



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Badji Mokhtar Annaba

FACULTE : Sciences de l'ingéniorat

DEPARTEMENT : Electrotechnique

MEMOIRE DE LICENCE

DOMAINE : Science et technologie

Energie Photovoltaïque ET Pile à Combustible

FILIAIRE : Electro technique

OPTION : Electro technique

Presenter par :

BRAHIMI IMENE

MIMI FERIEL

Dirge par : M. LABAR HOCINE

Année : 2020 - 2021

REMER SIMON :

*Au nom d'ALLAH le tout miséricordieux, le très miséricordieux.
Louange à Lui pour m'avoir permis par Sa grâce de vivre ce jour,
Et de finaliserons cursus pas ce mémoire.*

*Je Lui suis reconnaissante et Le prie de m'accorder ces biens.
Je remercie également mes parents et mon mari aussi pour la
confiance qu'ils ont supplanté en moi, pour les bonnes valeurs qu'ils
ont pu m'inculquer, soyez-en fiers.*

*Je ne saurais vous récompenser pour tout ce que vous avez fait
pour moi depuis toujours, seulement considérez ce mémoire comme
gage de ma gratitude et mon humilité face à votre présence, vos
encouragements, vos bénédictions et tous vos sacrifices.*

Qu'Allah vous reattribue de la meilleure manière.

*Je remercie du fond du cœur mon encadreur monsieur le
Professeur LABAR Hocine , pour son assistance, son
encouragement et surtout sa patience durant la réalisation de ce
travail.*

Merci à tous

IMENE

Dédicace

*Merci Allah de m'avoir donné la
capacité d'écrire et de réfléchir,
la Force et la patience d'aller jusqu'à
aboutir du rêve,*

je dédie ce travail à mamère et mon père Que dieu les
garde et les protège Et à toute ma famille mes amis
dans l'étude

A mon encadreur HOUCINE LABAR .

*A toute famille brahimí , mes chers amis et
collègues pour leur sympathie, leur humeur et leur
solidarité envers moi.*

*Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma
vie scolaire.*

IMENE

Remerciement

Nous remercions tout d'abord, à ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce modeste travail.

Nous tiens, avant tout, à exprimer notre profonde gratitude à notre .

Encadreur Dr. LABAR HOCINE , pour la confiance qu'il prodigué pour la direction et tout l'aide qu'il apporté durant toute la durée de ce travail de recherche.

Tous des maîtres de l'université D'ANNABA et spécial les maîtres de département d'électrotechnique.

Nous adresse aussi nos remerciement à mon père FOUDIL et ma mère , Surtout ceux qui nous apportés un soutien moral, patience, une amitié inoubliable et précieuse et son dévouement qui fut particulièrement indispensable.

Enfin, nous tiens à remercier tous ma famille pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

Merci à tous

FERIEL

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À mes chers parents source d'amour et soutien.

A mon encadreur HOUCINE LABAR .

*A ma chère sœur Source de tendresse, de noblesse
et d'affectation, mon chéri frère et mon petit-fils
M.Safoine.*

*A tous famille MIMI, mes chers amis et
collègues pour leur sympathie, leur humeur et leur
solidarité envers moi.*

*A chacun de penser et cherche à améliorer la
science partout.*

*Et a tous ce qui ont enseigne moi au long de ma
vie scolaire.*

Férie

Sommaire

Titre

Introduction générale 17

Chapitre I : énergie renouvelable

Introduction..... 19

I.2 définition et Types d'énergies renouvelables 19

I.2.1 définition d'énergie renouvelable 19

I.2.2 Types d'énergies renouvelables 20

a) Energie Solaire 20

❖ L'énergie solaire photovoltaïque 20

❖ Le soleil thermique « Basse Température » 21

❖ Le soleil thermique « Haut Température » 22

b) Energie Eolienne 23

c) Energie Hydraulique –Hydroélectricité 23

❖ La grande hydraulique 24

❖ La petite hydraulique 24

❖ Les énergies marines 25

d) La Biomasse 25

❖ Bois énergie 26

❖ Le Biogaz 26

❖ Le Biocarburants 26

e) La Géothermie 26

f) Architecture Bioclimatique 26

I.3 production de l'énergie électrique et les différentes centrales électriques 27

I.3.1 production de l'énergie électrique 27

I.3.2 les différentes centrales électriques	27
a) Les centrales thermiques	28
b) Les centrales nucléaires.....	28
c) Les centrales hydroélectriques	28
❖ Les types des centrales hydrauliques	28
d) Les centrales éoliennes	28
e) Les centrales solaires ou photovoltaïques	29
I.4 Les avantages et Inconvénients de ces centrales	29
I.4.1 Centrale thermique	29
a) Avantage	29
b) Inconvénients	29
I.4.2 Centrale nucléaire	30
a) Avantage	30
b) Inconvénients	30
I.4.3 Centrale hydroélectrique	30
a) Avantage	30
b) Inconvénients	30
I.4.4 Centrale éolienne	31
a) Avantage	31
b) Inconvénients	33
I.4.5 Centrale solaire ou photovoltaïque	33
a) Avantage	33
b) Inconvénients	34
I.5 Conclusions	34

Chapitre II : Energie Photovoltaïque

II.1 Introduction	35
II.2 Système photovoltaïque e (Energie photovoltaïque)	35
II.2.1 Définition.....	36
a) Système autonome	36
b) Système connectée au réseau Sommaire.....	37
II.2.2 Principe de fonctionnement	37
II.2.3 La chaine de fabrication	37
II.3 Cellule photovoltaïque	38
II.3.1 Fabrication d'une cellule photovoltaïque	39
II.3.2 Technologie	39
a) 1ère génération : Silicium cristallin (mono et poly)	40
b) 2ème génération : Cdt, CIS/ CIGS, silicium amorphe et microcristallin	40
c) Technologies photo-électro-chimiques (DyeSensitisedCell et Organique PV)	41
II.3.3 Modélisation	41
a) Cellule photovoltaïque idéal	41
b) Cellule photovoltaïque réel	41
II.3.4 Evolution des rendements des différents types de cellule	42
II.4 Module photovoltaïque	42
II.4.1 Les caractéristiques d'un module PV	43
a) La tension en circuit ouvert	43
b) Le courant de court-circuit	43
c) La puissance maximale	43
d) Le rendement	43
II.5 Générateur photovoltaïque	44

II.6 Panneau photovoltaïque	44
a) Association des cellules photovoltaïques en parallèle	44
b) Association des cellules photovoltaïques en série	46
c) Fabrication d'un panneau photovoltaïque	46
II.7 L'onduleur	47
II.7.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur	47
a) Onduleur monophasée	47
b) Onduleur Triphasée	47
II.8 Conclusion.....	47
 Chapitre III : Pile à combustible et système hybride	
III.1 Introduction	47
III.2 Technologie d'hydrogène	48
III.3 Définition	48
III.3.1 Définition d'une pile à combustible	50
III.3.2 Définition d'un système hybride	50
a) Etude des systèmes hybride	50
❖ Critère d'optimisation	51
La probabilité de perte de la charge	52
Le cout d'énergie produite.....	52
❖ Logiciel de dimensionnement	52
III.4 Classification	53
III.4.1 Structure d'une PAC	53
III.4.2 Fonctionnement d'une PAC	54
III.4.3 Structure d'un système hybride	54
a) Etude des structures du système hybride	55

❖ Système hybride Photovoltaïque / Stockage	55
❖ Système hybride éolien / Stockage	55
❖ Système hybride Photovoltaïque /éolien / Stockage	55
III.4.4 Fonctionnement d'un système hybride	56
III.5 Les différents types de la pile à combustible	56
III.6 Les caractéristiques d'une pile à combustible	56
III.7 Les systèmes de stockage	56
III.7.1 Les batteries	56
III.7.2 Les pile à combustibles	56
III.8 Modélisation.....	57
III.9 Couplage photovoltaïque – Eolien avec pile à combustible	57
III. 10 Conclusion	58

Liste de figure

Figure	Titre	Page
Chapitre I		
Fig. 1.1	Photovoltaïque_ Schupo-International	18
Fig. 1.2	Solaire_ thermique_ Visham.....	19
Fig. 1.3	Solaire_ thermique_ Abengoa_2.....	19
Fig. 1.4	Energie_ eolienne_ Elfe.....	20
Fig. 1.5	Grande hydraulique- -CNR.....	21
Fig. 1.6	Energie_ hydraulique GEG.....	22
Fig. 1.7	Hydrolienne2.....	23
Fig. 1.8	Bois-énergies-Franche-Comté.....	24
Fig 1.9	Methaniseur.....	24
Fig 1.10	Biocarburants.....	25
Fig 1.11	Geothermie2_ France_ geothermie.....	25
Fig 1.12	Architecture_ bioclimatique.....	26
Fig. 1.13	Les centrales thermiques à flamme	26
Fig. 1.14	Photo d'une centrale nucléaire.....	27
Fig. 1.15	Centrale hydraulique.....	27
Fig. 1.16	Photo d'un type des centrales hydraulique.....	27
Fig. 1.17	Photo d'une centrale éolienne.....	28
Chapitre II		
Fig. 2.1	Système photovoltaïque	33
Fig. 2.2	Système photovoltaïque autonome avec stockage.....	34
Fig. 2.3	Système photovoltaïque connectée au réseau électrique	34
Fig. 2.4	Coupe d'une cellule PV	35

Fig. 2.5 Fabrication d'un system PV.....	35
Fig. 2.6 Cellule PV au silicium.....	36
Fig. 2.7 Fabrication d'une cellule PV.....	36
Fig. 2.8 Cellule mono et poly cristalline.....	37
Fig. 2.9 Coupes des cellules de deuxièmes générations.....	38
Fig. 2.10 Cellule PV. Organique en polymère	38
Fig. 2.11 Modèle de cellule PV idéal.....	39
Fig. 2.12 Modèle de cellule PV réel	40
Fig. 2.13 Diagramme montrant les différentes technologies et l'évolution des rendements des cellules au niveau de laboratoire.....	42
Fig. 2.14 Caractéristique courant-tension et puissance-tension.....	42
Fig. 2.15 Les étapes de fabrication d'un panneau PV	43

Chapitre III :

Fig. 3.1 Composantes fondamentales d'une PAC.....	49
Fig. 3.2 Classification des systèmes hybrides.....	51
Fig. 3.3 Coupe d'une PAC (1-2).....	51
Fig. 3.4 Schéma de principe de la PAC à hydrogène.....	53
Fig. 3.5 Diagramme de système PAC sous l'environnement de matlab	53
Fig. 3.6 Résultats de la simulation.....	53
Fig. 3.7 Schéma de principe couplage de PV avec pile à combustible	58

Liste des tableaux

Chapitre II

Tab (02.1) avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques 39

Tab (02.2) Caractéristiques électriques du module BP MSX62 de BP solaire..... 42

Chapitre III

Tab (03.1) types des piles à combustibles..... 55

Introduction Générale :

INTRODUCTION Général:

La révolution de la technologie dans l'électrotechnique a mené la production des énergies à être plus vaste. L'une des énergies utilisées dans la nouvelle technologie est l'énergie Photovoltaïque cette énergie a été découverte par l'effet Photovoltaïque en 1839 qui a été mise en évidence par Antoine Becquet. L'énergie Photovoltaïque fait partie des meilleures technologies qui convertissent le rayonnement lumineux en électricité, cette énergie est utilisée dans de nombreux domaines.

Dans nos jours l'énergie Photovoltaïque est utilisée spécifiquement pour l'alimentation des satellites dans le cadre domestique ou des industries. L'énergie Photovoltaïque est considérée comme une énergie renouvelable, pour son utilisation à partir de la source du soleil, qu'est donnée par les rayons lumineux afin de produire de l'électricité. En effet il existe plusieurs types d'énergie renouvelable utilisés par l'énergie Photovoltaïque notamment: énergie solaire, énergie éolienne, énergie hydraulique, la biomasse, la géothermie, architecture bioclimatique. Ce dont nous parlerons dans le premier chapitre suivit des détails les précis.

Nous avons mené une étude sur étude sur les piles à combustible, où nous avons pu identifier le point commun entre elles et l'énergie Photovoltaïque, qui est la conversion d'une certaine énergie en énergie électrique. Les piles à combustible sont un moyen non polluant de produire de l'électricité, la pile à combustible en peut l'appliquer pour l'alimentation en énergie d'appareils portables, propulsion électrique des moyens de transport ainsi que la production stationnaire de chaleur et d'électricité.

