République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES de MEDEA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département du Génie de la Matière

Mémoire de Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Climatique

Option Energie et Froid Industriel

Thème :

Electrification Solaire Photovoltaïque et Changements Socio-économiques en Algérie

Proposé et dirigé par :

Mr. ZEROUAL Boualem

Présenté par :

BERKANI Hocine

HATCHAINE Abdenour

Promotion : 2011- 2012

Résumé :

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'énergie électrique solaire à l'aide des panneaux solaires et des systèmes photovoltaïques pour aider les zones rurales, et désenclaver ainsi les régions les plus reculées du pays. Les avantages socio-économiques, voire culturels, dont bénéficieront les habitants sont multiples. Les résultats obtenus montrent combien est efficace et importante l'utilisation de l'énergie solaire dans l'essor économique et la construction d'un pays fort. Elle agit comme un levier au développement durable en Algérie.

Mots clés :

Système photovoltaïque, l'énergie solaire, l'électrification solaire, les changements socio-économiques.

الملخص :

تهدف الرسالة المقدمة لدراسة توفير الطاقة الكهربة الشمسية باستخدام الألواح الشمسية ,الأنظمة الكهروضوئي لتزويد المناطق النائية و المعزولة مع دراسة التغيرات الاجتماعية ,الاقتصادية و الثقافية التي يمكن أن تطرأ على سكان تلك المناطق. النتائج المحصلة تبين مدى نجاع استخدام هذه الأنظمة الشمسية في الجوانب الاقتصادية و الاجتماعية في الجزائر.الأنظمة الشمسية تتكون من : الخلايا الشمسية , بطارية الشحن ,منظم التوتر ,عاكس كهربائي للتوتر (CC/AC) ,جهاز التشغيل.

الكلمات الدلالية :

النظام الكهروضوئي ,الطاقة الشمسية ,الكهربة الشمسية ,التغيرات الاجتماعية و الاقتصادية.

Abstract:

The objective of this thesis is to reserve the solar energy by using photovoltaic panels, the photovoltaic system provides lighting for farthest and isolated areas. We should shady the social, economic and culture changes which cancel faced for the inhabitants. The obtained results will face the success of our use of these solar systems for Algerian's economical, social and cultural sides. The solar system in composed of PV panels, (DC/AC) converter, batteries, regulator and the load.

Keywords:

Photovoltaic Systems, Solar energy, solar electrification, Socio-economic change.

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur ***Mr. B.Zeroual*** *pour sa confiance, ses encouragements, son suivi et pour les conseils qu'il a apporté pour l'achèvement de ce projet.*

Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué de prés ou de loin à notre formation et à cette thèse.

Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Dédicaces

J e dédie ce modeste travail

À ma très chère mère. À mon très cher père

À mes frères et mes sœurs

À toute ma famille

À tous mes amis

B . H ocine

Sommaire

Sommaire

Introduction générale ……...01

Chapitre I : étude Technologie de photovoltaïque.....04

I.1 Introduction.……05

I.2 Rayonnement solaire ……...06

I.3 Description des éléments d'un système photovoltaïque…….……..07

I.3.1 Les cellules photovoltaïques.....07

I.3.2 L'effet PV……..……...08

I.3.3 Le module photovoltaïque …….……...09

I.3.4 Le panneau solaire …….……...09

I.3.5 Système de conversion…….……10

I.3.6 Le convertisseur continu- alternatif……...……...11

I.3.6.1 Rotatif……..……11

I.3.6.2 Statique……11

I.3.6.3 la puissance nominale…….……..12

I.3.6.4 Le rendement……12

I.3.6.5 La consommation à vide…….……..12

I.3.7 La Charge ……13

I.4 Principe de fonctionnement.....13

I.4.1 Le dopage de type n (négatif) ……..…13

I.4.2 Le dopage de type p (positif)……14

I.4.3 Association des cellules en série……14

I.4.4 Association des cellules en parallèle……..14

Sommaire

I.4.5 Les caractéristiques électriques d'un module PV……..15

I.5 Les caractéristiques énergétiques d'un module PV…….....15

I.5.1 Le rendement d'un module PV…….....15

I.5.2 Le générateur photovoltaïque……...16

I.5.3 Rendement de l'onduleur…….16

I.6 Le dimensionnement d'une installation……...17

I.7 Avantages et inconvénients d'une installation PV……...17

I.7.1 Avantage……...17

I.7.2 Inconvénients…….18

I.8 Systèmes solaires domestiques ……...18

I.8.1 Application pour une maison rurale isolée …….....19

I.9 Eclairages publics…….21

I.10 Constitution d'un système de pompage photovoltaïque …….……...22

I.10.1 Pompe centrifuge……...23

I.11 Système d'énergie solaire de l'antenne réseau mobilis de la nouvelle ville boughzoul …….....23

I.11.1 Application pour une antenne réseau mobilis …….……...23

I.12 Conclusion …….....25

Chapitre II : Photovoltaïque.....27

II.1 Introduction……..28

II.2 L'électricité photovoltaïque……..28

II.3 Historique…….28

II.4 Forces et faiblesses……..29

II.5 Le potentiel solaire……..31

II.6 Potentiel du marché…….32

II.6.1 Systèmes connectés au réseau……..32

Sommaire

II.6.2 Hybridation des centrales diesel……...34

II.6.3 Electrification rurale……...35

II.7 Technologie de fabrication des modules PV…….36

II.7.1 Coût de fabrication des modules et prix sortie usine ……...36

I.7.2 Prix sortie usine…….…….39

II.8 Taux d'électrification rurale……40

II.9 Conclusion……..41

Chapitre III : Production d'électricité et Programme EnR en l'Algérien …….....42

III.1 Introduction……..43

III.2 Filiale SONELGAZ production d'électricité……...43

III.2.1 Analyse du parc de production(SPE)……44

III.3 Politique nationale de développement des énergies renouvelables…..…….45

III.4 Stratégie industrielle de développement des EnR…….48

III.5 Les énergies renouvelables, Une priorité en Algérie…….……...49

III.5.1 Programme des énergies renouvelables……49

III.5.1.1 Energie solaire photovoltaïque……...51

III.5.1.2 Energie solaire thermique……..52

III.5.1.3 Energie éolienne……53

III.5.2 Développement des capacités industrielles...……...54

III.5.2.1 Solaire photovoltaïque……...54

III.5.2.2 Solaire thermique……...55

III.5.2.3 Eolien…….56

III.6 Conclusion……56

Sommaire

Chapitre IV : Changements Socio-économiques.....57

IV.1 Introduction……..58

IV.2 Développement durable des énergies renouvelables en Algérie……..58

IV.3 Arguments en faveur d'énergie solaire…….59

IV.4 L'énergie solaire au cœur des stratégies de développement durable……..60

IV.5 La notion d'éco-ville pour améliorer la qualité de vie…….61

IV.6 La création d'emplois durables……63

IV.7 Conclusion……...64

Conclusion générale……..65

Bibliographies……..……67

Table des Figures

Fig. I.1 Schéma simplifié d'un système PV……6

Fig. I.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère……..7

Fig. I.3 Schéma d'une cellule solaire……..…….8

Fig. I.4 Module photovoltaïque……9

Fig. I.5 Panneau solaire……...10

Fig. I.6 Schéma de L'onduleur……...12

Fig. I.7 L'arrangement des panneaux avec l'onduleur……...13

Fig. I.8 Principe de fonctionnement d'une cellule PV……14

Fig. I.9 Caractéristiques, le courant électrique-la tension, pour T = 22 °C……...15

Fig. I.10 système le générateur photovoltaïque……..16

Fig. I.11 Rendement d'onduleur en fonction de rapport de puissance……16

Fig. I.12 d'une maison rurale isolée…….……19

Fig. I.13 Les principaux usages de l'électricité en milieu rural ……..……...19

Fig. I.14 éclairage public utilisé par système photovoltaïque……..21

Fig. I.15 Schéma général d'un système de pompage photovoltaïque……..22

Fig. I.16 Installation de pompage photovoltaïque. Bechar……23

Fig. I.17 l'antenne de réseau isolée par de système photovoltaïque……...…….25

Fig. II.1 Potentiel Solaire ……31

Fig. II.2 marché photovoltaïque Algérien……32

Fig. II.3 Marché annuel……...33

Fig. II.4 Puissance PV cumulées…….33

TABLE DES FIGURES

Fig. II.5 Marché annuel……...34

Fig. II.6 Puissance PV cumulées……34

Fig. II.7 Marché annuel……...35

Fig. II.8 Puissance PV cumulées…….....35

Fig. II.9 Marché du PV par application……...36

Fig. II.10 Evolution temporelle des coûts de fabrication des modules (1993-2012)……...37

Fig. II.11 Evolution temporelle du prix de vente des modules (1993_2012)…….37

Fig. II.12 Evolution temporelle de la marge des modules……...38

Fig. II.13 projection jusqu'en 2020 du prix de vente des modules (grands volumes)…….38

Fig. II.14 Répartition par domaine d'utilisation……...40

Fig. III.1 Répartition de la puissance installée du parc de production par filière……45

Fig. III.2 Organismes du secteur de l'enseignement supérieur……...46

Fig. III.3 pénétration des EnR dans la production nationale en TWh.……50

Fig. III.4 structure du parc de la production nationale en MW……...51

Liste les Tableaux

Tab. II.1 Potentiel Solaire……...29

Tab. II.2 Coûts de fabrication et prix de vente "sortie usine" de différents modules pour 2008……..39

Tab. II.3 Estimation des prix "distributeur" en 2008 pour chaque technologie……..39

Tab. II.4 Estimation des prix "installateurs" en 2008 pour chaque technologie…….40

Liste des Abréviations

Nomenclature

λ	1) longueur d'onde (µm)
	2) coefficient d'excès d'air
g	compose d'un abri du verre
e	un encapsulant
m	un métal en arrière contact
h	Constante de Planck ($6.62.10^{-34}$ j.s)
υ	Fréquence de l'onde lumineuse (Hz)
Cp	la charge des panneaux (KWh/m^2 J)
Tp	la taille des panneaux nécessaires (Wc)
Cb	la capacité de batterie (Ah)
Q	Débit de la pompe (m_3/h)
ω	Vitesse de rotation (rad /s)
H	La hauteur de la pompe (m)
G_0	L'éclairement de référence (1000 W/m2)
I_{ph}	Le photo-courant (A)
E_{ele}	L'énergie disponible aux bornes de la cellule PV
E_{hum}	L'énergie incidente
P_{ther}	Les pertes thermiques (par convection, rayonnement et conduction)
τ	Taux de charge
η	Le rendement d'un module PV
η_{ond}	rendement de l'onduleur
Ns	Nombre de modules dans le panneau en série
Np	Nombre de modules dans le panneau en parallèle

P_m	La puissance maximale produite PV (W)
V_m	Tension qui correspond à la puissance maximale (V)
I_m	Courant qui correspond à la puissance maximale (A)
V_{CO}	La tension à circuit ouvert de référence (V)
V_{op}	Tension optimale (V)
I_{op}	Courant optimum (A)
V_{co}	Tension à circuit ouvert (V)
I_{cc}	Courant de court-circuit (A)

Acronymes

PV : Photovoltaïque.

AC : Courant Alternatif (Alternative Current).

DC : Courant Continu (Direct Current).

PWM : pulse width modulation

MLI : Modélisation de largeur d'impulsion

MENA : Meadel est and North Africa

SPE : Société de production d'électricité

CDER : le Centre de Développement des Energies Renouvelables

UDES : l'Unité de Développement des Equipements Solaires

URAER : l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelable

URERMS : l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien

URMER : l'Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables

UDTS : l'Unité de Développement de la Technologie du Silicium

APRUE : l'Agence de Promotion et de Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie

CREDEG : Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz

HCDS : du Haut-commissariat au Développement de la Steppe

Liste des Abréviations

NEAL : Nouvel Energie Algérie

EnR : Energie Renouvelable

CSP : concentration solaire thermique

TVA : Taxe Valeur Ajoutée

Introduction générale

Introduction générale :

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter, le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. Cet intérêt s'est accru face à l'épuisement inéluctable des énergies fossiles, à leur impact sur l'environnement et aux déchets qu'ils engendrent.

La technologie photovoltaïque (PV) est une solution attrayante comme remplacement ou complément des sources conventionnelles d'approvisionnement en électricité en raison de ses nombreux avantages :

- Elle est un moyen fiable qui requiert peu d'entretien.
- Elle fournit de l'électricité avec l'énergie gratuite et renouvelable du soleil.
- Elle ne nécessite aucun combustible.
- Elle est silencieuse et non polluante respectueuse de l'environnement.
- Elle est polyvalente et peut être ajustée selon les besoins.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois[1], notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées surtout dans les applications d'électrification solaire photovoltaïque.

L'électrification rurale qui constitue l'une des étapes importantes du développement rural, est le fruit d'une stratégie globale et à long terme.

Cette stratégie constitue une orientation spécifique de la politique de développement national, qui est une politique de justice sociale et de solidarité, et qui doit être centrée sur un ensemble d'axes stratégiques de développement, en s'attelant méthodologiquement, au préalable, sur l'amélioration qualitative de la vie de la population rurale afin de contribuer à son développement durable. Exhaustivement, ces axes stratégiques prioritaires concernent :

- La mise en œuvre de projets de désenclavement inter et intra-régional;
- Le renforcement des infrastructures de base par la création et le renforcement des routes nationales, régionales et intercommunales;

PFE Electrification Solaire PV-BERKANI Hocine-

- La densification et la mise en place d'infrastructures d'accompagnement en matière d'électrification rurale et d'eau potable;
- La mise en œuvre de programmes nationaux de secteurs productifs

L'électrification rurale intègre parfaitement le processus spatial et temporel de développement, qui est basé sur une démarche de dynamisation des ressources locales, exigeant la participation de l'ensemble des acteurs bénéficiaires de ce projet, une compréhension du milieu rural; une bonne évaluation et exploitation des mécanismes de mise en valeur et de mobilisation des ressources locales endogènes de manière à favoriser une occupation territoriale plus équilibrée et homogène, moyennant l'obtention d'un rapport population/ressources plus favorable et une formulation concertée des programmes d'actions tels que le **Programme d'énergie renouvelable en Algérie.**

Ce programme ambitionne de renforcer les capacités de mobilisation de la communauté, augmenter ses moyens de production et de création d'emplois, améliorer ses conditions de vie et de contribuer à l'effort national de lutte contre la pauvreté et l'exode rural. Au lieu de cela, les usages sociaux de l'électricité solaire en Algérie sont plus étroitement lié à l'utilisation de télévision ont augmenté en milieu rural, l'expansion des marchés des biens de consommation, plus processus de communication rurale-urbaine, et d'autres cette augmentation d'interconnexion sociale et économique entre les populations rurales et leurs homologues nationaux et internationaux les centres urbains.

Objectif : système photovoltaïque est convertie de l'énergie lumière à l'énergie électricité, aussi développement économique et sociale en Algérie.

Le premier chapitre est consacré l'étude des cellules photovoltaïques, à la mise au point d'un modèle mathématique du panneau photovoltaïque permettant de déterminer la caractéristique tension courant et application de système photovoltaïque (domestique et l'antenne de réseau).
Le deuxième chapitre présent le potentiel du marché pour système photovoltaïque et des coûts, prix et taux d'électrification.
Le troisième chapitre est l'étude de la production électrique et le programme énergie renouvelable en Algérien.
Dans le quatrième chapitre, on présentera les changements socio-économiques.

Finalement une conclusion générale résumera tous les résultats obtenus dans ce présent mémoire.

PFE Electrification Solaire PV BERKANI Houcine

Chapitre I :
étude
Technologie de Photovoltaïque

I.1 Introduction :

Le générateur photovoltaïque convertit la radiation solaire incidente en puissance électrique et en général, on distingue deux types d'installations [2]:

a - Non autonomes ou « grid-connected » rattachées au réseau de distribution électrique. Dans Les systèmes reliés aux réseaux, les consommateurs standards de puissance AC sont connectés au générateur via un onduleur (convertisseur DC/AC) parfois bidirectionnel (redresseur/onduleur).

