



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energie renouvelable

Réf:.....

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

ETUDE COMPARATIVE DE L'ALIMENTATION EN ELECTRICITE D'UN SITE ISOLE
PAR VOIE CLASSIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE
CAS DE WILAYA DE BISKRA
LABRECH-TOLGA

Présenté par :
Ghenissa Hocine
Soutenu le : 02 Juin 2014

Devant le jury composé de :

Mr Mimoun Med Souri

Mr Bahri Mubarak

Meme Terki Amel

Pr

Pr

Dr

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2013 / 2014

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option : Energie renouvelable

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

ETUDE COMPARATIVE DE L'ALIMENTATION EN ELECTRICITE D'UN
SITE ISOLE PAR VOIE CLASSIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE
CAS DE WILYA DE BISKRA
LABRECH-TOLGA

Présenté par :
Ghenissa Hocine

Avis favorable de l'encadreur :

Pr Bahri Mubrak

Avis favorable du Président du Jury

Pr Mimoun Mohamed Souri

Cachet et signature



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electrotechnique
Option :Energie Renouvelable

Thème :

ETUDE COMPARATIVE DE L'ALIMENTATION EN ELECTRICITE D'UN SITE ISOLE PAR VOIE CLASSIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE CAS DE WILYA DE BISKRA LABRECH-TOLGA

Proposé par :Ghenissa Hocine

Dirigé par :Pr Bahri Mubarak

RESUMES (Français et Arabe)

Le thème est une étude basée sur une comparaison afin de trouver le moyen le plus approprié de fournir des zones isolées avec l'électricité, une de ses caractéristiques majeurs est :le très fort ensoleillement .L'alimentation de ses zones soit par le système classique (SONELGAZ) ou par l'énergie solaire, qui est considéré comme une des meilleures stratégies à actuellement . Cette comparaison est faite selon deux côtés : Côté économique (Le coût) et de côté technique (possibilité de réalisation).

الموضوع عبارة دراسة تستند إلى إجراء مقارنة لمعرفة الطريقة الأنسب لتزويد المناطق المعزولة بالكهرباء و التي من بين خصائصها أشعة الشمس القوية أما عن طريق النظام الكلاسيكي (سونا لغاز) أو بالطاقة الشمسية و التي تعتبر من أفضل الاستراتيجيات في الوقت الحاضر و تتم هذه المقارنة عبر جانبيين الجانب الاقتصادي (من حيث التكلفة) و الجانب التقني (إمكانية الانجاز) .



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail particulièrement à:

Mes chers parents (Fadila et Saarbi), qui ont consacré leurs existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse.

A mes deuxième parents Famina et son marie qui m'encouragé pendant toutes mes études.

A mes bien aimées sœurs : Inès et Mebarka.

A mes chères grands parents

A mes chères tantes : Nassira , Rahima ,samira , Houria et Souad

A mes chères oncles : Mohamed et Abdel Kassem .

A mes bien aimées cousins et cousines : Mohamed, khalid, Aya, Abd Errahmen, Bilal et Adel.

A toute la famille Ghenissa et Fekih

A mes proches amis : Abd El Karim, Ahmed, Hamza Djalel, Walid, Abdel Wahab, Mohamed Amine, Hani, Sachir, Abdel Basset, Aissa, Mohamed.

A tous mes amis du département d'Electrotechnique surtout option d'Energie Renouvelable.

Merci

Hocine

Remerciement :

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier vivement mon encadreur M^{er} SAHER Mubarak pour le suivi, les conseils et les efforts qui m'ont permis d'accomplir cette étude.

J'exprime ma profonde gratitude à M^{er} NAJEM Djamel pour son support.

A tous les membres de Jurée : M^{er} Mimoun Souri et M^{me} Terki Amel

A tous mes Profs :

A M^{er} SAHERABU

M^{me} RAHOUBA.

M^{er} MAHAMMOUD pour leur soutien durant mes Etudes.

Liste des Tableaux

CHAPITRE N°01 : Production de l'énergie électrique à l'échelle

Tableau(I.1) :Taux d'électrification par zone géographique.....8

Tableau(I.2) :Taux de Production de chaque producteur fin 2011.....10

Tableau (I.3) : source chiffres clés électricité et gaz pour l'année 201111

CHAPITRE N°02 : L'énergie Solaire Photovoltaïque

Tableau (II.1) : Installations photovoltaïques dans le monde en 2009 (en GW)18

Tableau (II.2) : Avantages et Inconvénients du centrale PV.....29

CHAPITRE N°03 : Electrification Rurale

Tableau (III.1) :Rétrospectives des réalisations annuelles de 2000 à 201035

Tableau (III.2) : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....38

CHAPITRE N°04 : Un Modèle d'Application

Tableau (IV.1): Estimation des consommations d'appareils disponible.....47

Tableau(IV.2) :Options technique de Panneau Solaire BlueSolar Monocrystallin (Victron)57

Liste des Figures

CHAPITRE N°01 : Production de l'énergie électrique à l'échelle

Figure (I.1) : Schéma d'une centrale thermique à flamme.....	3
Figure (I.2) : Schéma d'une centrale Nucléaire.....	3
Figure (I.3) : Schéma d'une centrale hydraulique.....	4
Figure (I.4) : une turbine Eolienne.....	5
Figure (I.5) : Schéma de principe d'une usine biomasse.....	5
Figure (I.6) : Panneaux Solaires Photovoltaïque.....	6
Figure (I.7) : Géothermie basse énergie.....	6
Figure (I.8) : Une centrale Diesel.....	7
Figure(I.9) :Répartition des sources d'énergie dans la production mondiale d'énergie primaire (2008)....	7
Figure (I.10) :Evolution de la production d'électricité dans le monde (1991/2008)	7
Figure(I.11) :Production d'électricité par zone géographique (2000)	8
Figure(I.12) : Consommation moyenne d'électricité (kWh/habitant.an)	8
Figure (I.13) : Technique de production d'électricité en Algérie.....	9
Figure(I.14) :Taux par Producteur %.....	10
Figure(I.15) : Production par types d'équipement.....	11
Figure (I-16) :Carte du Réseau National de Production et de Transport d'Electricité.....	12

CHAPITRE N°02 : L'énergie Solaire Photovoltaïque

Figure (II.1) : Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle.....	14
Figure (II.2) : La tendance mondiale en matière d'énergie.....	15
Figure (II.3) : Centrale Solaire Photovoltaïque.....	16
Figure (II.4) :Installations photovoltaïques dans le monde en 2009 (en GW)	18
Figure(II.5) :Les installations photovoltaïques en Europe fin 2009	19
Figure(II.6) : Les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour 2020.....	20
Figure(II.7) : Une cellule Photovoltaïque.....	21
Figure(II.8) : Structure d'une cellule Photovoltaïque.....	22
Figure(II.9) : cellule monocristalline.....	22

Liste des Figures

Figure (II.10) : cellules poly cristallines.....	23
Figure (II.11) : cellule amorphe.....	23
Figure (II.12) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	24
Figure (II.13) : L'effet photovoltaïque.....	25
Figure (II.14) : Schéma équivalente d'une cellule PV.....	26
Figure (II.15) : I(V) et P(V)	26
Figure (II.16) : Spectre solaire.....	27
Figure (II.17) :Un module PV.....	28
Figure (II.18) : Utilisation de photovoltaïque pour une habitation.....	31

CHAPITRE N°03 : Electrification Rurale

Figure (III.1) : Taux d'électrification des pays en développement.....	33
Figure (III.2) : Emplacement des villages alimentés ou prévus en alimentation solaire.....	37
Figure (III.3) :Carte du monde de l'ensoleillement moyen Annuel.....	38
Figure (III.4) :Carte de Gisement solaire Algérien	39

CHAPITRE N°04 : Un Modèle d'Application

Figure (IV.1) : Zones climatiques de l'Algérie.....	46
Figure (IV.2) : Variation de consommation énergétique pour chaque saison.....	52
Figure (IV.3) : les différents composants d'un système photovoltaïque.....	56
Figure (IV.4) :Panneau Solaire BlueSolar Monocrystallin (Victron)	57

Liste des Abréviations

PV : cellules Photovoltaïque

I_{ph} : courant photogénéré

I_s : courant de saturation de la diode

n : facteur d'idéalité de la diode

I_{sc} : Courant en court-circuit

V_{oc} : Tension en circuit ouvert

FF : Facteur de forme

PNE :Le Plan National d'Electrification

ER :Programmes d'électrification rurale

I_d :Courant de démarrage

I_f :Courant de fonctionnement

HT :Haute tension

MT :moyenne tension

BT :basse tension

SOMMAIRE

Introduction Générale

CHAPITRE: 01 Production de l'Énergie Electrique

Introduction	1
I. Bref Historique sur la production d'électricité.....	1
II. Modes de production de l'énergie Electrique.....	2
II-1-Les centrales thermiques	2
II-1-1-Les centrales thermiques à flamme	3
II-1-2-Les centrales thermiques nucléaires.....	3
II.2-Les énergies renouvelables	3
II-2-a- Les centrales hydrauliques.....	4
II-2-b-L'éolienne	4
II-2-c-biomasse.....	5
II-2-d-Energie Solaire.....	6
II-2-e-Energie Géothermique.....	6
II-3-Centrale diesel.....	6
III. Evolution et situation Mondiale vis-à vis au production d'électricité.....	7
IV .Production de l'énergie électrique en Algérie.....	9
IV. A-Techniques de Production d'électricité en Algérie	9
IV. B-Le parc de production national.....	10
Conclusion.....	12

SOMMAIRE

CHAPITRE : 02 L'Energie Solaire Photovoltaïque

Introduction.....	13
I. Energie Solaire.....	13
I.1- Les réserves d'énergie mondiale	13
I.2-tendance d'énergie mondiale	14
II.L'énergie Solaire Photovoltaïque.....	15
II-1-Centrale Solaire Photovoltaïque.....	16
II-2-Historique De l'énergie Solaire Photovoltaïque	16
II-3- Installations photovoltaïques au monde	18
II-4- Les prévisions mondiales en photovoltaïque.....	20
III. La cellule photovoltaïque	20
III-1-La structure de la cellule photovoltaïque	21
III-2-Principaux types de cellules solaires	22
III-3- Principe de fonctionnement	23
III-4-Effet photovoltaïque	25
III-5-Caractéristique courant/tension et schéma équivalent d'une cellule PV.....	26
III-6-Les Modules Photovoltaïques.....	27
IV .Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	29
V. Domaine d'application du Photovoltaïque	30
Conclusion.....	31

CHAPITRE : 03 L'Electrification Rurale

Introduction.....	31
I.Définition d'Electrification rurale.....	31
I.1-Technologies d'Electrification rurale.....	31
II. Electrification rurale en Algérie	32
II.1-Historique	33

SOMMAIRE

III.Électrification rurale en Algérie Par énergies solaires.....	36
IV. Gisement solaire de l'Algérie.....	37
V.Règlementation.....	39
VI.Les impacts de l'électrification rurale – Le problème du développement.....	40
Conclusion.....	42

CHAPITRE : 04 Modèle d'Application

Introduction.....	43
I. Choix de site.....	43
II. Le site choisi village « LABRECH ».....	44
III. Bilan énergétique de la région.....	45
IV. Dimensionnement d'un foyer rural.....	46
V. Etude d'électrification de LABRECH par voie classique (énergie conventionnelle).....	52
VI. Etude d'électrification de LABRECH par voie photovoltaïque.....	54
VIII. Comparaison entre l'électrification par voie conventionnel et par voie photovoltaïque.....	58
Conclusion.....	60
Conclusion Générale	
Bibliographie	

INTRODUCTION GENERALE :

Depuis la révolution industrielle au 19^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles formes d'énergie est devenue une nécessité pour assurer le niveau de vie actuel de l'humanité.

En effet, l'exploitation massive des énergies conventionnelles ne cesse de s'accroître, durant le 20^{ème} siècle, la consommation d'énergie est multipliée par 10 avec une accélération à partir de 1945, ce qui a pour effet l'épuisement des ressources traditionnelles en matière d'énergie.

En outre, le réchauffement climatique est une autre conséquence de l'exploitation massive des Hydrocarbures qui produisent de grandes quantités de gaz à effet de serre. Au 20^{ème} siècle, des scientifiques ont indiqué une augmentation de 0.6°C de la température moyenne de la planète et selon un rapport réalisé par le GIEC (groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) en 2007, la température moyenne de la planète va augmenter de 1.8 à 4°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle. [3]

A cet effet et pour mieux préserver l'avenir de l'humanité, il est de rigueur de consommer rationnellement les énergies conventionnelles et de développer les énergies renouvelables qui sont inépuisables et propres.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contrechoc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990. [3]

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité.

L'Algérie, de par sa position géographique favorable, jouit d'un taux d'ensoleillement annuel très important. Les trois quarts du territoire reçoivent plus de 3000 heures par an, sont constitués de zones arides et caractérisés par une faible densité de population très éparse. [22]

Dans le cadre de ce travail, nous sommes intéressés à l'étude d'électrification d'un site isolé VILLAGE DE LABRECH par voie conventionnel et par voie photovoltaïque situé à Tolga Wilaya de Biskra.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres, constitués comme suit:

Dans le premier chapitre, on parle de modes de production de l'énergie électrique ainsi que les des différents types des centrales électriques. En se concentrant sur les conditions de production d'électricité en Algérie.

Le deuxième chapitre, concerne le système photovoltaïque, son principe de fonctionnement, ses domaines d'application la cellule photovoltaïques, sa structure et ses caractéristiques ainsi que les avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïque.

Le troisième chapitre, est consacré à l'électrification rurale dans le monde et particulièrement en Algérie, accentuant sur les zones de gisement solaire en Algérie en terminerons par les impacts d'électrification rurale sur la vie quotidienne des occupants.

Enfin, Le quatrième et dernier chapitre, est une étude d'électrification rurale appliquée sur un cas réel qui est le VILLAGE DE LABRECH à Tolga Wilaya de Biskra vis à vis aux besoins énergétiques de ces habitants. A travers une comparaison technico-économique entre l'électrification par voie conventionnel et par voie photovoltaïque.

CHAPITRE N°01

Production de l'énergie électrique à l'échelle Mondiale et Nationale

Introduction

- I. Bref historique sur la production de l'électricité**
- II. Modes de production de l'énergie électrique:**
 - a- les centrales thermiques
 - b- les énergies renouvelables
 - c-Centrales Diesel.
- III. Evolution et situation Mondiale vis-à vis au production d'électricité**
- IV. Production de l' énergie électrique en Algérie**
 - Début d'électricité en Algérie
 - Techniques de Production d'électricité en Algérie
 - Le parc national de l'électricité

Conclusion

INTRODUCTION :

L'énergie électrique est un facteur essentiel de développement et de l'évolution des sociétés humaines, que cela soit sur le plan de l'amélioration des conditions de vie ou sur le plan du développement des activités industrielles. Le système de puissance qui est à la base de cette énergie fonctionne dans un environnement en évolution continue : charges, puissance de génération, topologie du réseau. L'augmentation de la dépendance électrique de la société moderne implique des systèmes de puissance exploitables à cent pour cent de leur capacité avec une sûreté maximale.

I. Bref historique sur la production de l'électricité:

Depuis des millénaires, les hommes ont appris à utiliser l'énergie du vent, de l'eau, des animaux pour faire plus que ce que leur permettait leur énergie musculaire.

La mise au point de la machine à vapeur (début de l'ère industrielle) leur a permis de disposer de quantités d'énergie beaucoup plus grandes, avec les conséquences (positives et négatives) que l'on connaît. Puis, après l'invention de la pile électrique par Alessandro VOLTA, de la dynamo par Xénobe GRAMME, de la lampe à incandescence par Thomas EDISON, vint l'ère de l'électricité.

Aujourd'hui, cette forme d'énergie est omniprésente dans notre vie quotidienne.

- ✓ 1800 : **Volta** (Italien), invente la pile. Mais elle ne peut pas stocker de grosses quantités d'électricité. La pile de Volta suscite un énorme intérêt dans le monde scientifique car le courant électrique est alors un phénomène nouveau et inattendu. Grâce à elle, les physiciens de l'époque peuvent entreprendre de nombreuses recherches sur les propriétés du courant électrique et sur la résistance électrique. Ces travaux sont à l'origine du transport d'électricité par câbles.
- ✓ 1820 : **Oersted** (Danois), remarque qu'une aiguille aimantée placée à côté d'un fil conducteur traversé par le courant est déviée.

D'une importance capitale, l'expérience d'Oersted établit pour la première fois un lien entre électricité et magnétisme. Elle ouvre la voie à de nombreuses inventions comme celle du télégraphe, qui révolutionnera un peu plus tard les moyens de communication.

- ✓ 1830 : **Michael Faraday** (Anglais), montre qu'un courant passe dans une bobine lorsqu'on y introduit un aimant.

L'histoire du début des applications de l'électricité est dominé par les découvertes du physicien anglais, Michael Faraday en 1830. En reliant les bornes d'une bobine à un galvanomètre (sorte d'ampèremètre), il observe le passage d'un courant dans la bobine, lorsqu'il introduit ou retire un aimant de cette bobine.

L'importance de cette découverte est extrême car elle rend possible la production de courant électrique sans avoir à utiliser de pile. L'énergie mécanique peut, dès lors, être directement convertie en énergie électrique. C'est ce que font, depuis, tous les alternateurs. [1]

II. Modes de production de l'énergie Electrique:

Les principaux modes de production d'énergie électrique sont :

I. -les centrales thermiques :

-à flamme (62,5% de la production mondiale)

-nucléaire (17,5% de la production mondiale)

II. -les énergies renouvelables : les centrales hydrauliques, solaire, géothermique, éolienne, hydrolienne... (20% de la production mondiale)

III. -Centrales Diesel.

II-1--Les centrales thermiques :

II. 1-1-Les centrales thermiques à flamme :

a-Présentation et principe de fonctionnement : Dans les centrales thermiques à flamme, de l'énergie fossile est convertie en énergie électrique.

Les différents types d'énergie fossile utilisées sont : -le pétrole -le gaz -le charbon

b-Impacts sur l'environnement : Les centrales thermiques sont des moyens de production d'énergie très sales.

-Elles rejettent dans l'atmosphère énormément de gaz à effet (principalement du dioxyde de carbone CO₂).

-Elles sont responsables des pluies acides et de la pollution de l'air.

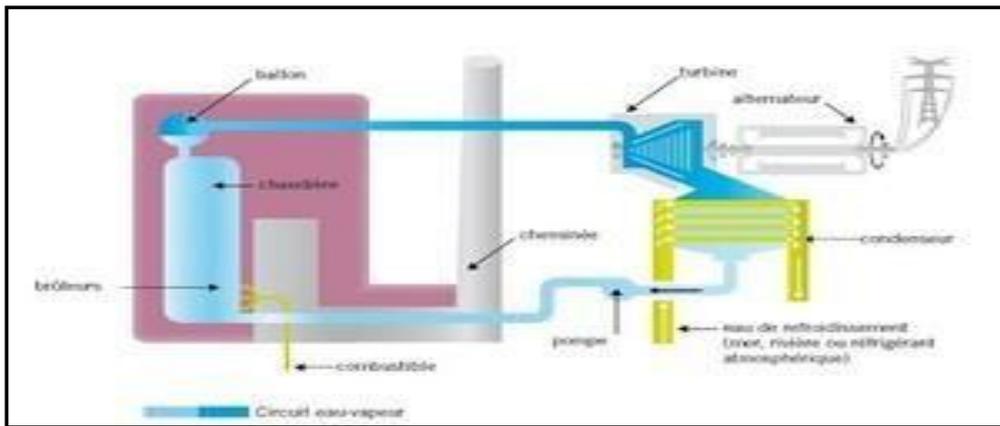


Figure (I.1) : Schéma d'une centrale thermique à flamme

II-1-2-Les centrales thermiques nucléaires :

a-Présentation et principe de fonctionnement : Dans les centrales nucléaires, de l'énergie fossile est convertie en énergie électrique. Les différents types d'énergie fossile utilisée sont l'uranium et le plutonium.

b-Impacts sur l'environnement : Les centrales nucléaires ne rejettent pas de gaz à effet de serre. Elles produisent des déchets radioactifs. Le stockage des déchets radioactifs pose un grave problème pour l'environnement.

