



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministre De L'enseignement Supérieur Et De La
Recherche Scientifique

Université Saâd Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme :

MASTER en Énergies Renouvelables

Option : Habitat Bioclimatique

Thème :

**Proposition et étude de faisabilité d'un nouveau plan de subvention de la
consommation électrique des régions du sud de l'Algerie**

Présenté par :

HAMADACHE Noureddine

HAMOUDA Ilyes

Soutenu le 04/09/2021 devant le jury :

M. SEMMAR Djafar	Professeur	U.S.D.B1	Président
M. BOUKENOUÏ Rachid	MCB	U.S.D.B1	Examineur
M. GUENOUNOU Abderrezak	MCB	U.S.D.B1	Promoteur

2020/2021

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité d'une alternative consistant à financer, par l'état, des kits solaires photovoltaïques pour prendre en charge la surconsommation, liée essentiellement à la climatisation, au lieu du soutien direct de la facture d'électricité des ménages des régions concernées. L'argument environnemental sera l'un des atouts majeurs de cette alternative. Un exemple d'une maison familiale type sera pris comme cas d'étude. Les résultats obtenus sont très encourageants.

Mots clés : Consommation électrique, Maison, Photovoltaïque, Dimensionnement, Subventions, Faisabilité, RETScreen.

Abstract

The objective of this work is to study the feasibility of an alternative consisting in financing, by the state, photovoltaic solar kits to take care of this overconsumption linked essentially to air conditioning instead of direct support of the electricity bill of households in the concerned regions. The environmental argument will be one of the major strengths of this alternative. An example of a typical family house will be taken as a case study. The obtained results are very encouraging.

Keywords: Electricity consumption, Home, Photovoltaics, Sizing, Subsidies, Feasibility, RETScreen.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو دراسة جدوى بديل يتمثل في تمويل الدولة لمجموعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية لرعاية الاستهلاك المفرط المرتبط أساساً بتكييف الهواء بدلاً من الدعم المباشر لفاتورة الكهرباء للأسر في المناطق الجنوبية. ستكون الحجة البيئية إحدى نقاط القوة الرئيسية لهذا البديل. سيتم أخذ مثال لمنزل عائلي نموذجي في أدرار كدراسة حالة. النتائج التي تم الحصول عليها مشجعة للغاية.

كلمات مفتاحية: استهلاك الكهرباء ، منزل ، الكهروضوئي ، التحجيم ، الإعانات ، الجدوى RETScreen.

Remerciements

On remercie le bon dieu tout puissant et mis éricordieux pour nous avoir donné la santé et la volonté de réaliser ce mémoire.

On adresse aussi nos reconnaissance à tous les professeurs et au corps administratifs de département des energies renouvelable pour leur conseils et leurs connaissances généreusement transmises .

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Monsieur Abderrezak Guenounou pour ses précieux conseils et remarques, sa disponibilité et ses encouragements.

Un grand remerciement plein d'amour pour nos parents qui nous ont tellement soutenues avec l'aide et les motivations ainsi que les moyens qu'ils nous ont procuré et nous ont facilité la réalisation de ce projet.

Nor profonds remerciement aux membres de nos des familles pour leurs constants soutiens au cours de notre cursus universitatire et particulièrement cette année.

A tous nos amis avec qui nous avons passé d'agréables moments, pour leurs aides et encouragements.

SOMMAIRE

Intoduction générale	1
----------------------------	---

Chapitre 1 : Contexte énergétique mondial et national - part du secteur résidentie

1.1 INTRODUCTION	4
1.2 Contexte énergétique mondiale :	4
1.2.1 Consommation énergétique mondiale :	5
1.2.2 Consommation énergétique selon le type d'énergie utilisé :	6
1.2.3 Consommation finale d'énergie des principaux pays	7
1.2.4 Le bilan des consommations par secteur d'utilisation.....	8
1.2.5 L'Industrie	10
1.2.6 Les Transports	10
1.2.7 Le Résidentiel et Tertiaire	10
1.2.8 Secteur residentiel mondiale	10
1.3 Contexte énergétique Nationale:	13
1.3.1 Evolution de mis énergétique de la consommation primaire	14
1.3.2 Consommation par secteur	15
1.3.2.1 Secteur résidentiel	16
1.3.3 Consommation de secteur par produit	19
1.3.5 Consommation électrique dans secteur résidentiel	20
Conclusion	21

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

2.1 INTRODUCTION :	22
2.2 Production :	22
2.3 Centrales photovoltaïques.....	24
2.3.1 Définition et categories :	24
2.3.1.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	25
2.3.1.2 Etat des lieux des technologies traditionnelles	26
2.3.2 Enjeux par rapport à l'énergie	27

2.3.3	Acteurs majeurs	28
2.3.4	Unités de mesure et chiffres clés	29
2.3.5	Zone de présence ou d'application	29
2.3.6	production photovoltaïque décentralisée : autonome et raccordée au réseau	30
2.3.6.1	Options de raccordement :	31
2.3.6.2	L'entretien d'un système raccordé au réseau :	31
2.4	Transport d'électricité en Algérie.....	32
2.4.1	Les réseaux de transport d'électricité :	32
2.4.2	Interconnexions électrique Internationales.....	35
2.5	Distribution de l'Electricité :	35
2.5.1	Infrastructures	35
2.5.2	Vente d'électricité	36
2.6	Demande électrique du secteur résidentiel en Algérie :	37
2.6.1	Evolution de la consommation, de la production d'énergie et de la puissance maximale appelée :	38
2.7	Consommation Energetique des batiments residential au sud algerien :	39
2.7.1	Tarifcation appliquée aux ménages :	40
2.7.2	Soutien de l'état pour les régions du sud :	40
2.8	Conclusion :	41

Chapitre 3 : Etude de la prise en charge de la climatisation des maisons individuelles du sud par des systèmes photovoltaïques

3.1	Introduction :	43
3.2	Excmple de l'étude :	43
3.2.1	Lieu d'implantation	43
3.2.2	Plan de maison :	45
3.3	Bilan énergétique :	46
3.3.1	Inventaire des équipements	46
3.3.2	Besoin annuels	47
3.3.3	Estimation de la facture annuelle de la consommation électrique	48
3.3.4	Isolation des charges responsables de 60% de la facture	49

3.4	Dimensionnement du système photovoltaïque nécessaire (pour les charges isolées	50
3.4.1	Présentation du système photovoltaïque	50
3.4.2	Inclinaison des modules photovoltaïque	51
3.4.3	Calcul la puissance crête P_c du générateur photovoltaïque nécessaire	52
3.4.4	Dimensionnement du panneau photovoltaïque	54
3.4.5	Dimensionnement de parc de batteries.....	56
3.4.6	Choix des câbles	58
3.4.7	L'Onduleur :.....	60
3.4.8	Résultat du dimensionnement pour le système	61
3.5	Etude tchnico-économique d'installation.....	63
3.5.1	Simulation avec le logiciel RETScreen Expert	63
3.6	Interprétation des résultats	69
3.7	Conclusion :.....	70
3.8	Conclusion générale.....	71

Liste des figures

CHAPITRE 1

Figure 1.1 : Consommation mondiale d'énergie par source de 1990 à 2035.	6
Figure 1.2 : Consommation par secteur .	9
Figure 1.3 : Consommation d'énergie finale par source d'énergie et évolution des indicateurs du Secteur résidentiel .	12
Figure 1.4 : Consommation d'énergie finale des bâtiments à l'échelle mondiale	13
Figure 1.5 : Consommation primaire et consommation finale d'énergie.	14
Figure 1.6: Evolution du mix énergétique de la consommation primaire en Algérie	14
Figure 1.7 : Evolution du mix énergétique de la consommation finale	15
Figure 1.8 : Evolution de consommation par secteur	15
Figure 1.9 : Evolution de consommation par secteur	16
Figure 1.10: Evolution de consommation par secteur résidentiel .	17
Figure 1.11 Evolution de la consommation finale de secteur résidentiel	
Figure 1.12: Consommation du secteur résidentiel par produit .	19

CHAPITRE 2

Figure 2.1 : Puissance installée par producteur à fin 2017	23
Figure 2.2 : Puissance installée par type d'équipement à fin 2017	24
Figure 2.3: Constitution d'une cellule photovoltaïque.	26
Figure 2.4 : Cartographie de réseau de transport en 2011(ME, 2015).	32
Figure 2.5 : Répartition des ventes d'électricité pour l'année 2017	36
Figure 2.6 : Evolution de la consommation 2006-2015	39

Figure 2.7 : Evolution de la production national 2006-2015	39
---	----

CHAPITRE 3

Figure 3.1 : Situation de la ville d'Adrar (Carte d' Algérie).	44
Figure 3.2. Rayonnement solaire horizontal quotidien et température de l'air (moyennes mensuelles) de la région d'étude.	44
Figure 3.3 : Le plan de maison	45
Figure 3.4 : Principe d'un système PV autonome	50
Figure 3.5: caractéristique techniques des panneaux PV.	54
Figure 3.6 : caractéristique technique de régulateur	55
Figure 3.7 : Caractéristiques de la batterie solaire à utiliser pour l'installation	56
Figure 3.8 : L'onduleur et ses caractéristiques	60
Figure 3.9 : Schéma de l'installation photovoltaïque	62
Figure 3.10 : Capture d'écran lieu de projet(Adrar)	63
Figure 3.11: Capture d'écran des données rayonnent solaire	64
Figure 3.12 : Capture d'écran des informations de projet.	65
Figure 3.13 : capture d'écran Besoin énergétique pour l'installation PV pour l'habitation.	65
Figure 3.14 : Capture d'écran choix du type PV pour la maison solaire.	66
Figure 3.15 : Capture d'écran analyse des réductions d'émissions GES.	67
Figure 3.16 : capture d'écran de la feuille de calcul et analyse des coûts	68
Figure 3.17 : Capture d'écran dévolution économique de graphe du flux monétaires annuels	69

Liste des tableaux

CHAPITRE 1

Tableau 1.1. Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé	6
Tableau 1.2. Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie par pays (%)	8
Tableau 1.3 : Consommation final par secteur	9
Tableau 1.4: Evolution de la consommation par usage.	
Tableau 1.5: Evolution de la consommation de secteur résidentiel par produit.	19
Tableau 1.6: Taux d'équipement des ménages	20

CHAPITRE 2

Tableau 2.1 : Evolution de la puissance installée 1980- 2017 par producteur (MW).	24
Tableau 2.2: Evolution de l'énergie électrique produite 1980- 2017 (GWh), par type d'équipement	32
Tableau 2.3 : Evolution de la longueur du réseau de transport électrique 2005-2017	33
Tableau 2.4 : Evolution de la puissance maximale appelée sur le RIN 1980- 2017	33
Tableau 2.5 : Evolution de la puissance maximale appelée sur le PIAT 2008- 2017	34
Tableau 2.6 : Evolution de la puissance maximale appelée sur le RIS 2011- 2017	34
Tableau 2.7 : Evolution de la longueur du réseau de distribution électrique 2005-2017	35
Tableau 2.8 : Consommation nationale d'énergie par secteur d'activités pour 2017	36
Tableau (2.9) : Consommation nationale d'énergie par secteur d'activités	37

CHAPITRE 3

Tableau 3.1 : La distribution surfacique	45
Tableau 3.2. Inventaire des équipements	46
Tableau 3.3 : Besoin électrique annuel de la maison	48
Tableau 3.4 : Les charges choisies et leurs consommations	49
Tableau 3.5 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux	51
Tableau 3.6. Irradiations solaires moyennes mensuelles sur plan incliné de 23° pour le site d'étude	52
Tableau 3.7 : Les tensions correspondantes à chaque Intervalle de puissance crête.	53
Tableau 3.8 : Résultats du dimensionnement pour le système	59

Nomenclature

V_{OCmax}	Tension solaire max	(V)
V_{ocpanneau}	tension circuit ouvert de module	(V)
N_t	nombre total de panneaux photovoltaïques.	/
N_s	nombre de panneaux connectés en série.	/
N_p	nombre de panneaux connectés en parallèles	
E_c	énergie consommée par jour	(Wh/j)
I_r	irradiation moyenne annuelle (Wh/m².jour)	(Wh/m².jour)
Pr	le ratio performance	
N	nombre de jour d'autonomie	/
D	Décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)	/
U	tension de la batterie	(V)
V	tension du champ	(V)
V_{batterie}	la tension de la batterie	(V)
C	capacité totale du champ de batteries associée à toute l'installation photovoltaïque.	(Ah)
C_{batterie}	capacité d'une batterie.	(Ah)
N_p	Nombre de batterie en parallèles	/
N_s	Nombre de batteries en séries	/
R	la résistance	(Ω)
P	la résistivité	(Ω.m)
L	la longueur du cable	(m)
S	la section du câble s	(mm²)
P_c	la puissance crête du champ de photovoltaïque	(W)

Ec	énergie consommée	(Wh)
P	puissance de fonctionnement de l'appareil	(W)
T	temps d'utilisation	(h)
Pi	Puissance électrique d'un appareil « <i>i</i> » exprimée en Watt.	Watt (W).
Ti	Durée d'utilisation de cet appareil « <i>i</i> »	(h/j)
Ej	l'énergie consommée.	(Wh/j).

Introduction générale

La production d'énergie est un enjeu très important dans les années à venir. En effet, la demande d'énergie dans le secteur résidentiel continue d'augmenter. Aujourd'hui, une grande partie de la production mondiale d'énergie est garantie à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources entraîne des émissions de gaz à effet de serre, donc la pollution augmente. Danger Par ailleurs, la consommation excessive des stocks de ressources naturelles a été réduite.

Il est bien connu que la surconsommation électrique des ménages des régions du sud de l'Algérie est surtout liée à l'usage excessif des climatiseurs en périodes de grandes chaleurs et que L'Etat supporte une part du montant de la consommation électrique des factures des clients résidant dans :

. Huit (08) wilayas du sud (Adrar, Laghouat, Biskra, Béchar, Tamanrasset, Ouargla, Illizi, Tindouf, El Oued et Ghardaïa) à hauteur de :

· 65% de réduction pour les clients abonnés basse tension ménage et les agriculteurs qui utilisent la basse et la moyenne tension, dans la limite d'une consommation de 12 000 kWh/an.

· 25% de réduction pour les clients abonnés basse et moyenne tension exerçant des activités économiques hors agriculture, dans la limite d'une consommation de 200 000 kWh/an.

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité d'une alternative consistant à financer, par l'état, des kits solaires photovoltaïques pour prendre en charge cette surconsommation liée à la climatisation au lieu du soutien direct de la facture d'électricité des ménages des régions concernées. L'argument environnemental sera l'un des atouts majeurs de cette alternative. Un exemple d'une maison familiale type sera pris comme cas d'étude.

A cet effet, notre travail est organisé comme suit:

Au premier chapitre, nous présenterons la situation énergétique actuelle à l'échelle mondiale et nationale. Nous nous intéresserons, entre autres, à la part du secteur résidentiel dans cet environnement énergétique.

Le second chapitre traitera de l'électricité en Algérie, les différents types de production, les réseaux de transport d'électricité, distribution de l'électricité et consommation énergétique des bâtiments résidentiels au sud algérien, la tarification appliquée aux ménages et le soutien de l'état pour les régions du sud.

Au troisième, nous étudierons la faisabilité du contournement de ce soutien direct par le biais de subventions permettant de financer des kits solaires photovoltaïques alimentant l'équivalent, en charges électriques, de ces 65% de soutien financier. Nous présterons le dimensionnement du système photovoltaïque nécessaire pour les charges responsable de près 65% de la facture électrique liée une maison typique située dans la région d'Adrar. Une étude technico-économique par le logiciel RETScreen Expert sera ensuite faite.

Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude dans sa partie théorique et interprétation des résultats.

Chapitre 01:Contexte énergétique mondial et national

1.Contexte énergétique mondial et national :

1.1. INTRODUCTION :

L'énergie, depuis le commencement des âges a été le moteur de l'activité humaine, et c'est un élément qui intervient dans tous les actes quotidiens de l'homme. Les énergies jouent un rôle significatif dans le développement des secteurs technologiques, industriels, économiques et sociaux d'un pays. Afin de bien comprendre les enjeux énergétiques, il est important tout d'abord de comprendre la progression de la demande énergétique au fil des décennies au niveau mondial et national, la diversité des ressources énergétiques selon la géographie du territoire et les objectifs de réduction des gaz à effet de serre.

Nous présentons dans ce chapitre la situation énergétique actuelle à l'échelle mondiale et nationale. Nous nous intéresseront, entre autres, à la part du secteur résidentiel dans cet environnement énergétique.

1.2.Contexte énergétique mondial :

Les réserves mondiales prouvées d'énergie non renouvelable (combustibles fossiles et énergie nucléaire) pouvaient être estimées en 2019, selon BP et WNA, à 1 187 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (tep), soit 85 ans de production au rythme actuel. Cette durée est très variable selon le type d'énergie : 50 ans pour le pétrole et pour le gaz naturel, 132 ans pour le charbon, 128 ans pour l'uranium avec les techniques actuelles. La durée potentielle d'utilisation de l'énergie nucléaire pourrait se compter en siècles grâce aux filières de surgénération et en millénaires avec celle de fusion nucléaire, et le potentiel exploitable de l'énergie solaire est estimé à vingt fois la consommation mondiale annuelle.[1]

La production mondiale d'énergie commercialisée était en 2019, selon BP, de 584,9 exajoules, en progression de 12,1 % depuis 2009. Elle se répartissait en 33,1 % de pétrole, 27,0 % de charbon, 24,2 % de gaz naturel, 4,3 % de nucléaire et 11,4 % d'énergies renouvelables (hydroélectricité 6,4 %, éolien 2,2 %, biomasse et géothermie 1,0 %, solaire 1,1 %, agrocarburants 0,7 %).[1]

Depuis la révolution industrielle, la consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter. La consommation finale énergétique mondiale a progressé de 109 % en 44 ans, de 1973 à 2018 ; elle s'élevait en 2018, selon l'Agence internationale de l'énergie, à 9 938 Mtep, dont 19 % sous forme d'électricité ; depuis 1990, elle a progressé un peu plus vite que la population, mais sa

répartition par source d'énergie n'a guère évolué : la part des énergies fossiles a reculé de 0,3 points, mais leur domination reste massive : 82 % ; la part des énergies renouvelables (EnR) n'a progressé que de 0,5 points, passant de 15,5 % en 1990 à 16,0 % en 2018, car le recul de la part de la biomasse compense en partie la progression des autres EnR. Sa répartition par secteur était : industrie 29 %, transports 29 %, résidentiel 21 %, tertiaire 8 %, agriculture et pêche 2 %, usages non énergétiques (chimie, etc.) 9 %.

Au niveau mondial, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie en 2018 sont estimées par l'AIE à 33 513 Mt, en progression de 117 % depuis 1973, dont 44,0 % produites par le charbon, 34,1 % par le pétrole et 21,2 % par le gaz naturel ; par secteur en 2017, 37 % étaient issues de l'industrie, 25 % des transports, 16 % du secteur résidentiel et 10 % du secteur tertiaire. Les émissions de CO₂ par habitant en 2018 sont estimées à 4,42 tonnes dans le monde, 15,03 tonnes aux États-Unis, 8,40 tonnes en Allemagne, 4,51 tonnes en France, 6,84 tonnes en Chine, 1,71 tonnes en Inde et 0,98 tonnes en Afrique.[1]

1.2.1. Consommation énergétique mondiale :

En 1800, avant la révolution industrielle, la consommation énergétique mondiale était de 305 Mtep (énergie commerciale seulement), 97 % de cette énergie étant issue de l'exploitation de la biomasse (en particulier du bois), 3 % par le charbon, ce combustible devenant majoritaire au début du xxe siècle en raison des besoins massifs des machines à vapeur²⁸.

En 2018, l'énergie finale consommée dans le monde s'élevait à 9 938 Mtep contre 4 660 Mtep en 1973, en progression de 113 % en 45 ans 2. comme l'indique la figure 1.1 [1].

