

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université de Blida 1**

Faculté de Technologie  
Département de Génie des Procédés



***Mémoire de fin d'études***

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des Procédés**

**Spécialité : Génie de l'environnement**

Thème

---

***Développement de la méthodologie de calcul du  
facteur d'émission de CO<sub>2</sub> du réseau national  
d'électricité***

---

Présenté par :

Mlle. BENZEKKOUR Fatima

&

Mlle. FERRACHE Yasmina

**Devant le jury d'évaluation composé de :**

Mr. Djamel TOUIL

Professeur

USDB 1

Président

Mr. Slim OUZZANE

MCB

USDB 1

Examineur

Mr. Ménouèr BOUGHEDAOU

Professeur

USDB 1

Encadreur

**Juillet 2021**

*A nos chères parentes...*

*A nos familles, nos amis...*

*Et tous les gens que nous aimons...*

## *Remerciements*

En préambule de ce mémoire, nous tenons tout d'abord à remercier « ALLAH » Tout puissant Qui nous a guidées sur le droit chemin et Qui nous a inspiré les bons pas et reflex. Sans sa Miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Nos vives gratitude vont à Mr. M. BOUGHEDAOUÏ pour nous avoir fait confiance et nous accorder le soutien nécessaire dans la réalisation de ce mémoire, ses Précieux conseils qui ont été bénéfiques dans l'avancement de ce travail et sa foi dans l'action.

Nous exprimons également nos remerciements aux membres de jury, Mr. Djamel TOUIL et Mr. Slim Ouzzane, professeurs à l'université de Blida 1, qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail, accorder de leur temps et accepter la lourde tâche de lire et évaluer l'intégralité de ce manuscrit.

Nous ne pouvons pas achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude au corps professoral et administratif de département de Génie des procédés à l'université de BLIDA.

Nous exprimons notre plus grande reconnaissance aux responsables de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie de nous avoir fait confiance et accepter cette collaboration.

En fin nous adressons de sincères remerciements à toute la promo génie de l'environnement  
2021

Et à toutes les personnes qui ont Contribuées de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Table des matières

ملخص

ABSTRACT

RESUME

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

LISTE DES FIGURES

Liste des tableaux

INTRODUCTION.....1

### CHAPITRE I

#### LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

I.1	Problématiques de changement climatique .....	4
I.2	L'effet de serre .....	5
I.3	Les gaz à effets de serre .....	7
I.3.1	La vapeur d'eau : .....	7
I.3.2	Le dioxyde de carbone : .....	7
I.3.3	Le méthane : .....	7
I.3.4	Le protoxyde d'azote : .....	7
I.4	Les sources d'émissions des gaz à effets de serre .....	9
I.4.1	Le secteur de l'énergie : .....	9
I.4.2	L'agriculture : .....	9
I.4.3	Le transport : .....	10
I.4.4	L'industrie : .....	10
I.4.5	Le secteur résidentiel et commerciale : .....	10
I.5	Le secteur énergétique : les émissions de CO <sub>2</sub> .....	11
I.5.1	La combustion .....	11
I.5.2	Les émissions fugitives .....	15
I.6	Facteur d'émissions unitaire.....	16
I.7	Techniques d'inventaire des GES .....	18
I.7.1	Définition des inventaires des GES.....	18
I.7.2	Compilation d'un inventaire des GES.....	19
I.8	Le pouvoir de réchauffement globale et l'équivalent CO <sub>2</sub> .....	20
I.9	Tendance des émissions du CO <sub>2</sub> par secteur .....	21
I.9.1	Part de l'électricité : .....	21
I.10	Méthodologie de calculs des émissions et absorptions des GES .....	24

## CHAPITRE II

### EMISSIONS DU SECTEUR DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

II.1	Tendance des émissions du secteur d'électricité.....	26
II.2	Production de l'électricité .....	27
II.3	Production centralisée d'électricité.....	27
II.4	Réseau électrique.....	27
II.5	Les pertes d'énergies sur le réseau électrique : .....	27
II.7	Facteur d'émission CO <sub>2</sub> du réseau d'électricité .....	31
II.8	Emissions du CO <sub>2</sub> attribuable à la production de l'électricité.....	32
II.9	Découplage entre la production d'électricité et les émissions de CO <sub>2</sub> associées, et principaux facteurs contributifs .....	34
II.10	Les principales méthodes de calcul du contenu CO <sub>2</sub> par usage.....	37
II.10.1	Méthodes de l'Agence International de l'Energie.....	37
II.10.2	Méthodes de l'ADEME.....	38

## CHAPITRE III

### METHODOLIGIE DE CALCUL ET RESULTATS

III.1.	Méthodologie adoptée.....	42
III.1.1.	Collecte de données.....	42
III.1.2.	Base de calcul.....	42
III.2.	Résultats et discussions.....	44
III.2.1.	Parc de production national.....	44
III.2.2.	Valeurs du facteur réseau estimée par l'AIE et comparaison .....	52
III.2.3.	Comparaison avec d'autres pays du monde .....	54
III.2.4.	Comparaison avec les pays sud méditerranéens .....	54
<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....</b>		<b>56</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>		<b>58</b>

## ملخص

يصف معامل انبعاث ثاني أكسيد الكربون لشبكة الكهرباء لبلد ما كتلة غازات الاحتباس الحراري في مكافئ ثاني أكسيد الكربون المنبعثة لإنتاج أو توزيع كيلو وات في الساعة. يتمثل هذا العمل في استغلال سلسلة البيانات الزمنية لأخر ثلاثين سنة من إنتاج الحديقة الوطنية لمحطات توليد الطاقة من خلال النظر في الشبكة المتصلة والمعزولة لجنوب الجزائر لتطوير عامل ثاني أكسيد الكربون لشبكة الكهرباء الوطنية. إنها أيضًا مسألة دراسة تأثير تهجين محطات الطاقة في الجنوب عن طريق تركيب محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتحديث منطقة الإنتاج من خلال إدخال توربينات الدورة المركبة. أظهرت النتائج أن متوسط عامل الشبكة في عام 2019 هو 568 كجم من ثاني أكسيد الكربون / ميجاوات ساعة دون مراعاة الخسائر في الشبكة و 611 كجم من ثاني أكسيد الكربون / ميجاوات ساعة مع الخسائر الفنية على الشبكة.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة - المناخ - غازات الاحتباس الحراري - الكهرباء - الشبكة - معامل الانبعاث

## ABSTRACT

The CO<sub>2</sub> emission factor of a country's electricity network describes the mass of greenhouse gases in CO<sub>2</sub> equivalent emitted for the production or distribution of one kWh. This work consists in exploiting the time series of the last thirty years of production of the national park of power plants by considering the connected and isolated network of the south of Algeria for the development of the CO<sub>2</sub> factor of the national electricity network. It is also to study the influence of the hybridization of power plants in the south by the installation of solar photovoltaic power plants and the modernization of the production park by the introduction of combined cycle turbines. The results show that the average grid factor in 2019 is 568 kg CO<sub>2</sub>/MWh without considering grid losses and 611 kgCO<sub>2</sub>/MWh with technical grid losses.

