

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique**



Département de Génie de l'Environnement

Laboratoire Des Sciences Et Techniques De l'environnement

Mémoire de master

En Génie de l'Environnement

Thème

**Apport des énergies renouvelables dans
la réduction des émissions du CO₂**

CHABNI Dihia

Présenté et soutenu publiquement le 04 juillet 2017

Composition du Jury:

Président de jury : A.CHERGUI

Examineur : A.TALBI

Promoteur : F. SAHNOUNE

Co-Promoteur : R.KERBACHI

Professeur, ENP

Doctorant, ENP

MRB, CDER

Professeur, ENP

ENP 2017

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie de l'Environnement

Laboratoire Des Sciences Et Techniques De l'environnement

Mémoire de master

En Génie de l'Environnement

Thème

Apport des énergies renouvelables dans la réduction des émissions du CO₂

CHABNI Dihia

Présenté et soutenu publiquement le 04 juillet 2017

Composition du Jury:

Président de jury : A.CHERGUI

Examineur : A.TALBI

Promoteur : F. SAHNOUNE

Co-Promoteur : R.KERBACHI

Professeur, ENP

Doctorant, ENP

MRB, CDER

Professeur, ENP

ENP 2017

Dédicaces

Je dédie ce travail aux deux personnes m'étant les plus chères au monde, mes parents. Pour leur soutien infaillible et tous les sacrifices consentis.

A ma sœur Lamia

A mon frère Yacine

A la mémoire de mon grand-père Ali

A Mani et Mina

A mes tantes et oncles

A tous mes cousins

Les deux familles CHABNI et KADRI

A toute ma promotion GE

A tous mes amis

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail

Remerciements

Ma gratitude et mes remerciements les plus sincères s'adressent en premier lieu à mon encadreur Madame Fariza SAHNOUNE de m'avoir encadré et soutenu dans de ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent tout particulièrement à mon directeur de mémoire, professeur Rabah KERBACHI, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et pour m'avoir transmis sa passion pour le domaine de la pollution de l'air. Je ne vous serez jamais assez reconnaissante de m'avoir permis, depuis le début de mon cursus, d'explorer une telle thématique, qui deviendra sans aucun doute l'objet de ma carrière.

Je suis très honorée de compter parmi les membres du jury Monsieur Abdelmalek CHERGUI et Monsieur TALBI qu'ils trouvent ici mes profonds remerciements.

Je tiens également à remercier tous les enseignants du Département Génie de l'Environnement, à l'Ecole Nationale Polytechnique auxquels je dois ma formation d'ingénieur.

Enfin, je remercie les membres du jury qui me font l'honneur d'évaluer ce travail.

Merci à vous tous.

CHABNI Dihia

الملخص

ركزت الدراسة على تقييم انبعاثات CO₂ الناتج عن قطاع الطاقة الكهربائية بالجزائر لهذا لغرض اجري تحليل لاستهلاك هذه الاخيرة. ويتمثل هذا في جمع مدقق لمجموعة من المعلومات التي تخص الميدان الاجتماعي , الاقتصادي و الطاقوي لإعطاء احصائيات موثوقة لأجل تقديم تخصيص طاقي في البلاد. من خلال المعطيات المأخوذة من الانتاج و الاستهلاك الوطني للطاقة الكهربائية و تطورها و على اساس عامل انبعاثات CO₂ صنف الطاقة . قمنا بتقييم مدى انبعاثات CO₂ المنبعث عن قطاع الطاقة في الجزائر. و تشير الدراسة على ان قطاع الطاقة يتسبب في انبعاث 59,1 MT éq CO₂ باستعمال الاساليب الكلاسيكية و انبعاث 45 MT éq CO₂ بمزج الاساليب الكلاسيكية مع الطاقات المتجددة.

لكلمات الدالة: الاحتباس الحراري, انبعاثات ثاني أكسيد الكربون, الطاقة في الجزائر, الطاقات المتجددة.

Abstract

The study examined the assessment of CO₂ emissions from the electricity sector in Algeria. To this end, an analysis of the consumption of this energy in Algeria was carried out. It consists of a fine and cross-collected collection of information, socio-economic and energy, in order to generate reliable statistical data in order to present the country's energy characteristics.

On the basis of the data collected on national electricity production and consumption and their evolution, and on the basis of emission factors by energy category, we assessed the extent of CO₂ emissions generated by this energy sector in Algeria. The study shows that this energy sector is the origin of the emission of 59.1 MTeqCO₂ with conventional processes and an emission of 45 MTeqCO₂ with the combination of conventional processes and renewable energy processes.

Keywords: climate changes, CO₂ emissions, energy in Algeria, renewable energy.

Résumé

L'étude a porté sur l'évaluation des émissions du CO₂ issue du secteur de l'énergie électrique en Algérie. A cet effet une analyse de la consommation de cette énergie en Algérie a été réalisée.

Celle-ci consiste en une collecte fine et recoupée d'un ensemble d'informations, d'ordre socioéconomique et énergétique, pour dégager des éléments statistiques fiables afin de présenter la particularité énergétique du pays.

A partir des données recueillies sur la production et consommation nationale d'énergie électrique et leur évolution, et sur la base de facteurs d'émission par catégorie d'énergie, nous avons évalué l'ampleur des émissions de CO₂ engendrées par ce secteur énergétique en Algérie.

L'étude montre que ce secteur d'énergie est à l'origine de l'émission de 59,1 MTeqCO₂ avec les procédés classiques et une émission de 45 MTeqCO₂ avec la combinaison des procédés classiques et les procédés d'énergies renouvelables.

Mots-clés: les changements climatiques, les émissions du CO₂, l'énergie en Algérie, les énergies renouvelables.

Table De Matières

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

Introduction	11
Chapitre I : les changements climatiques et les gaz à effet de serre	
1 Contexte du changement climatique	15
1.1 Définition	15
1.2 Spécification du phénomène et de ses origines	15
2 Les gaz à effet de serre	16
2.1 Définition	16
2.2 L'effet de serre additionnel	18
2.3 Le Pouvoir de réchauffement Global (PRG)	19
2.4 Evolution de la teneur en gaz à effet de serre.....	20
2.5 Les principaux gaz à effet de serre additionnels (GES)	21
2.5.1 Le dioxyde de carbone (CO2)	21
2.5.2 Le méthane (CH4).....	24
2.5.3 Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N2O).....	24
2.5.4 L'ozone (O3).....	25
2.5.5 Les HydroFluoroCarbones (HFC).....	25
3 Les principales conséquences des changements climatiques	25
3.1 La hausse des températures	27
3.2 La hausse du niveau des océans	28
3.3 La fonte des glaciers et des glaces	29
□ La fonte des glaciers continentaux	29
□ La fonte de la glace de mer	30
3.4 Les risques naturels	30
3.5 La couche d'ozone	30
3.6 La biodiversité	30
3.7 La végétation	31
3.8 La santé	31
4 Cas de l'Algérie.....	32
4.1 Vulnérabilité de l'Algérie aux Changements Climatiques	32
4.2 Emissions des GES en Algérie	32

Chapitre II: les énergies renouvelables

1	Définition des énergies renouvelables	34
2	L'énergie solaire.....	36
2.1	Définition	36
2.2	Formes de l'énergie solaire	36
2.2.1	Energie solaire photovoltaïque	36
2.2.2	Énergie solaire thermique.....	36
2.3	Fonctionnement d'une installation solaire	37
2.4	Potentiel solaire en Algérie	38
3	L'énergie éolienne.....	39
3.1	Définition	39
3.2	Les modes d'exploitation de l'énergie éolienne	40
3.3	Enjeux par rapport à l'énergie.....	40
3.3.1	Les atouts de l'énergie éolienne	41
3.3.2	Les problèmes qui se posent.....	41
3.4	Potentiel éolien en Algérie	41
4	Programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030 en Algérie	42

Chapitre III: la consommation énergétique en Algérie

1	La Production d'Electricité	46
1.1	Parc de Production National.....	46
1.2	Puissance installée de production d'électricité.....	46
1.3	Production d'énergie primaire	47
2	Consommation nationale d'énergie.....	48
2.1	Evolution des différents agrégats	48
2.2	Consommation des industries énergétiques	49
2.3	Evolution par forme d'énergie	50
2.4	Consommation finale	52
2.4.1	Par produit	52
2.4.2	Par secteur	53
2.5	Bilan global pour l'électricité.....	54
3	Estimation de la production d'énergie 2015-2030	55
3.1	Production de l'électricité conventionnelle sans la contribution des énergies renouvelables.....	56
3.2	Production des énergies renouvelables :.....	57
3.3	Production de l'électricité conventionnelle avec contribution des énergies renouvelables..	58

Chapitre IV: les émissions du CO₂

1	Quantification des émissions.....	62
1.1	Approche de Référence.....	62
1.2	Approche sectorielle.....	62
1.3	Emissions fugitives.....	63
2	Emissions globales provenant du secteur de l'électricité.....	63
2.1	Pour 2015 :.....	63
2.2	Pour 2016 :.....	64
3	Emissions globales provenant du secteur de l'électricité sans contribution des énergies renouvelables.....	64
4	Emissions provenant du secteur des énergies renouvelables.....	66
5	Emissions globales provenant du secteur de l'électricité avec contribution des énergies renouvelables.....	67
	Conclusion.....	68
	Références bibliographiques.....	70

Liste des tableaux

Tableau 1: Concentrations passées (avant 1750) et actuelles des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique.....	20
Tableau 2: Emissions de CO ₂ en milliards de tonnes de carbone	23
Tableau 3: Evolution temporelle des émissions des GES en Algérie	32
Tableau 4: Evolution de la puissance installée 1980-2015 par producteur (MW)	47
Tableau 5: Production d'énergie primaire.....	47
Tableau 6: Evolution de l'énergie électrique produite 1980-2015 (MWh).....	48
Tableau 7: Consommation nationale par agrégat	49
Tableau 8: Consommation des industries énergétiques	50
Tableau 9: Consommation nationale par forme d'énergie.	51
Tableau 10: Consommation finale par produit.....	52
Tableau 11: Bilan global pour l'énergie électrique pour l'année 2015	54
Tableau 12: Bilan global pour l'énergie électrique pour l'année 2016.....	55
Tableau 13: Estimation de la production d'énergie électrique en Algérie pour la période 2015-2030.....	57
Tableau 14: Estimation de la production de l'énergie renouvelable en Algérie sur la période 2015-2030.....	58
Tableau 15: estimation de la production de l'énergie renouvelable et de l'électricité conventionnelle sur la période 2015-2030	59
Tableau 16: Facteurs d'émission	61
Tableau 17: Estimation des émissions de CO ₂ issues de la production nationale d'électricité pour l'an 2015	63
Tableau 18: Estimation des émissions de CO ₂ issues de la production nationale d'électricité pour l'an 2016	64
Tableau 19: Emissions du CO ₂ issu de la production de l'électricité conventionnelle par voie thermique et par les cycles combinés	65
Tableau 20: Emissions du CO ₂ issu de la production de l'électricité par les énergies renouvelables.....	66
Tableau 21: Estimation de la quantité du CO ₂ évité en produisant de l'électricité par procédé conventionnelle et par procédé mixte (procédé conventionnelle + énergies renouvelables)...	67

Liste des figures

Figure 1: Bilan radiatif de l'effet de serre	17
Figure 2: Evolution des différents gaz à effet de serre	19
Figure 3: Représentation schématique de la perturbation du cycle global de carbone à cause des activités humaines de 2002 à 2011	22
Figure 4: Conséquences attendues des changements climatiques	26
Figure 5: Evolution de la température moyenne à la surface du globe	27
Figure 6: Records de températures enregistrés depuis 1880, par rapport à la température moyenne de 1980 à 2015	28
Figure 7: Niveau moyen des mers depuis 1880	29
Figure 8: évolution des émissions des GES en Algérie	32
Figure 9: schéma d'une installation photovoltaïque	37
Figure 10: Carte solaire de l'Algérie	38
Figure 11: Aires du Sahara (carrés rouges) nécessaires pour répondre aux besoins en électricité du monde, de l'Europe des 25 et de l'Allemagne	39
Figure 12: Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol	42
Figure 13: Puissance installée par producteur	46
Figure 14 : Structure de la production d'énergie primaire	48
Figure 15: Structure de la consommation nationale d'énergie	49
Figure 16: Structure de la consommation des industries énergétiques par activité	50
Figure 17: Structure de la consommation des industries énergétiques par forme d'énergie	51
Figure 18 : Structure de la consommation finale par produit	53
Figure 19: Estimation de la production d'énergie pour la période 2015-2030	56

Liste des abréviations

Abréviations :

GES	Gaz à Effet de Serre
CC	Changements Climatiques
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental pour l'Evolution du Climat
GHF	Gaz de Hauts Fourneaux
GN	Gaz naturel
GNL	Gaz naturel liquéfié
GNV	Gaz Naturel pour Véhicules
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
Kahrama	Société de projet « Kahraba Wa Ma »
SKB	Shariket Kahraba Berrouaghia
SKD	Shariket kahraba Koudiet Eddraouche
SKH	Shariket Kahraba Hadjret Ennouss
SKS	Shariket Kahraba Skikda
SKT	Shariket kahraba Terga
SONALGAZ-SPE	Société Algérienne de production d'électricité

Unités :

ppm	parties par million
ppt	partie par trillion
GWh	Giga Wattheure
Ktep	Kilo tonne équivalent pétrole
Mtep	Million de tonnes équivalent pétrole
Tec	Tonne équivalent charbon
Tep	Tonne équivalent pétrole

Introduction Générale

Introduction Générale

L'Algérie est un pays qui jouit d'une position relativement enviable en matière énergétique. Les réserves en hydrocarbures dont il dispose et les niveaux actuels de consommation nécessaires à la couverture de ses besoins propres lui permettent de rester serein pour quelques temps encore.

Cependant, toutes les actions de développement réalisées dans un système centralisé de planification favorisant la démarche sectorielle à la décentralisation, par l'injection d'investissements publics à grande échelle, ont abouti à une dégradation des ressources naturelles (terres agricoles, ressources en eau, zones marines et côtières, forêts, air, etc.) et ont aggravé le déséquilibre régional en faveur des zones urbaines.

Ainsi, le phénomène qui montre l'évidence de la mutation en cours d'accomplissement est le phénomène d'urbanisation où entre 1966 et 2012 le taux d'urbanisation est passé de 25% à plus de 65%. Cette accélération est justifiée par l'existence en ville de meilleures commodités de logement et de moyens de communication, qui sont des améliorations importantes du cadre de vie. Fruit de la croissance économique entretenue par l'activité industrielle et commerciale, l'amélioration des conditions de vie (accès à la scolarisation et aux soins de santé, entre autres) s'est imposée progressivement comme un modèle de vie valable pour un grand nombre d'habitants, attirant vers les villes et certains chefs-lieux de wilayas ou de daïras, un flux migratoire important.

En d'autres termes, il y a lieu de constater que les sédentarisation les mieux structurées n'ont jamais pu résister aux déséquilibres démographiques, facteur de perturbation profonde de l'environnement. Ceci a entraîné des inadéquations socioculturelles et des flux migratoires puissants, provoquant l'abandon des vieilles structures et laissant place aux nouvelles organisations sociales qui résultent de la croissance économique des dernières décennies.

Les différents bilans réalisés par les pouvoirs publics à partir de 1982 ont abouti à la mise en place des dizaines de textes réglementaires (lois, décrets et autres textes) pour introduire les éléments d'une politique de l'environnement qui va progressivement être intégrée dans le plan national de développement économique et social.

C'est donc en 1993 que L'Algérie a signé la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) élaborée au Sommet de la Terre à Rio en 1992 et a adhéré au Protocole de Kyoto en 2004 marquant ainsi sa volonté de participer à l'effort international de lutte contre les changements climatiques et ses répercussions potentielles,

Introduction Générale

particulièrement sur le système climatique, les écosystèmes naturels et la durabilité du développement économique. Conformément aux dispositions de l'article 12 de la CCNUCC, l'Algérie a préparé le premier et deuxième inventaire national de gaz à effet de serre respectivement pour l'année 1994 et l'année 2000. Conformément aux recommandations de la Conférence des Parties, cet inventaire a été réalisé en appliquant la version révisée de 1996 de la méthodologie du GIEC incluant le manuel des bonnes pratiques de l'année 2000, et a consisté à évaluer les émissions et absorptions anthropiques de GES sur l'ensemble du territoire de l'Algérie pour les années suscités.