Chapitre : 01 Contexte énergétique mondial et national

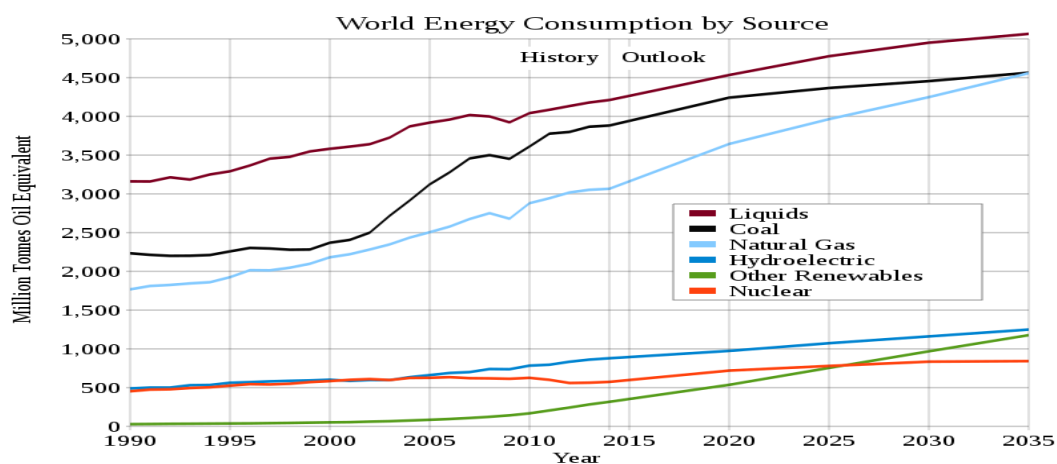


Figure (1.1) : Consommation mondiale d'énergie par source de 1990 à 2035 [1].

1.2.2. Consommation énergétique selon le type d'énergie utilisé :

Sur le tableau 1.1, on a reporté les derniers chiffres concernant la production et la consommation d'énergie, selon le type, pour les années 1990 et 2018 ainsi que la variation entre les deux années.

Tableau 1.1. Production et consommation finale d'énergie selon le type d'énergie utilisé (Mtep) [1].

Type d'énergie	Production d'énergie primaire 1990	Consom. finale 1990	Production d'énergie primaire 2018	Consom. finale 2018	Variation consom. 2018/1990
Pétrole	3 241	2 604	4 553	4 051	+56 %
Gaz naturel	1 689	944	3 293	1 611	+71 %
Charbon	2 223	753	3 893	994	+32 %
Nucléaire	526	-	707	-	+34 %
Hydroélectricité	184	-	362	-	+97 %

Chapitre : 01 Contexte énergétique mondial et national

Éolien, solaire, géoth.	37	3	286	48	x16
Biomasse et déchets	902	790	1 324	1 012	+28 %
Électricité	-	834	-	1 919	+130 %
Chaleur	-	336	2	301	-10 %
Total	8 801	6 264	14 421	9 938	+59 %

La consommation d'énergie a progressé un peu plus rapidement que la population (+59 % contre +44 %), mais sa répartition par source d'énergie est restée très stable : la part des fossiles n'a baissé que de 0,3 points et celle du nucléaire de 0,3 points, et celle des énergies renouvelables n'a progressé que de 0,5 points, car le développement très rapide de la plupart d'entre elles a été en grande partie compensé par le recul de la part de la biomasse : -2,0 points.

1.2.3. Consommation finale d'énergie des principaux pays :

On constate, d'après le tableau I.2, une progression quasi-générale et rapide de la part de l'électricité ; cette progression est particulièrement rapide dans les pays émergents : Chine, Inde, Indonésie ; par contre, on constate une légère baisse au cours de la période la plus récente dans quelques pays développés : États-Unis, Royaume-Uni, Allemagne, Russie. Le cas de la Norvège est très spécifique : son taux de consommation électrique est très élevé du fait de la présence d'industries électro-intensives (fonderies d'aluminium) attirées par l'abondance de ressources hydroélectriques à bas coût [1].

Tableau 1.2. Part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie par pays (%) [1].

Pays	1990	2000	2010	2018
 Japon	22,6 %	24,5 %	27,2 %	28,7 %
 Chine	5,9 %	11,4 %	18,2 %	25,2 %
 France	18,3 %	20,4 %	23,9 %	25,0 %
 Afrique du Sud	23,3 %	26,9 %	26,3 %	24,8 %
 États-Unis	17,5 %	19,5 %	21,5 %	21,0 %
 Royaume-Uni	17,1 %	18,8 %	20,5 %	20,0 %
 Allemagne	16,3 %	18,0 %	20,0 %	19,8 %
 Inde	7,6 %	10,3 %	12,9 %	17,0 %
 Russie	11,4 %	12,5 %	14,0 %	12,7 %
Total mondial	13,3 %	15,5 %	17,4 %	19,3 %

1.2.4. Le bilan des consommations par secteur d'utilisation :

Les mille millions de tep d'énergies traditionnelles (bois de feu, déchets végétaux et animaux) consommées dans le monde en 1997 ont essentiellement été utilisés dans les régions pauvres et rurales pour le chauffage et la cuisson des aliments. La consommation d'énergies

commerciales de 8 500 millions de tep se répartissent entre 2 700 millions de tep environ absorbés par le secteur énergétique, essentiellement pour la production de l'électricité et, à un degré moindre, pour la transformation du pétrole en produits pétroliers dans les raffineries et 5 800 millions de tep de consommation finale d'énergie. Trois grands secteurs d'activités se partagent cette consommation d'énergie finale : l'industrie (31 %) ; le secteur résidentiel et tertiaire (33 %) ; les transports (27 %). Les 9 % restant représentent les consommations de produits énergétiques pour des usages non énergétiques, notamment dans la chimie : production d'engrais, de matières plastiques, etc.. Cette structure moyenne recouvre des situations nettement différentes, même parmi les pays riches industrialisés : aux Etats-Unis, la part de l'industrie est de 21 % seulement, contre 33 % au Japon. Elle est de 55 % en Chine et de 34 % en Russie.

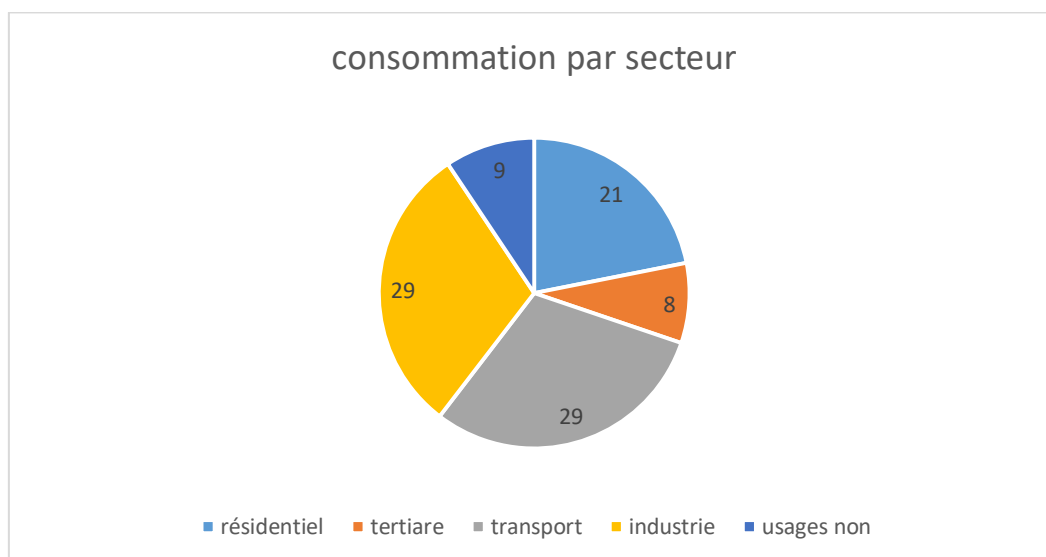


Figure (1.2) : Consommation par secteur [1] .

Tableau (1.3) : Consommation final par secteur [1].

MTep	Consommation finale 1990	Part dans la consommation	Consommation finale 2018	Variation consommation 2018/1990	Part dans la consommation
Industrie	1 803	29 %	2 839	+57 %	29 %

Transport	1 575	25 %	2 891	+84 %	29 %
Secteur résidentiel	1 530	24 %	2 109	+38 %	21 %
Secteur tertiaire	450	7 %	809	+80 %	8 %
Usages non	477	8 %	917	+92 %	9 %

a. L'Industrie

Les différentes branches de l'industrie ont des consommations d'énergie très différentes par rapport à la quantité des produits ou à la valeur ajoutée de l'entreprise. Les industries "grosses consommatrices d'énergie" absorbent environ 70 % de la consommation totale du secteur : sidérurgie, métaux non ferreux, matériaux de construction, verre, chimie, papier-carton.

b. Les Transports

Les usages de l'énergie dans ce secteur sont de la puissance motrice mobile. Sur les 1 600 millions de tep consommés dans le monde par ce secteur, 98 % sont des produits pétroliers : essence et gasoil pour les véhicules routiers, certains navires et locomotives, le kérosène pour les avions à réaction, le fioul pour la plupart des navires. Les 2 % restant correspondent aux locomotives à vapeur alimentées au charbon, ou même au bois, de moins en moins nombreuses, et, essentiellement, aux locomotives, les métros, tramways, trolleybus, alimentés par l'électricité, ainsi qu'aux véhicules routiers alimentés au gaz naturel ou par des biocarburants, dont l'utilisation, au niveau mondial, est encore marginale.

c. Le Résidentiel et Tertiaire

Ce secteur est le premier consommateur d'énergies commerciales dans le monde, et absorbe la quasitotalité des 1 000 millions de tep d'énergies traditionnelles (bois de feu, déchets végétaux et animaux), seules ressources des populations les plus pauvres. La répartition des usages

énergétiques dans le résidentiel et tertiaire peut être estimée à 80 % d'usages thermiques (chauffage, eau chaude, cuisson) et 20 % d'usages spécifiques de l'électricité (éclairage, électroménager, audiovisuel).

- **Secteur résidentiel mondial :**

La consommation d'énergie finale mondiale a augmenté de plus de 6 exajoules (EJ), soit environ 5%, entre 2010 et 2017, les gains d'efficacité énergétique ayant été dépassés par la poursuite de la forte croissance de l'activité dans le secteur résidentiel et de la demande en énergie. En revanche, la croissance de la demande énergétique a été inférieure à celle de la croissance de 17% de la surface de plancher au cours de la même période, et semble s'être légèrement découplée de la croissance démographique. Il s'agit d'un signe positif des tendances historiques de longue date, mais c'est un phénomène dû en grande partie à l'abandon de l'utilisation traditionnelle de la biomasse à forte intensité énergétique dans les pays en développement. Cette tendance pourrait s'inverser alors que l'augmentation de la richesse engendra une plus grande demande de service énergétique moderne au sein de ces pays. Une autre tendance est le transfert de la demande d'énergie aux économies émergentes, en particulier dans les climats chauds et humides. La consommation d'électricité dans les bâtiments a enregistré la croissance la plus forte, à savoir une croissance mondiale de 15% depuis 2010, soit l'équivalent de la consommation totale d'électricité au Japon et en Corée en 2017. Ce passage à l'électricité ne s'agit pas d'une transition immédiate vers la consommation d'énergies propres, étant donné le rôle significatif que jouent les combustibles fossiles dans la production mondiale d'électricité, notamment au sein des économies émergentes où la croissance de la consommation d'électricité est la plus marquée. La croissance de la consommation électrique dans les bâtiments se conjugue avec celle des sources d'énergie renouvelables, dont la consommation a augmenté de 14% entre 2010 et 2017. La consommation de gaz naturel a augmenté de près de 5% au cours de cette période, une partie de celle-ci ayant remplacé l'utilisation moins efficace de charbon, qui a chuté de près de 8% au niveau mondial depuis 2010. La consommation des autres types de combustibles, notamment le pétrole et la biomasse (l'utilisation traditionnelle), est restée stable au cours de la même période.[5]

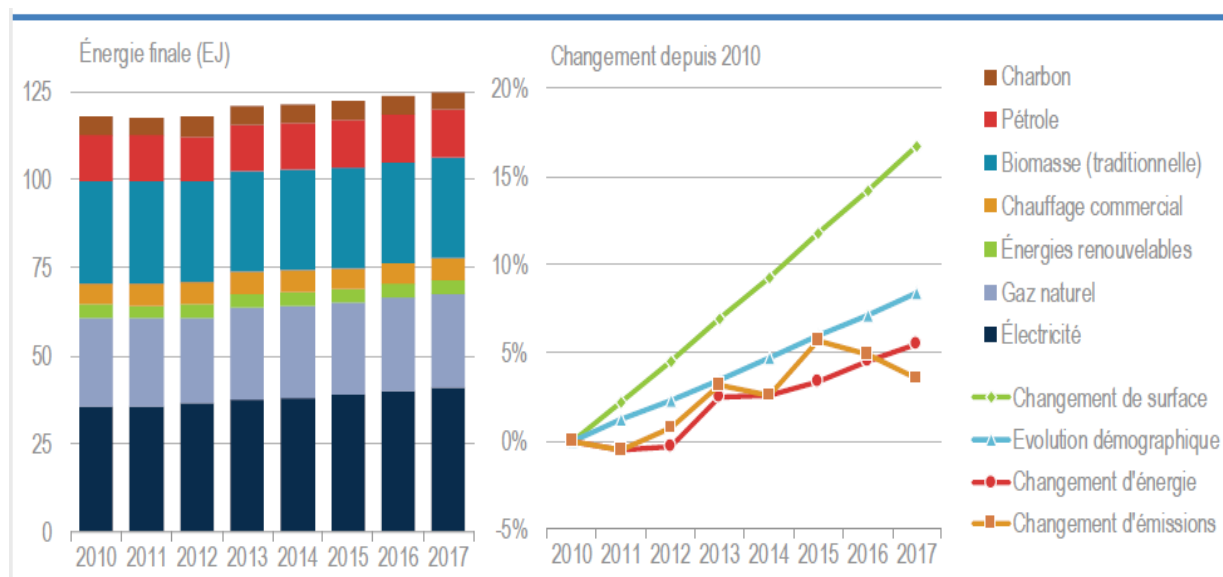


Figure (1.3) : Consommation d'énergie finale par source d'énergie et évolution des indicateurs du Secteur résidentiel [5].

L'évolution de la consommation mondiale de combustibles dans secteur résidentiel est en partie due à l'évolution de la consommation finale, la croissance de la climatisation des locaux et des appareils électroménagers entraînant la croissance de la demande d'électricité dans les logements. La consommation d'énergie pour le refroidissement des locaux a augmenté de plus de 20% dans le monde entier entre 2010 et 2020, tandis que la demande d'électricité des appareils ménagers a augmenté de 18% et que le chauffage des locaux a diminué d'environ 4%. La réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux, compte tenu de la forte utilisation de combustibles fossiles pour la production de chaleur par rapport à d'autres utilisations finales, contribue également à la part la plus importante de la consommation d'électricité dans les bâtiments.

L'évolution de l'intensité énergétique des logements par unité de surface de plancher, utilisée comme indicateur de l'efficacité énergétique, montre que les intensités énergétiques moyennes globales pour le chauffage et l'éclairage des locaux se sont le plus améliorées depuis 2010. Cela a compensé la croissance de la population et l'augmentation de la richesse afin de réaliser d'importantes économies d'énergie par surface de plancher au cours des dernières années. Le passage à des technologies économes en énergie, telles que les diodes électroluminescentes (LED) et les pompes à chaleur sur certains marchés, a joué un rôle dans l'amélioration de l'intensité énergétique. Les mesures relatives à l'enveloppe du bâtiment ont également contribué à améliorer les intensités énergétiques de chauffage et de

refroidissement par mètre carré (m²), en améliorant les performances thermiques (par exemple, le choix des matériaux) et en améliorant la conception et l'orientation du bâtiment.

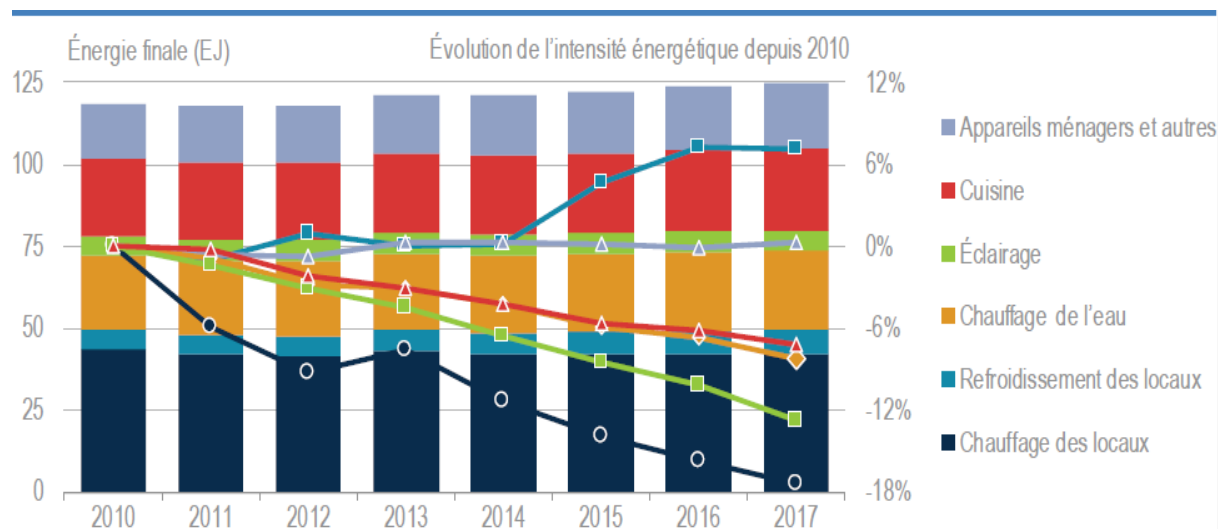


Figure (1.4) : Consommation d'énergie finale des bâtiments à l'échelle mondiale [5]

Le refroidissement des locaux, les appareils ménagers et les autres petites unités enfichables sont les usages finaux à la croissance la plus rapide dans les bâtiments ; cependant, seul le refroidissement a connu une croissance en intensité énergétique par unité de surface de plancher

1.3.Contexte énergétique National :

Les consommations primaire et finale de l'Algérie connaissent toutes les deux une croissance importante sur la période 2000-2017. La consommation primaire est passée de 27.9 Mtep en 2000 à 57.6 Mtep en 2017, soit une hausse de 4.4%/an. La consommation finale quant à elle est passée de 13.8 Mtep en 2000 à 34.7 Mtep en 2017, ce qui représente une hausse de 5.6%/an (**Figure I.5**). La consommation finale a donc connu une croissance plus soutenue que la consommation primaire, ce qui s'explique notamment par la hausse du rendement moyen du secteur énergétique.