L'utilisation d'hydrogène combustible a pour objet de faciliter le stockage.

La mémoire est divisée en trois chapitres :

- * Le premier chapitre définit l'énergie renouvelable : Représente la notion de base de l'énergie renouvelable et leur types

- * Le deuxième chapitre s'intéresse à la construction des cellules Photovoltaïque et l'effet Photovoltaïque et principe de fonctionnement ; les avantages et inconvénients.

- * Le chapitre trois basé sur la production d'énergie électrique à travers la conversion de l'énergie chimique par l'utilisation d'une pile à combustible, on distingue leur type et leur caractéristique, principe de fonctionnement ainsi nous allons parler de leur utilisation dans les systèmes hybride.

CHAPITRE :
Énergie renouvelable



1- 1 INTRODUCTION:

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine. L'expression énergie renouvelable est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique.

Le Soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables : son rayonnement est le vecteur de transport de l'énergie utilisable (directement ou indirectement) lors de la photosynthèse, ou lors du cycle de l'eau (qui permet l'hydroélectricité) et l'énergie des vagues (énergies oculomotrice), la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans (énergies thermique des mers) ou encore la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau de mer (énergie osmotique). Cette énergie solaire alliée à la rotation de la Terre est à l'origine des vents (énergie éolienne) et des courants marins (énergie hydrolienne). La chaleur interne de la Terre (géothermie) est assimilée à une forme d'énergie renouvelable, et le système Terre-Lune engendre les marées des océans et des mers permettant la mise en valeur de l'énergie marémotrice.

L'énergie solaire comme la chaleur interne de la Terre proviennent de réactions nucléaires (fusion nucléaire dans le cas du Soleil, fission nucléaire dans celui de la chaleur interne de la Terre). Seule l'énergie marémotrice ne découle pas de l'activité nucléaire mais de la gravitation (couple Terre-Lune). L'énergie gravitationnelle n'est pas une forme d'énergie en soi, mais simplement un vecteur d'une forme d'énergie présente ailleurs. Le rayonnement solaire induit un cycle de l'eau dont nous tirons parti via les chutes et cours d'eau.

Les combustibles fossiles ou minéraux (matériaux fissiles) ne sont pas des sources d'énergie renouvelables, les ressources étant consommées à une vitesse bien supérieure à la vitesse à laquelle celles-ci sont naturellement créées ou disponibles.

1-2 Définition et Types d'énergies renouvelable:

1-2-1 Définition d'énergies renouvelable :

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la terre, croissance des végétaux... on qualifie les énergies renouvelables d'énergies <<flux>> par opposition aux énergies <<stock>>, Elles-mêmes conspuées de gisement limités de combustibles fossiles (Pétrole, Charbon, Gaz, Uranium).

Contrairement à celle des énergies fossiles. L'exploitation des énergies renouvelables n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. Mais elles sont encore sous-exploitées par rapport à leur potentiel puisque censées ériger les énergies renouvelables ne couvrent que 20% de la consommation mondiale d'électricité. Utiliser les énergies renouvelables

présentes de nombreux avantages. Cela aide à lutter contre l'effet de serre, En réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. Cela participe de plus à une gestion intelligente des ressources locales et à la création d'emplois.

1-2-2 Type d'énergies renouvelable :

a) Energies solaire :

*** L'énergie solaire photovoltaïque :**



Fig1.1 photovoltaïque schupo-International

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure « C'est l'effet photovoltaïque ». L'énergie est apportée par les photons (composants de la lumière), qui heurtent les électrons et les libèrent induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (WC) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur. L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée) ou en électricité injectée dans le réseau. Un générateur solaire PV est composé de modules photovoltaïques eux même composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles. Les performances d'une installation PV dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles vous vous trouvez. L'avenir du PV dans les pays industrialisés passe par son intégration sur les toits et les façades des maisons solaires [2].

***Le soiel thermique << Basse Température >> :**



Fig1.2 solaire thermique Visham

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus. Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct".

Tous les dispositifs qui agissent comme capteurs solaires thermiques sont de plus en plus intégrés dans les projets d'architecture bioclimatique (maisons solaires, serres, murs capteurs, murs Trombe...).

Les capteurs solaires thermiques et les chauffe-eau solaires connaissent une croissance spectaculaire en France. Crédit d'impôt et aides des collectivités locales sont particulièrement incitatives

Le but de l'énergie solaire thermique a basse température est de placé des panneaux photovoltaïque pour qu'il piège les rayons du soleil et ensuite par des capteurs thermique vitrés transmettent leur énergie a des absorbeurs métalliques, les quelles ensuite va réchauffera son tour un réseau de tuyaux de cuivre ou bien un circuit fluide caloporteur. Grâce a cet échange, chauffe l'eau stockée dans le cumulus. Un chauffe-eau solaire produisant de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage général diffusé par un "plancher solaire directe".

*** sole thermique Le <<Haute Température >> :**



Fig1.3 solair_thermique_Abengoa_2

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'hélio thermique.

Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

- Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.
- Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.
- Troisième technologie : des capteurs cylindra-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.

Après plusieurs années de sommeil la filière solaire haute température repart de plus belle notamment dans les pays de la « subiet ».

Découvrez les installations solaires thermodynamiques : fours solaires à concentration, cheminées solaires et les grandes centrales thermodynamiques en service et en projet.

L'énergie solaire thermique a haute température consiste a concentrer les rayonnements du

Soleil sur une surface de capteur qui permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprise entre 400°C et 1000°C.

Cette chaleur solaire produit de la vapeur qui va alimenté elle même un générateur qui va produire de l'électricité.

C'est l'hélio thermodynamique. Il y a 3 technologie distinctes sont utilisé dans les centrale solaire a concentration:

- ✚ Dans la concentration parabolique
- ✚ Dans les centrales a tour
- ✚ Et la 3eme c'est des capteurs cylindrai parabolique

b) Energie Eolienne :



Fig1.4 Energie éolienne Elfe

L'énergie éolienne est une source d'énergie intermittente qui n'est pas produite à la demande, mais selon les conditions météorologiques ; elle nécessite donc des installations de production ou de stockage en remplacement pendant ses périodes d'indisponibilité. Celles-ci peuvent être prévues avec une assez bonne précision. La part de l'éolien dans la production mondiale d'électricité atteignait 4,8 % en 2018 et est estimée à 5,3 % en 2019. Les principaux pays producteurs sont la Chine (28,4 % du total mondial en 2019), les États-Unis (21,2 %) et l'Allemagne (8,8 %).

L'énergie éolienne tire son nom d'Éole (en grec ancien Αἴολος, Aἴolis), le dieu des vents dans la mythologie grecque.

c) Energie Hydraulique - Hydroélectricité :

*** La grande hydraulique :**



Fig1.5 Grand hydraulique-CNR

Dans le cas de la grande hydraulique, ceux-ci sont liés soit à l'énorme énergie potentielle accumulée derrière les barrages de haute chute, soit aux risques de déversement de l'eau contenue dans les canaux qui amènent l'eau aux usines au fil de l'eau et qui surplombent la plaine.

À l'image des moulins à eau de jadis, l'hydroélectricité ou production d'électricité par captage de l'eau est apparue au milieu du XIXe siècle. L'eau fait tourner une turbine qui entraîne un générateur électrique qui injecte les Kilowattheures sur le réseau.

L'énergie hydraulique représente 19% de la production totale d'électricité dans le monde et 13% en France. C'est la source d'énergie renouvelable la plus utilisée. Cependant, tout le potentiel hydroélectrique mondial n'est pas encore exploité.

Pour en savoir plus ou télécharger la fiche pédagogique de "l'énergie hydraulique",

L'hydroélectricité ou énergie hydroélectrique exploite l'énergie potentielle des flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins, etc.). L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur.

*** La Petite hydraulique :**



Fig1.6 Energie hydraulique-GEG

Si toutes les installations de petite puissance sont regroupées sous le terme de petite centrale hydraulique (PCH), on distingue la pico-centrale : inférieure à 20 kW, la microcentrale : de 20 kW à 500 kW, la mini-centrale : de 500 kW à 2 MW, et la petite centrale : de 2 à 10 MW.

Construite au fil de l'eau, la petite hydroélectricité ne demande ni retenue ni vidanges ponctuelles susceptibles de perturber l'hydrologie, la biologie ou la qualité de l'eau.

Les microcentrales hydroélectriques fonctionnent comme les grandes centrales des barrages qui exploitent l'énergie des fleuves.

Le potentiel français de création de PCH est estimé à au moins 1 000 MW.

Énergie décentralisée, la petite hydroélectricité maintient ou crée une activité économique dans les zones rurales.

Pour en savoir plus ou télécharger la fiche pédagogique de "la petite hydraulique".

Construite au fil de l'eau, la petite hydroélectricité ne demande ni retenue ni vidanges ponctuelles susceptibles de perturber l'hydrologie, la biologie ou la qualité de l'eau. Les microcentrales hydroélectriques fonctionnent comme les grandes centrales des barrages qui exploitent l'énergie des fleuves.

*** Energies Marines :**



Fig1.7 Hydrolienne

L'énergie des courants marins est captée pour produire de l'électricité grâce à des hydroliennes, comme les éoliennes le font avec la force des vents. Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne : 1 La force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices.

Si l'on exclut généralement l'éolien offshore, on distingue parmi les énergies dites marines :

- L'énergie des marées : à la manière des barrages hydroélectriques classiques, les Centrales dites « marémotrices », construites sur les estuaires des fleuves, sont capables de retenir deux fois par jour d'immenses quantités d'eau. Une fois relâchées, elles génèrent de l'électricité. (Voir le décryptage « L'énergie marémotrice »).
- L'énergie des vagues : la force des vagues peut actionner des systèmes mécaniques capables de produire de l'électricité. D'abord situées sur les côtes, des installations expérimentales de plus en plus grandes se déplacent maintenant vers la pleine mer (Voir le décryptage « Les vagues, un mouvement perpétuel »).
- L'énergie des courants marins : elle est, sous la surface des eaux, comparable à celle du vent au-dessus. Pour la capter, on a recours à des hydroliennes, sortes de grandes hélices arrimées au fond marin (Voir le décryptage « L'énergie des courants marins »).
- L'énergie marine thermique : la mer est une énorme réserve de chaleur. La différence de température entre eaux de surface et eaux profondes dans les régions intertropicales peut être utilisée pour produire de la vapeur et, à partir de celle-ci, de l'électricité (Voir le décryptage « La mer, une réserve de chaleur rarement exploitée »).
- L'énergie osmotique : cette technique, la plus surprenante, exploite, à travers une membrane, le mouvement de l'eau entre une réserve salée et une réserve douce (Voir le décryptage « L'eau salée, moteur de l'énergie osmotique »).

Ces énergies présentent des avantages incontestables : abondantes, constantes, prévisibles, elles peuvent être exploitées en de nombreuses régions différentes du globe. Certains pays ont entamé des expérimentations et quelques réalisations fournissent déjà de l'électricité de façon industrielle¹.

d) La Biomasse :

*** La bois énergie :**



Fig1.8 Bois-énergies-franche-comte

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasses

*** biogaz**



Fig1.9 Méthaniser

Ce sont les matières organiques qui libèrent le biogaz lors de leur décomposition selon un processus de fermentation (méthanisation). On l'appelle aussi « gaz naturel renouvelable » ou encore “gaz de marais”, par opposition au gaz d'origine fossile.

Mélange de méthane et de gaz carbonique additionné de quelques autres composants, le biogaz est un gaz combustible. Il sert à la production de chaleur, d'électricité ou de biocarburant.

Le biogaz peut être directement capté dans les centres d'enfouissement des déchets ou produit dans des unités de méthanisation.

Sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, boues des stations d'épurations, lisiers, animaux ou déchets agricoles peuvent être méthanisés dans des unités industrielles.

*** Le Biocarburants :**



Fig1.10 Biocarburants

Un biocarburant ou agro carburant est un carburant (combustible liquide ou gazeux) produit à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse (c'est le sens du préfixe « bio » dans biocarburant¹) et qui vient en complément ou en substitution du combustible fossile.

Actuellement, deux filières principales existent :

Filière huile et dérivés, comme l'huile végétale carburant, le bio gazole (ou biodiesel) ; mais aussi de graisses animales ou des acides gras divers (algues, etc.)