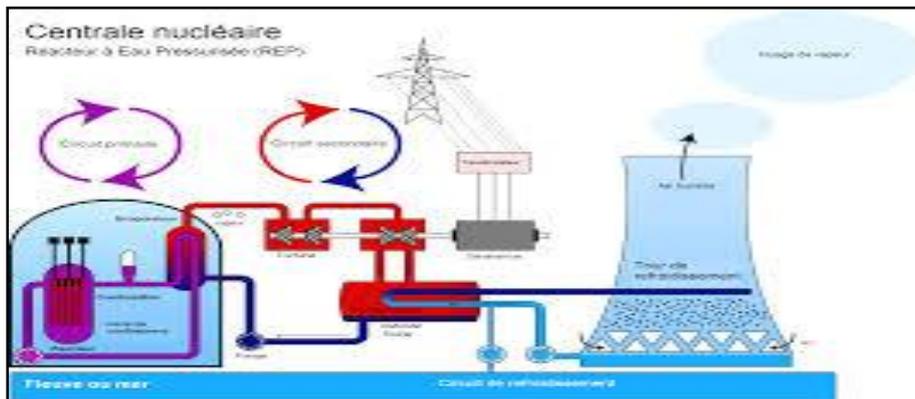


Figure (I.2) : Schéma d'une centrale Nucléaire

II. 2-Les énergies renouvelables :

Définition d'une énergie renouvelable : Les énergies renouvelables proviennent de sources inépuisables (énergie du Soleil, du vent, de la géothermie, des marées) ou renouvelables à l'échelle de la vie humaine si la ressource est bien gérée (bois, plantes). Le pétrole, le gaz, le charbon, utilisés dans les centrales thermiques à flamme, l'uranium, le plutonium,

utilisés dans les centrales nucléaires, ne sont pas des énergies renouvelables. Leurs réserves sont limitées et s'épuisent. Il est indispensable de développer les énergies renouvelables afin de prendre le relais des énergies dont les réserves s'épuisent. [16]

Quelles sont ces énergies renouvelables ?

Les énergies renouvelables sont divisées en 5 catégories :

- l'énergie hydraulique (92,5% de l'électricité issue des énergies renouvelables)
- l'énergie éolienne (0,5%)
- l'énergie de biomasse (5,5%)
- l'énergie solaire (0,05%)
- l'énergie géothermique (1,5%)

II-2-a- Les centrales hydrauliques:

a-Présentation et principe de fonctionnement: Dans une centrale électrique hydraulique, l'eau acquiert une énergie cinétique qui fait tourner une turbine. La turbine entraîne l'alternateur. Ce dernier convertit une partie de l'énergie mécanique de rotation de la turbine en énergie électrique. [16]

b-Impact sur l'environnement : Une centrale hydraulique produit de l'énergie électrique sans produire de gaz à effet de serre. Il s'agit donc d'une énergie propre.

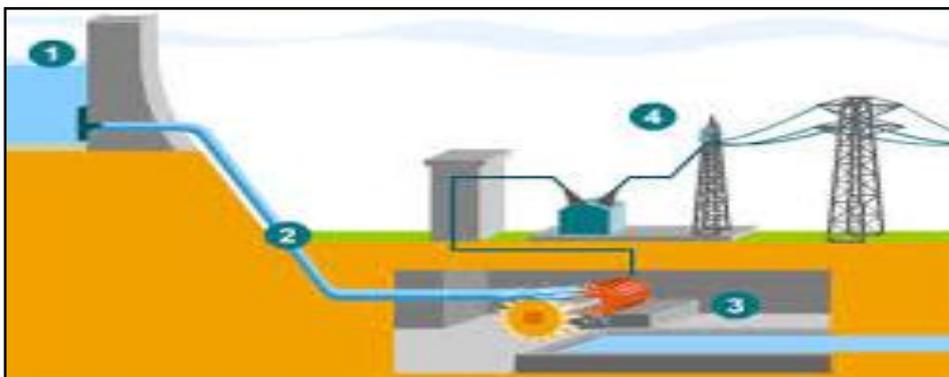


Figure (I.3) : Schéma d'une centrale hydraulique

II-2-b-L'éolienne:

a-Présentation et principe de fonctionnement: Une éolienne utilise l'énergie du vent.

L'énergie mécanique du vent fait tourner les pales qui constituent la turbine de l'éolienne, qui entraîne également un alternateur. Une partie de l'énergie mécanique de rotation des pales est ainsi converti par l'alternateur en énergie électrique. [16]

b-Impacts sur l'environnement : Il s'agit d'une énergie renouvelable propre n'émettant aucune pollution. Le seul aspect négatif serait l'aspect esthétique.



Figure (I.4) : une turbine Eolienne

II-2-c-biomasse:

En écologie, la biomasse est la masse totale des organismes vivants mesurée dans une population, une aire ou une autre unité. En énergie, la biomasse regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie; En législation européenne, la biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux. [16]

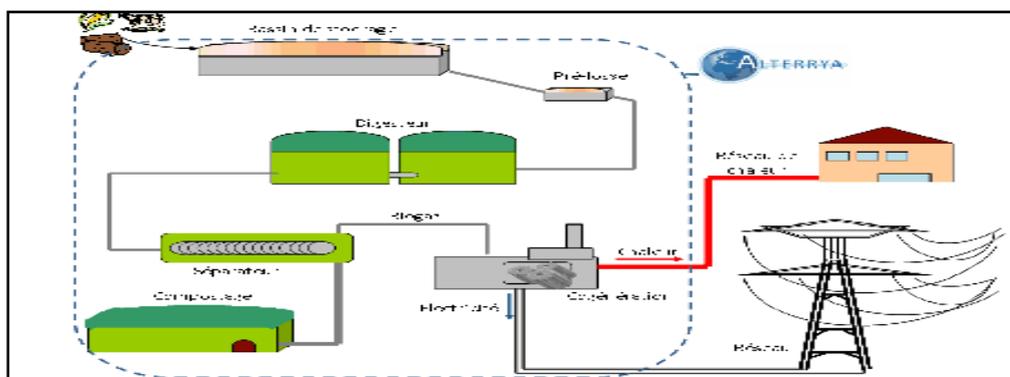


Figure (I.5) : Schéma de principe d'une usine biomasse

II-2-d-Energie Solaire:

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains. [16]



Figure (I.6) : Panneaux Solaires Photovoltaïque

II-2-e-Energie Géothermique:

L'énergie géothermique provient de la chaleur accumulée dans le sous-sol. Elle est perpétuellement réapprovisionnée par la radioactivité des roches et la proximité du magma en dessous de la croûte terrestre. L'exploitation par l'homme de cette énergie renouvelable porte le nom de géothermie. [16]

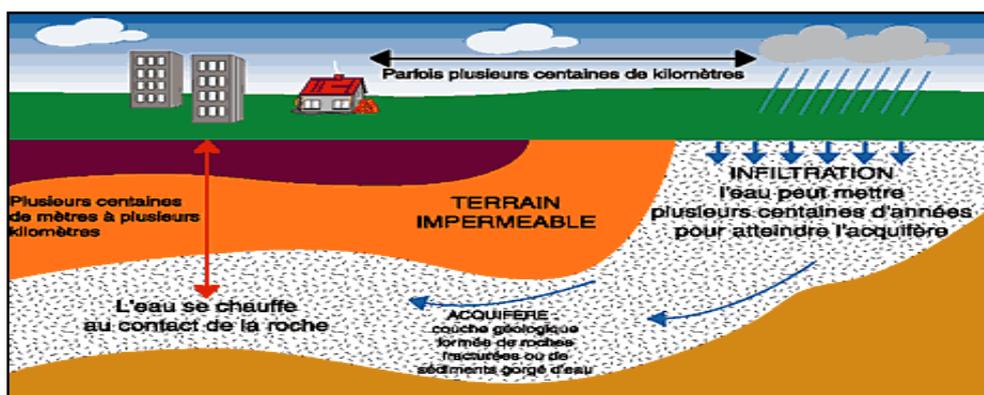


Figure (I.7) : Géothermie basse énergie

II-3-Centrale diesel:

Les centrales électriques diesel (nommées également groupes électrogènes) sont équipées d'un moteur diesel et d'un alternateur. Opérant en autarcie en tant qu'unités de production d'électricité, elles constituent un choix idéal sur les sites de production éloignés ou pour assurer l'alimentation de secours de grandes banques, d'hôpitaux, d'aéroports ou de villes entières. Certains pays et états insulaires produisent la majorité de leur électricité avec des centrales électriques diesel. [16]

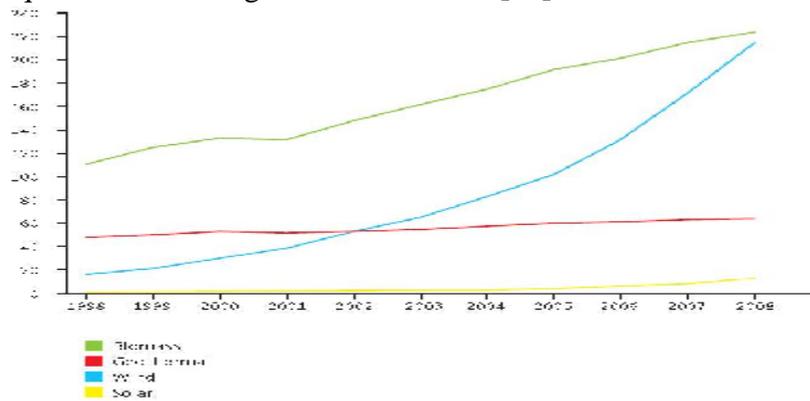


Figure (I.8) : Une centrale Diesel

III. Evolution et situation Mondiale vis-à-vis au production d'électricité:

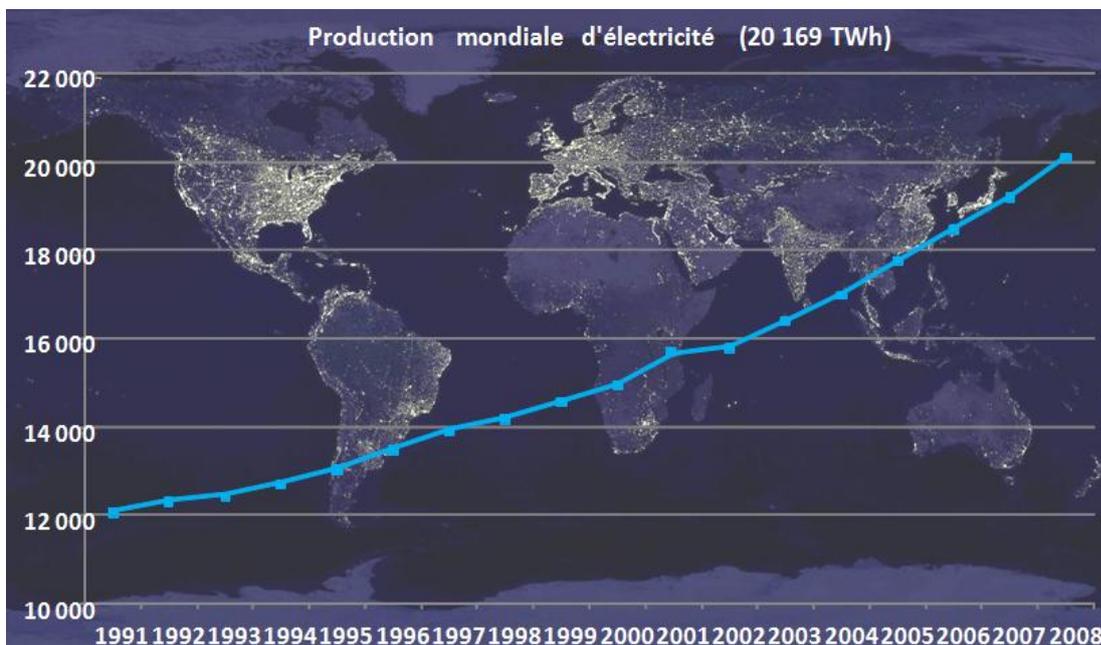
III-A-Répartition des sources d'énergie dans la production mondiale d'énergie primaire (2008) :

Production mondiale d'électricité en 2008 **20 169 TWh***. (T= 10¹²) Dont 3 763 TWh de production électrique avec des énergies renouvelables. [15]

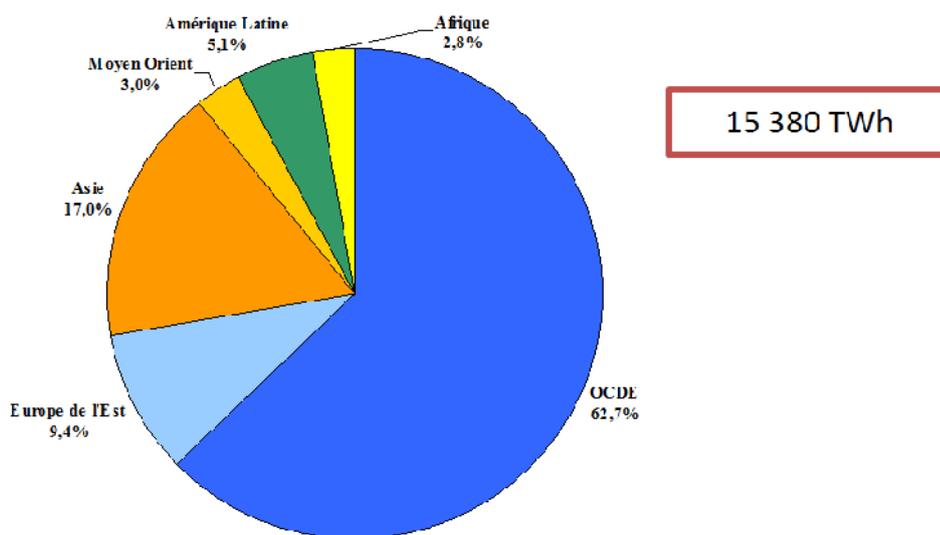


Figure(I.9)

III-B-Evolution de la production d'électricité dans le monde (1991/2008) : Figure(I.10) [15]

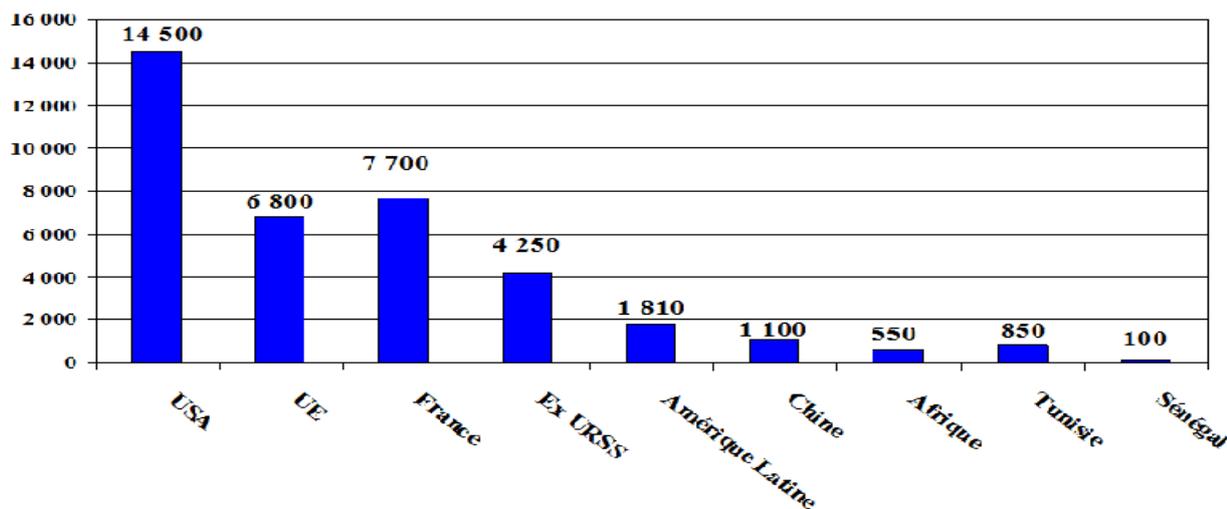


III-C-Production d'électricité par zone géographique (2000) : [10]



Figure(I.11)

III-D-Consommation moyenne d'électricité (kWh/habitant.an) : [10]



Figure(I.12)

III-E-Taux d'électrification par zone géographique : Tableau(I.1) [10]

Région	Population en millions	Taux d'électrification	Population sans électricité en millions
Amérique du nord	310	100 %	0
Europe, Ex URSS	827	100 %	0
Japon	128	100 %	0
Amérique latine	523	85 %	80
Afrique Australe	61	80 %	13
Chine	1 300	75 %	330
Afrique du nord	192	70 %	60
Inde	1 030	45 %	570
Reste de l'Asie	1 190	40 %	715
Afrique subsaharienne	630	10 %	560
TOTAL	6 191	63 %	2 300

IV. Production de l'énergie électrique en Algérie:

- ✓ Les débuts de l'électricité en Algérie:

Au début du 20e siècle, 16 sociétés se partageaient les concessions électriques en Algérie, le groupe Lebon (Compagnie Centrale d'éclairage par le Gaz) et la Société algérienne d'éclairage et de force (SAEF) au centre et à l'ouest, la Compagnie Du Bourbonnais à l'est ainsi que les usines Lévy à Constantine. Par décret du 16 août 1947, ces 16 compagnies concessionnaires sont transférées à EGA. Elles détenaient alors 90% des propriétés industrielles électriques et gazières du pays. [11]

IV. A-Techniques de Production d'électricité en Algérie:

Les impératifs de préservation de l'environnement imposent l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, par rapport aux autres énergies fossiles jugées polluantes, sachant que la ressource du gaz est largement disponible en Algérie. [11]

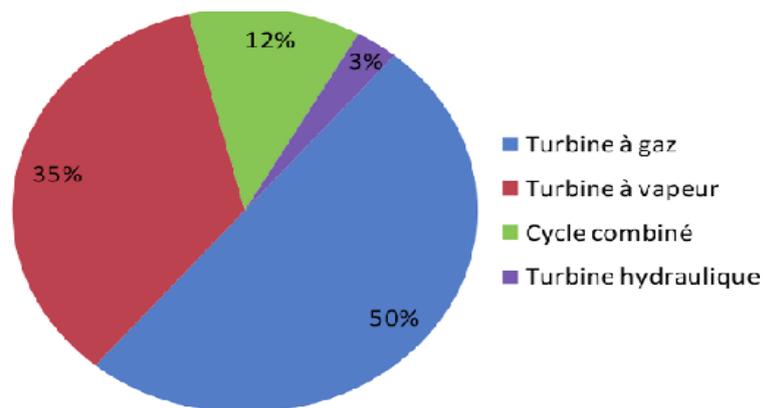


Figure (I.13) : Technique de production d'électricité en Algérie

Mais la préoccupation environnementale exige aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants notamment dans le Sud (Solaire) et Sud-ouest du pays (Eolien).