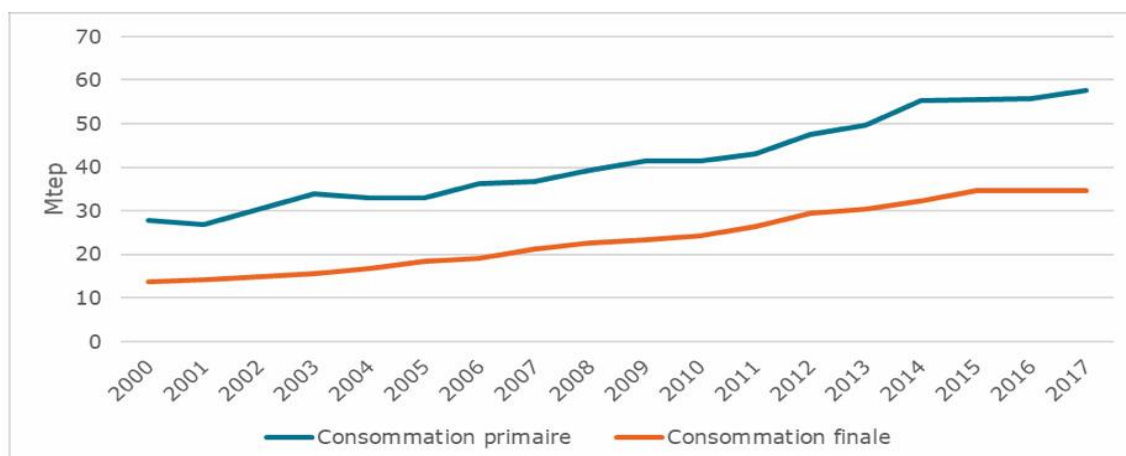


Figure (1.5): Consommation primaire et consommation finale d'énergie.[2]

1.3.1. Evolution du mix énergétique de la consommation primaire

Le mix de la consommation primaire d'énergie de l'Algérie a peu évolué entre 2000 et 2017. Il reste fortement dominé par le gaz et le pétrole (environ 63% et 37% de la consommation respectivement en 2017). La consommation primaire de charbon a quasiment disparu (0.02% en 2017 contre près de 2% en 2000). Les énergies renouvelables (solaire, hydraulique et éolien) représentent environ 0.3% du mix primaire en 2017).[2]

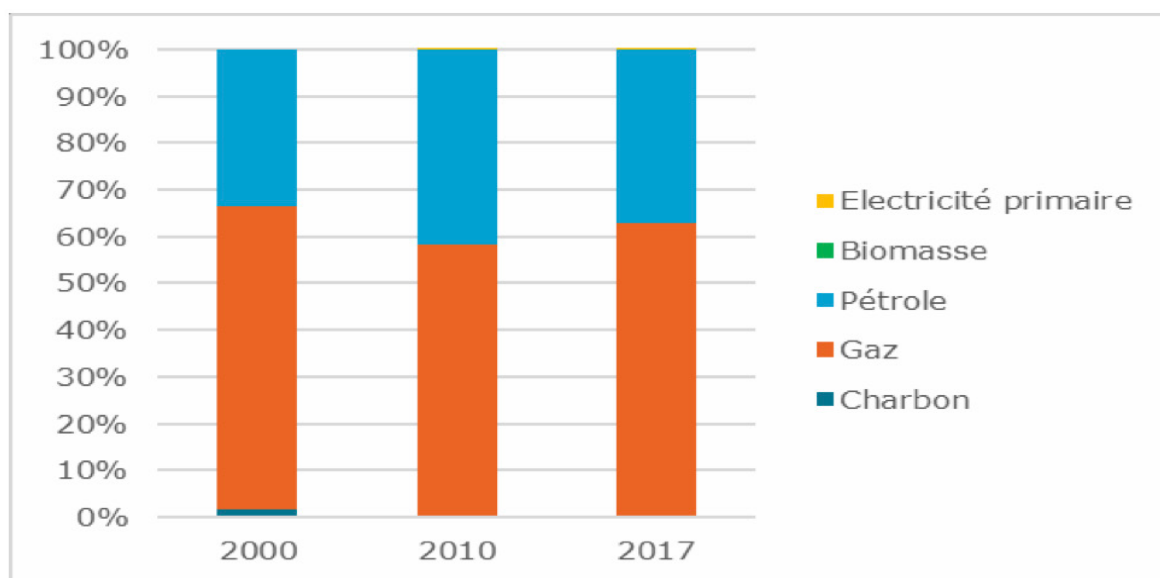
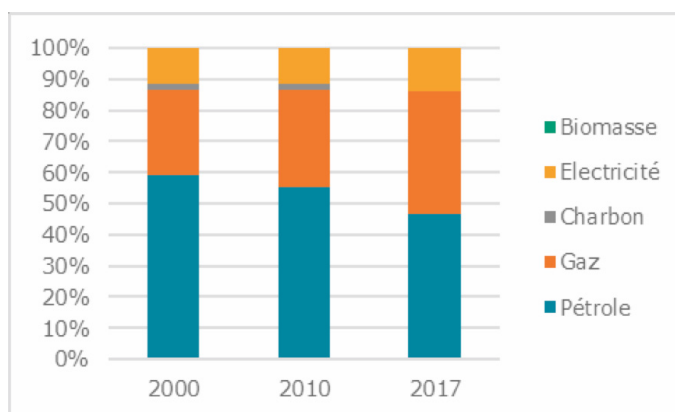


Figure (1.6): Evolution du mix énergétique de la consommation primaire en Algérie [2]

En revanche, le mix énergétique de la consommation finale a évolué significativement. Le pétrole a perdu du terrain dans la consommation finale d'énergie, passant de 60% de la

consommation en 2000 à 46% en 2017. Il est substitué par le gaz (39% de la consommation en 2017 contre 27% en 2000) et dans une moindre mesure l'électricité (14% de la consommation en 2017 contre 11% en 2000). Le charbon a quasiment disparu du mix énergétique final du pays (0.2% en 2017).[2]



Figure(1.7) : Evolution du mix énergétique de la consommation finale [2]

1.3.2. Consommation par secteur[2]:

Le secteur des transports est le consommateur principal avec 38% de la consommation finale en 2017, part qui est toutefois en baisse (42% en 2017 et 44% en 2000). Il est suivi du secteur résidentiel, qui représente une part de plus en plus importante de la consommation finale (33% en 2017 contre 26% en 2000), dû à une croissance importante du nombre de ménages (+3.3%/an) et la consommation unitaire des ménages due à l'amélioration du niveau de vie des ménages. A contrario, la part de l'industrie a tendance à diminuer (21% en 2017 contre 24% en 2000). Les parts du tertiaire et de l'agriculture restent relativement stables (respectivement 7% et 1% de la consommation finale en 2017).

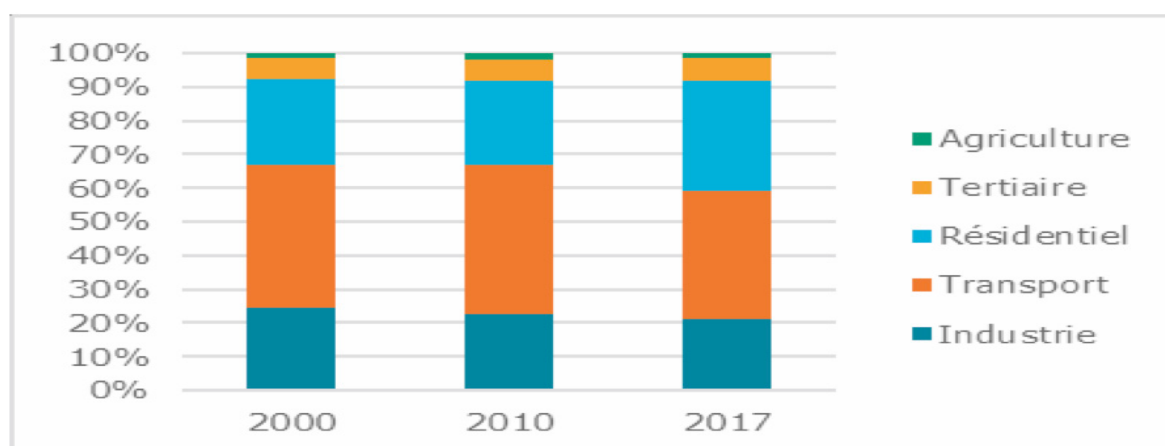
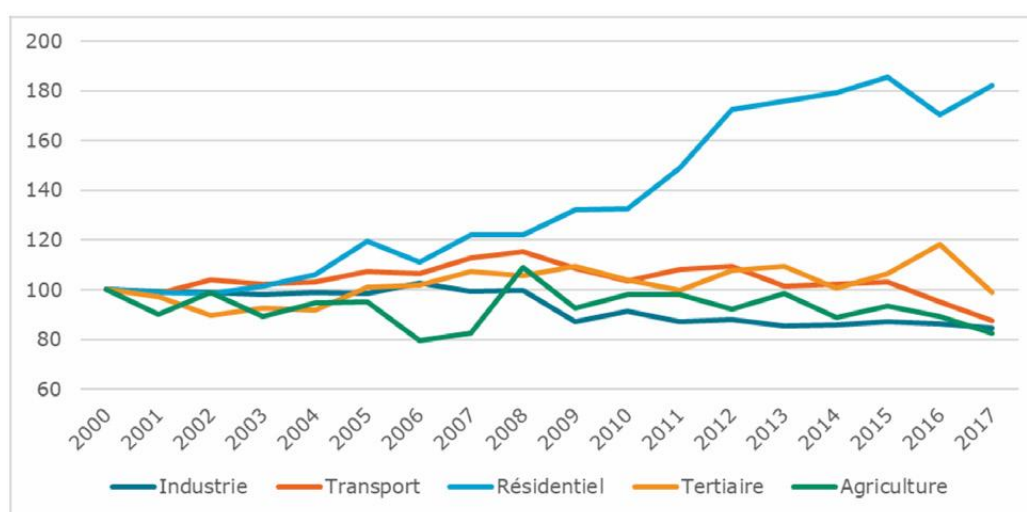


Figure (1.8) : Evolution de consommation par secteur [2]

En termes d'intensité énergétique par secteur, des différences importantes entre secteurs ont été observées. Si la plupart des secteurs voient leur intensité énergétique diminuer (-18% pour l'agriculture et le transport, -16% pour le transport, entre 2000 et 2017), celle du secteur tertiaire est relativement stable sur la période (-2%) et celle du secteur résidentiel augmente très fortement (+80%, soit +3.6%/ an). Cette hausse de l'intensité énergétique du secteur résidentiel s'explique principalement par la hausse du confort thermique (chauffage et climatisation) ainsi que par la multiplication des usages électriques (produits électroniques...).



Figure(1.9) : Evolution de consommation par secteur [2]

1.3.2.1. Secteur résidentiel:

La consommation finale du secteur résidentiel en Algérie, représente 35 % de la consommation totale finale en 2005 et augmente en 2019 jusqu'à 41 %. Cette consommation est essentiellement destinée à couvrir les besoins d'éclairage artificiel, chauffage et surtout climatisation

L'évolution de la consommation finale de secteur résidentiel est présente ci-dessous :

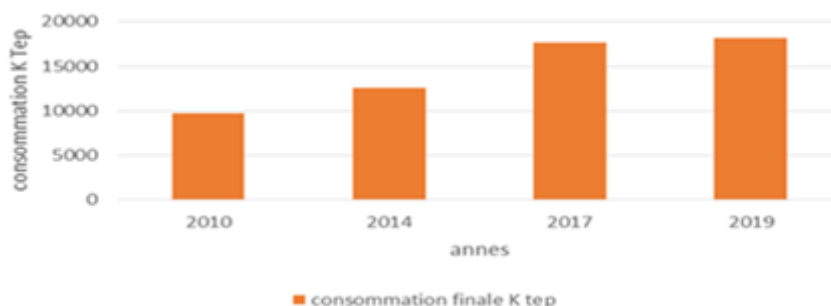


Figure (1.10): Evolution de consommation dans le secteur résidentiel en algérie [3].

Dans le secteur résidentiel ou ménages, les facteurs déterminants sont de nature démographique comme la population, nombre de ménages et le taux de possession. On distingue deux types d'usage dans ce secteur : Spécifique et thermique.

- L'usage Spécifique :

La principale forme d'énergie utilisée pour cet usage est l'électricité. L'éclairage, la climatisation et les appareils électroménagers (réfrigérateur, lave-linge, éclairage, téléviseur etc.) sont les différentes catégories d'utilisation finale.

- L'usage Thermique

Les catégories d'utilisation finale sont : le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson. L'énergie utilisée pour cet usage est le gaz naturel ainsi que les produits pétroliers (GPL). De la même méthode et avec la même formule on calcule les consommations d'énergie pour chaque type d'usage thermique.

Tableau 1.4: Evolution de la consommation par usage.[3]

Usage	Unit	2008	2015	2020
Usage Electrique	Ktep/a	905,26	4390,03	7026,10
Usage Thermique	Ktep/a	4507,69	9086,26	11600,31
Conso Finale	Ktep/a	5412,95	13976,29	18626,41
Conso/Ménage	Ktep/Log	1,02	1,5	1,7
Conso/Habitant	Ktep/Hab.	0,16	0,26	0,30

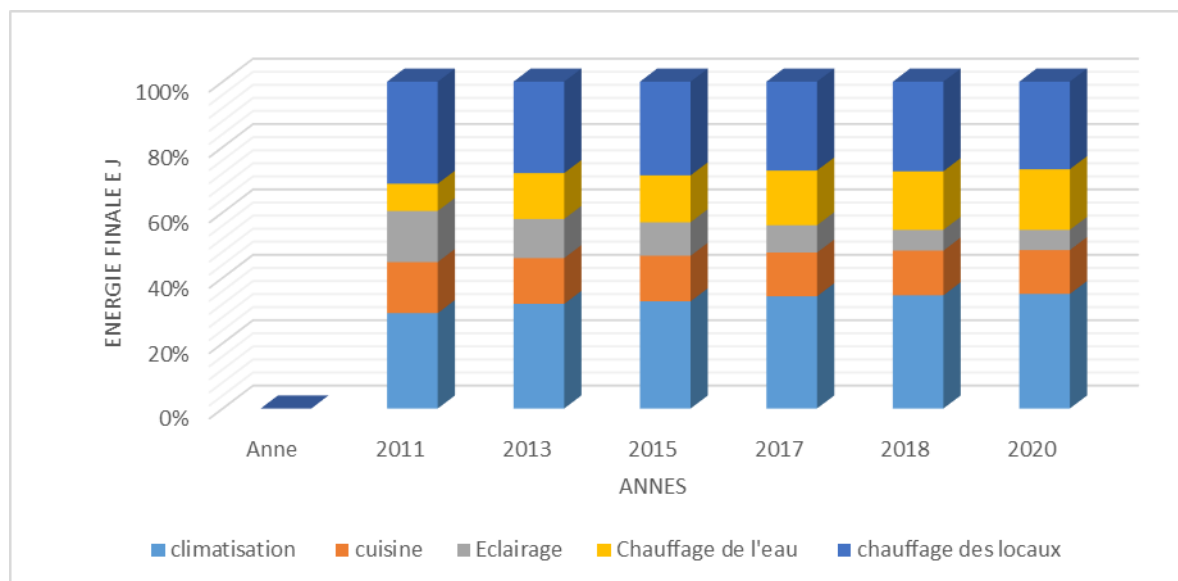


Figure (1.11) Evolution de la consommation finale de secteur résidentiel par machine [3]

Le chauffage reste sans conteste le **premier poste de consommation d'énergie** dans nos logements. Chaudières et chauffe-eau représentent la plus grosse part de nos besoins, qu'ils fonctionnent **au gaz, au fioul ou à l'électricité**

Le reste de nos consommations résidentielles est assuré essentiellement par **l'électricité** et représente en moyenne 4.590 kWh/an par ménage⁽²⁾. Ils se répartissent entre la climatisation, l'éclairage, la cuisson et l'utilisation des différents appareils électriques au quotidien

1.3.2.2. Consommation de secteur par produit :

La demande d'énergie du résidentiel augmente avec un TCAM d'environ 5,61 %. Avec un taux de 9,63 %, la consommation a presque doublé entre 2008 et 2015 de 5,4 Mtep à 13 Mtep et continue d'augmentée avec un rythme plus stable d'un taux de 4% chaque 5an. Sur les 12 Mtep d'accroissement de la demande d'énergie envisagée entre 2008 et 2020, la part du gaz naturel est d'environ 6 Mtep qui représentent 59 % du total de la consommation, le reste qui est de 16 % est pour l'électricité et 31 % pour GPL. La grande part de la consommation finale du secteur résidentiel est celle du GN, avec un pourcentage de 59 % en 2008 contre 55 % en 2020.

Tableau 1.5: Evolution de la consommation de secteur résidentiel par produit [3].

Produit	Unit	2008	2015	2020
Electricité	ktep/an	559,12	1649,95	2193,43
GPL	ktep/an	1390,55	3564,11	2290,08
Gaz Naturel	ktep/an	3073,28	5062,23	8423,89
Total	ktep/an	5412,95	13076,29	18626,41

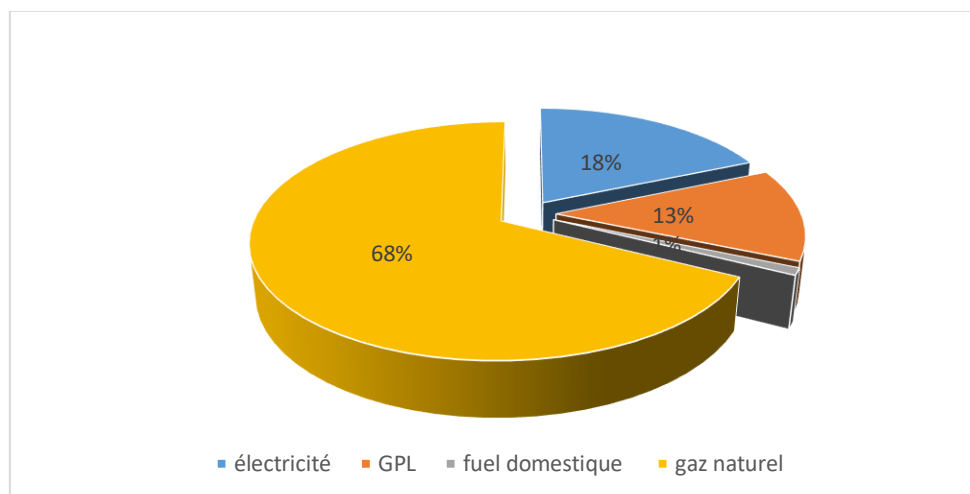


Figure (1.12): Consommation du secteur résidentiel par produit [3]

En 2020 la consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 2139 Ktep. Elle représente 43% de la consommation totale d'électricité. Il a atteint 9417 Ktep en produits gazeux soit 60% de la consommation totale des produits gazeux. Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d'énergie au niveau national soit 33%. Entre 2019-2010, la consommation d'énergie du secteur a progressé de 8.3% / an. Ce sont les produits : l'électricité, le gaz naturel, le GPL, le fuel domestique qui ont contribué à cette croissance avec des TCAM respectifs de : 10.5% / an ; 11%/an ; -0.7%/an ; -14.3%/an.

1.3.3. Consommation électrique dans secteur résidentiel :

La Consommation de l'énergie électrique dans les ménages est tirée par la consommation des équipements électriques utilisés dans les ménages notamment :

- Les climatiseurs,

Chapitre : 01 Contexte énergétique mondial et national

- Les réfrigérateurs,
- L'éclairage,
- Les lavelinge,
- Les téléviseurs,
- Les ordinateurs,
- Les Smartphones
- Autres (microonde, fer à repasser, four électrique, etc).

Si certains agissent sur la consommation globale des ménages par leur consommation unitaire (réfrigérateur, climatiseur, four, lave linge) d'autres par leur nombre qu'ils représentent (téléviseurs, ordinateurs).

Tableau 1.6: Taux d'équipement des ménages [4].

Equipement	Année 2010	Année 2017
Réfrigérateurs	95%	99%
Machines à laver le linge	45%	81%
Climatiseur	16%	69%
Téléviseur	95%	99%

1.4. Conclusion :

Ce chapitre présente la situation énergétique actuelle à niveau mondial et national. En termes de ressources, de production, de consommation et aussi l'état des infrastructures régionales existantes, notamment des interconnexions électriques et gazières et leurs impacts sur l'environnement.

Ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économies d'énergie. L'augmentation de la demande d'énergie est évaluable suivant diverses hypothèses, sa répartition géographique connue et les sources énergétiques identifiées. Un ensemble de voies est à explorer pour élaborer des solutions satisfaisantes à des degrés divers. Tous ces éléments significatifs renforcent l'urgence de la mise en œuvre de la notion de développement durable dans les activités humaines.

CHAPITRE 2 :

L'électricité en Algérie

2. L'électricité en Algérie

2.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous traiterons l'aspect technique de la situation actuelle de l'électricité en Algérie. Nous aborderons, entre autres, les moyens de production, le transport, la demande et la tarification appliquée.

2.2. Production:

Les impératifs de préservation de l'environnement ont imposé l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, et exigent aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants dans tout le pays.