Le surplus d'énergie du générateur photovoltaïque est injecté au réseau public et les demandes de puissance sont attachées sur le réseau.

b - Autonomes ou « stand-alone », ces installations isolées ne sont pas connectées au réseau, mais elles doivent assurer la couverture de la demande de la charge en tout temps. La puissance à la sortie du générateur photovoltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire la demande de charge, aussi l'autonomie du système est-elle assurée par un système de stockage d'énergie. En général ces installations comprennent quatre éléments [2].

- Un ou plusieurs modules PV.
- Le système de régulation.
- Une ou plusieurs batteries.
- L'onduleur.

Dans ce chapitre, nous décrivons la conception d'un système photovoltaïque, et le principe de fonctionnement de chaque élément le constituant :

La **Figure I.1** présente un schéma simplifié d'un système photovoltaïque :

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

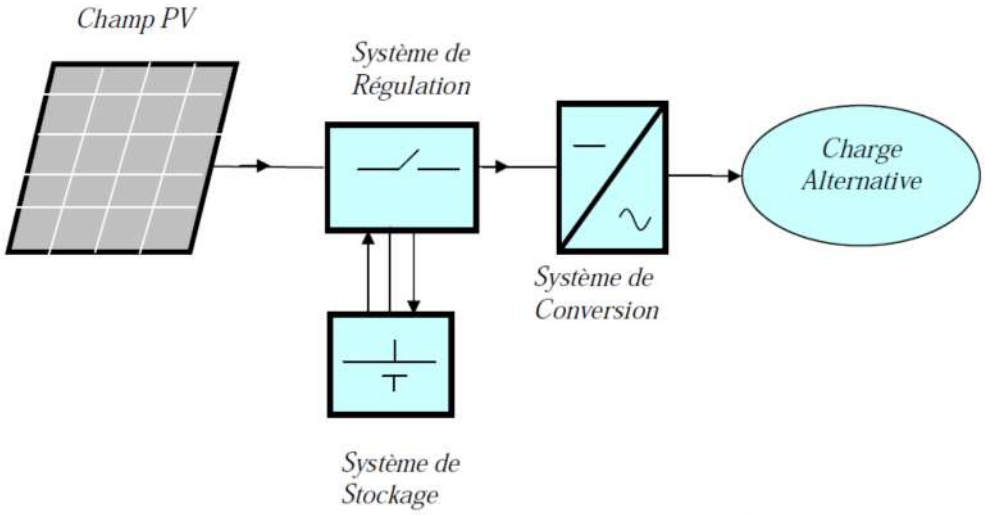


Fig.I.1. Schéma simplifié d'un système PV [3]

PFE Electrification Solaire PV -BERKA

I.2 Rayonnement solaire :

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19 % d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance. Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [4].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère présente un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0.5µm, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°k [5] :

- Diamètre du soleil : Ds =1.39.109m.
- Diamètre de la terre : Dt =1.27.107m.

- Distance moyenne soleil-terre : Lts =1.5.1011m

On trouvera sur la figure (I.2) la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

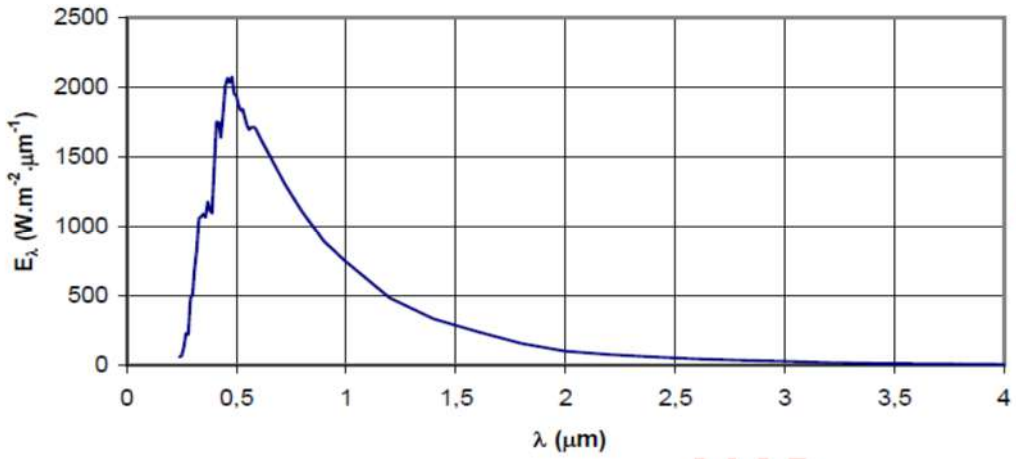


Fig. I.2 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère [6].

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'onde inférieures à 4 µm. En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 K.

I.3 Description des éléments d'un système photovoltaïque :

I.3.1 Les cellules photovoltaïques :

Les cellules solaires PV sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité.

Dans **la Fig. I.3** un échantillon schématique d'une configuration de la cellule solaire, Elle se compose d'un abri du verre (g), un encapsulant (e), et un métal en arrière contact (m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident [5].

PFE Electrification solaire PV -BEK

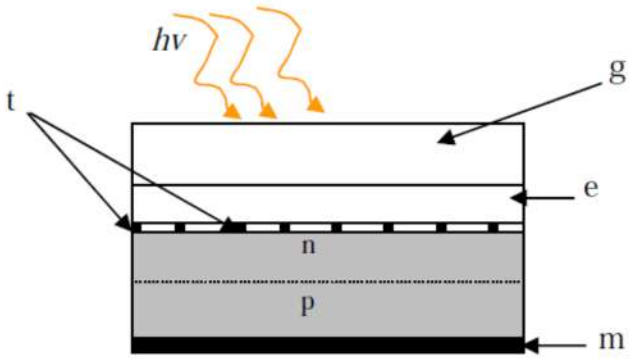


Fig. I.3 : Schéma d'une cellule solaire

Dans une cellule PV, une large fraction de ces électrons et trous atteignent la jonction p- n, et un champ électrique est créé. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les matériaux de type-n et type-p à un circuit extérieur. La direction de ce courant est l'opposé de celle de la cellule lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, autrement dit, quand la diode est illuminée, un courant positif « I » traverse de n vers p.

La puissance électrique produite par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt [7].

Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium poly-cristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe.

Pour élever la tension, les cellules sont commercialisées sous forme des modules photovoltaïques.

I.3.2 L'effet PV :

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière; les éléments de couches supérieurs ont tendance à être arrachés ou décrochés.

Ces derniers créent une tension électrique. L'effet photovoltaïque consiste en une conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Le terme PV vient du grec: "photo" qui désigne la lumière et "voltaïque" mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine-

I.3.3 Le module photovoltaïque :

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module **Fig. (I.4-a).** Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyle-acétate) **Fig. (I.4-b)** et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [8].

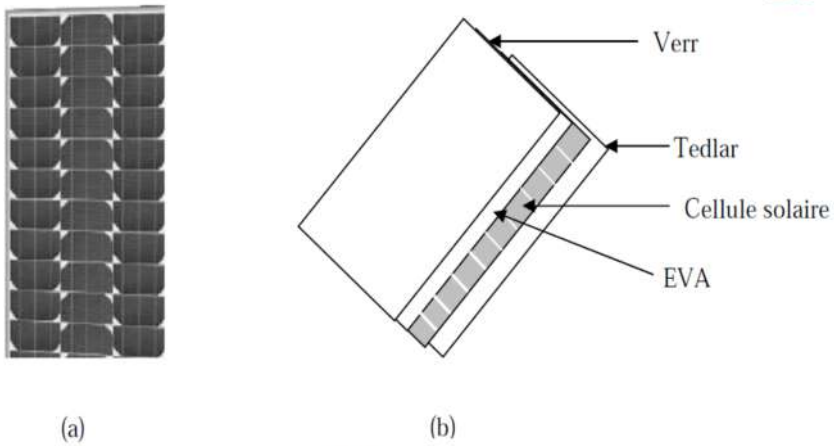


Fig. I.4 : Module photovoltaïque.

I.3.4 Le panneau solaire :

Le panneau solaire **Figure. I.5** ou (champ solaire) se compose de plusieurs modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise.

Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

PFE Electrification Solai



Fig. I.5 : Panneau solaire [9]

Le câblage de ces boites permet d'avoir une sortie en 12, 24 ou 48 volts selon les modules, elles sont équipées de deux à douze entrées, selon les tensions de sortie.

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend :

- Des besoins en électricité.
- De la taille du panneau.
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- De la saison d'utilisation.

I.3.5 Système de conversion :

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu-alternatif).

L'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil [10].

PFE Electrification solaire PV-BERKA

I.3.6 Le convertisseur continu- alternatif :

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La formation de l'ordre de sortie peut être assurée par deux dispositifs :

I.3.6.1 Rotatif : c'est un moteur à courant continu couplé à un alternateur, son rendement varie de 50% à 60% pour 1 kW jusqu'à atteindre 90% pour 50kW.

Ses avantages sont : simplicité, onde sinusoïdale, bonne fiabilité.

Ses inconvénients sont : cherté, faible rendement (surtout pour les faibles puissances).

I.3.6.2 Statique : on le désigne sous le nom d'onduleur. C'est un dispositif utilisant des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans le plus simple des cas, une forme carrée qui peut s'adapter à quelques types de charges, des pertes a vide considérables surtout pour des faibles puissances. Les onduleurs peuvent être améliorés à l'aide d'un filtrage ou par utilisation des systèmes en PWM (pulse width modulation) qui permettent grâce à la modulation de la longueur des impulsions d'obtenir une onde de sortie sinusoïdale [10]. Avec ce système, on obtient :

- Un rendement élevé sur une plage du taux de charge.
- De faibles pertes à vide.

La figure suivante illustre un onduleur triphasé autonome à fréquence variable à commutation forcée de type MLI (modélisation de largeur d'impulsion) opéré en source de tension .Il est alimenté à partir de la tension continue générée conjointement par le redresseur et le hacheur série, il est réalisé à base de transistors IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Le choix de ce type de composant relève, d'une part de sa particularité à pouvoir commuter de très grandes valeurs de courant et tension à des fréquences de découpage de plusieurs dizaines de KHz et d'autre part, parce qu'il permet la suppression de tous les circuits d'aide à la commutation des montages à thyristors.

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

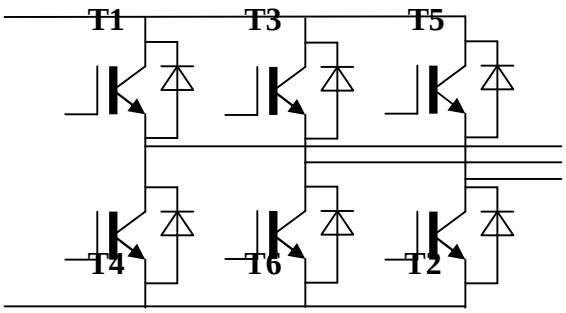


Fig. I.6 Schéma de l'onduleur [5].

I.3.6.3 la puissance nominale : C'est la puissance exprimée en VA que le convertisseur est capable de délivrer en fonctionnement permanant. Théoriquement, le choix de la puissance à délivrer doit être la somme des puissances des équipements installés ou à installer, mais en pratique, il est rare que tous les appareils fonctionnent en même temps et le choix de la puissance nominale résultera de la valeur maximale du profil moyen de la consommation.

I.3.6.4 Le rendement : c'est un critère très important, car il influe sur le dimensionnement du champ PV et de la batterie. Celui-ci varie en fonction du taux de charge (rapport de la puissance de sortie et de la puissance nominale), ainsi que la variation de ce rendement varie d'un onduleur à un autre. Le rendement de l'onduleur est aussi donné entre l'énergie consommée par la charge et l'énergie fournie par la source continue.

I.3.6.5 La consommation à vide : Une consommation importante à vide va réduire l'énergie emmagasinée par la batterie (cas de nuit) [11]. Pour cette raison, il est important de limiter les pertes à un faible pourcentage de la puissance nominale (1 à 5%). Pureté de la tension sinusoïdale pure (220v - 50Hz). La plus ou moins grande pureté de la tension de sortie est obtenue grâce à :

- Un système de régulation qui tend à maintenir la tension et la fréquence aux valeurs nominales, quelle que soit la tension d'entrée.
- Un filtrage en sortie de l'onduleur, qui tend à lisser la forme de la tension donc à réduire le taux d'harmonique.

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

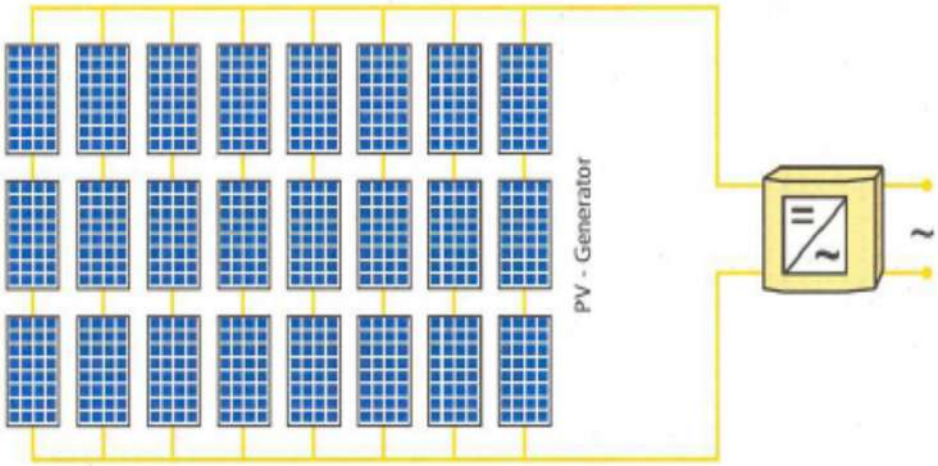


Fig. I.7 L'arrangement des panneaux avec l'onduleur

I.3.7 La Charge :

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système peut être de type continue comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, ou de type alternative dans les cas d'usage domestique (maison solaire), ce cas nécessite un onduleur.

I.4 Principe de fonctionnement :

Le rayonnement arrivant sur la cellule solaire une partie sera réfléchie, une partie absorbée et le reste passera à travers l'épaisseur de la cellule. Les photons absorbés vont libérer un électron (négatif) laissant un trou (positif) derrière lui. La méthode utilisée pour créer un champ électrique est celle du "dopage" par des impuretés [12].

Deux types de dopage sont possibles :

I.4.1 Le dopage de type n (négatif) :

Consiste à introduire dans la structure cristalline des atomes étrangers qui ont la propriété de donner chacun un électron excédentaire libre (négatif), c'est le cas du phosphore (P) dans le silicium (Si).

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Houcine-

I.4.2 Le dopage de type p (positif) :

Le plus utilisé est le Bore (B). Il en résulte après recombinaison des deux parties d'un champ électrique.

