production d'hydrogène à partir la biomasse:	19
II.5	<i>Stockage de l'hydrogène</i>	21
II.5.1	Stockage liquide	21
II.5.2	Stockage solide.....	21
II.5.3	Stockage gazeux	21
II.6	<i>Application industrielle</i>	22
II.6.1	Application industrielle historique	22
II.6.2	Applications de l'industrie de l'énergie hydrogène.....	23
II.7	<i>Les piles à combustible</i>	24
II.7.1	Historique générale de la pile à combustible.....	24
II.7.2	Définition.....	24
II.7.3	Principe de fonctionnement.....	24
II.7.4	Les composants de la pile à combustible.....	25
II.7.5	Les différents types de pile à combustible.....	26
II.7.6	Applications des piles à combustibles	28
	<i>Conclusion :</i>	30
	CHAPITER -III-Analyse et optimisation du système hybride par HOMER.....	31
III.1	<i>Introduction</i>	32
III.2	<i>. Présentation du système hybride</i>	32
III.3	<i>Principe de fonctionnement de système</i>	33
III.4	<i>Description du logiciel HOMER</i>	34
III.5	<i>Données relatives à l'ensoleillement moyen au site de Ouargla</i>	35
III.6	<i>Configuration du système :</i>	36
III.7	<i>Résultats améliorés</i>	37
III.7.1	La production et la consommation annuelles d'énergie électrique :	38
III.7.2	Puissance de sortie du générateur photovoltaïque :	38
III.7.3	Puissance de sortie du Pile à combustible	39
III.7.4	Consommation de l'électrolyseur	40
III.7.5	Convertisseur :.....	41
III.7.6	Réservoir d'hydrogène :	41
III.7.7	Batteries :	41
III.7.8	Coût du système	42
III.8	<i>Comparaison du coût du système et du coût de Mise en place d'un ligne d'alimentation moyenne tension</i>	42
	<i>Conclusion</i>	45

CONCLUSION GÉNÉRALE.....	46
Références bibliographiques.....	48
Résumé.....	51

LISTE DES ACRONYMES

LES ACRONYMES	LES DEFINITIONS
TSM	Temps solaire moyenne
TSV	Temps solaire vrai
TU	Temps universel
ET	Equation du temps
TL	Temps légal
PV	Photovoltaïque
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PEM	Proton Exchange Membrane (Membrane d'échange de protons)
GE	General Electric
NASA	National Aeronautics and Space Administration
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell
DEFC	Direct Ethanol Fuel Cell
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
AFC	Alkaline Fuel Cell
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
HOMER	Hybrid Optimization of Multiple Energy Ressources

LISTE DES SYMBOLES

Symboles	Définitions	Unités
Chapitre I		
H	Est la constante de Planck	[J*s]
c/λ	La fréquence (en hertz) de l'onde électromagnétique	[Hz]
Φ	Latitude du lieu	[°] (angle)
Δ	La déclinaison du soleil	[°] (angle)
W	L'angle horaire	[°] (angle)
Λ	En degrés, elle est positive (+) en Est, et négative (-) en West	[°] (angle)
N	Numéro du jour.	[jour]
ET	Equation du temps	[-]
P	Pression atmosphérique	[atm]
Z	Altitude	[m]
H	Hauteur du soleil	[Km]
C	La correction de distance	[-]
(W₁, W₂)	Sont les valeurs de (W) entre les quelles cos(i) est positif, le soleil étant au-dessus de l'horizon.	[-]
F	Force	[N]
Chapitre II		
H₂O	L'eau	[-]
H₂	Hydrogène	[-]
SO₃	Groupes sulfoniques	[-]
CO₂	Le dioxyde de carbone	[-]
KOH	L'hydroxyde de potassium	[-]
OH⁻	Ion hydroxide	
CH₄	Méthane	[-]
O₂	Oxygène	[-]
H⁺	Protons	[-]
é	Électron	[-]

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil	3
Figure I.2 : Spectre solaire hors atmosphère.....	4
Figure I.3 : Mouvement de rotation de la Terre]	5
Figure I.4: Sphère céleste, et plan de l'écliptique.....	5
Figure I.5 : Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal sur le territoire Algérien au mois de juillet.....	7
Figure I.6 : Le panneau solaire	8
Figure I.7: Boite de dérivation	8
Figure I.8 : Structure d'une cellule photovoltaïque.....	10
Figure I. 9 : Schéma électrique équivalent d'une Modèle une diode.....	11
Figure I.10 : Schéma électrique équivalent d'une Modèle deux diodes	12
Figure I.11. Caractéristique P-V du module PV selon l'éclairement	13
Figure I.12. Caractéristique I-V du module PV selon l'éclairement.....	13
Figure I.13. Caractéristique P-V du module module selon la température.....	13
Figure I.14. La caractéristique I-V du module PV selon la température	13
Figure I.15. Caractéristique I-V de module PV selon la température.	14
Figure (II.1) : Cellule d'électrolyse de l'eau	20
Figure (II.3) : composition de la pile à combustible.....	25
Figure (II.4) : Différents constituants d'une cellule.	26
Figure III.1 : Schéma du système hybride.	33
Figure III.2: l'interface principale de Homer pro.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure III.3: la distribution journée de la charge.....	34
Figure III.4: les caractéristiques générales de la charge.....	35
Figure III.5: Radiation globale horizontale mensuelle à Ouargla.....	36
Figure III.6 : Montage du système hybride.	37
Figure III.7 : Configuration proposée par le logiciel HOMER.	38
Figure III.8 : le choix optimale par le logiciel HOMER.....	38.
Figure III.9: Production journalière de panneau photovoltaïque.	39
Figure III.10: Production journalière de la pile.	40
Figure III.11: Production journalière de l'électrolyseur	41
Figure III.12 : le cout d'un création d'un point de distribution Mt en fonction la distance (KM).	44

LISTE DES TABLEAU

Tableau (I.1) : Potentiel solaire en Algérie	7
Tableau(II.1) : Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène	17
Tableau (II.2): Données techniques des différents électrolyseurs	20
Tableau III.1 : Charge et temps de fonctionnement.	34
Tableau III.2: dimensionnement de système PV-Hydrogène.....	38
Tableau III.3: Energie annuelle produite	38
Tableau III.4: Energie annuelle consommée.	38
Tableau III.5: Caractéristique de fonctionnement du panneau photovoltaïque.....	39
Tableau III.6: Paramètres de fonctionnement de la pile à combustible.	39
Tableau III.7: Paramètres de fonctionnement de l'électrolyseur.	40
Tableau III.8 : Paramètres de fonctionnement du convertisseur.	41
Tableau III.9 : Paramètres de fonctionnement du stockage d'hydrogène.....	41
Tableau III.10 : Paramètres de fonctionnement du Batteries.....	42
Tableau III.11: Tarifs des équipements	42
Tableau III.12 :la comparaison entre les deux système cote l'argent.....	43

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

La consommation mondiale d'énergie au cours du dernier demi-siècle a augmenté rapidement et devrait continuer à croître au cours des 50 prochaines années, avec toutefois des différences significatives. Le passé. Cette augmentation a été stimulée par des combustibles fossiles relativement « bon marché » et par l'augmentation des taux d'industrialisation en Amérique du Nord, en Europe et au Japon ; pourtant, alors que la consommation d'énergie dans ces. Pays continue d'augmenter, des facteurs supplémentaires dessinent le tableau des 50 prochaines années plus complexe. Ces facteurs supplémentaires incluent l'augmentation rapide de la demande en Chine et en Inde.

Consommation d'énergie puisqu'ils représentent environ un tiers de la population mondiale ; l'épuisement attendu des ressources pétrolières dans un avenir proche ; et l'effet des activités humaines sur le climat mondial changement. Du côté positif, les technologies d'énergies renouvelables (ER) que sont l'énergie éolienne, les biocarburants,

Le solaire thermique et le photovoltaïque (PV) montrent enfin leur maturité et la promesse ultime de compétitivité des coûts (1)

Par énergies renouvelables, nous entendons l'énergie dérivée du soleil, du vent, de la chaleur géothermique ou de l'influence de la biomasse ou de l'eau. Ces énergies se caractérisent par des ressources énergétiques limitées et ne polluent pas l'atmosphère. Tous les types d'énergies renouvelables présentent des inconvénients : elles. Sont relativement chers, car ils fonctionnent pendant de nombreuses années. De plus, l'énergie est soumise à... Les panneaux solaires présentent des fluctuations naturelles qui les rendent indisponibles à tout moment de la journée.

Il a donc fallu trouver une solution appropriée pour stocker l'énergie excédentaire dans les délais disponibles, ce qui a conduit à l'idée du système hybride, qui a montré des résultats efficaces. L'hydrogène est considéré comme l'une des sources d'énergie les plus importantes du futur. Et est moins nocif pour l'environnement. Notre recherche s'est concentrée sur l'analyse du système hybride comme une fusion de deux sources d'énergie importantes : l'énergie traditionnelle non renouvelable et l'énergie renouvelable. Le système hybride peut être mis en œuvre efficacement lorsqu'il est chargé à l'aide de panneaux solaires combinés. L'énergie peut être stockée et transportée grâce à l'utilisation de panneaux solaires. Piles à combustible et batteries selon les besoins.

Nous avons décidé d'organiser notre travail en conséquence :

Le premier chapitre contient une description importante de plusieurs concepts liés à l'énergie solaire, aux champs solaires, au principe de fonctionnement, ainsi qu'à leurs avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre contient un aperçu complet des piles à combustible, de leurs caractéristiques et de leurs diverses applications, ainsi que des propriétés de l'hydrogène, de sa formule chimique et de la manière de le transporter et de le stocker.

Le troisième chapitre comprend la simulation du système hybride à l'aide du programme Homer Pro.

Enfin, nous concluons le mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude dans ses aspects théoriques et ses résultats simulés.

CHAPITRE-I-

Gisement solaire et énergie photovoltaïque

I.1 . Introduction

Le soleil est l'une des principales sources de production d'énergie depuis des temps immémoriaux, car l'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables importantes dans la vie quotidienne et joue de nombreux rôles, où nous en tirons parti pour chauffer et générer de l'énergie électrique en convertissant directement une partie du rayonnement solaire en énergie électrique à l'aide d'un groupe de cellules dites photovoltaïques" pv"basées sur un phénomène physique également appelé "effet photovoltaïque"

I.2 Données relatives au soleil

Le Soleil est un plasma c'est-à-dire un gaz fortement ionisé, constitué d'électrons, de protons et d'atomes et molécules plus ou moins ionisés. Le Soleil est constitué d'hydrogène à 95%, l'hélium représentant un peu moins de 5%. De nombreux autres éléments ont été détectés dans l'atmosphère de l'étoile, mais en très faibles proportions, les plus abondants étant l'oxygène, le carbone et l'azote.

Le Soleil en chiffres :

- Age : 4,5 milliards d'années
- Durée de vie estimée : 10 milliards d'années
- Distance à la Terre : 150 millions de km
- Rayon : 0,7 million de km (Terre : 6 300 km)
- Masse : 2.10^{30} kg (Terre = 6.10^{24} kg)
- Densité : 1,4 (Terre : 5,5)
- Puissance rayonnée : 4.10^{26} W
- Energie reçue par la Terre : $1353 \text{ J.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Température du cœur du Soleil : 15 millions de K
- Température de surface : 5 800 K [2].

I.3 Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile. D'un diamètre de 1 390 000 km, composé de 80 % d'hydrogène, 19 % d'hélium et 1 % de mélange de nombreux éléments, de sorte que les réactions thermonucléaires fournissent au soleil sa force selon la théorie de la relativité d'Einstein et la réaction se produit à un degré d'environ 25 millions, degrés Celsius et génère un rayonnement de particules qui met environ 8 minutes pour atteindre la terre à une vitesse de 300 000 km/seconde, avec une longueur d'onde de 0,5 μm répartie sur l'atmosphère, et une température allant jusqu'à 5762 K pour le corps noir à la surface du soleil [3].

I.4 . Mouvements de la Terre

La trajectoire de la Terre autour du Soleil n'est pas circulaire mais ovale. Le cercle a un centre et un rayon et une ellipse a deux foyers et un rayon, et le soleil est l'un de ses foyers. Le plan de cette

ellipse est appelé l'écliptique. La distance de la Terre au Soleil n'est pas constante, mais varie tout au long de l'année $\pm$ de 1,7% avec une valeur d'environ 149,675 km. La Terre tourne autour d'elle-même autour d'un axe appelé équateur. L'écliptique et l'équateur forment un angle entre eux appelé inclinaison, qui est de $23^{\circ}27'$. Les mouvements de la Terre sont représentés sur la figure I.1 [4].

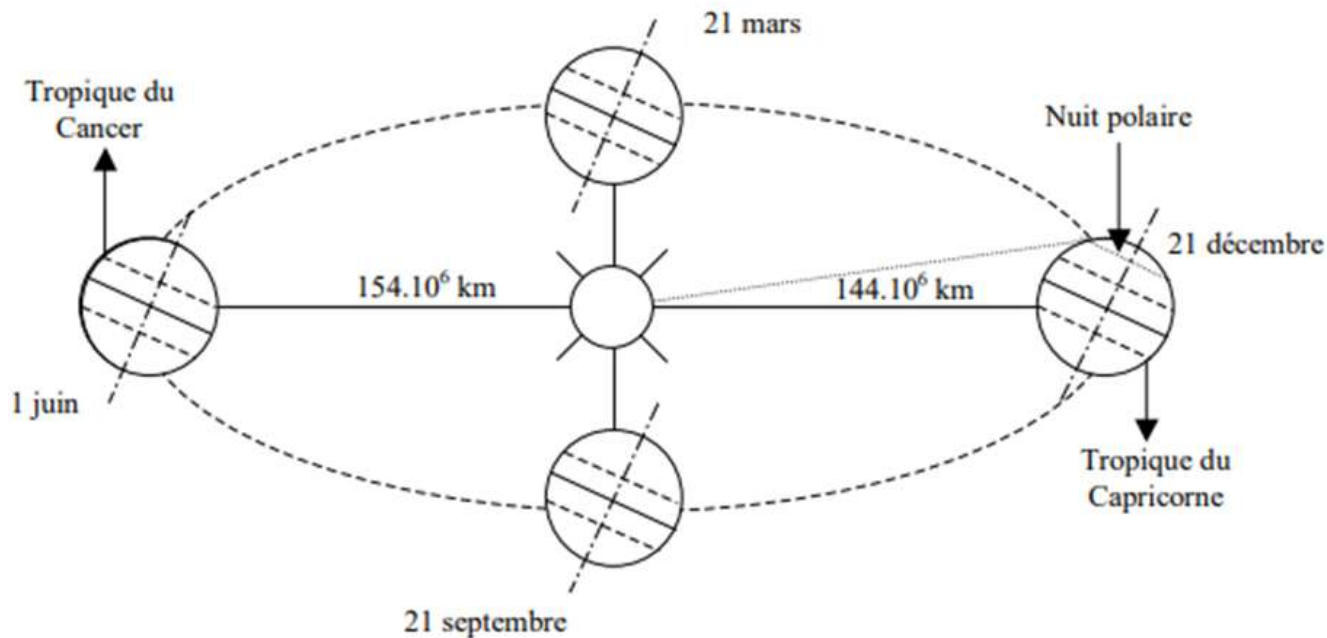


Figure I.1: Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil

I.5 . Spectre du rayonnement

Le spectre de rayonnement est constitué de particules très énergétiques appelées photons. Son énergie est liée à la longueur d'onde. Le spectre du rayonnement extraterrestre est émis par la source, qui est un corps noir au soleil avec une température de 5800 Kelvin [5].