Filière alcool comme le bioéthanol, à partir de sucres, d'amidon, de cellulose ou de lignine hydrolysée

e) La Géothermie :



Fig1.11 Géothermie

La géothermie, du grec géo (« la Terre ») et thermos (« la chaleur »), désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à les exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

Pour capter l'énergie géothermique, on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe d'eau chaude captive naturelle, ou de l'eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude et imperméable. Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte chargé de calories (énergie thermique). Ces calories sont utilisées directement ou converties partiellement en électricité.

L'énergie géothermique est localement exploitée pour chauffer ou disposer d'eau chaude depuis des millénaires, par exemple en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen.

f) Architecture Bioclimatique :

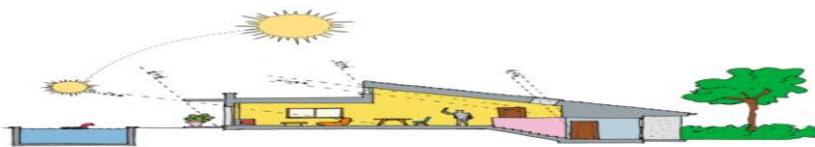


Fig1.12 Architecture bioclimatique

Architecture passive, maison solaire, bâtiment à énergie positive, haute qualité environnementale, haute performance énergétique ... sont autant de noms pour parler de l'architecture bioclimatique. Ce mode de conception architectural consiste à trouver le meilleur équilibre entre le bâtiment, le climat environnant et le confort de l'habitant.

L'architecture bioclimatique tire le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air pour réduire les besoins énergétiques, maintenir des températures agréables, contrôler l'humidité et favoriser l'éclairage naturel [2].

I.3 production de l'énergie électrique et les différentes centrales électriques :

I.3.1 production de l'énergie électrique :

Une centrale de production d'énergie électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment différentes sources d'énergie naturelle en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs [3]

I.3.2 les différentes centrales électriques :

a) Les centrales thermiques :



Fig1.13 Le central thermique à flamme

Une centrale électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques alimentent en électricité, au moyen du réseau électrique, les consommateurs, particuliers ou industriels éloignés de la centrale

b) centrales nucléaires :



Fig1.14 photo d'un central nucléaire

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité et dont la chaudière est constituée d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires ayant pour source d'énergie un combustible nucléaire

c) Les centrales hydroélectriques :



Fig1.15 central hydraulique

Une centrale hydroélectrique est une usine où l'on produit de l'électricité en utilisant l'eau comme force motrice pour faire tourner des turbines qui entraînent à leur tour des alternateurs. Elles centrales produisent environ le quart de l'électricité consommée dans le monde.

❖ Les types des centrales hydrauliques :



Fig1.16 Les types des centrales hydrauliques

Suivant la hauteur de chute, on distingue [3] :

- ✚ Les centrales de haute chute, ils utilisent des turbines de type Pelton.
- ✚ Les centrales de moyenne chute, ils utilisent des turbines de type Francis.
- ✚ Les centrales de basse chute, ils utilisent des turbines de type Kaplan [3].

d) Les centrales éoliennes



Fig1.17 photo d'une centrale éolienne

Les éoliennes produisant de l'électricité peuvent être installées à terre ou « offshore ». L'énergie électrique ou mécanique produite par une éolienne dépend de 3 paramètres : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et la température qui influe sur la densité de l'air

e) Les centrales solaires ou photovoltaïques :

Une centrale photovoltaïque est un moyen de production d'électricité industriel qui permet de produire de l'électricité grâce à la lumière du soleil

Une centrale solaire photovoltaïque est un dispositif technique de production d'électricité par des modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs pour être raccordée au réseau.

I.4 Les avantages et Inconvénients de ces centrales :

I.4.1 Centrale thermique :

a) Avantage :

- ⌚ Cette énergie est rentable à la production.
- ⌚ Elle a un prix modeste sur le marché mondial.
- ⌚ Souplesse d'utilisation et disponibilité élevée
- ⌚ Facilité d'exploitation
- ⌚ Facilité de transport (pétrole)
- ⌚ Possibilité de développer la cogénération
- ⌚ Compétitivité.

b) Inconvénients :

- ⌚ Prix fluctuants
- ⌚ Géostratégie des ressources
- ⌚ Impacts sur l'environnement (Gaz à effet de serre, marée noire, etc.)
- ⌚ Il faut un plan d'eau à proximité.
- ⌚ Les usines possédant un circuit de refroidissement à circuit ouvert, peuvent avoir des problèmes écologiques dus au réchauffement des rivières.

I.4.2 Centrale nucléaire :

a) Avantage :

- ⌚ Adapté à la production de masse.
- ⌚ Disponibilité élevée.
- ⌚ Stabilité des coûts.
- ⌚ Réserves d'uranium importantes.
- ⌚ Faibles émissions de CO2 en exploitation.
- ⌚ L'énergie nucléaire peut être utilisée dans le domaine spatial.
- ⌚ Elle ne nécessite pas d'oxygène, ce qui est un atout pour l'homme.

b) Inconvénients :

- ⌚ Lourds investissements.
- ⌚ Risque industriel.
- ⌚ Nécessite un niveau de technologie élevé.
- ⌚ Acceptation du public.
- ⌚ Chaque année les tranches nucléaires produisent des tonnes de déchets.
- ⌚ Le stockage des déchets qui augmente le niveau de pollution.
- ⌚ Le risque d'accident (26 avril 1986 à l'usine de Tchernobyl).

I.4.3 Centrale hydroélectrique :

a) Avantage :

- ⌚ Faible coût du KWh pour le gros hydraulique.
- ⌚ Souplesse d'utilisation.
- ⌚ Possibilité de « stocker » de l'électricité pour le turbinage.
- ⌚ L'hydraulique est une énergie renouvelable mise en valeur mais pourtant rarement. Comptabilisée, elle fournit 13 % de la production et contribue également à l'écrêtement des crues.

b) Inconvénients :

- ⌚ Contrainte géographique.
- ⌚ Aléas climatiques (sécheresse).
- ⌚ Nécessité de concilier les différents usages de l'eau.
- ⌚ Impacts sur l'environnement à la construction.
- ⌚ L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages.

I.4.4 Centrale éolienne :

a) Avantage :

- ⌚ L'énergie éolienne est propre et peut être associée à des panneaux de photovoltaïques et à une batterie d'accumulateur afin d'optimiser la fourniture d'électricité.

b) Inconvénients :

- ⌚ L'exploitation de l'énergie éolienne est non polluante par elle-même mais les aérogénérateurs engendrent une pollution acoustique due à la notation des pâles qui engendrent une dégradation du paysage.
- ⌚ Faible disponibilité (20 à 30%) Difficultés de raccordement au réseau .
- ⌚ Surface au sol.
- ⌚ Acceptation du public.

I.4.5 Centrale solaire ou photovoltaïque :

a) Avantage :

- ⌚ Faible pollution et respect de l'environnement.
- ⌚ Adapté aux pays chauds et aux sites isolés.
- ⌚ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- ⌚ Installations avec un coût d'installation et de maintenance réduit.

b) Inconvénients :

- ⌚ Coût encore élevé.
- ⌚ Puissance assez faible.
- ⌚ Disponibilité.

I.5 Conclusion :

Les énergies renouvelables représentent une grande partie de notre avenir énergétique. Elles permettent le développement futur et sont une solution de nos problèmes énergétiques et environnementaux. Il y a plusieurs énergies renouvelables qui existent mais sont peu utilisées par l'Homme car elles ont un coût élevé. Leur création est dû aux changements climatiques et à la pollution et aux gaz échappés des industries. Elles ont des avantages propres à elles : elles sont inépuisables, respectueuses de l'environnement (aucun déchets rejetés dans la nature) comparées aux énergies fossiles comme le charbon ou le pétrole. Elles aident aussi à lutter contre l'effet de serre et la pollution atmosphérique. Elles sont aussi source d'emplois. Un argument permet de parler plus des énergies renouvelables, c'est l'épuisement des énergies fossiles (charbon, pétrole,...).

CHAPITRE:
Énergie Photovoltaïque



II.1 Introduction :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en Série/Parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale [4].

II.2 Système photovoltaïque e (Energie photovoltaïque) :

II.2.1 Définition :

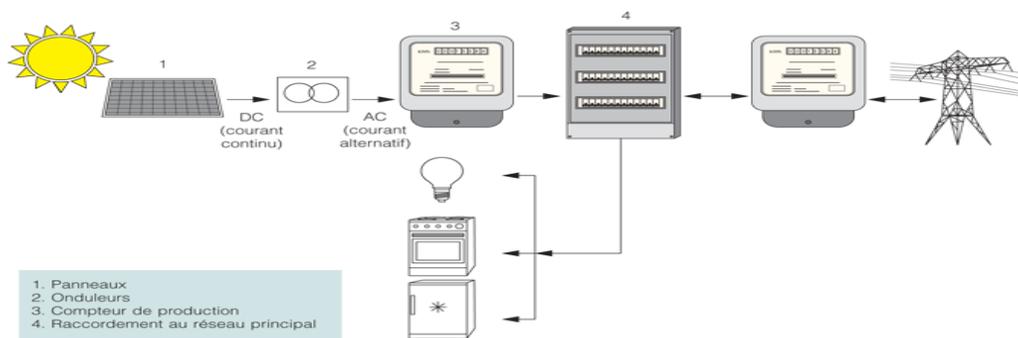


Fig. 2.1 Système photovoltaïque

Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble décomposant qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser les modules, les câblages, la batterie en cas de stockage et sont régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif [4].

Les systèmes PV sont composés selon les exigences en trois types :

- Autonome
- Hybride
- Raccordée au réseau

a) **Système autonome :**

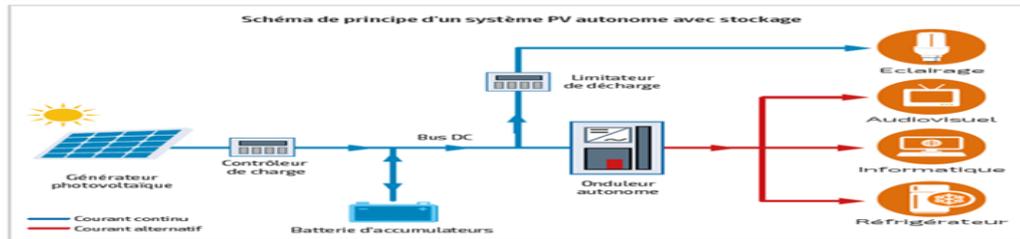


Fig. 2.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage

Le système PV autonome permet de fournir du courant électrique à des endroits où il n'y a pas de réseau. Donc l'énergie produite est utilisée immédiatement (pompage, l'éclairage...etc.) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés.

Dans une zone isolée du réseau électrique. Il existe deux types :

- ✚ systèmes avec stockage électrique
- ✚ systèmes sans stockage électrique

b) **Système connectée au réseau Sommaire :**

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau permettent la décentralisation de la production sur le réseau électrique. Ces installations sont raccordées au réseau électrique public dans lequel elles injectent l'électricité qu'elles produisent. L'électricité générée n'est donc pas stockée mais fournie au réseau local de distribution. Ces systèmes sont couplés directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur DC-AC (onduleur). La figure 2.3 présente un système PV connecté au réseau électrique. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui prend en charge l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. Il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Afin d'effectuer cette conversion, un onduleur de tension est mis en œuvre. Le rendement typique d'un onduleur est d'environ 95%, il en existe de différentes puissances et sont conçus spécifiquement pour les applications photovoltaïques [6].