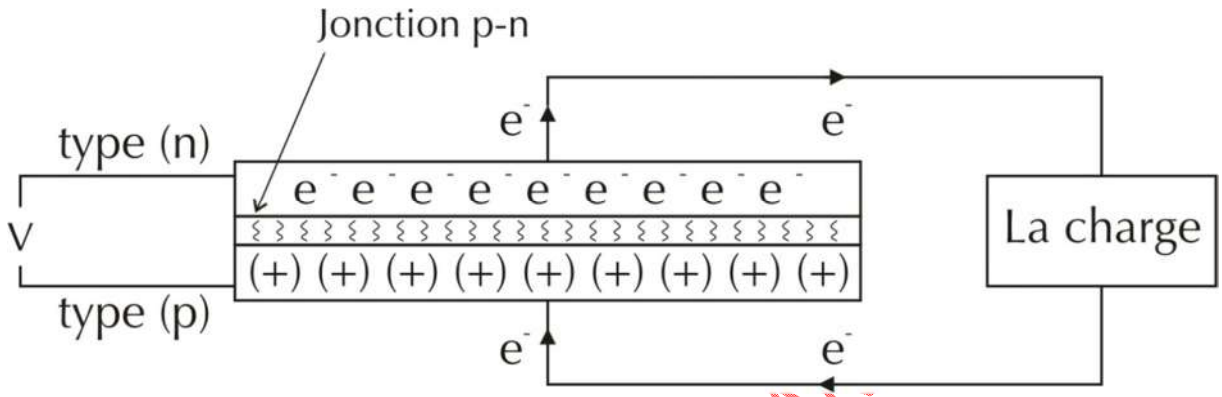


Fig. I.8 Principe de fonctionnement d'une cellule PV [12]

PFE Electrification solaire PV -BERKA

I.4.3 Association des cellules en série :

$$U = \sum_{i=1}^{n} U_{Ci} \qquad (I-1)$$

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n \qquad (I-2)$$

I.4.4 Association des cellules en parallèle :

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_{Ci} \qquad (I-3)$$

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \qquad (I-4)$$

I.4.5 Les caractéristiques électriques d'un module PV :

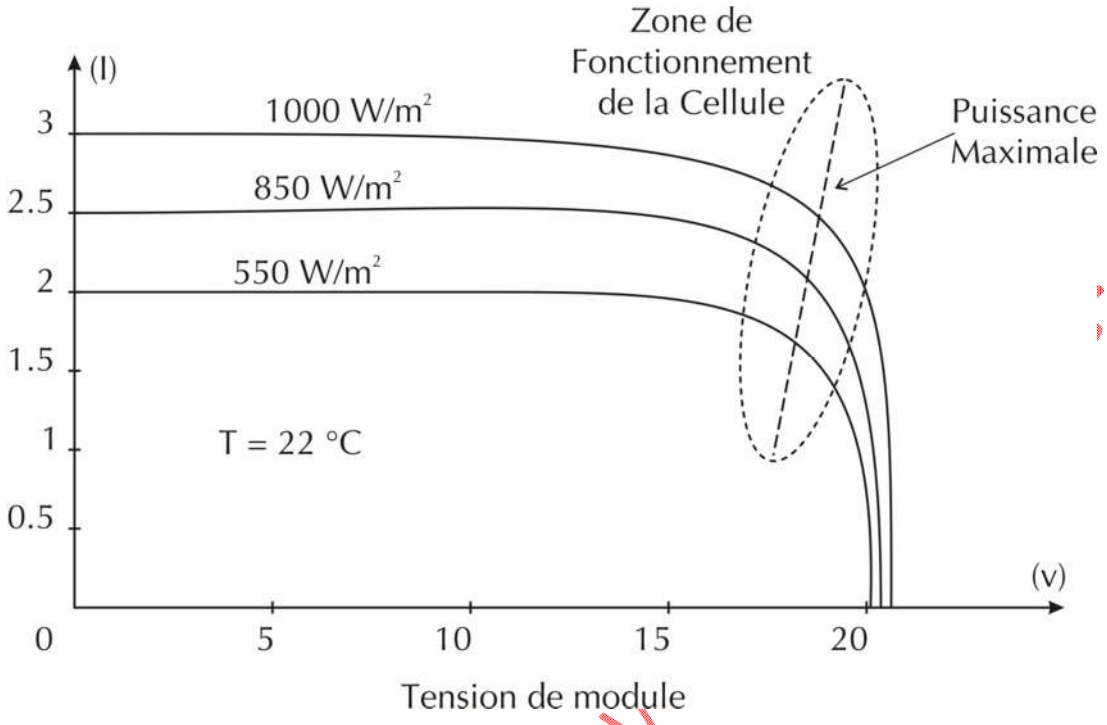


Fig. I.9 Caractéristiques, le courant électrique-la tension, pour T = 22 °C [12]

PFE Electrification solaire PV

I.5 Les caractéristiques énergétiques d'un module PV:

$$\boldsymbol{E_{ele} = E_{lum} - P_{ther}} \qquad (I-6)$$

D'où

$E_{élé}$: L'énergie disponible aux bornes de la cellule PV

E_{lum}: L'énergie incidente [J]

P_{ther}: Les pertes thermiques (par convection, rayonnement et conduction)

I.5.1 Le rendement d'un module PV :

$$\eta = \frac{E_{ele}}{E_{lum}} \qquad (I-7)$$

I.5.2 Le générateur photovoltaïque :

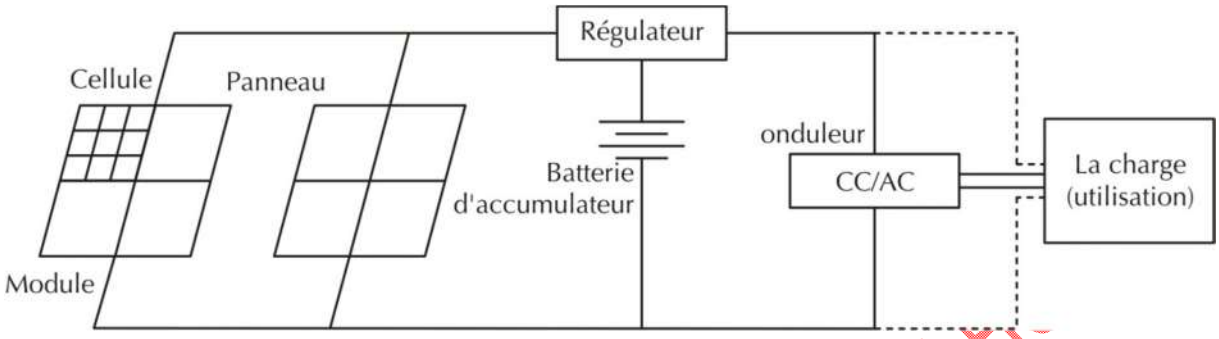


Fig. I.10 système le générateur photovoltaïque [12]

I.5.3 Rendement de l'onduleur :

La formule de rendement de l'onduleur [13]:

$$\eta_{Ond} = a \cdot (1 - \exp(b \cdot \tau)) \qquad (I-8)$$

Où : a et b sont des constantes (a =0,9559 ; b = -609164)

τ: Taux de charge, donnée par : $\tau = \frac{P_I}{P_N}$

P_I : puissance à l'entrée de l'onduleur.

P_N : puissance nominale.

La variation du rendement de l'onduleur en fonction du taux de charge est représentée sur la figure suivante :

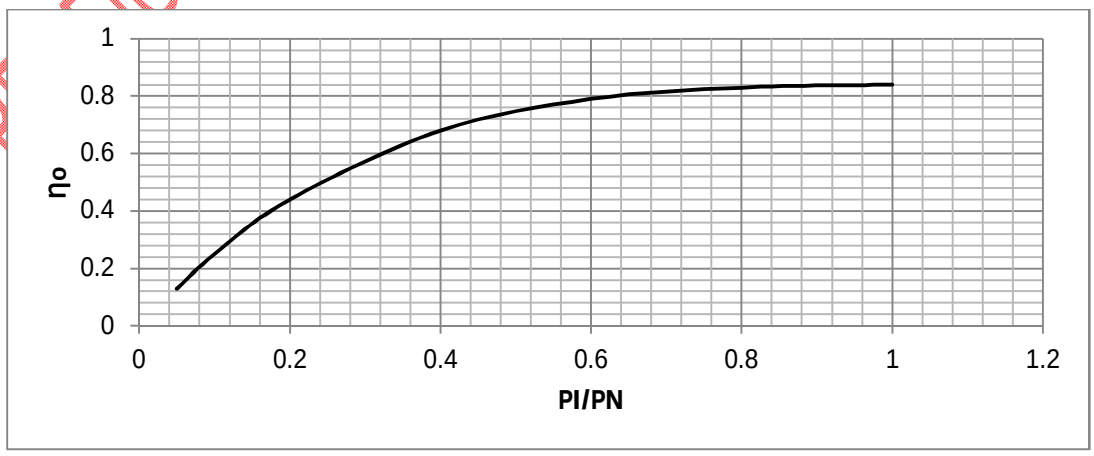


Fig. I.11 Rendement d'onduleur en fonction du rapport de puissance [14]

PV-Electrification Solaire PV -BERKANI

I.6 Le dimensionnement d'une installation :

- Estimation de la consommation journalière.
- Calculer la charge des panneaux **:**

$$Cp = \frac{La\ consommation\ journalière}{L'efficacité\ de\ la\ batterie\ \eta_b\ x\ L'efficacité\ du\ régulateur\ de\ la\ charge\ \eta_R}$$

- Définir le rayonnement journalier moyen, [Wh/m^{2}jour] pour le mois le plus défavorable (Janvier).

- Calculer la taille des panneaux nécessaire :

$$Tp = \frac{La\ charges\ des\ panneaux}{Le\ rayonnement\ journalière\ x\ 0.85}$$

- Calculer la capacité de batterie :

$$Cb = \frac{La\ consommation\ journalière\ x\ coefficientd'autonomie}{Le\ voltage\ nominal\ de\ la\ batterie\ x\ le\ coefficient\ de\ décharge\ maximale\ \%}$$

I.7 Avantages et inconvénients d'une installation PV :

I.7.1 Avantages :

- D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles, ce qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- En suite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatts au Mégawatts.
- Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits, et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

PFE Electrification Solaire PV -BENKANI Hocine-

I.7.2 Inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km^2 par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.
- Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

I.8 Systèmes solaires domestiques :

Le système solaire photovoltaïque le plus courant en milieu rural est le système solaire domestique, constitué d'un panneau solaire relié à une batterie et à un contrôleur de charge. Il comprend généralement au moins une lampe et une prise pour alimenter d'autres appareils électriques tels que la radio, un téléviseur et un réfrigérateur

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

I.8.1 Application pour une maison rurale isolée :



Fig. I.12 d'une maison rurale isolée [15].

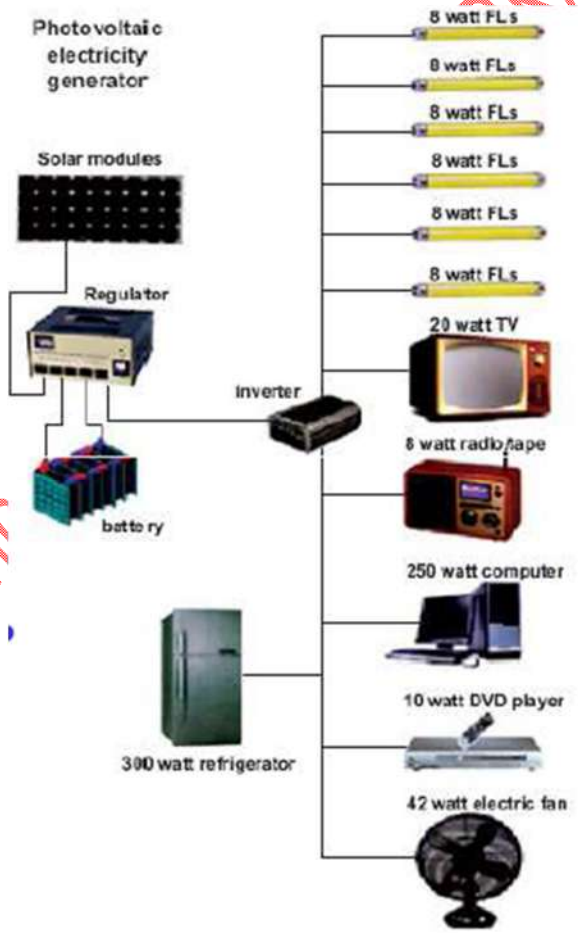


Fig. I.13 Les principaux usages de l'électricité en milieu rural [16].

PFE Electrifi KANI Hocine-

I.8.1.1 Estimation des besoins journaliers :

- On a 6 lampes de 8 W avec 6 h/jour de fonctionnement.
- Une radio de 8 W
- Un téléviseur de 20 W
- Un réfrigérateur de 300 W
- Un ordinateur de 250 W
- DVD Player de 10 W
- Un ventilateur électrique de 42 W

I.8.1.2 Le rayonnement journalier pour le mois le plus défavorable : 4 Wh/m^{2}jour.

I.8.1.3 Données pour les accumulateurs :

- Le voltage nominal de la batterie est 12V.
- Le coefficient de décharge maximal est de 20%
- Le coefficient d'autonomie est 3jours
- L'efficacité de la batterie η_b = 0.8 et celle du régulateur de la charge est η_R = 0.9

I.8.2 Application d'une maison rurale :

1) Estimation de la consommation journalière:

$$(8x\ 6\ x\ 6) + (8\ x\ 6) + (20\ x\ 6) + (300\ x\ 6) + (250\ x\ 6) + (10\ x\ 6) + (42\ x\ 6)$$
$$= 4068\ Wh/\ jour$$

2) La décharge des panneaux:

$$= \frac{4068}{0.8\ x\ 0.9} = 5650\ Wh/jour$$

3) La taille des panneaux:

$$= \frac{5650}{4\ x\ 0.85} = 1661.76\ Wc$$

4) La capacité des batteries:

$$Cb = \frac{4068\ x\ 3jours}{12\ x\ 0.2} = 5085\ Ah$$

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

Chois le générateur PV :

- 9 modules de type Schott 185 Wc
- 11 batteries de type stationnaires 480 Ah
- Le régulateur assure la gestion de la charge et de la décharge de la batterie.

Remarque : L'unité de mesure de taille des panneaux, Wc (Watt-crête) c'est la puissance produite avec un rayonnement solaire standard de 1kW/m^2 et une température de 25 °C pour un module donné.

I.9 Eclairages publics [17] :

1. Panneau solaire :

Installer un panneau

Capacité des Panneaux 180Wc

2. Lampe :

La puissance de lampe 65W

3. Batterie:

La capacité une batterie de 160 Ah

4. Détecte la tombée de la nuit et actionne:

Régulateur pour la protection des batteries, pour la détection de la tombée de la nuit et actionner l'éclairage.
La capacité de régulateur de 10 A

5. Support montage des panneaux

6. Crosse porte-lame

7. Coffres à batteries

8. Câbles et connecteurs

9. Poteau de lampadaire



Fig. I.14 éclairage public utilisé par système photovoltaïque [17]

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Hocine-

I.10 Constitution d'un système de pompage photovoltaïque :

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable. Ses performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température ambiante, obstacles géographiques), du rendement des modules, mais aussi des caractéristiques des autres équipements (onduleur, moteur, pompe,…).

Le pompage solaire se fait toujours au fil de l'eau pour s'affranchir des accumulateurs qui sont des équipements onéreux à changer tous les 2/3 ans.

Sur un réseau d'eau, le réservoir à une fonction similaire à un accumulateur.

- Les panneaux solaires fournissent la puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe. Le montage de ceux-ci en série permet d'obtenir la tension voulue au convertisseur (on additionne les tensions de chaque module).
- le convertisseur permet l'alimentation en courant alternatif 220V de la pompe à partir du courant continu fourni par les panneaux solaires. Le débit de la pompe et donc la vitesse de rotation du rotor variera en fonction de l'ensoleillement avec un débit maximum au milieu de la journée.

L'électricité produite par les panneaux est un courant continu d'une intensité de quelques ampères, sous une tension de 12 à 18V.

Le rendement des panneaux solaires est fonction de l'ensoleillement et de l'angle d'exposition d'une part et de la température des cellules d'autres part.