**Keywords:** energy, climate, greenhouse gases, electricity, grid, emission factor.

## RESUME

Le facteur d'émission CO<sub>2</sub> du réseau électrique d'un pays décrit la masse de gaz à effet de serre en équivalent CO<sub>2</sub> émise pour la production ou la distribution d'un kWh. Ce travail consiste à exploiter la série de données temporelles des trente dernières années de production du parc national de centrales de production d'électricité en considérant le réseau connecté et isolés du sud de l'Algérie pour le développement du facteur CO<sub>2</sub> du réseau électrique national. Il s'agit aussi d'étudier l'influence de l'hybridation des centrales au sud par l'installation de centrales photovoltaïques solaires et de la modernisation du parc de production par l'introduction des turbines à cycle combiné. Les résultats montrent que le facteur réseau moyen en 2019 est de 568 kgCO<sub>2</sub>/MWh sans considérer les pertes dans le réseau et de 611 kgCO<sub>2</sub>/MWh avec les pertes techniques sur le réseau.

**Mots clés :** énergie, climat, gaz à effet de serre, électricité, réseau, facteur d'émission.

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

<b>AFLOU</b>	Foresterie et le changement d'affectation des terres
<b>AIE</b>	Agence International de l'Energie
<b>AQ</b>	Assurance qualité
<b>APRUE</b>	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie
<b>CC</b>	Cycle combiné
<b>CCNUCC</b>	Convention - Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
<b>CFC</b>	Chlorofluorocarbures
<b>CH<sub>4</sub></b>	Méthane
<b>CQ</b>	Contrôle qualité
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone
<b>COVM</b>	Composés organiques volatiles non méthaniques
<b>DA</b>	Données d'activité
<b>DECC</b>	Direction de l'Environnement et des Etablissement Classés
<b>DEFRA</b>	Département de l'environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales
<b>ENR</b>	Energies renouvelables
<b>Eq CO<sub>2</sub></b>	Equivalent en dioxyde de carbone
<b>EPA</b>	Agence de Protection de l'Environnement des USA
<b>Fe</b>	Facteur d'émission
<b>GEF</b>	Facteur d'émission de réseau
<b>GES</b>	Gas à effet de serre
<b>Gg</b>	Gigagrammes
<b>GIEC</b>	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>GN</b>	Gaz naturel
<b>GPL</b>	Gaz de pétrole liquéfié
<b>GWh</b>	Gigawattheure
<b>HFH</b>	Hydrofluorocarbures
<b>I</b>	Courant
<b>I.CPW</b>	Construction et Travaux Publics
<b>IPPU</b>	Processus industriels et l'utilisation des
<b>Ktep</b>	Kilotonne équivalent pétrole
<b>KWh</b>	Kilowattheure
<b>Mt</b>	Mégatonne
<b>Mth</b>	Méga thermie
<b>MWh</b>	Mégawattheure
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxydes d'azote
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Protoxyde d'azote
<b>NPS</b>	Scénario des nouvelles politiques
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>P</b>	Puissance dissipée
<b>Ppm</b>	Partie par million
<b>PRG</b>	Pouvoir de Réchauffement Globale

<b>REC</b>	Certificat d'énergie renouvelable
<b>R</b>	Résistance
<b>RIN</b>	Réseau interconnecté du Nord
<b>RIS</b>	Réseau isolé du Sud
<b>SK</b>	Shariket Kahraba
<b>SKTM</b>	Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida
<b>SPE</b>	Société de production de l'électricité
<b>Teq CO<sub>2</sub></b>	Tonne équivalente de CO <sub>2</sub>
<b>TG</b>	Turbine à gaz
<b>Tj</b>	Téra joule
<b>Tr</b>	Transport résidentiel
<b>TV</b>	Turbine à vapeur
<b>TWh</b>	Térawattheure



# Listes des figures et tableaux

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1 :</b>	Comparaison de l'évolution de température de surface globale et l'énergie du soleil reçue par la Terre reçoit depuis 1880.	<b>4</b>
<b>Figure I.2 :</b>	Les émissions globales de gaz à effet de serre.	<b>8</b>
<b>Figure I.3 :</b>	Mesures mensuelles des concentrations de dioxyde de carbone (cycle saisonnier supprimé) (2007/2021).	<b>9</b>
<b>Figure I.4 :</b>	Gaz à effet de serre et leurs principales sources.	<b>11</b>
<b>Figure I.5 :</b>	Les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'électricité.	<b>13</b>
<b>Figure I.6 :</b>	Émissions de CO <sub>2</sub> par source d'énergie, Monde 1990-2018.	<b>14</b>
<b>Figure I.7 :</b>	Les Émissions de CO <sub>2</sub> par source d'énergie, Algérie 1990-2018.	<b>15</b>
<b>Figure I.8 :</b>	Les étapes de compilation d'un inventaire de GES.	<b>19</b>
<b>Figure I.9 :</b>	Origine des émissions de CO <sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie en 2018	<b>22</b>
<b>Figure I.10 :</b>	Émissions de CO <sub>2</sub> par secteur, Monde 1990-2018.	<b>22</b>
<b>Figure I.11 :</b>	Émissions de CO <sub>2</sub> par secteur, Algérie 1990-2018.	<b>24</b>
<b>Figure II.1 :</b>	Emissions du CO <sub>2</sub> attribuable à la production de l'électricité, et la position de l'Algérie par rapport au monde.	<b>26</b>
<b>Figure II.2 :</b>	Production d'électricité par source, Monde 1990-2018.	<b>29</b>
<b>Figure II.3 :</b>	Production d'électricité par source, Algérie 1990-2018.	<b>30</b>
<b>Figure II.4 :</b>	Emissions de CO <sub>2</sub> lors la production de l'électricité et de chaleur (% de la combustion totale de carburants), Monde (1690-2010)	<b>33</b>
<b>Figure II.5 :</b>	Reconstitution des émissions anthropiques de gaz carbonique (Mt de CO <sub>2</sub> ) depuis 1860.	<b>34</b>
<b>Figure II.6 :</b>	Principaux facteurs contributifs aux émissions de CO <sub>2</sub> liées à la production d'électricité, 2019.	<b>35</b>
<b>Figure II.7 :</b>	Part de la production mondiale d'électricité de certains pays, 1990-2017.	<b>35</b>
<b>Figure II.8 :</b>	Intensité en CO <sub>2</sub> de certains pays, 1990-2017.	<b>36</b>
<b>Figure III.1 :</b>	Facteurs réseau fossile et fossile +ENR avec et sans pertes.	<b>44</b>
<b>Figure III.2 :</b>	Consommation et production totale du réseau national.	<b>45</b>
<b>Figure III.3 :</b>	Production ENR du réseau national.	<b>46</b>
<b>Figure III.4 :</b>	Consommation et production total de SPE.	<b>47</b>
<b>Figure III.5 :</b>	Facteurs réseau fossile avec et sans perte de SPE.	<b>47</b>
<b>Figure III.6 :</b>	Consommation et production total de SK.	<b>48</b>
<b>Figure III.7 :</b>	Facteur réseau fossile avec et sans perte de SK.	<b>49</b>
<b>Figure III.8 :</b>	Consommation et production total des indépendants.	<b>49</b>
<b>Figure III.9 :</b>	Facteurs réseau fossiles avec et sans pertes des indépendants.	<b>50</b>
<b>Figure III.10 :</b>	Consommation et production total de SKTM.	<b>51</b>
<b>Figure III.11 :</b>	Facteurs réseau fossile avec et sans perte de SKTM.	<b>51</b>
<b>Figure III.12 :</b>	Facteur CO <sub>2</sub> du réseau électrique d'Algérie selon l'AIE (2000/2013)	<b>52</b>
<b>Figure III.13 :</b>	Facteur réseau étudié (2000/2013).	<b>53</b>
<b>Figure III.14 :</b>	Comparaison entre le facteur de l'AIE et le facteur réseau calculé de	<b>53</b>