Le pouvoir a été distribué à :

Visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$	48.0%
Infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$	45.6%
Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$	6.4%

Une courbe graphique compilée par satellites est définie sur la Figure I.2

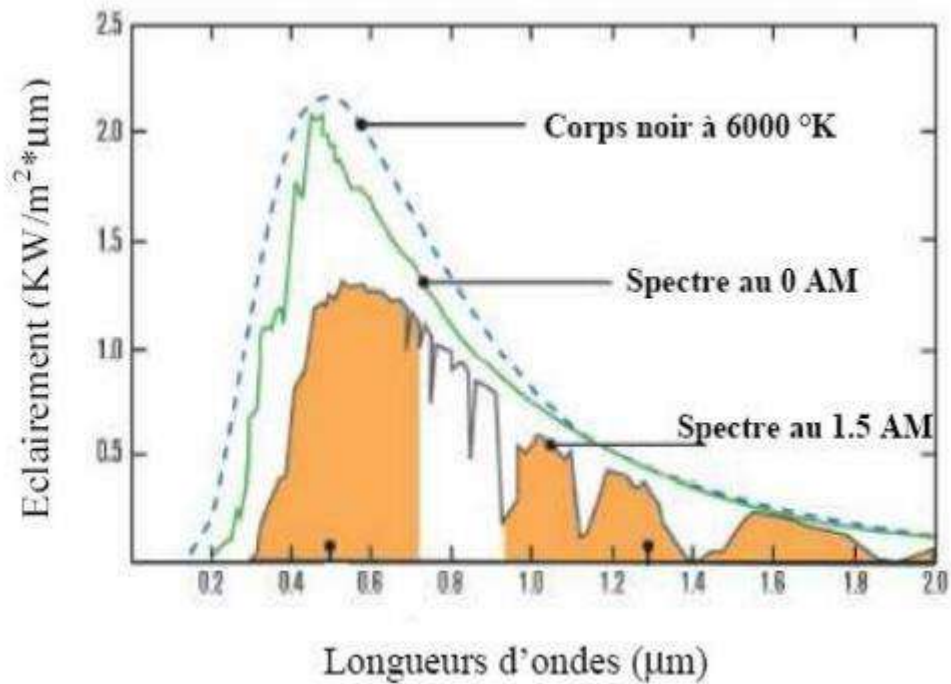


Figure I.2 : Spectre solaire hors atmosphère [5]

I.6 Position du soleil et le temps

I.6.1 Position du soleil

I.6.1.1. La longitude λ

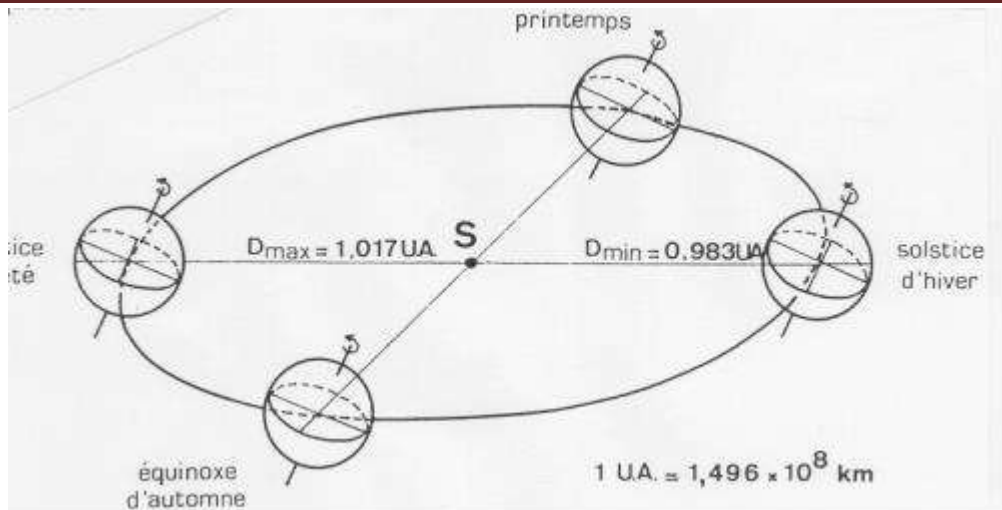
Pour déterminer n'importe quel emplacement sur la surface de la Terre, les coordonnées doivent être trouvées pour dégrader la longueur et la largeur. Les longitudes sont étirées au nord et au sud et forment des cercles de taille égale autour de la terre. Elles se croisent aux pôles. L'une des longitudes principales les plus utilisées est l'épave qui traverse Greenwich (Angleterre). Les emplacements à l'est de la longitude principale ont des longitudes positives allant de 0 à 180 degrés; les emplacements à l'ouest ont des longitudes négatives allant de 0 à 180 degrés [6].

I.6.1.2. La latitude ϕ

Les latitudes sont celles qui s'étendent d'Est en ouest parallèlement à son abomination et sont unies et parallèles à l'équateur, qui divise la Terre en deux moitiés. Les sites situés au nord de l'équateur sont considérés comme ayant des latitudes positives allant de 0 à +90 degrés, tandis que les sites situés au sud de l'équateur ont des latitudes négatives allant de 0 à -90 degrés [7].

I.6.1.3. Déclinaison solaire (δ)

La déclinaison solaire est l'angle formé par la direction de l'axe perpendiculaire de l'écliptique avec le plan équatorial de la Terre d'une quantité de $23^\circ 27'$ [6].



FiguerI.3 : Mouvement de rotation de la Terre [7]

I.6.1.4. Hauteur du soleil (h)

La hauteur du soleil est l'angle entre sa direction et l'horizon

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \times \sin(\delta) + \cos(\Phi) \times \cos(\delta) \times \cos w \quad (\text{I.1})$$

Avec :

δ : La déclinaison du soleil

w : L'angle horaire

Φ : Latitude du site

I.6.1.5. Azimut du soleil(ψ)

Est l'angle formé par l'incidence du rayon solaire sur le plan horizontal dans le sens des aiguilles d'une montre. [8].

$$\sin(\psi) = \cos(\delta) \times \sin(w) \div \cos(h) \quad (\text{I.2})$$

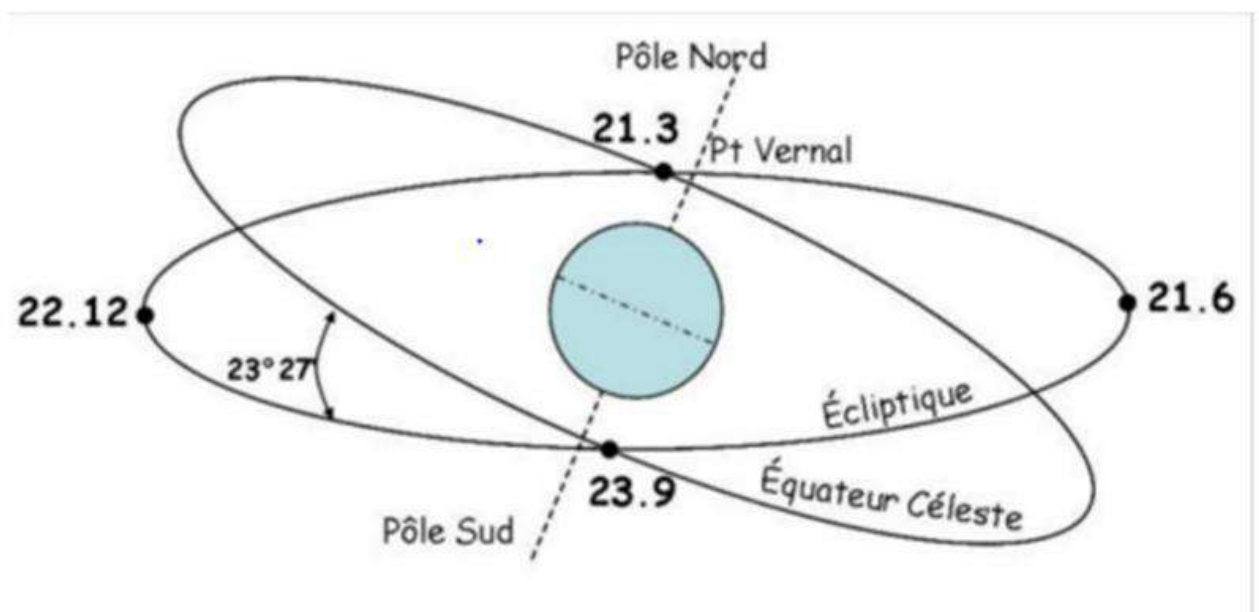


Figure I.4: Sphère céleste, et plan de l'écliptique

I.6.2 Définition des différents temps

I.6.2.1. Temps solaire vrai :

Le temps solaire réel est une mesure du temps basée sur le mouvement apparent du soleil pendant la journée. il est l'angle horaire du soleil à cet endroit et à cette heure

$$TSV = TSL + \Delta t \quad (I.3)$$

il existe une correspondance entre angle horaire

AH, temps solaire vrai TSV, temps solaire local TSL et temps universel TU :

$$AH = 15.(TSV - 12) \quad TSV = TSL + \Delta t \quad TSL - TU = + \lambda / 15 \quad (I.4)$$

$$AH = 15.(TU + \lambda / 15 + \Delta t - 12) \quad (I.5)$$

[7].

I.6.2.2. Temps solaire moyenne (TSM)

La vitesse de circulation de la Terre autour de lui-même est variable. Quant au Soleil en orbite à vitesse constante au point de printemps, le temps solaire moyen est constant. La différence entre TSM et TSV varie, la moyenne zero [9].

I.6.2.3. Temps universel (TU)

C'est une échelle de temps basée sur la circulation de la Terre autour de lui-même depuis 1972. HomeTime Solar à la longitude Greenwich on a :

$$TSM = TU + \lambda \div 15 \quad [7]. \quad (I.6)$$

I.6.2.4. Equation du temps ET

C'est une équation qui montre une différence entre deux types de temps : le temps solaire moyen et le temps solaire réel tout au long de la journée. Leur intégration crée un écart entre les deux temps.

$$ET = TSV - TSM \quad (I.7)$$

La variation de ET durant l'année est donnée par la formule suivante :

$$ET = 0.258 \cos x - 7.416 \sin x - 3.648 \cos 2x - 9.228 \sin 2x \quad (I.8)$$

Avec :

Avec :

N= numéro du jours [10].

I.7 Potentiel solaire en Algérie

En raison de sa situation géographique, l'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. L'ensoleillement de l'ensemble du territoire national dépasse environ 2000 heures par an et peut atteindre 3900 heures (hautes terres et désert). La capacité est de 5KW pour une superficie de

1m2 de surface horizontale dans la majeure partie du territoire national [11].

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

Tableau (I.1) : Potentiel solaire en Algérie

L'agence spatiale allemande a confirmé que l'Algérie dispose d'un potentiel solaire important dans tout le bassin méditerranéen. Il est de 169440 Tera-Watts.heure/an (TWh/an) pour la chaleur solaire et 713,9 TWh par an pour l'électricité photovoltaïque[11].

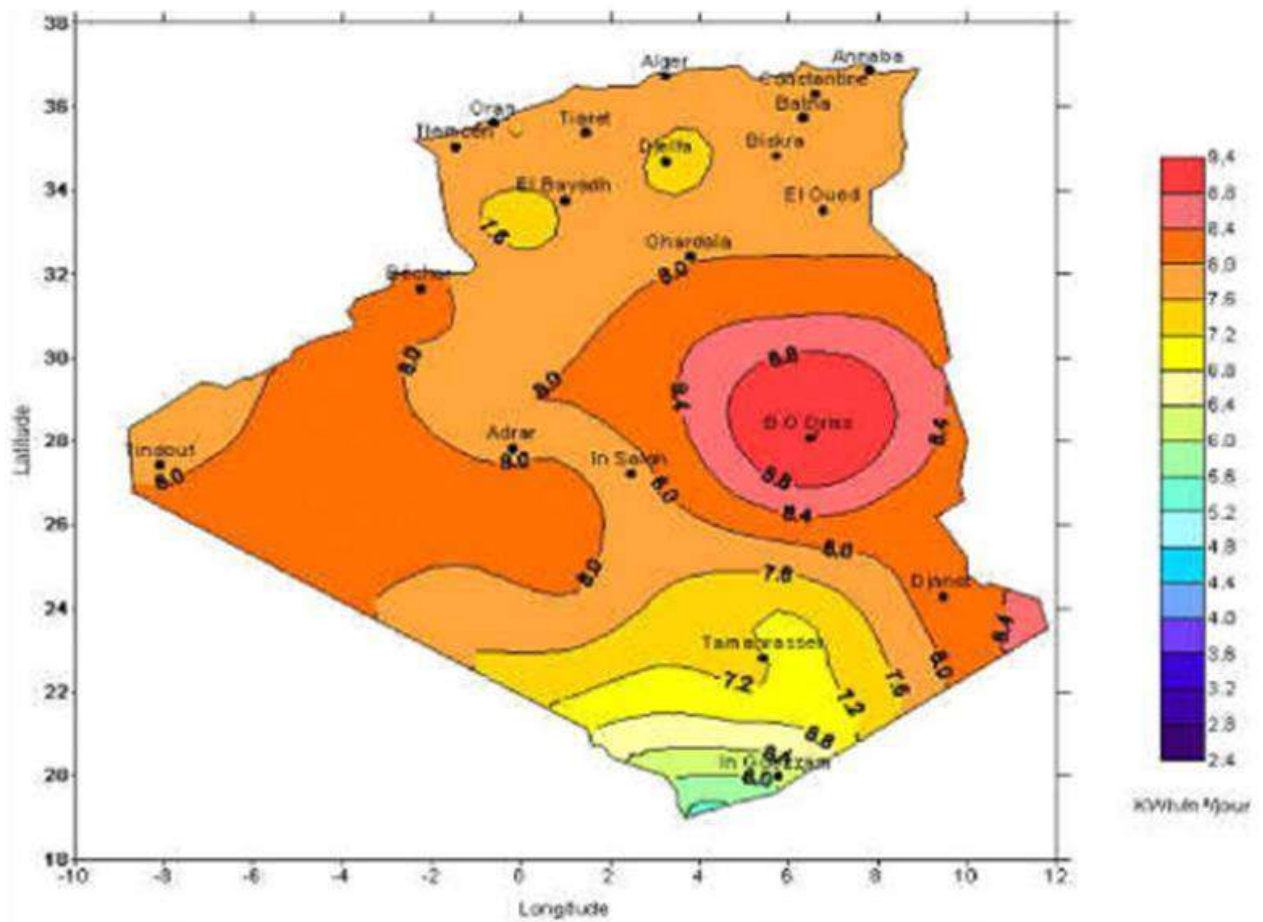


Figure I.5 : Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal sur le territoire Algérien au mois de juillet.

I.8 L'énergie photovoltaïque (PV)

Le photovoltaïque est une technologie qui permet de convertir l'énergie solaire en énergie

électrique grâce à des cellules photovoltaïques, disposées en modules appelés panneaux photovoltaïques.

I.8.1 Le panneau solaire :

Un panneau photovoltaïque est un enchevêtrement de cellules photovoltaïques, également appelées cellules solaires, qui permettent de produire de l'électricité lorsqu'elles sont exposées à la lumière.



Figure I.6 : Le panneau solaire

Nous avons besoin d'une boîte de jonction qui connecte les sorties les unes aux autres, illustrée à la figure (I.7), qui à son tour établit des connexions entre les modules pour obtenir une puissance de sortie optimale.

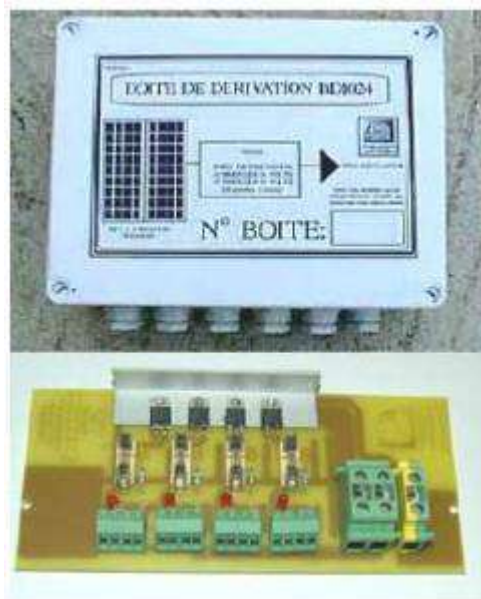


Figure I.7: Boite de dérivation

Ce boîtier sera issu d'un circuit imprimé composé de:

- Des diodes Schottky série sur chaque entrée empêchent la décharge des batteries sur les panneaux.
- Des diodes optiques en parallèle permettent un contrôle individuel de chaque branche des modules.
- Prêt à l'emploi permet une sortie de 48 ou 12,24 volts selon les unités

Pendant les heures maximales de rayonnement solaire, les panneaux produisent beaucoup d'énergie, ce qui nécessite un élément de stockage[3].