Ce travail consiste à analyser la production et la consommation énergétique en Algérie et à évaluer les émissions actuelles du CO₂ issues de ce secteur de l'énergie qui demeure la principale source d'émission de CO₂ (environ 75% de l'ensemble des émissions). Il consiste également à déterminer la réduction des émissions du CO₂ en remplaçant une partie de cette énergie non renouvelable par une énergie renouvelable, notamment l'énergie solaire, et estimé la réduction de ces émissions sur une durée de 15ans.

Chapitre I

Changements climatiques et gaz à effet de serre

La menace du changement climatique est le centre d'inquiétude de la communauté internationale. Afin de comprendre cet intérêt international, il faudrait connaître la signification du terme « changement climatique ». Le sens du terme « changement climatique » est assez simple à comprendre et ne suscite plus de controverses. Cependant, ses causes, sa magnitude ainsi que les impacts de ces changements sur le bien-être humain et l'environnement sont très discutés. Dans ce chapitre nous proposons une revue de la théorie du changement climatique.

1 Contexte du changement climatique

1.1 Définition [1]

Dans les travaux du GIEC, le terme « changement climatique » fait référence à tout changement dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Au contraire, dans la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme désigne uniquement les changements dus aux activités humaines. La Convention-cadre utilise le terme « variabilité climatique » pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle

Donc le changement climatique désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. Certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants sur l'environnement.

1.2 Spécification du phénomène et de ses origines [2]

Les recherches climatiques datent du 20^{ème} siècle. Au départ, ces recherches consistaient essentiellement en la détermination de statistiques de différents paramètres climatiques tel que les précipitations, la température, la vitesse des vents, etc.

Depuis, les recherches météorologiques ont progressé et les climatologues ont commencé à examiner les processus physiques et chimiques caractérisant le système climatique. C'est à partir de là qu'on a commencé à constater l'existence de perturbations climatiques considérables provenant de l'océan pacifique équatorial.

Afin de déterminer les causes de ces perturbations, les climatologues sont partis de la structure même du système climatique. La température moyenne à la surface de la terre est

maintenue à un niveau égale à 15°C grâce à un équilibre énergétique entre les différentes sources d'énergie ; la terre, l'atmosphère et le soleil. Entre en jeu la composition chimique de l'atmosphère, la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le 14 protoxyde d'azote (NO), notamment, qui laissent passer la lumière du soleil qui réchauffe la surface du globe et absorbent une partie de cette chaleur. En l'absence de ces gaz, la plus grande partie de la chaleur pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait directement réémise dans l'espace, et la température moyenne de la Terre serait de -18°C. On a désigné ce phénomène naturel par « effet de serre », l'atmosphère jouant le rôle des vitres d'une serre. Si on augmentait l'épaisseur de ces vitres, la serre se réchaufferait. Cette constatation a permis aux climatologues de conclure une relation de causalité entre l'accroissement des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère et les perturbations climatique. D'où la qualification des gaz supposés contribuer aux perturbations climatiques, de gaz à effet de serre.

La confrontation des observations de l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère et celle des paramètres climatiques a permis aux climatologues d'expliquer ce rapprochement.

2 Les gaz à effet de serre

2.1 Définition

L'effet de serre est un phénomène naturel, indispensable à la vie sur Terre et qui assure une température moyenne de +15° C environ au lieu de -19° C. En fait, une température de -19° C ferait geler les océans, ce qui augmenterait considérablement leur albédo (pouvoir réflecteur) faisant chuter les températures autour de -100° C.

Ce sont les activités humaines, principalement par l'exploitation massive de combustibles fossiles et la modification de la couverture des terres, qui entraînent une augmentation des concentrations atmosphériques en Gaz à Effet de Serre (GES), qui modifient les bilans radiatifs et tendent à réchauffer l'atmosphère.

La Terre reçoit la majeure partie de son énergie du soleil (principalement sous forme de lumière visible), un quart est directement réfléchi, environ 20% est absorbée par l'atmosphère et 45% touche le sol puis est rayonnée sous forme d'infrarouges (rayonnement thermique) par la Terre. Or, le rayonnement infrarouge émis par la Terre est en partie intercepté par les gaz à effet de serre de l'atmosphère terrestre tandis que le reste est diffusé vers l'espace comme illustré dans la figure 1.

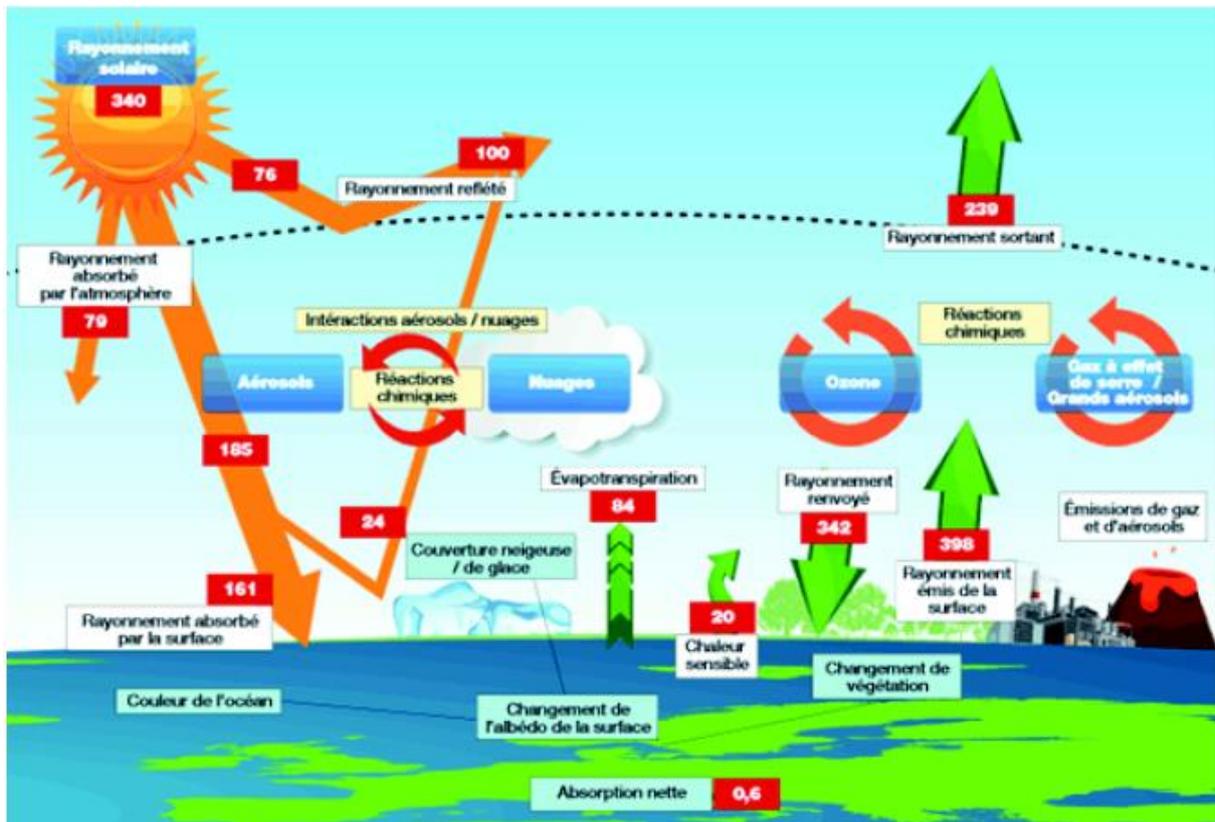


Figure 1: Bilan radiatif de l'effet de serre

Un gaz à effet de serre est donc relativement transparent à la lumière du soleil mais capable d'absorber une partie du rayonnement thermique de la Terre.

La Terre équilibre le rayonnement solaire entrant par l'émission de rayonnement thermique. La présence de substances à effet de serre limite le rafraîchissement par rayonnement thermique et amène donc à un certain réchauffement.

Les principaux gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère sont [3] :

- la vapeur d'eau (H₂O) ;
- le dioxyde de carbone (CO₂) ;
- le méthane (CH₄) ;
- le protoxyde d'azote (N₂O) ;
- l'ozone (O₃).

L'effet de serre, principalement dû à la vapeur d'eau [4] (0,3% en volume, 55% de l'effet de serre) et aux nuages (17% de l'effet de serre) soit environ 72% pour H₂O, les 28% restant étant pour l'essentiel le fait du CO₂, porte la température moyenne à la surface de la Terre de -18° C (ce qu'elle serait en son absence) à +15° C.

2.2 L'effet de serre additionnel

Ce sont les activités humaines, principalement par l'exploitation massive de combustibles fossiles et la modification de la couverture des terres, qui entraînent une augmentation des concentrations atmosphériques en Gaz à Effet de

Serre (GES), qui modifient les bilans radiatifs et tendent à réchauffer l'atmosphère.

Ce phénomène naturel de piégeage par l'atmosphère de la fraction du rayonnement solaire réémis par la Terre, l'effet de serre, est amplifié par les rejets excessifs de ces gaz.

Les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre augmentent depuis le XIXe siècle [4] pour des raisons essentiellement anthropiques avec un nouveau record en 2015 selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM). L'accroissement des principaux gaz à effet de serre est essentiellement dû à certaines activités humaines dont :

- l'utilisation massive de combustibles fossiles ;
- la déforestation ;
- l'agriculture, l'élevage et enfin l'artificialisation des sols (urbanisation) ;
- l'utilisation des chlorofluorocarbones (CFC) ;
- les rejets de méthane non naturels ;

La figure I.2 illustre l'évolution des différents gaz à effet de serre entre 1975 et 2015.

Avec une croissance annuelle de l'ordre de 2 ppm/an, la teneur atmosphérique en CO₂, principal GES, a atteint à fin 2015 le niveau de 400 ppm.

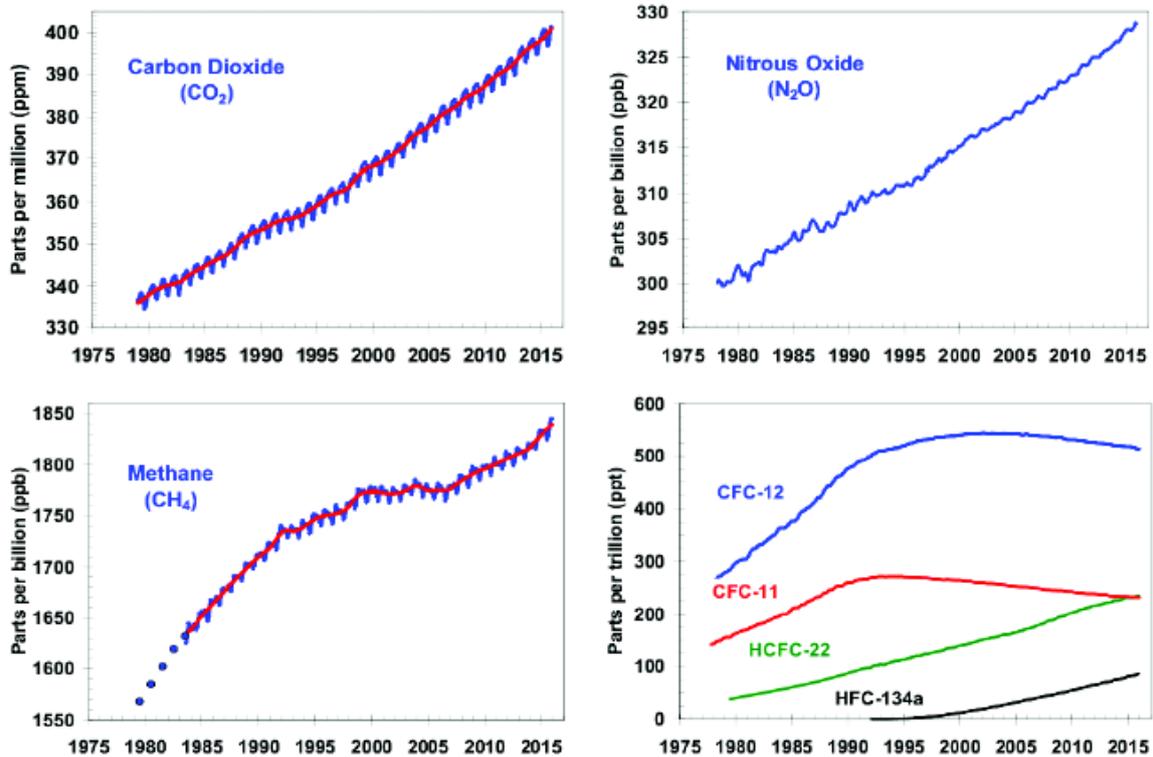


Figure 2: Evolution des différents gaz à effet de serre [5]

2.3 Le Pouvoir de réchauffement Global (PRG)

Cet indicateur synthétique vise à regrouper sous une seule valeur l'effet additionné de tous les polluants qui contribuent à l'accroissement de l'effet de serre.

Cet indicateur est exprimé en "équivalent CO₂" du fait que par définition l'effet de serre attribué au CO₂ est fixé à 1 et celui des autres substances relativement au CO₂ [6]. Du fait de leur différent temps de séjour dans l'atmosphère, ces PRG vont varier suivant les échéances considérées : par exemple, l'effet d'un kg de méthane à 100 ans est estimé comme étant 23 fois celui d'un kg de CO₂, alors que sur 50 ans son effet est 46 fois celui d'un kg de CO₂. En règle générale, le pas de temps considéré est fixé à 100 ans. C'est ainsi que les pays comptabilisent leur émissions de l'ensemble des GES en "équivalent CO₂" (éq. CO₂) tel que la Concentrations en gaz à effet de serre en 2015 est estimé à **485 ppm** équivalent CO₂*.

2.4 Evolution de la teneur en gaz à effet de serre

L'exploration de la concentration des gaz depuis le palier de l'époque préindustrielle montre que celle-ci s'est accrue dans le réservoir atmosphérique. Les gaz à effet de serre, le CO₂ et le CH₄ notamment, ont contribué en grande partie à cette augmentation.

- La teneur en CO₂ est passée de 270ppm1 à 370ppm. Le taux annuel de croissance est de l'ordre 0.4% ; durant la décennie quatre-vingt-dix ce taux a varié de 0.2% à 0.8%. Une grande partie de ces fluctuations est d'origine anthropique, on estime que les trois-quarts sont dus à la combustion des carburants fossiles, et que le reste est dû à la déforestation.
- La concentration du CH₄ a presque doublé depuis 1750. Sa progression annuelle a fluctué durant la décennie quatre-vingt et a ralenti durant la décennie de quatre-vingt-dix. Plus de la moitié des émissions de ce gaz sont dues à des phénomènes anthropiques tels que ; l'agriculture, l'exploitation du gaz naturel ou les décharges contrôlées.
- Les autres gaz à effet de serre continuent aussi à augmenter dans l'atmosphère de façon irréversible mais à des quantités plus faibles.

Le tableau suivant résume l'évolution des différents gaz à effet de serre depuis l'époque préindustrielle [1].

Tableau 1: Concentrations passées (avant 1750) et actuelles des principaux gaz à effet de serre d'origine anthropique

Gaz	Responsabilité dans l'effet de serre	Concentration préindustrielle (t1)	Concentration actuelle (t2)	Variation (t2-t1)	Durée de vie moyenne	Equivalent carbone (en kg)
CO ₂	63 %	278 ppm	400 ppm	+ 44 %	5 à 200 ans	0,2727
CH ₄	19 %	730 ppb	1835 ppb	+ 151 %	10 ans	2,3
N ₂ O	6 %	270 ppb	328 ppb	+ 21 %	131 ans	81,3
SF ₆	----	----	7,9 ppt	----	3 200 ans	----
PFC	----	----	83 ppt	----	entre 2 000 à 50 000 ans	----
HFC / HCFC	----	----	123 ppt	----	entre 0,1 et 270 ans	----
NF ₃	12 %	0,02 ppb en 1978	0,454 ppt	2170 %	500 ans	----

Ce tableau montre que l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère s'est accentué avec l'évolution des activités humaines. Or, les activités humaines conduisent au rejet dans l'atmosphère de gaz qui, soit existaient naturellement (CO₂, CH₄, N₂O), soit n'existaient pas comme les composés chlorés et certains hydrocarbures. Ces observations ont permis aux experts de constater que l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est due en particulier aux activités humaines.

3 Les principaux gaz à effet de serre additionnels (GES) [1]

3.1 Le dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ provient principalement des émissions des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) qui représentent 87% de l'énergie utilisée dans le monde et émettent 8,4 Gt de carbone par an. Il est également issu de certains procédés industriels, la déforestation (pour plus de 15 % soit 1,5 Gt de carbone par an) et l'agriculture intensive. Le CO₂ est également émis par l'activité naturelle de notre planète : éruptions volcaniques, respiration des plantes et des animaux. La consommation des ménages (cuisson, chauffage, électricité) contribue aussi significativement aux émissions de CO₂.