Aussi, pour répondre au besoin en électricité, sans cesse croissant, un programme ambitieux a été engagé pour le dédoublement des capacités de production conventionnelle. La stratégie d'exécution de ce programme de production de l'électricité conventionnelle consiste avant tout, à développer une industrie nationale, à même d'assurer la fourniture des équipements destinés au secteur de l'énergie électrique.

Les programmes indicatifs décennaux des besoins en moyens de production de l'électricité, élaborés par la CREG chaque deux ans et approuvés par Monsieur le Ministre de l'Energie, prévoient les capacités de production à mettre en place sur une période décennale par région (Est, Ouest, Centre et Sud) et par filières selon deux scénarios d'évolution de la demande (moyen et fort). .

Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE), et de Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM), qui sont une filiale de Sonelgaz, ainsi que des sociétés en partenariat avec Sonelgaz, à savoir :

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

- - Kahrama Arzew entrée en service en 2005 ;
- - Shariket Kahraba Skikda « SKS » entrée en service en 2006 ;
- - Shariket Kahraba Berrouaghia « SKB » (Médéa) entrée en service en 2007 ;
- - Shariket Kahraba Hadjret Ennousse « SKH » entrée en service en 2009 ;
- - SPP1 entrée en service en 2010 ;
- - Shariket Kahraba Terga « SKT » entrée en service en 2012 ;
- - Shariket Kahraba de Koudiet Edraouch « SKD » entrée en service en 2013
-

Le renforcement des capacités de production, par Sonelgaz et ses sociétés filiales, a connu ces dernières années, une évolution conséquente de la puissance de production d'électricité installée, qui a atteint 19 586 MW en 2017.

La répartition de la puissance installée par producteur et par type d'équipement pour l'année 2017 est illustrée dans les graphiques ci-après ... [6]

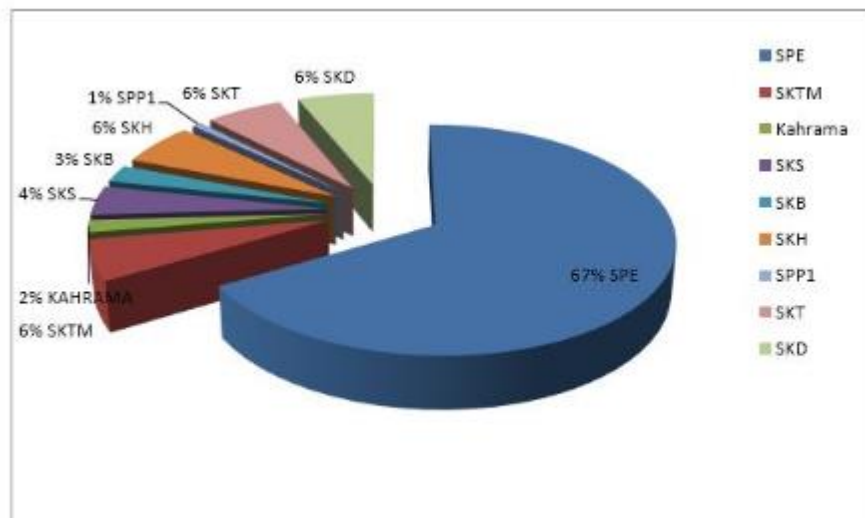


Figure (2.1) : Puissance installée par producteur à fin 2017 [6]

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

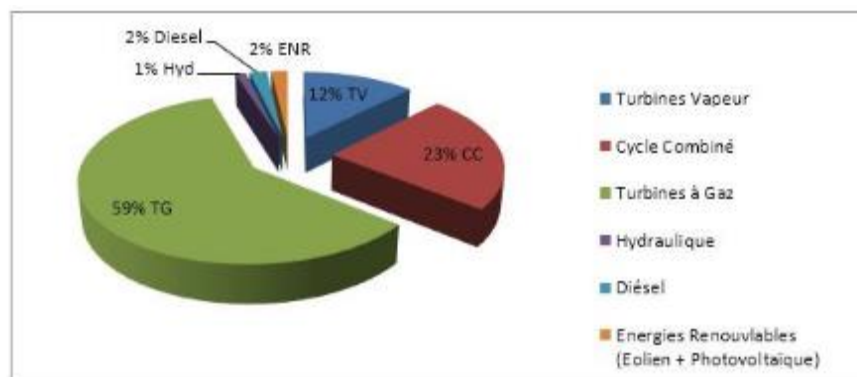


Figure (2.2) : Puissance installée par type d'équipement à fin 2017 [6]

Tableau (2.1) : Evolution de la puissance installée 1980- 2017 par producteur (MW) [6]

	1980	1990	2006	2010	2016	2017
SPE	1 837	4 686	6 736	8 446	12 702	13 039
SKTM	1 007	1 133
Autres producteurs	.	.	1 170	3 036	5 412	5 414
Total	1 837	4 686	7 906	11 482	19 121	19 586

2.3. Centrales photovoltaïques :

Les énergies renouvelables en général et l'énergie solaire photovoltaïque bénéficient actuellement du soutien des pouvoirs publics pour les intégrer d'une manière significative dans le paysage de production d'électricité en Algérie... [7]

2.3.1. Définition et catégories :

Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique (l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technologie associée. L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs principalement produits à partir de silicium. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité.

Ce processus ne nécessite aucun cycle thermodynamique intermédiaire, c'est-à-dire que le rayonnement est directement converti en électricité sans utilisation intermédiaire de la chaleur (contrairement au solaire thermodynamique).

2.3.1.1. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

Une cellule photovoltaïque est composée de deux types de matériaux semi-conducteurs, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit d'électrons. Ces deux parties sont respectivement dites « dopées » de type n et de type p. Le dopage des cristaux de silicium consiste à leur ajouter d'autres atomes pour améliorer la conductivité du matériau.

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

Un atome de silicium compte 4 électrons périphériques. L'une des couches de la cellule est dopée avec des atomes de phosphore qui, eux, comptent 5 électrons (soit 1 de plus que le silicium). On parle de dopage de type n comme négatif, car les électrons (de charge négative) sont excédentaires. L'autre couche est dopée avec des atomes de bore qui ont 3 électrons (1 de moins que le silicium). On parle de dopage de type p comme positif en raison du déficit d'électrons ainsi créé. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

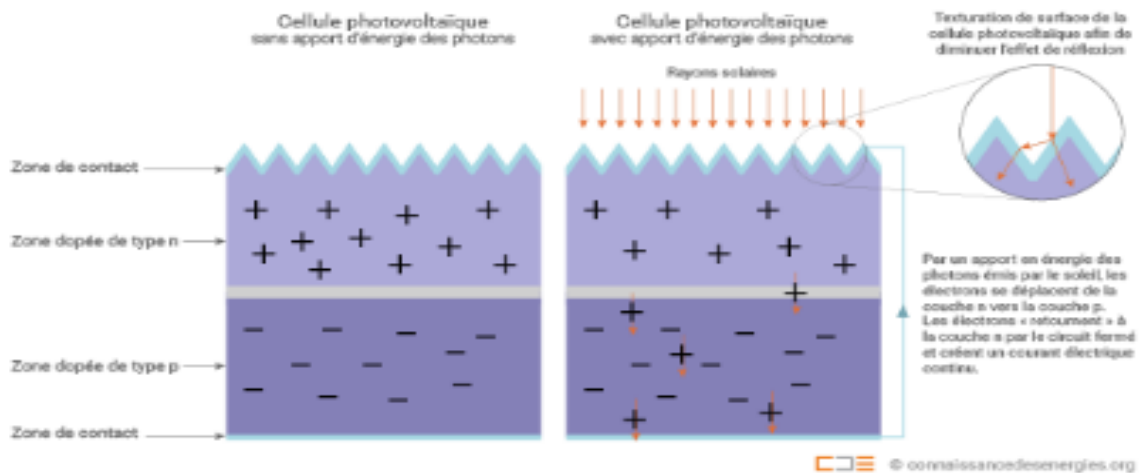


Figure (2.3): Constitution d'une cellule photovoltaïque [7]

En traversant la cellule photovoltaïque, les photons arrachent des électrons aux atomes de silicium des deux couches n et p. Les électrons libérés se déplacent alors dans toutes les directions. Après avoir quitté la couche p, les électrons empruntent ensuite un circuit pour retourner à la couche n. Ce déplacement d'électrons n'est autre que de l'électricité.

2.3.1.2. Etat des lieux des technologies traditionnelles :

Les technologies à base de silicium constituent plus de 90% du marché photovoltaïque mondial.

- Les cellules monocristallines :

C'est la filière historique du photovoltaïque. Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en une seule

pièce. Elles ont un bon rendement mais la méthode de production est laborieuse et coûteuse. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires ».

- Les cellules polycristallines :

Les cellules polycristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium composé de cristaux multiples. Elles ont un rendement plus faible que les cellules monocristallines mais leur coût de production est moindre.

- Des avancées technologiques permettent aujourd'hui de produire des cellules polycristallines à couches minces afin d'économiser le silicium. Ces cellules ont une épaisseur de l'ordre de quelques micromètres d'épaisseur.

Au cours des dix dernières années, le rendement moyen d'un panneau photovoltaïque à base de silicium est passé de 12% à 17% selon l'institut allemand Fraunhofer.

2.3.2. Enjeux par rapport à l'énergie :

- **Avantages :**

- L'énergie solaire est, à l'échelle humaine, inépuisable et disponible gratuitement en très grandes quantités. De plus, lors de la phase d'exploitation, la production d'électricité au moyen de panneaux photovoltaïques n'est pas polluante.
- Le silicium, matériau utilisé dans les panneaux solaires actuels les plus répandus, est très abondant et n'est pas toxique.
- Les panneaux solaires ont une durée de vie de 20 à plus de 30 ans et sont presque intégralement recyclables.
- La modularité des panneaux est très importante, c'est-à-dire qu'il est possible de concevoir des installations de tailles diverses dans des environnements très variés. Ceux-ci sont par conséquent adaptés à la production décentralisée d'électricité en sites isolés.
- Les panneaux photovoltaïques peuvent être utilisés à des fins domestiques de petite échelle (par exemple sur des toitures) ou à des fins de production énergétique industrielle à grande échelle (par exemple, la ferme solaire de Toul-Rosières en Lorraine).

- **Limites :**

- La technologie photovoltaïque est encore coûteuse même si son coût de production (LCOE) a fortement baissé au cours des dernières années (avec un coût de production de 70 à 90 \$/MWh dans certaines zones aujourd'hui, des installations photovoltaïques atteignent parfois localement une « parité de prix » avec des moyens « conventionnels » de production électrique).
- Les panneaux photovoltaïques les plus répandus, faits de silicium cristallin, sont lourds, fragiles et difficiles à installer.
- Une centrale requiert de vastes espaces bien que la densité tende à être améliorée (exemple de la centrale photovoltaïque de Bresse-sur-Issole en Provence : 1,2 hectare par mégawatt installé).
- L'impact environnemental et énergétique de la fabrication des panneaux de silicium n'est pas nul. Une cellule photovoltaïque doit fonctionner entre un an et demi et cinq ans pour compenser l'énergie utilisée pour la fabriquer
- L'énergie électrique n'est pas « directement » stockable, c'est-à-dire sous sa forme primaire. Il est en revanche possible de la stocker « indirectement » dans des batteries sous forme chimique ou dans des accumulateurs cinétiques sous forme mécanique. Les technologies existantes sont encore coûteuses.

2.3.3. Acteurs majeurs

Durant plusieurs années, les installations de panneaux photovoltaïques ont été accélérées par des programmes nationaux d'incitations financières telles que des tarifs de rachats bonifiés de l'électricité produite pour le réseau public. Les États jouent donc un rôle clé dans le développement de la filière.

Le marché mondial de cellules et de panneaux photovoltaïques est dominé par une poignée de pays (Chine, Taïwan, Japon, Malaisie, Allemagne, États-Unis). La société chinoise Suntech Power est devenue en 2009 le premier producteur mondial de panneaux photovoltaïques. Sharp (Japon), JA Solar (Chine) et First Solar (Malaisie) sont d'autres grands noms de ce secteur

(auquel il convenait notamment d'ajouter, jusqu'à 2012, l'entreprise allemande Q-Cells qui a déposé le bilan cette année-là).

2.3.4. Unités de mesure et chiffres clés

Watt crête

La puissance « crête » d'une installation photovoltaïque (exprimée en Wc) est la puissance maximale (capteurs bien orientés, bien inclinés, sans ombrage) qu'elle peut produire sous un ensoleillement de 1000 W/m² et une température de 25°C.

Cette unité a trois utilisations principales :

- la comparaison du rendement des matériaux photovoltaïques, dans les mêmes conditions ;
- la qualification de la taille d'une installation, indépendamment de ses conditions d'ensoleillement ;
- la comparaison des gisements solaires et de leur production électrique.

A fin 2016, la capacité installée du parc mondial solaire photovoltaïque a dépassé 300 gigawatts (GW) installés, selon la PV Market Alliance(8).

En 2014, le solaire (photovoltaïque et thermodynamique inclus) a généré près de 197,1 TWh d'électricité dans le monde, soit environ 0,8% de la production mondiale d'électricité selon les dernières données de l'Irena(9).

Selon l'AIE, les filières photovoltaïque et thermodynamique auront des contributions équivalentes en 2050 en termes de production énergétique. Environ 80% de la production mondiale de modules photovoltaïques est encore à base de plaquettes de silicium cristallin. Le reste utilise des couches minces déposées sur une surface, solution plus économique en matière de coûts de fabrication mais avec des rendements inférieurs.

2.3.5. Zone de présence ou d'application :

Les pays disposant des entreprises les plus développées sont également les pays ayant installé le plus de capacités photovoltaïques. Ceci s'explique par le fait que les compagnies locales remportent souvent des subventions ou des marchés nationaux qui leur permettent de se développer plus rapidement et d'expérimenter leurs technologies.

A noter que l'efficacité des panneaux diminue lorsque la température augmente. Il existe donc peu d'installations en milieu désertique. On leur préfère en général des installations solaires thermodynamiques dont le rendement croît pour sa part avec la température.

2.3.6. Production photovoltaïque décentralisée : autonome et raccordée au réseau :

Le photovoltaïque raccordé au réseau est constitué de systèmes de production d'électricité photovoltaïque qui peuvent être *centralisés* (centrale solaire photovoltaïque) ou *décentralisés* (toits de maisons individuelles, de mairies, de granges, etc.).

On parle de photovoltaïque raccordé au réseau par opposition au photovoltaïque hors réseau qui peut être soit autonome, avec des batteries d'accumulateurs, soit hybride avec des batteries d'accumulateurs et une source d'énergie auxiliaire (Groupe électrogène, éolienne, turbine hydraulique).

Ces systèmes sont constitués de modules solaires photovoltaïques reliés entre eux (en série et en parallèle) et branchés sur un ou plusieurs onduleur(s) eux-mêmes connecté(s) au réseau de distribution ou de transport d'électricité.

Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau constituent la plus grande partie des installations photovoltaïques dans le monde : en 2018, la capacité photovoltaïque mondiale installée est estimée à 464 GWc, en progression de 100 GWc pour l'année 2018. Les installations au sol de forte puissance contribuent largement à ces chiffres².

Les modules photovoltaïques sont habituellement installés face au sud dans l'hémisphère nord, sur des toitures industrielles ou agricoles, sur des terres non valorisables... Ils peuvent également être « intégrés » à la structure d'un bâtiment neuf en façade, brise soleil ou toiture.

2.3.6.1. Options de raccordement :

La production peut être utilisée de différentes manières :

- **Autoconsommation totale**

La production électrique est consommée sur place par les appareils en cours de fonctionnement (autoconsommation). Si la production instantanée excède la consommation instantanée, l'excédent est injecté au réseau sans être comptabilisé .

- **Comptage réversible**

La production électrique est consommée sur place par les appareils en cours de fonctionnement (autoconsommation). Si la production instantanée excède la consommation instantanée, l'excédent est injecté dans le réseau et fait reculé (tourner à l'envers, pour les compteurs électromécaniques) le compteur électrique. Cette solution n'est plus utilisée car elle est incompatible avec les nouveaux compteurs électroniques.

- **Injection du surplus**

La production électrique consommée sur place par les appareils en cours de fonctionnement (l'autoconsommation) n'est pas comptabilisée par le compteur de production, mais vient réduire le décompte de la consommation. Seul le surplus de la production par rapport à la consommation instantanée est vendu.

- **Injection de la totalité**

L'intégralité de la production est injectée dans le réseau et vendue. Un point de branchement spécifique à la production est alors créé par le gestionnaire du réseau. Toute la consommation est par ailleurs comptabilisée par le compteur de consommation existant, comme dans tous bâtiments raccordés au réseau.

2.3.6.2. L'entretien d'un système raccordé au réseau :

Le système photovoltaïque raccordé au réseau est le système d'énergie renouvelable dont l'exploitation technique est la plus simple car aucune maintenance préventive n'est nécessaire.

L'injection de l'électricité produite sur le réseau ainsi que l'alimentation des consommations du site se font automatiquement. Sauf exception (site industriel enfumé ou empoussiéré), le nettoyage des capteurs est réalisé naturellement par le vent et la pluie. Une

simple surveillance permet de détecter d'éventuelles pannes du système. Il faut néanmoins prévoir le remplacement de l'onduleur qui a, en moyenne, une durée de vie de 8 à 12 ans

2.4. Transport d'électricité en Algérie :

Tableau (2.2) : Evolution de l'énergie électrique produite 1980- 2017 (GWh), par type d'équipement [6]

Type d'équipement	1980	1990	2000	2006	2010	2016	2017
Thermique vapeur	3 621	8 397	15 757	14 558	9 692	11 512	10 074
Thermique gaz	2 223	6 704	8 830	16 463	19 564	24 441	31 009
Cycle combiné	-	-	-	3 419	15 341	28 899	29 508
Hydraulique	251	135	54	218	173	72	71
Diesel	125	216	368	264	403	281	286
Eolien	-	-	-	-	-	19	21
Photovoltaïque	-	-	-	-	-	205	500
Total	6 220	15 452	25 008	34 922	45 174	66 263 (*)	71 470(*)

2.4.1. Les réseaux de transport d'électricité

La longueur totale du réseau national de transport de l'électricité, tous niveaux de tensions confondus (60 à 400 kV), a atteint 29 233 km à fin 2017.... [8]

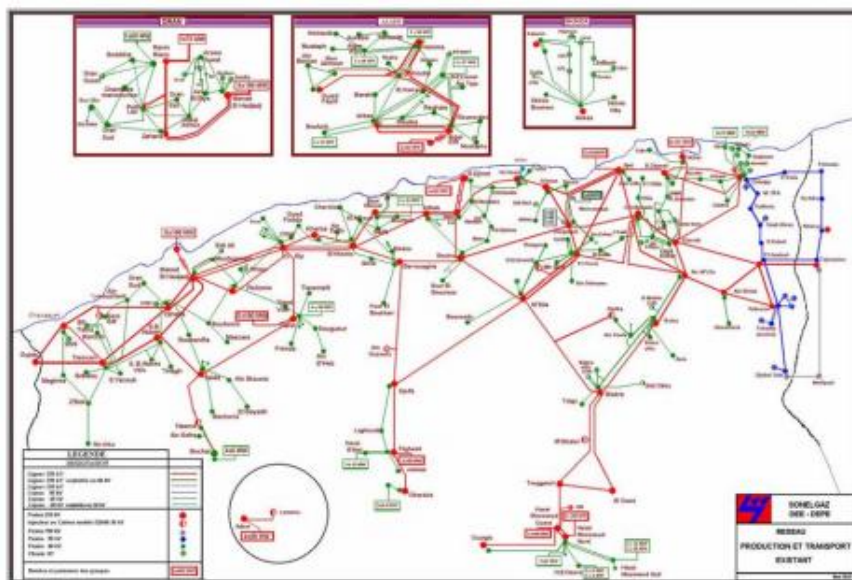


Figure (2.4) : Cartographie de réseau de transport en 2011[6]

Tableau (2.3): Evolution de la longueur du réseau de transport électrique 2005-2017 [6]



- **Réseau interconnecté national « RIN »**

Le RIN s'étale sur le nord du pays et couvre aussi les régions de Béchar, Hassi Messaoud, Hassi R'Mel et Ghardaïa, il est alimenté par une quarantaine de centrales de production d'électricité, reliées entre elles à travers un réseau de transport en 220 kV et 400 kV, permettant le transfert d'énergie des sites de production vers les centres de consommation.