I.8.2 Système de stockage

Le système de stockage préserve l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques pour une utilisation ultérieure. Ils sont utilisés pendant les fluctuations météorologiques ou la nuit pour une alimentation électrique ininterrompue [12]. Parmi les principales caractéristiques des batteries sont:

La capacité en ampères-heures est simplement le nombre d'heures pendant lesquelles le courant circule multiplié par le nombre d'ampères fournis [12]. Certains facteurs affectent la capacité de la batterie, notamment la charge ou la décharge de la batterie à un taux différent de celui spécifié. La température de la batterie affecte également la capacité, une baisse de température réduit sa capacité et sa hauteur augmente également sa capacité, ce qui entraîne un raccourcissement de la durée de vie de la batterie [12].

Nous pouvons charger la batterie puis la décharger plusieurs fois, mais l'utilisation accumulée entraîne une détérioration de ses caractéristiques. Par conséquent, il existe un âge spécifique exprimé en heures ou (par le nombre de cycles) [13]

I.8.3 Types des systèmes photovoltaïques

Il y a tellement de systèmes photovoltaïques qu'il y a 6 systèmes distincts. Les trois premiers sont indépendants du réseau électrique, les trois autres sont connectés au réseau électrique, à savoir :

I.8.3.1. Système autonome sans batterie

C'est un système qui ne nécessite pas de stockage d'électricité, car la puissance de sortie est suffisante en basse et basse lumière ou parce que la charge n'est pas importante.

I.8.3.2. Système autonome avec batterie

C'est le plus disponible et le plus demandé system. So que nous pourrons utiliser l'électricité stockée plus tard.

I.8.3.3. Système hybride PV/génératrice

L'un des systèmes les plus courants car il est alimenté par l'énergie solaire et diesel, qui est un système hybride qui combine des cellules photovoltaïques et du diesel, ce qui est moins coûteux dans de nombreux cas.

I.8.3.4. Système PV sur réseau diesel

Il intègre un système photovoltaïque avec un générateur diesel pour un fonctionnement en charge

de 24 heures. Avec la réduction des heures de consommation de carburant coûteuses et des heures de fonctionnement, les générateurs diesel sont souvent utilisés dans les régions éloignées.

I.8.3.5. Système PV centralisé

Ce système est une centrale photovoltaïque pour générer de l'énergie en convertissant l'énergie du soleil en électricité et fournit une source propre et durable

La cellule photovoltaïque est donc un semi-dispositif en silicium.

Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [14].

La structure d'une cellule photovoltaïque est illustrée dans la figure (1.8) ci-dessous

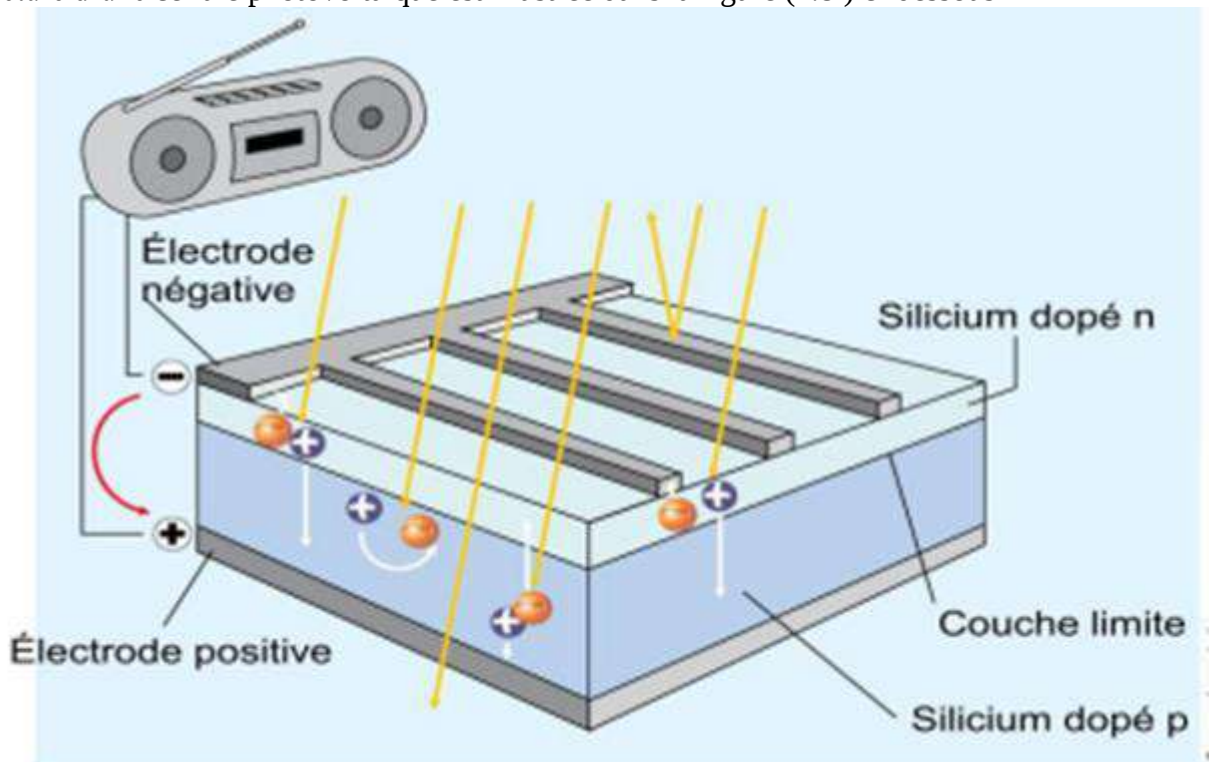


Figure I.8 : Structure d'une cellule photovoltaïque

I.8.4 Modélisation mathématique d'un panneau PV :

I.8.4.1. Modèle d'une seule diode :

Le module photovoltaïque est constitué d'une série de cellules solaires connectées pour obtenir la tension requise. Une cellule de panneau solaire est essentiellement une jonction semi-conductrice. Un courant continu est créé lorsqu'il est exposé à un rayonnement. Le circuit équivalent est constitué d'une diode, d'un courant optique (I_{ph}), d'une résistance parallèle (R_p) et d'une résistance série (R_s) due au contact du semi-conducteur avec les pièces. Comme indiqué sous la forme (I.9) [15].

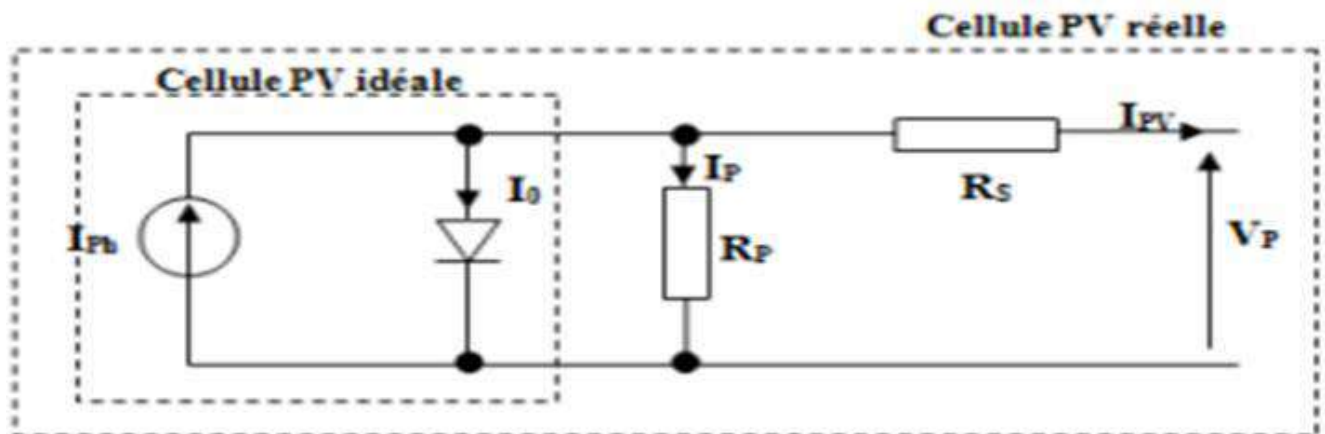


Figure I. 9 : Schéma électrique équivalent d'une Modèle une diode

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient le courant par l'équation suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 - I_p \quad (I.9)$$

Avec :

- **I_{ph}** : est un courant généré par la lumière ou le photo courant.
- **I_p** : courant qui circule dans la résistance parallèle, est donnée par l'équation suivante :

$$I_p = \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (I.10)$$

- **I_0** : **I_d** : le courant de la diode qui est proportionnel au courant de saturation,

Il est donné par l'équation suivante :

$$I_0 = I_s \left(\exp\left(\frac{q \cdot (V + I.R_s)}{k.T_c.A}\right) - 1 \right) \quad (I.11)$$

Avec :

- **I_s** : est le courant de saturation inverse en ampère (A)
- **q** : charge d'électrons ($1.6 \times 10^{-19} C$)
- **K** : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} J / K$)
- **T_c** : est une température de cellule en Kelvin (K)
- **A** : est un facteur idéal
- **R_s** : est une résistance série (Ω) [13]

I.8.4.2. Modèle à deux diodes

Pour analyser le comportement des cellules photovoltaïques dans ce modèle dual, nous connectons une source de courant photoélectrique en parallèle avec une diode à jonction P-N Ajoutez une deuxième diode pour représenter la perte de recombinaison dans la zone d'épuisement. Aussi . Les résistances de rappel R_s et R_p sont combinées pour représenter les pertes de cellules ohmiques (R_s) dues aux contacts de fil et à la résistance de courant de fuite (R_p) à la jonction P-N. Comme indiqué

sous la figure (I.10) [17].

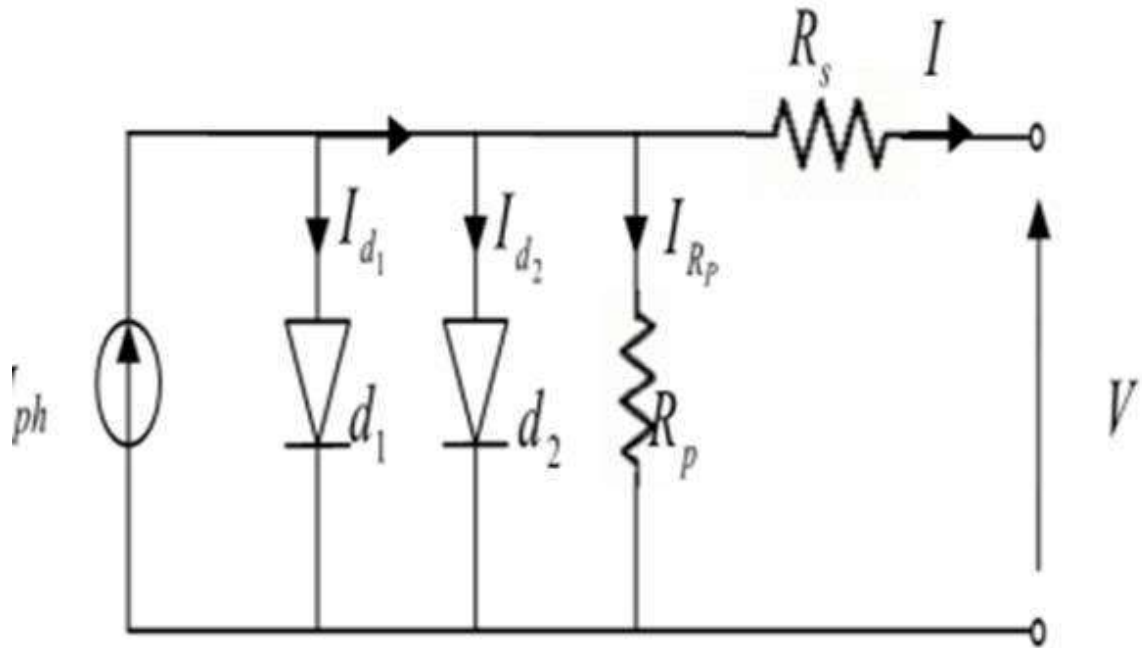


Figure I.10 : Schéma électrique équivalent d'une Modèle deux diodes

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{Rp} \quad (I.12)$$

Les Diodes étant des éléments non linéaires, la caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[e^{x = \frac{q(V + I R_s)}{n_1 K T}} - 1 \right] - I_{s2} \left[e^{x = \frac{q(V + I R_s)}{n_2 K T}} - 1 \right] - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (I.13)$$

Où :

I et V sont le courant et la tension de sortie de la cellule photovoltaïque.

I_{ph} : le photo-courant produit.

I_{d1} et I_{d2} : sont les courants des diodes.

I_{s1} et I_{s2} : sont les courants de saturation des diodes.

n_1 et n_2 : les facteurs de pureté de la diode.

R_s et R_p : sont respectivement la résistance série et la résistance parallèle.

T est la température absolue en Kelvin.

q est la charge élémentaire constante ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C).

K : La constante de Boltzmann ($1,380 \cdot 10^{-23}$ J/K).

I.8.5 Influence et la Caractéristique PV [16]

I.8.5.1. Influence de l'Éclairement

Nous avons changé l'éclairement de 200 W / m^2 à 1000 W / m^2 à l'étape 200, nous avons remarqué que le courant est directement proportionnel à l'intensité du rayonnement et d'autre part la tension en circuit ouvert ne change pas avec le changement d'éclairement nous obtenons la caractéristique ($I_{PV} = f$

(V_{pv}) dans la figure suivante (I.11).

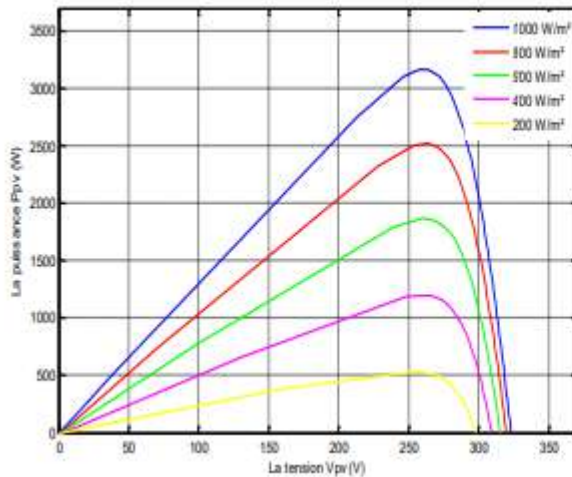


Figure I.11. Caractéristique P-V du module PV selon l'éclairement

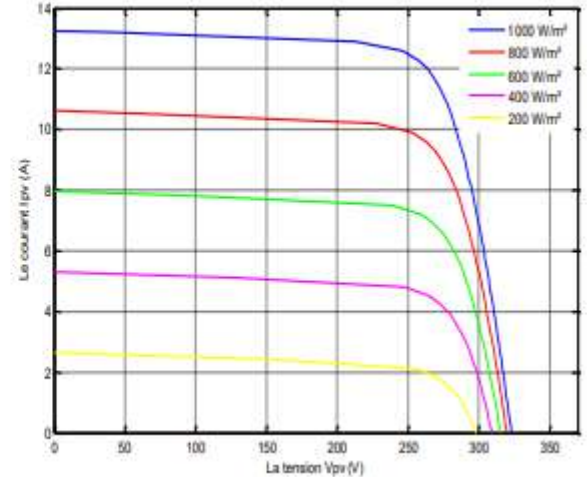


Figure I.12. Caractéristique I-V du module PV selon l'éclairement

I.8.5.2. Influence de la Température

Nous avons changé la température de 25 degrés Celsius à 50 degrés Celsius. Nous avons remarqué que la température a peu d'effet sur le courant de court-circuit. Lorsque la température augmente, la tension diminue, et donc l'énergie récupérable diminue. Nous obtenons la propriété ($IPV=f(V_{pv})$) sous la forme suivante (I.13)