Le schéma général d'un système de pompage photovoltaïque suivant:[18]

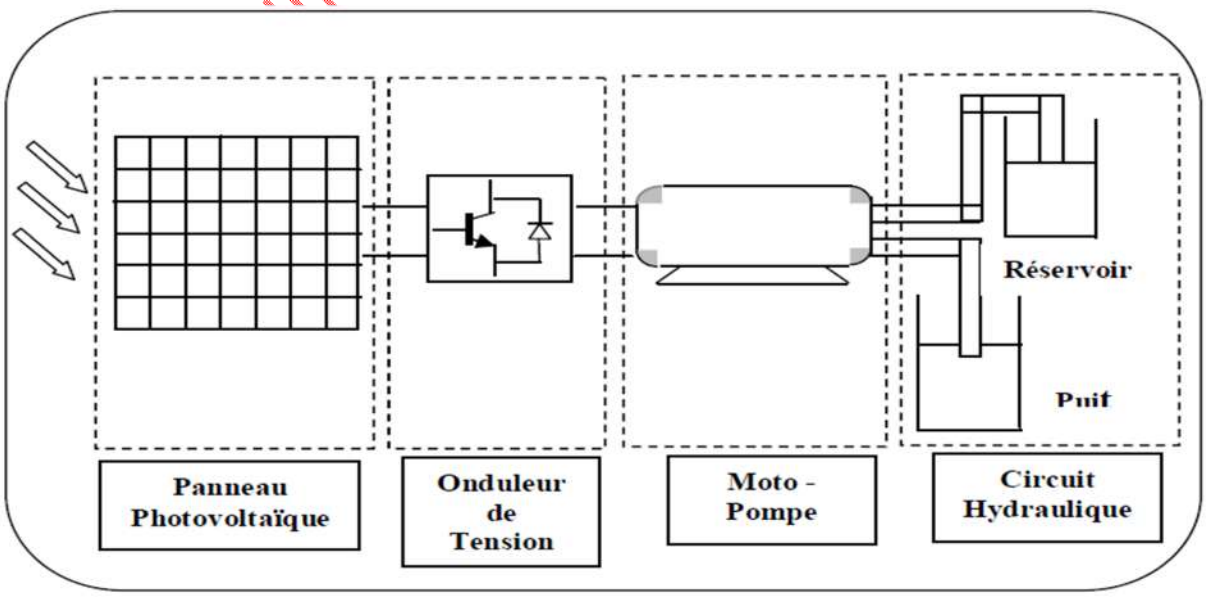


Fig. I.15 Schéma général d'un système de pompage photovoltaïque

ification Solaire PV - BERKANI Hocine



Fig. I.16 Installation de pompage photovoltaïque. Bechar [19]

I.10.1Pompe centrifuge :

Performances de la pompe à une vitesse du rotor maximale: **ω = 185.7 rad/s**.

Débit maximal **Q = 19.9 m^3/h.**

Puissance moteur **P = 598.4 W** avec 6 h/jour de fonctionnement donc :

Estimation de la consommation journalière de 3590.4 Wh/jour

La taille des panneaux de 1056 Wc

Donc le nombre du module Schott 185 Wc **N_p= 6**

Il n'est pas besoin d'utiliser des batteries de stockage

I.11 Système d'énergie solaire de l'antenne réseau mobilis de la nouvelle ville boughzoul :

I.11.1 Application pour une antenne réseau mobilis :

Pour appliquer le système photovoltaïque sur une antenne réseau mobilis dans de la nouvelle ville boughzoul à la période 10/04/2012 on à [20] :

- Anc un index consommation de puissance : 30031 kWh
- Nouvel index consommation de puissance : 30764 kWh
- Différence de la consommation de puissance par 3 mois : 733 kWh

1 **Le rayonnement journalier pour le mois le plus défavorable :** 4 Wh/m^2 jour.

2 **Données pour les accumulateurs** :

PFE Electrification solaire PV-BERKANI

- Le voltage nominal de la batterie est 12V.
- Le coefficient de décharge maximal est de 20%
- Le coefficient d'autonomie est de 3 jours
- L'efficacité de la batterie η_b = 0.8 et celle du régulateur de la charge est η_R = 0.9

Application une antenne réseau mobilis :

1) calcule consommation de puissance journalière :

$$= \frac{733}{90} = 8.14\ k\ Wh/jour$$

2) La décharge des panneaux:

$$= \frac{8140}{0.8\ x\ 0.9} = 11305.55\ Wh/jour$$

3) La taille des panneaux:

$$= \frac{11305.55}{4\ x\ 0.85} = 3325.16\ Wc$$

4) La capacité des batteries:

$$Cb = \frac{8140x\ 3jours}{12\ x\ 0.2} = 10175\ Ah$$

Chois le générateur PV :

- 18 modules de type Schott 185 Wc
- 22 batteries de type stationnaires 480 Ah
- Le régulateur assure la gestion de la charge et de la décharge de la batterie.

PFE Electrification Solaire PV - BERKANI Hocine-



Fig. I.17 l'antenne de réseau isolée par de système photovoltaïque [21]

I.12 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la constitution d'un système de captage photovoltaïque. Ainsi que les principes de fonctionnement de chaque élément. Ce qui permet d'introduire le photovoltaïque. Notion qu'on va présenter dans le chapitre II.

PFE Electrification solaire

Chapitre II : Photovoltaïque

II.1 Introduction :

Photovoltaïque offre aux consommateurs la possibilité de produire de l'électricité de manière propre, silencieuse et fiable. Les systèmes photovoltaïques sont constitués de cellules photovoltaïques, des dispositifs qui convertissent l'énergie lumineuse directement en électricité. Parce que la source de lumière est généralement le soleil, ils sont souvent appelés cellules solaires. Le photovoltaïque, ce mot vient de «photo», qui signifie lumière, et "voltaïque", qui se réfère à la production d'électricité. Par conséquent, le processus photovoltaïque est "produire de l'électricité directement à partir de la lumière du soleil." Photovoltaïque est souvent dénommé PV.

II.2 L'électricité photovoltaique :

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire.

La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photo électrique. Plusieurs cellules sont reliées entre-elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Cette installation produit de l'électricité qui peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution. Les panneaux Solaires en Silicium, transforment le rayonnement solaire en courant électrique.

II.3 Historique :

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- **1954 : Trois chercheurs américains, Chaplin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où**

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Hocine-

l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

- **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- **1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première *cellule photovoltaïque (ou photopile)* a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs.

Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires.

En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé [22].

II.4 Forces et faiblesses:

L'énergie solaire photovoltaïque possède un certain nombre de caractéristiques qui répondent bien aux problèmes de notre temps[23] :

- d'abord et conformément aux vœux des ingénieur des années 60,la source énergétique est bien d'origine … nucléaire, mais elle se trouve à 150 millions de Km de distance avec en prime le retraitement des déchets intégré et une durée de vie qui se chiffre en milliards d'années…
- chacun de nous dispose de la source à sa porte, les plus privilégiés pouvant se targuer d'en posséder trois fois plus que les plus démunis, les premiers cités étant paradoxalement les plus pauvres. Les technologies actuelles utilisent le silicium comme matériau de base; deuxième élément de la croûte terrestre en abondance, il est dérivé du sable et sa mise en œuvre est inoffensive.
- les installations sont silencieuses, non polluantes et demandent peu de maintenance.

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Houcine-

- grâce à leur construction modulaire, les systèmes photovoltaïques offrent la flexibilité des sources d'énergies décentralisées où la production peut se faire sur le site d'utilisation, de quelque dizaines de watts à quelque dizaines de MW.
- à l'instar de nombreuses autres industries, les produits photovoltaïques obéissent à la loi de Verdoorn suivant laquelle chaque décuplement de la production cumulée s'accompagne d'une réduction par un facteur deux des coûts unitaires des objets produits.
- en revanche, à l'encontre des sources traditionnelles d'énergie, les systèmes photovoltaïques ne suivent pas de loi d'économie d'échelle dans leurs coût d'installation. C'est donc une industrie créatrice d'emplois en aval dans l'installation et le service, proportionnellement à la puissance installée.

La filière photovoltaïque présente aussi quelque inconvénients qu'on ne peut ignorer[23] :

- la source est diluée (100 à 1000 W/m^2)
- elle est périodique et aléatoire
- elle ne se stocke pas facilement
- le facteur de charge est faible (2000 h d'ensoleillement par an en Afrique correspondent à un facteur de charge de 0,25 et 1000 h en Allemagne, à seulement 0,12).
- les rendements photovoltaïques sont faibles (5 à 15% suivant les technologies)
- les coûts de production restent encore très élevés par rapport aux filière classiques.

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Houcine-

II.5 Le potentiel solaire :

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde et en particulier de la région **MENA** (fig. II.1).

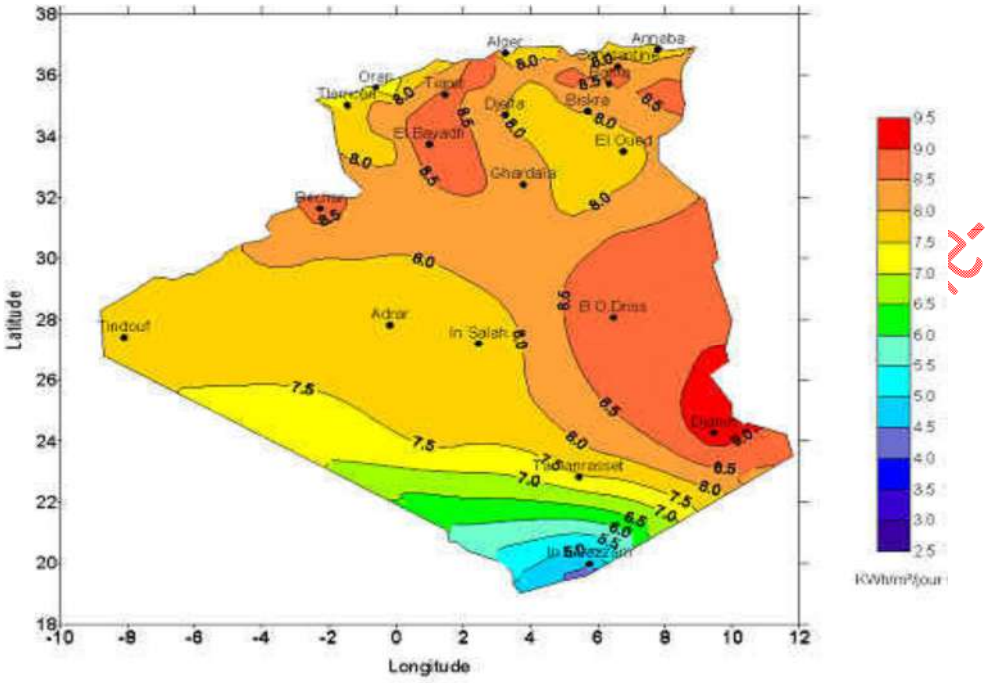


Fig. II.1 Potentiel Solaire [24].

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et attient les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m^2/an au Nord et 2263 kWh/m^2/an au Sud du pays. Le tableau 1 résume le potentiel solaire en Algérie [25].

Régions	**Région côtière**	**Hauts plateaux**	**Sahara**
Superficie(%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m^2/an)	1700	1900	2650

Tab. II.1 Potentiel Solaire.

PFE Electrification solaire

II.6 Potentiel du marché :

L'électricité en Algérie peut être produite à partir du photovoltaïque à travers les applications suivantes [26]:

- les systèmes connectés au réseau,
- l'hybridation des centrales diesel,
- l'électrification rurale.

En réalité, ces applications sont mutuellement exclusives, le recours à l'une d'entre elles dépend principalement du lieu d'utilisation (fig. II.2)

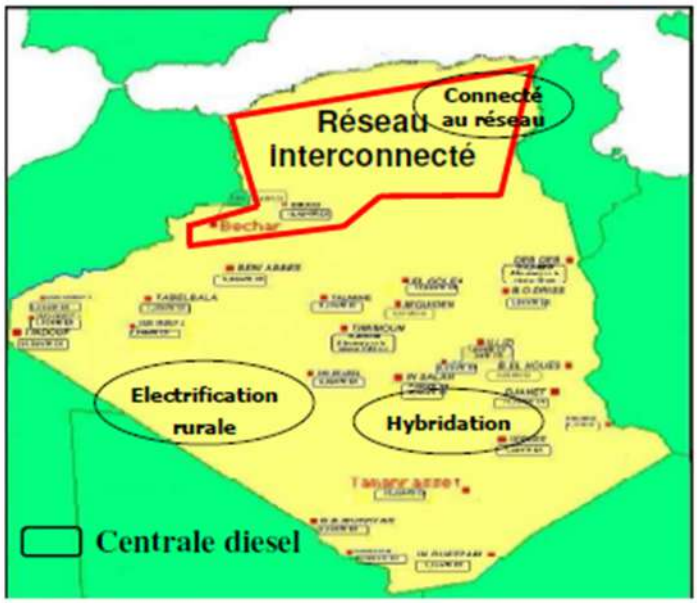


Fig. II.2 marché photovoltaïque Algérien [26].

PFE Electr... Hocine

II.6.1 Systèmes connectés au réseau :

C'est l'application la plus développée à travers le monde où plus de 98% de la puissance photovoltaïque installée est raccordée au réseau. Ce réseau peut être de la basse tension pour les systèmes individuels ou bien de la moyenne tension pour des installations centralisées.

Avec un taux de croissance de 7,3% [27] la consommation énergétique nationale sera de 74 TWh à l'horizon 2017. Deux scénarios peuvent être considérés :

- Scénario modéré pour lequel la contribution des systèmes connectés au réseau dans le bilan énergétique est de 1%,

- Scénario fort qui correspond à une contribution de 2%

Pour une évolution de 35% de la puissance photovoltaïque à installer annuellement (moyenne au niveau mondial ces dix dernières années) [28], nous représentons le développement du marché en Algérie par la fig. II.3. En commençant, pour le scénario fort, avec 40 MW en 2011 nous atteindrons 240 MW à installer pour l'année 2017.

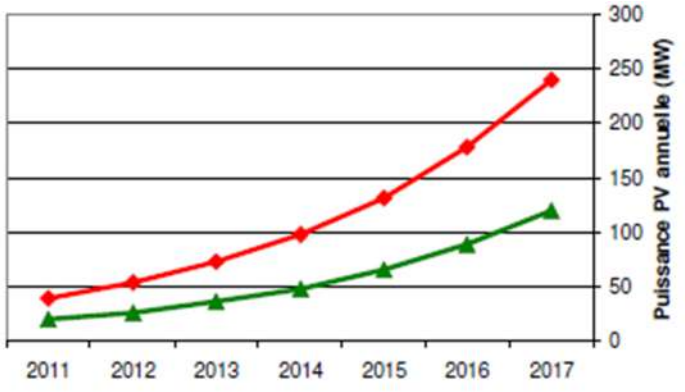


Fig. II.3 Marché annuel [26].

La puissance cumulée à l'horizon 2017 sera 915 MW pour le scénario fort et 407 MW pour le scénario modéré (fig. II.4).

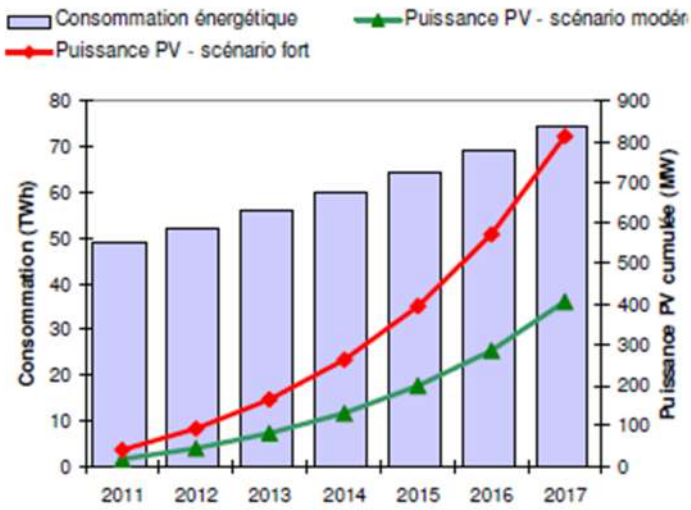


Fig. II.4 Puissance PV cumulées [26].