La puissance maximale appelée du réseau interconnecté national a atteint 14 182 MW en 2017 (enregistrée en date du 31/07/2017)

Tableau (2.4) : Evolution de la puissance maximale appelée sur le RIN 1980- 2017[6]

	1980	1990	2006	2010	2016	2017
PMA enregistrée (MW)	1088	2 742	6 057	7 718	12 839	14 182

Ce pôle est alimenté par les centrales Turbines à Gaz d'Adrar, In Salah, Zaouit Kounta, Timimoun, la ferme éolienne de Kabertene, et les 7 centrales PV, interconnectées à travers un réseau 220 kV.

Les sources renouvelables contribuent avec une puissance installée globale de 53 MW.

Tableau Figure (2.5) : Evolution de la puissance maximale appelée sur le PIAT 2008-2017(ME,2017).

	2008	2010	2016	2017
PMA enregistrée (MW)	106	149	302	313

- **Les Réseaux Isolés du Sud « RIS »**

Il s'agit de 32 sites (29 sites conventionnels et 3 sites PV) du grand sud, alimentées par des réseaux locaux à travers des groupes diesel, des TG ou des centrales TV, et ce compte tenu des distances mises en jeu et des niveaux de consommation relativement faibles. La puissance installée du RIS a atteint 1 133 MW, en 2017.

Tableau (2.6) : Evolution de la puissance maximale appelée sur le RIS 2011- 2017 (ME, 2017).

	2011	2012	2016	2017
PMA enregistrée (MW)	139.7	167	285	271

Pour faire face à l'évolution importante de la demande électrique des localités isolées du sud, plusieurs centrales turbines à gaz et groupes diesel ont été installés entre 2012 et 2017. Ces projets ont grandement contribué à la sécurisation de l'alimentation de l'énergie électrique de ces régions, le développement local et l'amélioration des conditions de vie de ces régions enclavées.

2.4.2. Interconnexions Électriques Internationales

Le réseau de transport électrique algérien est relié aux deux réseaux marocain et tunisien via plusieurs lignes électrique, dont les plus récentes sont deux lignes 400 kV (réseau électrique Très Haute Tension).

Ces nouvelles interconnexions entre les trois pays confortent les liens traditionnels déjà existants.

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

Le Maroc est relié avec l'Algérie par trois liaisons électriques (2 en 220 kV et 1 en 400 kV).

La Tunisie est reliée avec l'Algérie par cinq liaisons électriques (2 en 90 kV, 1 en 150 kV, 1 en 220 kV et 1 en 400 kV).

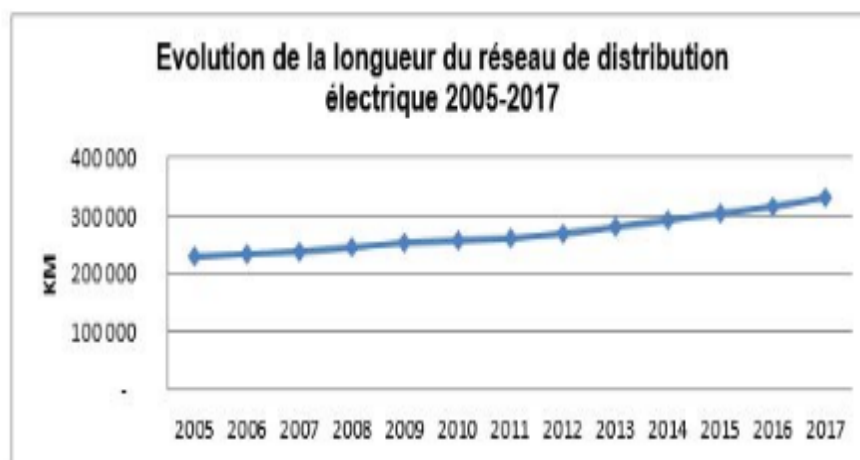
2.5. Distribution de l'Electricité :

2.5.1. Infrastructures

Le programme de développement en moyens de production et transport d'électricité est accompagné du renforcement du réseau de distribution (lignes MT/BT et postes), pour assurer la fiabilité de l'approvisionnement et de la distribution de l'énergie électrique et garantir une meilleure qualité de service pour les citoyens.

A fin 2017 la longueur totale du réseau national de distribution de l'électricité, a atteint 328 996 km.... [9]

Tableau (2.7) : Evolution de la longueur du réseau de distribution électrique 2005- 2017 [5]



2.5.2. Vente d'électricité :

Les ventes globales aux clients ont atteint 55 148,9 GWh en 2016, réparties comme suit :

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

	Ventes d'électricité (GWh)	Part par rapport au Total
Haute Tension	10 801,7	18%
Moyenne Tension	15 752,8	27%
Basse Tension	32 869,2	55%
Total	53 423,7	100%

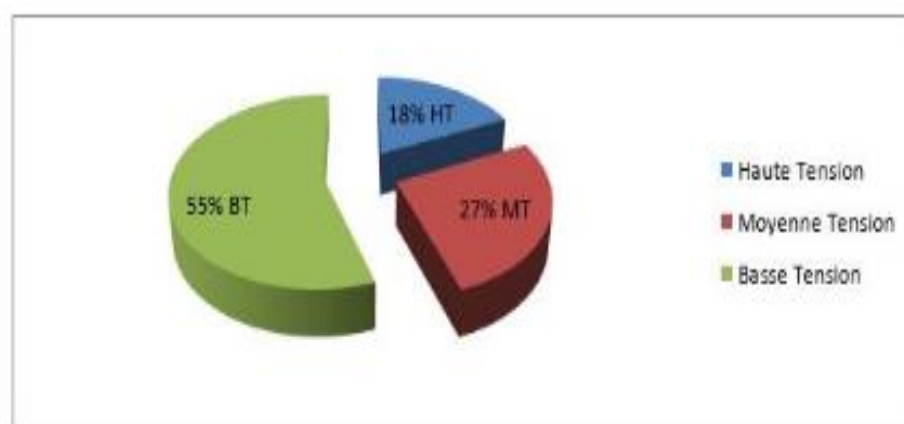


Figure (2.5) : Répartition des ventes d'électricité pour l'année 2017 [6]

Tableau (2.8) : Le nombre de clients électricité pour l'année 2017 [9]

	Nombre de clients	Part par rapport au Total
Haute Tension	111 115	Négligeable
Moyenne Tension	57 539	1%
Basse Tension	9 127 308	99%
Total	9 184 962	100%

2.6. Demande électrique du secteur résidentiel en Algérie :

La consommation nationale de l'énergie, toutes formes confondues (gaz, produit pétroliers et électricité) est passée d'environ 30.1Mtep en 2010 à 41.1Mtep en 2018, suit un taux de croissance moyen annuel de l'ordre de 3.7% et une consommation moyenne de 1.2 tep/hap. Cette reprise de la consommation enregistrée ces dernières années devrait se consolider sur le moyen terme avec les perspectives de la croissance économique du pays. La consommation de l'électricité a enregistré une hausse moyenne de 6% durant cette période pour atteindre 39.9 TWh en 2018. Cette croissance comprend toutes les catégories de clients (industriels et ménages). Le nombre total d'abonnés atteint en décembre 2018 est de 6.3 millions. Quant à l'électrification rurale, l'effort consenti par l'état au cours de la période 2010-2018 a permis à plus de 1.1 million de foyers d'être raccordés au réseau. Le taux d'électrification rurale a été 1.8% par an durant cette période, ce qui porte le taux d'électrification nationale à fin de 2018 au seuil de 98%. La consommation du gaz naturel du marché intérieur a connu une forte croissance avec un taux moyen de 8% par

an durant la période 2010-2018. Par ailleurs, il y a lieu de signaler que le nombre d'abonnés a atteint 2,6 millions. On a la courbe qui montre l'évolution de la consommation totale et celle de l'électricité. [9]

Tableau (2.9) : Consommation nationale d'énergie par secteur d'activités pour 2017 [9]

Consommation total par secteur d'activité	Quantité (Mtep)	Proportion (%)
Industrie et BTP	6.779	24.6
transport	6.450	23.4
Ménagers et autres	14.308	52.0
Total	27.538	100

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

Une simulation par produits énergétiques met en évidence la très forte croissance passée des consommations d'électricité qui pourrait conduire à sa multiplication par quatre de sa consommation sur les vingt prochaines années. Ces différentes simulations primaires témoignent des forts enjeux liés aux éventuelles dérives de consommation d'énergie dans les prochaines années. Aussi, les travaux de prospective induits par ces constats ont permis de fonder la politique de maîtrise de l'énergie et d'élaborer les actions à long terme (2025), déclinées en programmes à moyen et court termes axés autour du Programme National de Maîtrise de l'Energie(PNME) et des plans d'actions annuels. 26

Chapitre II Consommation énergétique en Algérie Compte tenu du contexte de forte croissance de la consommation domestique d'électricité, il serait de l'intérêt des ménages d'investir dans l'amélioration de l'efficacité énergétique de leur habitat et de leurs équipements électroménagers. Selon une étude récente du Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrées du Batiments(CNERIB), la consommation moyenne d'un appartement en Algérie est estimée à 15.2 m³ par m² par an pour le gaz et à 2200kwh par an pour l'électricité (référence : appartement de 66 m² occupé par un couple avec trois enfants à Alger). Les différents types d'énergie dans le secteur résidentiel : - Le chauffage représente la plus forte consommation environ 60% de l'énergie domestique. - L'éclairage et l'électroménager, l'audio visuel et la climatisation représentent près de 20%. - L'eau chaude sanitaire nécessaire représente près de 15%. - La cuisson représente près de 5%

2.6.1. Evolution de la consommation, de la production d'énergie et de la puissance maximale appelée :

Le processus de prévision de la consommation électrique à moyen terme [51], consiste à déterminer les prévisions énergétiques annuelles par niveau de tension et à les traduire en prévisions de puissance voir figure 1.20 ci-dessous. Pour ce but un programme indicatif met en évidence les besoins en moyens de production de l'électricité pour les dix prochaines années (2006-2015)

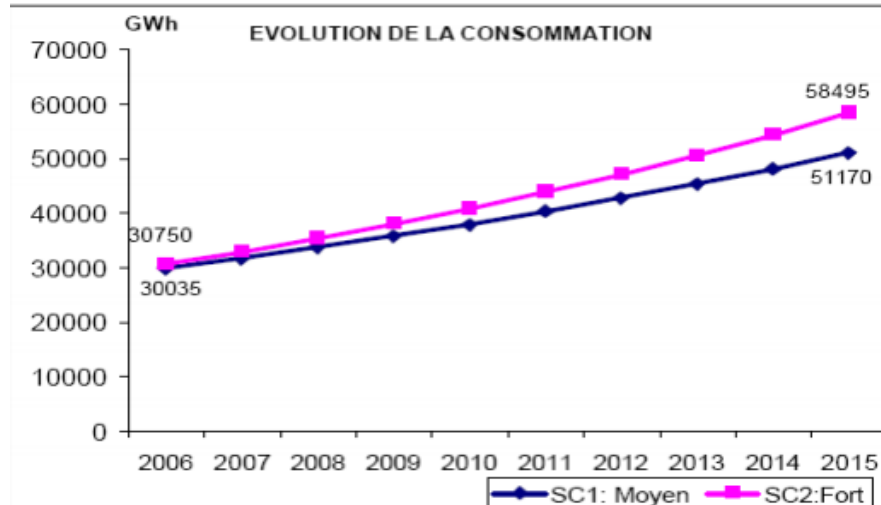


Figure (2.6) : Evolution de la consommation 2006-2015 [8]

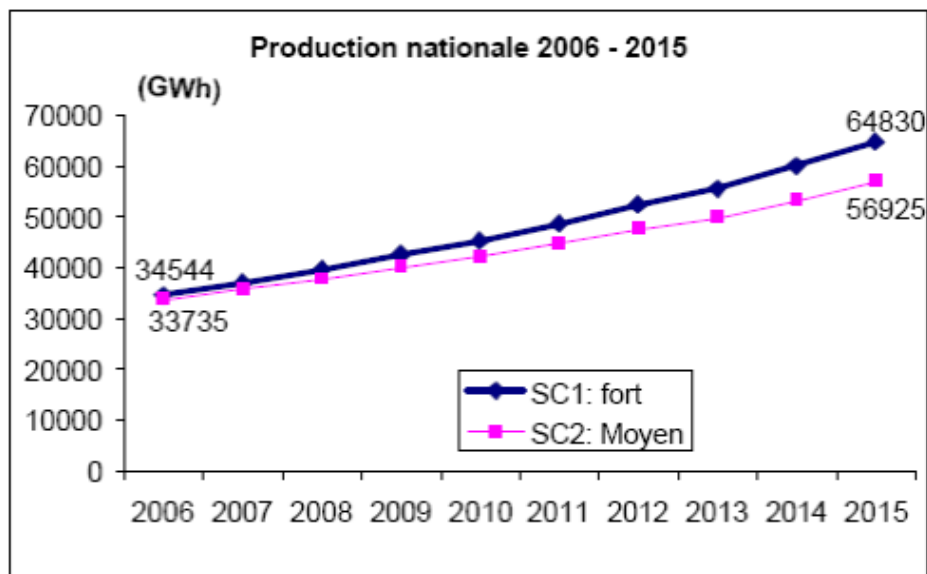


Figure (2.7) : Evolution de la production nationale 2006-2015 [8]

2.7. Consommation Energetique des batiments residents au sud algerien :

Selon les données de 2017 fournies par la direction générale de SONELGAZ [5] de la wilaya de Adrar, la consommation électrique est de 2 769 919 KWh / an pour un échantillon de 1667 abonnés d'une résidence individuelle dont 1 501 214 KWh qui représente la consommation du troisième trimestre (juillet, aout, septembre), ce qui donne 3600 KWh / ménage. Pour les bâtiments collectifs, la consommation est de l'ordre de 10 359

Chapitre 2 : L'électricité en Algérie

314 KWh/an pour un échantillon de 7356 abonnés dont 5 005 219 KWh consommée durant le troisième trimestre, ce qui donne 2723 KWh/ ménage. On constate que la consommation électrique au niveau des cités résidentielles individuelles dépasse de 877 KWh celle consommée au niveau des résidences collectives. D'après la même source d'information la demande en électricité par les résidences individuelles augmente chaque année. Elles sont munies, en plus, de quatre postes électriques à chaque saison d'été

2.7.1. Tarification appliquée aux ménages :

L'électricité est un bien de consommation qui est devenu indispensable au bien-être de la population et au développement économique de toute société Algérienne. - 48 - Le nouveau

système tarifaire appliqué en Algérie à pour objectif principaux : - La minimisation des coûts de l'énergie électrique - D'assurer l'efficacité tant pour la collectivité que pour l'utilisateur Pour assurer la cohérence de l'efficacité au plan national avec celle de l'utilisateur, La structure de la nouvelle tarification doit concorder avec la structure des coûts de fourniture de l'électricité. Donc, une adéquation entre les capacités de production, de transport et de distribution disponibles à moyen et long terme d'une part et l'évolution de la demande future d'électricité d'autre part est indispensable pour arriver à l'optimum des dépenses. Les coûts de l'électricité ont été considérés à un niveau national. Ainsi la nouvelle tarification ne comporte plus de différenciation selon les régions, ce qui l'inscrit dans la politique de développement équilibré du pays. L'analyse des coûts de fourniture a été faite par niveau de livraison de l'électricité aux abonnés ou trois séries de tarifs correspondant à ces niveaux de livraison sont proposées aux abonnés : - Haute tension 400, 220, 90 et 60 KV - Moyenne tension 30, 22, 10 et 5.5 KV - Basse tension 0.38, 0.22 KV...[10]

2.7.2. Soutien de l'état pour les régions du sud :

La nouvelle tarification de l'aide de l'Etat à l'électricité pour les régions du sud est passée de "50 % à 65 %" depuis 2017 en raison d'une augmentation de 11% de la consommation par rapport à la consommation en 2008

2.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur la production de l'électricité en Algérie, son transport et sa distribution. Nous avons abordé l'aspect développement et intégration de l'électricité solaire photovoltaïque et nous avons aussi donné une idée sur le soutien de l'état pour ménages des régions du sud par la prise en charge de 65% de leur facture d'électricité.

Dans le prochain chapitre, nous étudierons la faisabilité du contournement de ce soutien direct par le biais de subventions permettant de financer des kits solaires photovoltaïques alimentant l'équivalent, en charges électriques, de ces 65 % de soutien financier.

CHAPITRE 3 :

Etude de la prise en charge de la climatisation et l'éclairage extérieur d'une maison individuelle à Adrar par des systèmes photovoltaïques

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va étudier la prise en charge d'une partie des besoins électriques, dont la climatisation, d'une maison individuelle du sud par un système photovoltaïque.

Comme nous l'avons vu dans chapitre 2 l'état soutient les ménages des régions du sud par la prise en charge de 65% de leur facture d'électricité.

Nous étudierons la faisabilité du contournement de ce soutien direct par le biais de subventions permettant de financer des kits solaires photovoltaïques alimentant l'équivalent, en charges électriques, de ces 65 % de soutien financier.

Nous présenterons un dimensionnement du système photovoltaïque nécessaire pour les charges responsable de 65% de la facture électrique de la maison.

Après on va présenter une étude technico-économique pour le système photovoltaïque requis afin d'évaluer sa rentabilité financière mais aussi son impact environnemental.

3.2. Exemple de l'étude :

3.2.1. Lieu d'implantation :

Nous considérons que la maison d'étude est située dans la région d'Adrar, dans le sud-ouest de l'Algérie (Figure 3.1), à une latitude de 27.82°N , une longitude de 00.18°W et une altitude de 279 m. Cette région est caractérisée par des températures ambiantes moyennes mensuelles comprises entre 12 et 36°C , tandis que le gisement solaire varie entre 4 et $8\text{ kWh/m}^2\cdot\text{j}$ (figure 3.2) [13].

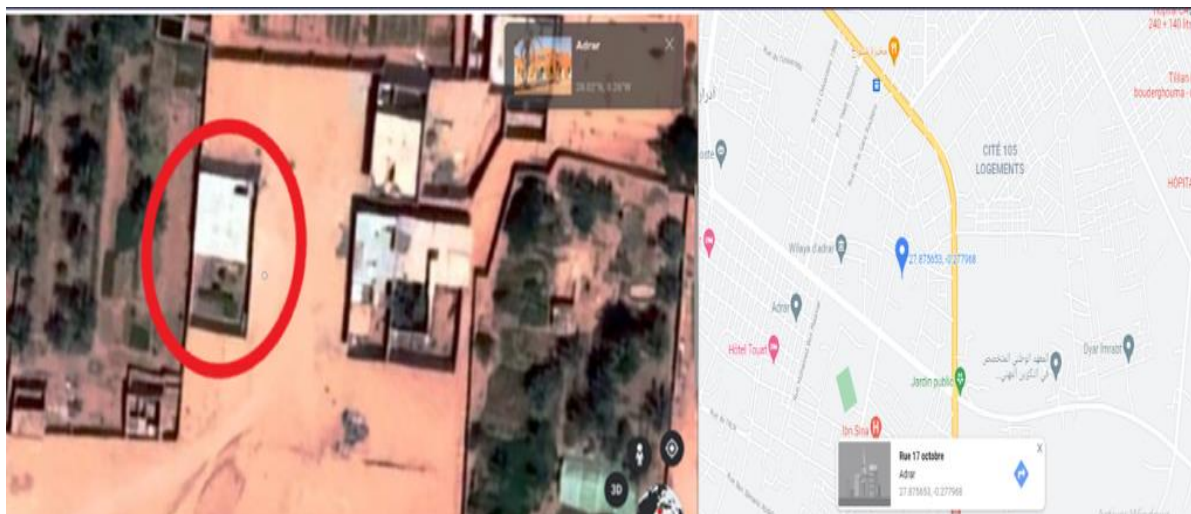


Figure (3.1) : vue haute de maison individuelle.