	l'Algérie (2000/2013).	
<b>Figure III.15 :</b>	Comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie et autres pays du monde (2000/2013).	<b>54</b>
<b>Figure III.16 :</b>	Comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie et les pays sud méditerranéens (2000/2013).	<b>54</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 :</b>	Sources des principales substances naturelles émises dans l'atmosphère.	<b>6</b>
<b>Tableau I.2 :</b>	Emissions de CO <sub>2</sub> des différents secteurs consommateurs des industries énergétiques en Algérie	<b>15</b>
<b>Tableau I.3 :</b>	Synthèse des émissions nationales de GES du secteur de l'énergie	<b>16</b>
<b>Tableau I.4 :</b>	Synthèse des émissions et des absorptions des GES en Algérie (1994)	<b>21</b>
<b>Tableau II.1 :</b>	Production de l'électricité par source en Algérie (TWh)	<b>30</b>
<b>Tableau II.2 :</b>	Facteurs d'émission de la production d'électricité par pays en 2004	<b>32</b>

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Le changement climatique est l'un des plus grands défis auxquels l'humanité est actuellement confrontée, qui est causé par l'effet de serre anthropique. L'effet de serre est un phénomène naturel qui permet de rendre la planète vivable avec une température moyenne de 15°C. En absence de phénomène d'effet de serre naturel, la température moyenne sur terre serait de -18°C. Ce phénomène naturel est modifié par les activités humaines qui sont responsables de fortes émissions de gaz à effet de serre.

La consommation d'énergie et l'effet de serre sont étroitement liés, Une part importante des émissions de gaz à effet de serre est due à la production et à la consommation d'énergie. La combustion des énergies fossiles est la principale source d'émission des gaz à effet de serre dans le monde avoisinant 75%.

La production d'électricité et de chaleur est la première source énergétique plus émettrice de CO<sub>2</sub>.

Le facteur d'émission CO<sub>2</sub> du réseau d'électricité est l'indicateur qui renseigne sur la quantité de gaz à effet de serre émise pour la production de l'électricité ou sa distribution. Ce facteur dépend des modes de production amont de l'électricité, du mix énergétique utilisé de l'ensemble du processus de production, de son transport, des pertes sur le réseau de transport et de distribution, et de l'interconnexion ou pas des réseaux.

Le développement de ce facteur d'émissions CO<sub>2</sub> du réseau d'électricité pour un pays est important pour calculer les émissions de gaz à effet de serre attribuées aux divers usages et consommations d'électricité des différents secteurs en fonction aussi des saisons ou de l'heure de la journée. Il permet aussi de développer des stratégies de réduction des émissions et de leur planification dans tous le secteurs consommateurs et producteurs. L'adoption de ce facteur par les pays permet aussi d'évaluer les réductions de toute substitution énergétique, comme les énergies renouvelables, ou la réduction de la consommation énergétique et de toutes les valorisations de ces réductions qui pourront être faites au niveau national et international notamment dans le cadre des mécanismes de financement des réductions des émissions de gaz à effet de serre ou d'atténuation et du marché carbone.

Dans ce contexte, ce travail vise le calcul du facteur CO<sub>2</sub> du réseau d'électricité de l'Algérie et d'analyser son évolution en fonction du développement de la production, de la technologie et des combustibles utilisés.

L'exploitation des séries de données de consommation et de production de tout le parc national de centrales de production d'électricité au cours des trente dernières années en considérant le réseau connecté et isolé du sud de l'Algérie a permis le développement de ce facteur réseau. L'analyse des résultats a permis aussi d'étudier l'influence de l'hybridation des centrales au sud par l'installation de centrales photovoltaïques solaires et de la modernisation du parc de production par l'introduction des turbines à cycle combiné.

Ce mémoire est composé de trois chapitres. Un premier chapitre présente la synthèse bibliographique relative à la problématique des changements climatiques et de l'effet de serre. Un deuxième chapitre présente la part des émissions dues à la production d'électricité dans le monde et en Algérie. Un troisième chapitre présente la méthodologie suivie et les résultats trouvés avec des commentaires et interprétations. Une conclusion avec des recommandations pour l'amélioration de calcul du facteur CO<sub>2</sub> du réseau figure en fin de ce mémoire.

# **Synthèse bibliographique**

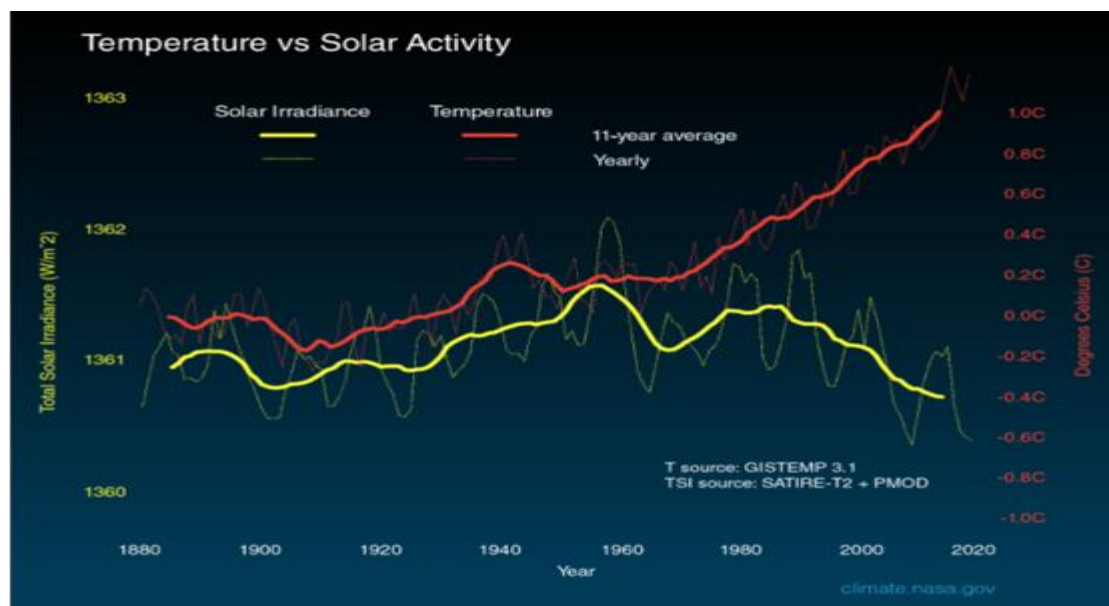
# CHAPITRE I

## LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

### I.1 Problématiques de changement climatique

L'étude des données historiques et les indicateurs climatiques ont montré que le changement climatique est un problème mondial qui ne date pas d'hier, depuis le vingtième siècle l'amplitude de réchauffement récent dépasse celle des oscillations décennales et la température moyenne au niveau du sol terrestre excède à l'optimum médiéval (dépasse 2C°) [1].