Les perspectives de relance de l'économie se traduiront par un impact certain sur le plan socio-économique et par conséquent, une augmentation notable de la consommation d'électricité est relevée sur la période 2001-2011.

A noter que de 2001 à 2011, la capacité de production d'électricité est passée de **5 600 MW** à **11 389 MW**, soit un taux d'évolution de 51% en dix ans. [11]

IV. B-Le parc de production national :est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), et des sociétés en partenariat, à savoir:

-**Kahrama Arzew** mise en service fin 2005 ;

-**Shariket Kahraba Skikda** « SKS » mise en service en 2006 ;

-**Shariket Kahraba Berrouaghia** « SKB » (Médéa) mise en service en 2007;

-**Shariket Kahraba Hadjret Ennouss** « SKH » mise en service en 2009.

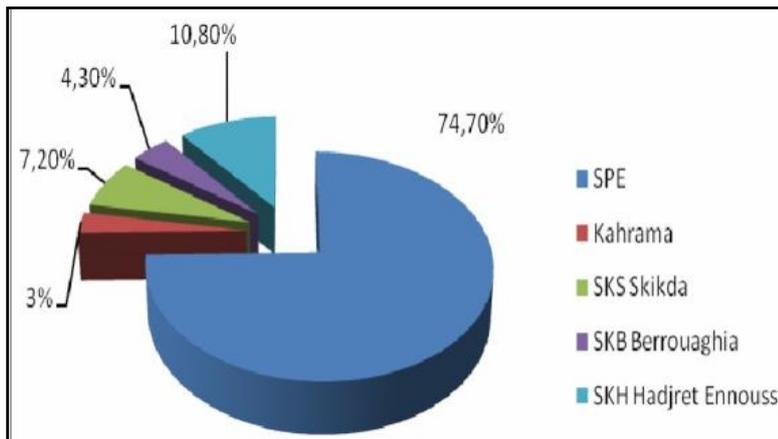
Deux autres projets sont en cours de réalisation par Sonelgaz en partenariat, il s'agit de :

-Centrale Cycle combiné de Terga (Ain Timouchent) de 3 x 400 MW, réalisée par **Shariket Kahraba Terga** (SKT), dont la mise en service de la centrale est prévue au courant de l'été 2012 ;

-Centrale Cycle combiné de **Koudiet Edraouch** (El Tarf) de 3 x 400 MW, réalisée par **Shariket Kahraba Koudiet Edraouch** (SKD), dont la mise en service est prévue en 2013. [11]

Les 11 389 MW de capacité installée atteinte fin 2011, sont répartis comme suit : Tableau(I.2)

producteurs	Production MW	Taux %
SPE	8503,8	74,7%
Kahrama	345,0	3%
SKS Skikda	825,0	7,2%
SKB Berrouaghia	489,0	4,3%
SKH Hadjret Ennouss	1227,0	10,8%
Total	11 389,8	100%

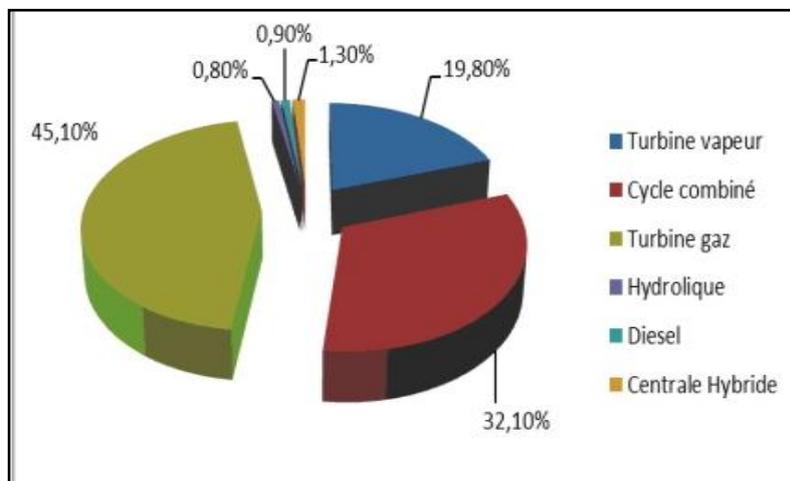


Figure(I.14) : Taux par Producteur %

La production national en 2011 a éteint 48 871,2 GWh, elle est répartit par type d'équipement comme suit : [11]

Tableau (I.3) : source chiffres clés électricité et gaz pour l'année 2011

Type d'équipement	Production GWh	Taux %
Turbine vapeur	9 653,7	19,8
Cycle combiné	15 701,3	32,1
Turbine gaz	22055,3	45,1
Hydraulique	378,3	0,8
Diesel	463,9	0,9
Centrale Hybride	618,7	1,3
Total	48 871,2	100



Figure(I.15) : Production par types d'équipement

✓ Carte du Réseau National de Production et de Transport d'Electricité : [11]

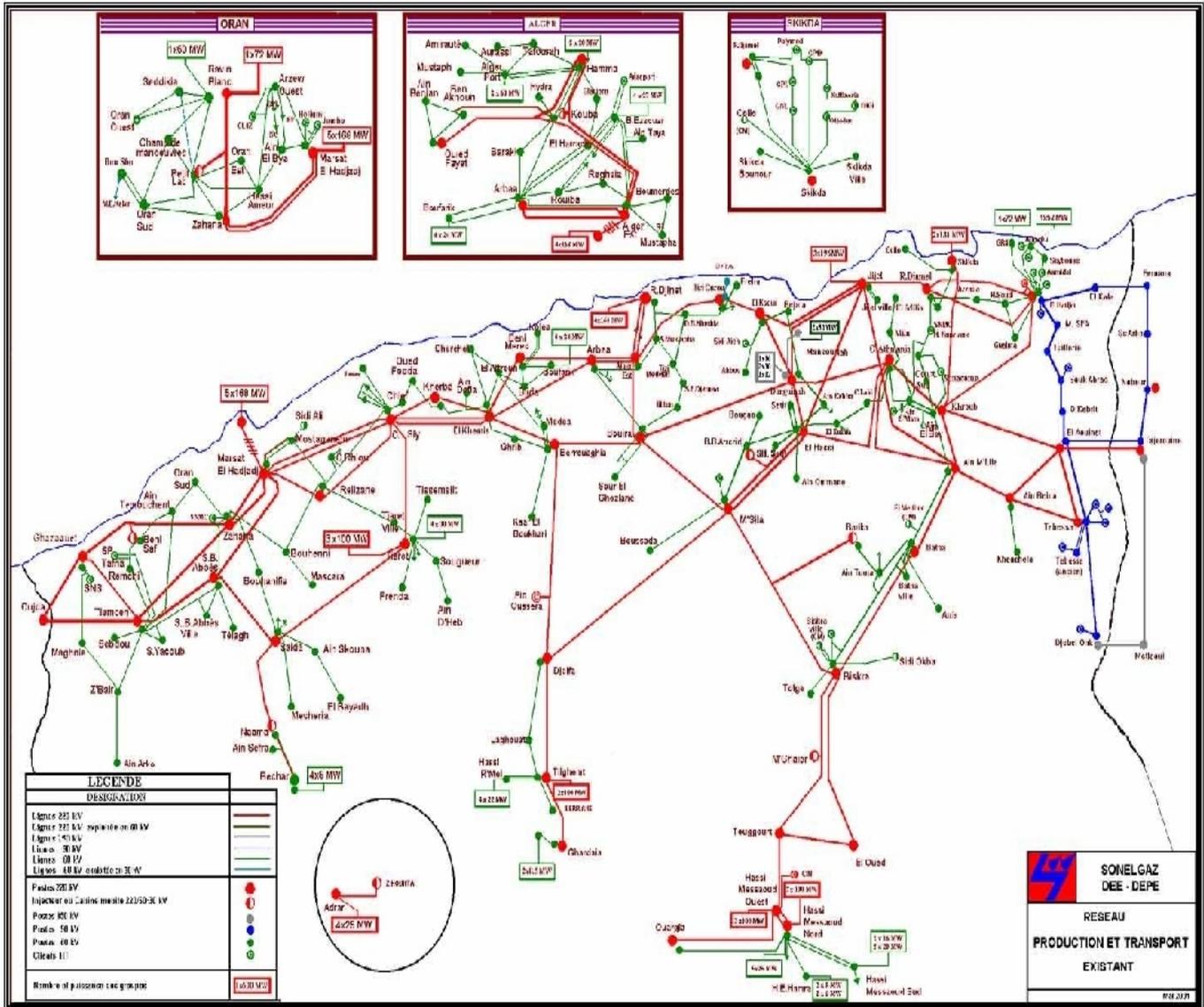


Figure (I-16)

❖ CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons représenté les phases les plus importantes dans l'histoire de l'électricité à partir de la date de sa découverte et les différentes techniques de production de l'énergie électrique globalement et localement.

A partir de ce qui précède, dans le chapitre suivant, nous identifions une des techniques les plus importantes dans la production de l'électricité qui est **l'énergie solaire**.

Qui est maintenant considéré comme une des technologies les plus importantes dans la production de l'électricité.

CHAPITRE N°02

L'énergie Solaire Photovoltaïque PV

Introduction

I. Energie Solaire

II. L'énergie Solaire Photovoltaïque

- Historique De l'énergie Solaire Photovoltaïque
- Les prévisions mondiales en photovoltaïque

III. La cellule solaire photovoltaïque

- La structure de la cellule photovoltaïque
- Principaux types de cellules solaires
- Principaux types de cellules solaires
- Principe de fonctionnement
- Effet Photovoltaïque
- Module photovoltaïque
- Caractéristique courant/tension et schéma équivalent

IV. Avantage et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

V. Domaines d'applications du photovoltaïque

Conclusion

INTRODUCTION :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie des photons, compris dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensible aux longueurs d'ondes du visible (cellules Photovoltaïque PV).

I. Energie Solaire:

Pratiquement, toutes les énergies utilisées par l'être humain sont originaires du soleil. L'énergie solaire est absorbée et stockée par les plantes. On utilise cette énergie lorsqu'on brûle le bois ou on mange de la nourriture. Les coups du vent sont dus aux différences de la température de masse de l'air. L'énergie solaire a fourni la puissance de réchauffer l'air.

Le soleil propulse aussi les cycles de la chute de pluie qui remplissent des rivières desquelles nous extrayons l'hydroélectricité. Même le pétrole, le charbon et le gaz ont été produits dans les temps préhistoriques par les organismes, en convertissant la lumière du soleil en énergie chimique. Mais nous pouvons aussi recueillir l'énergie du soleil directement pour des fins de chauffage et de production de l'électricité.

Dans ce chapitre, on présente les informations essentielles sur l'énergie solaire, particulièrement son échelle, utilisation actuelle et future.[2]

I. 1- Les réserves d'énergie mondiale:

Les réserves des ressources naturelles d'énergie mondiale tel que l'Uranium, le gaz, le pétrole et le charbon par rapport à la demande annuelle sont limités comme l'indique la Figure(II.1). Pour répondre au besoin mondial d'énergie, de nouveaux procédés de recherche sur l'énergie alternative sont accentués. L'un des énergies alternatives qui répond à cette demande, pour le moment, est l'énergie solaire. L'énergie solaire est disponible partout sur la planète, à des degrés divers et entièrement renouvelable. Son apport est variable avec les jours et les saisons, mais elle est relativement prévisible. L'énergie que reçoit la terre est énorme et durable à tel point que

l'énergie totale consommée annuellement par le monde entier, est fournie dans un temps aussi court qu'une demi-heure. Pour une journée ensoleillée, les radiations solaires sur terre atteignent 3000 Watts par mètre carré selon l'emplacement. Sur la Figure (II.1), en constatant l'énergie annuelle qu'on reçoit du soleil, il est très clair de dire qu'on doit utiliser cette énorme énergie. [2]

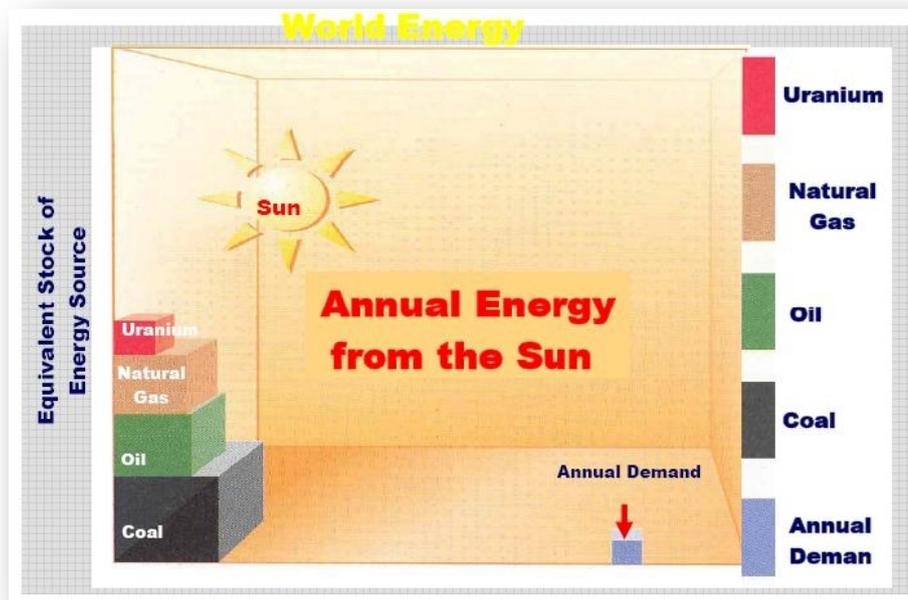


Figure (II.1) : Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle

I. 2-tendance d'énergie mondiale:

Le monde est fortement convaincu par le fait que l'unique énergie alternative à l'énergie naturelle conventionnelle est l'énergie renouvelable, en particulier l'énergie solaire. Par conséquent, la plupart des pays du monde ont introduit l'énergie solaire dans leur politique énergétique.

La Figure (II.2) montre la tendance mondiale en matière d'énergie.

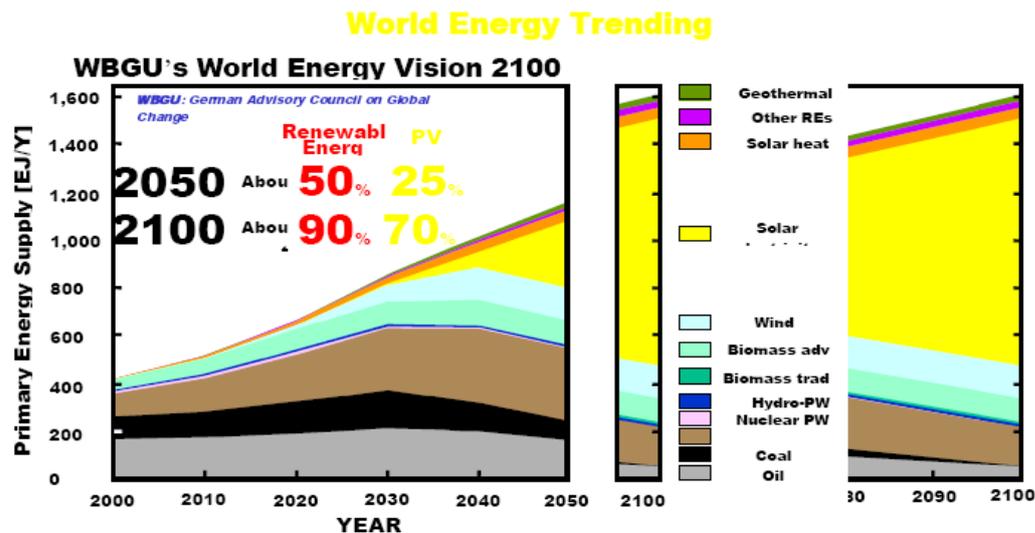
On peut constater sur la figure que pour l'an 2050, environ 50% de la production d'énergie, est de type renouvelable et 25% de cette énergie renouvelable sera de l'énergie solaire. Pour

l'année 2100, environ 90% de la production d'énergie, sera renouvelable, 70 % de ce

pourcentage est de type solaire. On se basant sur les deux pourcentages mentionnés

précédemment, on peut dire que le marché de production d'énergie s'oriente dans la direction

de l'énergie photovoltaïque. [2]



II. L'énergie Solaire Photovoltaïque:

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée. [3]

- ✓ Définition du Centrale solaire: Installation de production d'énergie à partir de la lumière solaire.
- ✓ Types des centrales solaires :
 - ✓ **Une centrale solaire thermique** :(ou thermodynamique) transforme l'énergie lumineuse en chaleur, laquelle sert ensuite à produire de l'électricité. Les rayons solaires sont concentrés par des réflecteurs sur un liquide vecteur de chaleur, dirigé vers un turbine. Il existe de multiples configurations possibles.
 - ✓ **Une centrale photovoltaïque** :est composée de panneaux solaires comportant un grand nombre de cellules photoélectriques convertissant directement l'énergie lumineuse en électricité. [3]

II-1-Centrale Solaire Photovoltaïque:

✓ Définition : Une centrale solaire photovoltaïque est un ensemble destiné à la production d'électricité. les systèmes solaires photovoltaïques autonomes sont destinés à l'alimentation en électricité de bâtiments ou d'installations isolées.



Figure (II.3) : Le Nellis Solar Power Plant comprend 72 000 panneaux solaires photovoltaïques sur 140 acres (soit 54 ha) (Centrale Solaire Photovoltaïque)

II-2-Historique De l'énergie Solaire Photovoltaïque :

Le terme "photovoltaïque" a été formé avec les mots "photo" (lumière en Grec) et "Volta", le nom du physicien italien Alessandro Volta, qui inventa la pile électrochimique en 1800. [17]

- ✓ 1839 :L'effet photovoltaïque est découvert par le physicien français Antoine César Becquerel, observant l'apparition d'une tension électrique, produite par la lumière solaire, aux bornes d'une pile constituée par des électrodes cuivre et platine plongées dans une solution électrolytique acide.
- ✓ 1873 :L'ingénieur américain Willoughby Smith découvre les propriétés photosensibles du sélénium.
- ✓ 1883 : Charles Fritts construit la première cellule en sélénium et or. Elle atteint un rendement d'environ 1%.