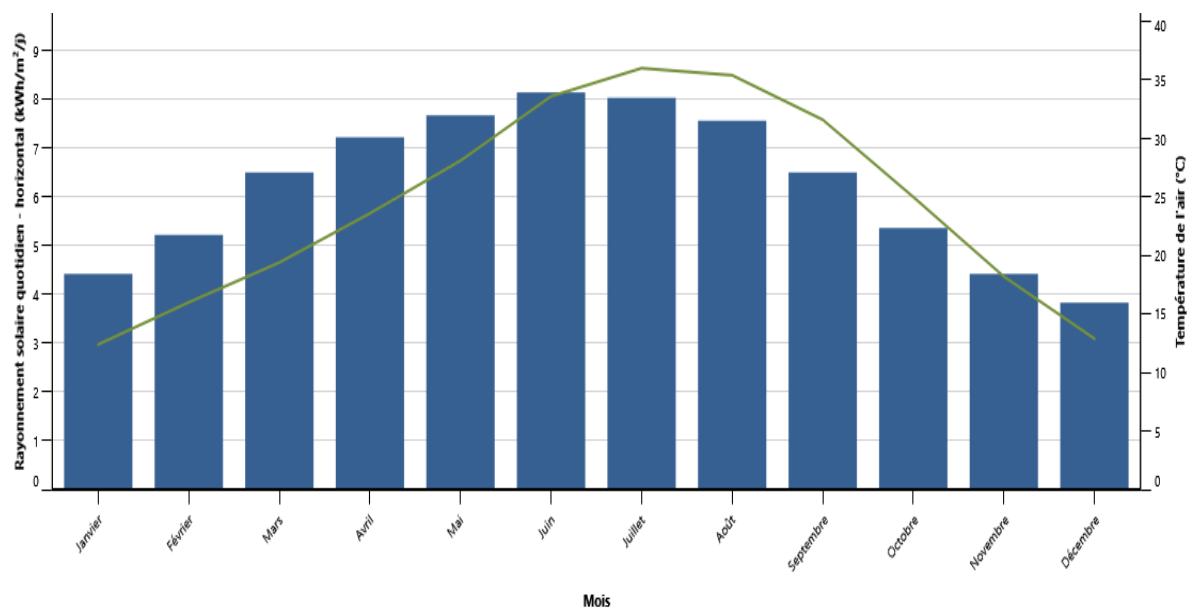


Figure (3.2). Rayonnement solaire horizontal quotidien et température de l'air (moyennes mensuelles) de la région d'étude. {13}

3.2.2. Plan de maison :

L'exemple d'étude est une maison individuelle pour une famille d'Adrar. Le plan de la maison est considéré comme sur la figure (3.3). La surface habitable est de 132 m² et le volume habitable est de 396 m³.

La distribution surfacique est comme suit :

Tableau (3.1) : La distribution surfacique

Espace	Surface (m ²)
Salon	22,62
Chambre 1	19,49
Chambre 2	17,78
Couloir	42,18
Cuisine	19,49
Salle de Bain + WC	9,92

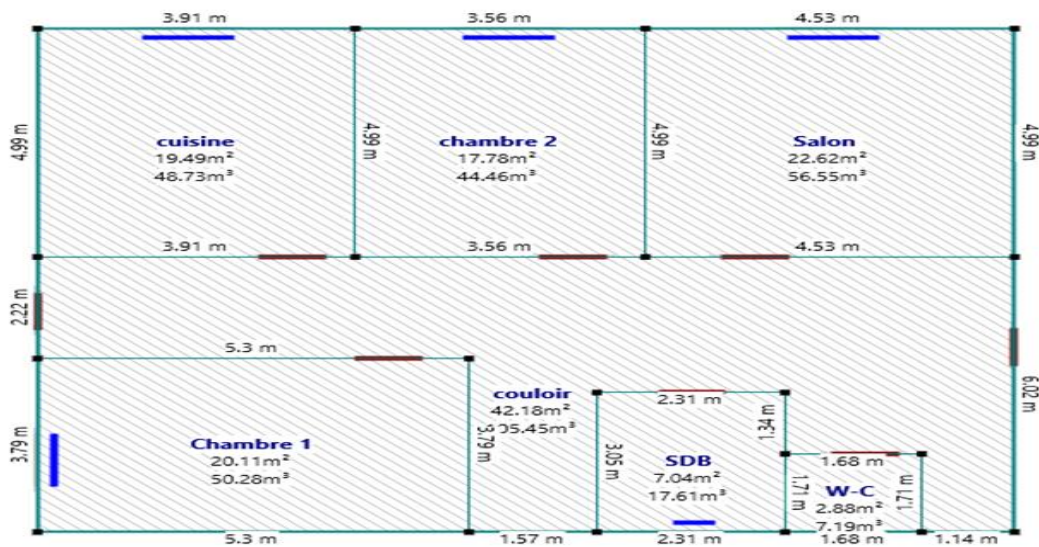







Figure (3.3) : Le plan de maison

3.3. Bilan énergétique :

3.3.1. Inventaire des équipements :

Nous allons lister les équipements utilisés dans la maison qui sont inclus dans la facture d'électricité :

Tableau (3,2). Inventaire des équipements

Equipement		Nombre	Puissance (W)
Lampes		7	10
Réfrigérateur		1	250
Eclairage extérieur		4	70
Télévision		1	100
Machine à laver		1	1600

Climatiseur		2	1000
Ordinateur bureau		1	200
Séchoir		1	400
Chargeur de Téléphone		5	15

3.3.2. Besoin annuels :

Pour calculer les besoins électriques annuels, nous devons lister tous les équipements utilisés dans la maison et calculer l'utilisation journalière de chaque équipement et combien de heures par année chaque équipement est utilisé pour avoir toute l'énergie nécessaire pour faire fonctionner la maison et calculer les besoins électriques annuels de la maison (tableau 3.3).

Tableau (3.3) : Besoin électrique annuel de la maison

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Durée d'utilisation par jour (h)	Dure d'utilisation par Année (Jour)	Energie totale (Wh/Année)
Lampes	7	10	5	365	127750
Réfrigérateur	1	250	15	365	1368750
Eclairage extérieur	4	70	7	365	715400
Télévision	1	100	5	365	182500
Machine à laver	1	1600	1	100	160000
Climatiseur	2	1000	10	120	2400000
Ordinateur bureau	1	200	2	190	76000
Séchoir	1	400	½	45	9000
Chargeur de Téléphone	5	15	2	300	45000
				Totale Ec (KWh/An)	5082

3.3.3. Estimation de la facture annuelle de la consommation électrique :

Le coût de la facture annule de la consommation électrique est calculé par cette formule :

$$C = Ec \times Cu \quad (3.1)$$

C : le cout de la facture

Ec : besoins annuels

Cu : le coût de 1kWh

On a Ec supérieure à 4000KW donc le prix de 1KWh est 5.47 DA [17]

le coût de la consommation annuelle de la maison est :

$$C = 5082 \times 5.47 = 27798.54 \text{ DA.}$$

3.3.4. Isolation des charges responsables des 65% de la facture :

Les charges que nous allons choisir pour faire un dimensionnement du système photovoltaïque sont les climatiseurs et les éclairages externes. D'après les calculs (tableau 3.4), ces charges seraient responsables de 61.29% de la facture annuelle d'électricité. C'est un taux qui est assez proche des 65 % pris en charge par l'état. Nous nous contenterons de ces charges pour les isoler et les alimenter, à part, par un système photovoltaïque pour lequel nous allons faire le dimensionnement.

Tableau (3.4) : Les charges choisies et leurs consommations

Charge	Nombre	Puissance unitaire	Durée d'utilisation par jour (h)	Durée d'utilisation par Année (Jours)	Energie Ec (Wh/j)	Energie (Wh/an)
Climatiseur	2	1000 W	10	120	20000	2400000
Eclairage ext	4	70 W	7	365	1960	715400
Total	-	2280 W	-	-	21960	3115400
Consommation annuelle (DA)						17041.2 38 DA
Contribution dans la consommation totale						61.29 %

3.4. Dimensionnement du système photovoltaïque nécessaire (pour les charges isolées) :

3.4.1. Présentation du système photovoltaïque :

Dans notre étude on utilise le système autonome. Un système PV autonome est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (batteries) et la charge Figure. Le conditionnement de puissance peut comprendre: un régulateur et un onduleur.

Un exemple d'un système PV autonome plus détaillé est montré sur figure (3.4)

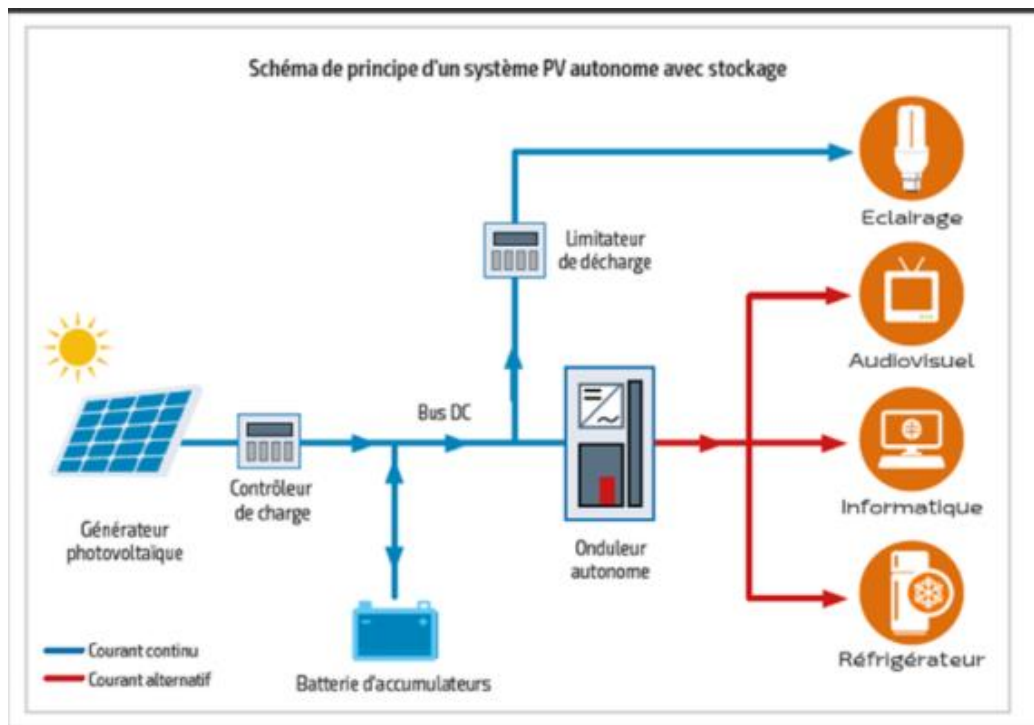


Figure (3.4) : Principe d'un système PV autonome

3.4.2. Inclinaison des modules photovoltaïques :

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut χ par rapport au sud.

Le tableau (3.5) suivant donne les valeurs de l'inclinaison recommandée de capteurs photovoltaïques pour une utilisation annuelle constante en fonction de la latitude [11] :

Tableau (3.5) : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux

Latitude φ (°)	Inclinaison β (°)
$\varphi < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\varphi - 5^\circ$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

On a Latitude de Adrar est 27.80° Nord, D'après le tableau (3.5) on prend l'Inclinaison comme suit : β (°) = $\varphi - 5^\circ$

$$\beta$$
 (°) = $27.80^\circ - 5^\circ = 22.80^\circ \cong 23^\circ$

En utilisant l'outil en ligne PVGIS [14], le gisement solaire sur le plan incliné, pour l'angle d'inclinaison 23° et une orientation plein sud, pour le site étudié, est donné sur le tableaux suivant :

Tableau (3.6). Irradiations solaires moyennes mensuelles sur plan incliné de 23° pour le site d'étude [14].

Mois	Irradiation solaire moyenne mensuelle sur plan incliné de 23° (kWh/m ² .j)
Janvier	6.71
Février	6.95
Mars	7.69
Avril	7.66
Mai	6.96
Juin	7.70
Juillet	7.53
Août	7.50
Septembre	6.57
Octobre	6.36
Novembre	5.59
Décembre	5.32

3.4.3. Calcul la puissance crête P_c du générateur photovoltaïque nécessaire :

La puissance correspond à la puissance qui peut délivrer dans les conditions standards d'ensoleillement (1k W/m²), et de température 25°C. La puissance crête est une donnée par équation suivante [16] :

$$P_c = \frac{E_c \times 1000}{I_r \times P_r} \quad (3.2)$$

P_c : puissance crête en Watt crête (Wc).

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j).

I_r : irradiation moyenne annuelle (Wh/m².jour), Concernant l'irradiation moyenne en Adrar et pour la période estivale (Mai-Septembre) ce qui correspond à l'utilisation de

Cette installation (climatiseur + éclairage). On prend donc $I_r=6.57 \text{ KWh/m}^2.\text{jour}$. Ce qui correspond l'irradiation la plus défavorable en cette période (tableau 3.6).

Pr : le ratio performance $PR = 0.65$.

$$P_c = \frac{21960 \times 1000}{6500 \times 0.65} = 5142.25 \text{ watt crête}$$

La tension du champ photovoltaïque dépend du type d'application, de la puissance photovoltaïque du système.

Tableau (3.7) : Les tensions correspondantes à chaque Intervalle de puissance crête [11].

Puissances crête(W_c)	0-500W_c	500 - 2K W_c	2-10 K W_c
Tension système	12V	24V	48V

D'après la puissance crête, en se référant au tableau (3.7) on détermine la tension de installation, il vient que : la tension est 48V

3.4.4. Dimensionnement du panneau photovoltaïque :

On utilise dans installation les panneaux poly-cristallins DelSolar : module type D6P250 est consignée dans la figure ci-dessous [13] :

Electrical Data

Model	D6P230B3A	D6P235B3A	D6P240B3A	D6P245B3A	D6P250B3A
Maximum Rating Power (Pmax)	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W
Module Efficiency	14.1 %	14.4 %	14.7 %	15.0 %	15.3 %
Open Circuit Voltage (Voc)	36.33 V	36.82 V	36.96 V	37.10 V	37.37 v
Maximum Power Voltage (Vpm)	29.53 V	29.71 V	30.20 V	30.65 V	30.95v
Short Circuit Current (Isc)	8.35 A	8.44 A	8.49 A	8.54 A	8.63 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.79 A	7.91 A	7.97 A	8.02 A	8.12A

*Electrical data under Standard Test Conditions (STC): Cell Temperature of 25 °C, Irradiance 1000 W/m², AM 1.5
 *Values w/o tolerance are typical numbers

Mechanical Data

Front View & Back View

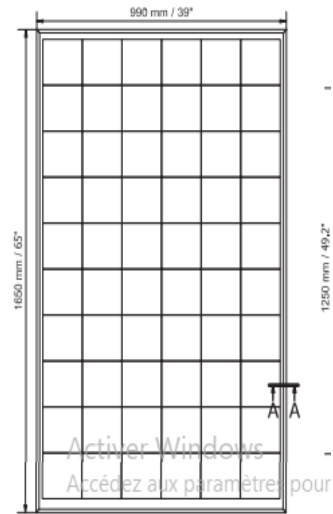


Figure (3.5): caractéristique techniques des panneaux PV.[13]

Nombre des panneaux [12]:

$$N = \frac{P_c}{\text{Puissance crête unitaire de module}} \quad (3.3)$$

$$N_m = 5197.63 / 250 = 20.56 = 21 \text{ Panneaux}$$

On utilise aussi un régulateur BlueSolar de type MPPT 150/70 dont les caractéristiques sont :

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)		
Courant de charge nominal	45 A	60 A	70 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	650 W	860 W	1000 W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1300 W	1720 W	2000 W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	2600 W	3440 W	4000 W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	50 A	50 A	50 A
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement		
Efficacité maximale	98 %		
Autoconsommation	10 mA		
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable)		
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable)		
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples		
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	Polarité inversée de la batterie (fusible, non accessible par l'utilisateur) Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe		
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)		
Humidité	95 %, sans condensation		
Port de communication de données et allumage/arrêt à distance	VE.Direct (Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web)		

Figure (3.6) : caractéristique technique de régulateur

- Le nombre max de module en série [16] :

$$N_{smax} = V_{ocmax} / V_{ocpanneau} \quad (3.4)$$

V_{ocmax} : Tension solaire max (Figure 3.5)

$V_{ocpanneau}$: tension circuit ouvert de module

$$N_{smax} = 150/37.7 = 4.013 = 4 \text{ modules PV}$$

- Le nombre max de branche en parallèles [16]:

$$N_{pmax} = I_{SCPv} / I_{SCpanneau} \quad (3.5)$$

$I_{SCpanneau}$: courant de court-circuit de module

I_{SCPv} : courant de charge nominal (figure 3.5)

$$N_{pmax} = 70/ 8.63 = 8 = 8 \text{ branche au maximum}$$

- Configuration choisit :

$$N_p = 7 \text{ branche} \quad N_s = 3 \text{ modules PV}$$

3.4.5 Dimensionnement du parc de batteries :

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

On utilise, pour l'installation, des batteries solaires étanches au plomb acide de type « Rolls, 12-CS-11PS » de tension 12 V et de capacité nominale de 296 Ah en C₁₀ et à 20°C.

Comme notre parc à batterie est amené à fonctionner sous des températures avoisinant les 40° C en moyenne en été (voir figure 3.2) et nous choisissons une autonomie d'une journée, nous avons utilisé l'outil logiciel PVSyst [15] pour déterminer la capacité nominale C₂₄ de cette batterie pour sous la température de 40°C. D'après les résultats visibles sur la figure suivante, on a une capacité nominale 388 Ah en C₂₄.

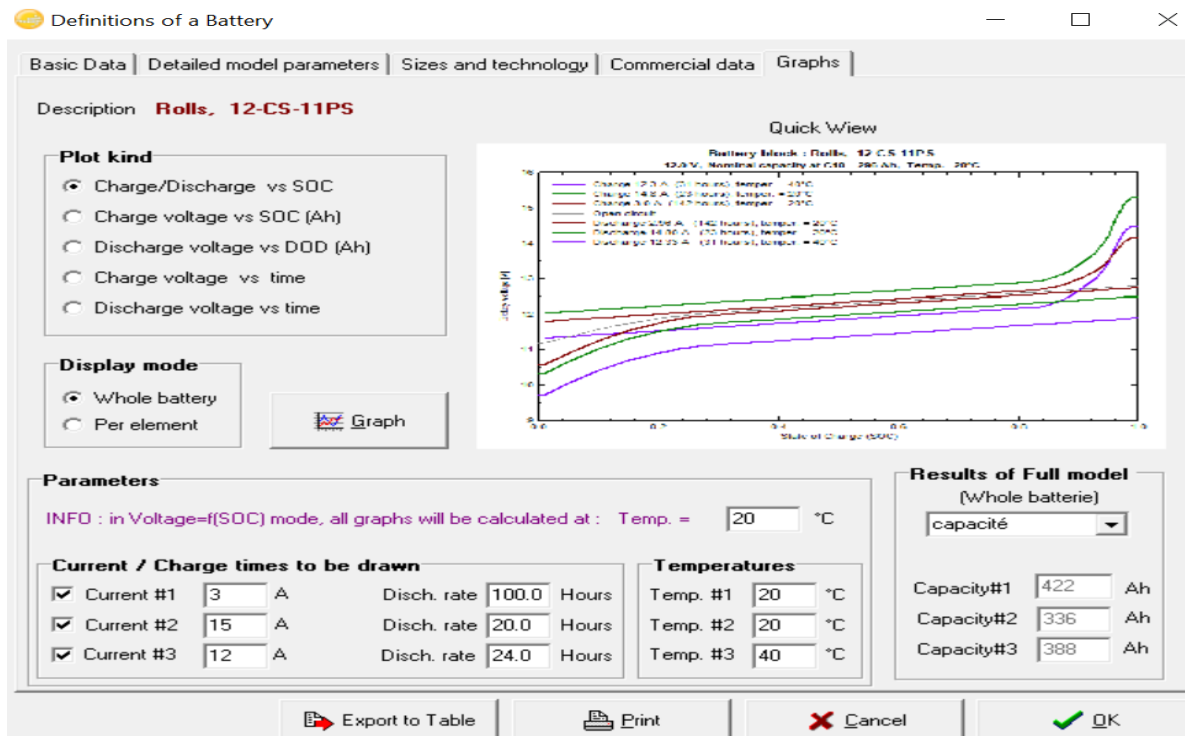


Figure (3.7) : Caractéristiques de la batterie solaire à utiliser pour l'installation [15]

a) Calcul de la capacité totale pour l'installation :

On calcule la capacité totale à partir de l'équation [11]:

$$C_{Td} = \frac{E_c \times N}{U \times P_{Décharge}} \quad (3.6)$$

Avec

C_{Td} : la capacité minimale du parc de batteries pour le temps de décharge T_d ($T_d = 24$ heures pour notre cas).