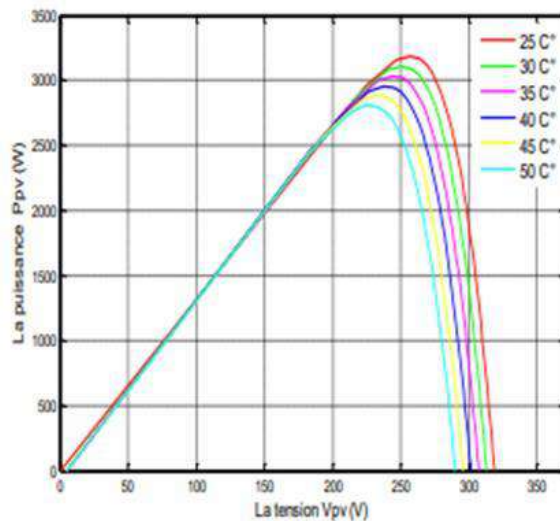


Figure I.13. Caractéristique P-V du module PV selon la température

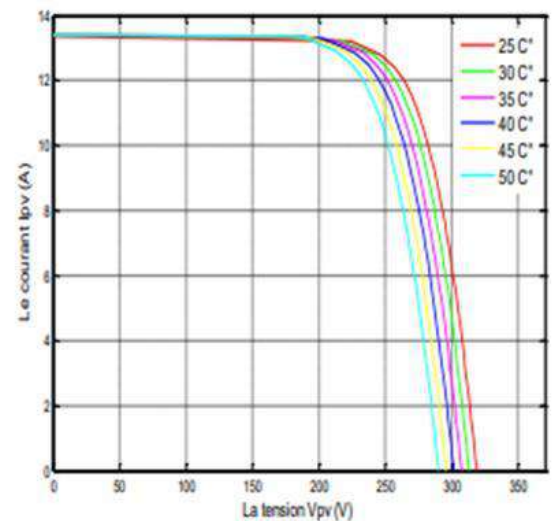


Figure I.14. La caractéristique I-V du module PV selon la température

I.8.5.3. Influence de la résistance série

Nous avons modifié la valeur de la résistance série (R_s) et observé son effet en maintenant la pente de la courbe de puissance P-V dans la région où la cellule agit comme un générateur de tension constante sur la figure (I.15)

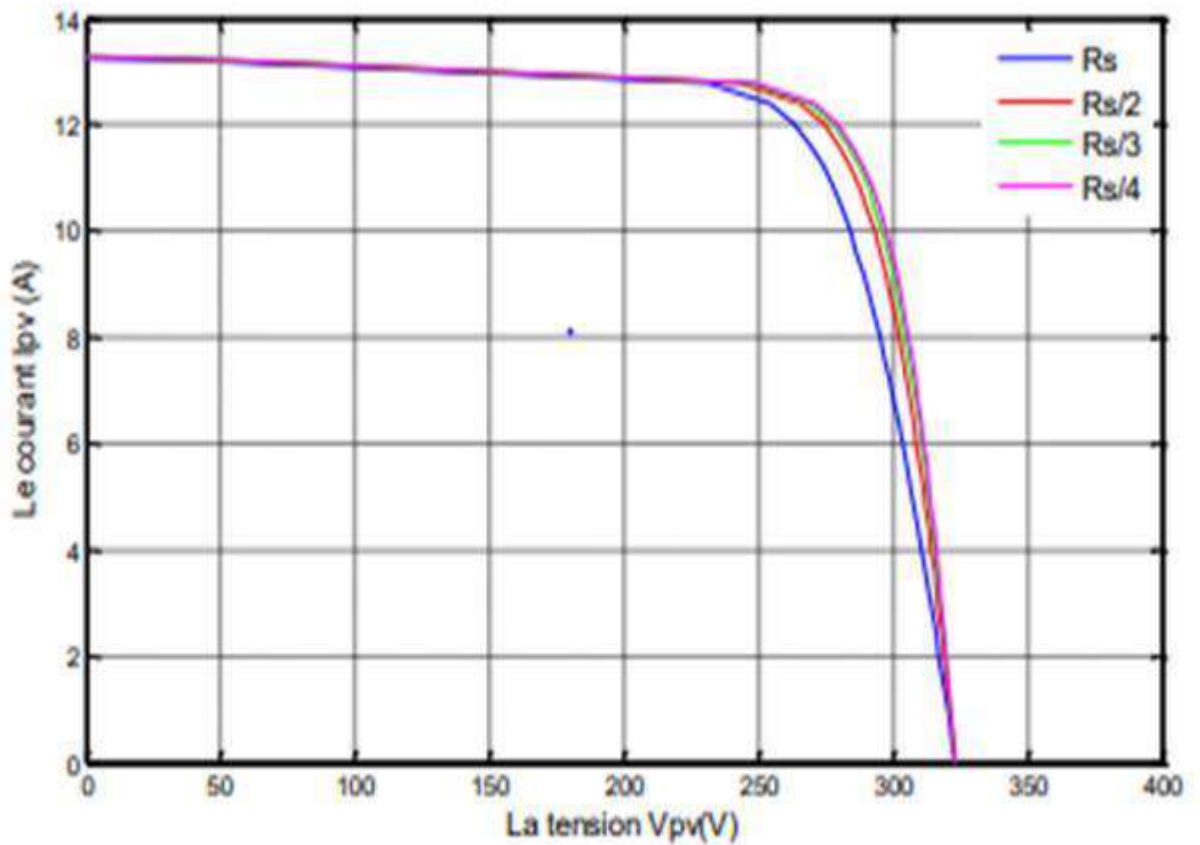


Figure I.15. Caractéristique I-V de module PV selon la température.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons discuté des données du soleil, du rayonnement solaire, du mouvement de la terre autour d'elle et du Soleil, de la conversion des rayons solaires en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques, de leur fonctionnement et de leur fonctionnement, et des modèles mathématiques de modules photovoltaïques. Et l'effet de la chaleur et de la lumière sur VI et VP

CHAPITRE-II-

Hydrogene et pile à combustible.

II.1 Introduction

L'hydrogène est actuellement un composant important. Il est également utilisé pour la production d'ammoniac et de méthanol et est utilisé pour le processus de raffinage des produits chimiques et la fabrication de produits chimiques, dont un pourcentage est commercialisé dans le domaine industriel tel que le soudage, l'industrie des semi-conducteurs, les batteries, etc.

Le développement de ces secteurs industriels n'indique pas un changement significatif dans le volume de production. Bien que des techniques de production d'hydrogène au gaz naturel différentes et diverses soient susceptibles d'entraîner un changement dans la Le corps volumétrique à des changements significatifs. En particulier, en raison de la nécessité de séparer économiquement autant que possible le CO₂, les unités seront situées dans de grandes dimensions et à proximité de sites de production où les conditions d'isolation peuvent être les plus favorables.

Certaines technologies sont entièrement prototypées tandis que d'autres sont en cours d'essai, car une grande partie de ses processus de production sont la décomposition catalytique du gaz naturel, l'oxydation partielle des huiles lourdes, la gazéification du charbon et l'électrolyse de l'eau. Les cycles thermochimiques purs et hybrides, par exemple, sont à l'échelle de la R&D, tandis que les processus photochimiques et photo biochimiques en sont encore aux premiers stades de la recherche. L'électrolyse de l'eau pour la production d'hydrogène est le procédé le plus répandu et le plus populaire.

Dans ce chapitre, nous mentionnerons la définition de l'hydrogène, ses propriétés, ses méthodes de production et de transport d'une part, et d'autre part, nous aborderons la pile à combustible, ses caractéristiques, son mode de fonctionnement et ses types[17].

II.2 Définition

L'hydrogène est connu pour être l'un des minéraux les plus légers car il contient La structure atomique la plus simple dont le noyau est constitué d'un seul proton et Un atome ne contient qu'un seul électron. Il occupe donc la première place dans le tableau périodique.

Une molécule d'hydrogène (gaz) contient deux atomes d'hydrogène (H₂). Incolore, inodore, non corrosive, cette molécule se caractérise par sa légèreté car sa taille augmente par rapport aux autres gaz lorsqu'elle est utilisée comme combustible pour la production d'énergie, elle doit donc être utilisée avec prudence pour entrer en contact avec l'air ou pour s'enflammer Son facteur de pureté est également important pour la production d'énergie [18].

II.3 Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène et comparaisons avec le gaz nature

L'hydrogène gazeux se distingue de certains gaz par des caractéristiques qui déterminent sa nature, notamment la pression, la température et l'étendue de sa combustion, qui sont présentées dans le tableau suivant:

Propriété	Valeur numérique
PC (Pouvoir calorifique inférieur).	10800kj/Nm ³ 119930kj/kg(gaz naturel 50020kj/kg 3kwh/Nm ³ 33.33kwh/kg
Densité gazeuse à 20.3k ;	1.34kg/m ³
Densité gazeus à 273 K	0.08988kg /m ³ (gaz naturel 0.6512kg/m ³)
Densité liquide à 20.3K	79.79kg/m ³
Chaleur spécifique Cp; Chaleur spécifique (Cv) Conductivité thermique du gaz Chaleur d'évaporation	14266j/kg k(293k) 10300j/kg k 0.1897w/mk 445.4kj/kg
Energie théorique de liquéfaction	14112 j/g
Masse atomique	1.0079.
Constante du gaz	4124.5j/kg k

Tableau(II.1) : Propriétés physico-chimiques de l'hydrogène [19].

II.4 Méthodes de production de l'hydrogène

L'Hydrogène est produit grâce a diverses technologie et chaque technologie a un couleur spéciale, dont certaines sont propre et d'autres en déformant le gaz ou en désintégrant.

II.4.1. Production d'hydrogène par oxydation partielle

L'oxydation partielle consiste à convertir les hydrocarbures en un autre gaz par oxydation contrôlée en présence d'oxygène. Cette réaction se produit à une température comprise entre 1200 et 1500°C et une pression comprise entre 20 et 90 bars sans catalyseur[20].

La réaction d'oxydation partielle suivante montre également :



II.4.2. Production d'hydrogène par la Gazéification de charbon

L'hydrogène peut être produit à partir du charbon par divers procédés de gazéification

Dans la pratique, les procédés entraînés à des températures d'écoulement élevées sont préférés pour convertir davantage le charbon en gaz, évitant ainsi la formation de grandes quantités de charbon, de goudron et de phénols. Une réaction typique du processus est donnée dans l'équation où le carbone est converti en monoxyde de carbone et en hydrogène [20]



II.4.3. Production de l'hydrogène par vaporeformage:

Actuellement, une grande partie de l'hydrogène est produite à partir de gaz fossile, la vapeur est généralement filtrée à l'aide de gaz naturel ou de gaz naturel.

Du méthane ou du naphta. Pour obtenir la pureté souhaitée de l'hydrogène, il existe différents procédés.

Pour maximiser la production d'hydrogène, les deux principales réactions chimiques sont effectuées

Il s'agit de la production de gaz synthétique et de la conversion du dioxyde de carbone [22].



Le CO produit peut être en outre converti en CO_2 et d'hydrogène par la réaction de conversion eau-gaz :



La réparation à la vapeur du gaz naturel est le processus le plus courant où le gaz naturel est exposé à de la vapeur d'eau très chaude, libérant l'hydrogène qu'il contient. Mais la production d'hydrogène par réparation présente l'inconvénient du CO_2 , qui est principalement responsable de l'effet de serre dans l'atmosphère [20].

II.4.4. Production d'hydrogène par nucléaire

L'énergie nucléaire peut être utilisée pour produire de l'hydrogène pour la chaleur considérée dans les réactions à l'uranium, et la production d'hydrogène peut être abondante par rapport à certaines méthodes [20].

II.4.5. Production d'hydrogène à partir la biomasse:

En raison de cette analyse thermique, B, une grande partie des formes produisent des formes sur les formules CH, H₂, CO, CO₂ et certaines indésirables telles que le goudron.

Le rapport des solides restants se compose principalement d'une proportion de carbone. Nous continuons donc à augmenter la température jusqu'à 1000°C pour la gazéification du carbone.

On introduit ensuite de la vapeur d'eau qui réagit avec le carbone et produit de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Le dioxyde de carbone est ensuite transformé par une réaction avec l'eau [20].



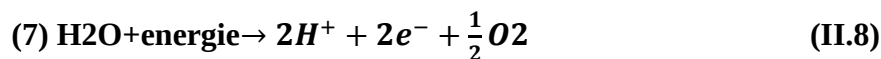
Après ce processus, la température est portée à 1100 ° C afin d'éliminer Acides et goudron. Enfin, le gaz de biomasse est raffiné pour récupérer l'hydrogène [20].

II.4.6. Production d'hydrogène par électrolyse

Jusqu'aux années 50, l'électrolyse de l'eau était utilisée pour la production d'hydrogène et d'oxygène. Aujourd'hui, l'électrolyse fournit seulement un petit pourcentage de l'hydrogène du monde, lequel est fourni aux applications qui exigent de petits volumes d'hydrogène de grande pureté. Du point de vue de la réaction électrochimique, il s'agit de la réaction inverse à celle qui a lieu dans une pile à combustible. La cellule électrolytique est formée de deux électrodes, une cathode et une anode, d'un électrolyte et d'un générateur de courant. L'électrolyte est soit une membrane polymère échangeuse de protons soit une membrane céramique conductrice d'ions oxygène [20].

Dans le cas d'une membrane échangeuse de protons, les réactions sont les suivantes :

A l'anode, des électrons sont formés suite à l'oxydation de l'eau en oxygène et en protons (Oxydation) :



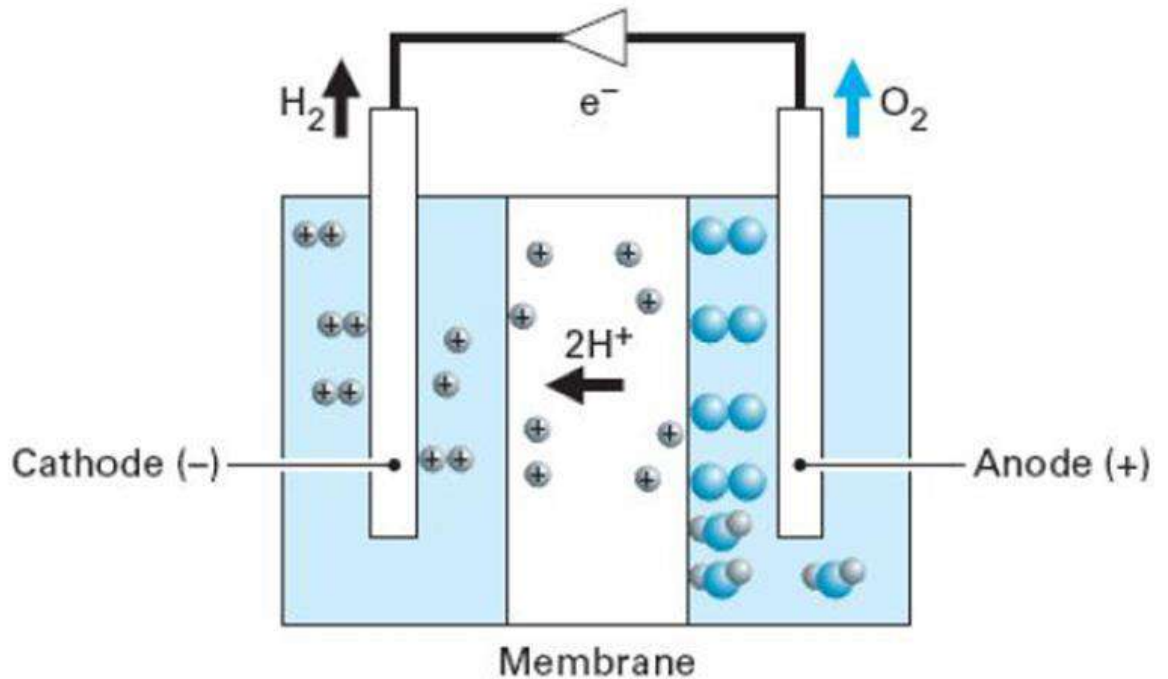
A la cathode, les protons, passés à travers la membrane, se réduisent avec les électrons pour donner de l'hydrogène (réduction):



Ainsi, grâce à du courant, l'eau est dissociée en hydrogène et en oxygène. Etant donné que l'enthalpie de dissociation de l'eau est de 285kJ/mole, il faut nécessairement un apport d'énergie électrique.

Désormais, l'électrolyse est associée à une future utilisation des énergies renouvelables. Cela pourrait être intéressant au vu de la non-simultanéité de la production par ces procédés

avec les besoins des industriels et des individus [20].