- ✓ 1885 : Ernst Werner Von Siemens, ingénieur et industriel allemand, précise que la conductivité du sélénium est proportionnelle à la racine carrée de l'intensité de la lumière et imagine les possibilités de captage de l'énergie solaire.
- ✓ 1887 : Heinrich Rudolf Hertz, physicien allemand, publie les résultats de ses expériences photoélectriques dans un article intitulé "Sur un effet de la lumière ultraviolette sur les décharges électriques".
- ✓ 1902 : Phillip Lenard, physicien allemand, fait une série d'observations sur l'énergie cinétique des électrons et détermine que le seuil de l'effet photoélectrique dépend de la fréquence de la lumière incidente.
- ✓ 1905 : Albert Einstein publie "Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière". Cet article lui vaudra le prix Nobel de physique en 1922.
- ✓ 1918 : Le scientifique polonais Jan Czochralski développe un procédé pour créer du silicium monocristallin.
- ✓ 1939 : L'ingénieur américain Russel Ohl découvre la jonction P-N et développe la première cellule solaire en silicium.
- ✓ 1954 : Les chercheurs américains Gerald Pearson, Darryl Chapin et Calvin Fuller mettent au point une cellule photovoltaïque en silicium pour les laboratoires Bell.
- ✓ 1958 : Première utilisation spatiale de photopiles solaires dans le satellite américain Vanguard et équipement du satellite Sputnik III de cellules photovoltaïques
- ✓ 1971 : Elliot Berman crée la société Solarpower pour développer des applications terrestres pour les modules photovoltaïques.
- ✓ 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- ✓ 1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.
- ✓ 2006 : La France lance à son tour un dispositif incitatif de développement pour le photovoltaïque raccordé au réseau.

- ✓ 2010 :le gouvernement Français confirme sa volonté de développer le solaire photovoltaïque en reconduisant les mesures d'incitation avec le maintien d'un prix d'achat et des aides fiscales (Crédit d'impôt, TVA réduite et exonération d'impôt sur les revenus solaire). [17]

II. 3- Installations photovoltaïques au monde:

- ✓ Installations photovoltaïques dans le monde en 2009 (en GW) : [10]

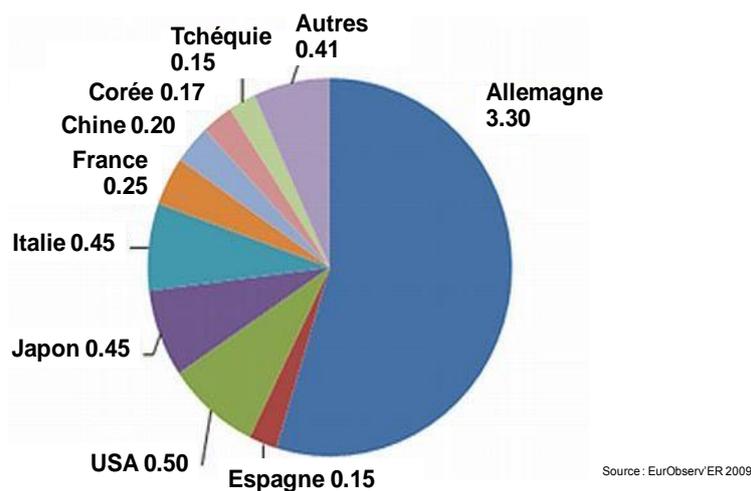


Figure (II.4)

Tableau (II.1) : Installations photovoltaïques dans le monde en 2009 (en GW) [10]

	Allemagne	Espagne	USA	Italie	France	Chine	Corée	Rép. Tchèque	Autres	Total
2008 (en GW)	1,53	2,28	0,35	0,23	0,1	0,05	0,28	0,03	0,34	5,53
2009 (en GW)	3,3	0,15	0,5	0,45	0,2	0,2	0,17	0,15	0,41	6,03
Part de marché (2009)	54,7%	2,5%	8,3%	7,5%	3,3%	3,3%	2,8%	2,5%	6,8%	100,0%

II. 4- Les prévisions mondiales en photovoltaïque :

La demande mondiale en énergie est en croissance rapide. Les ressources naturelles d'énergie sont en décroissance en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. L'énergie alternative qui peut accomplir la demande mondiale jusqu'à maintenant c'est énergie solaire. La figure 5 illustre les prévisions du besoin de la demande mondiale d'énergie solaire jusqu'à l'année 2020. On peut constater sur la figure que l'Asie mène le monde avec 15,7 GW suivie par l'Europe avec 12.7GW et les Etats-Unis avec 8.3 GW. La demande totale en énergie photovoltaïque pour l'année 2020 est estimée à 49GW comme mentionné sur le fond de la figure. En plus des pays mentionnés ci-dessus, cette estimation prend en considération le Japon et le reste du monde. Figure(II.6) [2]

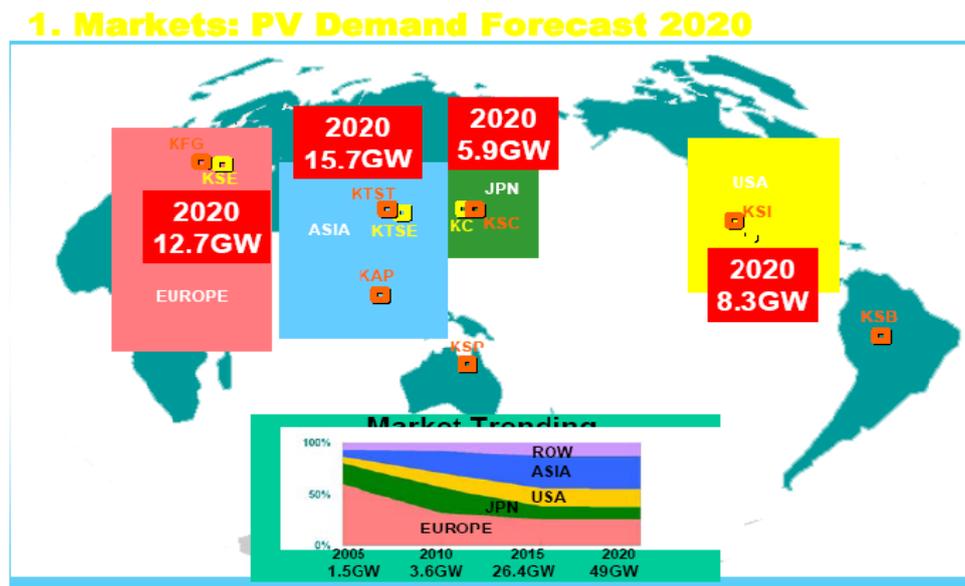


Figure (II.6) : Les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour l'an 2020.

III. La cellule photovoltaïque:

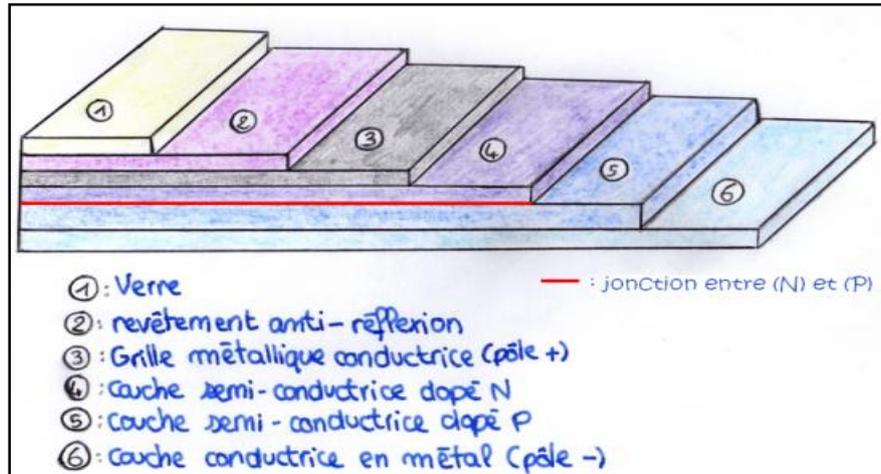
La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous 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. [2]



Figure(II.7) : Une cellule Photovoltaïque

III. 1-La structure de la cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est constituée de plusieurs couches. On trouve au centre de cette cellule, une couche avec porteurs de charges libres négative (N) en contact avec une autre couche avec porteurs de charges libres positives (P). De part et autre du cœur de la cellule, on a une couche conductrice (K) autrement dit une grille métallique, puisqu'il faut que cette couche soit conductrice et ne subisse pas des phénomènes de corrosion. On a donc une couche qui sert de cathode (pôle +) recouvrant la couche semi-conductrice dopée N et une couche qui joue le rôle de l'anode (pôle -) en dessous la couche semi-conductrice P. Aussi le silicium est très réflecteur, on place donc un revêtement anti-réflexion sur le dessus de la cellule. Enfin on trouve une couche de verre qui protège la cellule. Ces couvertures de protections sont indispensables car la cellule est très fragile. L'épaisseur totale de la cellule est de l'ordre du millimètre. Pour finir, on relie les cellules entre elles, constituant alors le panneau solaire, afin d'obtenir une puissance suffisante. [3]



Figure(II.8) : Structure d'une cellule Photovoltaïque

III. 2-Principaux types des cellules solaires :

Il existe différents types des cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. [4]

Actuellement, Il existe trois types des cellules solaires :

- **Cellules monocristallines :**

Elles ont le meilleur rendement (de 14 à 16% jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop cher due à leur fabrication complexe.



Figure(II.9) : cellule monocristalline.

- **Cellules poly cristallines :**

Leur conception est plus facile et leur cout de fabrication est moins important. Cependant, leur rendement est faible :(de12% à 14 % jusqu'à 19.8 % en laboratoire).

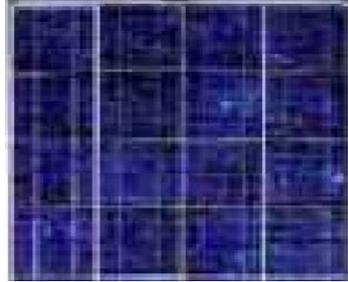


Figure (II.10) : cellules poly cristallines.

- **Cellules amorphes :**

Elles ont un faible rendement est plus faible : (de 6 % à 8 % jusqu'à 13 % en laboratoire).mais ne nécessitent que de très faible coût. [4]

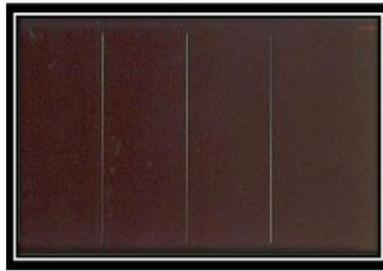


Figure (II.11) : cellule amorphe.

III. 3- Principe de fonctionnement :

L'effet photovoltaïque (PV) utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité et de transporter dans un matériau semi-conducteur, des charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et de type p.

Lorsque la première partie est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p devient chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous dans la zone p . Une jonction (dite $p-n$) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p , une diode est obtenue.

Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule. L'effet repose donc, à la base, sur les propriétés semi-conductrices du matériau et son dopage afin d'en améliorer la conductivité. [2]

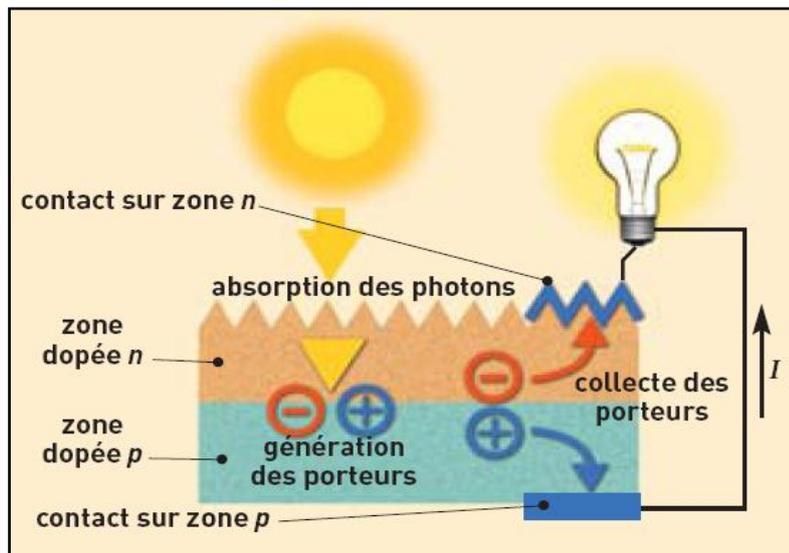


Figure (II.12) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

III. 4-Effet photovoltaïque:

Le terme “photovoltaïque” provient du mot grec ancien « photos » signifiant la lumière, la clarté. L’effet photovoltaïque est la transformation de la lumière en électricité. Ce phénomène physique est propre à certains matériaux dont le silicium, matière première des panneaux photovoltaïques.

En effet, la lumière produite par le soleil est composée de photons. Ces photons vont heurter la surface du panneau solaire et les électrons présents vont alors se mettre en mouvement dans une direction particulière permettant de créer un courant électrique continu.

Ce courant va ensuite être recueilli par des fils métalliques appelés «strings» qui vont transporter le courant de cellule en cellule. Le courant va ainsi s’additionner lors de son passage entre chaque cellule. Ce courant sera ensuite recueilli vers la centrale photovoltaïque. [2]

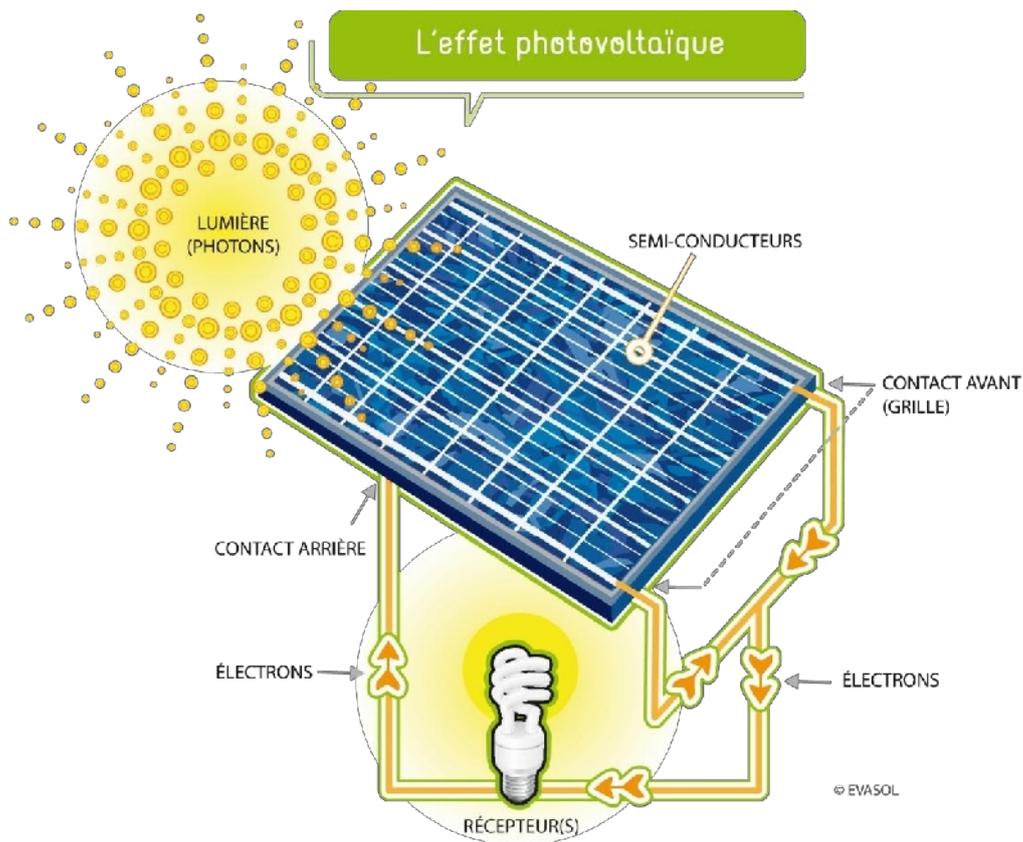


Figure (II.13) : L'effet photovoltaïque

III. 5- Caractéristique courant/tension et schéma équivalent d'une cellule PV :

Le schéma électrique équivalent de la cellule solaire est présenté ci-après. Il tient compte des résistances série R_s et parallèle R_p (Rshunt en anglais). Le courant peut s'exprimer sous la

forme:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right] - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

I_{ph} : courant photogénéré

I_s : courant de saturation de la diode

n : facteur d'idéalité de la diode

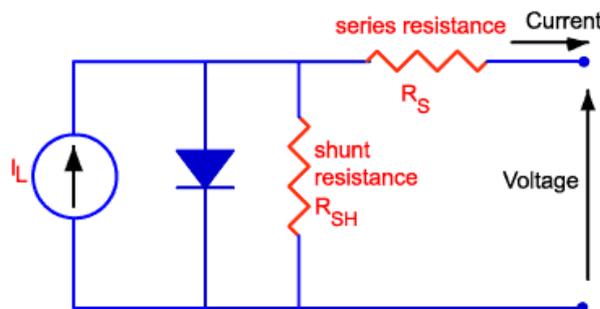


Figure (II.14) : Schéma équivalente d'une cellule PV

Paramètres significatifs:

I_{sc} : Courant en court-circuit ($V=0$)

V_{oc} : Tension en circuit ouvert ($I=0$).

FF : Facteur de forme. C'est le rapport entre la puissance maximale fournie par la cellule sur le produit $I_{sc} V_{oc}$. (Figure II.15). [14]

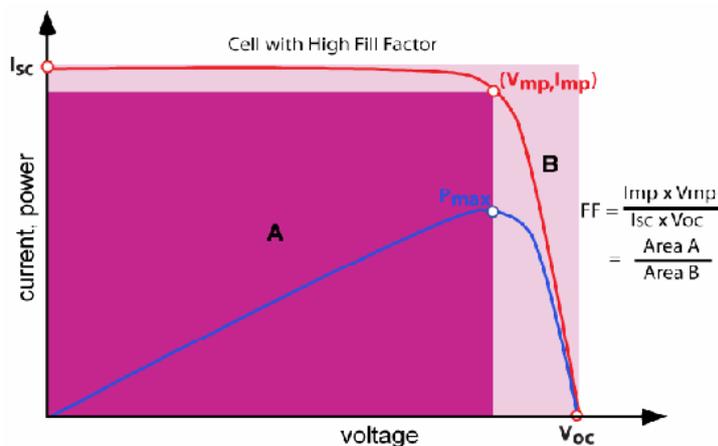


Figure (II.15) : I(V) et P(V)

η : Rendement : c'est le rapport entre l'énergie fournie et la puissance lumineuse incidente. Cette mesure se fait dans des conditions d'éclairement et de température normalisées (spectre solaire AM1.5, voir Figure (II. 16) [14]

Remarque AM1.5 correspond à un éclairement incident de 1kW/m² environ.

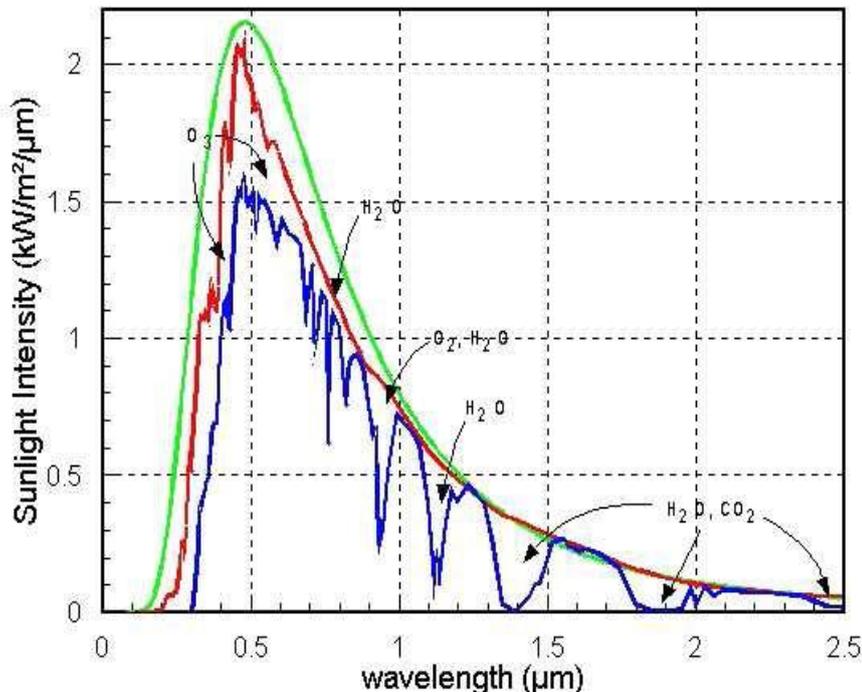


Figure (II.16) : Spectre solaire .AM0 : spectre solaire hors atmosphère, AM1.5 : spectre solaire après traversée de l'atmosphère, le soleil faisant un angle de 48° environ par rapport à sa position au zénith.