➤ Le cycle du Carbone

Le carbone est présent dans tous les grands milieux de notre planète :

- **Océans** 37 000 Gt (Gigatonnes c'est à dire milliards de tonnes de carbone). On distingue deux réservoirs océaniques :
 1. les eaux de surface (1 700 Gt), sur une centaine de mètres, où s'opèrent les échanges avec l'atmosphère. Les eaux de surface, grâce au phytoplancton absorbent une importante quantité de carbone.
 2. les eaux profondes (35 300 Gt) où le carbone est présent sous forme de carbone inorganique dissous.
- **La biomasse** vivante (600 Gt) dont 283 Gt pour les forêts (FAO - FRA 2005) ; le carbone organique mort (2 600 Gt).
- **Les sédiments calcaires** (66 000 000 à 100 000 000 Gt)
- **L'atmosphère**

Les échanges annuels de carbone entre l'atmosphère et la surface de la Terre sont de 105 Gt entre la végétation et l'atmosphère et 90 Gt entre l'océan de surface et l'atmosphère.

A la fin du XIX^{ème} siècle, l'atmosphère contenait environ 235 Gt de carbone. A partir de 1950, la combustion d'énergies fossiles émettait 1,5 Gt de carbone par an, 4,5 Gt en 1970, 6,4 Gt en 1990 et 7,9 Gt en 2007 (rapport du GIEC 2016).

La moitié environ des émissions de carbone est absorbée par les puits naturels de carbone comme les océans (1/4), la végétation et les sols (1/4), l'autre moitié s'accumule dans l'atmosphère. Or, il est indispensable de diminuer au moins de moitié ces émissions... La civilisation industrielle a donc déjà perturbé le cycle du carbone à l'échelle planétaire. Et ces émissions pourraient être multipliées par 5 jusqu'à 2 100 à un tel rythme.

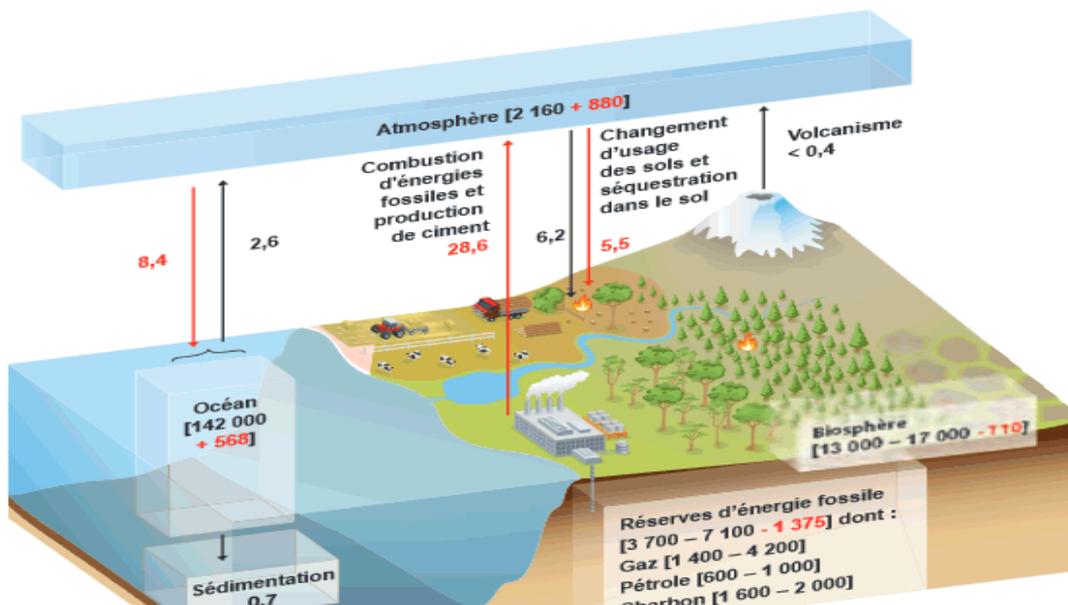


Figure 3: Représentation schématique de la perturbation du cycle global de carbone à cause des activités humaines de 2002 à 2011 [1]

➤ Emissions globales de CO₂ d'origine anthropique

Les mesures précises du CO₂ atmosphérique ont débuté en 1958. Il représente environ 63% du pouvoir radiatif global des gaz à effet de serre. Il a contribué à l'augmentation de ce forçage à hauteur de 90% depuis 5 ans (OMM, 11/2008).

Tableau 2: Emissions de CO₂ en milliards de tonnes de carbone

Année	Changement d'affectation du sol	Energies fossiles et production de ciment	Total (carbone)	Total (CO ₂)
1960	1.46	2.57	4,03	14,79
1970	1.53	4.05	5,58	20,48
1980	1.24	5.31	6,55	24,04
1990	1.44	6.12	7,56	27,75
2000	1.20	6.76	7,96	29,21
2005	1.02	8.08	9,1	33,4
2010	0.88	9.14	10,02	36,77
2011	0.91	9.45	10,36	38,02
2012	0.97	9.58	10,55	38,72
2013	0.92	9.74	10,66	39,12
2014	1.09	9.80	10,89	39,97

Note : un kg de CO₂ vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone et 3,67 kg de CO₂ vaut 1 kg de carbone.

➤ Le danger des puits de carbone

L'évolution des taux de CO₂ est compliquée par son cycle qui touche tous les milieux : océans, sols, faune, flore, air. Ainsi, la moitié seulement du CO₂ rejeté par les activités humaines s'accumule dans l'atmosphère, l'autre moitié étant absorbée par les puits de carbone que sont les océans, les sols, la faune et la végétation déjà bien mal menés.

Le Protocole de Kyoto prévoit la possibilité de recourir aux puits de carbone pour obtenir des permis d'émissions. Or, vu les niveaux de CO₂ constatés et surtout les changements climatiques enclenchés, il est envisageable que les puits de carbone que sont les arbres, en disparaissant, libèrent le gaz carbonique qu'ils contiennent portant les émissions de 35 à 40 milliards de tonnes ! En effet, selon une étude de l'institut britannique de météorologie Hadley " la biosphère terrestre intervient comme un puits de carbone jusqu'en 2050 environ, puis se transforme en source" d'émission, car à terme les végétaux rejettent le CO₂ au préalable stocké. De plus, des études française et britannique craignent que les océans et les forêts deviennent insuffisants... Sur ce point, les océans qui participent aussi massivement à l'absorption de CO₂ grâce aux courants marins et au plancton, seront moins efficaces. Dans tous les cas, aucun plan réaliste de sylviculture ne pourrait compenser les rejets de CO₂ des sociétés humaines.

La séquestration du carbone dans les couches géologiques profondes ou dans les fonds marins est également en expérimentation tout en posant des problèmes techniques et écologiques.

3.2 Le méthane (CH₄)

Le méthane provient de la dégradation de la matière végétale par des bactéries méthanogènes, dans un milieu pauvre en oxygène. Ce gaz est à 60% émis par l'élevage intensif des bovins, les déjections animales, les cultures (comme le riz), la fermentation des déchets organiques, les feux de forêts, l'utilisation du bois pour le chauffage et la cuisson, l'inondation de vallées lors de la mise en eau des barrages, lors du transport et de l'exploitation du gaz et du pétrole et enfin dans les milieux humides, compacts et mal drainés. 40% des émissions de méthane sont imputables à des processus naturels tels ceux liés aux terres humides et aux termites.

"La comparaison entre le changement observé dans la température moyenne globale et le résultat des simulations suggère que le réchauffement des cent dernières années n'est vraisemblablement pas dû aux seules causes naturelles et que les caractéristiques géographiques d'un réchauffement dû aux activités humaines sont identifiables dans les observations du climat" (GIEC, 2001)

3.3 Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O)

Le protoxyde d'azote (N₂O) ou gaz hilarant est un composant du cycle de l'azote (N). L'azote est présent dans le sol, les végétaux et dans l'atmosphère principalement sous sa forme gazeuse, le N₂. Les micro-organismes qui réalisent la nitrification et la dénitrification de l'azote dans les sols et les fumiers sont responsables des émissions de N₂O en milieu agricole. Ces émissions sont stimulées par l'épandage d'engrais minéraux azotés et d'engrais organiques, et par l'excès d'azote minéral provenant des engrais organiques et de synthèse dans un milieu faible en oxygène, tel que les sols compacts et mal drainés (Nature Québec, 2011)

Le protoxyde d'azote contribue à hauteur de 6,2 % au forçage radiatif direct induit par les gaz à effet de serre. 1/3 des émissions de N₂O sont liées aux activités humaines.

3.4 L'ozone (O₃)

Ce gaz résulte de réactions chimiques de divers polluants primaires comme les oxydes d'azote (NO_x), le CO et les Composés Organiques Volatils non-Méthaniques (COVNM) sous l'effet du rayonnement solaire. La production d'ozone est fortement liée au trafic automobile dans des conditions de températures supérieures à 25°C. L'ozone troposphérique représenterait 17 à 20% de l'effet de serre additionnel (Planète Environnement, 2004).

3.5 Les HydroFluoroCarbones (HFC)

Les HFC sont des gaz qui ne contiennent pas d'atomes de chlore ou de brome connus pour leur atteinte grave à la couche d'ozone. Ils se substituent aux CFC qui furent utilisés massivement dans les systèmes de réfrigération, de conditionnement d'air et comme gaz propulseur dans les aérosols. Le protocole de Montréal, un accord international signé en 1987, a progressivement permis l'abandon des CFC et leur remplacement par les HFC. Si cela est bénéfique pour le rétablissement de la couche d'ozone, les HFC contribueront de plus en plus au réchauffement climatique, notamment dans la chaîne du froid.

4 Les principales conséquences des changements climatiques [1]

Les changements climatiques induits par cette augmentation de la concentration des gaz à effet de serre auront des conséquences multiples et difficiles à cerner. Cependant, ils devraient causer des modifications, aux échelles régionale et planétaire, de la température, des précipitations et d'autres variables du climat, ce qui pourrait se traduire par des changements mondiaux dans l'humidité du sol, par une élévation du niveau moyen de la mer et par la perspective d'épisodes plus graves de fortes chaleurs, d'inondations, de sécheresses, etc.

Il est très difficile de prévoir avec exactitude les conséquences climatiques pour chaque région du globe. Ce qui semble acquis, c'est le caractère répétitif d'événements alors exceptionnels : "il est très probable (plus de 9 chances sur 10) que les chaleurs extrêmes, les vagues de chaleur et les événements de fortes précipitations continueront à devenir plus fréquents" [7].

Ensuite, des zones à des échelles régionales devraient subir des modifications plus spécifiques en fonction de leur situation géographique, comme l'illustré dans la figure 4 :

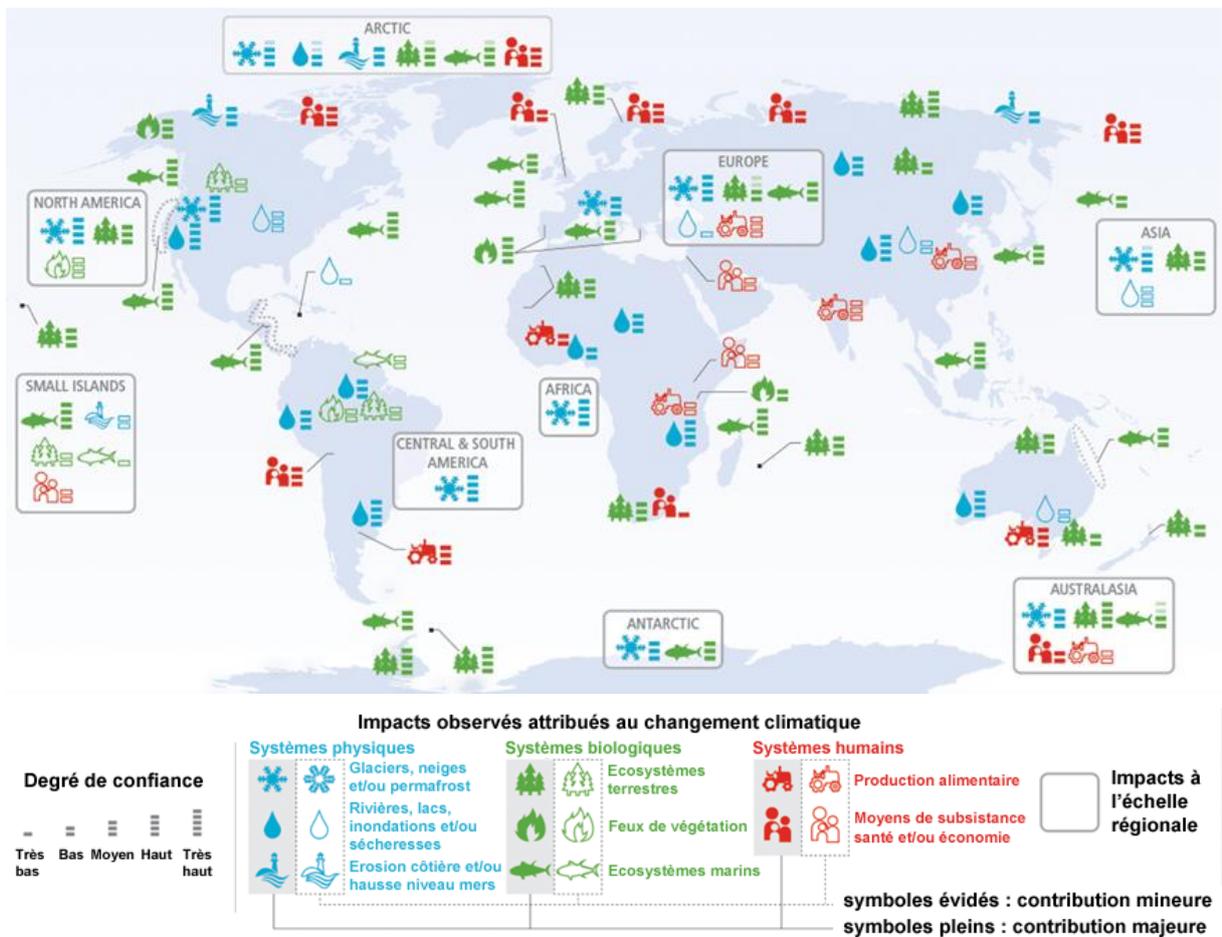


Figure 4: Conséquences attendues des changements climatiques [1]

Parmi ces conséquences on cite principalement :

4.1 La hausse des températures

La hausse des températures moyennes à la surface du globe est la première conséquence attendue et constatée des émissions massives de gaz à effet de serre.

Or, les relevés météo enregistrent des anomalies positives de températures qui se confirment d'années en années par rapport aux températures enregistrées depuis le milieu du XIXe siècle. A ce titre, les climatologues soulignent que les 30 dernières années ont connu les températures les plus élevées de l'hémisphère Nord depuis plus de 1 400 ans !

La figure 5 démontre l'évolution de la température moyenne à la surface du globe, sur terre, sur mer et les deux combinés. En ordonnée, se trouvent les écarts de températures en ° C de 1880 à 2015 par rapport aux normales calculées pour la période 1901-2000.

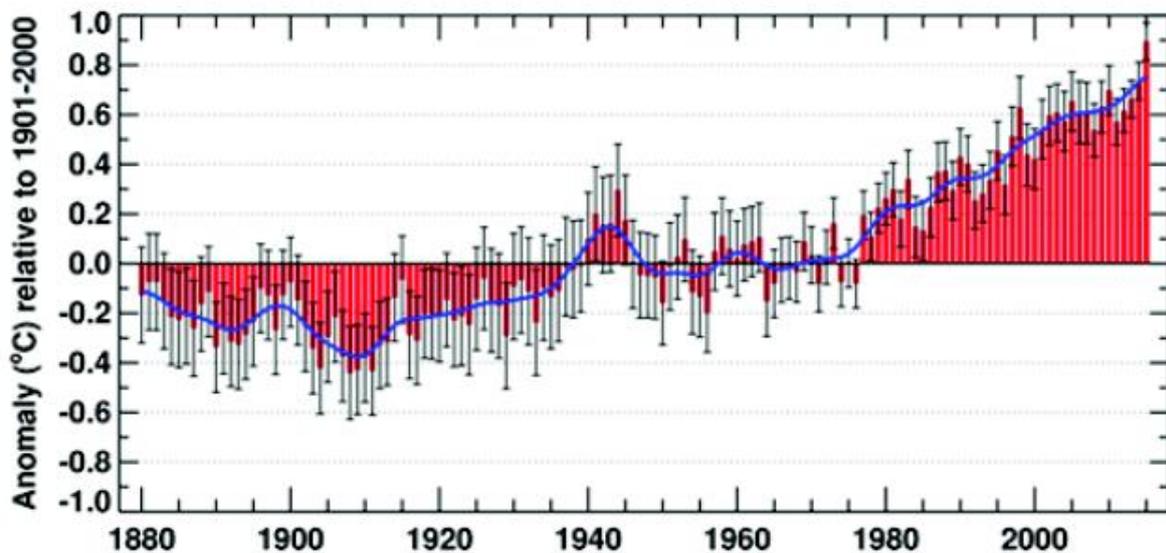


Figure 5: Evolution de la température moyenne à la surface du globe [8]

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), 2016 est l'année la plus chaude jamais enregistrée sur notre planète, confirmant une décennie de records : température moyenne record, banquise exceptionnellement réduite et poursuite inexorable de la hausse du niveau de la mer et du réchauffement des océans.