Figuer (II.1) : Cellule d'électrolyse de l'eau [20].

Il existe actuellement trois types d'électrolyseurs d'eau classés selon la nature de leur électrolyte dont résulte leur température de fonctionnement, le tableau (II.2) résume les principales caractéristiques de ces trois types d'électrolyte.

Il existe actuellement trois types d'électrolyseurs d'eau classés selon la nature de leur électrolyte dont résulte leur température de fonctionnement, le tableau (II.2) résume les principales caractéristiques de ces trois types d'électrolyte [21].

Type	PEM	Alcalin	SOEC
Rendement énergétique (%)	80-90	75-90	80-90
Température de fonctionnement (°C)	80-100	50-100	800-1000
Pression de fonctionnement (bar)	1-70	3-30	-
Etat du marché	Développement	Commercialisé	Recherche
Consommation électrique (kWh/Nm3 d'H2)	6	4-5	3-3.5

Tableau (II.2): Données techniques des différents électrolyseurs

En fin le choix des méthodes de production changera selon la disponibilité de la matière

de base ou de la ressource, de la qualité exigée et de la pureté souhaitée de l'hydrogène. Dans toute production d'hydrogène, trois aspects doivent être pris en considération, à savoir : la matière première (l'eau ou les hydrocarbures), l'énergie nécessaire pour la production (peut-être : conventionnelle, nucléaire ou renouvelable) et le procédé de production Figure(II.2).

H ₂ à partir de combustibles fossiles	H ₂ à partir de nucléaire	H ₂ à partir de la biomasse	H ₂ à partir de renouvelables
•Gazéification de charbon •Reformage autotherme •Oxydation partielle •Vaporeformage	•Electrolyse •Thermochimie	•Gazéification de la biomasse •Thermochimie	•Solaire-électrolyse •Eolien-électrolyse •Photochimique •Photobiologique

Figure (II.2): Différents procédés de production d'hydrogène [20].

II.5 Stockage de l'hydrogène

L'hydrogène est un élément abondant dans la nature, mais il n'est pas pur, il doit donc être séparé et stocké par précaution et utilisation immédiate, de sorte que des techniques et des conditions doivent être utilisées pour le stocker.

II.5.1 Stockage liquide

Malgré le développement attendu de ces secteurs industriels, il n'y a pas de changement significatif dans le volume de production. Bien que les technologies de production d'hydrogène à partir de gaz naturel ou d'autres combustibles fossiles soient aujourd'hui en vogue, un changement de l'ordre de grandeur entraîne des changements importants. En particulier, en raison de la nécessité de séparer économiquement le CO₂ autant que possible, les unités seront donc grandes et proches des sites de production où les conditions d'isolation peuvent être les plus favorables [20]

II.5.2 Stockage solide

L'hydrogène peut être stocké dans les hydrures métalliques. En effet, l'hydrogène peut réagir de manière réversible avec certains métaux et alliages. Il réagit avec différents types de poudres métalliques ce qui crée un stockage solide à pression modérée. Il existe deux classes d'hydrures : les hydrures hauts et basse température. L'hydrogène absorbé doit être pur pour ne pas détériorer les propriétés absorbantes du matériau. Les densités énergétiques sont faibles pour les hydrures à basse température et fortes pour les hydrures hautes température. L'intérêt d'utiliser les hydrures métalliques pour stocker l'hydrogène est de Minimiser le risque de manipuler de grandes quantités de cet élément très réactif. [20]

II.5.3 Stockage gazeux

Le stockage du gaz hydrogène sous des pressions de l'ordre de 200 à 250 bars dans un réservoir en acier est une technique éprouvée depuis de nombreuses années et largement répandue de nos jours dans le monde industriel. Toutefois, cette technologie est fortement pénalisée par le poids des bouteilles. A température ambiante, la capacité volumique est de l'ordre de 14 g/dm³ sous 200 bars. Compte tenu des problèmes de fragilisation de l'acier induit par l'hydrogène, les parois doivent être suffisamment épaisses et résistantes. Toute augmentation de pression entraîne ainsi un accroissement de la masse de l'enveloppe limitant tout développement futur de cette technique. La solution innovante pour le stockage sous pression vient aujourd'hui des structures en fibres bobinées et en résine qui permettent d'atteindre des pressions de stockage beaucoup plus élevées tout en réduisant la masse de l'enveloppe. Actuellement, des pressions de service de 350 bars sont couramment et les recherches s'orientent vers des pressions encore plus importantes de l'ordre de 700 à 800 bars. Dans ces conditions, des capacités volumiques de l'ordre de 40 g/dm³ sont obtenues et des capacités massiques de plus de 10 % pour le système complet sont envisageables [20].

II.6 Application industrielle

II.6.1 Application industrielle historique

Depuis des décennies, l'hydrogène est principalement utilisé par l'industrie chimique et l'industrie du raffinage. Parmi les applications, on peut citer :

- Industrie agricole/chimique

L'hydrogène est une matière première fondamentale nécessaire à la production d'ammoniac (NH₃), connu sous le nom d'azane, une partie importante des engrais utilisés dans les industries agricoles du monde. L'ammoniac peut également être utilisé comme un produit abordable et respectueux de l'environnement, comme réfrigérant (R-717).

- Industrie du raffinage du pétrole

L'hydrogène est couramment utilisé dans l'hydrocraquage pour créer des produits pétroliers, notamment l'essence et le diesel. Il est également utilisé pour éliminer les contaminants comme le soufre et pour créer du méthanol (CH₃OH).

- Autres applications industrielles courantes de l'hydrogène

L'hydrogène a également une longue histoire d'utilisation dans plusieurs autres industries. Il s'agit Notamment de :

- Nourriture

L'hydrogène est utilisé pour transformer les graisses insaturées en huiles et graisses saturées, notamment les huiles végétales hydrogénées comme la margarine et les tartinades au beurre.

- Travail des métaux

L'hydrogène est utilisé dans de multiples applications, notamment l'alliage des métaux et la fabrication de flashs.

- Soudure

Le soudage à l'hydrogène atomique (AHW) est un type de soudage à l'arc qui utilise un environnement d'hydrogène.

- Production de verre plat

Un mélange d'hydrogène et d'azote est utilisé pour éviter l'oxydation et donc les défauts pendant la fabrication.

- Fabrication de produits électroniques

En tant qu'agent réducteur et de gravure efficace, l'hydrogène est utilisé pour créer des semi-conducteurs, LED, écrans, segments photovoltaïques et autres composants électroniques.

- Médical

L'hydrogène est utilisé pour créer du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Récemment, l'hydrogène gazeux a également été étudié comme gaz thérapeutique pour un certain nombre de maladies différentes.

II.6.2 Applications de l'industrie de l'énergie hydrogène

Les applications nouvellement commercialisées de l'hydrogène, comme les piles à combustible, ouvrent toutes sortes de nouvelles opportunités dans les transports et d'autres industries liées à l'énergie. Dans certains cas, l'hydrogène est utilisé comme combustible alternatif. Les domaines de croissance notable comprennent :

- Exploration spatiale

L'hydrogène liquide (LH_2) joue un rôle important dans l'exploration spatiale. Il a été utilisé pour la

Première fois dans la phase secondaire des fusées Saturne du programme Apollo de la NASA. Aujourd'hui, son utilisation s'étend pour inclure les gouvernements et les entreprises des organisations comme United Launch Alliance, Boeing et Blue Origin [21].

II.7 Les piles à combustible

II.7.1 Historique générale de la pile à combustible

En 1839, le scientifique William Grove a proposé la première démonstration d'une pile à combustible. Il s'agit d'une cellule hydrogène/oxygène à basse température avec des électrodes en platine et un électrolyte dilué à base d'acide sulfurique. Jusque dans les années trente du XXe siècle, lorsque l'ingénieur britannique Francis T. Bacon à Cambridge, a pu créer des électrodes poreuses de nickel et d'oxyde de nickel dans un milieu aqueux. La température KOH varie entre 80 et 200 degrés Celsius et la pression d'environ 40 pressions atmosphériques.

L'émergence du premier grand modèle d'énergie a commencé en 1953, où la NASA a remporté plusieurs réalisations dans les années cinquante du siècle dernier, puis dans les années soixante cette batterie est apparue aux mains de General Electric et a utilisé ces batteries dans les vols spatiaux alors que ma société Wenzel et Justi développent plusieurs modèles de cette batterie [22].

II.7.2 Définition

Une pile à combustible (PAC) est un générateur électrochimique qui permet de convertir directement l'énergie chimique interne d'un combustible en énergie électrique sans passer par l'énergie thermique.

Par conséquent, le rendement des PAC n'est pas limité par l'efficacité de Carnot. Dans les PAC les réactifs sont renouvelés et les produits évacués en permanence, ce qui signifie qu'il y a production d'énergie électrique aussi longtemps que le système est alimenté en gaz réactifs (combustible et comburant).

De même la structure (électrodes, électrolyte et sites réactifs) ne réagit pas et ne se dégrade pas au cours du temps.

La durée de vie d'une pile à combustible est donc en théorie illimitée. [23]

II.7.3 Principe de fonctionnement

Par définition, la PAC, Fuel Cell (FC) en anglais, produit de l'électricité à partir d'une réaction chimique. Cette dernière est due au passage d'un gaz riche en hydrogène à travers une anode et d'oxygène ou d'air à travers une cathode. Un électrolyte, présent entre l'anode et la cathode, permet l'échange de charges électriques portées par des ions.

Le flux d'ions à travers l'électrolyte produit un courant électrique dans un circuit externe vers une charge.

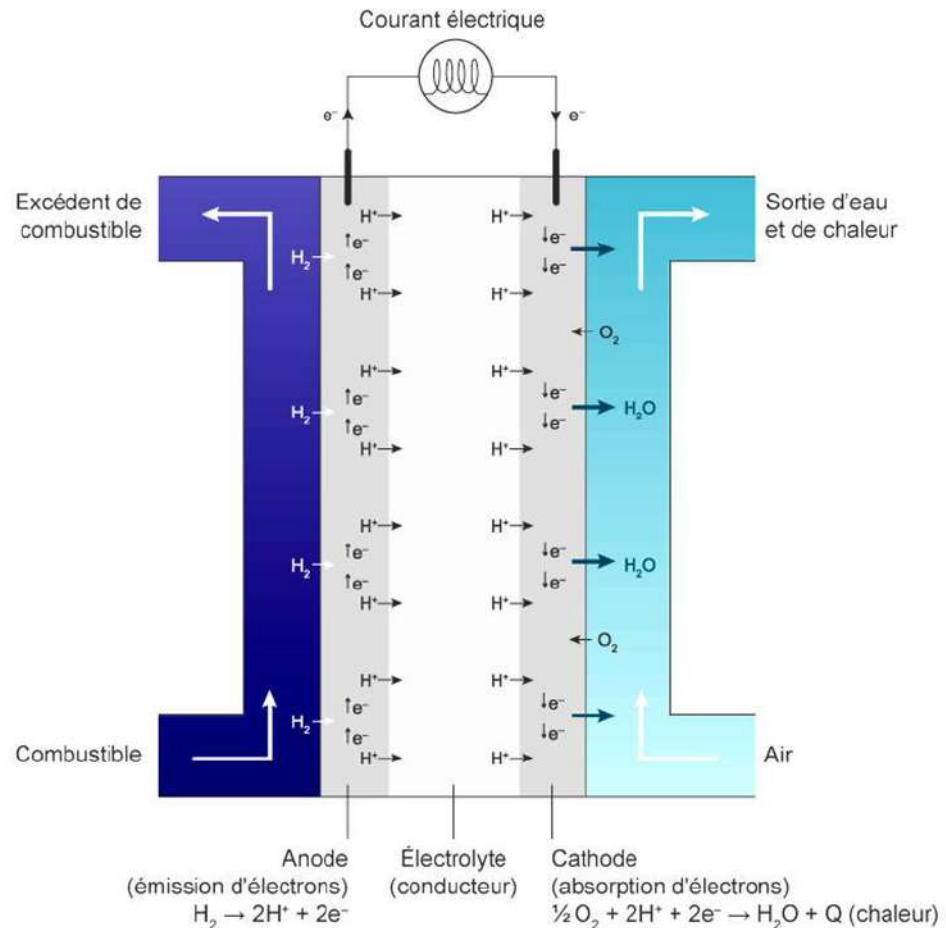


Figure (II.3) : composition de la pile à combustible

II.7.4 Les composants de la pile à combustible

Les différents éléments, constituant le cœur de la pile à combustible, varient en fonction de la technologie. Nous développerons ces différentes technologies dans le chapitre suivant.

Mais avant cela, il est nécessaire de se familiariser avec le vocabulaire associé aux PAC. Pour cela, nous

Avons choisi de présenter la pile à membrane polymère (PEMFC) qui est actuellement l'une des PAC les plus commercialisées et sur laquelle s'axent, au vu de l'enquête menée, les principaux projets de Développement en France.

Cellule unitaire

Chaque cellule d'une pile est constituée de plusieurs composants :

- La membrane qui permet le transport de protons et sépare le carburant de l'oxydant.
- Une anode oxydante (émettrice d'électrons) et une cathode (collectrice d'électrons).
- Deux couches de diffusion qui approvisionnent en gaz réactifs les électrodes.
- Deux plaques bipolaires qui alimentent en gaz et évacuent l'eau produite.
- Les joints d'étanchéité qui empêchent le carburant de l'anode et l'oxydant de la

cathode de se mélanger mais également de fuir vers l'extérieur de la pile.

Ils sont présentés dans le Figure 2 et détaillés en annexe 2.

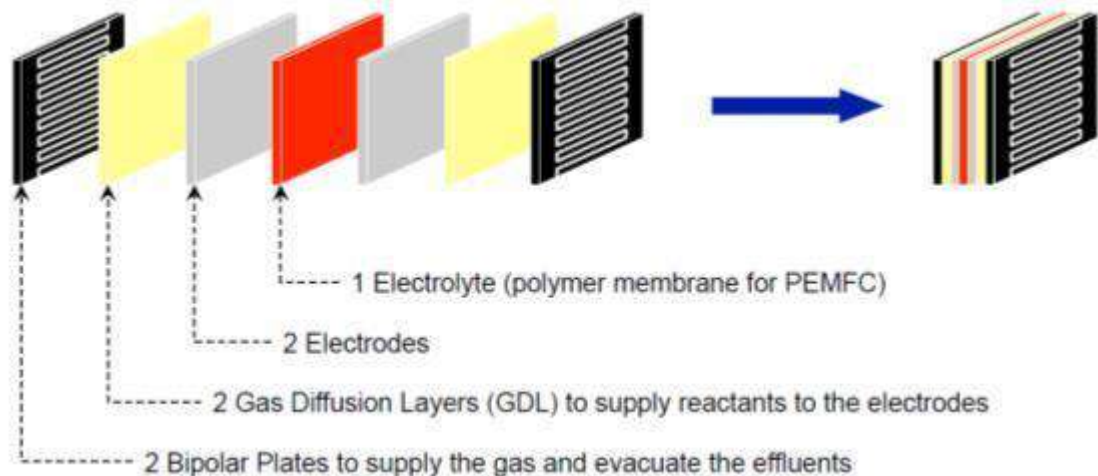


Figure (II.4) : Différents constituants d'une cellule.

II.7.5 Les différents types de pile à combustible

Il existe de nombreuses technologies de PAC pour l'utilisation stationnaire :

II.7.6.1. Les piles à membranes échangeuses de protons (PEMFC)

Ce sont des piles à électrolyte polymère solide, parfois appelées SPFC (Solid Polymer Fuel Cell), fonctionnant dès la température ambiante, mais avec des conditions optimales autour de 80 °C pour des pressions de 1 à 4 atmosphères. Elles sont très sensibles à la présence de CO qui doit être limitée à quelques ppm. De nombreux prototypes pour le domaine des transports ont été développés, et il commence à y avoir des installations de cogénération basées sur des PEMFC, jusqu'à 250 kW. Leurs principaux avantages sont des temps de démarrage quasiment instantanés avec, à température ambiante, près des deux tiers de la puissance nominale en quelques secondes, ce qui les rend compatibles avec les besoins des véhicules de transport. De plus, elles mettent en œuvre des technologies moins délicates et faciles à développer dans le cadre des séries industrielles. Le combustible le plus utilisé est l'hydrogène, sous une forme très pure, nécessitant un reformage externe très poussé des carburants classiques (gaz naturel, méthanol...) [24].