III. 6-Les Modules Photovoltaïques:

Les cellules photovoltaïques ne sont d'ordinaire pas vendues séparément à l'utilisateur. On constitue des ensembles reliés électriquement qui sont encapsulés ensemble, ce qui fournit un module photovoltaïque. [2]

Assemblage d'un module photovoltaïque .Le but de cette association est triple :

- ✓ Obtenir une tension suffisante grâce à la connexion en série de nombreuses cellules.
- ✓ Protéger les cellules et leurs contacts métalliques contre les conditions ambiantes (humidité surtout).
- ✓ Protéger mécaniquement les cellules, qui sont très fragiles.

les matériaux utilisés pour l'encapsulation doivent avoir une durée de vie élevée pour résister aux variations de température et à l'exposition aux rayons UV. Les modules doivent aussi résister aux efforts mécaniques (transport, montage, efforts éoliens) et aux averses de grêle. Enfin, ils doivent pouvoir se fixer facilement sur une structure.



Figure (II.17) : Un module PV

Le **Watt-crête** = unité de puissance max. d'une cellule PV dans les conditions standards (irradiation de 1000W/m^2 , inclinaison de 90° , T° ambiante de 25°C .)

Rendement d'un module: Souvent, les vendeurs de matériel photovoltaïque parlent de la puissance crête d'un module mais rarement de son rendement. Or, ce paramètre est évidemment important pour juger de sa qualité. [2]

Heureusement, les 2 éléments sont intimement liés. La puissance crête d'un module correspond à la puissance électrique de celui-ci dans des conditions standards (1000 W/m^2 , 25°C , AM 1,5). En connaissant la surface d'un module et sa puissance crête, il est donc aisé de calculer le rendement. Il suffit en fait de calculer la puissance crête par mètre carré et de la comparer à l'ensoleillement des conditions standards : 1000 W/m^2 .

Le rendement d'un module est donc égal à sa puissance crête par m^2 (en W/m^2) divisé par 1000 W/m^2 . [2]

Exemple: un panneau de 200 Wc a une superficie de $1,6\text{ m}^2$. Sa puissance crête par m^2 est donc de $200/1,6$ soit 125 Wc/m^2 . Le rendement de ce panneau est donc de : $125/1000 = 12,5\%$.

IV. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque:

Tableau (II.2) : Avantages et Inconvénients du centrale PV : [5]

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>✓ une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles</p> <p>qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.</p> <p>✓ 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 milliwatt au Mégawatt.</p> <p>✓ Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.</p> <p>✓ la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne</p> <p>✓ aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.</p>	<p>✓ La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.</p> <p>✓ Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%.</p> <p>✓ Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.</p>

Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru.

La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis. [5]

V. Domaine d'application du Photovoltaïque :

- A. domaine spatial
- B. habitation isolée
- C. industrie isolée
- D. centrale de puissance
- E. résidence urbaine
- F. biens de consommation

A-Domaine spatial : C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante. Depuis lors, des recherches et développements nombreux ont été réalisés dans le domaine militaire (NASA aux Etats-Unis) et public (ESA en Europe) pour accroître les performances électriques tout en réduisant le poids des modules. Le spectre du rayonnement solaire étant différent en dehors de l'atmosphère, on utilise pour les cellules et les modules spatiaux d'autres matériaux plus sensibles dans les ultra violets et plus résistants aux rayonnements et aux bombardements divers (UV, électrons, protons, ions) Puissance (inférieur à 100 kW). [13]

B-Habitation Isolées : De nombreuses organisations internationales d'aide aux pays en voie de développement ont choisi la technologie photovoltaïque comme outil de développement social et économique pour fournir des services de base à la population, tels que:

- le pompage de l'eau pour la consommation du village ou pour l'irrigation,
- la réfrigération pour la production de glace et la conservation de vaccins, sang, produits agricoles,... ,
- l'éclairage (lampe portative, éclairage public, électrification villageoise, ...) [13]

C-Industrie isolée: La technologie photovoltaïque est de plus en plus couramment intégrée dans les programmes nationaux d'électrification rurale (habitations domestiques, écoles, centres de santé, télécommunication, ...). Beaucoup d'applications professionnelles exigent une source d'électricité hautement fiable, autonome, sans entretien et sans combustible.

Le générateur photovoltaïque est de loin l'option la plus séduisante; on l'utilise avec succès dans les télécommunications (stations- relais pour TV, radio, téléphonie, émetteur-récepteur,...). [13]

D-Centrale de puissance: Avec les applications photovoltaïques connectées au réseau d'électricité national, une nouvelle tendance se dégage; elle est caractérisée par un fort potentiel de diffusion dans les pays industrialisés. Des centrales de production photovoltaïque sont expérimentées depuis quelques années en Europe, aux Etats-Unis et au Japon, mais elles n'ont pas encore dépassé le stade pilote. [13]

E- Résidence urbaine: Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits et façades de bâtiments. [13]

F-Biens de consommation : L'électronique moderne requiert de très petites puissances - du milliwatt à la dizaine de Watt - de sorte que beaucoup de petits appareils peuvent être alimentés par une petite surface de cellules photovoltaïques. Les calculatrices et les montres sont de loin les applications les plus connues. Les chargeurs de batteries, radios, lampes de poche, luminaires de jardin, systèmes d'alarme, jouets, fontaines, tondeuses à gazon, etc., sont d'autres exemples et cette liste n'est pas limitative. [13]

▪ Exemples d'utilisation:



Figure (II.18) : Utilisation de photovoltaïque pour une habitation

❖ **CONCLUSION:**

Dans ce 2 eme chapitre, nous avons présentés des informations concernant l'énergie solaire et notamment l'énergie solaire photovoltaïque qui est considérée une des énergies renouvelables qui peut couvrir la demande mondiale de l'énergie pour aussi longtemps.

Alors on peut elle la considéré comme une solution pour minimiser le Taux de population sans accès à l'électricité notamment dans les sites isolés. Une nouvelle stratégie mise en place qui est

" L'électrification rurale" qui fait le sujet de notre chapitre prochain.

CHAPITRE N°03

Electrification Rurale

Introduction

I. Définition d'Electrification rurale

- Technologies d'électrification rurale
- Taux de population sans accès à l'électricité à l'échelle mondiale

II. Electrification rurale en Algérie

- Historique
- Les Programmes d'électrification rurale (ER)
- Financement des Programmes d'électrification rurale (ER)
- Rétrospectives des réalisations annuelles de 2000 à 2010

III. Electrification rurale en Algérie Par énergies solaires

IV. Gisement solaire en Algérie

V. Règlementation

VI. Les impacts de l'électrification rurale – Le problème du développement

Conclusion

INTRODUCTION :

L'énergie est nécessaire à toute activité humaine et indispensable à la satisfaction des nombreux besoins fondamentaux tels que : la nutrition et la santé, le lien entre l'énergie et pauvreté est indéniable. Ainsi que , pour lutter contre la pauvreté, il est indispensable que les populations aient accès à une source d'énergie moderne telle que : l'électricité. En effet, l'accès à l'électricité du monde rural est un enjeu de qualité de vie, d'équité sociale et de développement durable et économique.

I. Définition d'Electrification rurale :

Elle désigne le processus de mise à disposition de l'énergie électrique aux populations de régions rurales et/ou éloignées. [9]

I. 1-Technologies d'Electrification rurale :

▪ Le réseau électrique:

L'extension du réseau électrique constitue la solution la plus évidente pour la connexion de nouvelles habitations. Par définition, l'électricité est produite de façon centralisée à l'aide de centrales (thermiques, hydrauliques, nucléaires, etc.) et est distribuée à l'aide de lignes haute, moyenne et basse tension. La mise en place d'une nouvelle ligne électrique ne se justifie que si la densité de consommation (en kWh/km²) de la zone desservie est suffisante. Cette condition est problématique dans les zones rurales des pays en développement, où la consommation individuelle et la densité de population sont très faibles, ce qui rend l'extension du réseau peu intéressante économiquement.

▪ Les générateurs diesel:

Le générateur diesel (ou groupe électrogène) est la solution la plus rencontrée dans les zones non reliées au réseau électrique. Cela s'explique notamment par son coût d'investissement très faible (quelques centaines de dollars pour un système de 5 Kwh). En revanche, son coût d'utilisation est relativement élevé, notamment à cause du coût du diesel dans les régions rurales. Son rendement est généralement très faible (entre 7 et 25 % en moyenne pour les unités de petite taille), ce qui augmente la consommation de diesel. Malgré le coût initial faible, le coût du Kwh électrique est relativement élevé, avec des valeurs tournant autour de 0,5 USD/Kwh.

- **Le solaire photovoltaïque :**

Contrairement au générateur diesel, le principal désavantage des panneaux photovoltaïques est leur coût initial très élevé (plusieurs milliers de dollars par Kwh installé). En revanche, leur utilisation est gratuite, le soleil étant généralement largement disponible dans les régions rurales des pays du Sud.

- **La micro-hydroélectricité:**

Les micro-centrales hydroélectriques mettent à profit les différences de hauteur manométrique des cours d'eau pour mettre une turbine en mouvement. Plusieurs technologies peuvent être utilisées, comme les turbines Pelton, Francis et Kaplan. Les turbines de type Bank sont également bien adaptées aux zones éloignées de pays en développement, grâce à leur simplicité de fabrication, de mise en œuvre et de maintenance.

- **Le petit éolien :**

Les petites éoliennes peuvent également être utilisées pour l'électrification de sites isolés, que ce soit dans les pays développés ou dans le cadre de programmes d'électrification dans les pays en voie de développement (voir par exemple l'ONG blue energy). Pour stabiliser la production, on les associe généralement à un générateur ou à des batteries. [9]

I. 2-Taux de population sans accès à l'électricité : 1,6 milliards d'habitants n'ont encore aujourd'hui pas accès à l'électricité, pourtant source d'énergie majeure pour assurer le développement sanitaire et économique d'un pays. En Afrique notamment, 80% de la population rurale n'a pas accès à l'électricité. [12]

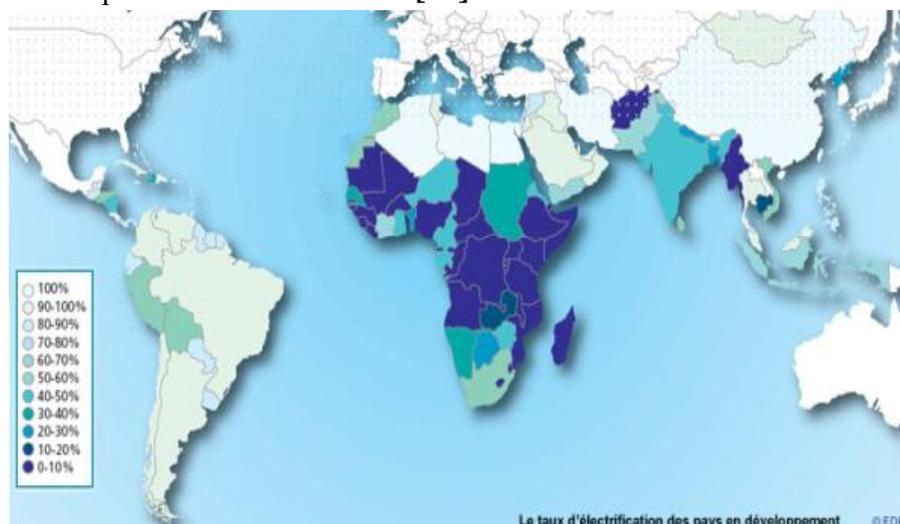


Figure (III.1) : Taux d'électrification des pays en développement

II. Electrification rurale en Algérie:

II. 1-Historique:

A l'indépendance l'électrification du pays laissait apparaître une extrême disparité entre les différentes régions du pays avec un littoral et les grandes villes électrifiées et le reste du pays, notamment les zones rurales dépourvues de toute forme d'énergie. C'est ainsi que les pouvoirs publics ont très tôt perçu l'importance de l'électrification comme vecteur porteur de progrès économique, social et culturel dans le monde rural. Ainsi des actions d'électrification ont été engagées à travers des programmes nationaux et spéciaux.

Dés le milieu des années 70, l'état a accéléré le rythme de l'électrification rurale avec l'objectif « d'introduire l'électricité dans la totalité des foyers algériens ». Cela s'est traduit par : « *Le Plan National d'Electrification (PNE)* ». Le taux d'électrification à fin de l'année 1975 était de 53%, ce taux global comportait une forte dispersion régionale, reflet des déséquilibres socioéconomiques régionaux que le PNE devrait contribuer à résoudre. Compte tenu de la portée stratégique du PNE, le financement en a été assuré par une dotation de l'État. A partir de l'année 2002, plusieurs programmes nationaux et régionaux ont été lancés, avec la participation des sociétés du groupe Sonelgaz au financement (à hauteur de 25 % depuis décembre 2006). [8]

II. 2-Les Programmes d'électrification rurale (ER) :

Les programmes ER, sont des programmes nationaux et régionaux, élaborés par le Ministère de l'Énergie et des Mines avec la participation des Wilayas et des sociétés Sonelgaz. [8]

II. 2-1-Financement des programmes ER :

Financement des programmes depuis décembre 2006:

* Etat : **75 %**

*Sociétés du groupe Sonelgaz : **25 %**

Avant décembre 2006, le financement des programmes était assuré par l'état à 100 %. Il est à signaler que 18 villages isolés du sud du pays, sont alimentés dans le cadre de l'ER, par le solaire photovoltaïque, dont le financement est assuré par l'état à 100%. [8]

Consistances des programmes ER en cours de réalisation :

- Près de **21 400 km de réseau de distribution** (MT/BT)
- Près de **380 600 foyers à raccorder**.
- **16 villages et 51 centres solaires** à alimenter en photovoltaïque.

II. 2-2-Rétrospectives des réalisations annuelles de 2000 à 2010: Tableau (III.1) [8]

ANNEE	Longueur Réseau distribution (Km)	Nombre de foyers raccordés (unités)
2000	2 639	27 581
2001	3 044	28 309
2002	4 315	41 589
2003	3 350	37 194
2004	3 741	24 698
2005	3 007	25 148
2006	2 133	20 147
2007	2 849	15 463
2008	3 358	31 458
2009	2 676	28 451
2010	1 852	22 757
TOTAL	32 963	302 795

✓ Programme d'électrification en énergie photovoltaïque (période 1998-2001) :

Certains villages isolés situés dans le sud du pays (18 villages, près de **900 foyers**) sont alimentés dans le cadre de l'ER, par le solaire photovoltaïque. Un second programme national concerne l'alimentation en énergie photovoltaïque de **16 villages et 51 centres ER**, situés dans le sud du pays, **représentant globalement près de 1400 foyers à raccorder** e électricité, est en cours de réalisation.

Ces villages sont caractérisés par un nombre de foyers réduits, dispersés et par leur isolement et leur éloignement de tout réseau de communication.

✓ Evolution du taux d'électrification de 1969 à 2010 :

En 1969 le taux national d'électrification en Algérie était de **40,0 %**, ce **taux global**

Comportait une forte dispersion régionale, reflet des déséquilibres socioéconomiques régionaux que le Programme National d'Electrification (PNE) devrait contribuer à résoudre.

Leur alimentation par les filières classiques (diesel, réseau) auraient posé le Problème de l'acheminement du combustible, et dans le cas du réseau, des difficultés certaines pour les travaux de réalisation et de maintenance des lignes aériennes. [8]

La consommation journalière par foyer étant arrêtée à 2 Kwh /jour, représentant l'éclairage, l'alimentation d'un réfrigérateur, d'un ventilateur et d'un équipement audio-visuel.

Ce taux national d'électrification est passé de **61 % en 1979 à 83,8 % en 1989**, pour atteindre **les 98,6 % en 2010**. L'évolution du taux national d'électrification, sur les périodes 1969 - 2010 met en évidence l'effort consenti par l'État Algérien en matière d'électrification de tous les foyers. [8]

✓ Perspectives à l'horizon 2014 :

Un nouveau programme d'électrification rurale (ER) a été arrêté par l'état, il consiste en la réalisation de :

- Plus de **21 000 km de réseau de** distribution d'électricité (Moyenne et Basse Tension)
- Plus de **219 600 foyers nouveaux à** raccorder.

L'objectif de ce nouveau programme est d'atteindre en 2014 un Taux d'électrification national de 99 %.