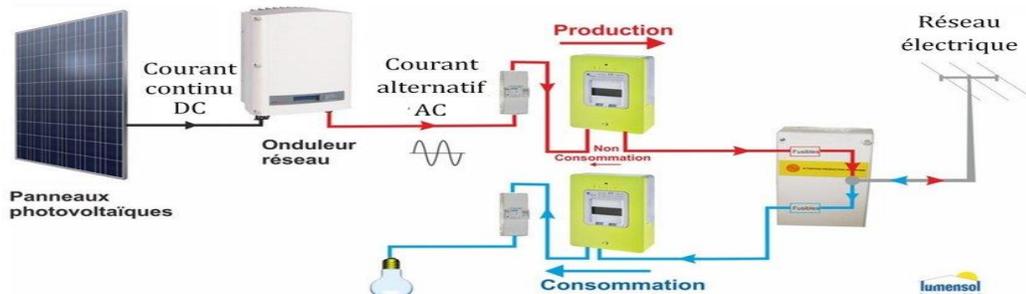


Fig. 2.3 Système photovoltaïque connectée au réseau électrique

II.2.2 Principe de fonctionnement :

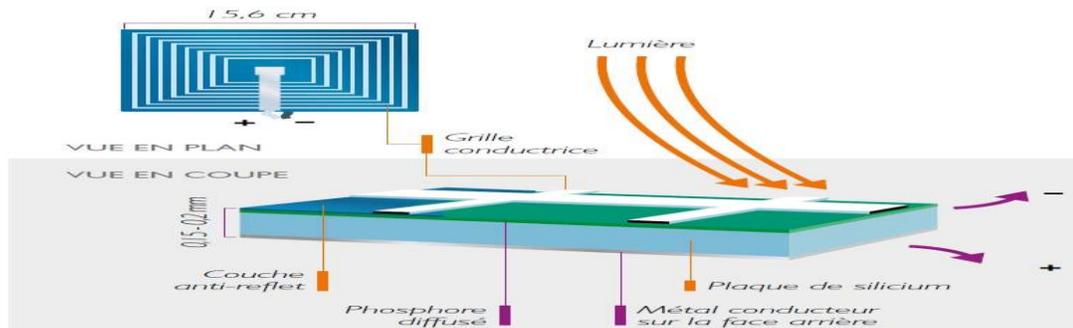


Fig. 2.4 Coupe d'une cellule PV

La cellule PV, aussi appelée cellule solaire, constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable, le soleil. Elle exploite les propriétés des matériaux semi-conducteurs utilisés dans l'industrie de l'électronique : diodes, transistors et circuits intégrés.

PV. L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie $h\nu$ à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure [5].

II.2.3 La chaîne de fabrication :



Fig. 2.5 Fabrication d'un system. PV

II.3 Cellule photovoltaïque :

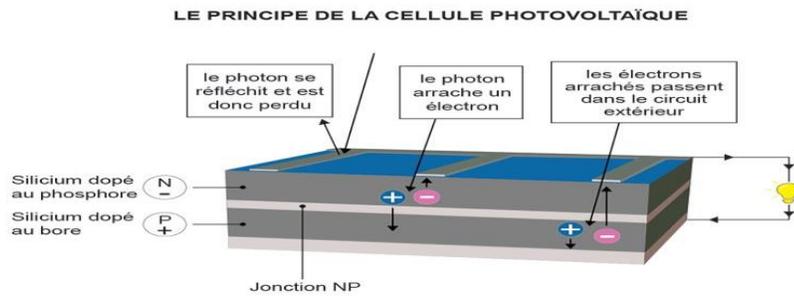


Fig. 2.6 Cellule PV au silicium

La technique consiste à fabriquer un matériau semi-conducteur à base de cuivre, d'indium, de gallium et de sélénium. Les attraits de cette technologie par rapport aux technologies basées essentiellement sur le silicium sont la possibilité de contrôler et d'optimiser les propriétés du matériau. Un désir de distanciation de l'utilisation d'éléments chimiques rares tels que l'indium et le gallium sont remplacés par les éléments zinc et étain, plus abondants. Cette technologie, nommée CZTS dû aux éléments présents dans sa structure, n'est cependant pas encore disponible sur le marché

II.3.1 Fabrication d'une cellule photovoltaïque :

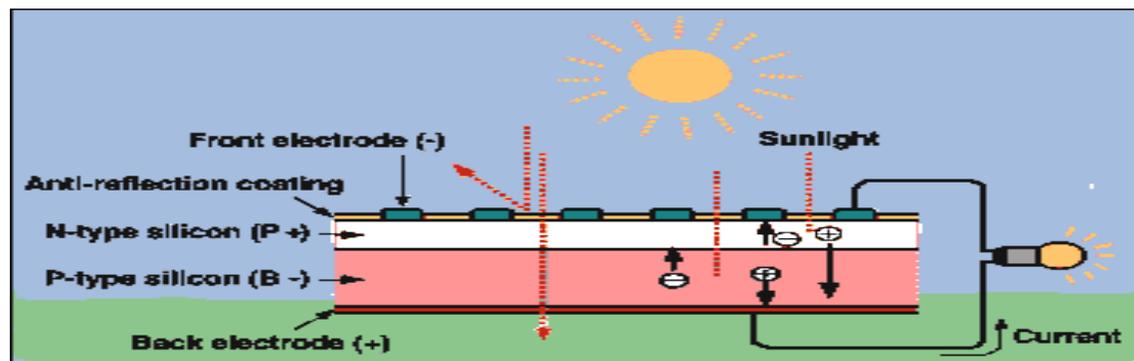


Fig 2.7 Fabrication d'une cellule PV

- ✚ cellule finie avec électrodes [5].
- ✚ traitement de surface par procédés physicochimiques.
- ✚ wafer obtenu par sciage du lingot.
- ✚ Solidification.
- ✚ Silicium en fusion donnant des lingots.
- ✚ raffinage (pour augmenter la pureté).
- ✚ mine raide Silicium.

II.3.2 Technologie :

a) 1ère génération : Silicium cristallin (mono et poly) :



Fig. 2.8 Cellule mono et poly cristalline

Cette génération de cellule repose sur les wafers (fine tranches) de silicium cristallin. Ces wafers sont sciés dans des lingots de silicium. Ces lingots sont le résultat d'un processus de purification de manière à obtenir un matériau contenant 99.99999% de Silicium. Les cellules cristallines se subdivisent en 2 catégories : mono- et poly- cristalline selon le type de structure. Ces deux types de cellules proviennent de procédé de purification et de solidification différents (processus Czochralski (Cz) et processus Siemens). Les procédés de purification Cz et Siemens ont des structures d'approvisionnement différentes et sont généralement réalisées par des industries différentes. Les cellules monocristallines se distinguent à leurs coins cassés et à leur aspect uniforme. Les cellules poly-cristallines ont quant à elles un aspect plus irisé provenant de l'orientation des différents réseaux cristallins par rapport au plan de coupe.

b) 2^{ème} génération : Cdt, CIS/ CIGS, silicium amorphe et microcristallin :

Cette génération de cellule repose sur la déposition de matériaux semi-conducteurs en couches minces (tin film). Ces matériaux sont déposés par des procédés tels que PE-CVD (Plasma Enface Cheula Vapeur Déposition) sur un substrat. L'épaisseur de la couche varie entre quelques nanomètres à des dizaines de micromètres. Ces technologies qui étaient initialement chères étaient réservées aux applications spatiales (en raison de leur poids par watt crête plus faible) et aux technologies de concentration. Avec l'augmentation des volumes de production, le prix de revient de ces technologies a baissé pour devenir compétitif avec les technologies cristallines de la première génération. Parmi les technologies en couches minces qui sont exploitées industriellement (production de masse), on distingue : Cdt : Cadmium Telluride (Telluride de cadmium) CIS / CIGS : Copper Indium Gallium Sélénié Silicium en couche mince : silicium amorphe α Si et microcristallin A noter que le tellure de cadmium est un alliage de métal lourd, très toxique, et peut –tout comme le plomb ou le mercure- se concentrer dans la chaîne alimentaire. L'UE en a interdit l'usage pour les appareils électriques... exception faite pour les cellules PV...

Ces technologies sont caractérisées par des efficacités de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique allant de 6% (si) à 5 à 11% (Cdt) (efficacité des cellules, les modules présentant une efficacité un peu moindre due aux espaces entre les cellules).

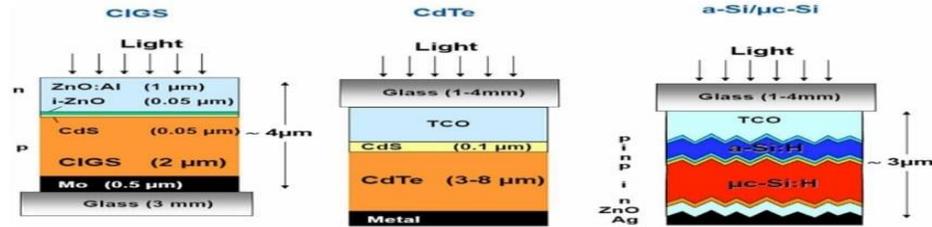


Fig 2.9 Coupes des cellules de deuxième générations

c) Technologies photo-électro-chimiques (DyeSensitisedCell et Organique PV) :

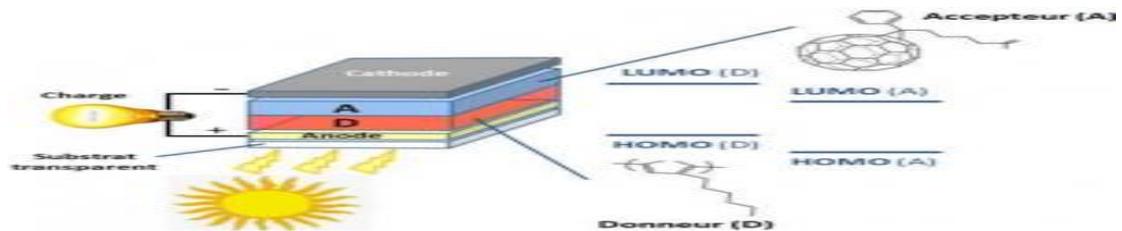


Fig. 2.1 Cellule PV. Organique en polymère

Les cellules photovoltaïques organiques sont des cellules photovoltaïques dont au moins la couche active est constituée de molécules organiques. Il en existe principalement deux types: - Les cellules photovoltaïques organiques moléculaires. -Les cellules photovoltaïques organiques en polymères. Apparues dans les années 1990, ces technologies ont pour but de réduire le coût de production de l'électricité. Les cellules photovoltaïques organiques bénéficient du faible coût des semi-conducteurs organiques et des simplifications potentielles dans le processus de fabrication. Elles offrent la perspective d'une production en continu (roll-to-roll) qui pourrait réduire drastiquement le prix de revient des panneaux solaires. Pratiquement, ces technologies ne sont utilisées commercialement aujourd'hui que dans le secteur de l'électronique de consommation (chargeur de GSM/ baladeur MP3) où la durée de vie de la cellule et du produit associé sont approximativement égales (2 ans). En améliorant la durée de vie ou en réduisant les coûts de production, d'autres applications devront voir le jour dans les années à venir. Encore au stade de recherche expérimentale, le record de rendement est compris entre 4 et 5% en laboratoire. Avant une possible commercialisation, des avancées concernant l'efficacité et l'encapsulation doivent encore être réalisés [5].

Tab (02.1) : avantage et inconvénient des cellules photovoltaïques[4].

Types	Silicium monocristallin	Silicium poly cristallin	amorphe
Durée de vie	< 35 ans	5 ans	10 ans
Avantage	Bon rendement en soleil direct.	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe).	Souplesse prix moins élevé que les cristallins. Bon rendement en diffus.
inconvénient	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé.	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé.	Mauv ais rendement en plein soleil.

II.3.3 Modélisation :

a) Cellule photovoltaïque idéal :

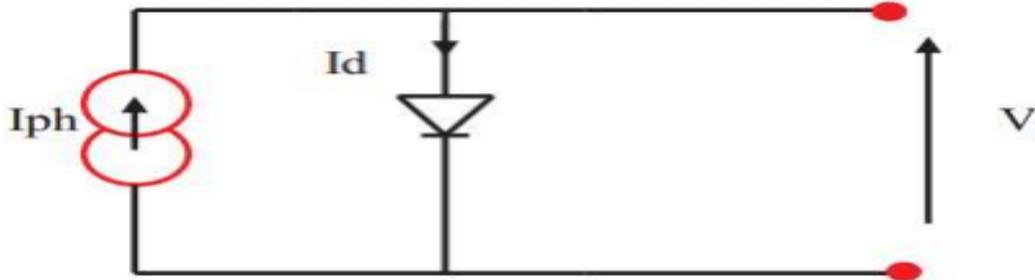


Fig. 2.11 Modèle de cellule PV idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec un courant continu DC une diode qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV [4]. Après la loi de nœuds : $I = I_{ph} - I_d$ (2.1) Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode : $V = V_d$ (2.2)

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation $I_d = I_0 \cdot (\exp(V_d/V_t) - 1)$ (2.3)

Avec : I_0 : le courant de saturation inverse de la diode.