Le réchauffement climatique est exprimé en bilan énergétique, Ceci est la différence entre l'énergie solaire absorbé par la terre par rapport à la somme de l'énergie réfléchi par les nuages [2]. L'écart par rapport à l'équilibre entre la terre et le rayonnement solaire entrant et sortant est appelé le forçage radiatif qui est provoqué par des gaz chimiquement réactifs avec des modes chimiques [3]



**Figure I.1 : Comparaison de l'évolution de température de surface globale (ligne rouge) et l'énergie du soleil que la Terre reçoit (ligne jaune) depuis 1880 [5]**

Le graphique (**Figure I.1**) montre que la quantité d'énergie solaire que reçoit la terre a suivi le cycle naturel du soleil sans augmentation nette (depuis les années 1950). Au cours de la même période, la température mondiale a nettement augmenté.



Donc il est extrêmement improbable que le Soleil ait provoqué la tendance observée au réchauffement thermique mondiale au cours du dernier demi-siècle [5].

## I.2 L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel (provient des sources naturelles tels que les éruptions volcaniques, les météorites, l'érosion des sols, les mers, les océans, les végétaux et les animaux) [6] Provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. L'intensité de ce processus dépend largement de la température et de la présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère [7]. Bien que la vapeur d'eau qui est le gaz à effet de serre le plus courant et le plus puissant qui varie dans l'atmosphère, il contribue pour 65% de l'effet de serre planétaire, une contribution qui monte jusqu'à 90% si on considère aussi les nuages [8].

La vapeur d'eau est également une composante très active du système climatique qui se remet rapidement aux fluctuations des conditions en diminuant dans la pluie ou la neige ou en s'évaporant pour retourner à l'atmosphère. Par conséquent, l'empreinte de l'effet de serre circule principalement à travers la vapeur d'eau, elle se transforme comme un effet de réaction rapide [9].

Les deux tiers de l'énergie en provenance du soleil sont absorbés par l'atmosphère, les sols et les océans. Le tiers restant est directement réfléchi vers l'espace par les nuages, les aérosols, l'atmosphère et la surface terrestre. Ces derniers émettent en retour un rayonnement infrarouge que les nuages et les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, l'ozone et méthane) absorbent et réémettent en grande partie vers le sol. Les gaz à effet de serre ont en effet la particularité d'être pratiquement transparents au rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge émis par la terre [7].

**Tableau I.1 : Sources des principales substances naturelles émises dans l'atmosphère. [6]**

Processus	Substances émises
- Processus microbiens (dégradation de matériel organique réactions chimiques dans le sol et l'eau)	CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O,
- Eruptions volcaniques	NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ,
poussières	
- Eclairs	NO <sub>x</sub> .
- Incendies de forêts et feux de brousse	NO <sub>x</sub> , CO, HC, SO <sub>2</sub> , Poussières
- Erosion	Poussières
- Météores et météorites	Poussières
- Emanations de plantes	Terpènes, isoprène, HC, CH <sub>4</sub> , pollens
- Digestion et excréments d'animaux	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>
- Embruns marins	aérosols

L'effet de serre additionnel provient des activités humaines ( les procédés industriels, la combustion fossile, les rejets des diverses industries, l'incinération, le traitement de déchets et les transports..) qui entraînent l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère (la vapeur d'eau , les chlorofluorocarbures (CFC), les hydrofluorocarbures (HFC) , le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) , le méthane (CH<sub>4</sub>) , l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) et l'ozone(O<sub>3</sub>) [10]. Ces gaz constitués de trois atomes ou plus, les atomes de la molécule de gaz vibrent les uns par rapport aux autres, par la suite ces molécules tournent dans l'espace. Les transitions entre différents niveaux d'énergie de vibration et de rotation dans la molécule sont quantifiées et se produisent avec l'absorption ou la libération de rayonnement infrarouge. Cette structure moléculaire donne la possibilité pour ces gaz de capter la chaleur dans l'atmosphère et de la transférer ensuite à la surface qui réchauffe davantage la Terre. Ce cycle ininterrompu de piégeage de la chaleur indique une augmentation globale des températures mondiales [11].

Le premier responsable de cet effet de serre additionnel, et donc du réchauffement climatique, est l'utilisation massive des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) qui conduit à brûler 6,3 milliards de tonnes de carbone par an, qui sont envoyés par la suite dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique CO<sub>2</sub> [12].

les émissions et les concentration atmosphérique de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre libérés par les activités humaines, telles que la combustion de combustibles fossiles et la déforestation, devraient continuer à croître et donner lieu à de nombreuses menaces telle que l'augmentation des températures mondiale de l'air

qui affectent l'augmentation des vagues de chaleur, le recul des glaciers de montagne et la réduction de la couverture neigeuses, un accroissement remarquable du niveau de la mer de 10 à 20cm , la disparition de la biodiversité , et l'apparition des évènements météorologiques extrêmes mettant la vie en danger en raison des changements dans les régimes climatiques [13] [14].

### **I.3 Les gaz à effets de serre**

Un grand nombre de gaz à effet de serre existent naturellement dans l'atmosphère, mais leur concentration varie en raison des activités humaines. L'impact sur le climat dépend de leur capacité à absorber et à émettre des rayonnements infrarouges, leur concentration dans l'atmosphère et leur durée de vie [7] [15].

#### **I.3.1 La vapeur d'eau :**

Le gaz à effet de serre le plus courant, il représente 65% de l'effet de serre [8].

#### **I.3.2 Le dioxyde de carbone :**

C'est le deuxième gaz à effet de serre naturel, il contribue pour 25 % de l'effet de serre [8] [7].

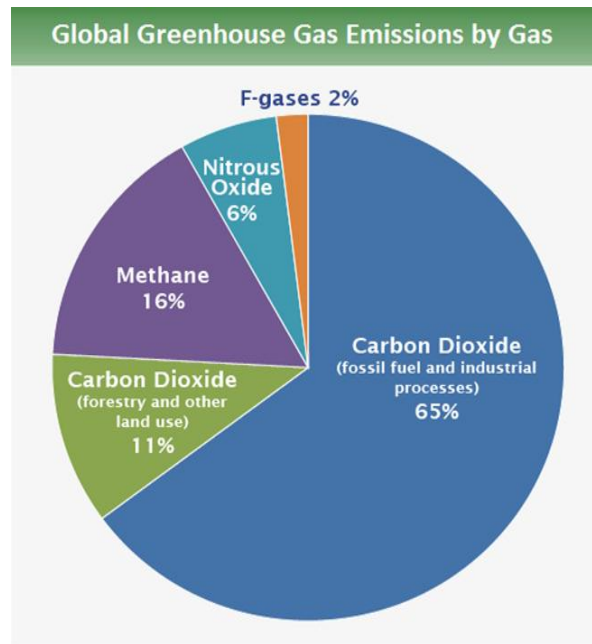
#### **I.3.3 Le méthane :**

C'est un gaz d'hydrocarbure, incolore, inodore et inflammable, produit à la fois par des sources naturelles qui représente 40% et environ 60% des activités humaines [8] [16] [15], Il absorbe le rayonnement infrarouge thermique vingt-cinq fois plus efficacement, molécule par molécule, que le CO<sub>2</sub>(g) [7], Il s'agit du troisième gaz à effet de serre [8] [16].