Outre le confort de disposer à tout moment de l'électricité à usage domestique, l'électrification rurale a permis:

- Désenclavement des régions isolées par l'installation des systèmes d'information et de communication (stations de TV – radio – Téléphonie- Internet, ...). Confort Domestique en substituant les bougies, les lampes à pétroles ou de gaz butane, soit un taux d'électrification de 98,6 % .
- Introduction des équipements audiovisuels et appareils électroménagers dans les ménages.
- Confort au niveau de l'éclairage public et amélioration de la sécurité des citoyens
- Sédentarisation et stabilisation des populations au sein des villages électrifiés et réduction des mouvements de migration.
- Emergence des petites exploitations agricoles et des petites parcelles irriguées
- Implantation d'équipements collectifs tels que les dispensaires, les écoles, les postes, etc.
- la création d'emplois en développant l'activité commerciale locale.
- Amélioration des conditions et du niveau de scolarisation des enfants. [8]

III. Electrification rurale en Algérie Par énergies solaires:

En ce qui concerne le programme solaire en photovoltaïque (2 800 MW), Il est prévu la réalisation de centrales solaires photovoltaïques d'une puissance totale de 800 MW entre 2013 et 2020 et d'une puissance totale de 2 000 MW entre 2021 et 2030. [11]

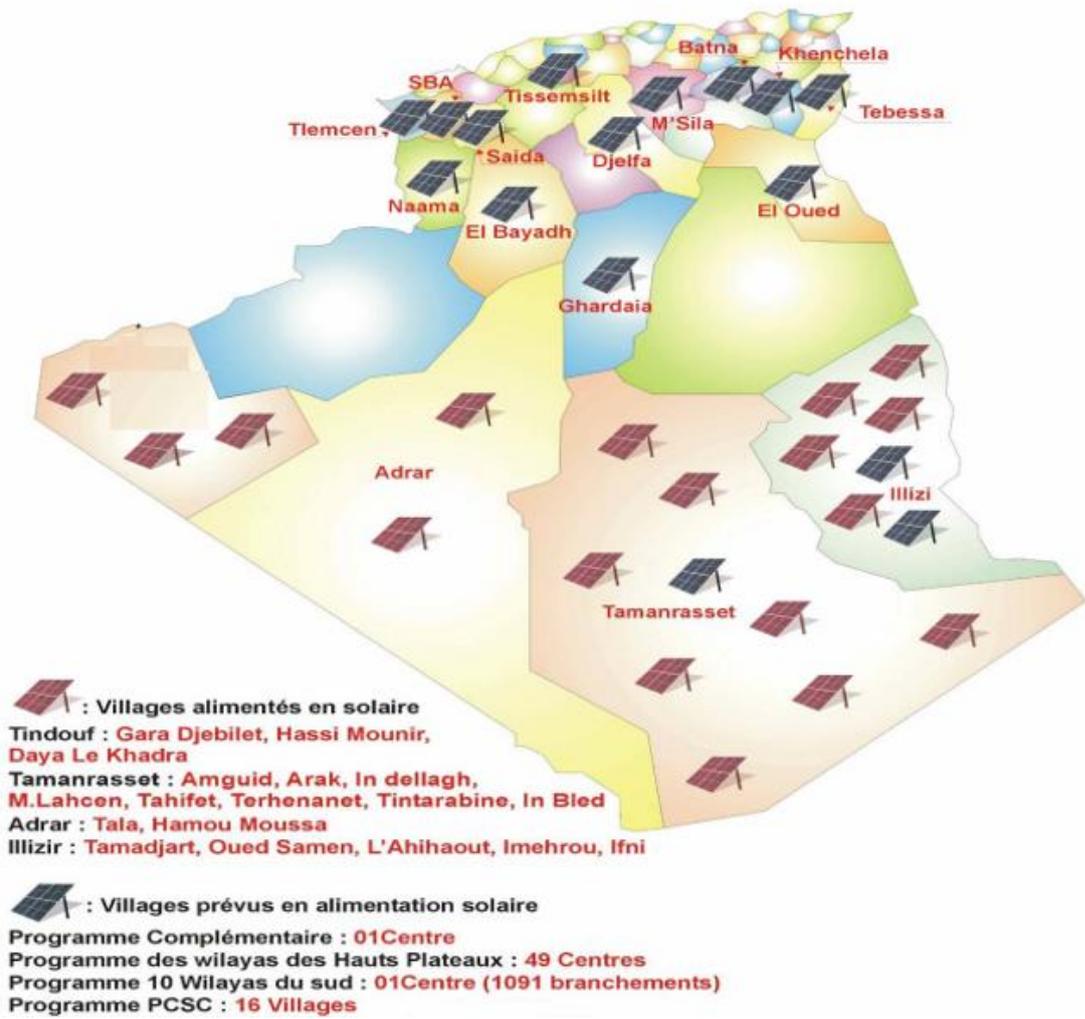


Figure (III.2) : Emplacement des villages alimentés ou prévus en alimentation solaire [11]

IV. Gisement solaire de l'Algérie:

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la Figure (III.3). [6]

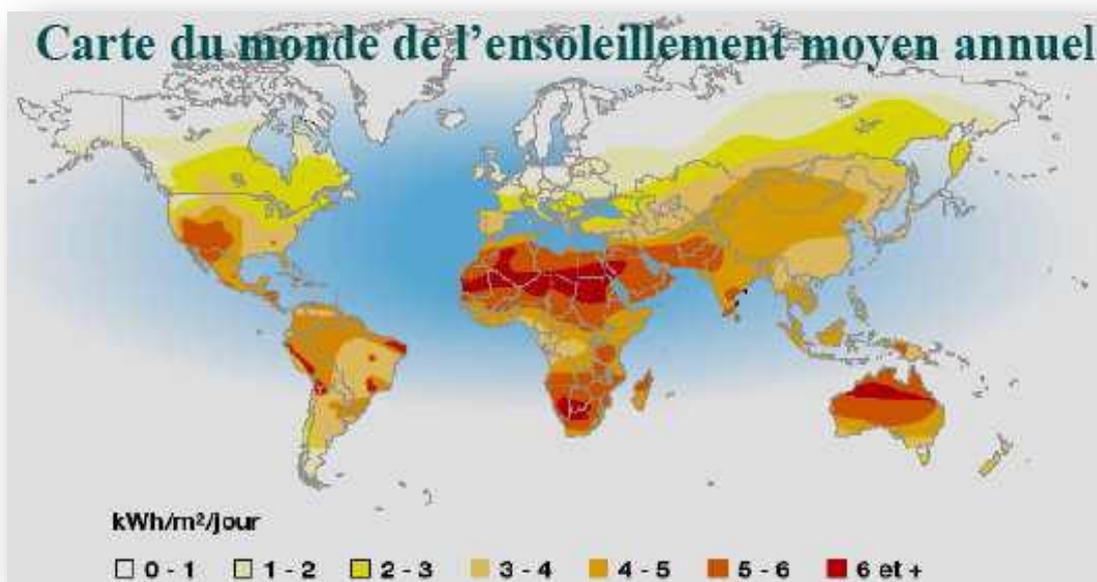


Figure (III.3).

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. [6]

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau(III.2) selon l'ensevelissement reçu annuellement. [6]

Tableau (III.2) : Ensevelissement reçu en Algérie par régions climatiques

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensevelissement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

✓ Carte de Gisement solaire Algérien : [11]

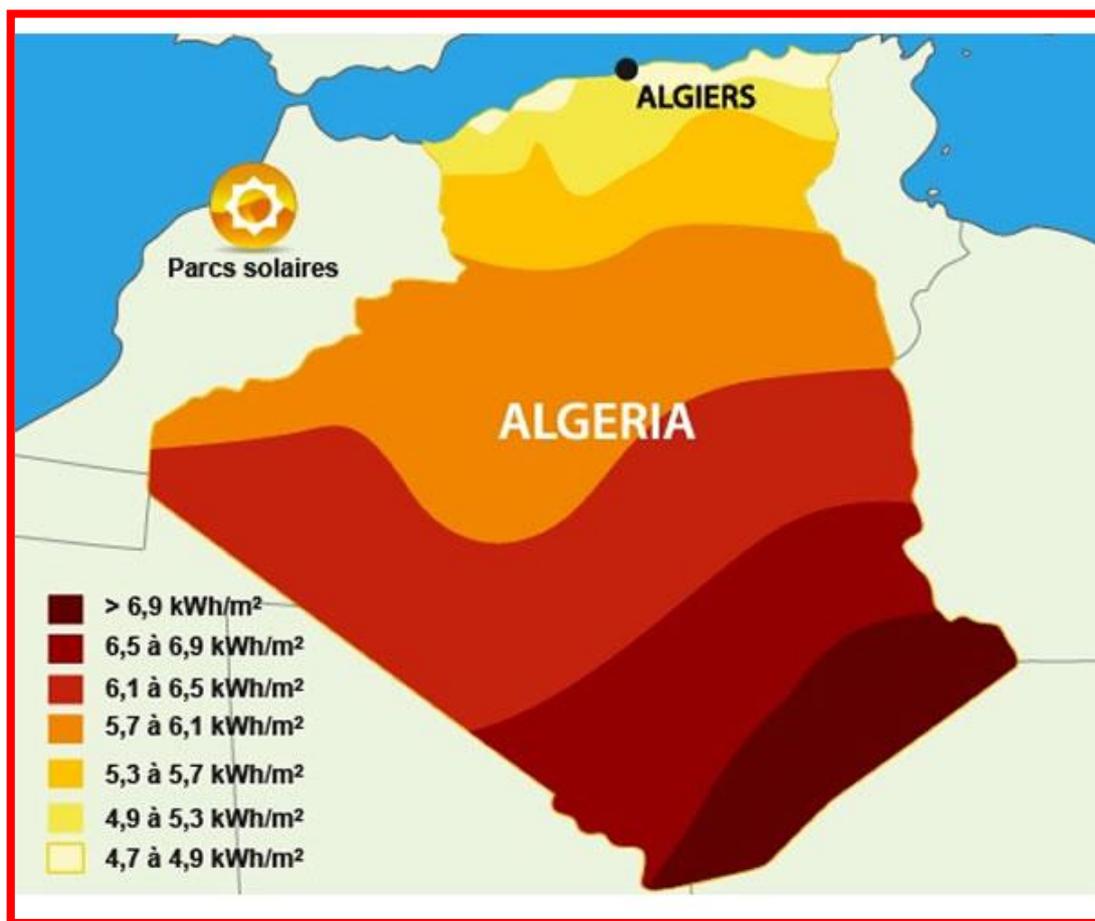


Figure (III.4)

V. Règlements :

Les décrets et les lois relatifs à la promotion des énergies renouvelables visent à garantir un développement durable et une maîtrise de l'énergie en Algérie, et à respecter les normes d'efficacité énergétiques à fin de répondre aux exigences des conventions internationales que l'Algérie a signé (Protocole Kyoto) :

Art. 6. — Les activités de production de l'électricité sont ouvertes à la concurrence conformément à la législation en vigueur et aux dispositions de la présente loi.

Art. 11. — Les installations destinées à l'autoconsommation, de puissance totale installée inférieure à vingt cinq (25) MW aux conditions ISO ainsi que les aménagements ou extensions de capacité d'installations de production existantes lorsque la puissance énergétique additionnelle augmente de moins de dix pour cent (10%) sont dispensées de l'autorisation d'exploiter; elles doivent faire l'objet d'une déclaration préalable à la commission de régulation qui en vérifie la conformité avec la présente loi.

Art.13. — Les critères d'octroi de l'autorisation d'exploiter portent sur :

— la sécurité et la sûreté des réseaux d'électricité, des installations et des équipements associés ;

— l'efficacité énergétique ;

— la nature des sources d'énergie primaire ;

— le choix des sites, l'occupation des sols et l'utilisation du domaine public ;

— le respect des règles de protection de l'environnement ;

— les capacités techniques, économiques et financières ainsi que sur l'expérience professionnelle du demandeur et la qualité de son organisation;

— les obligations de service public en matière de régularité et de qualité de la fourniture d'électricité ainsi qu'en matière d'approvisionnement de clients n'ayant pas la qualité de client éligible. [19]

Art. 26. — En application de la politique énergétique, la commission de régulation peut prendre des mesures d'organisation du marché en vue d'assurer l'écoulement normal sur le marché, un prix minimal d'un volume minimal d'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables ou de systèmes de cogénération.

Les surcoûts découlant de ces mesures peuvent faire l'objet de dotations de l'Etat et/ou être pris en compte par la caisse de l'électricité et du gaz et imputés sur les tarifs.

Les quantités d'énergie à écouler sur le marché et visant l'encouragement des énergies renouvelables ou de cogénération doivent faire l'objet d'un appel d'offres défini par voie réglementaire.

Art. 27. — Les droits et obligations du producteur d'électricité sont définis dans un cahier des charges fixé par voie réglementaire. [19]

VI. Les impacts de l'électrification rurale – Le problème du développement:

La première utilisation de l'électricité en région rurale est l'éclairage. La télévision arrive en second lieu. À elles deux, ces applications représentent plus de 80 % de la consommation d'électricité rurale dans les pays en développement. On peut aisément comprendre que l'accès à l'électricité et à l'éclairage permette d'étendre la plage horaire d'activité du ménage, et peut aussi favoriser l'apprentissage et l'étude. Avec l'électricité, les femmes passent moins de temps à la récolte de combustible traditionnel et à la préparation des repas, même si le combustible n'est pas modifié. La raison est qu'avec l'éclairage, les femmes peuvent préparer le repas principal juste avant qu'il soit mangé plutôt que de le préparer pendant la journée et puis de le réchauffer en soirée. Plusieurs études montrent en outre que les panneaux PV ne sont pas forcément adoptés pour des raisons économiques (pour économiser le coût du carburant), mais plutôt pour améliorer l'accès aux services que sont la TV (le football est souvent mentionné) et l'éclairage. Il apparaît même que certains ménages continuent à utiliser le kérosène pour l'éclairage afin d'économiser l'électricité pour la télévision. L'expérience a montré que les politiques de développement rural ont été des outils efficaces pour diminuer l'exode rural. L'électrification rurale, qui permet d'augmenter le niveau de vie des habitants, constitue en ce sens un outil de premier choix. Les impacts suivants sont régulièrement cités dans le cadre des programmes d'électrification rurale: la santé, l'éducation, l'égalité homme-femme et l'activité économique. [7]

Santé : L'accès à l'électricité semble être un outil efficace en vue d'améliorer les services de santé. Il permet d'approvisionner les villages en eau potable, ou encore d'améliorer les moyens de communication permettant de lutter plus efficacement contre le SIDA. À l'heure actuelle, seule une minorité de cliniques rurales a accès à l'électricité. Pourtant, ce dernier permet d'améliorer les conditions de traitement des patients, dont notamment les conditions sanitaires, la stérilisation des instruments ou la conservation des vaccins à l'aide de réfrigérateurs. Le confort lié à l'électricité permet également d'attirer des docteurs plus qualifiés et plus expérimentés. On note aussi des effets indirects de l'électrification, liés par exemple à un niveau d'éducation accru : plusieurs études montrent ainsi un lien étroit entre le niveau d'alphabétisation des femmes et la mortalité infantile, la mortalité maternelle, et la prévalence du SIDA, une femme éduquée étant plus à même de prendre soin de son enfant.

Éducation : L'accès à l'électricité a un impact positif sur le temps passé à l'école et sur le temps passé à étudier, l'éclairage moderne permettant de travailler plus tard le soir. On constate que chaque année investie dans l'éducation d'un enfant est beaucoup plus profitable lorsque l'accès à l'électricité est concomitant. En d'autres mots, fournir de l'électricité seule, ou de l'éducation seule ne possède qu'un impact limité sur les revenus des individus, alors que le binôme électricité/éducation semble être très efficace pour l'augmentation du niveau de vie du ménage. Plusieurs études menées aux Philippines et au Viêt Nam ont montré que les enfants provenant de ménages électrifiés gagnent environ deux ans d'éducation par rapport aux enfants provenant de familles non électrifiées.

Famille et répartition des tâches homme-femme: Les problèmes des inégalités homme-femme sont fortement liés au problème de la pauvreté : 70 % des pauvres des communautés rurales des pays en développement sont des femmes. De plus, les pauvres ne le deviennent pas forcément de la même manière selon qu'ils soient de sexe masculin ou féminin et ils ne sont donc pas affectés de la même manière par les programmes d'accès à l'énergie. On distingue généralement deux rôles économiques principaux : les tâches productives et les tâches reproductives. Les premières font références à toutes les activités qui rapportent de l'argent au ménage, tandis que les secondes font référence aux activités du ménage elles-mêmes, telles que la cuisine ou l'éducation des enfants. Ces deux rôles économiques sont distribués de façon très différente selon qu'on soit homme ou femme. Le rôle des femmes dans les activités productives est généralement limité à des postes peu rémunérés requérant un faible niveau d'éducation et avec peu de responsabilités. Par contre, les femmes sont les principaux acteurs de l'économie reproductive. L'économie reproductive est celle qui est le plus directement affectée par l'accès à l'électricité, ce dernier réduisant fortement le temps alloué aux tâches ménagères. Les femmes sont donc souvent les premières concernées par l'accès à l'électricité, ce qui souligne l'importance de leur participation aux projets d'électrification.

L'activité économique: Celle-ci peut être stimulée par un accès accru à l'énergie, et plus particulièrement à l'électricité. Dans le cas de l'agriculture par exemple, cet effet peut être expliqué par divers mécanismes : les rendements agricoles peuvent être considérablement améliorés grâce à l'accès à l'électricité : pompes électriques, broyeurs, sécheurs et autres engins agricoles permettent de substituer le travail humain ou animal à la machine et augmentent la productivité à l'hectare. L'accès aux moyens de communications permet également aux agriculteurs de se tenir au courant des prix du marché, ce qui leur permet de

prendre des décisions et des orientations plus avisées. Cependant, les évidences empiriques ne permettent pas d'établir une relation de cause à effet entre accès à l'énergie et développement d'activité locale : il semble que l'accès à l'électricité soit un des facteur favorisant la croissance économique locale, mais on ne peut s'attende à une explosion des petits commerces et de l'industrie suite à un programme d'électrification rurale seul. L'importance des programmes de développement annexes à l'électrification (accès au crédit, éducation, etc.) est à souligner. [7]

❖ CONCLUSION:

Le 3 ème chapitre sert à illustré c'est quoi l'électrification rurales à l'échelle mondiale et ces différents technologie ainsi que l'électrification rurale en Algérie, les différents stratégies prisent par l'état dans le domaine de l'électrification rurale qui ont été remarquables ; et englobant un ensemble de programmes nationaux et régionaux. Les réalisations de ces programmes ont permis :

- Le renforcement des réseaux électriques existants.

-La réduction du nombre d'abonnés mal alimentés au milieu rural, La réalisation d'un taux national d'électrification de 98,6 %. [8]

En effet, l'évolution du taux national d'électrification sur les périodes 1969 (40%) - 2010 (98,6) met en évidence l'effort consenti par l'État. [8]

L'électrification rurale a été le canal par lequel on a introduit l'innovation, L'électricité est porteuse d'un projet social de modernisation de l'homme rural et de l'espace environnemental. Pour atteindre le même objectif que va étudier tous ce qui concernent l'électrification d'un site isolé dans la Wilaya de Biskra à travers les deux voies: classique et photovoltaïque.

CHAPITRE N°04

Un Modèle d'Application

(LABRECH –Tolga-)

Introduction

- I. Le choix de site**
- II. Le site choisi « LABRECH »**
- III. Bilan énergétique de la région**
- IV. Dimensionnement d'un foyer rural**
- V. Etude d'électrification de LABRECH par voie classique**
- VI. Etude d'électrification de LABRECH par voie photovoltaïque**
- VII. Les équipements utilisés**
- VIII. Comparaison entre les deux modes (classique et photovoltaïque)**

Conclusion

INTRODUCTION :

D'après tous les chapitres précédents nous arrivons à chercher un site isolé ou il s'agit de fournir à ces habitants un système électrique permettant de satisfaire ses besoins nécessaires.

Alors où se trouve ce site ? quelle sont les besoins considérés comme essentiels et quelle est la meilleure méthode à suivre afin de les atteindre ?