Selon les analyses de trois centres de données climatiques. L'augmentation de température est significative par rapport au XIXe siècle :

- + 1,3 °C selon le Copernicus Climate Change Service (C3S). La température moyenne mondiale de 2016 a dépassé 14,8 °C, étant ainsi supérieure d'environ 1,3 °C aux moyennes typiques de la moitié du 18e siècle. 2016 était près de 0,2 °C plus chaude que 2015 qui détenait jusqu'à maintenant le record de l'année la plus chaude.
- + 1,1 °C pour l'Institut Goddard pour les études spatiales de la NASA qui s'appuient sur les enregistrements de 6 300 stations météorologiques réparties dans le monde entier, y compris en mer.
- + 0,94 °C pour le Centre national de données climatologiques (NCDC) de la NOAA.
- + 0,77 °C pour l'Unité de Recherche sur le Climat de l'Université d'East Anglia.

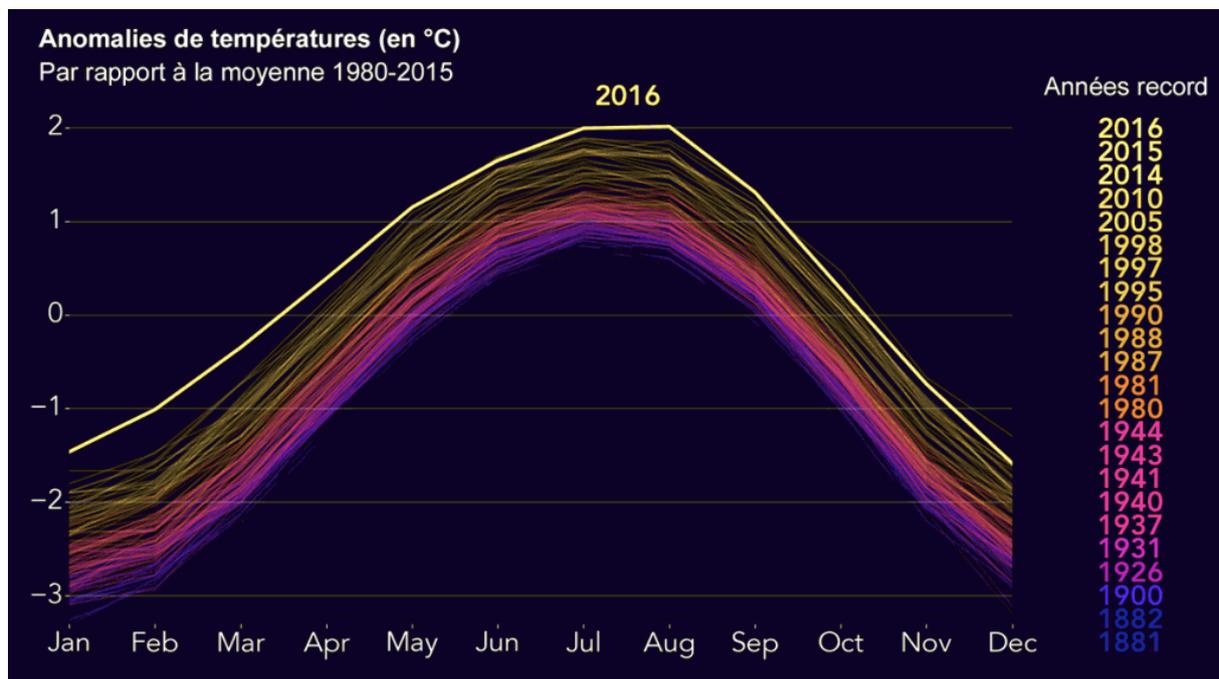


Figure 6: Records de températures enregistrés depuis 1880, par rapport à la température moyenne de 1980 à 2015 [9]

4.2 La hausse du niveau des océans [1]

Le niveau moyen des océans s'est élevé de 14 cm durant le XXe siècle et de 17 cm depuis 1880 à.

Au XXème siècle, le niveau des mers a augmenté d'environ 2 mm par an. De 1990 à 2003, il a atteint le rythme relativement constant de près 3 mm par an (A. Cazenave, La Recherche, 07/2006).

Depuis 2003, on constate toujours une hausse assez rapide (environ 3,27 mm/an) du niveau marin. Le rythme est le plus rapide depuis près de 3000 ans.

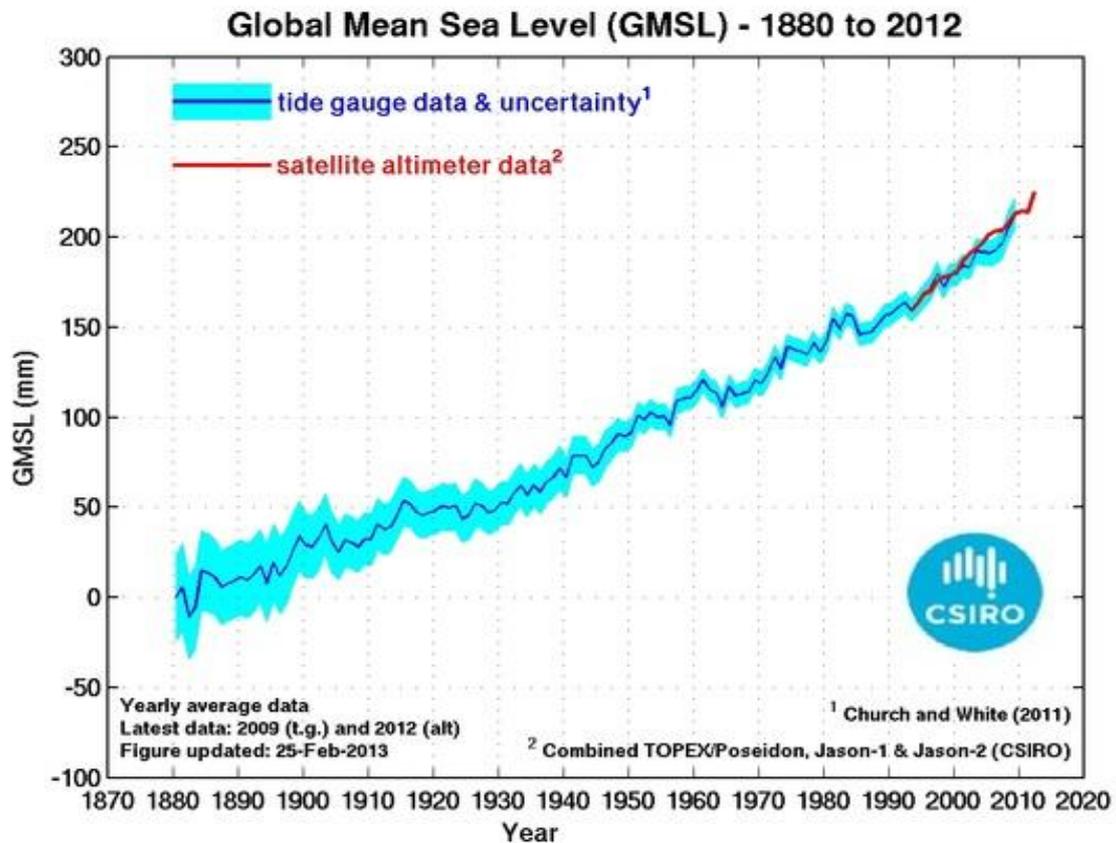


Figure 7: Niveau moyen des mers depuis 1880

4.3 La fonte des glaciers et des glaces [1]

➤ La fonte des glaciers continentaux

Il existe environ 198 000 glaciers de montagne dans le monde, ils couvrent une superficie d'environ 726 000 km². Si ils venaient tous à fondre, le niveau des océans augmenterait d'environ 40 cm (Mapping the World's Glaciers - AntarcticGlaciers, 11/2014)

En France, la Mer de glace a reculé de 2,3 km depuis 200 ans et le glacier d'Ossoue, dans les Pyrénées, de 59 % en seulement 1 siècle. Dans les Alpes, les glaciers perdent 1 mètre par an depuis 30 ans.

Les glaciers polaires comme ceux du Spitzberg (à une centaine de km du pôle Nord) reculent depuis 1880, libérant de grandes quantités d'eau (Laboratoire de Géodynamique des milieux naturels et anthropisés, Clermont-Ferrand, 01/2004).

Au final, **les glaciers perdent actuellement 300 Gt (milliards de tonnes) de glace par an.**

➤ La fonte de la glace de mer

L'Arctique perd environ 10% de sa couche de glace permanente tous les dix ans depuis 1980 (NASA, 2003). Dans cette région, les températures moyennes ont augmenté à une vitesse deux fois plus rapide qu'ailleurs dans le monde durant les dernières décennies (ACIA, 11/2004).

Tous les modèles prédisent la disparition de la banquise arctique en été d'ici quelques décennies, ce qui ne sera pas sans conséquence sur le climat en Europe particulièrement et au monde globalement.

4.4 Les risques naturels [1]

La fréquence, l'intensité et la durée des phénomènes extrêmes (canicules, inondations, sécheresses, cyclones...) seront accentuées, bien qu'il ne soit pas encore possible de l'affirmer pour les orages, les tornades ou le grêle par exemple.

Les constructions et les centres urbains doivent s'adapter à la multiplication des catastrophes naturelles, ce qui n'est manifestement pas encore le cas (comme en témoignent l'inondation de La Nouvelle Orléans en août 2005 et la tempête Xynthia qui a inondé une partie du littoral français en mars 2010) faute de données fiables sur les périodes de retour des tempêtes par exemple.

4.5 La couche d'ozone [1]

L'effet de serre favorise la destruction de la couche d'ozone. En effet, les gaz à effet de serre refroidissent les couches supérieures de l'atmosphère (la stratosphère) ce qui attise l'action destructrice de l'ozone des molécules de chlore des CFC. Ainsi, les populations qui vivent aujourd'hui en Arctique recevront une dose d'UV 30% supérieure (ACIA, 11/2004).

4.6 La biodiversité [1]

Le vivant est affecté par le changement climatique puisque des mouvements de milliers d'espèces sont enregistrés sur tous les continents.

Modification des cycles de vie, accroissement du risque d'extinction de certaines espèces vulnérables, déplacement des aires de répartition et réorganisation des interactions entre les espèces (fragmentation, compétition) en sont les principales conséquences. Selon les biologistes, un réchauffement de 1°C se traduit par un déplacement vers le nord de 180 km (et de 150 m en altitude), en moyenne, des aires de répartition des espèces.

4.7 La végétation [1]

L'augmentation des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère ont, à court terme, des effets bénéfiques sur la végétation. En effet, depuis une trentaine d'années, les terres végétalisées, situées principalement aux tropiques et à des latitudes élevées, ont gagné de 25 % à 50 % de couverture foliaire tandis qu'à l'inverse, seulement 4 % des sols ont vu décliner leur végétation. Au total, ce « verdissement » récent concerne 18 millions de km.

Selon les simulations des scientifiques, ce phénomène est dû pour 70% à l'effet fertilisant du CO₂ atmosphérique, pour 9% à l'augmentation de l'azote dans l'environnement et pour 8% au réchauffement climatique.

Malheureusement, l'effet fertilisant s'affaiblit et deviendrait inefficace avec des teneurs en CO₂ plus élevées. De plus, cette densification de la végétation ne doit pas occulter la réalité de la déforestation et son impact défavorable sur le climat.

4.8 Santé

Les conséquences seront largement négatives. Ces incidences pourront être directes (comme l'exposition à de nouveaux stress thermiques et à de nouveaux types de phénomènes extrêmes) ou indirectes (accroissement de la présence de certains pollens, moisissures ou polluants atmosphériques, malnutrition, risque accru de maladies transmises par vecteurs ou dues à la contamination de l'eau, surcharge du système de soins de santé). En effet, l'extension géographique de plusieurs maladies majeures comme la malaria (1 milliard de personnes infectées), la dengue, la leishmaniose... Dépend de la hausse des températures.

5 Cas de l'Algérie

5.1 Vulnérabilité de l'Algérie aux Changements Climatiques [10]

En ce qui concerne l'Algérie, qui se trouve en zone méditerranéenne qui est considérée comme une zone « Hot spot ». D'après les modèles du GIEC (rapport du GIEC ,2007), le pays est très vulnérable aux changements climatiques .il y'a risque d'avoir prolongation des périodes chaudes, des fortes précipitations sur courte durée qui peuvent mener à des inondations, ainsi l'intensification des processus de désertification et la diminution des ressources en eau.

5.2 Emissions des GES en Algérie [11]

L'évolution des émissions de GES présente une croissance annuelle moyenne de 2,2% (tableau 3). Ce taux de croissance semble être conforme à l'augmentation de la consommation annuelle moyenne d'énergie au cours de cette période.

Tableau 3:Evolution temporelle des émissions des GES en Algérie

Année	Émissions totales de GES dans MT CO ₂ eq	Émissions de GES par habitant en T CO ₂ eq / hab
1990	104,8	3,10
2000	117,4	3,95
2008	137,01	4,1
2010	152 ,89	4,26

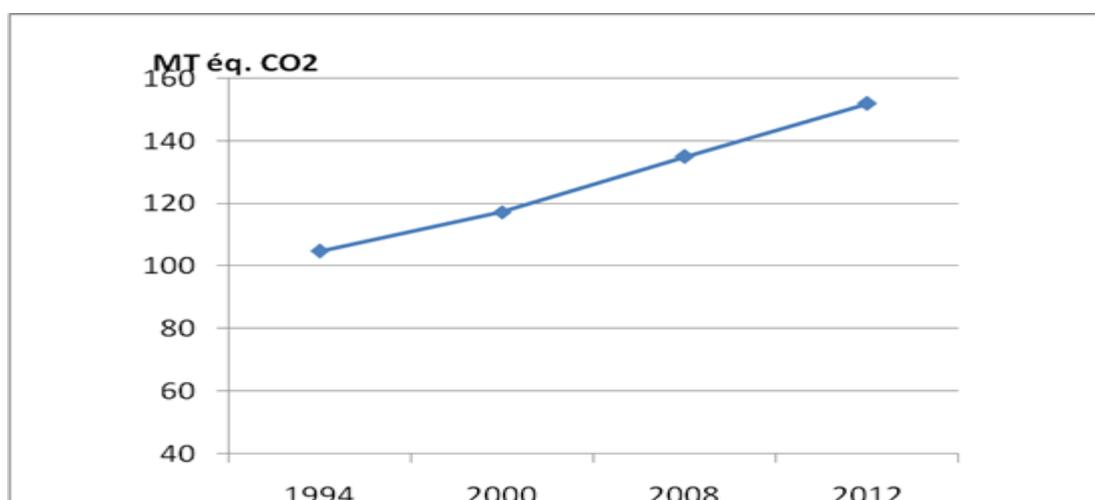


Figure 8:évolution des émissions des GES en Algérie

Chapitre II

Les énergies renouvelables

L'énergie est nécessaire au développement de l'humanité. Sa consommation a fortement augmenté depuis l'ère industrielle et, compte tenu de l'évolution de la population mondiale, la demande sera sans cesse plus importante. Il ne faut pas gaspiller cette richesse et penser dès maintenant à l'avenir. En effet, si l'énergie est bon marché aujourd'hui, il est fort possible que ce ne soit plus le cas demain.

Pour un développement durable, le recours à l'utilisation des systèmes énergétiques à sources d'énergies renouvelables est devenu indispensable. Connaissant les problèmes rencontrés pour le transport de l'énergie électrique dans les zones éloignées, ainsi que le coût élevé, il serait plus rentable d'exploiter les gisements solaire et éolien qui y sont importants.