#### **I.3.4 Le protoxyde d'azote :**

C'est le puissant gaz à effet de serre libéré dans l'atmosphère principalement par le fumier et les engrais chimiques à base d'azote lors de sa décomposition [8][5]. Ces sources d'émissions naturelles représentent environ 60% et 40% sont des sources anthropiques. Il joue également un rôle important dans la destruction de la couche d'ozone stratosphérique, Il représente environ 6% du forçage radiatif par les gaz à effet de serre à longue durée de vie [15].

D'autre part, les polluants atmosphériques vont agir sur l'atmosphère, tels que : l'ozone, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le monoxyde d'azote, le dioxyde d'azote, les hydrocarbures halogénés, les chlorofluorocarbures (CFC).



**Figure I.2 : les émissions globales de gaz à effet de serre [29]**

Le dioxyde de carbone [ $\text{CO}_2(\text{g})$ ] est un gaz incolore et inodore [9] [8] C'est le GES anthropique ayant l'impact le plus important sur le climat [17]. Les GES dépendent presque entièrement de la teneur en carbone du combustible, bien qu'une petite quantité de carbone ne soit pas oxydée (moins de 1 %) [18].

Au cours des 171 dernières années, les activités humaines ont augmenté les concentrations atmosphériques de  $\text{CO}_2$  de 48% au-dessus des niveaux préindustriels trouvés en 1850. C'est plus que ce qui s'était produit naturellement sur une période de 20 000 ans (du dernier maximum glaciaire à 1850, de 185 ppm à 280 ppm) [16].

Le  $\text{CO}_2(\text{g})$  joue également un rôle dans l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique car son réchauffement global dans la troposphère renforce le refroidissement global de la stratosphère, par la suite le refroidissement stratosphérique endommage la couche d'ozone [7].



**Figure I.3 : Mesures mensuelles des concentrations de dioxyde de carbone (2007/2021) [16].**

La dernière mesure de la concentration de dioxyde de carbone faite en avril 2021 atteint 416 ppm [16]. Pendant de nombreuses années, les États-Unis ont été le plus grand contributeur, mais récemment, la Chine, en pleine révolution industrielle, est devenue le premier producteur des gaz à effet de serre (le plus grand émetteur de CO<sub>2</sub> au monde), avec 6 834 millions de tonnes (6 200 millions de tonnes métriques) en 2006, contre 6 393 millions de tonnes pour les États-Unis (5 800 millions de tonnes métriques) [8].

#### **I.4 Les sources d'émissions des gaz à effets de serre**

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre peuvent également être ventilées par les activités économiques qui conduisent à leur production telles que [7] :

##### **I.4.1 Le secteur de l'énergie :**

Qui occupe environ 75% des émissions totales de gaz à effet de serre et 90 % des émissions de CO<sub>2</sub> [2].

##### **I.4.2 L'agriculture :**

Contribue 4 % de ces émissions. Les plus petites sources d'émissions agricoles comprennent le CO<sub>2</sub> provenant du chaulage et de l'application d'urée, le CH<sub>4</sub> provenant de la riziculture et la combustion des résidus de récolte, qui produit du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O [20], l'application d'engrais synthétiques et organiques, la croissance de cultures fixatrices d'azote, le drainage des sols organiques et les pratiques d'irrigation sont les activités spécifiques qui contribuent aux émissions de N<sub>2</sub>O des terres agricoles [20]. L'une des sources les plus importantes de méthane provenant de

l'agriculture provient du fumier de bétail en particulier les ruminants tels que les bovins [8] [20].

#### **I.4.3 Le transport :**

le secteur clé de la comptabilité carbone [17] représente 14 % des émissions de GES [21] résultant principalement de la combustion de produits à base de pétrole, avec des quantités relativement faibles de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et d'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sont émises lors de la combustion de ces carburant pour faire fonctionner la voiture et ces accessoires [20] , Les carburants rajouté aux voitures ne se convertissent pas totalement .seulement 15 % environ de l'énergie du carburant est consommée , Le reste de l'énergie environ 85 % est perdue en raison des inefficacités extrême des moteur à combustion interne [7].

#### **I.4.4 L'industrie :**

Représente aussi une part prépondérante dans les activités économiques et par voie de conséquence dans les émissions nationales de GES avec un pourcentage de 21% [8]. Les gaz à effet de serre émis lors de la production industrielle sont répartis en deux catégories: les émissions directes produites à l'installation par la combustion de carburant pour produire de l'électricité qui est l'un des plus grands contrevenants parmi les industries [8][20], et les émissions indirectes qui se produisent hors site par la combustion de combustibles fossiles dans une centrale électrique pour produire de l'électricité, qui est ensuite utilisée par une installation industrielle pour alimenter des bâtiments industriels et des machines [20].

#### **I.4.5 Le secteur résidentiel et commerciale :**

Qui représente environ 13% des GES provenant d'émissions directes [21] y compris la combustion de combustibles fossiles pour les besoins de chauffage et de cuisine, la gestion des déchets et des eaux usées, les fuites de réfrigérants dans les maisons et les entreprises ainsi que les émissions indirectes qui se produisent hors site mais sont associées à l'utilisation de l'électricité consommée par les foyers et les entreprises [20].

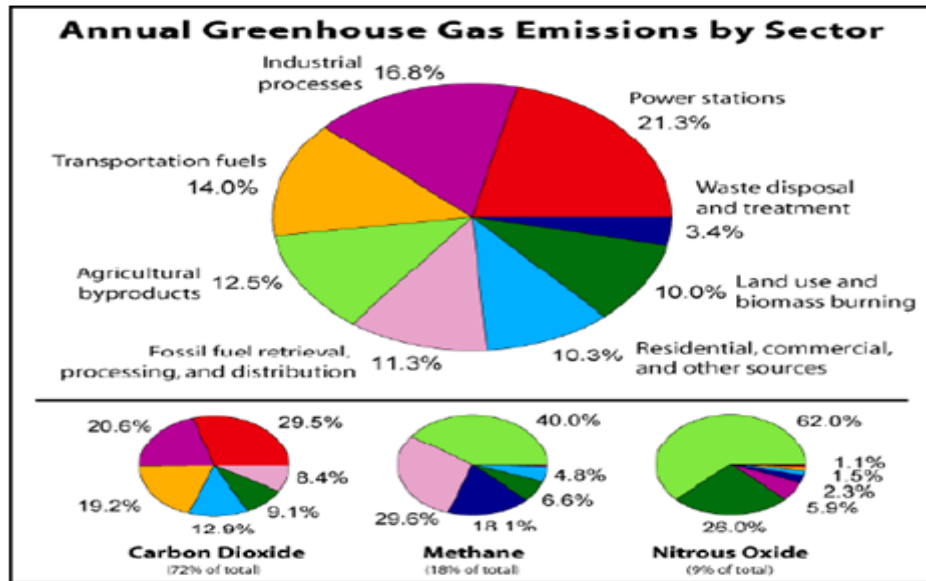


Figure I.4 : Gaz à effet de serre et leurs principales sources [15]

### I.5 Le secteur énergétique : les émissions de CO<sub>2</sub>

Le secteur de l'énergie est généralement le secteur le plus important des émissions de gaz à effet de serre [2]. Le secteur d'énergie est représenté par l'exploitation et la conversion des sources d'énergie primaire en forme d'énergie plus utilisables dans les raffineries et les centrales électriques qui consistent sur la production, le transport et la distribution d'électricité. Il assure le transport et distribution des combustibles pour les utiliser dans les installations et les applications fixes et mobiles [22] [18].