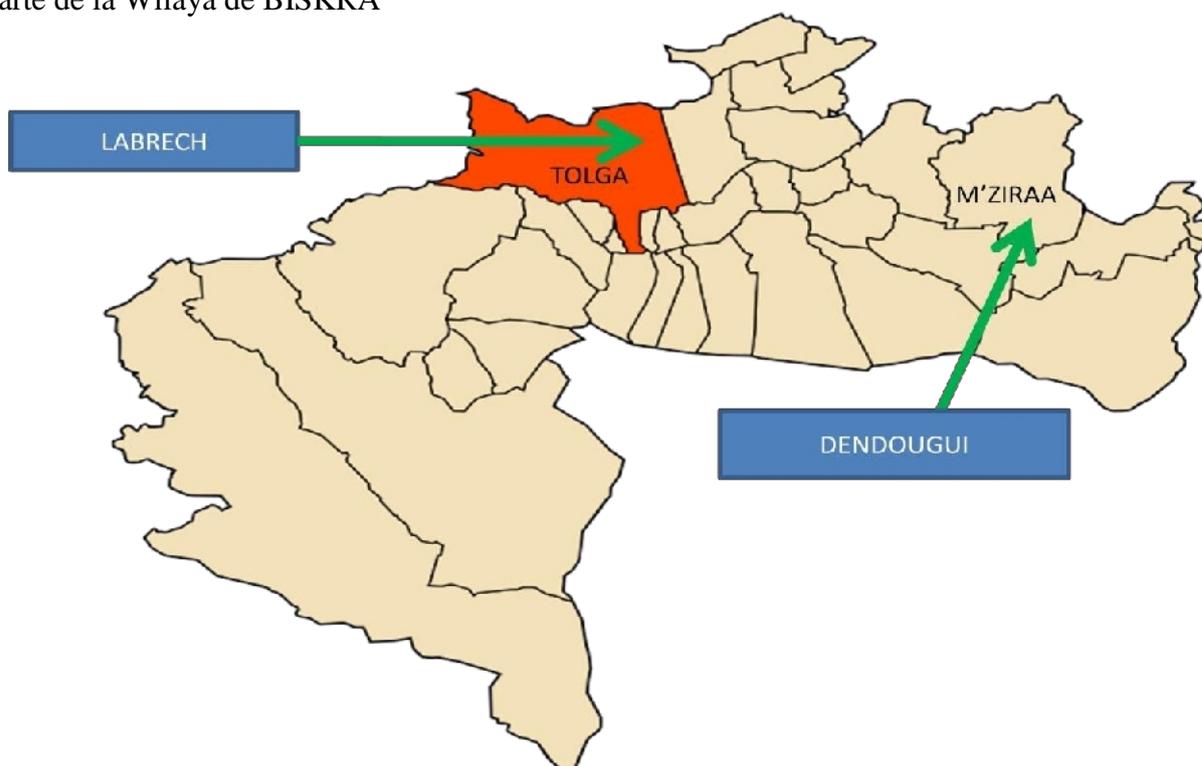
I. Choix de site:

I. 1 -les sites candidats:

-SITE N°01: village de « LABRECH » situé dans le Nord Ouest de la wilaya de BISKRA, commune TOLGA, dans une région agricole distante de 30 km de TOLGA et de 58 km de la wilaya de BISKRA, il contient 60 foyers.

-SITE N°02: village de « DENDOUGUI » situé dans le Sud Ouest de la wilaya de BISKRA dans une région saharienne, distant de 19 km de chef lieu de la commune de « BESBESS ».

Carte de la Wilaya de BISKRA



I. 2- Pourquoi ces 2 sites?

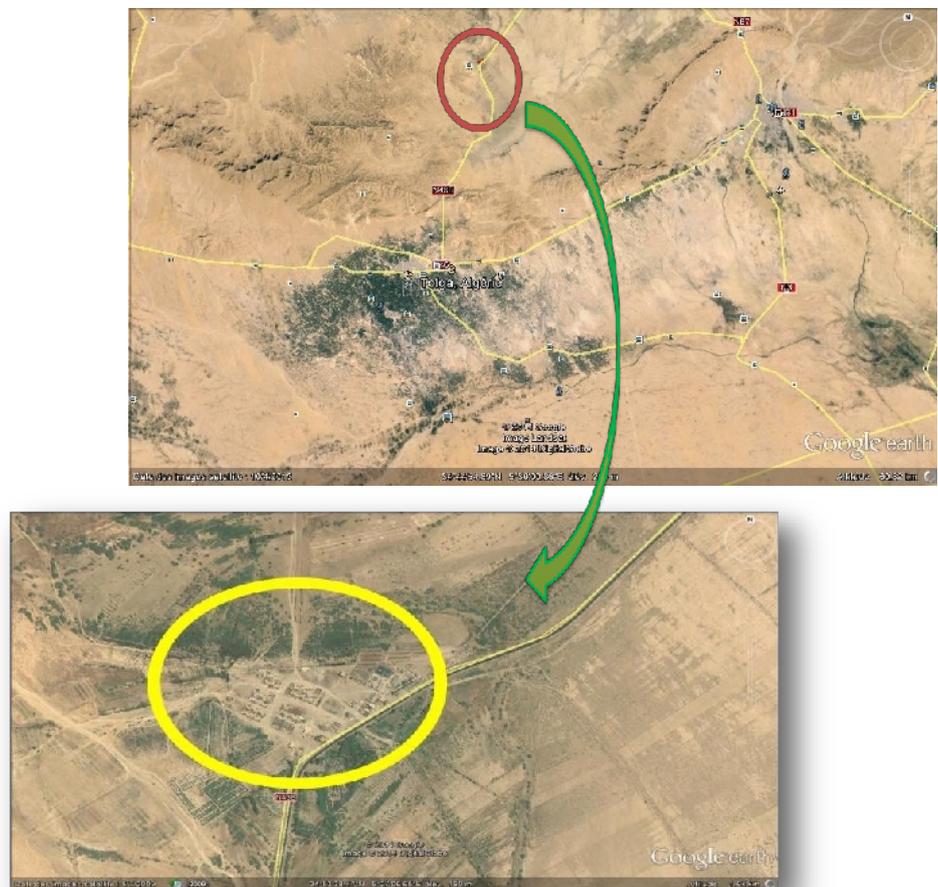
Des habitats à faible revenus financiers, qui peuvent rarement « investir » dans un système énergétique onéreux. (C'est le cas, en particulier, des néo-ruraux, les nouveaux agriculteurs ou artisans en rupture de vie citadine)

Des habitants très éloignés d'un réseau électrique, qui ne peuvent pas être aidés pour leur raccordement au réseau : ils désirent améliorer leur niveau de confort pour un investissement faible dans l'attente de modifications dans la politique d'électrification (création d'une nouvelle ligne à proximité qui modifie le cout du raccordement...)

En somme, il s'agit de fournir à ces habitants un système électrique permettant de satisfaire les besoins essentiels pour un coût minimal.

II. Le site choisi village « LABRECH »:

-L'éloignement du réseau classique (58 km de la wilaya de Biskra) ainsi que l'insécurité qui règne dans la région forment ensemble la justification du choix de village « **LABRECH** » comme modèle d'étude.



LABRECH

II. 1-Situation de wilaya de Biskra parmi les zones de gisement solaires en Algérie:

La wilaya de **BISKRA** est parmi la wilaya les plus ensoleillées en Algérie en occupant un espace très important, elle se situe dans la troisième zone de gisement solaire en Algérie.

Le site de Batna (**zone 3**), en Algérie, est l'un des sites où un certain nombre de projets solaires tels que le pompage, les systèmes d'éclairage, sont déjà mis en application. [2]

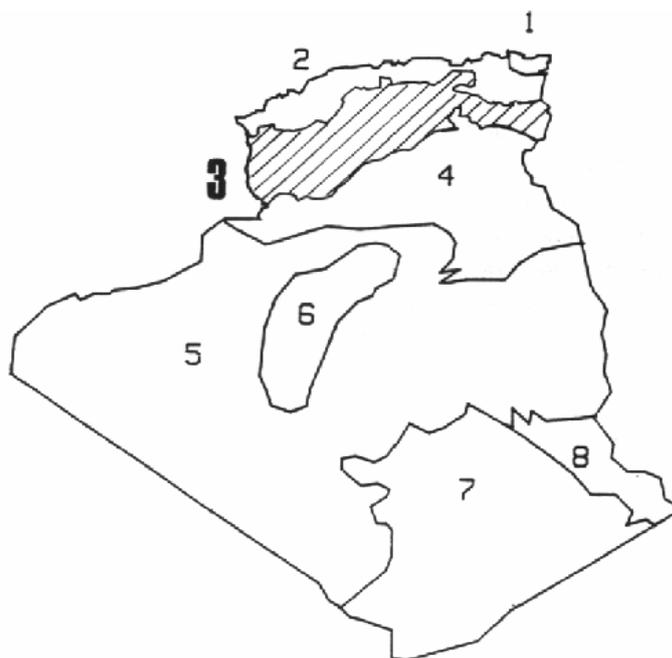


Figure (IV.1) : Zones climatiques de l'Algérie

II. 2-Données Démographique et sociologique de la région :

Le village de **LABRECH** est un centre de petit taille, très **éloigné** de la zone citadine la plus proche qui est « Tolga », avec une population de **300 habitants** occupant **60 foyers**, la majorité de ces habitants sont de nature nomades, exerçant l'agriculture .Ils **se réveillent très tôt** pour rejoindre leurs vergers.

III. Bilan énergétique de la région:

Région	Nbre de foyers	Consommation par foyer	Consommation totale
LABRECH	60	1,5 KVA	90 KVA

IV. Dimensionnement d'un foyer rural:

IV. 1-Consommation :

L'installation autonome permettra d'alimenter l'éclairage d'un foyer, la recharge des appareils portables (téléphone, télévision), un poste radio, un ventilateur ainsi qu'un réfrigérateur. La documentation technique de ces appareils nous renseigne sur leur consommation: [18]

Appareil	Consommation
Ampoule basse consommation	23 W
Chargeur portable	150 W
ventilateur	65 W
Réfrigérateur	200 W
Poste radio	15 W
Pompe à eau	370W 2,5 A sous 12 VDC
Télévision	90 W

Tableau (IV.1): Estimation des consommations d'appareils disponible à LABRECH

❖ Calcul de consommation d'un foyer dans le village de LABRECH:

Les heures de pointe pour chaque appareil :

Télévision, radio, pompe à eau et les lampes: Tous le temps.

Ventilateur: seulement dans les 3 mois d'été.

Réfrigérateur: fonctionnement périodique, c'est-à-dire il fonctionne pour une période et s'arrête dans une autre.

-Courant de démarrage: $I_d=4A$

-Courant de fonctionnement: $I_f=1,2A$

-Puissance de 200w au démarrage et diminue jusqu'à 150 à fin de fonctionnement.

-Le moteur fonctionne pendant 15 minutes et s'arrête pendant 15 minutes. [20]

-Chargeur portable: fonctionne 02 fois par semaine pou une heure, alors il consomme $150W \times 2 = 300 w$ dans une semaine et de $300W \times 4 = 1200w$ dans un mois, et de $1200W \times 3 = 3600W$ dans chaque saison.

Le tableau ci-dessous, indique le nombre d'heures de fonctionnement journalier (chaque 24 heures) de chaque appareil dans chaque saison:

Appareil	Saison			
	Hivers	printemps	été	automne
Ampoule basse consommation	4h	4h	4h	4h
ventilateur	-	-	5h	-
Réfrigérateur	4h	6h	12h	8h
Poste radio	6h	6h	6h	6h
Pompe à eau	2h	2h	4h	2h
Télévision	5h	5h	5h	5h

On estime que le foyer contient : **3 lampes, 1 réfrigérateur, 1 ventilateur, 1 télévision, 1 pompe à eau, 1 radio, 1 téléphone portable.**

Ou la consommation d'énergie électrique est indiquée dans le tableau ci-dessous:

✓ **HIVERS:**

Appareil	Consommation Journalière	N°	Courant A	Consommation Ah	Puissance W	Consommation Wh
Ampoule basse consommation	4h	3	0,27 A	3,24Ah	23w	276Wh
ventilateur	-	1	0,03 A	-	65W	-
Réfrigérateur	4h	1	1,2 A	4,8Ah	150W	600Wh
Poste radio	6h	1	0,07 A	0,42Ah	15W	90Wh
Pompe à eau	2h	1	2,5 A	5Ah	370W	740Wh
Télévision	5h	1	0,4 A	2 Ah	90W	450Wh
Chargeur portable	-	1	0,7 A	-	150W	-
Totale:						2156Wh

3600W la consommation de chargeur portable dans chaque saison.

✓ **La consommation dans les 3 mois d'hivers** = 2156Wh X 90 + 3600= **197,64 KWh**

✓ **PRINTEMPS:**

Appareil	Consommation Journalière	N°	Courant A	Consommation Ah	Puissance W	Consommation Wh
Ampoule basse consommation	4h	3	0,27 A	3,24Ah	23w	276Wh
ventilateur	-	1	0,03 A	-	65W	-
Réfrigérateur	6h	1	1,2 A	7,20h	150W	900Wh
Poste radio	6h	1	0,07 A	0,42Ah	15W	90Wh
Pompe à eau	2h	1	2,5 A	5,00Ah	370W	740Wh

Télévision	5h	1	0,4 A	2,00 Ah	90W	450Wh
Chargeur portable	-	1	0,7 A	-	150W	-
					Totale:	2456Wh

✓ La consommation dans les 3 mois de printemps = 2456Wh X 90 + 3600= 224,64 KWh

✓ ETE:

Appareil	Consommation Journalière	N°	Courant A	Consommation Ah	Puissance W	Consommation Wh
Ampoule basse consommation	4h	3	0,27 A	3,24Ah	23w	276Wh
ventilateur	5h	1	0,03 A	0,15Ah	65W	325Wh
Réfrigérateur	12h	1	1,2 A	7,20h	150W	1800Wh
Poste radio	6h	1	0,07 A	0,42Ah	15W	90Wh
Pompe à eau	4h	1	2,5 A	10,00Ah	370W	1480Wh
Télévision	5h	1	0,4 A	2,00 Ah	90W	450Wh
Chargeur portable	-	1	0,7 A	-	150W	-
					Totale:	4421Wh

✓ La consommation dans les 3 mois de printemps = 4421Wh X 90 + 3600= 401,49KW

✓ AUTOMNE:

Appareil	Consommation Journalière	N°	Courant A	Consommation Ah	Puissance W	Consommation Wh
Ampoule basse consommation	4h	3	0,27 A	3,24Ah	23w	276Wh
ventilateur	-	1	0,03 A	-	65W	-
Réfrigérateur	8h	1	1,2 A	9,60h	150W	1200Wh
Poste radio	6h	1	0,07 A	0,42Ah	15W	90Wh
Pompe à eau	2h	1	2,5 A	5,00Ah	370W	740Wh
Télévision	5h	1	0,4 A	2,00 Ah	90W	450Wh
Chargeur portable	-	1	0,7 A	-	150W	-
Totale:						2756Wh

✓ La consommation dans les 3 mois de printemps = $2756\text{Wh} \times 90 + 3600 = 251,64\text{KWh}$

❖ Calcul de consommation Quotidienne et Annuelle :

Saison	Consommation
Hivers	197,64 KWh
Printemps	224,64 KWh
été	401,49 KWh
automne	251,64 KWh
Consommation Annuelle	1075,41 KWh
Consommation Quotidienne	2,94 KWh

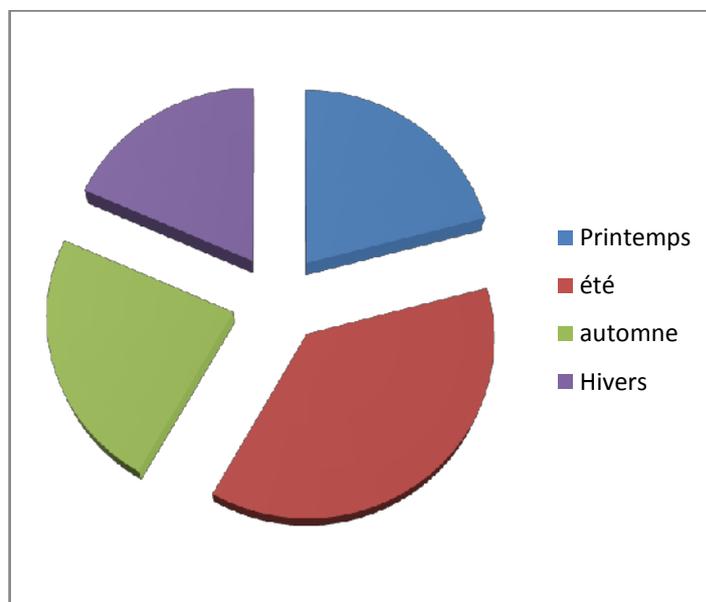
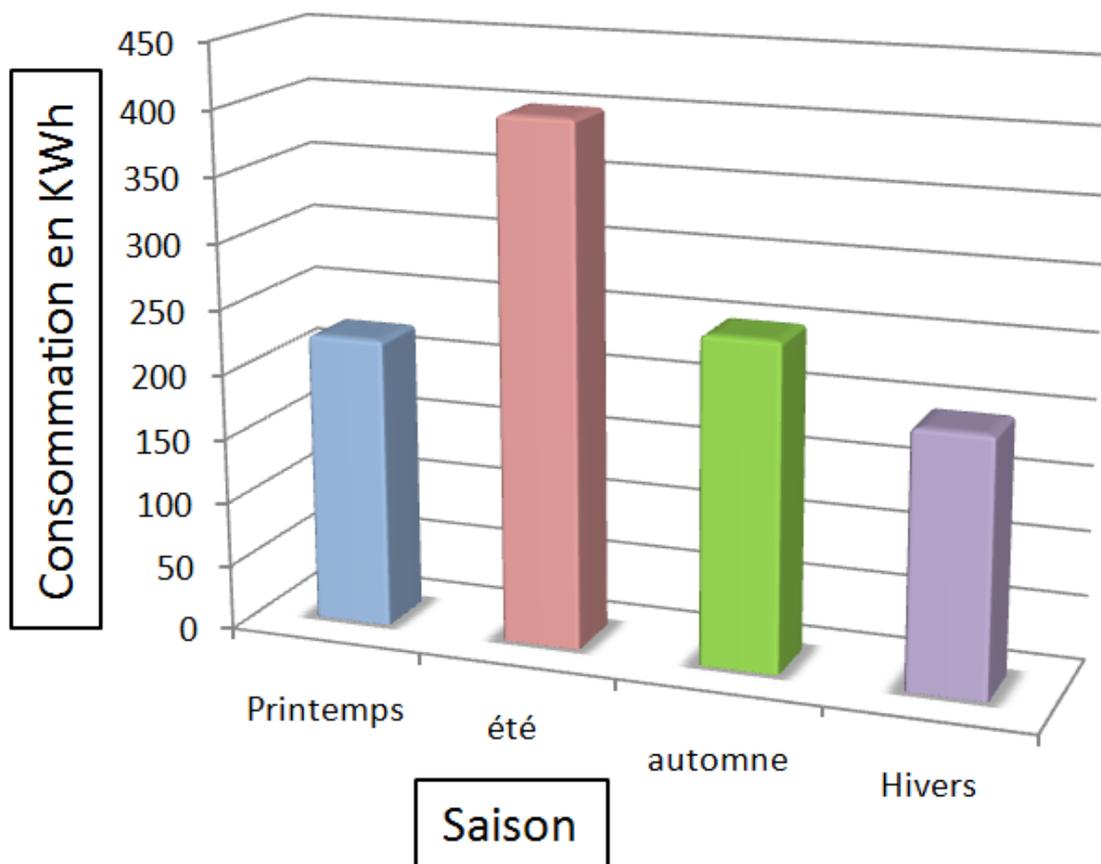


Figure (IV.2) : Variation de consommation énergétique pour chaque saison

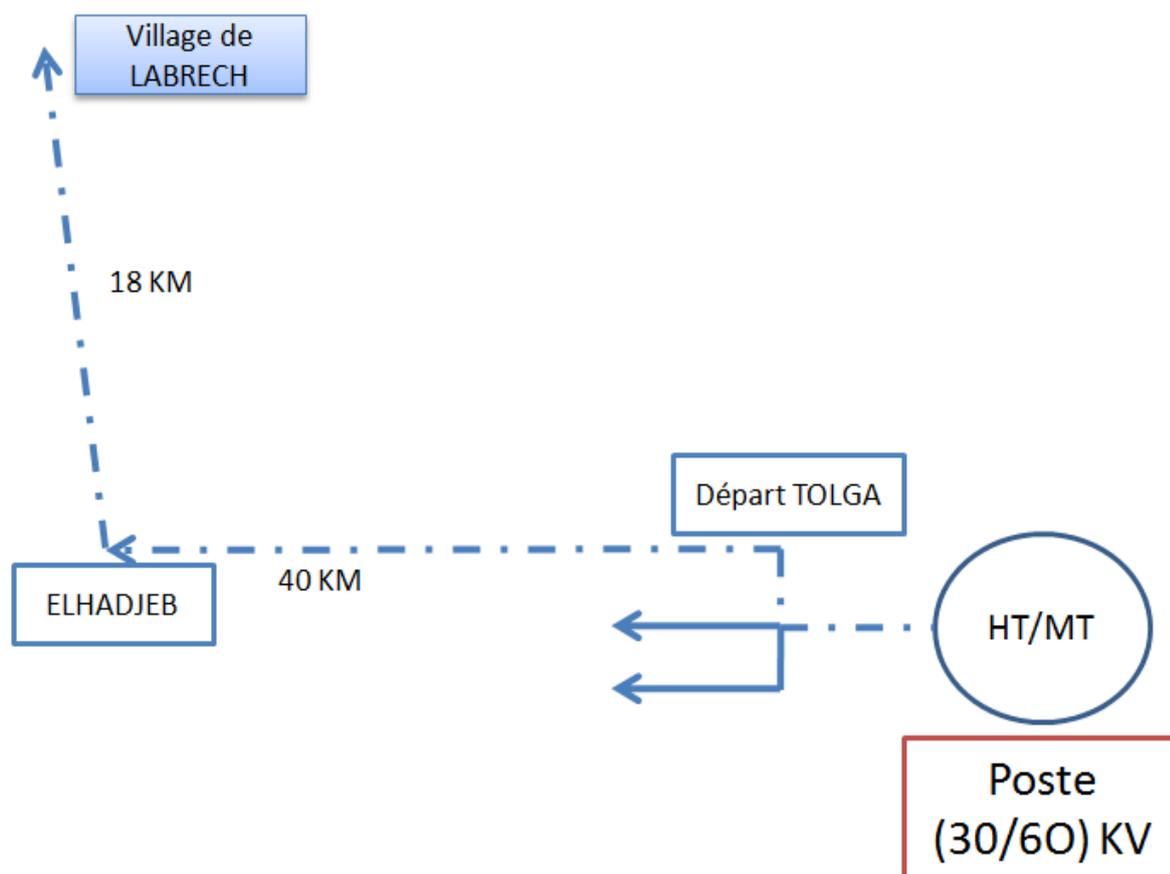
D'après le tableau et les graphes ci- dessus: en remarque que la consommation d'énergie électrique d'un foyer dans le village de LABRECH varié d'un saison à un autre dont elle a une valeur maximale dans le saison d'été avec 401,49 Kwh ensuite elle diminue jusqu'à 197,64 Kwh en Hivers.