II.6.2 Hybridation des centrales diesel :

L'hybridation des centrales diesel par le photovoltaïque permet de réduire considérablement la consommation de fuel acheminé sur de longues distances et dont le coût réel de livraison sur site s'avère très onéreux. [29]

En considérant une évolution annuelle de 7,8% de la puissance maximale appelée au niveau du parc diesel, nous atteindrons 158 MW en 2017. Un scénario modéré prévoit une contribution du photovoltaïque à hauteur de 10% dans la puissance produite, et un scénario fort correspond à une contribution de 20%.

En commençant avec 1.5 MW en 2011 nous atteindrons 9,3 MW à installer pour l'année 2017 (fig. II.5) [26] :

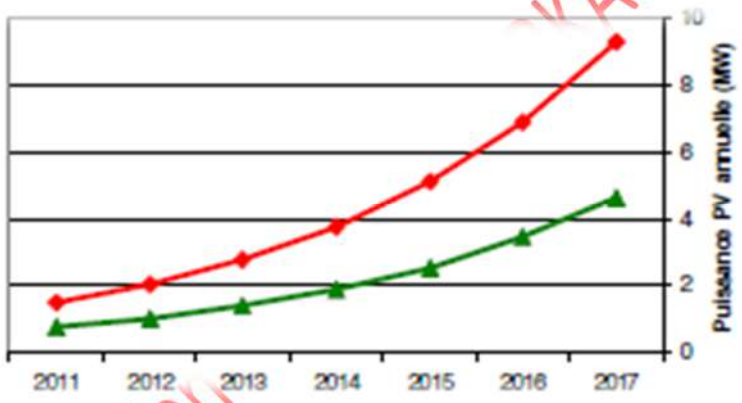


Fig. II.5 Marché annuel.

La puissance cumulée à l'horizon 2017 sera 31,4 MW pour le scénario fort et 15,7 MW pour le scénario modéré (fig. II.6)

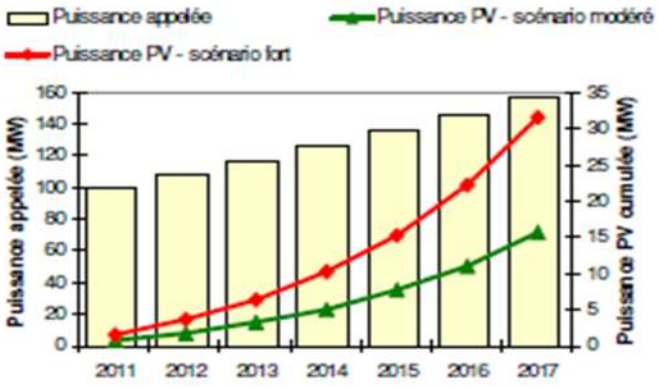


Fig. II.6 Puissance PV cumulées [26].

PFE Electrification ... KANI Hocine-

II.6.3 Electrification rurale :

Pour cette application nous donnons un scénario faible pour lequel 500 foyers doivent être électrifiés annuellement et un scénario fort où l'objectif est d'électrifier 20 000 foyers à l'horizon 2017. La puissance à installer annuellement est de 0,4 MW pour le premier scénario et varie de 0,7 MW en 2011 à 4,4 MW en 2017 pour le second (fig. II.7) [26]

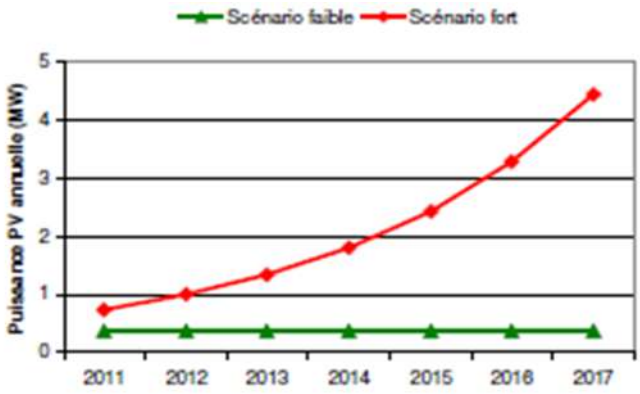


Fig. II.7 Marché annuel.

La puissance cumulée à l'horizon 2017 sera 15 MW pour le scénario fort et 2,6 MW pour le scénario faible (fig. II.8)[26].

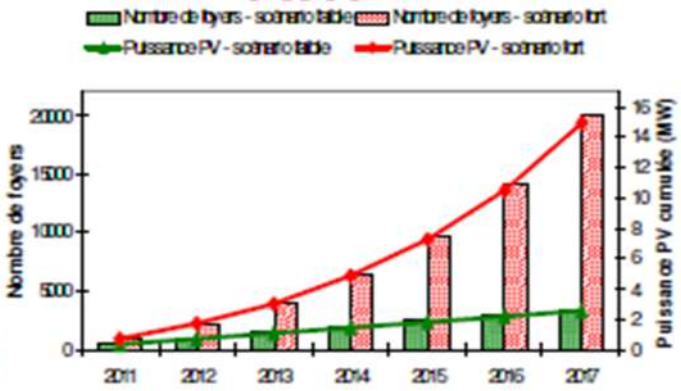


Fig. II.8 Puissance PV cumulées.

Ainsi, le potentiel global du marché algérien jusqu'à 2017 avoisine les 860 MW dont le connecté au réseau représente 94% contre 4% pour l'hybridation et 2% pour l'électrification rurale (fig.II.9).

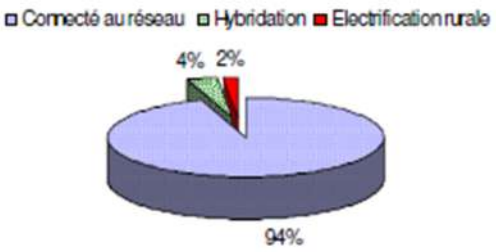


Fig. II.9 Marché du PV par application [26].

II.7 Technologie de Fabrication des Modules PV :

Le module solaire UDTS 50 est composé de 36 cellules solaires carrées au silicium monocristallin, de 10 cm de côté, connectées en série. Les cellules de ce module, laminées et dotées d'un revêtement antireflet, sont enrobées dans l'E.V.A. qui permet la dilatation thermique. L'encadrement assure en outre la protection contre l'humidité, la résistance aux UV, de même que l'isolation électrique. La plaque de recouvrement frontale en verre hautement transparent ayant subi une trempe spéciale laisse particulièrement bien passer la lumière et est très robuste. La face arrière en Pedlar est durablement liée à la plaque de recouvrement en verre. Des profils en aluminium anodisés vissés forment le cadre rigide du module dans lequel le laminât est inséré. Le module solaire UDTS 50 dispose ainsi d'une protection contre les influences mécaniques et climatiques. Une destruction possible du module en cas d'occultation partielle est ainsi empêchée grâce aux diodes de protection [30]. La face arrière du module Photo watt est remplacée par une plaque de verre.

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine-

II.7.1 Coût de fabrication des modules et prix sortie usine :

En fait, grâce à une croissance supérieure aux prévisions les plus optimistes, nous avons eu le volume et le prix annoncé, dés 2004. Et la baisse du prix du silicium cristallin s'est arrêtée de 2004 à 2008 en raison de la crise de disponibilité du silicium solaire qui a gravement affecté les coûts de fabrication. Les fabrications de module en films minces, profitant de la situation pour refaire leurs marges, ont aussi suivi cette les figures.

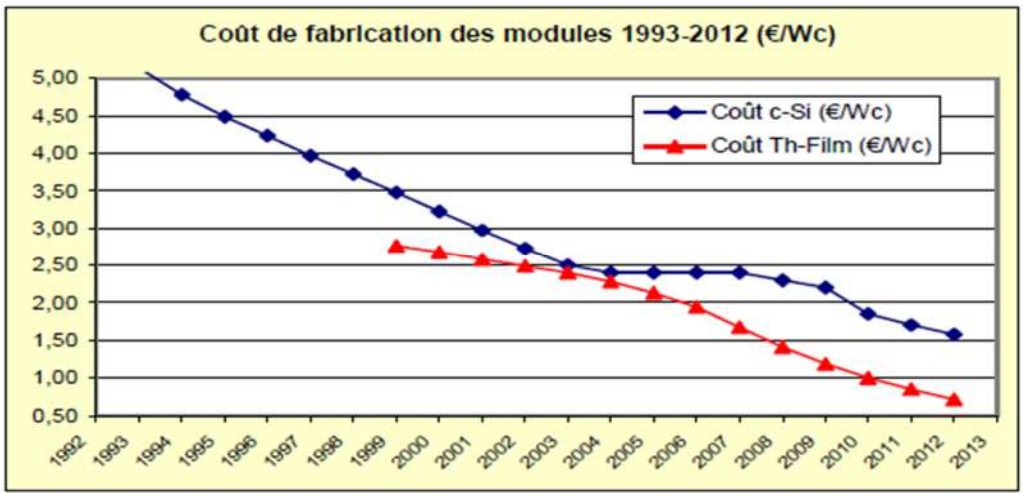


Fig. II.10 Evolution temporelle des coûts de fabrication des modules(1993-2012)[23].

Les coûts de fabrication des couches minces ont continué de baisser, mais comme on peut le constater sur la Figure 10 et sur la Figure 11, cette baisse n'a pas totalement été répercutée sur les prix de vente [23] .

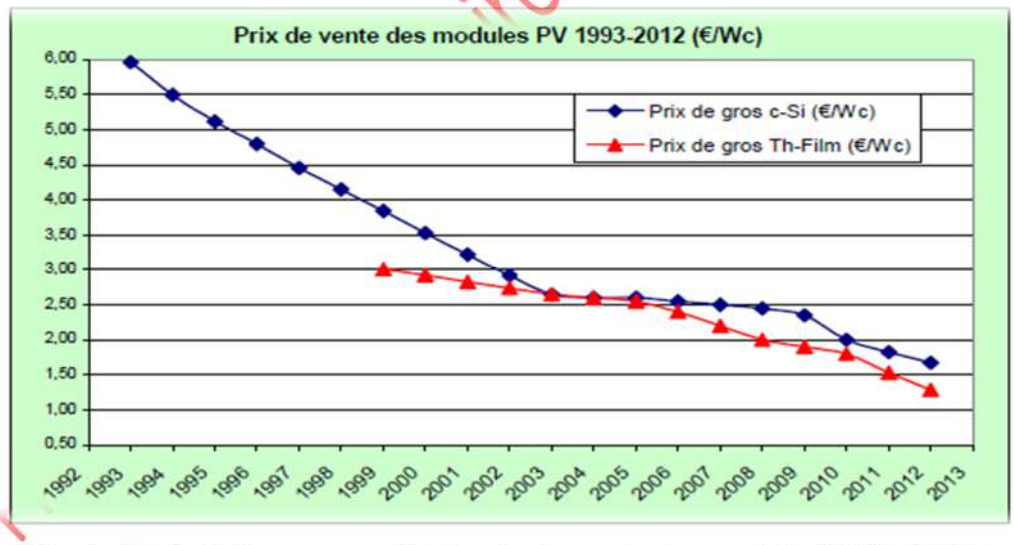


Fig. II.11 Evolution temporelle du prix de vente des modules(1993_2012).

En conséquence, on constate sur la période de la crise du silicium (2004-2009) une très forte augmentation de la marge des producteurs de modules en couches minces, alors que celle des fabricants de modules au silicium cristallin stagne [23] .

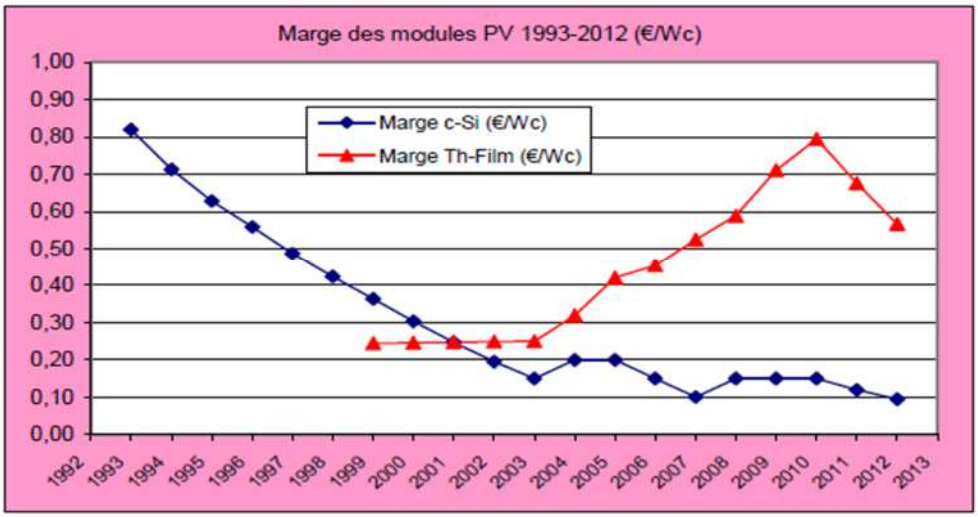


Fig. II.12 Evolution temporelle de la marge des modules [23] .

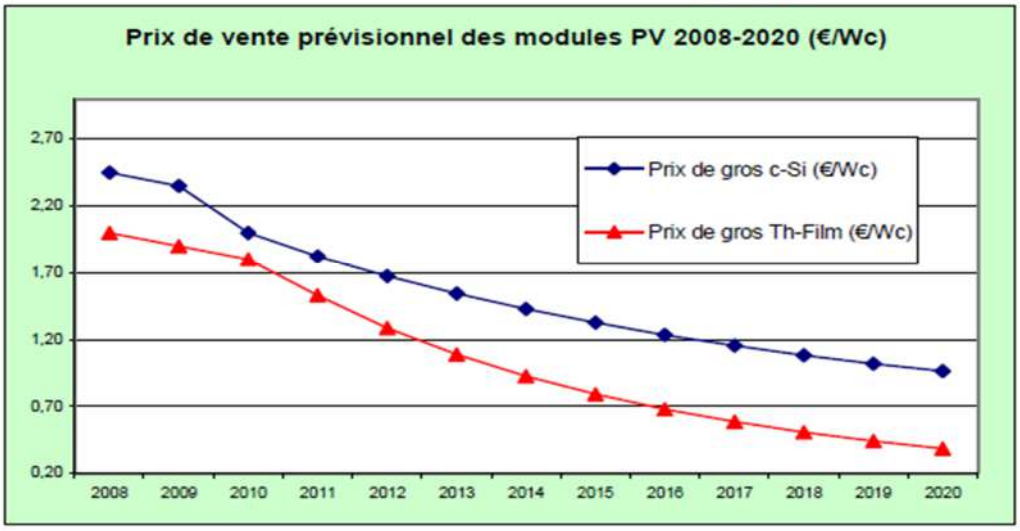


Fig. II.13 projection jusqu'en 2020 du prix de vente des modules (grands volumes).

Le coût des modules en couches minces baissant plus vite et pouvant atteindre une valeur asymptotique beaucoup plus faible que celle du silicium cristallin (passant sous la barre des 70 centomes dés 2017), on peut penser qu'à partir de 2012 la part de marché des couches minces augmentera de façon significative, reléguant le Si cristallin aux activités nécessitant le moins d'espace possible (un peu comme les écrans plats ont détrôné les tubes cathodiques en 2006) [23] .

II.7.2 Prix sortie usine :

Dans le Tab. II.2, nous présentons les coûts de fabriation moyens estimés en 2008 et les prix de vente usine pour des modules représentant chaque technologie. Nous écartons volontairement la technologie CdTe dans la mesure où first Solar qui en détient le quasi monopole fausse la comparaison parce qu'il a choisi le marché des grandes centrales en plein champ, que les coûts de fabrication annoncés en Mars 2009 (< 0,98 $/Wc) sont très inférieurs à toutes les autres technologies, et que les ventes ne se font que par très grosses quantités (>50 MWc) à de très gros acteurs, essentiellement pour des raisons de traçabilité à cause du recyclage obligatoire en fin de vie [23] .