Ce chapitre donne un bref aperçu des sources d'énergie dont le monde et l'Algérie plus particulièrement dispose.

1 Définition des énergies renouvelables [12]

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des végétaux...etc. On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par opposition aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz, uranium). Contrairement à celle des énergies fossiles, l'exploitation des énergies renouvelables n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. Mais elles sont encore sous-exploitées par rapport à leur potentiel puisque ces énergies renouvelables ne couvrent que 20 % de la consommation mondiale d'électricité.

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

Il existe 5 familles d'énergies renouvelables :

- **Le solaire photovoltaïque** : L'électricité est produite à partir de la lumière du soleil au moyen d'installations photovoltaïques. Celles-ci alimentent des sites isolés ou le réseau de distribution général.

- **Le solaire thermique** : On utilise des capteurs solaires pour produire de l'eau chaude sanitaire. Ce procédé peut aussi permettre le chauffage, notamment par le sol.

- **L'éolien** : Entraînés par le vent, les aérogénérateurs fabriquent des dizaines de millions de mégawatheures. Cette électricité éolienne permet d'alimenter des sites isolés mais aussi les grands réseaux de distribution. Les éoliennes mécaniques servent à pomper de l'eau dans de nombreux pays. Les centrales ne dépassant pas 10 MW de puissance constituent ce qu'on appelle la petite hydroélectricité. La force motrice des chutes d'eau est utilisée par des turbines installées sur les rivières et les fleuves pour générer de l'électricité. Les petites centrales avec les grands barrages et les usines marémotrices forment la filière hydraulique, deuxième source d'énergie renouvelable dans le monde.

- **La biomasse** : La biomasse (masse des végétaux) regroupe le bois, la paille, les rafles de maïs, le biogaz et les biocarburants. Le bois issu des déchets de la forêt ou des industries du bois est brûlé pour produire de la chaleur. Il représente 14 % de la consommation énergétique mondiale. Le biogaz est issu de la fermentation des déchets organiques. Sa combustion produit de la chaleur, mais également de l'électricité par cogénération. Les biocarburants proviennent de plantes cultivées (tournesol, betterave, colza...) : les plus courants sont le biodiesel (ou ester méthylique d'huile végétale, EMHV), l'éthanol, et son dérivé, l'éthyl-tertio-butyl-éther, ou encore l'ETBE.

- **La géothermie** : Cette énergie Utilisant la chaleur du sous-sol, la géothermie peut permettre de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée).

2 L'énergie solaire

2.1 Définition

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables.

L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire des panneaux photovoltaïques. C'est une énergie propre qui n'émet aucun gaz à effet de serre.

En pratique inépuisable, l'énergie du soleil est une source abondante sur la planète Terre, elle est disponible partout dans le monde, gratuit et inépuisable.

2.2 Formes de l'énergie solaire [13]

L'énergie solaire, peut être convertie en chaleur ou en électricité. On distingue deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire

- Conversion en électricité : énergie solaire photovoltaïque.
- Conversion en chaleur : énergie solaire thermique.

2.2.1 Énergie solaire photovoltaïque

Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux solaires photovoltaïques. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, etc.) des photons en électrons. L'énergie solaire photovoltaïque est également appelée énergie photovoltaïque.

2.2.2 Énergie solaire thermique

Désigne l'énergie récupérée sous forme de chaleur à partir de la lumière du soleil. L'énergie solaire thermique peut être utilisée de façon passive ou active. On parle de solaire thermique passif pour les installations permettant de chauffer directement un bâtiment par ses surfaces vitrées (effet de serre) et/ou l'accumulation de chaleur sur des murs exposés au rayonnement

solaire. Le solaire thermique actif consiste à récupérer la chaleur du soleil dans des panneaux solaires ou capteurs solaires thermiques dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ce fluide chauffé dans les panneaux solaires peut stocker sa chaleur dans un ballon à accumulation qui alimente ensuite un circuit de chauffage.

2.3 Fonctionnement d'une installation solaire [14]

Trois éléments sont nécessaires à une installation photovoltaïque : des panneaux solaires, un onduleur et un compteur.

Ces trois éléments permettent de récupérer l'énergie transmise par le soleil, de la transformer en électricité puis de la distribuer à l'ensemble des clients connectés au réseau.

- Intégrés au toit, les panneaux solaires convertissent directement la lumière en courant électrique continu : Les « **grains** » de lumière qu'on appelle **photons**, en pénétrant très légèrement dans le **silicium**, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant.
- L'onduleur permet ensuite de transformer l'électricité obtenue en courant alternatif compatible avec le réseau.
- Le compteur mesure la quantité de courant injectée dans le réseau.

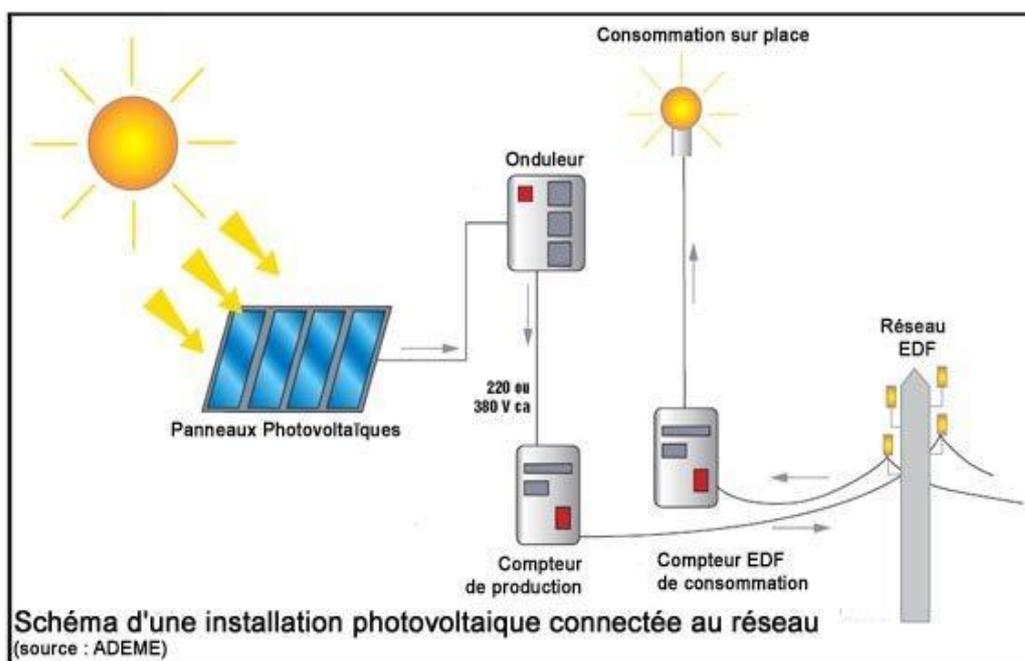


Figure 9:schéma d'une installation photovoltaïque

2.4 Potentiel solaire en Algérie [15]

Le potentiel national en énergies renouvelables est fortement dominé par le solaire. De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires des plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre 3900 heures sur les Hauts Plateaux et au Sahara (figure 10). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale est de l'ordre de 5 KWh/m² sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2650 KWh/m²/an au Sud du pays.

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh, soit 10⁸ fois la consommation nationale en électricité. Les estimations du Centre aérospatial allemand (DLR) aboutissent aux données suivantes :

- Une surface de 1 Km² du sahara peut générer 50 MW d'électricité ou une production de 200 à 300 GWh /an.
- Une surface saharienne de 1 km² permet d'éviter l'émission de 200000 TCO₂/an

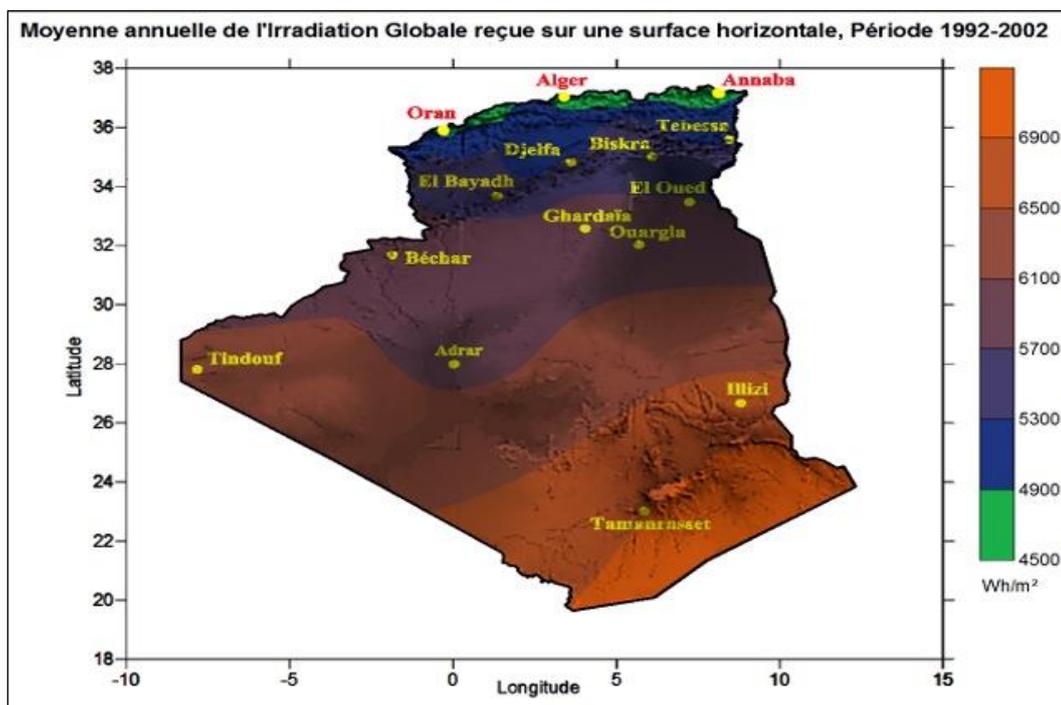


Figure 10: Carte solaire de l'Algérie

En d'autres termes, la couverture en panneaux de 0,4 % de la surface du Sahara produirait toute l'électricité que nécessite l'Europe des 25. Une couverture de 2% du Sahara répondrait aux besoins actuels de la planète (figure 11) . Les larges espaces, le relief plat, le climat peu

humide et les moyens de transport existants renforcent cet énorme potentiel algérien pour le développement de l'énergie solaire.

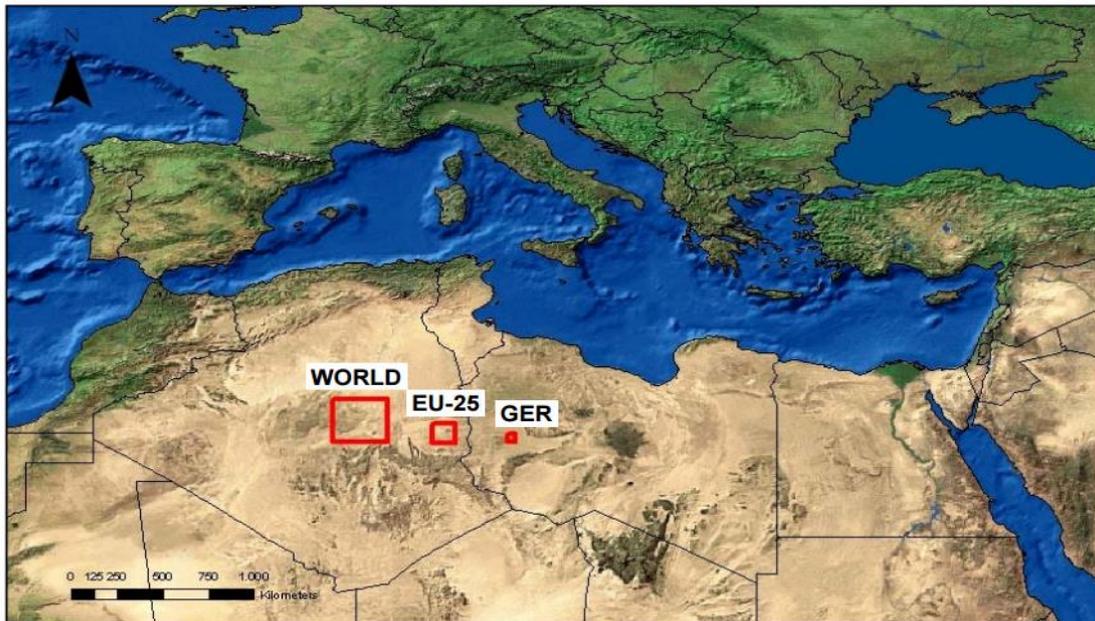


Figure 11:Aires du Sahara (carrés rouges) nécessaires pour répondre aux besoins en électricité du monde, de l'Europe des 25 et de l'Allemagne

3 L'énergie éolienne

3.1 Définition

L'énergie éolienne est l'énergie cinétique des masses d'air en mouvement autour du globe. La racine étymologique du terme « éolien » provient du nom du personnage mythologique Éole, connu en Grèce antique comme le maître des Vents. L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire : les rayons solaires absorbés dans l'atmosphère entraînent des différences de température et de pression. De ce fait les masses d'air se mettent en mouvement et accumulent de l'énergie cinétique.

Celle-ci peut être transformée et utilisée à plusieurs fins :

- **la transformation en énergie mécanique** : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (voilier ou char à voile), pour pomper de l'eau (éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.

- **la production d'énergie électrique** : l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène), un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie. Une éolienne est parfois qualifiée d'aérogénérateur dès lors qu'elle produit de l'électricité.

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable qui ne produit pas directement de gaz à effet de serre en phase d'exploitation.

3.2 Les modes d'exploitation de l'énergie éolienne

- Les éoliennes terrestres dites « onshore » sont installées sur la terre.
- Les éoliennes dites « offshore » sont installées en mer.

On distingue par ailleurs deux typologies d'installations :

- industrielles : les grands parcs éoliens (ou « fermes éoliennes ») raccordés au réseau électrique.
- domestiques : des petites éoliennes installées chez les particuliers.

3.3 Enjeux par rapport à l'énergie

Considérée comme une énergie propre, l'énergie éolienne connaît un essor important. Parmi les énergies renouvelables, elle est considérée comme une technologie mature et la plus économique après l'hydroélectricité. D'après le GWEC (Global Wind Energy Council), la capacité installée du parc éolien mondial a plus que doublé entre fin 2010 et fin 2015. A cette date, elle atteint près de 432,4 GW. Malgré cette croissance, sa part dans la production d'électricité mondiale totale reste limitée à environ 3%.

Au-delà de la donne économique et environnementale, l'énergie éolienne suscite un intérêt particulier car elle peut contribuer à la diversification des mix électriques et à l'indépendance énergétique des pays.

3.3.1 Les atouts de l'énergie éolienne

- L'énergie éolienne est renouvelable et « décarbonée » en phase d'exploitation.
- Le terrain où les éoliennes sont installées reste toujours exploitable pour les activités industrielle et agricole. L'installation peut être démantelée relativement facilement.
- Leur développement offshore présente un potentiel non négligeable.
- Implantées localement, les éoliennes peuvent permettre de répondre à des besoins électriques de masse tout comme à des besoins domestiques limités, selon leur taille.

3.3.2 Les problèmes qui se posent

- L'énergie éolienne dépend de la puissance et de la régularité du vent.
- C'est une source d'énergie intermittente.
- Les zones de développement sont limitées.
- Les éoliennes peuvent susciter des conflits d'usage d'ordre environnemental comme les nuisances visuelles et sonores.
- Il peut exister des conflits d'utilisation de l'espace terrestre ou marin avec les autres usagers (exemple : pêcheurs, plaisanciers).

3.4 Potentiel éolien en Algérie

Etant engagée dans une nouvelle phase d'exploitation des énergies renouvelables, l'Algérie prévoit d'atteindre à l'horizon 2030 près de 40% de la production nationale d'électricité de sources renouvelables. Bien que le choix de l'énergie solaire soit prédominant, l'énergie éolienne représente le deuxième axe de production de ce programme. Avant d'étudier la possibilité d'implanter une ferme éolienne dans une région donnée, il est nécessaire de faire des études du gisement éolien pour une connaissance précise de la météorologie du vent.