V. Etude d'électrification de LABRACH par voie classique (énergie conventionnelle):

V. 1-Fiche Technique:

			Consistance Physique			
Localité	Commune	Daira	MT (KM)	BT (KM)	N°TRANSFO	N°Foyer
LABRECH	Tolga	Tolga	58	3	1	60

✓ Trajectoire de Moyenne tension de la wilaya de Biskra à LABRECH :



V. 3-Devis:

Coût MT Câble 93,3mm ² (KM*DA)		Coût BT Câble 70mm ² (KM*DA)		Coût Transformateur 160KVA		Coût Disjoncteur DA		Coût Totale DA
1KM	58KM	1KM	3KM	1 unité	01	1unité	01	1846 00000,00
3000000,00	174000000,00	1950000,00	5850000,00	580000,00	580000,00	250000,00	250000,00	

VI. Etude d'électrification de LABRECH par voie photovoltaïque:

VI. 1-Critères De Dimensionnement :

Les deux critères importants du dimensionnement optimal sont :

- La satisfaction d'une condition sur le comportement énergétique du système en termes d'autonomie ou de déficit autorisé, en effet l'utilisateur a la possibilité de définir au départ l'autonomie du système ou la satisfaction d'un certain taux de couverture pour la période la plus défavorable.
- L'équilibre du couple générateur/stockage. [2]

Ces deux critères cités précédemment ont le principal avantage de traduire ce que les utilisateurs pensent des systèmes photovoltaïques.

VI. 2- Type d'installation choisi pour le cas de LABRECH:

les installations PV utilisées sont de puissance unitaire 1.5, 3 et 6 kwc pour chaque foyer installés sur terrain ou sur toiture conforme a l'alimentation d'un foyer qui est dans la cas de LABRECH des maisons qui sont très modeste et occupent de nombreux appareils électroménagers :

- 03 lampes
- 01 réfrigérateur
- 01 télévision
- 01 pompe en eau
- 01 radio

- 01 ventilateur
- 01 chargeur portable

❖ **Caractéristiques techniques des installations:**

Les caractéristiques types des systèmes PV installés se présentent comme suit :

Installations (kwh)	Tension continue (Vcc)	Batteries (Ah)	Onduleur (KVA)	Tension alternative (Vcc)	Energie utilisable (kwh/j)	Nombre de foyers
1.5	110	250	1.5	220	#7	3
3	110	500	3	220	#14	6
6	110	1000	6	220	#28	12

❖ **Principaux composant du système Photovoltaïque:**

La figure (IV.3) ci-dessous montre les différents composants d'un système photovoltaïque pour l'électrification d'une maison: [21]

- Panneau
- contrôleur de charge
- onduleur
- batterie
- câble solaire
- paire ce connectique MC4 (mâle - femelle)
- Support panneau en alu réglable

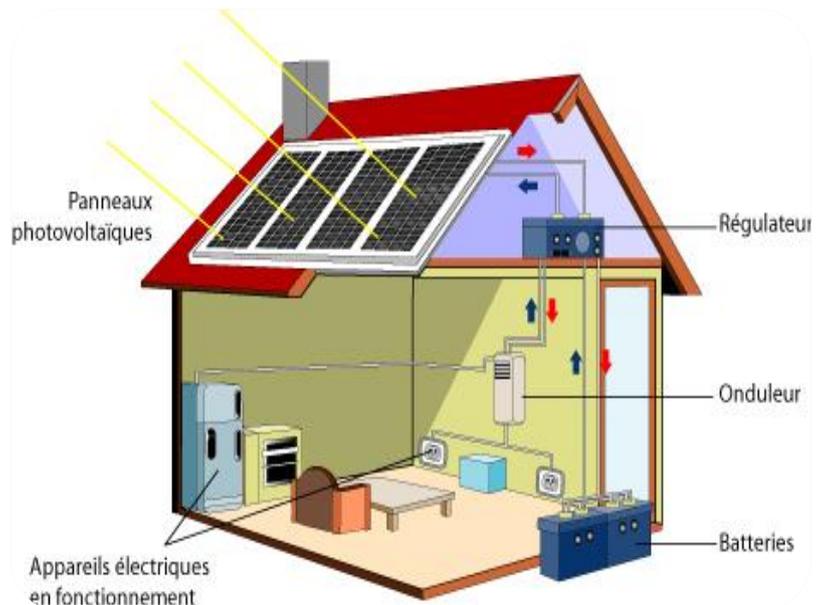
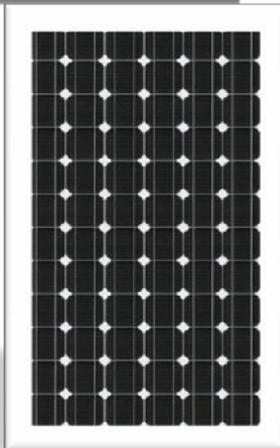


Figure (IV.3)

✓ **Module Photovoltaïque:**

Figure (IV.4) : Panneau Solaire Blue Solar Monocristallin (Victron)

Tableau (IV.2) : Options technique de Panneau Solaire BlueSolar Monocristallin (Victron)



Panneau Solaire BlueSolar Monocristallin (Victron)	Dimensions Module (mm)	1210 x 540 x 35
	Dimensions Verre (mm)	1189x528
	Poids (kg)	8
	Puissance Nominale PMpp (W)	80
	Tension à puissance max VMPP (V)	18
	Courant à puissance max IMPP (A)	4.5
	Tension en circuit ouvert Voc (V)	21.96
	Courant de court-circuit Isc (A)	5,06
	Puissance nominale (tolérance ±3%)	80W
	Type de cellules	Monocristallin
	Nombre de cellules couplées en série	36
	Tension maximale système (V)	1000V
	Température de fonctionnement	-40°C à +80°C
	Charge de surface maximale	200kg/m²
	Cadre	Aluminium
Garantie de puissance	10 ans 90% + 25 ans 80% de la puissance minimale	
Max séries (A)	15 A	
Max voltage (V)	1000 VDC	

✓ **Batterie 12V 110Ah:**

Tout système photovoltaïque nécessite une batterie de stockage avec des meilleures performances c'est pourquoi j'ai choisi la batterie de marque **INTACT SOLAR POWER** puisqu'elle se caractérise par :

- ✓ **sa disposition technique spéciale qui la rend idéal pour un système photovoltaïque**
- ✓ **une grande fiabilité, boîtier robuste**
- ✓ **une autoconsommation minimale**
- ✓ **La plage de température varie de -20 ° C à + 45 ° C.**



Options technique de la batterie INTACT SOLAR POWER 12V 110Ah:

Voltage Nominale (V)	12
Capacité nominale (100 h à 25 ° C) [Ah]	110
Poids (Kg)	15,9
électrolyte	Acide sulfurique dilué
Volume d'électrolyte	4,2
Dimensions (mm)	353 x 175 x 190
garantie	12mois maintenance gratuite
Durabilité	300 cycles

✓ **Onduleur (20A/220V):**

Courant d'entrée (A)	60
Courant de sortie (A)	20
Tension d'entrée (V)	48
Tension de sortie (V)	220
Fréquence nominale Hz	50

VI. 3-Devis:

On estime pour l'électrification du village de LABRECH par voie photovoltaïque une installation de 9 modules photovoltaïque avec puissance 80 w pour chaque foyer (60 foyer) pour atteindre une tension d'entrée 48 V selon le type d'onduleur choisi.

Coût de module (DA)		Coût d'onduleur (DA)		Coût de Batterie (DA)		Coût de système (DA)	Nbre D'unités	Coût Totale DA
1 unité	9 module	1 unité	1 onduleur	1 unité	04	281000,00	60	16860000,00
9000,00	81000,00	120000,00	120000,00	20000,00	80000,00	DA		DA

VII. Comparaison entre l'électrification par voie conventionnel et par voie photovoltaïque:**VII. 1-Comparaison Technique:**

✓ **Intérêt du Photovoltaïque pour l'électrification rurale par apport à l'électrification par voie conventionnel:**

Le mode d'électrification par voie photovoltaïque représente une grande importance surtout à travers ses caractéristiques techniques.

Ce qui est particulièrement indiqué pour desservir les usagers isolés dans les territoires à faible densité et dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (lumière, réfrigération, pompage, télévision, radio).

Les autres caractéristiques marquantes du PV sont :

- une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. c'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- le caractère modulaire des panneaux photovoltaïque permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au mégawatt.

- 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 pas l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions
- La conception modulaire permettant les extensions adaptées au besoin.
- La possibilité de développement des petites activités dans les localités à faible développement économique.
- Des capitaux limités, utilisables d'une manière souple et décentralisée, et mobilisables sur des périodes de temps plus longues.

En peut citez en plus de ces derniers les avantages techniques du PV qui sont :

- Absence de chute de tension
- Service permanente.
- Facilité de déplacement.

Au contraire au mode d'électrification par voie conventionnel parce qu'un réseau classique aurait nécessité un temps d'installation bien plus grands .On trouve aussi:

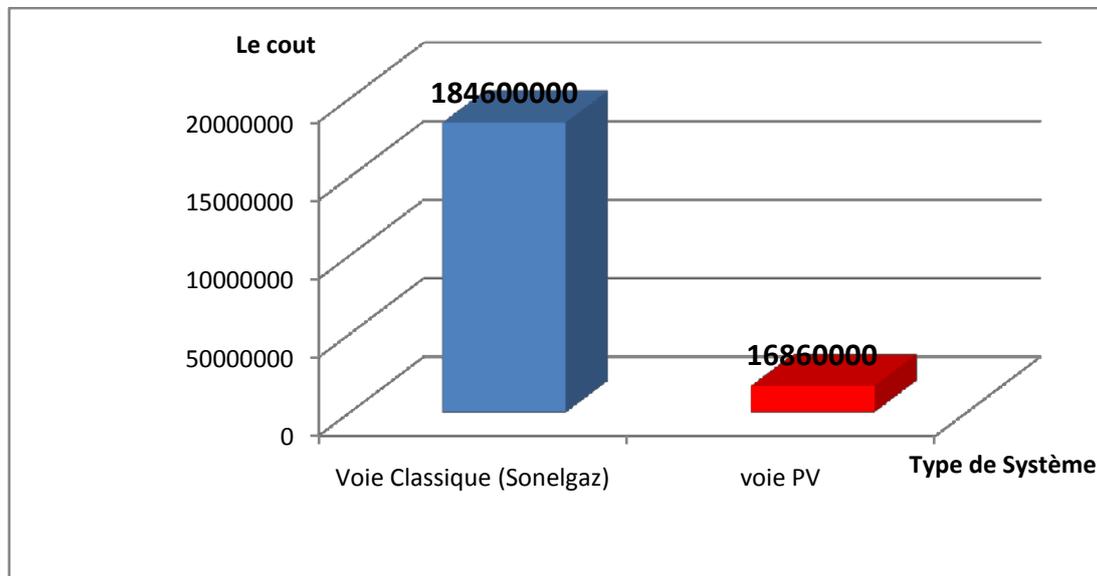
- Chute de tension élevée.
- Continuité de service n'est pas assurer.
- coupures fréquent surtout a cause d'effets naturels.
- impossibilité de déplacement en cas de déménagement.

VII. 2-Comparaison économique:

L'un des points forts d'une électrification par voie photovoltaïque par apport à l'électrification par voie conventionnel réside dans l'intérêt d'une utilisation décentralisée avec absence des coûts de transport de l'énergie produite. Ce qui met le coût un paramètre de comparaison très important.

D'après le devis établis précédemment l'alimentation de village de LABRECH par voie conventionnel vaut **184600000,00 DA** qui représente un coût très élevé par apport à l'importance

de la région elle-même au contraire à celui de l'alimentation en électricité de la même région avec le système photovoltaïque qui est égale à **16860000,00 DA** qui représente un coût raisonnable.



VII. 3-Comparaison technico-économique:

A partir de la comparaison technique et la comparaison économique on peut alors faire sortir une comparaison technico-économique ou l'avantages de satisfaction des besoins énergétique, la facilité de déplacement des installation ainsi que le facteur de la protection de l'environnement et n'exige pas un cout de réalisation très élevé toutes ses spécificités mettre l'électrification de la village de LABRECH par **voie photovoltaïque est le mode le plus adéquat et convenable.**

❖ CONCLUSION:

A la fin de ce chapitre, on peut conclure et travers l'étude d'électrification d'un site isolée par voie classique et par voie photovoltaïque nous arrivons à montrer que électrification par voie photovoltaïque est la plus approprié de toutes les côtés.

La raison qui fait que la réalisation des études semblables n'aboutit pas sur le plan réel est que l'électrification est encore prise en charge par l'état et que les coûts de l'investissement sont pris en charge par l'état et les communes donc notre étude devient très intéressante lorsque l'électrification par voie classique ne serait pas subventionnée ou totalement financée par l'état ou lorsque les mêmes subventions seront accordées au profit de l'électrification photovoltaïque.

CONCLUSION GENERALE :

L'énergie photovoltaïque, est une jeune énergie renouvelable dans la production de l'énergie électrique. Elle pourrait devenir l'énergie du future, parce que l'électricité qu'elle produite respecte globalement l'environnement grâce à sa faible émission de CO₂, ce qui participe à diminuer les émissions à effet de serre.

L'industrialisation du photovoltaïque, à une échelle significative, n'a qu'une vingtaine d'années. Il faut donc stimuler son marché pour que l'industrie devienne compétitive, grâce aux progrès technologiques et au développement des marchés qui s'associent pour faire baisser les prix.

Dans un pays comme l'Algérie qui dispose un gisement solaire très important .Le photovoltaïque est surement un mode à suivre pour l'électrification des sites isolés.

Alors ,c'est le temps pour encourager l'investissement et la technologie en accord avec tous ce à une relation avec ce domaine à partir du développement des modules photovoltaïques de fabrication nationale à la formation des professionnels et spécialistes dans ce filière.

Finalement on peut dire que l'utilisation d'énergie renouvelable demeure une stratégie intelligente pour garantir des conditions de vie favorable aux générations futures.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. BOUDJEMAA, A. ACHOUR « Fonctionnement Optimal d'un système Photovoltaïque Hybride par technique développés » Université de Biskra 2004.
- [2] MOHAMED ARROUF, Thèse de Doctorat « Optimisation De L'ensemble Onduleur, Moteur Et Pompe Branche Sur Un Générateur Photovoltaïque » Université Mentouri De Constantine 2007.
- [3] SAADI SOUAD, Thèse de magistère en physique « Effet Des Paramètres Opérationnels Sur Les Performances D'un Capteur Solaire Plan » Université Mentouri De Constantine 2010
- [4] DJENIDI ABDELKARIM, mémoire Master 2 « Etude d'un système Photovoltaïque Autonome » Université de Biskra 2013.
- [5] Sa. Lahlah, mémoire de magister « Etude comparative des techniques MPPT Perturbation and Observation (P&O), Incremental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C) » Université de Batna 2007.
- [6] BENKHELIFA Abdelaziz, mémoire MASTER 1 « Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairage solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » Université Kasdi Merbah Ouargla 2012
- [7] Adriaan N. Zomers, PHD Thesis "Rural Electrification", University of Twente 2001
- [8] L'électrification rurale en Algérie : Expérience et impact socio économique Mme Hamza Nadia / DGD/ SONELGAZ
- [9] Revue Douglas F. Barnes, *The challenge of rural electrification : strategies for developing countries*, Washington, DC, Resources for the Future, 2007
- [10] Extrait : 6^{ème} Rencontres nationales sciences et techniques de l'environnement Istres – octobre 2003 « Production et consommation d'électricité »
- [11] www.mem-algeria.org site officiel du Ministère d'Energie et du Mine
- [12] <https://www.lenergieenquestions.fr/les-inegalites-de-laces-a-lenergie-dans-le-monde>
- [13] <http://www.odpf.org/antérieures/xi/gr-9/> pdf
- [14] http://www.cime.inpg.fr/images/caracterisation/TP_carac_elec_PV.pdf
- [15] <http://www.qualit-enr.org/qualipv> Portail des énergies renouvelables en France
- [16] <http://pccollege.toile-libre.org> Cours Physique-Chimie, Biscarrosse.
- [17] <http://www.intedd-solar.com/photovoltaique/l-histoire-du-photovoltaique>
- [18] <http://www.curbain.be/fr/component/content/article/5-reglementations/123-appareils-electromenagers-a-eclairage>
- [19] Journal officiel de l'état Algérien
- [20] Le Triangle n°4 revue de l'université de Batna, Février 2000.
- [21] FOGELMAN & Régis MONTLOIN, « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983
- [22] B. CHIKH-BLED, I. SARI-ALI ET B. BENYOUCEF, revue « Méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque » Université Abou-Bakr Belkaïd 2010 Tlemcen
-