U : Tension de batteries

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j).

N : nombre des jours d'autonomie (1j pour notre cas).

$P_{Décharge}$: la profondeur maximale de décharge : 70%.

$$C_{24} = 21960 \times 1 / 0,7 \times 48 = 653.57 \text{ Ah}$$

b) Nombre des Batteries :

- Nombre de batteries en séries [11]:

$$N_s = V_s / V_{\text{batterie}} \quad (3.7)$$

$$N_s = 48 / 12 = 4 \text{ batteries}$$

- Nombre de branches de batterie en parallèle [11] :

$$N_p = C_{24} / C_{\text{batterie}} \quad (3.8)$$

$$N_p = 653.57 / 388 = 1.68 = 2 \text{ branches.}$$

Nombre totale de batterie = $N_p \times N_s = 8$ batteries (12 V et 388Ah) .

3.4.6. Choix des câbles :

C'est sur la partie courant continu de l'installation que les intensités sont les plus importantes, à cause dans cette partie que se pose le problème des pertes joules et des chutes de tensions dans les câbles.

En théorie, un câble est un conducteur de courant parfait, c'est-à-dire que sa résistance est nulle. En pratique, un câble n'est pas un conducteur parfait : il se comporte comme une résistance. Il est recommandé que la chute de tension maximale entre le champ photovoltaïque et le régulateur soit de 3%. Idéalement, on visera une chute de tension de 1%. Cela signifie [16] :

$$\epsilon = \frac{V_b - V_a}{V_a} \leq 3 \quad (3.9)$$

Avec

ϵ : chute de tension

V_a : Tension à l'entrée du câble (V).

V_b : tension à la sortie du câble (V)

On va déterminer les sections des câbles entraînant le moins de chute de tension possible entre Régulateur et les batteries, et aussi entre les batteries et l'onduleur et régulateur le champ PV .

On calcule la section S d'un câble par la formule suivant [16] :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\epsilon \times V_a} \quad (3.10)$$

Avec :

ρ : Résistivité du matériau conducteur (cuivre) en service normal, Les câbles à utiliser sont en cuivre (résistivité: $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$)

L : Longueur totale du câble (m)

S : Section du câble (mm^2)

I : Courant circulant dans le câble (A)

ϵ : chute de tension , $\epsilon = 0,02$

VA : Tension à l'origine du câble (V).

a\ la section entre régulateur et champ PV :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\epsilon \times V} = \frac{\rho \times L \times Imp}{\epsilon \times Vmp}$$

Avec

L = 12 m

Imp : Courant de champ PV

Vmp : Tension de champ PV

$$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 12 \times 8.02 \times 7}{0.02 \times 3 \times 30.65} = 5.86 \text{ mm}^2 = 7 \text{ mm}^2$$

b\ la section entre régulateur et les batteries :

Il faut additionner les deux portions (coté + et coté -) pour le calcul de la longueur du câble.
il suffit de remplacer L par 2L

$$S = \frac{\rho \times 2 \times L \times P}{(Vbatt)^2 \times \epsilon}$$

Avec L = 10 m

$$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 10 \times 2280}{2304 \times 0.02} = 15.8 \text{ mm}^2 = 17 \text{ mm}^2$$

c\ la section entre l'onduleur et les batteries :

Il faut additionner les deux portions (coté + et coté -) pour le calcul de la longueur du câble.
il suffit de remplacer L par 2L

$$S = \frac{\rho \times 2 \times L \times P}{(Vbatt)^2 \times \epsilon}$$

Avec L = 11 m

$$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 2 \times 11 \times 2280}{2304 \times 0.02} = 17.41 \text{ mm}^2 = 19 \text{ mm}^2$$

3.4.7. L'Onduleur :

Le choix d'onduleur repose sur trois critères :

- ✓ la compatibilité en puissance ;
- ✓ la compatibilité en tension ;
- ✓ la compatibilité en courant.

Caractéristiques que doit avoir l'onduleur autonome à utiliser :

- Tension DC : 48 V.
- Tension AC (efficace) : 220 V.
- Fréquence : 50 Hz.
- Puissance AC : ≥ 2280 W.

Mais en considérant les puissances de démarrage des climatiseurs (4 x P), l'onduleur doit pouvoir fournir une puissance de démarrage supérieure ou égale à 8280 W.

Un onduleur de la marque « JHKJ-Inverter » (figure 3.8) peut satisfaire les exigences de notre système.



Figure (3.8) : L'onduleur et ses caractéristiques

3.4.8. Les résultats du dimensionnement pour le système sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (3.8) : Résultats du dimensionnement pour le système

Dimensionnement		
Puissance crête (WC)		5142.25
Tension de l'installation (V)		48
Inclinaison β (°)		23°
Nombre de modules 250w	Total	21
	En série	3
	En parallèle	7
Batteries « Rolls, 12-CS-11PS »	Capacité miniale C_{24} (Ah)	653.57
	Nombre total	8
	Eléments en séries	4
	Branches en Parallèles	2
Onduleur Puissance (W)		3000 (Max 9000)
Régulateur		150 V / 70 A

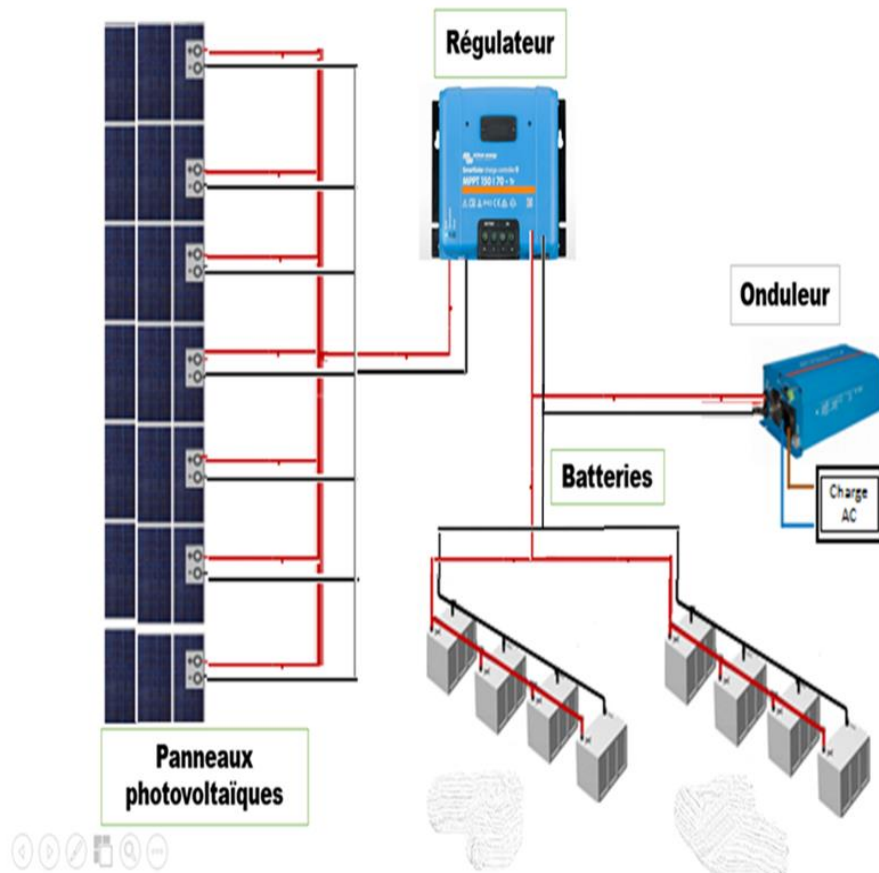


Figure (3.9) : Schéma de l'installation photovoltaïque

3.5. Etude technico-économique d'installation :

3.5.1. Simulation avec le logiciel RETScreen Expert :

a)Présentation du logiciel RETScreen Expert :

RETScreen Expert est la dernière version du logiciel, et son lancement public a eu lieu le 19 septembre 2016. Le logiciel permet une reconnaissance, une évaluation et une optimisation complète de la viabilité financière et technique de projets potentiels d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de cogénération. Le logiciel permet aussi de mesurer et de vérifier les performances réelles d'installations et de repérer les possibilités de production et d'économie d'énergie.

Il est utilisé dans plusieurs domaines pour simplifier l'étude de projet et évaluer et optimiser de façon rapide la viabilité technique potentiels en matière d'énergies propres.

b)Information sur le projet :

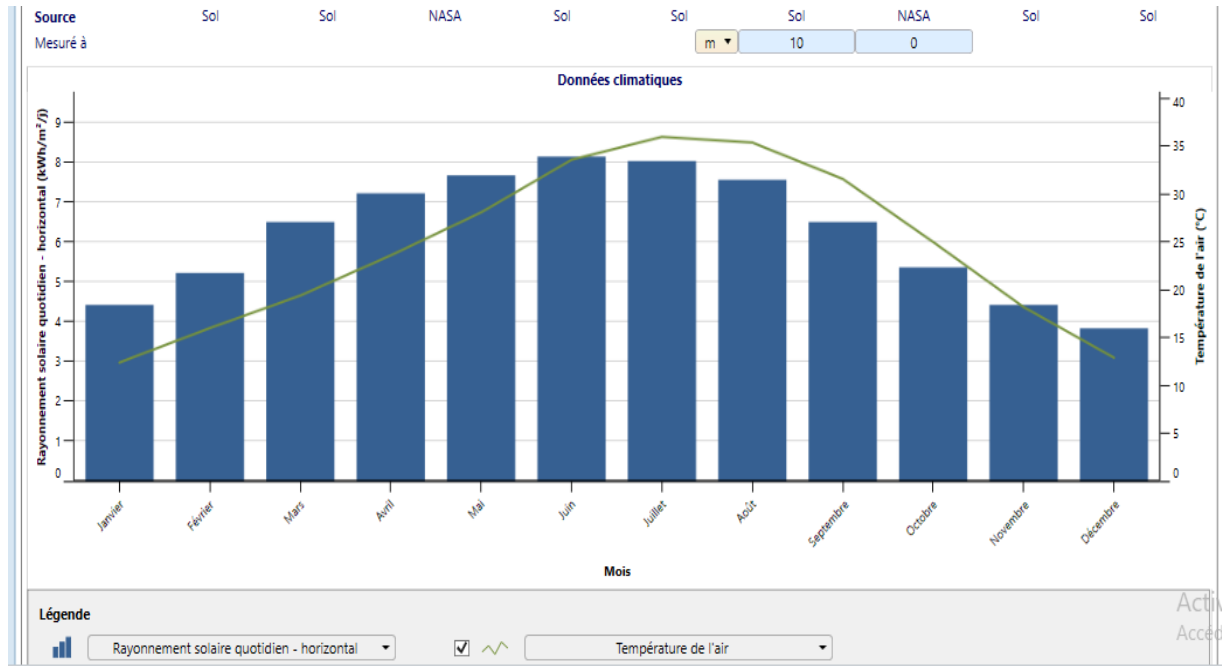
Logiciel affiche toutes les informations climatiques de la zone Adrar sous la forme d'un tableau figure (3.10) contenant les informations suivantes: rayonnement solaire, pression atmosphérique, vitesse du vent et température de l'air.....etc. pour chaque mois.

Conditions de référence du site									
Lieu des données climatiques		Unité		Lieu des données climatiques		Lieu des installations		Source	
Latitude	27,9			27,9					
Longitude	-0,2			-0,1					
Zone climatique	1B - Très chaud - Sec								Soi+NASA
Élévation	m	283		283					Soi - Sol
Température extérieure de calcul de chauffage	°C	4,2							Soi
Température extérieure de calcul de climatisation	°C	45,9							Soi
Amplitude des températures du sol	°C	27,0							NASA
Mois	Température de l'air °C	Humidité relative %	Précipitation mm	Rayonnement solaire quotidien - horizontal kWh/(m²j)	Pression atmosphérique kPa	Vitesse du vent m/s	Température du sol °C	Degrés-jours de chauffage 18 °C °C-j	Degrés-jours de climatisation 10 °C °C-j
Janvier	12,4	38,6%	5,27	4,42	98,8	5,8	12,0	174	74
Février	16,0	31,7%	2,80	5,22	98,6	6,5	15,4	56	168
Mars	19,4	26,5%	4,65	6,50	98,3	6,7	20,4	0	291
Avril	23,6	23,2%	3,60	7,22	97,9	6,6	25,7	0	408
Mai	28,1	20,1%	1,86	7,67	97,7	6,8	30,8	0	561
Juin	33,6	17,5%	0,60	8,14	97,7	6,4	36,3	0	708
Juillet	36,0	14,7%	0,62	8,03	97,6	6,5	38,8	0	806
Août	35,4	16,8%	1,24	7,56	97,7	6,3	38,0	0	787
Septembre	31,6	22,3%	4,50	6,50	97,9	6,3	33,9	0	648
Octobre	25,0	29,4%	7,13	5,36	98,2	5,9	27,0	0	465
Novembre	18,2	36,3%	3,00	4,42	98,5	5,7	19,0	0	246
Décembre	12,9	41,5%	3,41	3,83	98,7	5,7	13,4	158	90
Annuel	24,4	26,5%	38,68	6,24	98,1	6,3	25,9	388	5 253
Source	Soi	Soi	NASA	Soi	Soi	Soi	NASA	Soi	Soi
Mesuré à						m	10		0

Figure (3.10) : Capture d'écran lieu de projet(Adrar)

Après, on peut voir la courbe d'évolution du rayonnement solaire et de la température de l'air en fonction des mois dans la figure (3.11).

La région de l'Adrar a une forte quantité de rayonnement solaire, ce qui explique les températures élevées dans la région.



Figure(3,11): Capture d'écran des données rayonnent solaire

RETScreen - Installation Abonné : Visionnement

Renseignements sur l'installation

Type d'installation	Résidentiel
Type	Habitations attachées/Maison semi-détachée
Description	8kw
Préparé pour	Hamadache norddine
Préparé par	Hamouda ilye s
Nom de l'installation	PV
Adresse	Adresse
Ville/Municipalité	Adrar
Province/État	Adrar
Pays	Algérie

Photo | Image - Yanik Chauvin/Shutterstock

Comparaison - Résidentiel - Habitations attachées/Maison semi-détachée

Taille de l'installation: 100 m²

Figure (3,12) : Capture d'écran des informations de projet.

c) Besoin énergétique pour l'installation PV pour l'habitation :

Dans cette étape on calcule la consommation journalière de la maison ; nous choisissons les équipements électriques (2 climatiseur 4 Eclairage ext) la figure (3.13) , nous allons présenter la consommation du moyenne estimée dans notre maison.

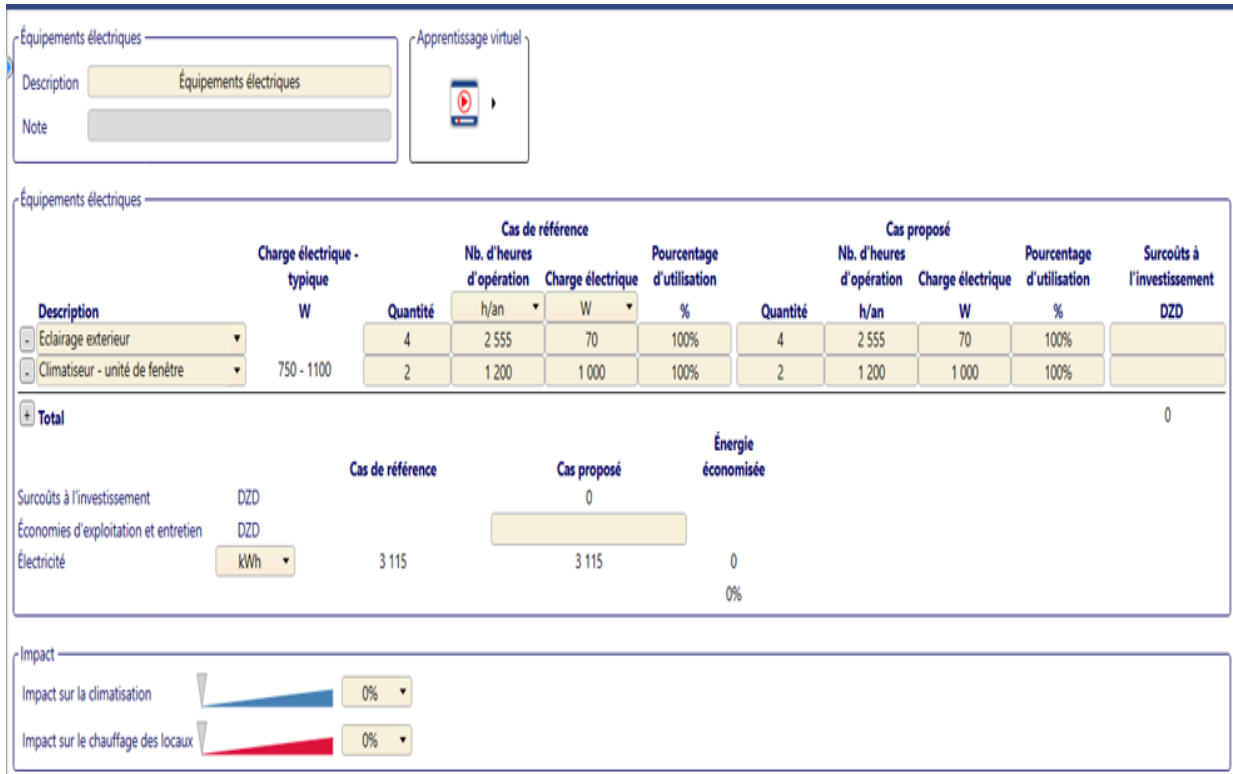
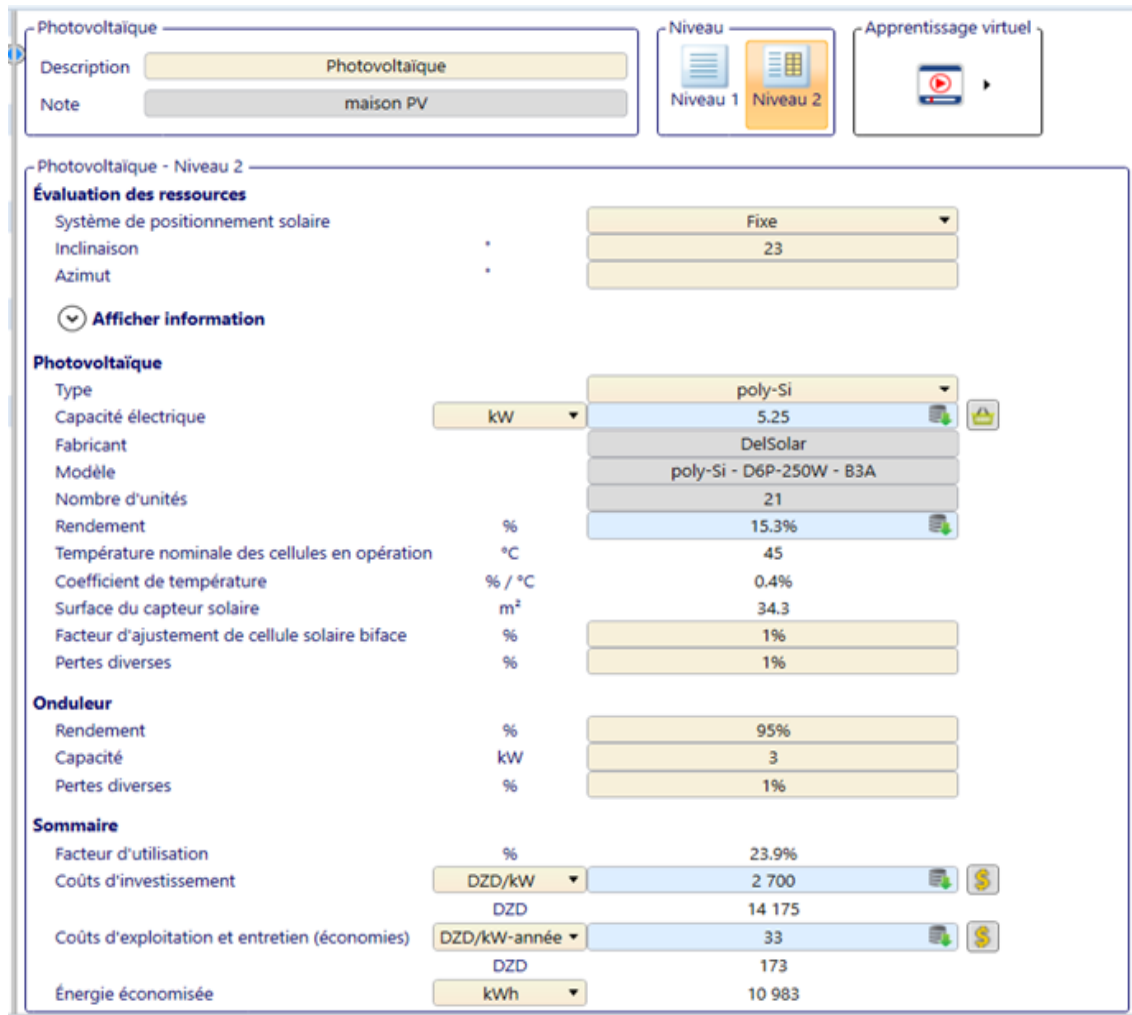


Figure (3,13) : capture d'écran Besoin énergétique pour l'installation PV pour l'habitation.

d) Choix du type Panneaux PV pour le maison :

nous choisissons le type de panneaux photovoltaïque nous avons choisi 21 les panneaux poly DelSolar type DP250 W la figure (3.14)



Figure(3,14) : Capture d'écran choix du type PV pour la maison solaire.

e) Analyse d'émissions GES :

Les paramètres (facteur d'émissions GES, émissions de GES ,réduction annuelle brute d'émissions de GES, ...) sont calculés par le logiciel RETScreen. La figure suivante représente la feuille de calcul « Analyse des réductions d'émissions ».