Les émissions de gaz à effet de serre proviennent principalement de l'utilisation de l'énergie, qui dépend essentiellement de la croissance économique, des combustibles utilisés pour la production d'électricité et des conditions météorologiques qui influent sur le chauffage et la climatisation [8]. L'EIA a constaté que les émissions mondiales liées à l'énergie ont augmenté de 21 % entre 2005 et 2017 [16].

Le secteur de l'énergie représente plus des deux tiers (66,92 %) des émissions. Le potentiel en hydrocarbures du pays explique en grande partie cette situation, l'Algérie étant un grand exportateur d'hydrocarbures [23].

#### I.5.1 La combustion

L'un des plus grands contributeurs humains au réchauffement thermique de la planète est les gaz à effet de serre émis par la combustion continue de combustibles fossiles, qui sont liées à une réaction exothermique liée au brûlage d'un combustible [24].

C'est une source d'émission anthropique qui produit des particules d'aérosol (le charbon, le pétrole, le gaz naturel, l'essence, le kérosène et le diesel), ainsi les substances de schistes bitumineux et les sables asphaltiques, qui contiennent des hydrocarbures. Ces derniers sont formés à partir des restes fossilisés de plantes et d'animaux enterrés qui ont été soumis à la chaleur et à la pression dans la croûte terrestre pendant des millions d'années [7].

### **I.5.1.1 Les combustibles fossiles**

Les combustibles fossiles sont les produits d'une très lente transformation au cours des temps géologiques de débris d'organismes accumulés dans certains sédiments. Riches en carbone et en hydrogène, leur combustion produit de la chaleur, à raison d'environ 16 kWh par kg pour le gaz naturel, 12 pour le pétrole, et 4 à 8 pour le charbon selon les qualités. Les combustibles fossiles fournissent actuellement un peu plus de 80 % de l'énergie primaire mondiale. Leur usage est responsable de 82% des émissions anthropiques actuelles de CO<sub>2</sub> (charbon 35%, pétrole 31%, gaz 16%). Il est également responsable de nombreux accidents graves et de pollutions de l'eau et de l'air préoccupantes pour la santé publique et les écosystèmes [27].

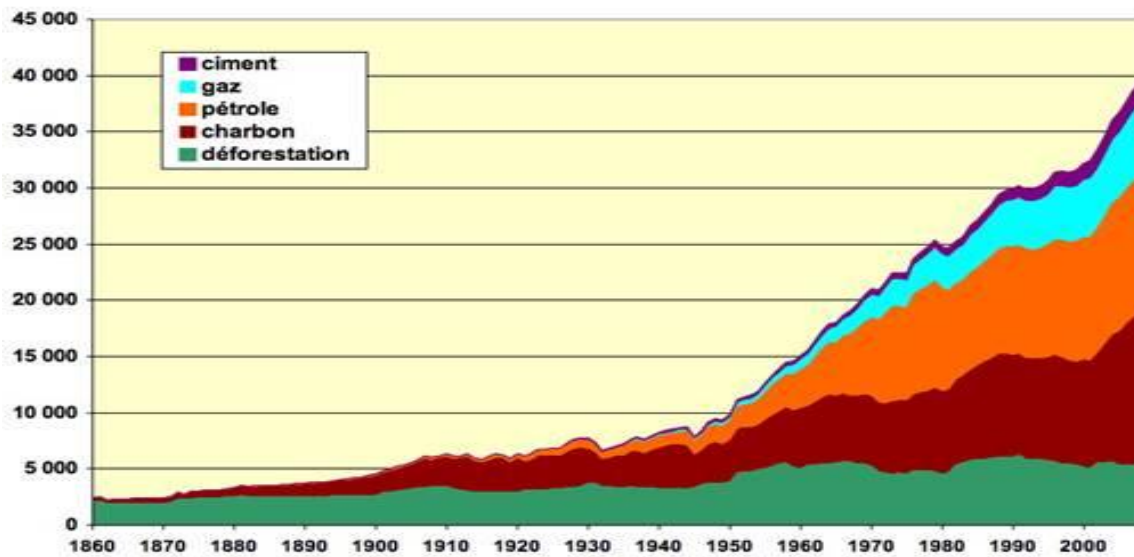
Les combustibles fossiles sont utilisés pour produire de l'électricité, c'est la plus grande source d'émissions mondiales de gaz à effet de serre avec un taux d'émissions de 25% (en 2010) [25]. Ils renferment aussi des activités telles que l'extraction, la production et la transformation de l'énergie, le raffinage du pétrole, etc. [26], ainsi que la combustion mobile est à l'origine d'environ un quart des émissions dans le secteur de l'énergie [2].

En raison de la combustion incomplète des hydrocarbures, de petites proportions de carbone sont libérées sous forme de monoxyde (CO), CH<sub>4</sub> ou composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), qui finissent tous par s'oxyder en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. En outre, les processus de combustion entraînent des émissions de N<sub>2</sub>O et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) [26]

L'un des plus importants gaz émis lors de la combustion de combustibles fossiles est le CO<sub>2</sub>. C'est un gaz qui piège la chaleur dans l'atmosphère terrestre. Au cours des 200 dernières années, la combustion de combustibles fossiles a entraîné une augmentation de plus de 25 % de la quantité de gaz à effet de serre [7][25].



Pendant le processus de combustion, la plupart du carbone est immédiatement émis sous forme de CO<sub>2</sub>, quelle que soit la technologie de combustion [18].



**Figure I.5 : reconstitution des émissions anthropiques de gaz carbonique (Mt de CO<sub>2</sub>) depuis 1860.**

Les données de la (**figure I.5**) montrent quelles ont été en 2008 les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux activités humaines (anthropiques). Sur un total de 39,2 Gt, 32 Gt, soit 81,6 %, étaient dues aux combustibles fossiles. Le reste était dû à la déforestation et à la décomposition thermique des carbonates utilisés pour la fabrication du ciment. Ces 32 Gt se décomposaient en 6,4 Gt pour le gaz, 12 Gt pour le pétrole et 13,6 Gt pour le charbon, soit respectivement 16,3%, 30,6 % et 34,7 % du total des émissions anthropiques. Donc la contribution du gaz naturel aux émissions de CO<sub>2</sub> est en moyenne d'environ 2,6 tonnes par tep, celle du pétrole de 3 tonnes par tep, et celle du charbon de 4,3 tonnes par tep [27].