Technologie	Mono c-Si	Poly c-Si	CIGS	a-Si:H
Coût fabrication (€ HT/Wc)	2,0	1,9	1,8	1,2
Prix de vente usine(€ HT/Wc)	2,4	2,3	2,2	2,1

Tab. II.2 Coûts de fabrication et prix de vente "sortie usine" de différents modules pour 2008.

Prix "distributeurs" des modules

Les marges effectuées par les distributeurs varient de 10 à 15% . Cela donne en moyenne pour les prix "distributeurs" pour chaque technologie.

	Technologie	Mono c-Si	Poly c-Si	CIGS	a-Si:H
Prix distributeur (€HT/Wc)	Inférieur (10%)	2,6	2,5	2,4	1,6
	Supérieur (15%)	2,8	2,7	2,5	1,7

Tab. II.3 Estimation des prix "distributeur" en 2008 pour chaque technologie

Les coûts distribureurs mentionnés sont des coûts estimés pour des achats de modules en grande quantité (supérieure à 1000 modules). Bien entendu , les coûts unitaires augmentent quand le nombre de module achetés décroit [23] .

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Hocine-

Prix"installateurs" des modules

Les marges effectuées par les installateurs varient de 20 à 30%. Cela donne en moyenne pour les prix "installaeteurs" pour chaque technologie :

	Technologie	Mono c-Si	Poly c-Si	CIGS	a-Si:H
Prix installateurs (€HT/Wc)	Inférieur (20%)	3,31	3,18	3,04	1,98
	Supérieur (30%)	3,59	3,45	3,29	2,15

Tab. II.4 Estimation des prix "installateurs" en 2008 pour chaque technologie

Les coûts "client final" (prix "installateurs" mentionnés) sont des coùts estimés pour des achats de modules en petites quantités (inférieures à 100 modules) [23].

II.8 Taux d'électrification rurale :

Les réalisations en matière d'installations photovoltaïques concernent en plus grande partie les applications liées à l'électrification rurale avec près de 60%. En effet, avec un taux d'électrification au niveau national avoisinant les 98%, les foyers restants à électrifier sont très épars et éloignés du réseau. La solution la plus adéquate techniquement et la plus compétitive financièrement est l'électrification à l'énergie photovoltaïque.

Plusieurs applications ont été réalisées comme les installations pour les systèmes de télécommunication, l'éclairage public, le pompage d'eau, les protections cathodiques et l'alimentation des systèmes de télémétrie au niveau des gisements d'hydrocarbures. La figure II.14 donne une répartition selon les secteurs d'utilisation [25].

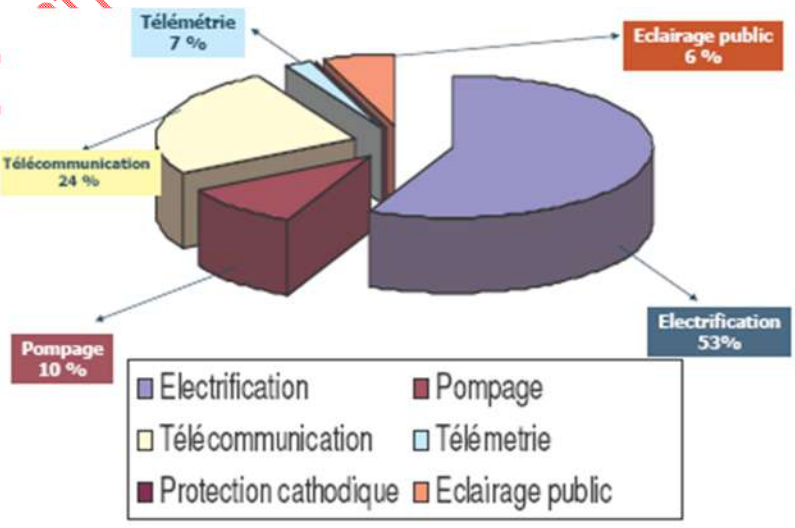


Fig. II.14 Répartition par domaine d'utilisation.

PFE Electrification Solaire PV -BERKANI Hocine

II.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants du système de photovoltaïque et potentiel de marché, changement du coût et prix de vente mondial jusqu'à 2020, réalisée de taux d'électrification rurale, ce qui permet d'introduire à la production d'électricité et programme d'énergie renouvelable en Algérie, chose qu'on va vous présenter dans le chapitre III.

PFE Electrification solaire PV -BERKANI Hocine-

Chapitre III :
Production d'électricité et Programme EnR en l'Algérien

III.1 Introduction :

L'électricité est aujourd'hui la forme d'énergie la plus aisée à exploiter. Mais avant de la consommer, il aura fallu la produire, en général dans les unités de production d'électricité de grande puissance, la transporter, puis la distribuer vers chaque consommateur. Ce qui représente un lourd fardeau financier pour l'électrification des locaux dans les sites isolés de notre pays. Installer des lignes électriques sur des centaines de kilomètres ne pourra pas résoudre ce problème. Ceci est par le fait de la présence des contraintes dues aux intempéries dont le vent de sable, les gradients de température entre les différentes saisons et celle entre la nuit et le jour pour la saison hivernale. A cet effet, nous avons pensé à contourner le problème par une autre solution à savoir le système hybride. Cette méthode de production d'électricité s'avère être rentable dans les régions isolées et ventées. Ainsi, ce système serait destiné à alimenter une charge à usage domestique et pouvoir satisfaire aux besoins avec une certaine garantie en matière d'autonomie.

III.2 Filiale SONELGAZ production d'électricité :

- Objet social : SONELGAZ production d'électricité a pour objet la production et la commercialisation de l'électricité. A ce titre, elle assure notamment les missions et obligations suivantes [32]:

- La maintenance et la sécurité des installations et équipements associés.

- Le respect des règles de protection de l'environnement.

- Le respect des obligations de service public en matière de régularité et de qualité de la fourniture d'électricité ainsi qu'en matière d'approvisionnement des clients.

- Le contrôle des paramètres de fiabilité du système de production dont elle a la charge.

- La participation directe ou indirecte dans toutes les activités ou opération industrielles, commerciales ou financières, mobilières ou immobilières en Algérie ou à l'étranger.

III.2.1 Analyse du parc de production(SPE) :

La production d'électricité en Algérie provient essentiellement des centrales thermiques qui regroupent la filière turbine à vapeur, la filière turbine à gaz, la filière diesel, ainsi que des centrales hydrauliques.

Pour savoir quelles filières parmi celles citées participent le plus au processus de production, on a fait recours à l'analyse du parc de production de SPE.

En étudiant pour chaque filière ses caractéristiques, ses performances en matière de disponibilité.

Le parc de la production de la filiale SONELGAZ production de l'électricité totalise une puissance installée de 6740MW dont 6425 MW raccordé au réseau interconnecté.

Cette puissance est réalisée par 4 filières de production qui sont [32] :

- La filière turbines à vapeur (TV) : constituée de 20 groupes totalisant une puissance installée de 2740 MW répartis dans 7 centrales de production, exploitées en base.

- La filière turbines à gaz (TG) : constituée de 89 groupes totalisant une puissance installée de 3576 MW répartis dans 18 centrales de production et dont le type d'exploitation dépend de l'implantation des centrales sur le réseau national de transport.

- La filière turbines hydrauliques (TH) : constituée de 26 groupes dont 8groupes hauts chutes d'une puissance totale de 209 MW et 18 groupes bas chutes, totalisant une puissance installée de 40 MW.

- La filière diesel composée de 151 groupes avec une puissance installée totale de 175 MW pour l'alimentation des réseaux isolés du sud.

La participation de chaque filière en puissance installée est donnée ci-dessous:

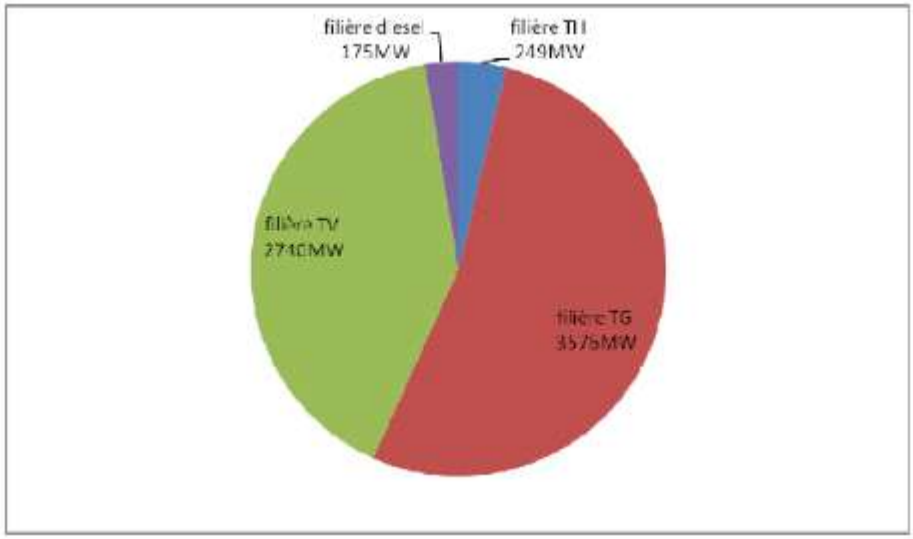


Fig. III.1 Répartition de la puissance installée du parc de production par filière [32].

TV: centrale turbine à vapeur

TG : centrale turbine à gaz

TH: centrale turbine à hydraulique

III.3 Politique nationale de développement des énergies renouvelables :

La politique nationale de promotion et de développement des énergies renouvelables en Algérie est encadrée par des lois et des textes réglementaires. Les principaux textes régissant les énergies renouvelables sont [25] :

- la loi sur la maîtrise de l'énergie,
- la loi sur la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable,
- la loi sur l'électricité et la distribution publique du gaz, avec son corollaire le décret exécutif relatif aux coûts de diversification.

Cette politique s'appuie sur un ensemble d'organismes et d'entreprises économiques prenant, chacun en ce qui le concerne, le développement des énergies renouvelables.

Plusieurs organismes, relevant du secteur de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique sont en activité, parmi lesquels nous citons [25] :

- le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER),

PFE Electrification solaire PV-BERKANI

- l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES),
- l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelable (URAER),
- l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien (URERMS),
- l'Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables (URMER) de l'Université de Tlemcen,
- l'Unité de Développement de la Technologie du Silicium (UDTS).

L'ensemble des organismes figure sur la carte donnée ci-après (fig. III.2).



Fig. III.2 Organismes du secteur de l'enseignement supérieur.

Au sein du secteur de l'énergie, l'activité relative à la promotion des énergies renouvelables est prise en charge par le Ministère de l'Energie et des Mines et l'Agence de Promotion et de Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) qui a été créée en 1987 et qui dispose d'un département dédié à cette activité [25]. Par ailleurs, la Direction Recherche et Développement qui a été érigée en 2005 en Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz (CREDEG), filiale du Groupe Sonelgaz, intervient actuellement dans les domaines des études liées aux énergies renouvelables, du développement et de la formation spécialisée.

Au niveau du secteur de l'agriculture, il faut signaler l'existence du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS) qui réalise des programmes importants dans le domaine du pompage de l'eau et de l'électrification par énergie solaire au profit des régions steppiques [25].

Sur le plan des opérateurs économiques, plusieurs sociétés sont déjà très actives dans le domaine des énergies renouvelables. On compte actuellement des dizaines d'opérateurs privés dont l'activité touche aux énergies renouvelables.

Le Ministère de l'Energie et des Mines s'attelle à la constitution d'un noyau pour cette industrie autour duquel pourraient se cristalliser tous les efforts. C'est dans la perspective de constituer un creuset où seront valorisés les efforts de la recherche et de disposer d'un outil efficace de mise en œuvre de la politique nationale sur les énergies renouvelables que le Ministère de l'Energie et des Mines a mis en place une société en joint-venture entre Sonatrach (société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures), Sonelgaz (société algérienne de l'électricité et du gaz) et le groupe SIM (semoulerie de la Mitidja). Il s'agit de la société New Energy Algérie (NEAL) créée en 2002 dont la mission est le développement des énergies renouvelables en Algérie à une échelle industrielle.

L'objectif de la stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie est d'arriver à atteindre, à l'horizon 2017 à une part de ces énergies (y compris la cogénération) dans le bilan électrique national qui serait de 5% [27]. L'introduction des énergies renouvelables aura pour conséquence [26]:

- une plus grande exploitation du potentiel disponible,
- une meilleure contribution à la réduction de CO2,
- une réduction de la part des énergies fossiles dans le bilan énergétique national,
- un développement de l'industrie nationale,
- la création d'emplois.

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine-

L'introduction des énergies renouvelables dans le bilan énergétique, à hauteur de l'objectif fixé, suppose des investissements importants, de plusieurs milliards de dinars. Les coûts associés à cette politique volontariste de l'Etat pour le développement des énergies renouvelables seront assumés en partie par les consommateurs d'énergie et en partie par l'Etat.

L'objectif global fixé nécessite aussi une forte implication des différents acteurs (autant institutionnels qu'économiques) qui doivent encourager l'expansion des sources d'énergie renouvelables.

II.4 Stratégie industrielle de développement des EnR :

Objectif ambitieux de hisser l'Algérie au rang d'acteur majeur dans la filière solaire en assurant [32]:

- le développement des filières solaire (PV et CSP), éoliennes et géothermique;
- l'acquisition des technologies via la réalisation de projets "école" et la recherche de partenariat stratégique;
- la fabrication locale des équipements et intégration industrielle nationale progressive;
- l'accompagnement par un cadre réglementaire et des mesures incitatives appropriés

Parmi ces mesures prévisionnelles à mettre en oeuver pour accompagner et encourager le développement des EnR:

- la réduction des droits de douane sur l'importation de la matière première non disponible localement;
- la réduction de la TVA pour les équipements produits localement (exonération les premières années);
- le crédit d'impots pour les installateurs, industriels, de ce mode d'alimentation en énergie;
- la facilitation de l'accès au foncier;
- la réduction des frais douaniers pour les équipements annexes non produits localement.

PFE Electrification Solaire PV-BERKANI Hocine-

III.5 Les énergies renouvelables, Une priorité en Algérie :

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22 000 MW entre 2011 et 2030 dont 12 000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. L'exportation de l'électricité est toutefois conditionnée par l'existence d'une garantie d'achat à long terme, de partenaires fiables et de financements extérieurs.
A la faveur de ce programme, les énergies renouvelables se placent au coeur des politiques énergétique et économique menées par l'Algérie : d'ici 2030, environ 40% de la production d'électricité destinée à la consommation nationale sera d'origine renouvelable. En effet, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque et du solaire thermique qui seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance [33] .

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine-

III.5.1 Programme des énergies renouvelables :

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile.
Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque une part essentielle. Le solaire devrait atteindre d'ici 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité.

Malgré un potentiel assez faible, le programme n'exclut pas l'éolien qui constitue le second axe de développement et dont la part devrait avoisiner les 3% de la production d'électricité en 2030.

L'Algérie prévoit également l'installation de quelques unités de taille expérimentale afin de tester les différentes technologies en matière de biomasse, de géothermie et de dessalement des eaux saumâtres par les différentes filières d'énergie renouvelable.