V_d : la tension à la borne de diode.

$V_t = KT/q$ potentiel thermique ; donc la relation sera : $I = I_{ph} - I_0 \cdot [\exp(V_d/V_t) - 1]$ (2.4)

b) Cellule photovoltaïque réel :

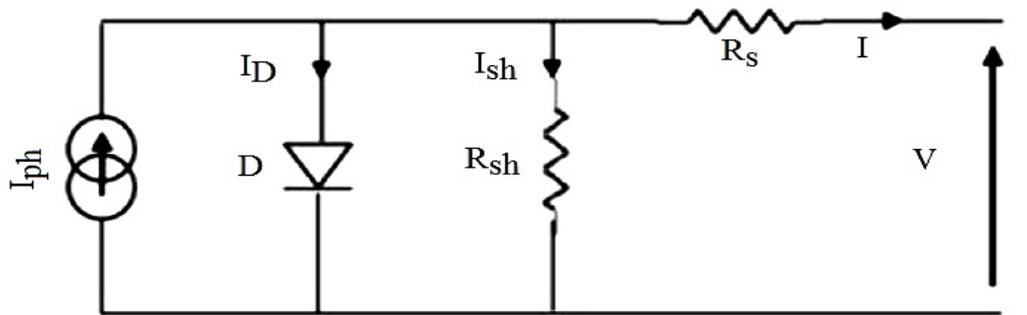


Fig. 2.12 Modèle de cellule PV réel

Le modèle photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuites. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_s et les courants de fuite par une résistance en parallèle $R_p = R_{sh}$ [4].

Donc on a:

$$I = I_{Ph} - I_d - I_p \quad (2.5)$$

$$I_p = (V + R_s I) / R_p \quad (2.6)$$

$$I_d = I_0 \cdot [\exp(V + R_s I / V_t) - 1] \quad (2.7)$$

Avec : $V = U$: la tension au borne de la diode.

I : le courant fourni par la cellule.

$I_{Ph} = I_{sc} \cdot (G/1000)$: le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

I_0 : le courant de saturation de la diode.

k : constante de BOLTZMAN ($1.381 \cdot 10^{-23}$ joule/kelvin).

q : charge d'électron $= 1.602 \cdot 10^{-19}$ C. n : le facteur de qualité de diode.

T : la température de cellule en kelvin.

$$\text{Donc: } I = I_{Ph} - I_0 \cdot [\exp(V + R_s I / V_t) - 1] - (V + R_s I) / R_p \quad (2.8)$$

II.3.4 Evolution des rendements des différents types de cellule :

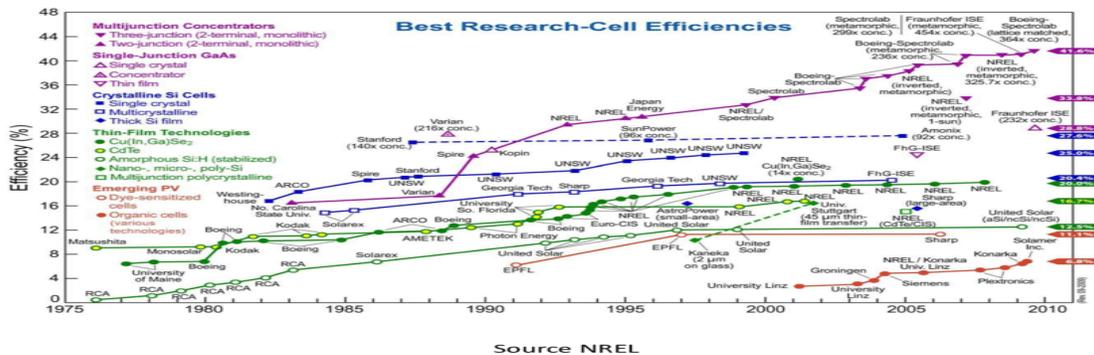


Fig. 2.13 Diagramme montrant les différentes technologies et l'évolution des rendements des cellules au niveau de laboratoire

II.4 Module photovoltaïque :

Le « module » photovoltaïque est par définition un convertisseur d'énergie lumineuse en électricité et un ensemble de photopiles assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. En effet, une photo pile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension .il faut presque toujours plusieurs photopiles en série pour générer une tension utilisable. Contient généralement de 36 à 72cellules PV.

II.4.1 Les caractéristiques d'un module PV :

a) La tension en circuit ouvert :

Si l'on place une photopile sous une source lumineuse constante, sans aucune charge à son borne, celle-ci va produire une tension continue d'environ 0,6 V, appelée tension en circuit ouvert UCO ou à vide (elle varie légèrement avec la température et l'éclairement)[7].

b) Le courant de court-circuit :

A l'inverse du cas précédent, si l'on place une photopile en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle. Ce courant est dit courant de court-circuit ICC. De plus, comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, le photo-courant fourni par la cellule est proportionnel à l'intensité lumineuse et à la surface du panneau mis en œuvre, Ainsi, plus ces deux paramètres seront élevés, plus l'intensité produite sera grande [7].

c) La puissance maximale :

L'objectif principal de l'utilisateur de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible, c'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale U_m et à une intensité maximale I_m . Lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement STC standard (25°C et un éclairement de 1000 W/m²), on parle alors de puissance crête, mesurée en watts-crête (Wc) [7].

Tableau (2. 1): Caractéristiques électriques du module BP MSX62 de BP Solaire

Température	T	25	°C
Tension de circuit ouvert	V_{oc}	21.0	V
Courant de court circuit	I_{cc}	3.8	A
Tension de puissance maximale	V_m	16.03	V
Courant de puissance maximale	I_m	3.5	A
Puissance maximale	P_m	62.13	W

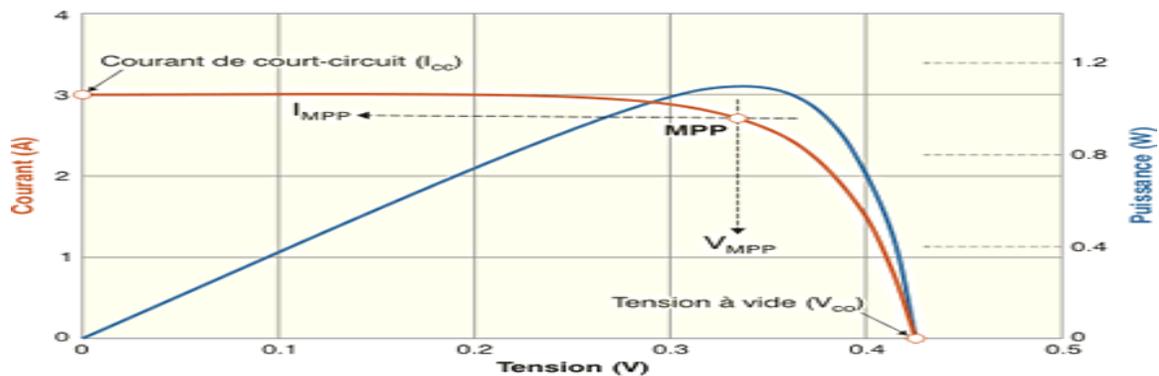


Fig. 2.14 Caractéristique courant-tension et puissance-tension

d) Le rendement :

Le rendement est un facteur énergétique pour le suivi des performances des modules,

il est calculé comme suit :le rapport entre la puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire parvenant au module. Soit S la surface du module et E l'éclairement en W/m², ce rendement a pour formule:

$$\eta = P_m / S * E \quad (2.9)$$

Le facteur de forme pour une cellule de bonne qualité est supérieur à 0.7, Il diminue avec l'augmentation de la température [7]

II.5 Générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque est un système complet assurant la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques. L'énergie est stockée dans des accumulateurs Et/ou transformée en courant alternatif suivant le type d'application.

II.6 Panneau photovoltaïque :

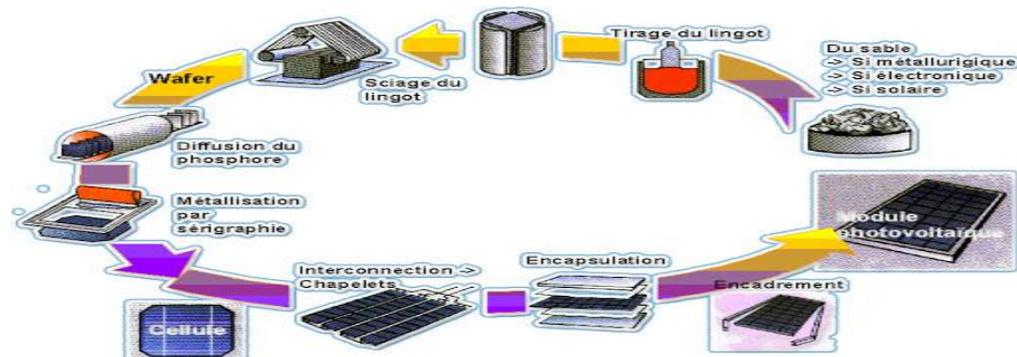


Fig. 2.15 Les étapes de fabrication d'un panneau PV

Se compose des modules PV interconnectés en série ou en parallèle pour produire la

Puissance électrique. Ces modules sont montés une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire, avec une degré d'inclinaisons spécifique. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation [4].La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend :

- ✚ De l'ensoleillement du lieu d'utilisation
- ✚ De la taille du panneau
- ✚ Des besoins en électricité
- ✚ De la saison d'utilisation [7]

a) Association des cellules photovoltaïques en parallèle :

Dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et un courant égal à la somme des courants individuels [7]. La caractéristique d'un groupement de ns cellules PV identiques est présentée sur la figure(I.19).

b) Association des cellules photovoltaïques en série :

Une cellule PV, c'est l'unité de base d'un système photovoltaïque ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 2.5 W sous une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées en série ou/et en parallèle Avec grand nombre pour former un générateur ou un panneau. L'association en série des Cellules Délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule [7].

c) Fabrication d'un panneau photovoltaïque :

On dénombre 23 pays producteurs de part le monde. En 2017, on estime la production mondiale à 3000 milliers de tonnes.

II.7 L'onduleur :

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de générer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique de tension ou de fréquence différente. C'est la fonction inverse d'un redresseur. Un onduleur est un appareil électronique de puissance permettant de générer toute forme de courant dont, par exemple, un courant alternatif, à partir d'un courant continu 1, 2,3. Un onduleur hybride permet de fournir soit un courant alternatif soit un courant continu à partir d'une source de courant. C'est particulièrement utile avec des panneaux solaires qui fournissent de l'électricité quand on n'en a pas toujours besoin et qu'il faut alors stocker dans des batteries par exemple. Ce courant continu doit ensuite être converti en courant alternatif pour être utilisé. Un micro-onduleur permet, dans un petit espace, de convertir une tension continue en courant alternatif. Il en existe jusqu'à 1 000 W, voire plus, à partir d'une tension de 12 V a , résistant à des températures de 65 °C, refroidis par convection naturelle de l'air et dont le rendement atteint 95,7 % [4] .

II.7.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur :

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion :

-  Onduleur Triphasé [8].
-  Onduleur Monophasé.

a) Onduleur monophasée

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie.

- ✚ Onduleur monophasé en pont (Pont H) [8].
- ✚ Onduleur monophasé en demi-point.

d) Onduleur triphasée

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre [8]

II.8 Conclusion :

L'énergie photovoltaïque est une énergie renouvelable qui lumière du soleil en

Électricité au Sein des matériaux bien provient de la conversion de la particuliers tels que les semi-conducteurs (le silicium, le Germanium, l'Arséniure des Galium,...). Afin de la rendre réalisable physiquement, elle nécessite un équipement complémentaire dit système produit consommable (régulation, conversion DC/AC...). Dans ce chapitre on a présentés des notions générales sur les systèmes photovoltaïques, synthèse d'assemblage des panneaux et une spécification des différentes zones de fonctionnement et les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

CHAPITRE:
Pile à combustible et système
hybride



III.1 Introduction :

Les technologies de l'hydrogène sont des technologies visant à créer de l'électricité à partir de dihydrogène. Elles font partie des moyens visant à rentrer dans l'ère de l'économie hydrogène. Nous débutons le chapitre par une description de la problématique énergétique et environnementale. L'énergie provenant de l'hydrogène est un des meilleurs choix en matière d'énergie propre à condition de savoir le transformer en énergie électrique, ce que permet la pile à combustible. Nous retracerons brièvement l'historique de la pile à combustible. Par la suite, nous présenterons les caractéristiques intéressantes de la pile à combustible de type PEM: basse température, légèreté et facilité de construction. Elle est prometteuse dans le cadre d'une application au transport. Des problèmes existent dans la structure de la PAC comme une température non uniforme sur les interfaces, une résistance de contact élevée et un endommagement des composants, ce qui peut conduire à une fissure mécanique et à un manque de performance de la PAC. L'exploration des interactions des états mécaniques concernant la performance de la pile et sa durabilité apparaît comme une phase essentielle avant la commercialisation de la pile à combustible. Ces interactions sont présentées en détail. Ces technologies permettraient également de lutter contre le changement climatique grâce à leurs nombreuses applications non créatrices de gaz à effet de serre.