Les combustibles fossiles liquides primaires regroupent le pétrole brut, le condensat et le GPL extrait au champ. Les facteurs globaux d'émissions en tonnes de CO<sub>2</sub> par térajoule d'énergie consommée sont donc :[23]

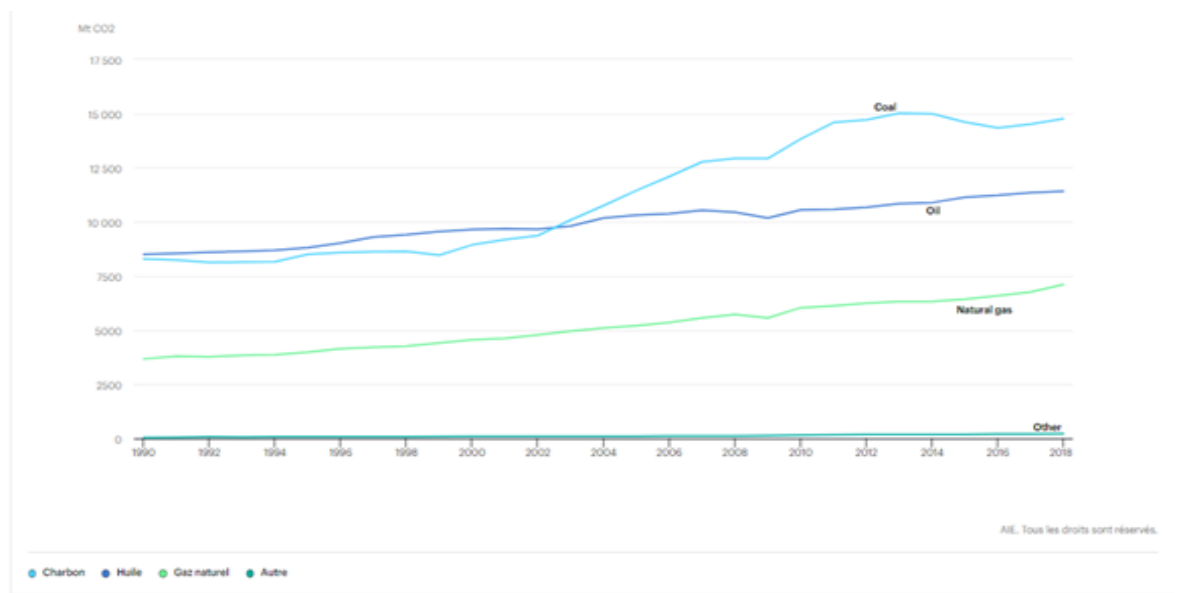
- Fossiles liquides : 66,3 tCO<sub>2</sub>/TJ
- Fossiles solides : 92,7 tCO<sub>2</sub>/TJ
- Gaz naturel : 54,6 tCO<sub>2</sub>/TJ

### Cas de l'Algérie :

L'Algérie est l'un des plus importants émetteurs de CO<sub>2</sub> parmi les pays en développement et le troisième parmi les pays africains. Elle s'est engagée à réduire ses émissions de carbone d'au moins 7 % d'ici à 2030. Cependant, se conformer à cet objectif peut s'avérer une tâche difficile sans compromettre la croissance économique [19].

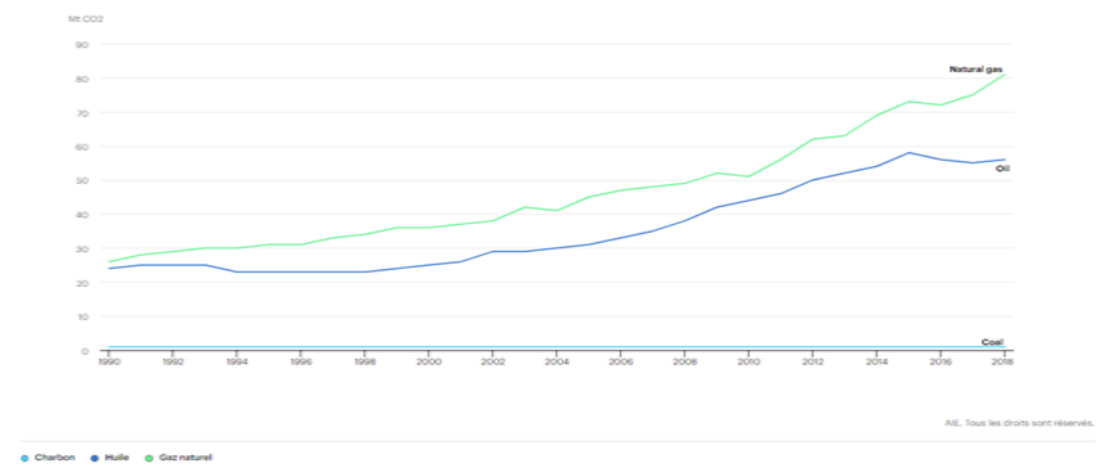
Le gaz naturel représente deux tiers de la consommation apparente, ce qui confirme clairement les options énergétiques gazières de l'Algérie [23].

Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) est le gaz le plus émis avec 72,40%, suivi du CH<sub>4</sub> avec 18,31% et de N<sub>2</sub>O avec 9,29% au niveau national [23]. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont le fait principalement des activités des centrales électriques (48,62%) et des activités de liquéfaction du gaz (37,47%). La place qu'occupe l'activité de raffinage n'est cependant pas à négliger (8,03%).



**Figure I.6 : Émissions de CO<sub>2</sub> par source d'énergie, Monde 1990-2018 [20].**

La (Figure I.6) illustre l'évolution de l'émission de CO<sub>2</sub> par source d'énergie (gaz, pétrole charbon), dans le monde au cours de la période de 1990/2018. On constate que les émissions de CO<sub>2</sub> attribuables aux charbons sont généralement plus élevées que celles de pétrole. D'autre part les émissions due à l'utilisation du gaz naturel a connu une augmentation significative avec le temps. Cette évolution et ce changement est due à l'augmentation rapide de la demande d'énergie dans le monde qui est principalement liée à la croissance économique et à l'augmentation de la population.



**Figure I.7 : les Émissions de CO<sub>2</sub> par source d'énergie, Algérie 1990-2018 [20].**

La (Figure I.7) représente l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> par source d'énergie en Algérie au cours de 28 ans. Contrairement aux statistiques précédentes qui affectent le monde entier, le pourcentage d'émissions de CO<sub>2</sub> liée à l'utilisation de charbon est très faible et stable en Algérie. D'autre part, l'Algérie, comme de nombreux pays du monde enregistre une augmentation significative du taux d'émissions résultant de l'utilisation du gaz naturel, étant donné qu'il est la première source d'énergie du pays. Avec un pourcentage important des émissions provenant de l'utilisation de pétrole au cours du temps.