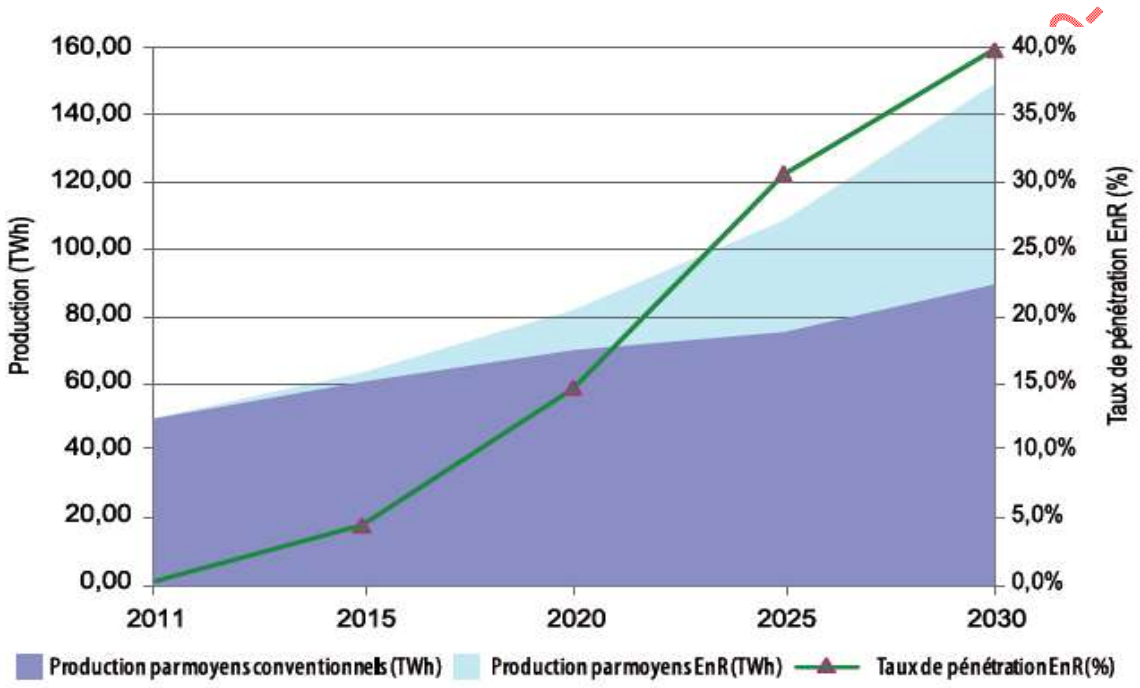


Fig. III.3 pénétration des EnR dans la production nationale en TWh [33].

Le programme des EnR est défini ainsi pour les différentes phases [33] :

- d'ici 2013, il est prévu l'installation d'une puissance totale de l'ordre de 110 MW;
- à l'horizon 2015, une puissance totale de près de 650 MW serait installée;
- d'ici 2020, il est attendu l'installation d'une puissance totale d'environ 2 600 MW pour le marché national et une possibilité d'exportation de l'ordre de 2 000 MW;
- d'ici 2030, il est prévu l'installation d'une puissance de près de 12 000 MW pour le marché national ainsi qu'une possibilité d'exportation allant jusqu'à 10 000 MW.

PFE Electrifica

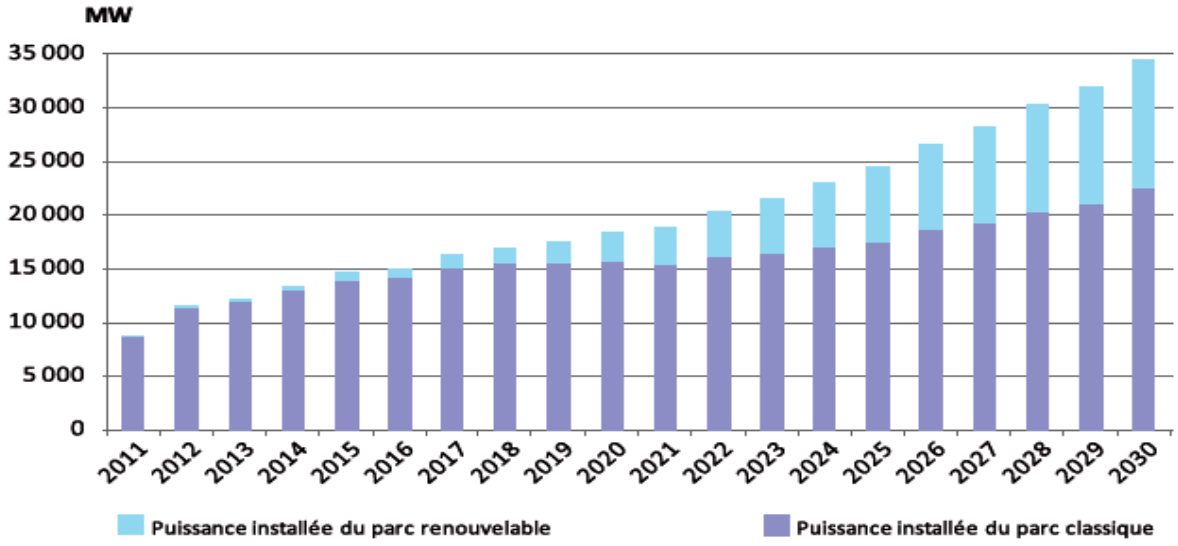


Fig. III.4 structure du parc de la production nationale en MW [33]**.**

La synthèse de ce programme, par type de filière de production, se présente comme suit :

III.5.1.1 Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron. Outre les avantages liés au faible coût de maintenance des systèmes photovoltaïques, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux.

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie non polluante. Modulaires, ses composants se prêtent bien à une utilisation innovante et esthétique en architecture.

PFE Electrification solaire PV-BERKANI



La stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc d'ici 2020. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030[33].

III.5.1.2 Energie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des turboalternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique). En utilisant la chaleur transmise par rayonnement plutôt que le rayonnement lui-même, ces modes de transformation d'énergie se distinguent des autres formes d'énergie solaire comme les cellules photovoltaïques.

Deux projets pilotes de centrales thermiques à concentration, avec stockage d'une puissance totale d'environ 150 MW chacune, seront lancés sur la période 2011-2013. Ces projets s'ajouteront à la centrale hybride de Hassi R'Mel d'une puissance de 150 MW, dont 25 MW en solaire.

PFE Electrification solaire PV BERKANE Nocine-

Sur la période 2016-2020, quatre centrales solaires thermiques avec stockage d'une puissance totale d'environ 1 200 MW devraient être mises en service. Le programme de la phase 2021-2030 prévoit l'installation de 500 MW par an jusqu'en 2023, puis 600 MW par an jusqu'en 2030[33].

III.5.1.3 Energie éolienne :

Par définition, l'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Elle est le fruit de l'action d'aérogénérateurs, de machines électriques mues par le vent et dont la fonction est de produire de l'électricité.

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor qui, couplé à une génératrice, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent mais aussi de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air.



Le programme EnR algérien prévoit dans un premier temps, sur la période 2011-2013, l'installation de la première ferme éolienne d'une puissance de 10 MW à Adrar. Entre 2014 et 2015, deux fermes éoliennes de 20 MW chacune devraient être réalisées.

Des études seront menées pour détecter les emplacements favorables afin de réaliser d'autres projets sur la période 2016-2030 pour une puissance d'environ 1700 MW[33].

PFE Elec... -BERKANI Hocine

III.5.2 Développement des capacités industrielles :

Pour accompagner et réussir le programme des énergies renouvelables, l'Algérie envisage de renforcer le tissu industriel pour être à l'avant-garde des mutations positives, aussi bien sur les plans industriel et technique que sur les plans de l'ingénierie et de la recherche. L'Algérie est également déterminée à investir tous les segments créateurs et à les développer localement.

III.5.2.1 Solaire photovoltaïque :

Sur la période 2011-2013 : il est prévu d'atteindre un taux d'intégration de l'industrie algérienne de 60 %. Cet objectif ambitieux devrait être atteint grâce à la réalisation d'une usine de fabrication de modules photovoltaïques d'une capacité équivalente à 120 MWc/an par le Groupe Sonelgaz à travers sa filiale Rouiba-Eclairage et dont la mise en service est prévue fin 2013. Cette période sera également marquée par des actions de renforcement de l'activité d'engineering et d'appui au développement de l'industrie photovoltaïque à travers la constitution d'une joint-venture qui regroupera les différents acteurs (Rouiba-Eclairage, Sonelgaz,CREDEG, CDER et UDTS) en partenariat avec des centres de recherche.

Sur la période 2014-2020 : l'objectif est d'atteindre un taux d'intégration des capacités algériennes de 80% [33]. Pour ce faire, il est prévu la construction d'une usine de fabrication de silicium.

Par ailleurs, il est attendu qu'un réseau de sous-traitance nationale soit mis en place pour la fabrication des onduleurs, des batteries, des transformateurs, des câbles et autres équipements entrant dans la construction d'une centrale photovoltaïque.

L'Algérie devrait disposer également, sur la même période, de capacités de conception, de procurement et de réalisation capables d'atteindre un taux d'intégration de l'ordre de 60% par des entreprises algériennes.

Il est également prévu la réalisation d'un centre d'homologation des équipements destinés aux installations des EnR.

Sur la période 2021-2030 : l'objectif est d'atteindre un taux d'intégration supérieur à 80%. C'est pourquoi, la capacité de production des modules photovoltaïques devrait être étendue pour atteindre les 200 MWc/an[33]. Cette

PFE Electrification Solaire PV-BERKANI Hocine-

période serait marquée par le développement d'un réseau de sous-traitance nationale pour la fabrication des équipements nécessaires à la construction d'une centrale photovoltaïque. Elle devrait également être marquée par la maîtrise totale des activités d'engineering, de procurement et de construction des centrales et des unités de dessalement des eaux saumâtres.

III.5.2.2 Solaire thermique :

La période 2011-2013 : connaîtra le lancement des études pour la fabrication locale des équipements de la filière solaire thermique.

Sur la période 2014-2020 : il est prévu un taux d'intégration de 50% à travers la mise en œuvre de trois projets majeurs qui seront menés en parallèle à des actions de renforcement des capacités d'engineering[33] :

- construction d'une usine de fabrication de miroirs;
- construction d'usines de fabrication d'équipements de fluide caloporteur et de stockage d'énergie;
- construction d'une usine pour la fabrication des équipements du bloc de puissance;
- développement de l'activité engineering et capacités de conception, procurement et réalisation.

Sur la période 2021-2030 : le taux d'intégration devrait être supérieur à 80% grâce à la concrétisation des projets suivants [33]:

- extension de la capacité de fabrication des miroirs;
- extension de la capacité de fabrication d'équipements de fluides caloporteurs et de stockage d'énergie;
- extension de la capacité de fabrication des équipements du bloc de puissance;
- conception, procurement et réalisation de centrales par des moyens propres.

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine

III.5.2.3 Eolien :

D'ici 2013 : il est prévu de lancer les études pour la mise en place de l'industrie éolienne [33].

Sur la période 2014-2020 : l'objectif est de parvenir à un taux d'intégration de 50%. Cette période sera marquée par les actions suivantes [33] :

- construction d'une usine de fabrication de mâts et de rotors d'éoliennes;
- création d'un réseau de sous-traitance nationale pour la fabrication des équipements de la nacelle;
- montée en compétence de l'activité engineering et capacités de conception, procurement et réalisation capables d'atteindre un taux d'intégration d'au moins 50% par des entreprises algériennes.

Le taux d'intégration devrait être supérieur à 80% sur la période 2021-2030, grâce à l'extension des capacités de fabrication des mâts et des rotors d'éoliennes et le développement d'un réseau de sous-traitance nationale pour la fabrication des équipements de la nacelle. Il est prévu aussi la conception, le procurement la réalisation d'éoliennes par des moyens propres ainsi que la maîtrise des activités d'engineering, de procurement de construction de centrales et d'unités de dessalement des eaux saumâtres.

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants du système de photovoltaïque et programme d'énergie renouvelable en Algérie, afin de faciliter l'accès à les changements socio-économiques.

PFE Electrification Solaire PV-BERKANI Hocine

IV.1 Introduction :

Le développement rural est souvent freiné faute d'énergie. Les besoins énergétiques prévisibles peuvent être couverts en grande partie par les énergies renouvelables. Cependant la pénétration des énergies renouvelables dans le marché doit tenir compte de multiples contraintes, plus particulièrement économiques.

Le rôle du photovoltaïque dans les régions en voie de développement n'est pas seulement d'apporter une puissance énergétique, mais un développement social et économique des zones rurales.

Le nombre de kWh produits peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais cette puissance aussi faible soit-elle, peut ranimer tout l'espoir d'une communauté. Les services qu'ils peuvent apporter (eau potable, irrigation, conservation de vaccins, communication, éclairage,...) ont un impact important sur le développement et la qualité de vie.

-BERKANI Hocine-

IV.2 Développement durable des énergies renouvelables en Algérie :

On ne parle pas assez des avantages au plan socioculturel de la vulgarisation des énergies renouvelables en général et du solaire en particulier, dans les pays pauvres, en Algérie notamment. Pourtant, ils sont à la fois nombreux et palpables [35] :

L'amélioration de l'organisation de la vie sociale :

L'énergie solaire permet de mieux réorganiser la vie sociale : en effet, le besoin d'éclairage individuel qui est à la base de nombreux conflits entre les femmes (pour achever les travaux ménagers) et les écoliers (pour réviser les leçons) trouvent désormais une solution durable. Tout le monde est éclairé et il n'est plus besoin de se disputer pour la lampe tempête.

L'élargissement de l'espace de communication :

Les possibilités d'accéder aux informations nationales et internationales par l'utilisation plus vulgarisée des postes radio et télévisions sont réelles grâce aux équipements solaires.

La réduction de certaines corvées physiques :

L'introduction de pompes d'eau, de cuisinières et fours solaires réduisent considérablement les corvées physiques du puisage manuel et de transport de bois de chauffage par les femmes.

Le renforcement de la fonctionnalité des centres polyvalents :

Avec l'électrification au solaire des foyers polyvalents, les populations rurales peuvent désormais organiser des cérémonies festives nocturnes. Cela contribue à resserrer les liens entre les villageois, et participe ainsi au développement des loisirs, élément important dans les régions rurales pour le planning familial.

IV.3 Arguments en faveur d'énergie solaire : environnement, économie et développement

Les villes/les régions pauvres d 'Algérie devraient initier des politiques énergétiques orientées vers le développement des énergies renouvelables, en vue d'une amélioration des conditions de vie de nombreuses populations rurales fragiles.

L'idée d'exploiter l'énorme quantité d'énergie qui provient gratuitement du soleil. Des efforts de ce type sont d'ailleurs à l'origine du développement économique d'Algérie, notamment l'exploitation de l'énergie solaire. Mais un nouvel argument est apparu en faveur de l'énergie solaire : la nécessité de trouver des solutions à faible émission de carbone pour remplacer le charbon, le pétrole et le gaz naturel sur lesquels repose l'économie de l'Algérie. La demande mondiale en énergie primaire devrait croître de près de 60 % entre 2004 et 2030. Un avantage particulier de l'énergie solaire.

L'intérêt économique de l'énergie solaire est particulièrement perceptible si l'on tient compte de ces particularités environnementales, ou lorsque les clients potentiels sont dispersés et n'ont pas déjà accès à un réseau de distribution d'électricité. Ces deux dernières décennies, les coûts de production d'électricité à partir de sources d'énergie solaire ont chuté de manière spectaculaire. Le prix des cellules photovoltaïques, par exemple, diminue d'environ 20 % chaque fois que leur production est cumulée.

Les coûts de la production d'électricité à partir d'énergie solaire peuvent être compétitifs vis-à-vis du prix de l'électricité payé par les consommateurs (ce qui favorise les unités dispersées, à petite échelle) [34].

L'intérêt de l'énergie solaire du point de vue du développement tient aux avantages sanitaires procurés par l'adoption de combustibles moins polluants, et aux activités que permet la fourniture d'électricité aux ménages et aux petites entreprises rurales qui n'avaient auparavant pas accès à cette forme d'énergie. De nombreuses études d'impact socio-économique ont démontré la contribution énorme que l'électrification peut apporter au développement économique. Une de ces études, menée à Tindouf, a permis de constater que, compte tenu de tous les autres facteurs, l'électrification d'un ménage rural dans cette ville se traduisait en moyenne par un allongement de la scolarité de 1.82 année (un meilleur éclairage permettant d'étudier plus longtemps), 33 heures en plus de loisirs par mois (dans les foyers où se tient une activité professionnelle). Le recul de l'utilisation de lampes à pétrole et de bougies en paraffine pour l'éclairage atténue également le risque d'incendie [34].