III.2 Technologie d'hydrogène :

Face à l'accroissement incessant de la consommation énergétique et aux problèmes environnementaux qu'il soulève, il est urgent d'opérer des choix de société. Deux solutions sont proposées. Une est de réduire la consommation globale d'énergie. Plusieurs gouvernements, conscients de cette situation, se sont mis d'accord au Japon en 1997 et ont signé le Protocole de Kyoto qui vise à réduire et à stabiliser les émissions du CO₂ pour la période 2008-2012, à des valeurs correspondant à 1990. Malheureusement, on connaît les limites de ces accords. La seconde solution consiste à développer des technologies nouvelles plus favorables à l'environnement. L'énergie d'hydrogène apparaît comme l'une des solutions les plus prometteuses car elle présente plusieurs caractéristiques intéressantes [Hoo03] :

- Énergie efficace : par rapport au pétrole ou au charbon, l'hydrogène de poids équivalent libère environ 3 fois plus d'énergie que le pétrole, environ 6 fois plus d'énergie que le charbon.
- Énergie propre : production d'eau sans pollution.
- Source fiable : l'hydrogène est très abondant et très accessible dans la nature.

Grâce aux nombreux avantages, l'hydrogène est une énergie très respectueuse de l'environnement. La recherche de nouvelles technologies d'utilisation a été encouragée et entreprise, afin de développer des systèmes de conversion ou de production d'énergie électrique. Les piles à combustible apparaissent comme l'une des meilleures solutions pour la transformation de l'hydrogène en énergie électrique.

III.3 Définition :

III.3.1 Définition d'une pile à combustible :

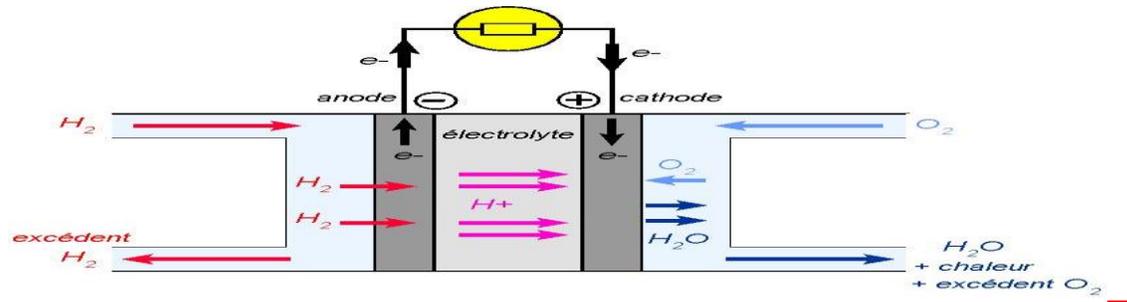


Fig3.1 Composantes fondamentales d'un PAC

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

Une pile à combustible est un générateur dans lequel la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple le dihydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que le dioxygène de l'air. La réaction d'oxydation de l'hydrogène est accélérée par un catalyseur qui est généralement du platine. Si d'autres combinaisons sont possibles, la pile la plus couramment étudiée et utilisée est la pile dihydrogène-dioxygène ou dihydrogène-air (ceci s'expliquant notamment par l'abondance des ressources en hydrogène sur Terre et la facilité de production du dihydrogène) 2.

III.3.2 Définition d'un système hybride :

Le problème avec la puissance variable et non garantie produite par les sources d'énergie renouvelables, peut être résolu par un couplage des sources d'approvisionnement et la formation d'un système dit hybride (SH). Un système hybride à source d'énergie renouvelable (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage. D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride.

a) Etude des systèmes hybride :

❖ Critère d'optimisation station :

*La probabilité de perte de la charge :

(Lots of la probabilité) ou la probabilité de perte d'approvisionnement (los of power supplie probabilité) Ces deux critères sont univoques et rendent compte du rapport énergie non satisfaite et énergie totale consommée sur la période d'étude choisie. En générale, le calcul de ce paramètre est réalisé en utilisant l'équation (3.1) : $LOLP = \sum_{i=1}^m (E_{load, i} - E_{prod, i}) / \sum_{i=1}^m E_{load, i}$

Ou $E_{load,i}$ est l'énergie demandée par le consommateur pour la période i , $E_{prod,i}$ est l'énergie produite, et m est le nombre de période pour lesquelles la recherche est réalisée [12].

* **Le cout d'énergie produite :**

Diverses approches sont utilisées pour le calcul du coût : il dépend de l'énergie demandée par le consommateur, du coût d'investissement initial pour l'achat des composants du système, du coût de leur installation, du coût de maintenance et de remplacement (pour les éléments qui ont une vie d'exploitation plus courte que celle de l'élément qui définit la vie d'exploitation du système hybride) etc....[13] [14].

❖ **Logiciel de dimensionnement :**

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

• **RA PSIM (Remonte Area Power Supplie Simulator)** –c'est un logiciel de simulation pour différents modes d'un approvisionnement en courant alternatif. Il peut être utilisé pour le dimensionnement d'installations photovoltaïques, de générateurs éoliens et diesel dans des systèmes hybrides isolés. De plus, il faut signaler que l'utilisation de ces logiciels a des inconvénients puisqu'ils limitent les modifications de l'utilisateur et empêchent une analyse approfondie des systèmes hybrides à cause du code protégé [14].

• **HOMER (Hybrida Optimisation Model for Electric Reniables)** – avec ce logiciel, il est possible de modéliser des systèmes hybrides qui travaillent en parallèle avec le réseau électrique ou en régime autonome. Il dispose de modèles de générateurs conventionnels et à sources d'énergie renouvelables. De plus, le logiciel contient des algorithmes d'optimisation à l'aide desquels il est possible de choisir le meilleur système hybride.

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

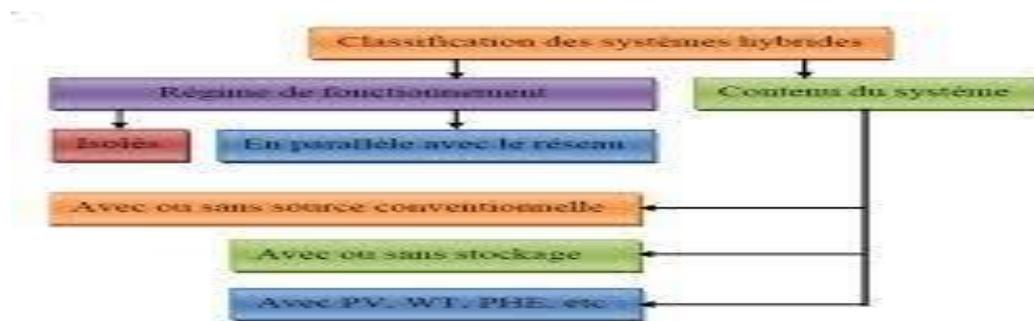


Fig3.2 calcification des systèmes hybrides

III.4 Classification:

III.4.1 Structure d'une PAC :

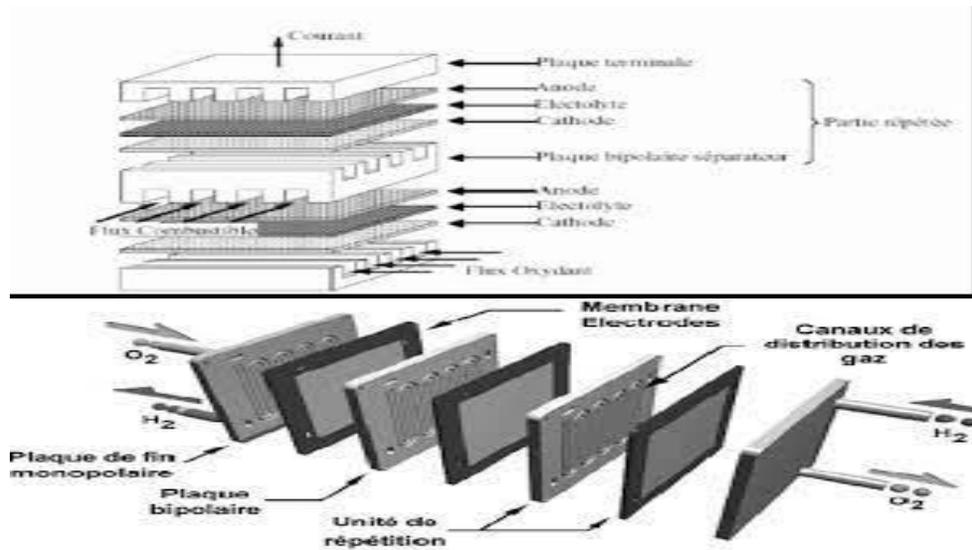


Fig3.3 coupe d'une PAC (1-2) [11]

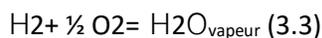
III.4.2 Fonctionnement d'une PAC :

Une pile à combustible est un générateur d'électricité transformant de l'énergie chimique d'un gaz ou liquide combustible en énergie électrique. De manière générale, le combustible est de l'hydrogène et il se combine avec de l'oxygène pour former de l'eau selon la réaction chimique (équation 3.2). Cette relation correspond à celle de la combustion de l'hydrogène. L'énergie de cette réaction est libérée sous forme de chaleur et sous forme d'électricité. La combustion se produit à l'aide d'un catalyseur à base de platine (Pt). [16]



Pour quantifier l'énergie fournie lors de la réaction, le repère généralement utilisé est l'énergie libérée lors de la combustion des réactants. Cette énergie est appelée enthalpie ΔH , elle dépend de l'état des réactants avant et après la réaction. L'enthalpie de réaction est définie par $\Delta H_R = \Delta H_{\text{produits}} - \Delta H_{\text{réactifs}}$. Pour la combustion de l'hydrogène créant de l'eau, on considère deux possibilités.

La première est la création d'eau sous forme vapeur (équation 3.3) :



$$\Delta H = -241.83 \text{ KJ mol}^{-1} \quad (3.4)$$

Si l'eau est condensée après la combustion, la valeur de l'enthalpie change (équation 3.4) :



$$\Delta H = -285.84 \text{ KJ mol}^{-1}$$

La différence entre les deux valeurs correspond à l'enthalpie d'évaporation de l'eau, ou chaleur latente. La valeur négative de ΔH explique la création de chaleur ($\Delta H < 0$) lors de la réaction. Dans le cas particulier de la pile à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC), les deux demi réactions s'écrivent :

- A l'anode: $2\text{H}_2 = 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (3.6)
- A la cathode : $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$ (3.7)

Le transport des protons à travers l'électrolyte est assuré par les molécules d'eau qu'il contient. Ainsi, la PEMFC fonctionne à une température d'environ 80°C, de façon à maintenir l'eau contenue dans la membrane sous forme liquide. Un assèchement de la membrane induit une augmentation de la résistance protonique et ainsi à une diminution des performances électrique de la pile. La gestion de l'eau doit donc être particulièrement soignée. . Le transport de l'eau dans la membrane supposée dense est la résultante de deux phénomènes opposés. Du fait d'une différence d'activité de part et d'autre de la membrane, il existe un flux diffusif d'eau qui aurait tendance à s'établir de la cathode vers l'anode puisque l'eau est produite à la cathode (équation 3.7). D'autre part, la migration des cations de l'anode vers la cathode sous l'effet du champ électrique, engendre un flux d'eau de même sens dû à l'électro-osmose (drainage de molécules d'eau dans le sillage des porteurs de charge). En ce sens, les degrés d'humidification des gaz se révèlent importants. Après avoir expliqué le principe de fonctionnement d'une pile à combustible de type PEMFC, nous allons nous intéresser aux problématiques des piles à combustible dans les applications transport [11].