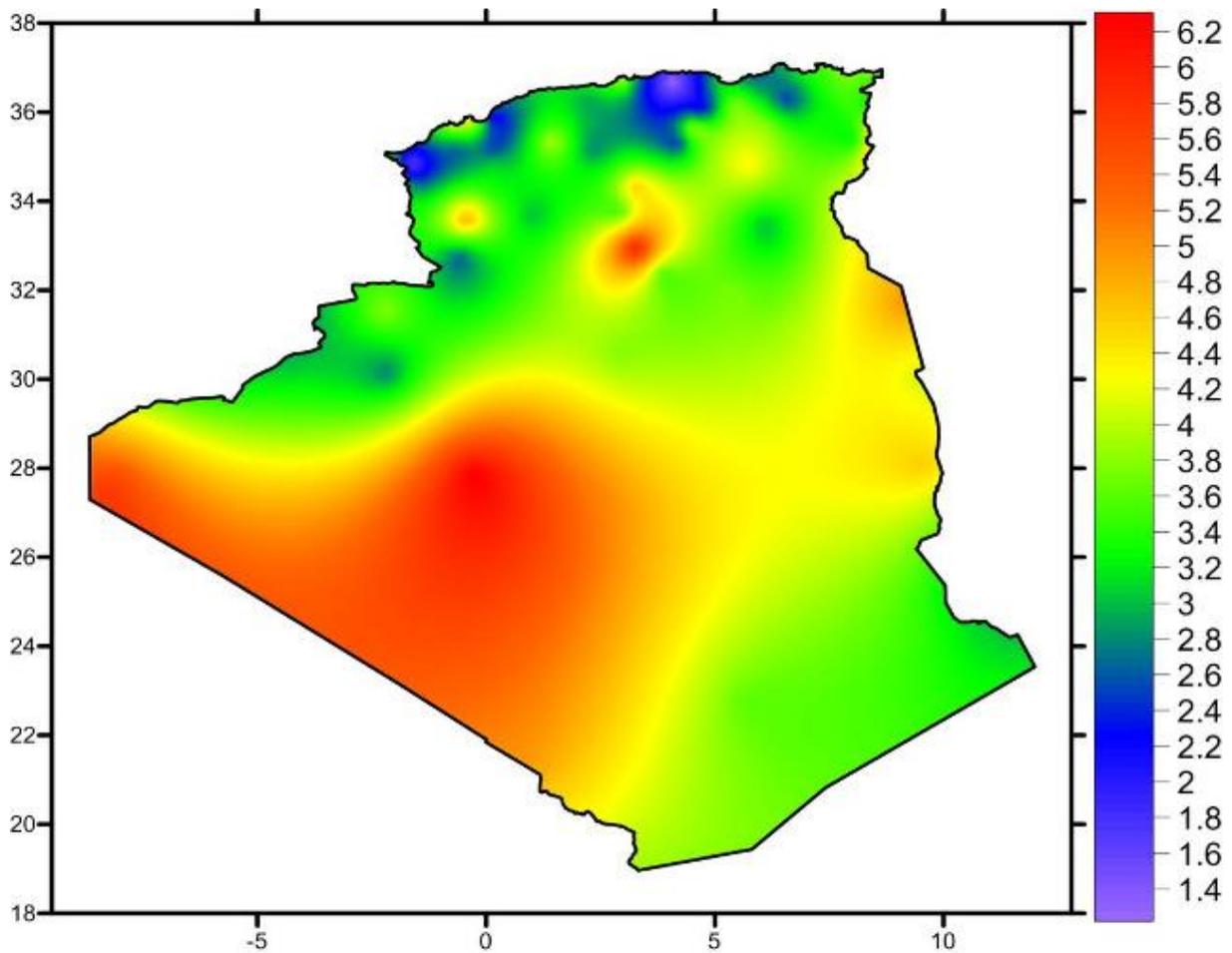


Figure 12: Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol [16]

4 Programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030 en Algérie [17]

La révision du programme national porte essentiellement sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique (CSP).

La consistance du programme en énergies renouvelables à réaliser les besoins du marché nationale sur la période 2015-20130 est de 22 000 MW, dont plus de 4 500MW seront réalisés d'ici 2020.

Les capacités en ces énergies seront installées selon les spécificités de chaque région.

La répartition de ce programme par filière technologique, se présente comme suit :

Solaire photovoltaïque	13 575 MW
Eolien	5 010 MW
Solaire thermique	2 000 MW
Biomasse	1 000 MW
cogénération	400 MW
Géothermie	15 MW

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan nationale de production d'électricité.

Le volume de gaz naturel épargné par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environs 300 milliards de m³, soit un volume équivalent à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014.

Chapitre III
La consommation
énergétique en Algérie

Dès son indépendance, en 1962, l'Algérie avait opté pour le développement du secteur de l'énergie, dans le cadre d'une politique nationale visant le développement des infrastructures électriques et gazières. Cette politique prévoit l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel comme une priorité absolue pour l'amélioration de la qualité de vie du citoyen et de la situation économique du pays.

La charte nationale en 1976, annonça la volonté de généralisation de l'électrification des ménagers à travers tout le territoire national.

Ces dernières années, la demande en électricité a connu une évolution importante et particulièrement en périodes estivale, atteignant des pics de consommation importants. Cette forte augmentation de la demande est une conséquence directe du changement des habitudes du consommateur et l'amélioration de sa qualité de vie, ainsi que la pulsion donnée au secteur économique et industriel.

Conscient de cet enjeu et de l'importance de l'accès à l'électricité pour les citoyens, le secteur s'est fixé comme priorité de développer tous les axes permettant de garantir la couverture à long terme, des besoins en électricité et en gaz du pays, notamment par la diversification des sources d'énergie, le développement du parc de production électrique et des infrastructures de transport et de distribution de l'électricité et du gaz.

Jusqu'à-là, l'entreprise Sonelgaz détenait le monopole sur la production, le transport, la distribution de l'électricité ainsi que le transport et la distribution du gaz. Sonelgaz en tant qu'entreprise publique au terme du monopole conféré par l'Etat, assumait seule la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz.

La promulgation de la nouvelle loi n° 02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations a donné le coup d'envoi pour la réorganisation du secteur et l'ouverture du marché électrique à la concurrence.

1 La Production d'Electricité

1.1 Parc de Production National

Les impératifs de préservation de l'environnement imposent l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, par rapport aux autres énergies fossiles jugées polluantes, sachant que la ressource du gaz est largement disponible en Algérie. Mais la préoccupation environnementale exige aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants au sud du pays. Les perspectives de relance de l'économie se traduiront également par un impact certain sur le plan socio-économique et par conséquent, une augmentation notable de la consommation d'électricité, notamment en saison estivale.

1.2 Puissance installée de production d'électricité

Beaucoup d'efforts ont été fournis par Sonelgaz et ses sociétés filiales pour le renforcement des capacités de production, qui a connu ces dernières années une évolution conséquente de la puissance de production d'électricité installée. La répartition de la puissance installée par filière et par producteur pour l'année 2015 est illustrée dans les graphiques 13 :

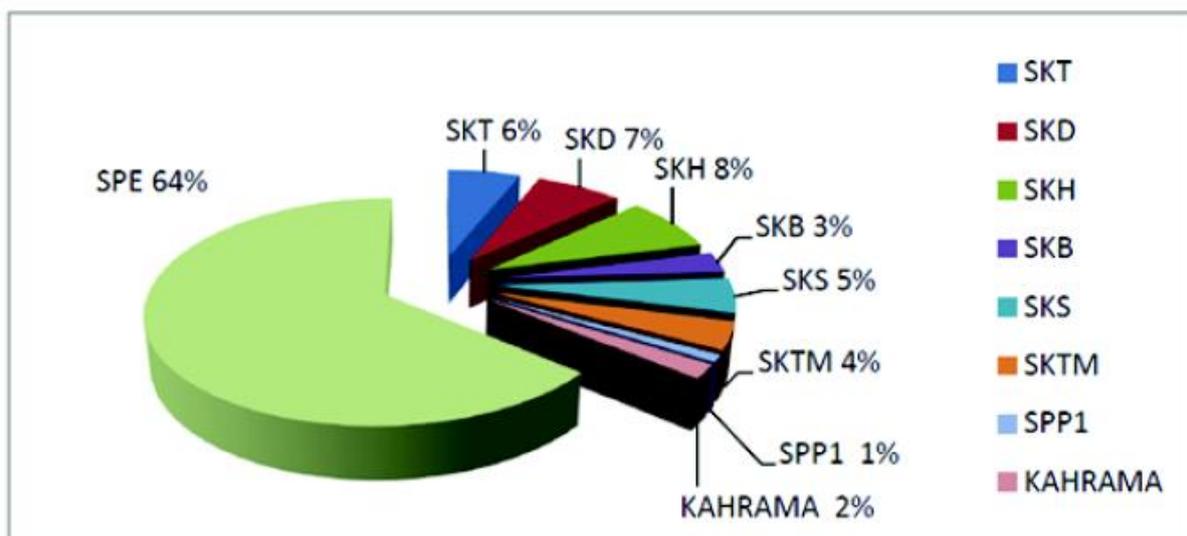


Figure 13: Puissance installée par producteur

Le tableau 4 montre l'évolution de la puissance installée entre 1980 et 2015 par producteur.

Tableau 4: Evolution de la puissance installée 1980-2015 par producteur (MW) [18]

	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
SPE	1852	4567	6762	6736	6752	6844	8439	8446	8506	8845	9351	10131	11258,7
SKTM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	448	528	681,8
Kahrama	-	-	230	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
SKS	-	-	500	825	825	825	825	825	825	825	825	825	825
SKB	-	-	-	-	489	489	489	489	489	489	489	489	489
SKH	-	-	-	-	-	-	1227	1227	1227	1227	1227	1227	1227
SPP₁	-	-	-	-	-	-	-	150	150	150	150	150	150
SKT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1122	1122	1122	1122
SKD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140	1140	1140
Total	1852	4567	7492	7906	8411	8505	11325	11482	11542	130003	15097	15957	17238,6

1.3 Production d'énergie primaire [19]

La production commerciale d'énergie primaire a atteint 154,9 M Tep en 2015, soit un niveau quasi-identique aux réalisations de l'année 2014 (-0,3%). En effet, la hausse de la production du gaz naturel et des GPL aux champs a compensé la baisse de la production du pétrole brut, du condensat ainsi que de l'électricité primaire (hydraulique).

Le tableau 5 donne l'évolution de la production par produit :

Tableau 5: Production d'énergie primaire

Production d'énergie primaire	Unités	2014	2015	Evolution	
				Quantité	(%)
Gaz naturel	K Tep	78 715	79 931	1 217	1,5
	10 ³ m3	83 296	84 583		
Pétrole brut	K Tep	56 038	54 250	-1 788	-3,2
	K Tonnes	50 805	49 184		
condensat	K Tep	11 069	10 885	-185	-1,7
	K Tonnes	9 778	9 615		
GPL aux champs	K Tep	9 439	9 753	314	3,3
	K Tonnes	7 999	8 265		
Electricité primaire	K Tep	60	53	-7	-12,2
	GWh	254	223		
Combustibles solides : Bois	K Tep	6	6	-	0,2
	10 ³ m3	31	32		
Total	K Tep	155 327	154 878	-449	-0,3

De la figure 14, il ressort que la structure de la production d'énergie primaire de 2015 reste dominée par le gaz naturel à hauteur de 52%.

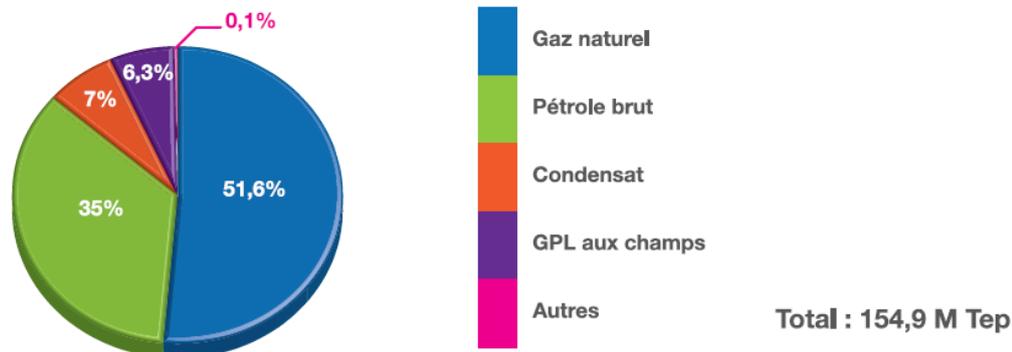


Figure 14 : Structure de la production d'énergie primaire

Dans la production d'électricité qui est quasi-exclusivement à base du gaz naturel, on note une nette évolution des centrales à cycle combiné qui présente un meilleur rendement (tableau6) .En 10 ans (2006 à 2015), la production a pratiquement doublée. Ceci a permis d'atteindre une électrification de plus de 98 % et de raccorder plus de 50 % des foyers au gaz naturel.

Tableau 6:Evolution de l'énergie électrique produite 1980-2015 (MWh)

Type d'équipement	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Thermique (vapeur)	3621	8397	16624	14558	14142	13384	11857	9692	9654	9422	9582	10221	1022
Thermique (gaz)	2223	6704	15679	16463	17011	20339	19940	19564	22055	24075	17400	20211	269
Cycle combiné	-	-	386	3419	5321	5704	10318	15341	15701	18623	27685	28444	26122
Hydraulique	251	135	555	218	226	277	342	177	378	389	98	193	145
Diesel	125	216	281	264	250	283	313	403	464	416	227	248	276
Hybride	-	-	-	-	-	-	-	1	619	1159	1155	1181	889
Eolien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	19
Photovoltaïque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14
Total	6220	15452	33525	34922	36950	39987	42770	45174	48871	54084	56147	60500	64662

2. Consommation nationale d'énergie

2.1 Evolution des différents agrégats [19]

Le tableau 7 montre que la consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) est passée de 55,6 M Tep à 58,3 M Tep en 2015, reflétant une hausse de 4,7 %

Tableau 7 : Consommation nationale par agrégat

K Tep	2014	2015	Evolution	
			Quantité	(%)
Consommation nationale	55 632	58 265	2 632	4,7
- Consommation finale	39 746	42 458	3 086	7,8
- Consommation non-énergétique	3 746	4 077	330	8,8
- Consommation des industries énergétiques	8 805	7 841	-965	-11,0
- Pertes	3 710	3 890	180	4,9

Cette hausse est tirée par la consommation finale (7,8%) et les industries non énergétiques (8,8%), essentiellement la pétrochimie.

A l'inverse, la consommation des industries énergétiques a connu une forte baisse de 11,0% suite à la diminution des autoconsommations de gaz naturel des unités de liquéfaction.

La structure de la consommation nationale d'énergie est illustrée dans le graphe 15 :

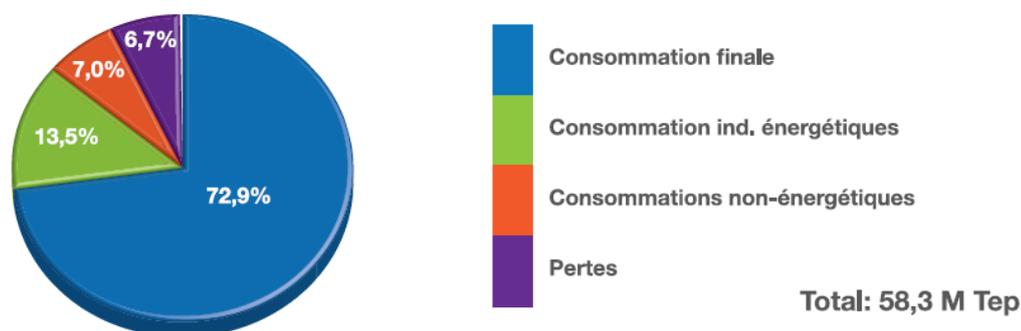


Figure 15 : Structure de la consommation nationale d'énergie

2.2 Consommation des industries énergétiques [19]

Cette branche regroupe les industries de transformation et de transport (raffineries, centrales électriques, unités GNL et GPL, infrastructures de transport...etc.), avec une part de 13% dans la consommation totale d'énergie

En 2015, cette consommation a été de 7,8 M Tep, reflétant une baisse de 11,0% par rapport à 2014, en raison d'une chute de plus de 1 M Tep des autoconsommations de gaz naturel dans les unités de liquéfaction.

Le tableau 8, donne l'évolution de la consommation de cette branche :

Tableau 8 : Consommation des industries énergétiques

Production d'énergie primaire	Unité	2014	2015	Evolution	
				Quantité	(%)
Gaz naturel	K Tep	6 394	5 350	-1 044	-16,3
	10 ⁶ m3	6 766	5 662		
Pétrole brut	K Tep	561	678	117	-3,2
	K Tonnes	508	615		
Electricité	K Tep	1 737	1 770	33	1,9
	GWh	7 281	7 418		
Autres (GPL, GNL, Gaz de hauts fourneaux)	K Tep	113	42	-71	-62,8
Total	K Tep	8 805	7 841	-964	-11,0

La figure 16, donne la répartition de la consommation énergétique par activité, marquée par la part importante de l'autoconsommation des unités de liquéfaction.