II.7.6.2. Pile à Combustible Alcaline (AFC)

La pile alcaline, pile AFC (Alkaline Fuel Cell), a un électrolyte de type alcalin, donc basique, en général de la potasse (ou hydroxyde de potassium KOH, 30 à 45% en masse, soit 8 à 12 mol/L) qui est un électrolyte liquide. La température de fonctionnement de la pile varie autour de 80-90°C, mais cette température peut être plus élevée pour un fonctionnement sous pression (piles Bacon, jusqu'à 200-230°C) ou avec un électrolyte plus concentré (piles Apollo). La potasse qui constitue l'électrolyte peut être soit immobile dans une membrane, imprégnée de potasse (pile IFC de la navette spatiale), soit circulante.

Dans ce dernier cas, la circulation permet d'utiliser la potasse comme fluide refroidissement et permet aussi l'extraction de l'eau formée, mais cette solution a pour inconvénient de multiplier les risques de fuites. Les ions hydroxyde de l'électrolyte sont susceptibles de réagir avec le dioxyde de carbone (de l'air ou présent dans l'hydrogène) pour former un composé de carbonate, ce qui réduit la conductivité de l'électrolyte. Il est nécessaire d'opérer avec de l'oxygène et de l'hydrogène purs, ce qui exclut l'utilisation d'air ou d'hydrogène reformé. Les performances classiques sont élevées du fait de la vitesse des réactions chimiques mises en jeu et se situent autour du point de fonctionnement suivant, à pression ambiante et vers 70°C : $V_N = 0,78$ Volt et $I_N = 100$ mA/cm². Le rendement électrique de ce type de pile est de 60 à 70%.

Un fonctionnement avec des catalyseurs non précieux est possible : anode en Pt ou Ni de Raney ou borure de nickel, et cathode en alliage Pt-Au ou Ag. Les durées de vie peuvent être élevées : des démonstrations jusqu'à 15 000 h de fonctionnement ont été faites aux USA.

II.7.6.3. Pile à carbonate fondu MCFC

Ce type de pile fait partie des "pile à électrolyte liquide qui fonctionnent à des températures élevées (environ 650°C)". Cette température élevée permet de manière intéressante de récupérer les calories dégagées à des niveaux de chaleur élevés, notamment le couplage avec les turbines à gaz en aval et le reformage direct des carburants à base d'hydrocarbures à l'anode.

Les MCFC sont les piles à combustible qui résistent le mieux aux impuretés produites par les réactions chimiques. Ce type de pile à combustible est principalement utilisé pour un usage stationnaire et de forte puissance. Cependant, la maintenance est plus importante que le type SOFC [25].

II.7.6.4. Pile à combustible à oxyde solide (SOFC)

L'électrolyte de cette pile à combustible est un oxyde métallique solide et non poreux, généralement du ZrO₂ stabilisé au Y₂O₃. La cellule fonctionne à 600-1000 °C où la conduction ionique par les ions oxygène a lieu. Typiquement, l'anode est en cermet Co-ZrO₂ ou Ni-ZrO₂, et la cathode est en LaMnO₃ dopé au Sr. Au début, la conductivité limitée des électrolytes solides nécessitait un fonctionnement de la cellule à environ

1000 °C, mais plus récemment, les cellules à électrolyte mince avec des cathodes améliorées ont permis une réduction de la température de fonctionnement à 650-850°C. Certains développeurs tentent de pousser les températures de fonctionnement SOFC encore plus bas. Cela a permis le développement de SOFC compacts et performants qui utilisaient des matériaux de construction relativement peu coûteux.

Des efforts concertés de développement de piles, en particulier par le biais du

programme SECA du DOE

Américain, ont considérablement fait progresser les connaissances et le développement des SOFC planaires à électrolyte mince. Grâce à l'amélioration des performances, les SOFC sont désormais envisagées pour un large éventail d'applications, notamment la production d'électricité stationnaire, l'alimentation mobile, l'alimentation auxiliaire pour les véhicules et les applications spécialisées [28].

II.7.6.5. Pile à acide phosphorique PAFC

La pile à acide phosphorique, pile PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell), a pour électrolyte de l'acide phosphorique maintenu grâce à une matrice poreuse de carbure de silicium et de Téflon. Cet acide est intéressant car il ne réagit pas avec le CO₂, ce qui permet l'utilisation de gaz issus du reformage. La température de fonctionnement est au moins de 190°C pour éviter la dissolution de l'eau dans l'électrolyte acide et au plus 210°C, température de début de décomposition de l'électrolyte. Il possède de plus une faible tension de vapeur pour des températures élevées ; en revanche, se solidifiant à 42°C, il impose de maintenir la pile au-dessus de cette température à l'arrêt. Les électrodes sont en carbone : il s'agit de films minces réalisés à partir de charbon actif recouvert de platine (catalyseur). Les plaques d'interconnexion, montage bipolaire, sont en carbone poreux, équipées de canaux pour l'alimentation en gaz des électrodes. L'un des inconvénients de ces piles est l'agressivité chimique de l'électrolyte auquel il faut ajouter le fait que l'acide phosphorique, se solidifiant en augmentant de volume, entraîne à l'arrêt de la pile de fortes contraintes sur sa structure. L'eau formée par la réaction doit être évacuée à la cathode sous forme de vapeur grâce à un débit d'air sur-stœchiométrique. La chaleur est évacuée par une circulation de fluide caloporteur (air ou eau) dans les plaques bipolaires [27].

II.7.6 Applications des piles à combustibles

II.7.6.1. Application portables

Les piles à combustible sont également utilisées dans le secteur portable pour remplacer les batteries de grande puissance. Qu'il s'agisse d'un téléphone portable, d'un ordinateur portable ou d'une tablette tactile, leur autonomie est fortement augmentée grâce à la pile à combustible[28].

II.7.6.2. Application Transport

Les piles à combustible sont utilisées dans les voitures, les avions et les trains, où elles se distinguent des autres par l'atténuation du bruit de la combustion de l'hydrogène.

II.7.6.3. Application stationnaires

Nous pouvons l'utiliser comme réserve ou comme source indépendante de nutrition à domicile, où nous fabriquons cette batterie dans un système composé de plusieurs sources et

assurons une alimentation ininterrompue appelée ce système hybride [29].

Conclusion :

En fin de compte, l'importance de l'hydrogène vert est évidente en tant qu'énergie propre, quelle que soit la manière dont il est extrait, et nous lui voyons un avenir prometteur dans les industries légères et lourdes. Il contribue également à réduire la quantité de pollution résultant des usines d'extraction de pétrole. Pour produire de l'énergie électrique.

CHAPTER -III-
Analyse et optimisation du système hybride
par HOMER.

III.1 Introduction

Depuis l'Antiquité, la machine est connue comme un moyen de faciliter la vie humaine, et l'homme connaît ses exigences, car il a toujours voulu fournir une source permanente à la machine pour assurer la continuité de son fonctionnement, il était donc nécessaire de créer des sources de secours pour la source d'origine avec ses services et la rendre toujours prête en cas d'absence de courant électrique. Dans notre cours, nous aborderons comment gérer l'énergie électrique d'une pile à combustible et l'énergie solaire tout en connaissant les caractéristiques des deux.

Nous discuterons de la simulation de ces sources et de la connaissance de leurs caractéristiques à l'aide du programme Homer Pro. Il surveille également les conditions de charge, ce qui nous indique comment gérer les sources.

III.2 . Présentation du système hybride

Notre système se compose de plusieurs sources avec des caractéristiques différentes pour produire de l'électricité pour répondre aux besoins de notre charge. Nous cherchons également à gérer ce système à l'aide d'un programme pour assurer la continuité de l'approvisionnement et augmenter la productivité.

Ce système se compose de sources à caractère renouvelable et de sources non renouvelables (avec une durée de conservation assez courte) «Notre système se compose de groupe des panneaux solaires, batteries, pile à combustible PEM et d'un électrolyseur.

Le schéma global de notre système hybride est présenté dans la Figure 1.1

- **Générateur photovoltaïque**

Nous l'utilisons comme générateur de charge principal qui dépend entièrement de la lumière générée par le soleil et est connecté électriquement au générateur, et une partie est destinée au stockage.

- **Électrolyseur**

Il s'agit d'un appareil permettant d'analyser l'eau en hydrogène et en oxygène en utilisant du courant continu, ce qui entraîne un changement de l'état physique de l'eau. Les séparer pour produire l'hydrogène.

- **Pile à combustible**

Il est utilisé en l'absence d'alimentation électrique de la charge, où la fusion des gaz oxygène et hydrogène est convertie en eau, énergie électrique et chaleur.

- **Batteries**

Une batterie est un dispositif qui permet de stocker de l'énergie sous forme d'énergie chimique. Lorsqu'une batterie se charge, elle convertit de l'énergie électrique en énergie chimique. Lorsqu'elle se décharge, elle convertit de l'énergie chimique en énergie électrique.

Les cycles réversibles charge / décharge sont une des caractéristiques d'une batterie [30].

- **Réservoir d'hydrogène (H₂ tank) :**

Il contient de l'hydrogène brut collecté par l'électrolyseur et est préparé pour une utilisation immédiate pour produire de l'énergie électrique via la pile à combustible.

- Onduleur :

Pour alimenter des équipements fonctionnant en courant alternatif, un dispositif électronique statique de conversion ou convertisseur DC/AC est utilisé pour la transformation du courant continu en courant alternatif [43].

III.3 Principe de fonctionnement de système

La priorité la plus élevée est d'alimenter la charge pendant la journée avec l'énergie solaire, puis en cas d'obscurité, on passe à l'énergie de la pile à combustible, puis de la batterie.

L'excédent de puissance fournie par les panneaux photovoltaïques est envoyé à la batterie et à l'électrolyseur pour le stockage.

D'après Les études précédentes sur les systèmes hybrides incorporés à hydrogène/batterie, l'hydrogène est approprié pour les stockages d'énergie, alors que la batterie est utilisée à court.

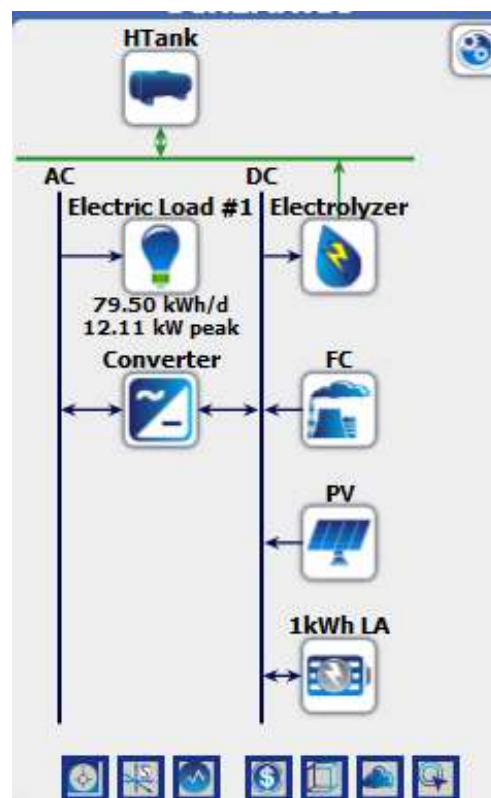


Figure III.1 : Schéma du système hybride.

Le but de cette étude est de sélectionner un système hautement efficace pour répondre

aux caractéristiques de cette charge indiquées dans le tableau :

Les charges	Puissance(W)	Durée de fonctionnement (h)	Temps de Fonctionnement (horaire)
Les lampes	459	13	19 à 7
Pompe	250	12	9 à 20
Four électrique	7500	3	7 et 20 et 12
Frigidaire	398	24	24
Computer	60	24	24
Congélateur	300	24	24
chauffage électrique	2000	4	En hiver 6 et 7 et 21 et 22
Climatiseur	1760	12	En été 13 à 16 et 22 à 5
Ventilator	100	4	En été 10 et 11 et 17 et 18
chauffage d'eau	1760	12	Sauf l'été 13 à 16 et 22 à 5

Tableau III.1 : Charge et temps de fonctionnement.

III.4 Description du logiciel HOMER

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrida Optimisation Model for Electric Renewables) est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, de systèmes photovoltaïques, de systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et bien d'autres. HOMER a été initialement développé dès 1993 par le National Renewable Energy Laboratory pour les programmes d'électrification rurale. C'est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée Sur une année. Ainsi il est possible de prendre en compte la variation de paramètres comme la demande en électricité, l'apport d'énergie solaire ou d'énergie éolienne. Il est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers formatés correctement. HOMER est avant tout un modèle économique. Vous pouvez utiliser le logiciel pour comparer les différentes combinaisons de tailles et de nombres de composants, et d'étudier comment les variations de la disponibilité des ressources affectent le

coût d'installation et d'exploitation des différentes solutions de systèmes [31].

Parmi les caractéristiques et les utilisations du programme Homer, nous les mentionnons comme suit :

- Langue : français ou anglais.
- Simulation de systèmes dans plusieurs pays.
- Simulez des systèmes hybrides en réseau ou hors réseau.
- L'évaluation des coûts et l'optimisation des systèmes.

III.5 La puissance de la charge en fonction de temps(heure/jour/année).

Yearly Load Data												
Hour	Weekdays						Weekends					
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
1	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
2	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
3	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
4	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
5	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977
6	2.977	2.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	2.977	2.977
7	10.018	10.018	12.018	12.108	12.018	12.018	12.018	12.018	12.018	12.018	10.018	10.018
8	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758	0.758
9	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008
10	1.108	1.108	1.108	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.108	1.108	1.108
11	1.108	1.108	1.108	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.108	1.108	1.108
12	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508	8.508
13	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768
14	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768
15	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768
16	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768	2.768
17	1.108	1.108	1.108	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.108	1.108	1.108
18	1.108	1.108	1.108	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.008	1.108	1.108	1.108
19	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567	1.567
20	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717	8.717
21	1.217	1.217	3.217	3.217	3.217	3.217	3.217	3.217	3.217	3.217	1.217	1.217
22	2.977	2.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	4.977	2.977	2.977
23	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977	2.977

Figure III.3: la distribution journée de la charge .

Les caractéristiques de la charge générale sont fichées au long de l'année



Figure III.4: les caractéristiques générales de la charge.

III.6 Données relatives à l'ensoleillement moyen au site de Ouargla

Le rayonnement solaire à Ouargla varie entre 7.910KWh/m²/j au mois de juillet et 2.66 KWh/m²/j au mois de décembre.

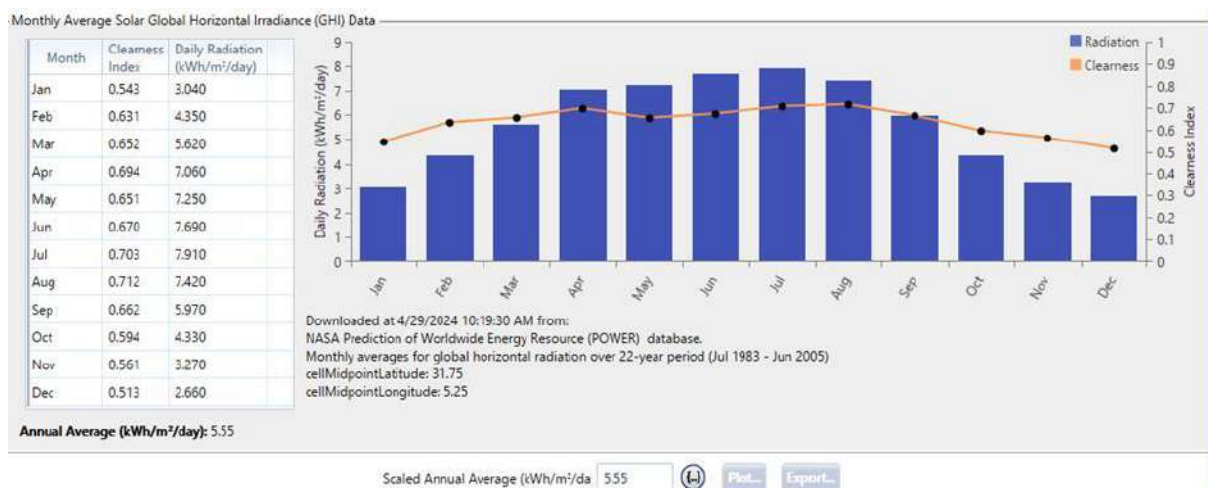


Figure III.5: Radiation globale horizontale mensuelle à Ouargla[32].