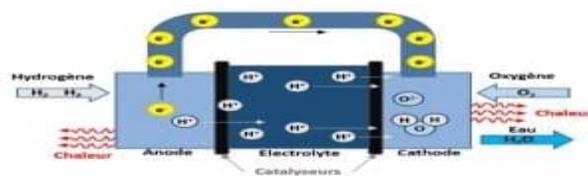


Fig 3.4 Schéma de principe de la PAC à hydrogène.

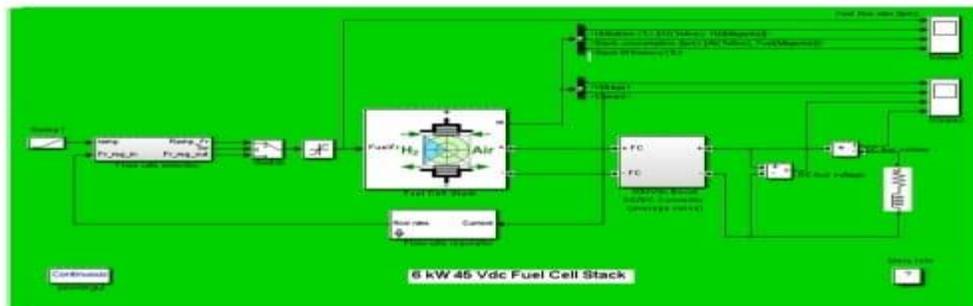


Fig 3.5 Diagramme de système PAC sous l'environnement de matlab

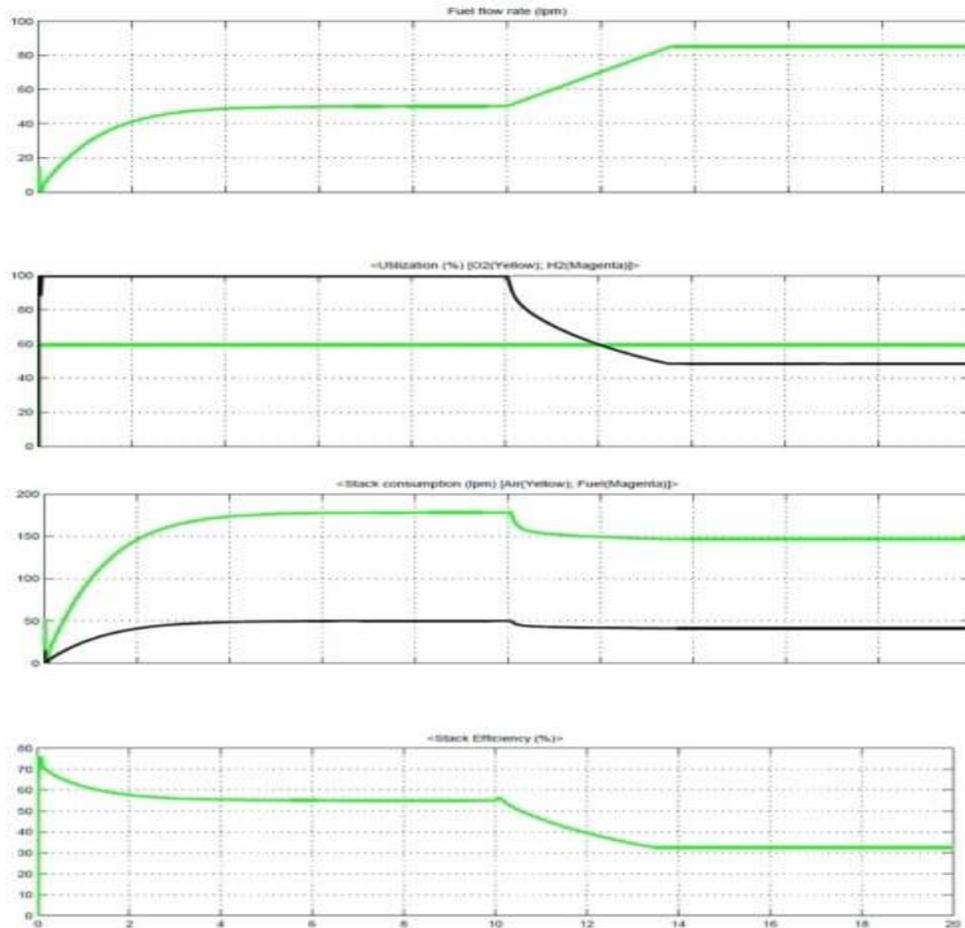


Fig 3.6 Résultats de la simulation

III.4.3 Structure d'un système hybride :

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

Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complète, une centrale entière. Un second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage: la présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant la période d'absence d'une ressource primaire convertie en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoir à hydrogène, des volants d'inertie, etc.

La dernière classification possible est celle relative au type de la source d'énergie renouvelable utilisée, la structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur hydraulique (une centrale hydroélectrique, l'utilisation des vagues ou bien une combinaison de ces deux sources). Un critère important pour la sélection de la source utilise le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit de l'installation du système hybride.

Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté, son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et ou d'une source conventionnelle, etc....

a) Etude des structures du système hybride :

❖ Système hybride Photovoltaïque / Stockage :

L'installation photovoltaïque doit être raccordée avec une autre source d'énergie, pour qu'il soit possible de satisfaire la charge durant la nuit ou par temps nuageux.

Ces systèmes alimentent soit des maisons, soit des villages. Certains travaux traitent de modélisation et d'analyse, d'autres de dimensionnement optimisé des composants du système. Le critère d'optimisation le plus souvent utilisé est la probabilité de perte d'alimentation. Ils présentent des résultats de 6 systèmes d'une puissance totale de 6,3 kW et des résultats de systèmes hybrides implantés dans des centres de recherche. La stratégie de gestion de l'énergie a été étudiée par des algorithmes pour le suivi du point de puissance maximale qui ont été développés à partir de la logique floue. La production photovoltaïque d'hydrogène est également étudiée par électrolyseur pour différentes technologies par Connivera et Richards [08], [10]. Le stockage est parfois idéal (Mulder et al, 2010), un banc de batteries, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de deux dispositifs de stockage différents comme

Électrolyseur et batterie (Islam et Bellman, 2004) ou électrolyseur et super condensateur (Uzunoglu et al, 2009). L'utilisation de super condensateurs est de conception très récente et, ils sont utilisés pour un stockage très court avec une réactivité de quelques dixièmes de secondes, tandis que l'électrolyseur et le réservoir d'hydrogène permettent un stockage plus important en termes de quantité stockée mais plus lent (Thounthong et al, 2009). Mulder et al (2010) étudie un système hybride alimentant un ensemble d'habitations en parallèle avec le réseau électrique. Il surmonte ainsi les surtensions en bout de lignes électriques et les manques d'alimentation lors des coupures du réseau. Différents logiciels ont été utilisés dans les études: Malabo (Islam et Bellman, 2004; El H Chatter et al, 2002; Uzunoglu et al, 2009) et ESRA (Frasai et Mark art, 2008) [08], [10].

❖ Système hybride éolien / Stockage :

L'interconnexion du dispositif de stockage avec un générateur éolien peut avoir deux objectifs possibles : soit un rôle de tampon lorsque le système fonctionne en parallèle avec le réseau électrique, le dispositif permet alors de lisser les variations rapides de la puissance électrique en provenance de l'éolienne, soit un rôle de stockage à plus long terme, en régime autonome pour permettre l'alimentation du consommateur lors des périodes de faible vitesse du vent. Le réseau électrique peut être de grande taille, cas des Etats-Unis (Denoël, 2006), ou de faible taille (réseau insulaire) .Les recherches se distinguent aussi par l'intervalle de temps considéré. Dans le cas

D'étude de processus à variation lente, les auteurs (Koras et al, 2003; Noun et al, 2007) s'intéressent à l'énergie obtenue par chacune des sources. D'autre études sont réalisées sur les processus de courte durée (Iqbal, 2003a; Shi et al, 2008).

Comme pour les autres systèmes précédemment présentés, ils peuvent alimenter soit un ménage, soit un bâtiment (hôtel) et même un village. Les modes de stockage étudiés peuvent être une batterie, un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène, une combinaison des deux, un

stockage par air comprimé, des aimants supraconducteurs ou une combinaison d'un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène et un super condensateur. Lorsque le système opère en parallèle avec le réseau électrique, la stratégie de gestion de la puissance joue un rôle important. Sur le plan économique, certains auteurs se contentent de donner les prix des divers organes du système, d'autres approfondissent l'analyse économique en calculant le prix du kilowatt heure Produit [08].

❖ Système hybride Photovoltaïque /éolien / Stockage :

L'inconvénient majeur des deux systèmes hybrides précédemment décrits est le manque de diversité de l'alimentation parce que la ressource primaire utilisée est unique. Cela induit plusieurs inconvénients comme par exemple le surdimensionnement des éléments dont l'objectif est d'assurer une alimentation continue, ce qui va se traduire par un investissement initial élevé (et donc limiter

Le développement de ces systèmes) et une augmentation du prix du kilowatt heure produit. Ces inconvénients peuvent être limités ou même éliminés par l'incorporation d'une seconde source d'énergie. Les études concernent des systèmes existant, des bancs d'essais ou des travaux théoriques. Dans ce dernier cas, on étudie l'influence de l'ajout d'une seconde source d'énergie dans un système déjà existant où on élabore un nouveau système hybride. La plupart des travaux concerne l'optimisation de la configuration du système hybride selon divers critères : probabilité minimale de perte de charge, coût minimal du kilowatt heure produit, ou la combinaison de ces

Deux critères combinent plusieurs critères d'optimisation tels que la minimisation de la probabilité de manque d'alimentation, de l'énergie produite non utilisée et du coût du kilowatt heure produit. Comme pour les autres systèmes hybrides, ils peuvent assurer l'alimentation des cellules 3G d'opérateurs mobiles, des ménages ou des villages. Ils sont installés sur tous les continents : en Afrique : Algérie, Asie : Syrie, Malaisie ; au Brésil ; et en Amérique du Nord : Canada. Ces systèmes fonctionnent le plus souvent en régime autonome, mais il existe des travaux sur des systèmes connectés au réseau électrique [08]. Les dispositifs des stockages sont le plus souvent des batteries, parfois un électrolyseur avec réservoir d'hydrogène ou une combinaison de batterie et stockage d'hydrogène. Les modèles de comportement ont pour paramètres d'entrée les valeurs du rayonnement solaire et les vitesses du vent horaires, les valeurs moyennes mensuelles ou une distribution statistique de Wei bull.

III.4.4 Fonctionnement d'un système hybride :

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve le système hybride travaillant en parallèle avec le réseau électrique dit aussi connecté au réseau. Ce système contribue à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique, le cas d'un refuge de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.... [13]

III.5 Les différents types de la pile à combustible :

L'électrolyte doit être un isolant électronique et un conducteur ionique. Il peut être soit liquide, soit solide. Les plaques bipolaires permettent l'accès des gaz par la présence de canaux, jusqu'aux sites réactionnels. Il existe six types de piles à combustible qui, suivant l'électrolyte, fonctionnent à différentes températures. Leurs caractéristiques sont données dans le Tableau :

Caractéristique	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Noms en français	Alcaline Fuel Cell	Proton Exchange Membrane FC	Direct Methanol Fuel Cell	Phosphoric Acid Fuel Cell	Molten Carbonate Fuel Cell	Solid Oxide Fuel Cell
Electrolyte	Solution KOH (liquide)	Membrane polymère (solide)	Membrane polymère (solide)	Acide phosphorique (liquide)	LiAlO_2 et CaO fondus dans une matrice de LiAlO_2 (liquide)	ZrO_2 et Y_2O_3 (solide)
Catalyseur	Pt	Pt	Pt	Pt	Carbonates de lithium et de potassium	Ni
Ions mobiles dans l'électrolyte	OH^-	H^+	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
Température	50-90 °C	50-100 °C	80-100 °C	180-220 °C	600-650 °C	700-1000 °C
	Piles à combustible à faible température			Piles à combustible à forte température		
Combustible	H_2 gaz	H_2 ou gaz reformé	Méthanol	H_2 ou gaz reformé	H_2 ou gaz reformé	H_2 et CO (ou gaz reformé)
Oxydant	O_2 gaz	O_2	O_2	O_2	O_2	O_2
Domaines d'application	Spécial, transport (naves spatiaux)	Électrolyseur portable, transport, cogénération	Électrolyseur portable	Transport, cogénération	Cogénération, production centralisée d'électricité	Cogénération, production centralisée d'électricité, transport (APU)
Rendement théorique	52-60 %	32-40 %	35-25 %	40-45 %	50 %	45-50 %
Rendement électrique					35 % avec récupération de la chaleur	50 % avec récupération de la chaleur

TAB. 3.1: Types des piles à combustibles.