Chapitre 03 : Etude de la prise en charge de la climatisation des maisons individuelles du sud par des système Photovoltaïques

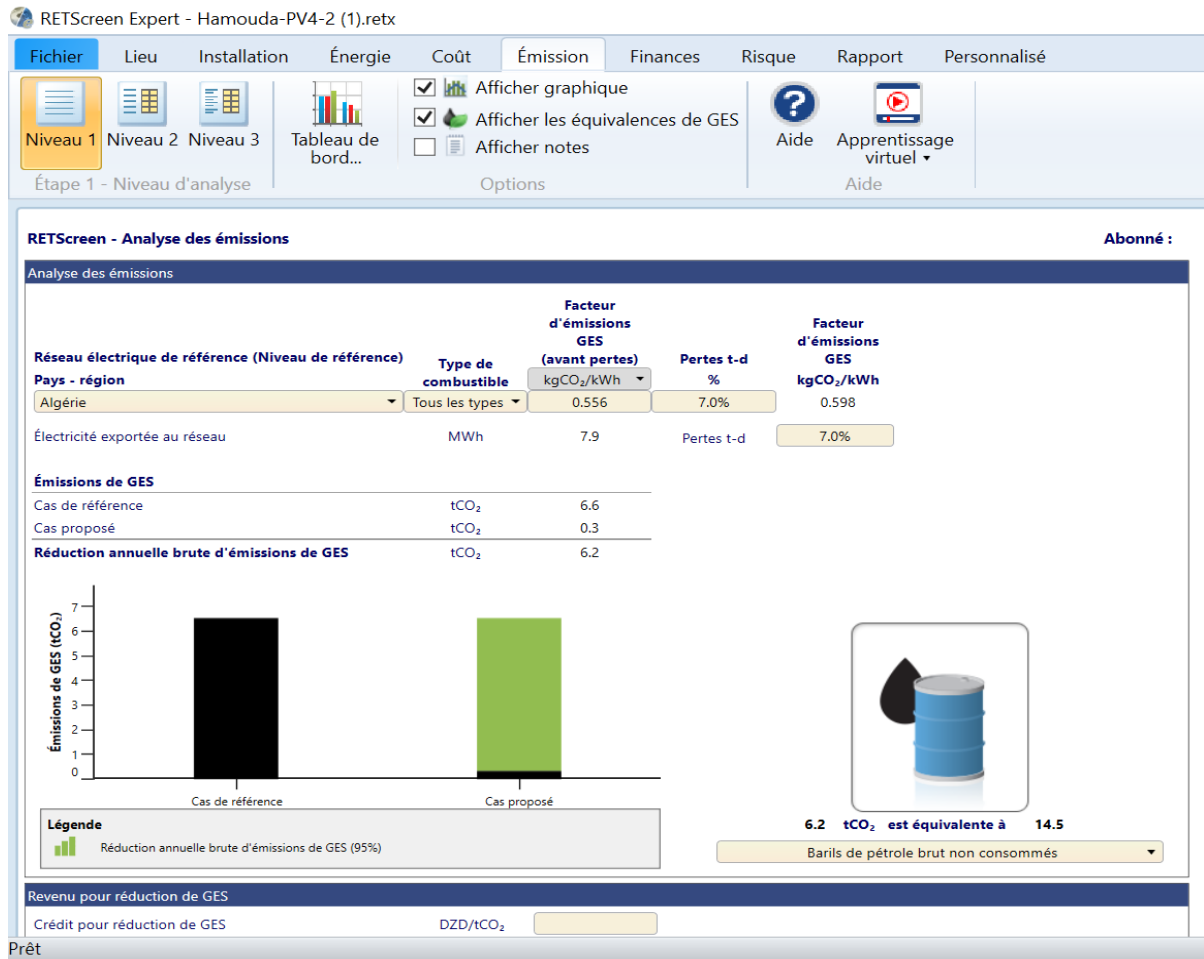


Figure (3,15) : Capture d'écran analyse des réductions d'émissions GES.

D'après le résultat d'analyse d'émission GES fige (3.15) on remarque que l'utilisation du système PV de notre maison nous permet de réduire ou moyenne l'émission des CO₂ est 6.2 tonnes/ an. Ce type de système permet donc de conserver l'environnement.

f) Analyse économique de maison :

Dans cette étude, on obtient une analyse économique de notre système, donc qui contient le cout du projet sur la période estimée de fonctionnement (30 ans).

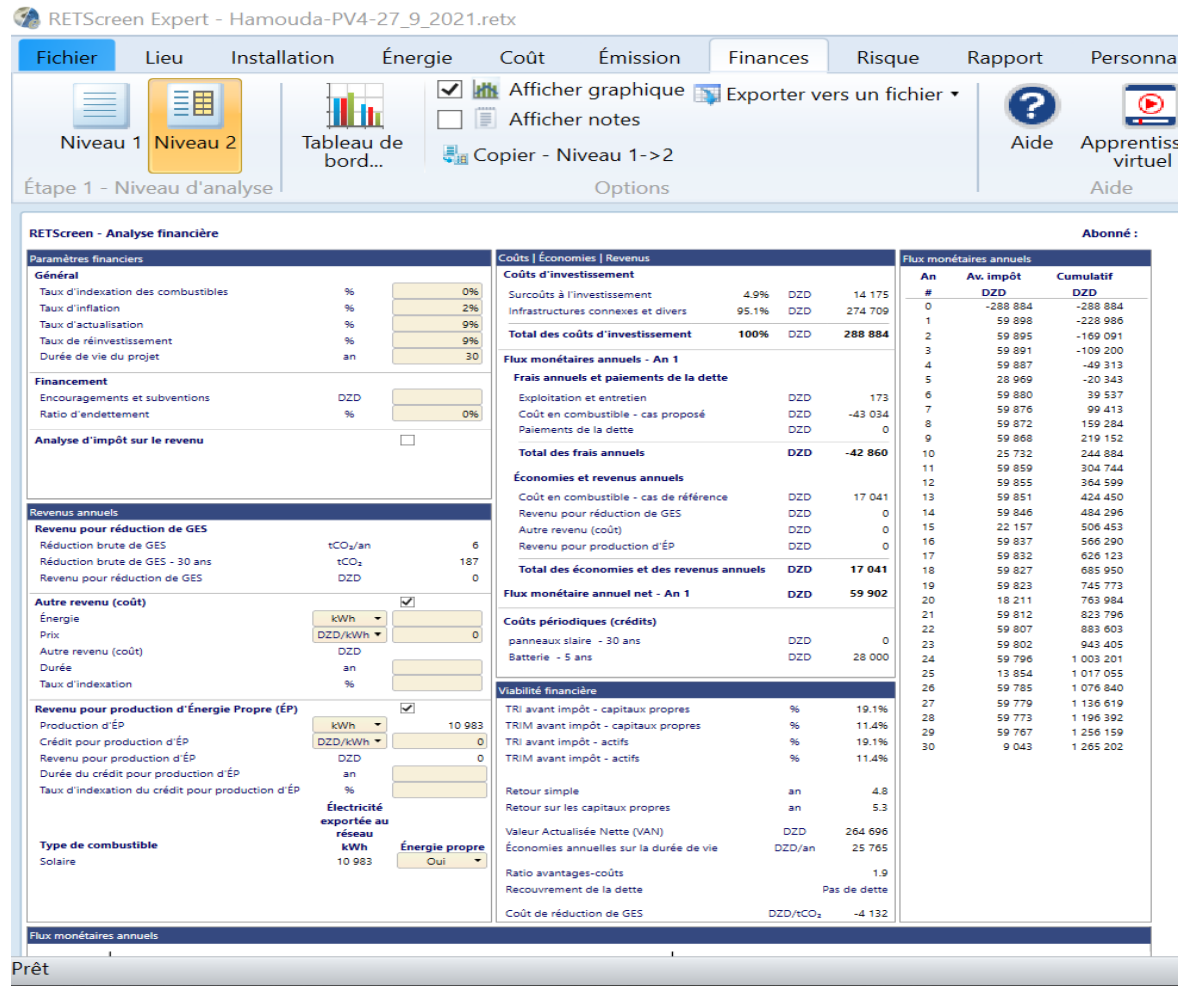


Figure (3,16) : capture d'écran de la feuille de calcul et analyse des coûts

Les résultats de l'évaluation économique de notre projet sur la durée estimée (30ans) sont présentés dans la figure (3 .17).

Chapitre 03 : Etude de la prise en charge de la climatisation des maisons individuelles du sud par des système Photovoltaïques

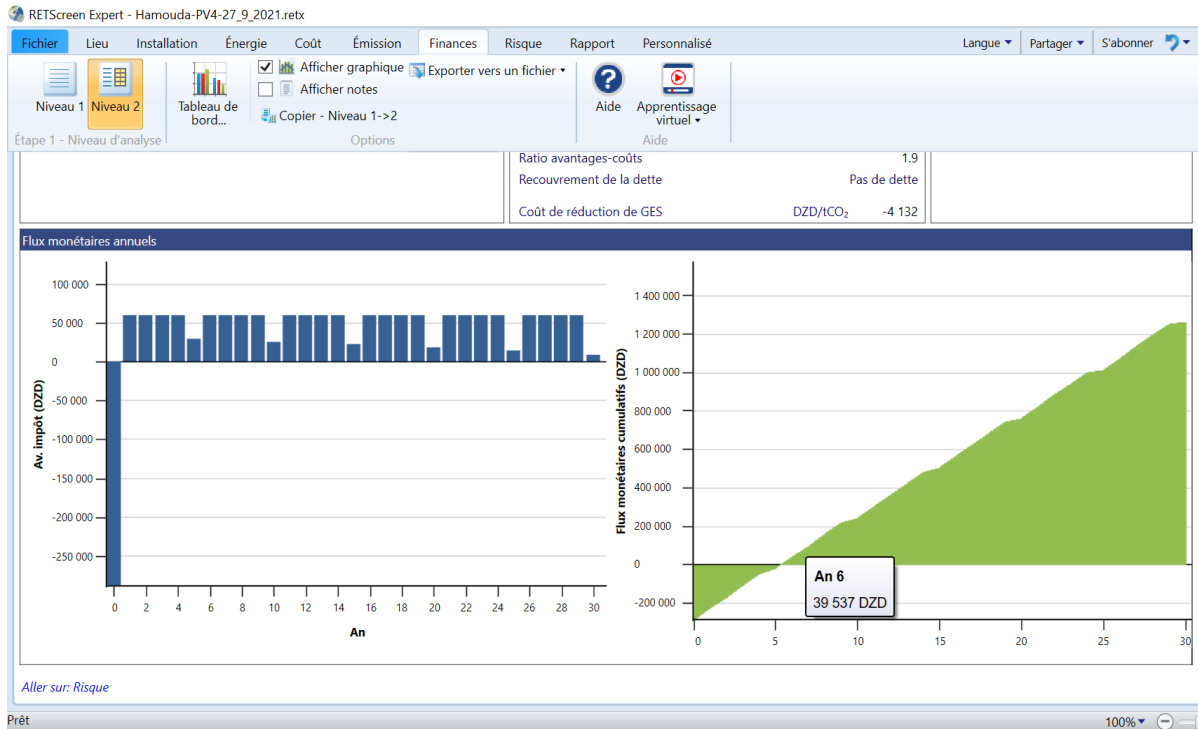


Figure (3,17) : Capture d'écran dévolution économique de graphe du flux monétaires annuels

On remarque, à partir le graphique (3.17), qu'il y a un changement dans le graphe négatif à positif à partir de la valeur 5.5 ans qui représente la valeur pour le quelle on a un retour d'investissement, c'est-à-dire pour cette valeur, on récupère l'argent qui été dépensé dans le projet.

3.6. Interprétation des résultats :

1\Le graphique des flux monétaires cumulatifs est divisé en deux parties :

- La première partie (0 ans à 5.5 ans) : dans cette partie le graphique des flux monétaires cumulatifs est négatif parce que les coûts de l'installation de PV sont supérieurs aux bénéfices tirés du projet.
- La deuxième partie (5.5 ans à 30 ans) : dans cette partie le graphique des flux monétaires cumulatifs est positif parce que les bénéfices tirés du projet sont supérieurs aux coûts du projet, où en l'année 5.5, on récupère le coût initial du projet, donc à partir de la 6 éme on

obtient de l'électricité gratuite. C'est un résultat très important car cela voudrait tout simplement dire qu'au lieu de prendre en charge, éternellement, 65 % de la facture d'électricité des ménages d'une région du grand sud, il serait plus bénéfique à l'état de financer un projet de système PV couvrant les charges pouvant être isolées du réseau, telles que la climatisation et l'éclairage extérieur. Ainsi l'argent injecté serait récupéré au bout de quelques années seulement.

2\ L'utilisation du système PV de notre maison nous permet de contribuer à la réduction des émissions des gaz à effet de serre à hauteur de 6.2 tonnes équivalent de CO₂ par année d'après **figure (3.15)**.

3.7. Conclusion :

Nous avons fait, dans ce chapitre, une étude de faisabilité et de rentabilité financière d'une nouvelle alternative d'aide de l'état pour les régions du sud algérien dans la prise en charge de 65 % de la facture d'électricité des ménages. La solution présentée consiste à financer un système photovoltaïque pour couvrir les consommations électriques de charges isolées responsables de 65% de la facture d'électricité d'une maison dans ces régions.

Les résultats obtenus pour l'exemple d'une maison à Adrar sont très satisfaisants et encourageant, que ce soit en termes de finances ou de l'impact environnemental. De plus, la solution présentée est pratique car les charge pouvant être responsables de 65% de la facture annuelle d'électricité dans les maisons familiales du sud sont facilement isolables du reste de l'installation électrique de la maison. Dans notre exemple, on a vu qu'il a suffis d'isoler la climatisation et l'éclairage extérieur.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail consiste en une étude d'un plan de subvention de la consommation électrique des régions du sud de l'Algérie en prenant l'exemple de la région d'Adrar.

Nous avons fait, une étude de faisabilité et de rentabilité financière d'une nouvelle alternative d'aide de l'état pour les régions du sud algérien dans la prise en charge de 65 % de la facture d'électricité des ménages. La solution présentée consiste à financer un système photovoltaïque pour couvrir les consommations électriques de charges isolées responsables de 65% de la facture d'électricité d'une maison dans ces régions.

Les résultats obtenus pour l'exemple d'une maison à Adrar sont très satisfaisants et encourageant, que ce soit en termes de finances ou de l'impact environnemental. De plus, la solution présentée est pratique car les charge pouvant être responsables de 65% de la facture annuelle d'électricité dans les maisons familiales du sud sont facilement isolables du reste de l'installation électrique de la maison. Dans notre exemple, on a vu qu'il a suffis d'isoler la climatisation et l'éclairage extérieur.

Au terme de cette étude, on peut dire que l'étude technico-économique du système photovoltaïque a montré la faisabilité du contournement de ce soutien direct par le biais de subventions permettant de financer des kits solaires photovoltaïques alimentant l'équivalent, en charges électriques, de ces 65 % de soutien financier. Cette alternative se présente comme un investissement intéressant qui peut jouer un rôle très important pour résoudre le problème de l'électrification des sites du sud de l'Algérie.

Références

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressources_et_consommation_%C3%A9nerg%C3%A9tiques_mondiales
- [2] MeetMed: « Fiche pays Algérie 2017 » : www.medener.org
- [3] Bilan énergétique nationale 2019, Rapport du Ministère Algérien de l'Energie, 2019
- [4] Kamel Dali, « Dispositif Algérien régissant les équipements électroménagers et les perspectives de son évolution », Présentation au Salon de l'Electricité et des Energies Renouvelables, 3^{ème} édition, Alger, 10 – 13 Février 2020.
- [5] Ministère de l'énergie et des mines www.energy.gov.dz
- [6] Puissance installée par producteur à fin 2017 : www.totalenergies.fr
- [7] Centrales photovoltaïques : www.connaissancedesenergies.org
- [8] Transport et distribution d'électricité en Algérie, Ministère de L'énergie et des Mines : www.energy.gov.dz
- [9] Consommation Energétique Finale de l'Algérie, Chiffre Clé -Année 2005, Rapport du Ministère de l'Energie et des Mines, 2017 : www.energy.gov.dz
- [10] Document Technique Réglementaire des Bâtiments d'Habitation DTR. C 3-4 : « Règles de calcul des apports calorifiques - Climatisation des bâtiments », Centre National de l'Etude et de Recherche Ingénieur du bâtiment, 1998.
- [11] FOGELMAN & Régis MONTLOIN : « Installations Photovoltaïques dans l'habitat isolé » livre édité par : EDISUD, 1983.

- [12] I. BENSEFIA & S. MAMOUN : « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque d'une Maison Autonome Appliquée au Site de Tlemcen », Mémoire de fin d'étude, Université de Tlemcen, 2008.
- [13] Logiciel RETScreen Expert : www.rncan.gc.ca
- [14] Logiciel en ligne, PVGIS : <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [15] Logiciel PVsyst : Logiciel Photovoltaïque : <https://www.pvsyst.com>
- [16] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », 3eme édition, Edition Dunod, 2005.
- [17] Anonyme, « Electricité : le tarif moyen appliqué au citoyen », Algérie Presse Service, 19 Février 2021 : www.aps.dz