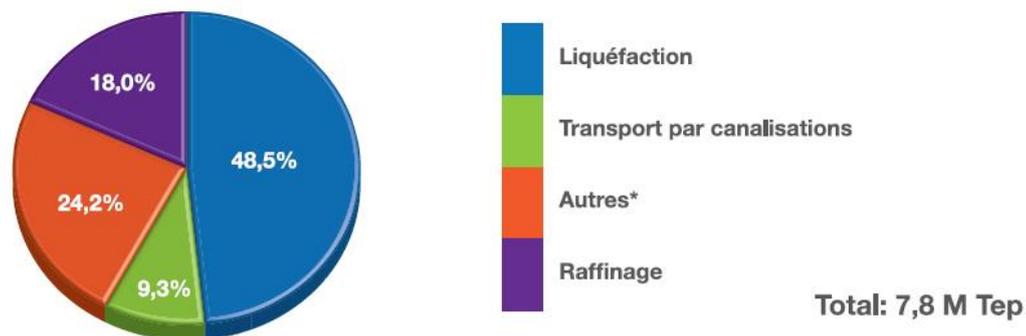


Figure 16 : Structure de la consommation des industries énergétiques par activité

2.3 Evolution par forme d'énergie [19]

Le tableau 9 montre une hausse de la consommation nationale présentée notamment par l'électricité (7,4%) et le gaz naturel (3,9%).

Tableau 9 : Consommation nationale par forme d'énergie.

	Unité	2014	2015	Evolution	
				Quantité	(%)
Gaz naturel	K Tep	20 549	21 345	+796	+3,9
	10 ⁶ m ³	21 745	22 588		
Produits pétroliers	K Tep	16 119	16 593	+475	+2,9
	K Tonnes	15 401	15 857		
Electricité	K Tep	15 280	16 408	+1 127	+7,4
	GWh	64 050	68 766		
GPL	K Tep	2 294	2 264	-30	-1,3
	K Tonnes	1 944	1 919		
Pétrole brut	K Tep	1 014	1 288	+273	+26,9
	K Tonnes	920	1 167		
Condensat	K Tep	17	23	+7	+39,5
	K Tonnes	15	21		
Produits solides (coke sidérurgiques, bois)	K Tep	22	29	+8	+34,8
Produits solides (GNL, GHF)	K Tep	338	314	-23	-6,9
Total	K Tep	55 632	58 265	+3 449	+6,2

La figure 17, donne la répartition de la consommation énergétique par activité, marquée par la domination du gaz naturel (36%) suivi par les produits pétroliers et l'électricité (28% chacun).

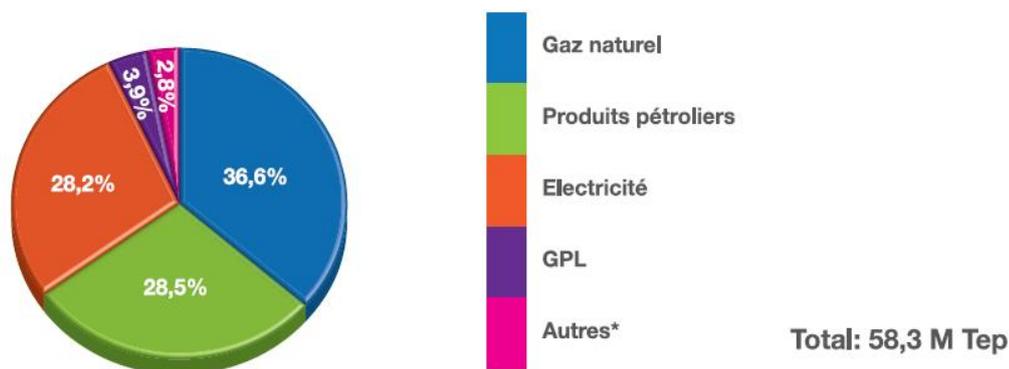


Figure 17 : Structure de la consommation des industries énergétiques par forme d'énergie

Il est à noter la hausse importante (7,4%) de la consommation d'électricité à 16 408 K Tep, ce qui dénote les besoins croissants en énergie électrique, durant les dernières années notamment, avec le développement économique du pays et l'amélioration du niveau de vie de la population.

Par ailleurs, les pertes d'électricité n'ont augmenté que de 2% à 11,2 TWh, dues respectivement aux :

- Pertes de distribution (79%), y compris les pertes non techniques causées par le phénomène du piratage du réseau électrique.
- Pertes de transport (21%).

2.4 Consommation finale [19]

Cette consommation qui comprend tous les usages à caractère final d'énergie et représente 73% de la consommation nationale, a atteint 42,5 Mtep en 2015, reflétant une hausse de 3,1 Mtep par rapport à 2014. L'évolution de la consommation finale par produit et par secteur d'activité est détaillée ci-après :

2.4.1 Par produit

Le tableau 10 donne l'évolution de la consommation finale par produit qui a connu une croissance tous produits confondus

Tableau 10: Consommation finale par produit

	Unité	2014	2015	Evolution	
				Quantité	(%)
Produits pétroliers	K Tep	14 989	15 975	986	6,6
Gaz naturel	K Tep	11 207	12 248	1 041	9,3
Electricité	K Tep	10 918	11 966	1 048	9,6
GPL	K Tep	2 236	2 239	3	0,1
Coke sidérurgique	K Tep	14	23	9	61,6
Autres : Bois	K Tep	6	6	-	0,2
Total	K Tep	39 371	42 458	3 086	7,8

L'évolution de la consommation finale par produit fait ressortir ce qui suit :

- Hausse de 9,3% de la demande sur le gaz naturel à 12,2 M Tep, tirée par les besoins croissants des clients de la basse pression ;
- Croissance de l'électricité (9,6%) pour atteindre 12,0 M Tep, tirée notamment par la forte demande des clients de la basse tension (essentiellement les ménages) ;
- Hausse de 6,6% des produits pétroliers pour atteindre 16,0 M Tep, tirée par la demande sur le gasoil et les essences;
- Stabilité de la consommation finale des GPL (0,2%) à 2,2 M Tep.

La répartition de la consommation finale par produit est comme suit :

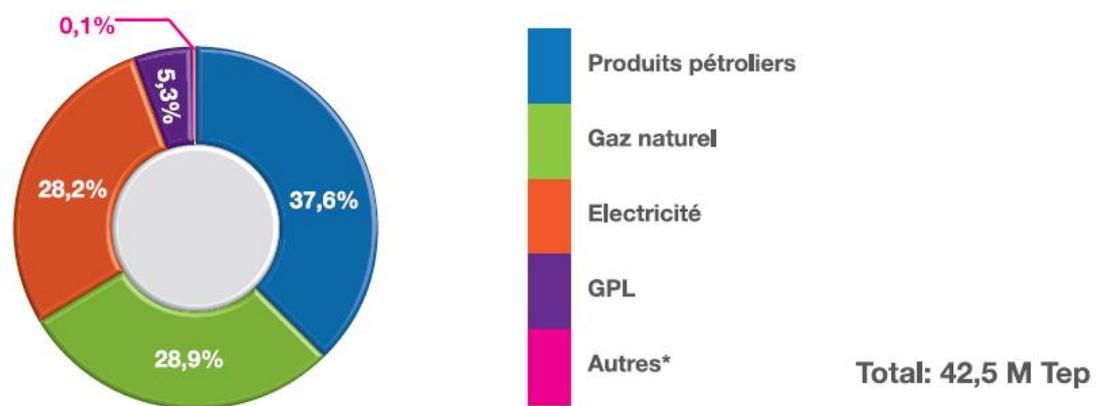


Figure 18 : Structure de la consommation finale par produit

De la figure ci-dessus, il ressort que la structure de la consommation finale reste dominée par les produits pétroliers (38%).

2.4.2 Par secteur

Par secteur d'activité, l'évolution de la consommation finale en 2015 fait ressortir ce qui suit :

- La consommation des "ménages et autres" représente près de 43% de la consommation finale. Elle a augmenté de 9,4% pour atteindre 18,1 M Tep en 2015, tirée par la consommation du sous- secteur résidentiel (10,5%), sous l'effet de la conjonction de plusieurs facteurs notamment, le développement démographique, le nombre important de logements livrés ainsi que l'accroissement du nombre de clients BT qui a avoisiné 350 000 nouveaux clients en 2015 ;

- La consommation du secteur des ‘‘transports’’ a atteint 15,5 M Tep en 2015, soit une croissance de près de 1,0 M Tep (6,5%) par rapport à l’année précédente, en raison principalement de la hausse de la consommation des carburants (augmentation du parc automobile national, avec près de 270 000 nouveaux véhicules importés en 2015);
- La consommation du secteur ‘‘industries et BTP’’ a connu une croissance de 7,0% par rapport à l’année 2014, passant de 8,2 M Tep à 8,8 M Tep en 2015, due à la hausse de la consommation du sous-secteur matériaux de construction (6,5%) et des industries manufacturières (6,9%).

L’analyse de l’utilisation finale de l’énergie par secteur d’activité (Figure 19) met en lumière la prépondérance du secteur des ‘‘ménages et autres’’ (y compris agriculture), qui représente 42,7% contre 36,5% pour le transport et 20,8% pour l’industrie.

Ceci reflète notamment l’amélioration du niveau de vie des citoyens.

2.5 Bilan global pour l’électricité

Tableau 11: Bilan global pour l’énergie électrique pour l’année 2015

Electricité	GWh
Production nationale totale	68 798
1- Répartition par producteur :	
1.1- Production d’électricité primaire	223
a- Produite par Sonelgaz (Hydraulique, Eolien, Solaire)	178
b- Production indépendante (SPP1)	44
1.2- Production d’électricité dérivée	68 575
a- Produite par Sonelgaz (SPE + SKTM)	31 961
b - Production indépendante (KAHRAMA, SKS, SKB, SKH, SKT, SKD, SPP1, CEVITAL)	32 479
c- Production autonome	4 135
2- Production par filière (Origine) :	
2.1- Turbine gaz	26 970
2.2- Turbine vapeur	10 227
2.3- Diesel	276
2.4- Cycle combine	26 123
2.5- Hydraulique	145
2.6- Centrale hybride (SPP1)	889
2.7- Production autonome	4 135
2.8- Autres (solaire, éolien ... etc.)	33

Les prévisions de la consommation d’électricité pour l’année 2016 sont estimées à une augmentation de 6% par rapport au bilan effectué en 2015.

Le nouveau bilan d'électricité pour l'an 2016 est présenté sur le tableau 12 :

Tableau 12: Bilan global pour l'énergie électrique pour l'année 2016

Electricité	GWh
Production nationale totale	72 926
1- Répartition par producteur :	
1.1- Production d'électricité primaire	236,4
a- Produite par Sonelgaz (Hydraulique, Eolien, Solaire)	188,7
b- Production indépendante (SPP1)	46,6
1.2- Production d'électricité dérivée	72 689,5
a- Produite par Sonelgaz (SPE + SKTM)	33 878,7
b - Production indépendante (KAHRAMA, SKS, SKB, SKH, SKT, SKD, SPP1, CEVITAL)	34 427,7
c- Production autonome	4 383,1
2- Production par filière (Origine) :	
2.1- Turbine gaz	28 588,2
2.2- Turbine vapeur	10 840,2
2.3- Diesel	292,6
2.4- Cycle combine	27 690,4
2.5- Hydraulique	153,7
2.6- Centrale hybride (SPP1)	942,3
2.7- Production autonome	4 383,1
2.8- Autres (solaire, éolien ... etc.)	35

En résumé de cette analyse, on retiendra que l'Algérie a produit environ 158 MTep, dont seulement 37 % ont été consommé localement, le reste, soit environ les 2/3 ont été exportés.

3 Estimation de la production d'énergie 2015-2030

L'estimation de la production d'énergie est déduite à partir des rapports annuels présentés par la SONELGAZ. Les prévisions tirées pour la production d'énergie électrique par voie classique Thermique avec gaz naturel, par voie Thermique en cycle combiné et par l'exploitation des énergies renouvelables sont présentés ci-après :

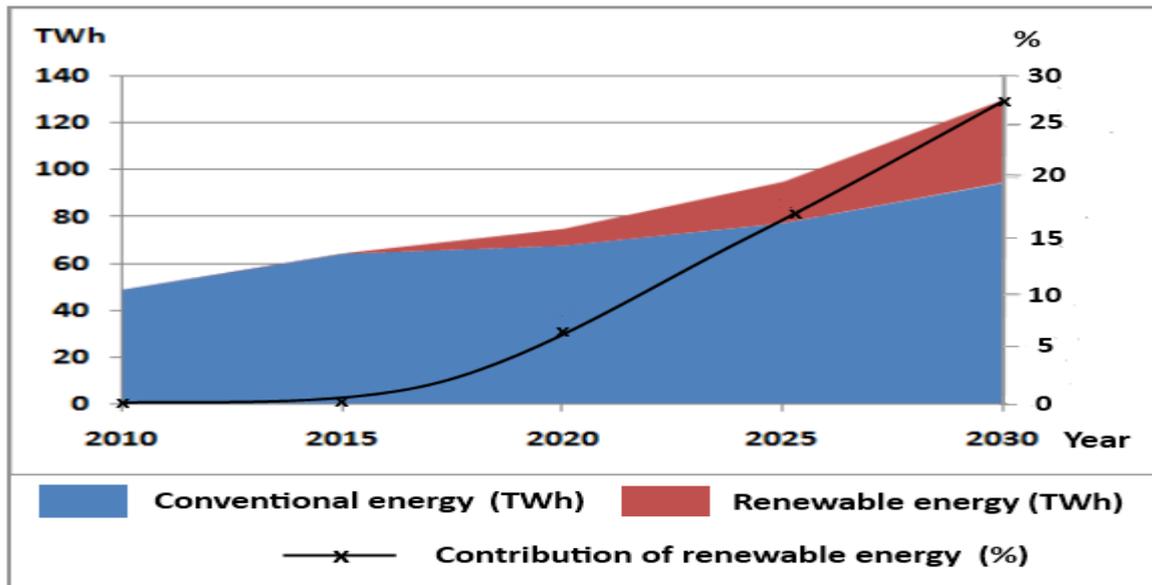


Figure 19: Estimation de la production d'énergie pour la période 2015-2030

La figure 19 montre que la contribution des énergies renouvelables atteindra un pourcentage de 27% pour la production d'énergie électrique au-delà de 2030, ce qui correspondra à une consommation d'un tiers de la consommation nationale selon le programme du développement des énergies renouvelables élaboré en 2015.

3.1 Production de l'électricité conventionnelle sans la contribution des énergies renouvelables

Sans les énergies renouvelables, l'électricité est générée par un cycle combiné à un taux de 55%, 70% et 80% respectivement à 2020, 2025 et 2030. Actuellement il se produit avec 44% de cycle combiné et 56% de turbine à gaz conventionnelle. Ceci est important car les facteurs d'émissions dépendent du type de centrale électrique utilisé pour la génération de cette énergie [20].

La consommation électrique de 2016 correspond à une augmentation de 6% par rapport à celle enregistrée en 2015.

Tableau 13: Estimation de la production d'énergie électrique en Algérie pour la période 2015-2030

Année	Electricité conventionnelle en GWh
2015	68000
2016	72000
2017	72720
2018	73500
2019	74200
2020	75000
2021	78750
2022	82700
2023	86800
2024	91200
2025	95000
2026	103200
2027	112300
2028	122000
2029	132600
2030	144200

3.2 Production de l'électricité à partir des énergies renouvelables :

La production des énergies renouvelables a connu une grande évolution en Algérie, la consistance du programme à réaliser pour les besoins du marché nationale sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW ce qui correspond à une production de 27% d'énergie électrique à partir des énergies renouvelables.

Tableau 14: Estimation de la production de l'énergie renouvelable en Algérie sur la période 2015-2030

Année	Production Energie renouvelable en GWH	Energie renouvelable %
2015	240	0,4
2016	640	0,9
2017	1760	3,1
2018	3550	5,3
2019	5390	7,5
2020	7240	9,7
2021	9216	11,5
2022	11216	13,2
2023	13220	15
2024	15300	16,7
2025	17420	18,5
2026	19820	20,2
2027	22620	21,9
2028	26060	23,6
2029	30220	25,3
2030	37260	27

3.3 Production de l'électricité conventionnelle avec contribution des énergies renouvelables

Selon le programme national des énergies renouvelable mis en œuvre par les autorités algériens, les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergies éolienne, va contribué à partir de 2015 avec des pourcentages différents à la production de l'énergies électrique, tel que selon le bilan énergétique de l'année 2015 , l'énergies électrique produite par les énergies renouvelables recouvrera un tiers de la consommation national en 2030.