Les piles à basse température fonctionnent entre 60 °C-250 °C :

- ✚ la pile à combustible alcaline ou alcaline fuel cella (AFC).
- ✚ la pile à combustible à membrane échangeuse de proton (polymère électrolyte membrane fuel cella : PEMFC).
- ✚ la pile à combustible à méthanol direct (direct méthanol fuel cella : DMFC).
- ✚ la pile à combustible à acide phosphorique (phosphorique acide fuel cella : PAFC).

Les piles à haute température fonctionnent entre 600 °C-1000 °C :- la pile à combustible à oxyde solide (solide oxide fuel cella : SOFC) :

- ✚ la pile à combustible à carbonates fondus (molènt carbonate fuel cella : MCFC)

Dans le tableau 1.1, sont présentées les principales caractéristiques de ces différentes

Familles de piles ainsi que leurs domaines d'application.

III.6 Les caractéristiques d'une pile combustible :

La caractéristique électrique d'une pile à combustible est déterminée par le nombre de cellules en série, définissant la tension totale et par la taille de la surface active, déterminant le courant délivré. La tension à vide dite (tension de Nernst) est d'environ 1,23 V. Lorsque la densité de courant augmente, les pertes sont plus importantes (pertes d'activation et ohmique) :

La tension diminue. Pour de fortes densités de courant, la tension chute rapidement (pertes de concentration).

- ✚ Polarisation ohmique.
- ✚ Polarisation d'activation.
- ✚ Tension de Nernst.
- ✚ La Polarisation de concentration [1. 2].

III.7 Les systèmes de stockage :

III.7.1 Les batteries :

Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides afin de pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à des grands réseaux de courant alternatif isolés, dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme [13]. Le stockage d'énergie est généralement réalisé grâce aux batteries. Les batteries sont, d'habitude, du type plomb acide. Les batteries nickel cadmium sont rarement utilisées. Il y a d'autres formes de stockage, mais peu utilisées, comme le pompage de l'eau, les volants d'inertie et le stockage de l'hydrogène.

III.7.2 Les pile à combustibles :

L'intérêt accru dans le monde entier à la technologie PC rend relativement énormes, centrales, fixes de 200W à 2 MW. Ces piles sont disponibles dans le commerce, avec des rendements allant de 30 à 50% [02]. La pile à combustible est un dispositif de conversion d'énergie statique électrochimique qui produit un courant continu à travers la réaction d'hydrogène et de l'oxygène en présence d'un électrolyte, une électrode positive (cathode) et une électrode négative (anode). L'électrolyte porte des charges électriques par une électrode à l'autre. Un catalyseur est habituellement exploité pour accélérer la réaction aux électrodes. Il existe plusieurs types de piles à combustible, le plus souvent classés selon le type d'électrolyte sont résumées dans le tableau 1_1.

III.8 Modélisation :

Les études des différentes structures des systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelable sont réalisées sur la base de divers modèles en fonction de l'objectif recherché. Ces modèles ont en commun l'utilisation des données météorologiques comme variables d'entrée. Ces données doivent refléter l'apport d'énergie effectivement reçue, ce qui impose que les données le plus souvent disponibles soient converties en données utilisables. De telles conversions sont présentées par Prasad et Nataeajan [08]. Dans la suite de ce paragraphe, des modèles des deux convertisseurs

Photovoltaïques et éoliens et du convertisseur électronique sont brièvement décrits.

III.9 Couplage photovoltaïque avec pile à combustible :

Compte tenu des problèmes environnementaux sévères auxquels la planète est confrontée, l'introduction d'un nouveau vecteur énergétique, tel que l'hydrogène, doit favoriser le développement des sources primaires renouvelables telles que le solaire, l'éolien et l'hydraulique. L'hydrogène d'origine renouvelable contribuera à la diversification des approvisionnements pour les transports et permettra le stockage de l'énergie intermittente pour les applications de cogénération stationnaire. Les sources d'énergies renouvelables sont de nature intermittente. Mais le fait que l'hydrogène puisse être stocké sans perte et en grande quantité permet d'envisager un lissage de la production électrique d'origine renouvelable et l'alimentation en continu. Il s'agit de fournir une solution permettant la production d'hydrogène très pur à partir d'électricité d'origine photovoltaïque et d'eau à partir d'un électrolyseur de type PEM. Les différents modules production électrique, 'MPE', et 'production d'hydrogène, 'MPH' peuvent être fournis séparément. Il est toutefois à noter que l'interaction entre ces deux modules étant très forte, leur couplage nécessite une attention particulière. L'intérêt de l'utilisation de l'hydrogène comme combustible réside dans la diversité des sources d'approvisionnement ainsi que dans l'impact possible sur l'environnement. La production locale par voie électrolytique sur des systèmes de petite capacité est une voie qui doit être examinée, car il ne faut pas oublier qu'un litre d'eau contient suffisamment d'hydrogène pour produire 2 kWh d'électricité, via une pile à combustible présentant un rendement de 55 % [15].

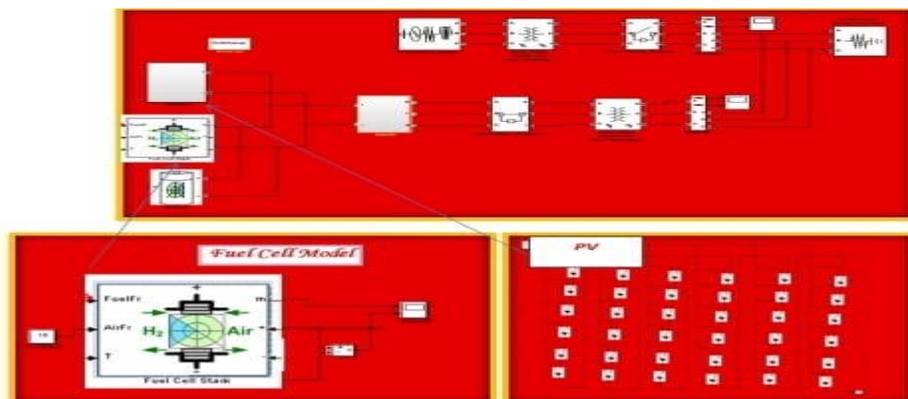


Fig 3.7 Schéma de principe couplage de PV avec pile à combustible

III. 10 Conclusion :

Ce chapitre montre le comportement d'un système d'énergie hybride qui se compose d'une éolienne, d'un système photovoltaïque et d'une pile à combustible. Dans un premier temps, nous avons modélisé chaque source de production individuellement, nous avons présenté les caractéristiques de chaque source face aux changements climatiques (le rayonnement solaire, la température et la vitesse du vent), puis la modélisation de la partie d'électronique de puissance (redresseur, hacheurs et onduleur de tension) et pour finir, la modélisation du réseau complet choisi. Notre système hybride est conçu pour générer une puissance continue, indépendamment des sorties de puissance intermittentes à partir des sources d'énergie éolienne et photovoltaïque. Les systèmes éoliens et photovoltaïques sont contrôlés pour fonctionner à leur point de puissance maximale sous différentes conditions

Conclusion

Général :

La consommation d'énergie ne cesse d'augmenter. Les énergies conventionnelles vont en diminuant sans cesse et les énergies non conventionnelles présentent beaucoup de risques.

Malgré leurs caractéristiques polluantes et épuisables, les énergies fossiles sont surexploitées.

L'énergie étant l'un des moteurs de développement des pays, les partis politiques verts et les scientifiques, ayant pris de l'ampleur dans les sociétés évoluées, essaient de promouvoir les énergies « propres » et renouvelables. De ce fait la recherche s'intensifie dans les énergies de substitution dites renouvelables.

Les énergies renouvelables en général et l'énergie photovoltaïque en particulier apparaissent dans ce contexte comme une alternative intéressante pour préserver à la fois le confort des êtres humains et la qualité de l'environnement.

Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques notions sur la source d'énergie que représentent le soleil, et son application dans le domaine photovoltaïque. Nous décrirons ensuite le fonctionnement des cellules photovoltaïques, leurs caractéristiques principales, les pertes physiques et technologiques limitant le rendement des cellules photovoltaïques.

Le but de notre travail est de montrer l'intérêt de l'intégration des nano fils Si, SiGe graduels dans les structures des cellules solaires.

Nous avons présenté l'étude de la cellule solaire à base de Nano fils. Nous avons montré l'influence de la longueur et la largeur des nano fils sur les trois paramètres de la structure (le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert et le rendement de conversion).

Bibliographie :

- [1] TPE1S : Les énergies renouvelables Sites.google.com 04/06/2020 à 16 :59h.
- [2] Source : www.énergies_renouvelables.org.
- [3] BoukhelifMed.Wassim et HadeF Zinedine Mémoire de licence, L'énergie renouvelable, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA_2019.
- [4] *GrabiaFateh et Sekehal Meriem Mémoire de Master, Structure et commande d'une installation photovoltaïque, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR_ANNABA_2017*
- [5] *Le photovoltaïque _Module3_Fonctionnement Et technologies, Novembre 2010 ; IBGE, Bruxelles Environnement. Infos Fiches Énergie.*
- [6] Boualem Boukezata Thèse de Doctorat 3ème Cycle(LMD), Etude et commande d'une chaîne de conversion d'énergie d'un Système Solaire photovoltaïque. UNIVERITE Ferhat Abbas_Sétif1 UFAS(Algérie),
- [7] Hannon Abdelkrim et Dépliai Boudali, Mémoire de Master (LMD), Modélisation et Simulation d'un système Photovoltaïque Alimentant d'une charge Triphasés. UNIVERSITE Dr. Tahar Moulay de Saida, 2016.
- [8] Ottomane Benseddik et Fathi Djaloud, Mémoire de Master, Etude et optimisation du fonctionnement d'un Système photovoltaïque, UNIVERSITE KASDI MERBAH_Ouargla_2012.
- [9] Zhiming Zhang, Thèse de doctorat, Modélisation mécanique des interfaces multi contacts dans une pile à combustible, UNIVERSITE D'Evry-VAL D' ESSONNE, 2010.
- [10] Bouras Kheira et Moussounileila, Mémoire de Master, Modélisation de systèmes réversible de types électrolyseurs et pile à hydrogène en vue de leur couplage aux générateurs photovoltaïque, UNIVERSITE Dr. Tahar Moulay de Saida, 2017.
- [11] Samir Jemeri, Thèse Présenté pour obtenir le grade de docteur de l'université de Technologie de Belfort Montbéliard et de l'université de Franche comte. Modélisation d'une pile à combustible de type PEM par réseaux de neurone, 2004.
- [12] Salem et Amel MEDDAH et MENASRIA, Etude d'un système énergétique à pile à combustible destiné à une application résidentielle, UNIVERSITE e Bechar Algérie – Ingénieur d'état 2006.
- [13]BORNI ABDELHALIM, Magistère en Electrotechnique, Thèse Pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT EN SCIENCES EN ELECTROTECHNIQUE, ETUDE ET OPTIMISATION D'UN MULTI SYSTEME HYBRIDE DE CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE, UNIVERSITE CONSTANTINE1, FACULTE DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE.
- [14] Thèse préparée en cotutelle et soutenue pour l'obtention du grade de DOCTEUR EN ENERGETIQUE et DOCTEUR DE L'UNIVERSITE TECHNIQUE DE SOFIA Electrotechnique, Soutenue publiquement par Ludmilla Stoyanov, le 28 octobre 2011 Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables.
- [15]M.Belatel, F.Benchikh, Z. Simohamed, F.Ferhat et F.Z.Aissous, Laboratoire d'Electrotechnique de Constantine, 'LEC' Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université MentouriRoute Ain-El-Bey, Constantine, Algérie (reçu le 29 Novembre 2010 – accepté le 30 Mars 2011) Technologie du couplage d'un système hybride de type photovoltaïque-éolien avec la pile à combustible pour la production de l'électricité verte.
- [16] mémoire saad 2019