IV.4 L'énergie solaire au cœur des stratégies de développement durable :

Pour répondre à leurs besoins, au développement social, on fait également et principalement appel aux énergies solaires commerciales en ce qui concerne l'Algérie, la biomasse restant cependant la forme d'énergie solaire la plus utilisée dans les zones rurales, pour le résidentiel et le commerce informel.
Ces considérations montrent que pour réaliser l'objectif de croissance économique qui est à la base du développement économique et social, il faut disposer en abondance, à des prix abordables, de centrales qui alimentent aujourd'hui le tissu économique et industriel.

Ces énergies solaires sont au centre des réponses que la société humaine doit apporter aux grands défis sociaux de l'heure [35]:

· Réduire la pauvreté par l'amélioration de la santé et l'accroissement de la productivité, en assurant un accès universel à des services énergétiques adéquats pour la cuisson, l'éclairage, la communication ; en assurant aussi la création d'activités génératrices de revenus.

· Libérer les femmes, surtout dans les zones rurales en développement, des corvées de bois, d'eau et de décorticage, et améliorer la qualité de l'air dans leur habitat par l'utilisation de foyers améliorés, par l'utilisation de l'électricité pour pomper l'eau.

· Atténuer les problèmes liés à l'urbanisation rapide en fixant les populations rurales, par l'amélioration de l'offre des services énergétiques.

L'énergie solaire occupe la même place dans les stratégies qui se mettent en place pour réaliser les objectifs de développement du Millénaire. Qu'il s'agisse de réduire l'extrême pauvreté et la faim, d'assurer l'éducation primaire pour tous, de réduire la mortalité infantile, d'améliorer la santé maternelle, où d'assurer un environnement sain, il faudra des services énergétiques adéquats. Ce sont ces services qui permettraient de réduire la pénibilité des tâches et le temps qui y est consacré, de disposer d'eau potable en abondance, de créer des activités rémunératrices et d'améliorer leur productivité, d'accroître la production agricole, de conserver les aliments.

Comme cela peut se voir, l'énergie solaire a aussi une place critique dans les domaines de l'eau et de l'assainissement, de la santé, de l'agriculture, et de la biodiversité. Ce qui ne peut être atteint sans un apport conséquent de services énergétiques appropriés.

Mais l'énergie solaire, telle qu'elle est produite, distribuée et consommée aujourd'hui, peut difficilement réaliser les objectifs de développement durable [35].

IV.5 La notion d'éco-ville pour améliorer la qualité de vie:

La gestion de l'environnement urbain et de la propreté sera en particulier l'un des problèmes majeurs auquel devront faire face l'ensemble des acteurs dans toutes les communes urbaines de la région.

En effet, les modes de consommation, les déplacements et les activités économiques qui accompagnent la croissance urbaine ont un impact sur l'environnement, sous forme de consommation de ressources naturelles, de rejets de déchets et de contribution à la production de gaz à effet de serre. En retour, cet impact affecte les conditions de vie des habitants des villes.

Ces villes connaissent déjà de graves et multiples problèmes tels que le manque de logement décent, le manque d'équipement urbains, d'installations sanitaires adéquates et de systèmes de transport, ainsi que la pollution du milieu ambiant.

L'hypertrophie des villes s'accompagne de chômage et de pauvreté, qui expliquent la dégradation de l'environnement urbain et le développement de l'incivisme et de l'insécurité.

La notion d'éco-ville permet de rendre chaque commune entièrement auto-suffisante grâce aux technologies les plus modernes en matière d'énergies renouvelables, bio-construction et éco-mobilité [36].

PFE Electrification solaire PV

Elle prend en considération l'efficacité énergétique dans la conception architecturale et dans les projets d'aménagement et de construction urbains.

Le but est de créer une ville d'un nouveau genre, capable de s'autogérer en recyclant son eau et en produisant son énergie qu'il s'agisse d'utiliser des éoliennes, l'énergie solaire, la géothermie, l'énergie des vagues, le biogaz ou dans l'avenir des piles électriques pour les automobiles, une ville qui devient un espace de vie sans déchets ni émissions de CO2 où les habitants se déplaceront dans des transports en commun non polluants.

Quant aux déchets, ils seront tous recyclés. Les déchets organiques serviront par exemple à la production d'énergie. De leur côté, les fermiers de la région seront invités à pratiquer l'agriculture biologique.

Tout sera organisé pour faciliter la vie aux citadins et pouvoir se déplacer, facilement et sans polluer, en scooter électrique ou à vélo, ou grâce aux taxis électriques ou fonctionnant à l'énergie solaire et aux bus roulant au biogaz.

Une vile où on associe croissance économique, développement social et protection de l'environnement. C'est-à-dire une ville écologique et dynamique.

Le design écologique authentique de l'espace de vie doit s'inspirer du cycle de la nature. Il permet de se transformer soi-même, de transformer ses habitudes, son milieu de vie et son habitat afin de pouvoir y évoluer en harmonie avec son écosystème naturel.

Il se veut éducateur et porteur de solutions alternatives pour améliorer la qualité de vie, pour simplifier l'existence et pour créer des habitats où la santé, la beauté, le confort et l'authenticité sont les moteurs de la créativité.

Ses préoccupations écologiques passent par le souci particulier de la qualité de l'air, de l'empreinte environnementale, du rapport des êtres avec leur habitat et du désir d'être mieux.

Dans ce cadre, l'habitat écologique ou bio-construction est une architecture bioclimatique qui peut réunir un certain nombre de critères de Haute qualité environnementale, répondant à deux aptitudes essentielles à savoir [36] :

1) Préserver l'environnement et les ressources naturelles,

2) Satisfaire les exigences de ses occupants en matière de confort, de qualité de vie et de santé.

Elle consiste à :

- Favoriser l'utilisation des matériaux de construction renouvelables, non polluants et recyclables (pierres naturelles, brique isolante, bois, isolants végétaux, peintures sans solvants chimiques...).

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine-

- Favoriser les économies d'énergies (apports solaires, géothermie...) et des ressources naturelles (eau, air, sol, matières premières),
- Abaisser la pollution de l'air, de l'eau et des sols, optimiser la gestion de l'eau de pluie et des déchets,
- Diminuer les nuisances sonores (confort acoustique).
- Intégrer le bâtiment dans son site et si nécessaire créer un espace vert écologique, profitable pour l'environnement et les résidents.
- Assurer un haut niveau de confort et des conditions de vie saines à l'intérieur des bâtiments.

La bio-construction est économiquement très rentable et respecte les critères fondamentaux qui assurent la santé et le bien être des occupants de l'habitat.

Elle s'est révélée économique avec une économie de 40% sur la climatisation installée ainsi qu'un gain de 15% sur le coût total de la maçonnerie par rapport à une construction classique béton.

IV.6 La création d'emplois durables:

Le potentiel des énergies solaires pourrait dépasser largement les besoins de la région, mais leur contribution dans le bilan énergétique dépend des surfaces mises à disposition, des investissements pour leur équipement et de la réduction des consommations.

Les énergies solaires contribuent à la réduction des émissions des gaz à effet de serre, réduisent la pollution de l'air, de l'eau, du sol et de la biosphère, limitent le risque d'accident et préservent les stocks de ressources naturelles.

D'un point de vue économique, les énergies solaires garantissent un prix stable de l'énergie, nettement moins sensible aux fluctuations du marché des combustibles fossiles, et diminuent la dépendance énergétique. Par ailleurs, elles renforcent l'économie locale via les entreprises actives dans le secteur (fabricants, installateurs, équipementiers, ou encore entreprises chargées de l'exploitation, l'entretien ou la maintenance des installations) [36].

D'un point de vue social, les énergies solaires s'accompagnent généralement de la création d'emplois durables et peu sensibles aux délocalisations. Leur caractère décentralisé permet par ailleurs aux sociétés locales de s'approprier la production d'énergie nécessaire à leurs besoins, tout en offrant un potentiel de réorientation de l'activité économique.

Localement, la visibilité et l'implication d'acteurs proches dans les énergies solaires constituent également un excellent vecteur d'éducation à l'utilisation rationnelle de l'énergie.

PFE Electrification solaire PV-BERKANI Hocine-

A grande échelle, l'indépendance énergétique réduit les tensions internationales et permet la solidarité entre les peuples.

Les autorités publiques ont la responsabilité de donner un signal clair et fort aux industries et aux chercheurs pour stimuler l'innovation technologique nécessaire à la transition de l'ère du pétrole à l'ère des énergies solaires.

La région pourrait produire les énergies solaires et devenir, une fois libéré du fardeau de la facture pétrolière, un acteur important dans le secteur [36].

IV.7 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, on a étudié les changements sociaux et économiques en Algérie et la manière d'améliorer le niveau de vie. Dans les zones rurales et le développement des moyens de communications. Afin de faciliter les liaisons dans les zones rurales lointaines. Cela montre qu'on peut produire de l'électricité à l'aide de l'énergie solaire. On peut désormais créer de l'emploi pour les jeunes, diminuer le taux de chômage et éradiquer ainsi la pauvreté en Algérie.

PFE Electrification solaire PV BERKANI Hocine-

Conclusion générale :

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables que peut satisfaire la demande en l'Algérie, est l'énergie solaire, qui est disponible en abondance et en permanence, c'est aussi une source économique et non polluante.

L'utilisation de l'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittente selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénients. Ce mémoire se veut une contribution à l'optimisation des systèmes photovoltaïques.

Ces dispositifs viennent de connaître des développements importants se rapportant essentiellement à la volonté de diversifier plus que jamais, les moyens publics de production et d'améliorer le respect de l'environnement. D'un point de vue économique, ces appareils ont la capacité de faire concurrence, ils offrent une grande sécurité, grâce à la présence de dispositifs de stockage d'énergie.

En conclure que l'électrification solaire photovoltaïque, est une solution importante pour améliorer le niveau de vie des habitants des régions isolés et rurale, ainsi que pour un développement économique durable pour l'Algérie.

- Enfin, ce travail nous a permis d'explorer le domaine de production d'électricité à savoir les techniques du solaire photovoltaïque.

PFE Electrification solaire PV BERKANI Hocine

Conclusion générale

Références Bibliographies

[1] : www.météo.dz

[2] : S.Aminata, «Simulation du système hybrides Photovoltaïque » Thèse de Doctorat, canada, 1998

[3] : B.Mohammed, «Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome», Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2007.

[4] : R.P.Mukund, «Wind and solar Power Systems », Ph.D,P.e Université merchant Marine, 1999

[5] : A. buyers « Les systèmes photovoltaïques » guide,.Article, Canada, 2002.

[6] : M.Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hibride PV-Eolienne», Thèse de Doctorat, Université de Bechar, 2007.

[7] : F.Benyarou et B.Benyousef, « Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin», Revue des Energies Renouvelables, (1998pp.95-100).

[8] : T.Fogelman, « Système photovoltaïque pour les pays en déventement », manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie, (AFME), 1982.

[9] : C.Bernard, J.Chauvin, D.Lebrun, J.F.Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger » 2006.

[10] : D.Thévenard, and M.Ross « Validation and Verification of Component Models and System Models for the PV », CETC-internal report 2003-035, Canada, 2003.

[11] : D.Turcotte,M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools » PV Horizon,.ARTICLE PDF, Canada, 2001.

[12] : B.Zarauel « cours de charge d'énergie renouvelable », université de Médéa, 2012.

[13] : A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef : Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin, Rev .Energ. Ren : physique Energétique (1998pp.95-100).

[14] : B.Zarouel: Solar Energy for Irrigation in Algeria, Memoir de magister, Baghdad Iraq, 2000.

[15]: www. stecasolar. c om

[16] : The Open Renewable Energy Journal, 2009, 2, 99-110

[17]: www.atlas solaire-societé d'énergie solaire.com

[18]: J.Y. LE Chenadec, « Les machines synchrones: Technologies et différents modes d'alimentations des machines synchrones », Cours polycopiés, Lycée Louis ARMAND, Nogent sur Marne, 1997

[19]: www.cder.edu.dz

[20] : société sonalgaz kasr el boukharie

[21] : www.mem-algeria.org

[22] : B.Djamil «OPTIMISATION D'UN SYSTEME D'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE APPLICATIOU AU POMPAGE », université Mentouri Constantine ,2007.

[23] : Alain Ricaud, Cythelia, L'électricité photovoltaïque, Document de synthèse 2009.

[24] : WWW.SOLAIRVIE.FR

[25] : Guide des Energies Renouvelables, Edition 2007, Ministère de l'Energie et des Mines

[26] : Expérience, Potentiel et Marche Photovoltaïque Algérien.pdf

[27] : Programme indicatif des besoins en moyens de production d'électricité 2008-2017, Commission de la Régulation de l'Electricité et du Gaz

[28] : Global market outlook for photovoltaics until 2013, European Photovoltaic Industry Association, EPIA March 2009

[29] : SONELGAZ, «Prévisions de la demande d'énergie électrique - Objectifs période « 2007– 2017»

[30] : S. Bouacid et N. Chergui, 'Etude de l'Influence des Facteurs Météorologiques sur les Performances Electriques d'un Module PV de Technologie Biverre au Silicium Polvcristallin', Mémoire de fin d'études Ingéniorat, USTHB, 1994.

[31] : Document, 'Le Catalogue des Outils Solaires', Edition N°26, pp. 1 - 25, Sept 2001.

[32] : www.sonelgaz.dz

[33] : Document, « Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Algérie, May 2011.

[34] : www.dades-infos.com

[35] : Kaufman, Steven avec Richard Duke, Richard Hansen, John Rogers, Richard Schwartz et Mark Trexler (1999), "Rural electrification with solar energy as a climate protection strategy", Renewable Energy Policy Project, Washington, D.C., http://www.crest.org/repp_pubs/articles/resRpt09/

[36] : site : www.energie solaire et changement sociale.com

ANNAXE :

Paramètres caractéristiques du générateur PV et du groupe motopompe :

Module photovoltaïque : « Shell SP 75 »

Dans ce travail nous avons simulé le module **Shell SP75** qui comporte 36 cellules solaires de silicium monocristallin de 125.125mm connectées en série.

Le **Shell SP75** peut produire une puissance maximale de 75 watts à 17 volts.

Ceci nous a permis de déterminer la puissance en fonction de la tension et le courant en fonction de la tension du module étudié pour un éclairement de 1000 W/m^2.

Les caractéristiques électriques du module Photovoltaïque Shell SP 75 en conditions de test standards sont représentées sur le **Tableau I.1**.

Grandeurs	Valeur
- Eclairement standard, E.	1000 W/m^2
- Température standard, T.	25 °C
- Puissance crête maximale, Pm.	75 W
- Tension maximale, Vm.	17 V
- Courant maximal, Im.	4.4 A
- Tension de circuit ouvert, Vco.	21.7 V
- Courant de court-circuit, Icc.	4.8 A

Tab. I.1 Caractéristiques électriques du module Photovoltaïque Shell SP 75 en condition de test standard.

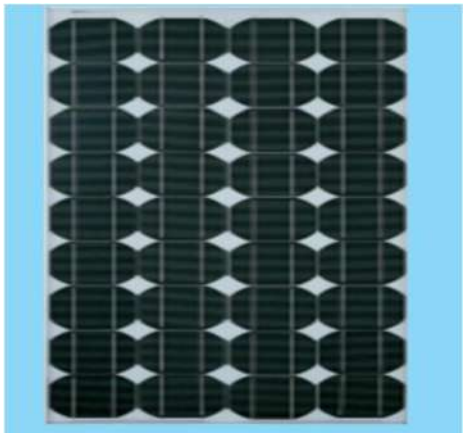


Fig. I.17 Module Shell SP75