Tableau 15: estimation de la production de l'énergie renouvelable et de l'électricité conventionnelle sur la période 2015-2030

Année	Production Electricité conventionnelle GWH	Production Energie renouvelable en GWH	Energie conventionnelle %	Energie renouvelable %
2015	67728	240	99,6	0,4
2016	71352	640	99,1	0,9
2017	70465,68	1760	96,9	3,1
2018	69604,5	3550	94,7	5,3
2019	68635	5390	92,5	7,5
2020	67725	7240	90,3	9,7
2021	69693,75	9216	88,5	11,5
2022	71783,6	11216	86,8	13,2
2023	73780	13220	85	15
2024	75969,6	15300	83,3	16,7
2025	77425	17420	81,5	18,5
2026	82353,6	19820	79,8	20,2
2027	87706,3	22620	78,1	21,9
2028	93208	26060	76,4	23,6
2029	99052,2	30220	74,7	25,3
2030	105266	37260	73	27

Chapitre IV

Les émissions du CO₂

Le contenu en CO₂ dépend des facteurs d'émission des intrants liés à cette activité et en particulier des facteurs d'émission associés aux sources d'énergie utilisées.

Les facteurs d'émission associés aux sources d'énergie correspondent pour l'essentiel à des émissions de CO₂. Ils s'expriment en général en gramme d'équivalent CO₂ par kilowatt heure (Gco2eq/kWh) ; pour la production d'électricité ; ils peuvent également s'exprimer en gramme d'équivalent carbone par kWh et souvent aussi en KgCO₂ eq/Tep.

La mesure réelle ou l'évaluation modélisée des facteurs d'émissions des différentes sources d'énergie permettent d'établir des bilans d'émissions et par suite d'investir dans des matériels ou dans des procédés nécessitant moins de ressources énergétiques fossiles de manière à moins affecter le climat.

Les contenus en CO₂ par activité peuvent être regroupés par ensembles d'activités présentant des caractéristiques et des finalités similaires. On parle alors de contenus en CO₂ par usage (chauffage, éclairage, transports, etc.).

Cela étant, les facteurs d'émission associés à l'énergie correspondent pour l'essentiel à des émissions de CO₂. Lorsque d'autres gaz sont pris en compte, il s'agira uniquement de méthane ou de N₂O, et pour des contributions généralement marginales.

Le tableau 13 donne quelques exemples de facteur émis par la consommation d'électricité pour différents pays.

Tableau 16:Facteurs d'émission [21]

Pays	Facteurs d'émission (KgCO₂e/KWh)
Allemagne	0,461
Algérie	0,548
Autriche	0,188
Belgique	0,220
Bulgarie	0,579
Luxembourg	0,410
Danemark	0,360
Pays-Bas	0,415
Portugal	0,255

1 Quantification des émissions

Les émissions de CO₂ sont évaluées selon les deux approches recommandées par la méthode du GIEC qui sont :

- Approche de référence
- Approche sectorielle

1.1 Approche de Référence

Cette approche permet d'estimer les émissions de CO₂ sur la base de la consommation apparente (C.A) pour chaque combustible selon la formule suivante :

$$C.A. = Pr + Ip - Ep - St - Vst$$

Où :

- Pr : Production
- Ip : importation
- Ep : Exportation
- St : Soutes
- Vst : Variation des stocks

Les émissions du CO₂ pour chaque combustible sont alors calculées en tenant compte de la teneur en carbone du combustible, du carbone stocké et de la fraction de carbone oxydé. Le carbone stocké dans les produits fabriqués par l'industrie pétrochimique ou dans les bitumes et lubrifiants est quantifié sur la base des facteurs proposés par la méthode du GIEC. Cette quantité est déduite du total des émissions obtenu par l'approche de référence. Les soutes internationales comprennent les combustibles vendus aux compagnies maritimes et aériennes étrangères et ceux consommés sur les trajets internationaux par les compagnies nationales aériennes et maritimes pour le transport des voyageurs et pour le cabotage de marchandises. Les émissions de CO₂ par l'approche de référence après déduction du carbone stocké et des soutes internationales sont estimées à 64,316 MtCO₂.

1.2 Approche sectorielle

Cette approche est plus spécifique. Elle utilise les consommations de combustibles au niveau de chaque secteur. Les émissions de CO₂, sont estimées à partir de la teneur en carbone de chaque combustible. Quant aux émissions de SO₂, elles sont évaluées sur la base des teneurs maximales en soufre fixées par les normes algériennes pour les différents combustibles. Dans la réalité, les émissions de SO₂ sont inférieures car les normes officielles représentent le seuil maximum qui ne doit pas être dépassé.

1.3 Emissions fugitives

La quantification des émissions fugitives des différents segments de l'industrie pétrolière et gazière est basée sur les facteurs d'émission par défaut pour le niveau 1 des directives du GIEC.

Ces émissions sont constituées de méthane (CH₄) et de CO₂ provenant des différentes étapes de production (sortie des puits de pétrole et de gaz, décarbonatation du gaz, purges des installations, rejets accidentels, fuites diverses. . .). Elles se produisent sous forme fugitive ou de rejets intentionnels ou non vers l'atmosphère (venting). Dans l'industrie des hydrocarbures, les principales catégories des sources d'émissions fugitives sont : le forage de puits, la production et le traitement, le transport par pipelines (brut et condensât), le raffinage pour le pétrole et pour le gaz.

Sont classées également comme fugitives les émissions provenant des gaz torchés lors de la production et le traitement des hydrocarbures (pétrole et gaz). Il s'agit de gaz liés aux activités aval non récupérés lors des activités de traitement, de raffinage et de liquéfaction et qui sont envoyés vers la torche. Les quantités torchées en 2000 représentent un total de 1152,022 millions m³.

2 Emissions globales provenant du secteur de l'électricité

A partir des tableaux 11 et 12 relatant de la consommation et production nationale les estimations de l'émission obtenue sont regroupées dans les tableaux 14 et 15.

2.1 Pour 2015 :

Tableau 17: Estimation des émissions de CO₂ issues de la production nationale d'électricité pour l'an 2015

Electricité				
	GWH	gCO₂e/KWh	TCO₂	MTCO₂
Turbine gaz	26 970	570	15 372 900	15,37
Turbine vapeur	10 227	704	7 199 808	7,199
Diesel	276	778	214 728	0,214
Cycle combine	26 123	370	9 665 510	9,665
Hydraulique	145	10	1 450	0,0014
Centrale hybride (SPP1)	889	367	326 263	0,326
Production autonome	4 135	188	777 380	0,777

2.2 Pour 2016 :

Tableau 18: Estimation des émissions de CO₂ issues de la production nationale d'électricité pour l'an 2016

Electricité				
	GWh	gCO₂e/KWh	TCO₂	MTCO₂
Turbine gaz	28 588,2	570	16 295 274	16,295
Turbine vapeur	10 840,2	704	7 631 501	7,631
Diesel	292,6	778	227 643	0,227
Cycle combiné	27 690,4	370	10 245 448	10,245
Hydraulique	153,7	10	1 537	0,0015
Centrale hybride (SPP1)	942,3	367	345 824	0,346
Production autonome	4 383,1	188	824 023	0,824

3 Emissions globales provenant du secteur de l'électricité sans contribution des énergies renouvelables

En utilisant les facteurs d'émission fournis par le GIEC et ceux indiqués par l'ADEME, nous avons calculé le CO₂ annuel évité par la contribution de la production d'électricité renouvelable. Pour l'estimation du CO₂ évité, nous considérons que sans énergie renouvelable, l'électricité est générée par un cycle combiné à un taux de 55%, 70% et 80% respectivement à 2020, 2025 et 2030. Actuellement, il se produit avec 44% de cycle combiné et 56% de turbine à gaz conventionnelle. Ceci est important car les facteurs d'émission dépendent du type de centrale électrique [20].

Tableau 19: Emissions du CO₂ issu de la production de l'électricité conventionnelle par voies thermique et par les cycles combinés

Année	Electricité conventionnelle en GWh	TCO ₂ (classique)	TCO ₂ (turbine)	TCO ₂ (total)	MTCO ₂
2015	68000	17442000	13838000	31280000	31,8
2016	72000	18468000	14652000	33120000	33,1
2017	72720	18652680	14798520	33451200	33,5
2018	73500	18852750	14957250	33810000	33,8
2019	74200	19032300	15099700	34132000	34,1
2020	75000	19237500	15262500	34500000	34,5
2021	78750	18852750	16899750	35752500	35,8
2022	82700	18384210	18665390	37049600	37
2023	86800	17811360	20554240	38365600	38,4
2024	91200	17154720	22608480	39763200	39,8
2025	95000	16245000	24605000	40850000	41
2026	103200	16470720	27492480	43963200	44
2027	112300	16642860	30747740	47390600	47,4
2028	122000	16689600	34306400	50996000	51
2029	132600	16628040	38268360	54896400	54,9
2030	144200	16438800	42683200	59122000	59,1

Le tableau ci-dessus présente les prévisions des émissions du CO₂ estimés pour la production de l'électricité par voie thermique avec gaz naturel et par les cycles combinés avec des facteurs d'émissions de valeurs successives de 570 et de 370 g/KWh. Les résultats montrent que l'utilisation de ces deux procédés relevé une augmentation des émissions du CO₂ au cours des années, tel qu'une émission de 59,1 millions de tonnes est estimée pour l'an 2030.

4 Emissions provenant du secteur des énergies renouvelables

Tableau 20: Emissions du CO₂ issu de la production de l'électricité par les énergies renouvelables

Année	Production Energie renouvelable en GWH	gCO ₂ e/KWh	TCO ₂
2015	240	50	12000
2016	640	50	32000
2017	1760	50	88000
2018	3550	50	177500
2019	5390	50	269500
2020	7240	50	362000
2021	9216	50	460800
2022	11216	50	560800
2023	13220	50	661000
2024	15300	50	765000
2025	17420	50	871000
2026	19820	50	991000
2027	22620	50	1131000
2028	26060	50	1303000
2029	30220	50	1511000
2030	37260	50	1863000

Le tableau ci-dessus présente les prévisions des émissions du CO₂ estimés pour la production de l'électricité par les énergies renouvelables avec un facteur d'émissions de 50 g/KWh due à la fabrication des panneaux par énergie fossile. Les résultats montrent que l'utilisation des énergies renouvelables conduit à une émission de 1,86 millions de tonnes de CO₂ pour l'an 2030.

**5. Emissions globales provenant du secteur de l'électricité avec
contribution des énergies renouvelables**

Tableau 21: Estimation de la quantité du CO₂ évité en produisant de l'électricité par procédé conventionnelle et par procédé mixte (procédé conventionnelle + énergies renouvelables)

Année	Emissions du CO ₂ provenant de la production de l'électricité conventionnelle seule (TCO ₂)	Emissions du CO ₂ provenant de la production d'électricité conventionnelle combinée aux énergies renouvelables (TCO ₂)	Emissions du CO ₂ provenant de la production d'électricité par les énergies renouvelables (TCO ₂)	Quantité du CO ₂ évité (TCO ₂)	Quantité du CO ₂ évité (MTCO ₂)
2015	31280000	31166880	12000	113120	0,113
2016	33120000	32853920	32000	266080	0,266
2017	33451200	32502212,8	88000	948987,2	0,95
2018	33810000	32195570	177500	1614430	1,61
2019	34132000	29302105	269500	4829895	4,82
2020	34500000	29009675	362000	5490325	5,5
2021	35752500	32101762,5	460800	3650737,5	3,7
2022	37049600	32719852,8	560800	4329747,2	4,3
2023	38365600	33271760	661000	5093840	5,1
2024	39763200	33887745,6	765000	5875454,4	5,9
2025	40850000	34163750	871000	6686250	6,7
2026	43963200	36073633,6	991000	7889566,4	7,9
2027	47390600	38143058,6	1131000	9247541,4	9,25
2028	50996000	40263944	1303000	10732056	10,7
2029	54896400	42518610,8	1511000	12377789,2	12,4
2030	59122000	45022060	1863000	14099940	14,1

Les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessus montre qu'une utilisation de 27% de l'énergie renouvelable pour la production d'électricité permis d'évité une émission du CO₂ de l'ordre de 14,1 millions tonnes de CO₂.

Conclusion Générale

Cette étude nous permet d'avoir un certain nombre d'indicateurs énergétiques à l'échelle macro et sectoriel, ces indicateurs donnent un aperçu global et détaillée pour les décideurs sur la situation du secteur de l'énergie du pays. Elle permet aussi la comparaison aux autres pays de la région.

Ces résultats montrent toute l'importance qu'occupe le secteur de l'énergie dans les émissions totales de gaz à effet de serre direct. En effet, près de 75% de ces émissions proviennent de ce secteur.

Dans ce travail on s'est intéressé plus particulièrement aux émissions du CO₂, un gaz à effet de serre, issues du secteur de la production de l'électricité par voie thermique en utilisant le gaz naturel, par cycle combiné et par les énergies renouvelables (énergie photovoltaïques).

Les estimations des taux d'émissions du CO₂ ont montré qu'à l'an 2030 une quantité d'émission de 14,1 millions de tonnes de CO₂ sera évité en produisant 27% seulement de l'énergie électrique consommable par les énergies renouvelables, cela montre l'énorme contribution de cette nouvelle forme d'énergie à la réduction des gaz à effet de serre.

Dans ce contexte l'Algérie a pris conscience du rôle important des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le développement durable et a adopté un ambitieux programme pour pouvoir diversifier les sources d'énergie et opter pour une énergie propre et non épuisable, en l'occurrence le solaire, pour alimenter la demande du marché national et éventuellement international.

Reste à souligner que ces résultats s'accompagnent d'incertitudes non négligeables dont il convient de tenir compte dans l'utilisation de ces informations.

Références bibliographiques

- [1] **C .MAGDOLAINE**, Rapport GIEC, 2016.
- [2] **A.NEFZI**, « Evaluation économique de l'impact du changement climatique sur l'agriculture : étude théorique et application au cas de la Tunisie », Thèse de doctorat, Université de ParisTech, **Mars** 2012.
- [3] **R. K. Pachauri** and A. Reisinger, Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. GIEC, 2008.
- [4] **J. Jancovici**, "Comment évoluent actuellement les émissions de gaz à effet de serre ?," www.manicore.com, mise à jour de Septembre, 2007.
- [5] **J. Butler** and S. A. Montzka, "The noaa annual greenhouse gas index (aggi)," Earth System Research Laboratory, Global Monitoring DvisionWebsite. Accessed August, 2016.
- [6] **R. CITEPA**, "Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France séries sectorielles et analyses étendues," Rapport d'inventaire national, p. 157, 2012.
- [7] **G. Bilan**, "des changements climatiques : Rapport de synthèse," Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [équipe de rédaction principale Pachaur, RK et Reisinger, A.(publie sous la direction de)] GIEC, Genève, Suisse, 2007.
- [8] **P. D. Jones**, M. New, D. E. Parker, S. Martin, and I. G. Rigor, "Surface air temperature and its changes over the past 150 years," Reviews of Geophysics, vol. 37, no. 2, pp. 173–199, 1999.
- [9] Rapport NASA 2016.
- [10] **F. Sahnoune** , M. Belhamel, M. Zelmat. " Climate Change in Algeria: Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation". Energy Procedia 36 (2013) pp. 1286 – 1294
- [11] **F.Sahnoune** , M. Belhamel, M. Zelmat. «Algerian energy policy and potential to Reducing Greenhouse Gas Emissions». Energy sources part B, N° 11, pp.1118-1127? Décembre 2017.
- [12] www.energies-renouvelables.org
- [13] <http://www.climamaison.com>
- [14] <http://www.les-energies-renouvelables.eu>
- [15] **F. Sahnoune**. « Contribution à la modélisation et à l'expérimentation d'une installation solaire de production d'eau chaude équipée d'un système de télésurveillance », Thèse de doctorat, Université de Boumerdes, Mars 2015

[16] **M. Boudia**. Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen, 2013.)

[17] « Programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030 », **CREG**.

[18] M. de l'Energie, "Electricité et gaz," 2015.

[19] M. de l'Energie, "Bilan énergétique national 2015," 2016.

[20] **F.Sahnoune** , Imessad K.and Bouakaz D. E. (2017) "Energy consumption, renewable energy development and environmental impact in Algeria - Trend for 2030". AIP Conference Proceedings 1814, 1 (2017)].

[21] convention des Maires, "Les facteurs d'émission."