III.7 Configuration du système :

Après avoir accédé au programme Homer Pro, nous choisissons les sources d'alimentation et leurs caractéristiques (panneaux solaires, électrolyseur, pile à combustible et

batterie), puis entrons les informations de charge indiquées dans Figure III.6.

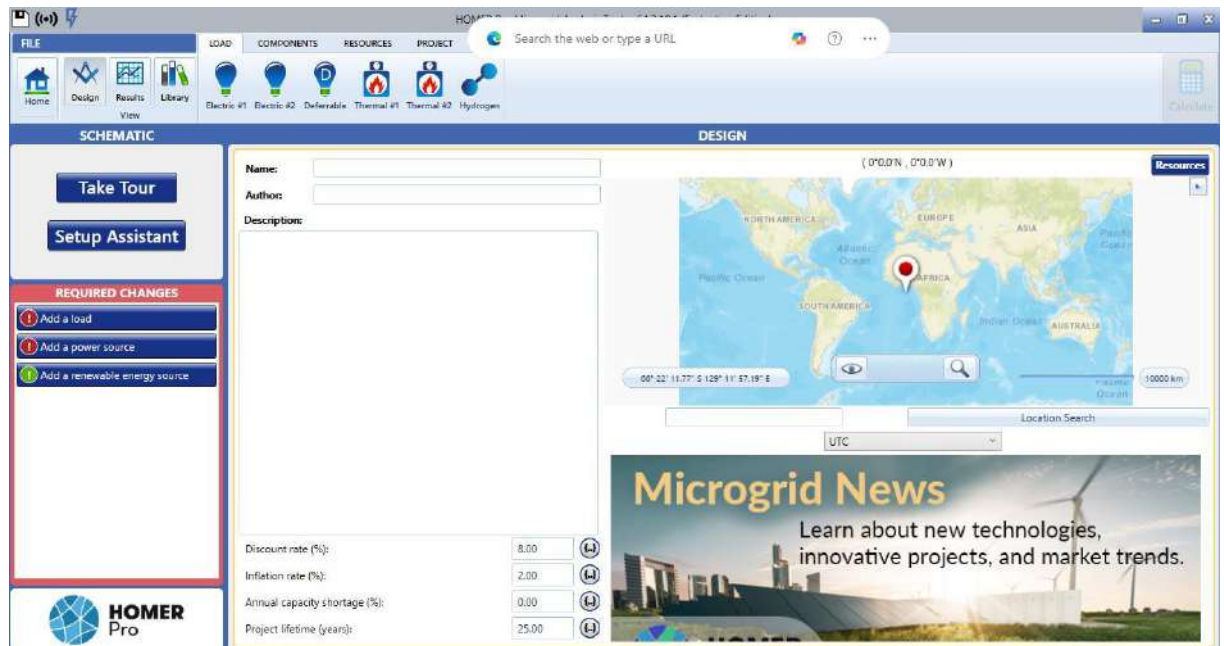


Figure III.6 : Montage du système hybride.

La gestion de l'énergie dans le système s'effectue de la manière suivante: l'énergie photovoltaïque alimente la demande de charge requise et alimente l'électrolyseur en énergie pour générer du H_2 et le stocker dans le réservoir d'hydrogène de la station de ravitaillement, chargeant les batteries si le SOC(state of charge) de la batterie est au minimum même lorsque la capacité totale de la batterie est atteinte, les batteries doivent fournir de l'électricité pour les charges pendant la nuit [33].

Résultats améliorés

Grâce à la simulation, Homer Pro peut prédire les caractéristiques temporelles de la charge.

	Architecture								Cost								
					PV (kW)	FC (kW)	1kWh LA (#)	Electrolyzer (kW)	HTank (kg)	Converter (kW)	Efficiency (%)	Dispatch	NFC (\$)	LCOE (\$/kWh)	Operating cost (\$/yr)	CAPEX (\$)	Ren. Frac (%)
					46.3	5.00	33	20.0	13.0	13.4	1	LF	\$257,579	\$0.687	\$4,334	\$201,547	100
					46.3	5.00	33	20.0	13.0	13.4	0	LF	\$257,579	\$0.687	\$4,334	\$201,547	100
					46.3	5.00	34	20.0	12.6	13.2	0	LF	\$257,703	\$0.687	\$4,330	\$201,730	100
					46.3	5.00	34	20.0	13.0	13.2	1	LF	\$257,703	\$0.687	\$4,330	\$201,730	100
					46.1	5.00	35	20.0	13.0	13.4	0	LF	\$257,749	\$0.688	\$4,337	\$201,680	100
					46.1	5.00	35	20.0	13.0	13.4	1	LF	\$257,749	\$0.688	\$4,337	\$201,680	100
					46.2	5.00	34	20.0	13.0	13.6	0	LF	\$257,771	\$0.688	\$4,336	\$201,719	100
					46.2	5.00	34	20.0	13.0	13.6	1	LF	\$257,771	\$0.688	\$4,336	\$201,719	100
					46.2	5.00	35	20.0	13.0	13.5	0	LF	\$258,111	\$0.688	\$4,341	\$201,989	100
					46.2	5.00	35	20.0	13.0	13.5	1	LF	\$258,111	\$0.688	\$4,341	\$201,989	100
					46.9	5.00	33	20.0	12.0	14.4	0	LF	\$258,134	\$0.689	\$4,342	\$202,005	100
					46.9	5.00	33	20.0	12.0	14.4	1	LF	\$258,134	\$0.689	\$4,342	\$202,005	100
					46.0	5.00	36	20.0	13.0	13.6	0	LF	\$258,254	\$0.689	\$4,368	\$201,791	100

Figure III.7: Configuration proposée par le logiciel HOMER pro.

Il propose également une analyse économique et analyse la classification des priorités d'alimentation de la charge à partir des composants du système hybride. configurations pour rendre le système efficace, comme dans notre cas :

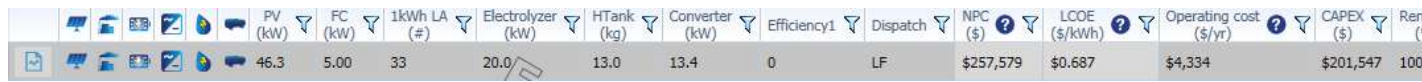


Figure III.8 : le choix optimale par le logiciel HOMER.

Dans cette figure de ce programme nous présente un regroupement économique et technologique

Pour notre étude, nous avons choisi une charge de 79.5kWh/jour, qui a une charge de pointe

Composants	Capacités
Panneau photovoltaïque	46.3kWc
Pile à combustible	5 kW
Convertisseur	13.4kW
Électrolyseur	20 kW
Stockage	33 kWh
H Réservoir	13g

Tableau III.2: dimensionnement de système PV-Hydrogène.

III.7.1 La production et la consommation annuelles d'énergie électrique :

La production et la consommation annulées sont présentées dans les deux tableaux suivants :

Production	KWh/an	%
PV	81.746	83.2
Pile à combustible	16.487	16.8
Totale	98.236	100

Tableau III.3: Energie annuelle produite.

Consommation	KWh/an	%
Charge principale AC	29.002	43.2
Consommation d'électrolyseur	38.057	56.8
Totale	67.087	100

Tableau III.4: Energie annuelle consommée.

Le tableau III.3 présente résumé de production dans site Ouargla, donc une charge de 80.88 kWh/jour, le PV capable de gérer un pourcentage de 85.2de la charge et le reste est faire par la pile l'autre tableau représente le puissance moyenne de chaque source.

III.7.2 Puissance de sortie du générateur photovoltaïque :

Les données de sortie de PV résument dans le tableau suivant :

Quantité	Valeur
Sortie maximale	45.8KW
Sortie minimale	0KW
Facteur de capacité	20.2%
Heures d'ouverture	4375Hrs/an

Tableau III.5: Caractéristique de fonctionnement du panneau photovoltaïque.

D'après les résultats, nous avons constaté que le nombre total d'heures annuelles durant lesquelles les panneaux solaires fonctionnent réellement est de 45.8 kW (4375 heures/an).

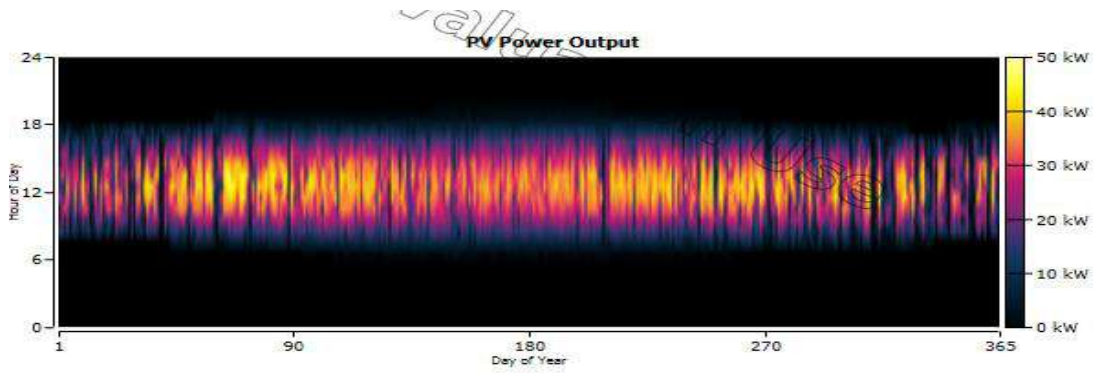


Figure III.9: Production journalière de panneau photovoltaïque.

Où le noir représente l'absence de production, le jaune représente le pic et le violet représente la production moyenne.

III.7.3 Puissance de sortie du Pile à combustible

En cas d'absence ou de faiblesse dans l'alimentation de la charge avec des panneaux solaires, ou en cas d'obscurité, la pile à combustible doit alimenter la charge, Les paramètres de fonctionnements sont donnés sur les tableaux ci-dessous :

Quantité	Valeur
Sortie maximale	5 KWh/an
Sortie minimale	0.340 KWh/an
Facteur de capacité	37.6%
Consommation de Carburant	0.05 Kg/KWh
Plein apport d'énergie	27.482 KWh/an
Production Electrique	16.489KWh/an

Tableau III.6: Paramètres de fonctionnement de la pile à combustible.

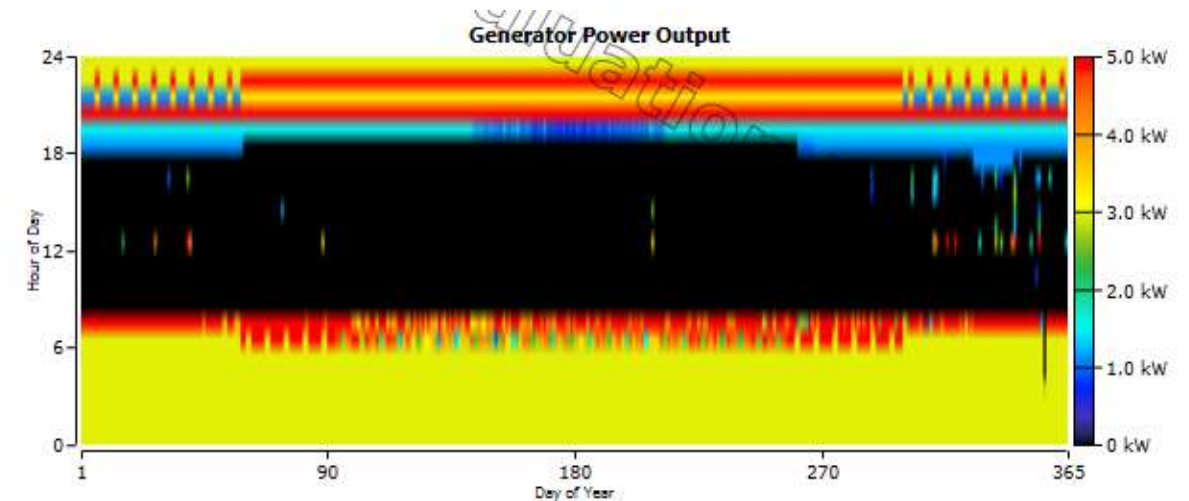


Figure III.10: Production journalière de la pile.

Dans la figure correspondante, le noir symbolise une mauvaise nutrition, le rouge symbolise le pic et le vert symbolise la production.

III.7.4 Consommation de l'électrolyseur

La figure ci-dessous montre les paramètres de fonctionnement de la production par l'électrolyseur, il est indiqué dans le tableau suivant:

Quantité	Valeur
Sortie maximale	0.431KW/an
Entrée maximale	20KW
Facteur de capacité	21.7%
Consommation Spécifique	46.4kWh/kg
Production totale	820Kg/an
Heures d'ouverture	2599h/an

Tableau III.7: Paramètres de fonctionnement de l'électrolyseur.

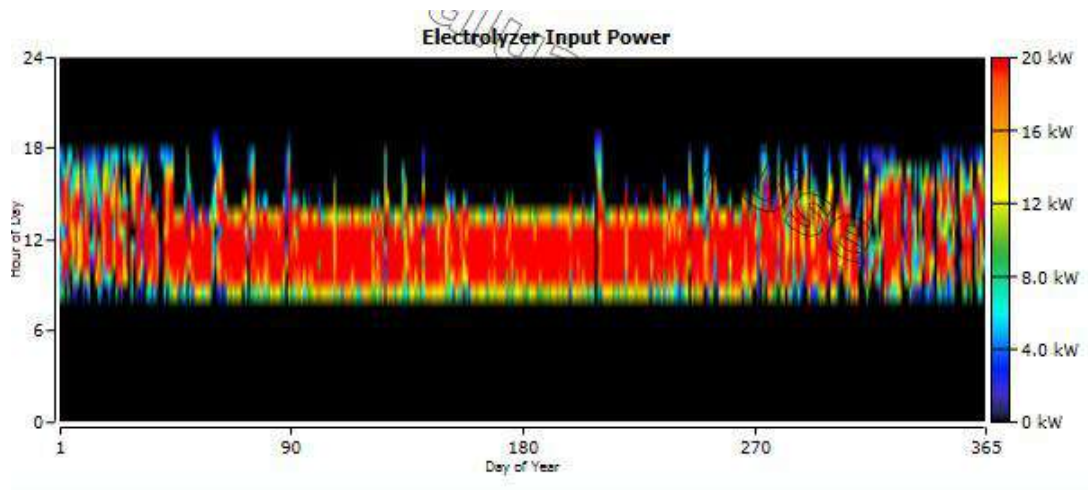


Figure III.11: Production journalière de l'électrolyseur

Figure ci-dessous montre la production journalière d'un électrolyseur au cours d'une année. La production moyenne est indiquée en vert et Le noir représente les périodes d'absence de production d'hydrogène. L'orange représente les sommets.

III.7.5 Convertisseur :

Les réglages du convertisseur nécessaire pour adapte et faire bon transformation, ce tableau présente les donnees :

Quantité	Valeur
Sortie maximale	12.1KWh
Sortie minimale	0.758KWh
Facteur de capacité	24.6 %
Energie de sortie	29. 002Kg/KWh
Pertes	1.526KWh/an
Energie d'entrée	30.528KWh/an
Heures d'ouverture	8.760h/an

Tableau III.8 : Paramètres de fonctionnement du convertisseur.

III.7.6 Réservoir d'hydrogène :

Quantité	Valeur
Capacité de stockage d'hydrogène	13Kg
Capacité de stockage d'énergie	433kwh
Autonomie du réservoir	131h

Tableau III.9 : Paramètres de fonctionnement du stockage d'hydrogène.

III.7.7 Batteries :

Paramètres de fonctionnement du Batteries sont indiquées dans cette tableau :

Quantité	Valeur
Sortie d'énergie	2480kWh/an
Energie d'entrée	3094kWh/an
Capacité	33kWh
pertes	619kWh/an
Epuisement du stockage	5.26kWh/an
Durée des vie du batteries 1	9.52ans
Débit à vie	26400kWh

Tableau III.10 : Paramètres de fonctionnement du Batteries.**III.7.8 Coût du système**

Le prix de chaque équipement est représenté dans Cette tableau, avec somme opérations couteaux :

Composante	Capitale	Remplacement	O&M	Sauvetage	Totale
Batteries acide 1kw	8,700.00\$	8,595.88\$	3.748.98\$	173.70\$	20,871.16\$
Electrolyseur	40,000.00\$	15,273.86\$	7,756.51\$	2,874.69\$	60,155.67\$
Photovoltaïque	127,934.99\$	00	6,615.53\$	00	134,550.52\$
Pile à combustible	15,000.00\$	10,968.74\$	3,204.08\$	1,561.62\$	27,611.21\$
Réservoir d'hydrogène	16,900.00\$	00	1,680.58\$	00	18,580.58\$
Convertisseur	3,824.44\$	1,622.61\$	1,648.00\$	305.39\$	6,789.66\$
Système	212,359.43\$	36,461.68\$	24,653.68\$	4,915.40\$	268,558.79\$

Tableau III.11: Tarifs des équipements

III.8 Comparaison du coût du système et du coût de Mise en place d'un ligne d'alimentation moyenne tension

Dans cette comparaison, nous comparerons le coût total du prix d'un système hybride et le coût de construction d'une ligne dans une zone quelque peu isolée où le coût change avec la distance. Dans la figure suivante, il représente le coût total en kilomètres

Nous avons le coût de notre système est de 34912642.7 DA (1\$=134.49DA), quant au coût de Sonelgaz, il est indiqué dans la tableau suivante :

Nous discuterons la différence entre le coût d'un système hybride et le coût de connexion d'un point éloigné au réseau électrique.

Nous avons le coût du fil : 39600DA/m, de l'adaptateur: 331486.53DA du coupeur:1440000DA et transformateur de 100 kVA est 7000000 DA. [34].

Le cout total de ce système est :

Le cout de système hybride	Le cout de création d'un ligne électrique par sonelgaz	La comparaison
34912642.7 DA	6431483.53DA pour (1KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	10391483.53DA pour (2KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	14351483.53DA pour (3KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	183483.53DA pour (4KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	2221483.53DA pour (5KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	26231483.53DA pour (6KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	30191483.53DA pour (7KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	3415483.53DA pour (8KM)	La création d'un ligne électrique par sonelgaz moins cher
34912642.7 DA	38111483.53DA pour (9KM)	Le système hybride moins cher
34912642.7 DA	42071483.53 pour(10KM)	Le système hybride moins cher

Tableau III.12:la comparaison entre les deux systèmes cote l'argent

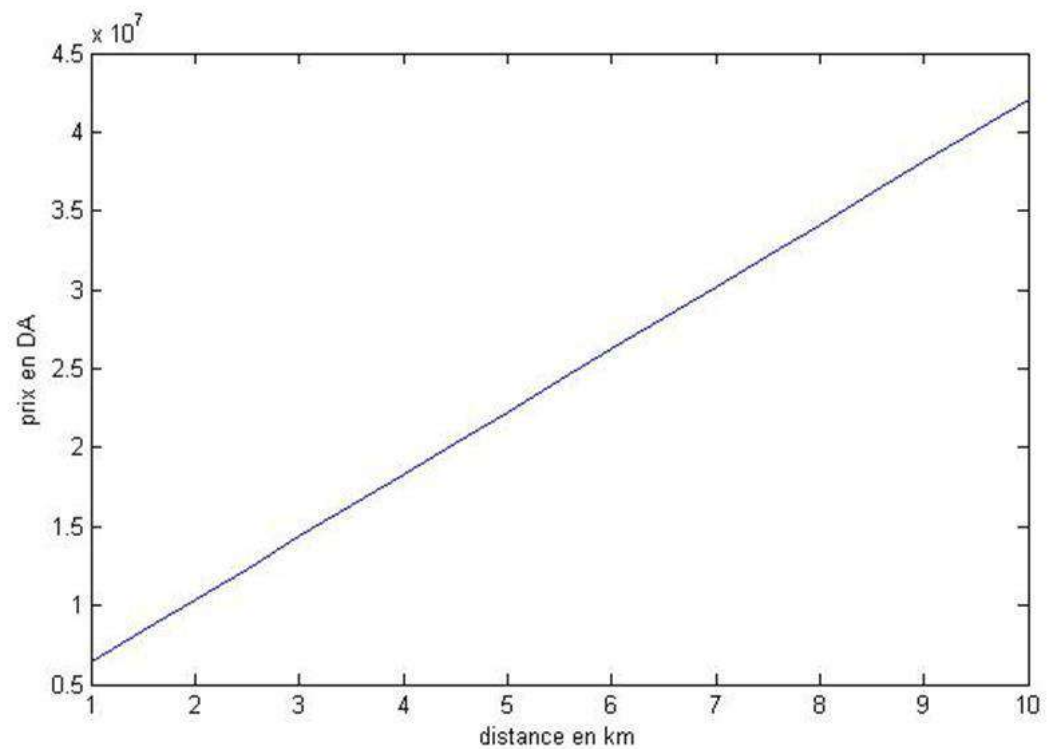


Figure III.12: le cout d'un création d'un point de distribution Mt en fonction la distance (KM).

En plus de tarif de consommation chaque mois pour Sonelgaz est très élevé, elle est 38679.35DA et la facteur de 3 mois de 25 ans a moyenne (la durée de vie de la système hybride) est calculée : $25 \times 79.18 \times 30 \times 3 \times 170.4 = 30304165.5 \text{ DA}$ avec (170.4 DA est le prix de consommation de chaque jour)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné la charge, sa consommation maximale et la quantité d'énergie solaire consommée dans l'état de Ouargla. Le programme Homer Pro nous a également permis de créer et de proposer la solution la plus appropriée, énergétiquement et économiquement, pour alimenter la charge. et rendre le rendement quelque peu maximum

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'homme était connu pour son adaptation en fournissant des méthodes et en trouvant des moyens de répondre à ses besoins, en tenant compte tantôt de la facilité de la méthode et tantôt en tenant compte de la continuité de la suffisance des besoins, car il a eu recours à la fourniture d'énergie électrique en utilisant des sources non renouvelables pour la quantité et la qualité produites par ces dernières et fermant les yeux sur les dommages causés par les pollutions de toutes sortes, a récemment commencé à montrer la gravité de ces risques sur le terrain, il s'est donc tourné vers les énergies renouvelables pour atténuer ces dommages et fournir une source d'énergie gratuite autre que le gaz, et à partir de ces sources l'énergie solaire, qui s'est répandue récemment et s'est développée. Une évolution remarquable ces derniers temps.

L'énergie qui provient du faisceau solaire, qui a des propriétés et des spécifications comme il a des types, et ces types affectent la rentabilité du panneau solaire. Les chercheurs ont également modélisé le courant et la tension produisent par le panneau solaire afin d'améliorer le rendement et de couvrir les points où la production est la plus faible.

On savait que le rendement des panneaux solaires est insuffisant et peut mettre la charge dans l'embarras. Il est nécessaire de développer un système hybride qui assure la continuité de l'alimentation et la diversification des sources. Les panneaux contribuent également à alimenter l'électrolyseur qui sépare l'oxygène de l'hydrogène à stocker. Ce dernier à utiliser dans la pile à combustible qui produit de l'électricité à partir de la fusion des atomes d'oxygène et de l'hydrogène stocké dans les boîtiers.

Le monde actuel s'oriente vers les énergies renouvelables (propres) et certains organismes ont même inclus des pénalités lorsque l'utilisation d'énergies non renouvelables est excessive, et cette diffusion a conduit au développement de systèmes de gestion, et les développeurs ont créé le programme Homer Pro afin que l'utilisateur puisse choisir les sources appropriées en fonction de la capacité. Il contient également la propriété de déterminer la zone à étudier et donne des choix optimaux en fonction de l'aspect économique qui contribue à la diffusion de l'utilisation de cette énergie .

Références bibliographiques

- [1] Livre «ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY HANDBOOK» ÉDITÉ PAR D. YOGI GOSWAMI FRANK KREITH 2017.
- [2] <http://media4.obspm.fr/public/AMC/index.html>, visit le 2024.06.01
- [3] M. Belhadj, Modélisation d'un Système de captage photovoltaïque Autonome, Mémoire de Magister Centre Universitaire de Béchar, 2007-2008
- [4] Y. Jannot, Thermique solaire, Université de Lubumbashi, octobre 2003.
- [5] M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007
- [6] <https://www.ibm.com/docs/fr/db2/11.5?topic=systems-geographic-coordinate> visit le 2024.05.27
- [7] Alain Ricaude. Gisement solaire et transferts énergétiques .Master. Université de CERGY_PONTOISE
- [8] <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/30192> visit le 2024.05.25
- [9] énergie solaire PV modélisation directionnelle de l'éclairement.
- [10] FERRAH BILLEL .Etude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien) . Mémoire Master. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA .
- [11] M. Salmi, «Contribution à La Quantification De L'irradiation Solaire Globale En Algérie Et Applications Aux Générateurs Photovoltaïques», Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas de Sétif (2012).
- [12] N. Achaibou, A. Malek , N. Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), pp 61-66, 2000.
- [13] I. Tsuda, K. Kurokawa , K. Nozaki, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35, pp 503 – 508, 1994.
- [14] J. Royer, T. Djiako, E. Schiller, B. Sada Syn, Le pompage photovoltaïque, IEPF /Université d'Ottawa /EIER/CREPA, 1998.
- [15] M. SLAMA Fateh. Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique. Mémoire de Magister. UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF.
- [16] H. Essakhi MODELISATION E SIMULATION D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE. Université Ibn Zohr.
- [17] M.B. DANONE, A. Djafour, and Rehouma Youssef , and A. Degla "Effective Modeling of Photovoltaic Modules using sailfish optimizer"
- [18] DEHANE Fouzia, YOUNBAI Salma, "EFFET DU SALUTE ET DE SA CONCENTRATION SUR LA PRODUCTION d'HYDROGENE PAR UN SYSTEME

- PHOTOVOLTAIQUE ”mémoire fin d’étude université kasdi merbah de ouargla .2006-2007
- [19] www.ifpennergiesnouvelles.fr visit le 2024.04.28
- [20] Chaoubi Houssamn, Bougueffa Eutamene ,Mohamed Lamine«Choix de site optimal pour la production d’hydrogène solaire par approche SIG basée sur l’analyse multicritères : Application région de Ouargla »,Mémoire de Master , Université Kasdi Merbah Ouargla 2016/2017.
- [21] INEZARENE Smail,« Modélisation d’Une Cellule de Piles à Combustibleà Oxyde Solide (Simulation Numérique du Transfert Thermique)» Mémoire de magistère. Université de L’hadj lakhder, Batna.
- [22] E.FRAPPÉ (2012) : Architecture de convertisseur statique tolérante aux pannes pour générateur pile à combustible modulaire de puissance-traction 30kW, thèse de doctorat, Université Paris-Sud.
- [23] Y.ABDERRAHIM et R.BELBACHIR (2014) : Contribution à l’étude des phénomènes ayant lieu dans le catalyseur d’une pile à combustible de type PEMFC, thèse de master, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.
- [24] N.MEDDOUR (2010) : simulation numérique du transfert thermique incluant le mode de rayonnement dans une pile à combustible à oxyde solide, thèse de magistère, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [25] F.BREQUE(2008) : modélisation du transport de masse dans une pile à combustible de type pem et étude de l’humidification interne de la pile, thèse de doctorat, Université du Québec A Trois-Rivières.
- [26] VISEUR, Mathieu,Etude de faisabilité de l’utilisation de l’hydrogène comme vecteur alternatif d’énergie,Mémoire de Fin d’Etudes,Université Libre de Bruxelles
- [27] BOILLOT (M.). – Validation expérimentale d’outils de modélisation d’une pile à combustible de type PEM. Thèse de doctorat de l’Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, France (2005).
- [28] <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/33664> visite le 2024.05.26
- [29] <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/25276> visite le 2024.06.01
- [30] https://www.ac-clermont.fr/disciplines/fileadmin/user_upload/Technologie/3-Pedagogie-P/STI2D-P/Sequences_pedagogiques/ETT/CI9_1/AP4/Fiche_ressources___Les_batteries.pdf
- [31] MATAALLAH Sorya, «Dimensionnement et simulation d’un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d’Ouargla», Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah de Ouargla (07/06/2015).
- [32] www.homerenergy.com visite le 2024.06.05

- [33] A. Z. Kouache, A. Djafour, K. M. S. Benzaoui, S. Touili, and M. Ramdani, "Optimal design of solar energy-based hydrogen refueling station: a case study of Tougourt, Algeria," *Journal of Physical & Chemical Research*, vol. 2, no. 2, pp. 9-17, 12/01 2023. <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2023-0338>.

الملخص :

عرف الإنسان الطاقة وقسمها إلى متجددة وزائلة، نظيفة و ملوثة، استعمل الطاقات الزائلة كالغاز والبتترول و الفحم ولاحظ أن لها اضرار و نتائج تعود عليه وعلى الطبيعة فإتجه نحو الطاقات المتجددة التي من شأنها انقاص التلوث و التقصد في إستخراج الغاز و النفط لتوليد الطاقة فأصبح يقاس مدى تحضر بعد الدول من خلال التقدم في تهيئة محطات لإنتاج الطاقة النظيفة منها الشمسية حيث يبلغ متوسطها 1360 واط /متر مربع إلى جانب طاقات أخرى كما صمم نظام من عدة منابع مسيرة بحيث تضمن الاستمرارية.

كما حدد لنا برنامج هومر برو الحل الأمثل لتغذية حمولة ذات 79.5 kwh/j و ذروة استهلاك تقدر 12.11 kw مراعاة الإشعاع الشمسي لمنطقة ورقلة والمقدر ب 106.510 واط /متر مربع ورأينا نسب مشاركات الألواح الشمسية ب 84.9% و خلية الوقود ب 15.1%.

الكلمات المفتاحية: ذروة استهلاك; نظام هجين; الألواح الشمسية; خلية الوقود; حمولة; هومر برو

Résumé

L'homme connaissait l'énergie et la divisait en énergies renouvelables et éphémères, propres et polluées. Il a utilisé des énergies éphémères comme le gaz, le pétrole et le charbon et a remarqué qu'elles avaient des effets et des conséquences néfastes pour lui-même et pour la nature. Il s'est donc tourné vers les énergies renouvelables qui permettraient de réduire la pollution. Et extraire intentionnellement du gaz et du pétrole pour produire de l'énergie, de sorte qu'un certain nombre de pays se préparent en progressant dans la préparation de stations pour produire de l'énergie propre, y compris l'énergie solaire, qui produit en moyenne 1 360 w/ m², en plus d'autres énergies. de plusieurs sources en marche a également été conçu pour assurer la continuité.

Le programme Homer Pro a également déterminé pour nous la solution optimale pour alimenter une charge de 79,5 kWh / j et une consommation maximale de 12,11 kW, en tenant compte du rayonnement solaire de la région de Ouargla, estimé à 106,510w/ m², et nous avons vu les taux de participation des panneaux solaires à 84,9% et la pile à combustible à 15,1%

Mots clés: le Peak ; système hybride; panneaux solaires; pile à combustible; la charge; HOMER Pro

Abstract

Man knew energy and divided it into renewable and fleeting, clean and polluted. He used fleeting energies such as gas, oil and coal and noticed that they had harmful effects and consequences for himself and nature. So he turned towards renewable energies that would reduce pollution and intentionally extract gas and oil to generate energy, so the extent of A number of countries are preparing through progress in preparing stations to produce clean

energy, including solar energy, which averages $1,360 \text{ w/ m}^2$, in addition to other energies. A system of several marching sources has also been designed to ensure the continuity.

Homer Pro Program also determined for us the optimal solution for feeding a load with 79.5 kwh / j and a peak consumption of 12.11 kw , taking into account the solar radiation of Ouargla area, estimated at 106.510 w/ m^2 , and we saw the participation rates of solar panels at 84.9% and the fuel cell at 15.1% .

Keywords: the peak; hybrid system; solar panels; fuel cell; the load; HOMER Pro.