**Tableau I.2 : Emissions de CO<sub>2</sub> des industries énergétiques en Algérie [23]**

Activité	Consommation	Emissions (en Gg)	% de CO <sub>2</sub>
<b>Production d'électricité</b>		<b>13242,18</b>	<b>48,62</b>
dont Diesel	221 (10 <sup>3</sup> t)	702,16	2,58
Gaz naturel	5744,20 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	12540,02	46,04
<b>Unités de liquéfaction</b>		<b>10205,61</b>	<b>37,47</b>
(Gaz naturel)	4674,88 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
<b>Raffineries</b>		<b>2188,05</b>	<b>8,03</b>
dont Pétrole brut	376 (10 <sup>3</sup> t)	1181,72	4,34
Gaz naturel	460,97 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1006,33	3,69
<b>Autres</b>		<b>1601,22</b>	<b>5,88</b>
Gazoducs et Oléoducs	534,71 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1167,32	4,29
Consommation au			
Champ (pétrole brut)	29 (10 <sup>3</sup> t)	91,14	0,33
Autres	157,01 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	342,76	1,26
<b>Totaux</b>	<b>11625</b>	<b>27237,06</b>	<b>100,0</b>

## I.5.2 Les émissions fugitives

Sont des émissions de gaz ou de vapeur provenant de l'équipement en raison de fuites et d'autres rejets de gaz non intentionnels ou irréguliers, provenant principalement des activités liées à la production et à la distribution de combustibles

fossiles. Les émissions fugitives tendent à être plus ou moins importantes selon le type d'installation [5]. Les principales catégories des sources d'émissions fugitives dans l'industrie des hydrocarbures 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 [28]. Les émissions fugitives provenant des combustibles peuvent être divisées en catégories de sources liées aux combustibles solides (principalement le charbon) et aux systèmes de pétrole et de gaz naturel. Le principal GES émis par toutes ces catégories de sources est le CH<sub>4</sub>, bien que de plus petites quantités de CO<sub>2</sub> soient également émises par certaines sources [26]. Les émissions fugitives liées aux activités gazières et pétrolières sont loin d'être négligeables en Algérie [23]. Ils proviennent des gaz de combustion pendant le processus de combustion, Il s'agit des gaz liés aux activités aval non récupérés lors des activités de traitement, de raffinage et Liquéfaction. Les chiffres ont éclaté en 2000 avec un total de 1 152 022 millions de mètres cubes [19]. Les Emissions globales provenant chaque secteur de consommation d'énergie en Algérie incluant les émissions fugitives sont présentés dans (le tableau I.4) [19] :

**Tableau I.3 : Synthèse des émissions nationales de GES du secteur de l'énergie [19].**

Catégories de sources d'émissions et Absorptions	CO <sub>2</sub> Emissions	CO <sub>2</sub> Absorptions	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	COVNM	SO <sub>2</sub>
<b>Approche de Référence</b>	<b>64316,61</b>							
<b>Approche sectorielle (A+B)</b>	<b>66409,78</b>		<b>1001,32</b>	<b>0,51</b>	<b>278,87</b>	<b>985,62</b>	<b>257,27</b>	<b>40,40</b>
<b>A. Combustion de fuels</b>	<b>64061,81</b>		<b>6,42</b>	<b>0,48</b>	<b>272,03</b>	<b>984,71</b>	<b>185,10</b>	<b>20,84</b>
A.1- Industries de l'énergie	28258,12		0,55	0,06	76,06	9,81	2,49	1,94
A.2- Industries manufacturières et de construction	7694,90		0,20	0,19	21,90	3,49	0,68	3,04
A.3- Transports	12694,40		2,78	0,12	134,91	931,68	175,50	7,46
A.4- Résidentiel / Commercial / Institutionnel	14138,37		2,72	0,10	18,28	22,33	2,95	8,40
A.5. Agriculture / Forêts / Pêche	1276,02		0,17	0,01	20,88	17,40	3,48	*
<b>B. Emissions fugitives à partir des combustibles (B1 + B2)</b>	<b>2347,97</b>	<b>NO</b>	<b>994,90</b>	<b>0,03</b>	<b>6,84</b>	<b>0,91</b>	<b>72,17</b>	<b>19,56</b>
B.1- Combustibles solides	NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO
B.2- Pétrole brut et gaz naturel	2347,97		954,72	0,03	6,84	0,91	72,17	19,56
B.2.1- Pétrole (fugitives + venting)	5,16		40,49	NO	NO	NO	NO	NO
B.2.2- Gaz (fugitives + venting)	38,77		940,59	NO	NO	NO	NO	NO
B.2.3- Torchage des gaz aval	2304,04		13,82	0,03	6,84	0,91	0,23	0
B.2.4- Raffinage et stockage de pétrole brut	0		NE	NO	NO	NO	71,94	19,56
<b>C. Soutes internationales aérien + maritime</b>	<b>758,17</b>		<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>	<b>NE</b>

\* Les émissions de SO<sub>2</sub> provenant de l'agriculture et pêche ont été intégrées dans le secteur résidentiel

## I.6 Facteur d'émissions unitaire

L'augmentation rapide de la demande d'énergie dans le monde est principalement liée à la croissance économique et à l'augmentation de la population. En Algérie, la consommation d'énergie finale a atteint 48,15 Mtep en 2018, en hausse de 7,84% par

rapport à 2017. Actuellement, environ 80 % de la consommation mondiale d'énergie est fournie par des combustibles fossiles, ce qui nuit à l'environnement car c'est l'un des principaux gaz polluants. Qui contribuent au problème du réchauffement thermique [30].

Les équations pour le FE de base et le FE modifié (ci-après dénommer "FE de mélange résiduel") sont les suivantes :

$$\text{Facteur d'émissions d'électricité} = \frac{\text{quantité totale d'émissions du CO}_2}{\text{quantité totale d'électricité produite}} \quad [32].$$

Dans les émissions totales de CO<sub>2</sub> par kWh, pour la production d'électricité et de chaleur, le numérateur présente les émissions de CO<sub>2</sub> provenant des combustibles fossiles consommés pour la production d'électricité, tandis que le dénominateur présente l'ensemble de l'électricité produite, provenant des combustibles fossiles, mais aussi du nucléaire, de l'hydraulique, de la géothermie, du solaire, des biocarburants, etc. Par conséquent, les émissions par kWh varient considérablement d'un pays à l'autre et d'une année à l'autre, en fonction du mix de production [31].

Les émissions par kWh doivent être utilisées avec prudence en raison de problèmes de qualité des données concernant l'efficacité de l'électricité pour certains pays [31].

Le FE de base de l'électricité est défini comme suit le rapport entre la quantité de CO<sub>2</sub> émise et la quantité d'électricité générée par diverses ressources énergétiques [32]

$$\text{Mix résiduel EF (Mélange résiduel EF)} = \frac{\text{quantité totale d'émissions du CO}_2}{\text{quantité totale d'électricité produite} - \text{REC}} \quad [32]$$

En présence de REC, le Facteur d'Emissions doit être ajusté pour tenir compte de la contribution positive des énergies renouvelables à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. [32].

L'intensité relative en carbone de la production d'électricité est déterminée à la fois par l'efficacité relative de la production d'électricité et les types de combustibles ou de technologies de production utilisés [32].

Le facteur carbone représente l'intensité carbone du secteur énergétique d'un pays mesuré par les émissions de gaz à effet de serre par unité d'approvisionnement total en énergie primaire [1].

## **I.7 Techniques d'inventaire des GES**

L'objectif ultime de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) est de parvenir à "... stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau qui empêcherait les interférences anthropiques dangereuses avec le système climatique". L'estimation des niveaux d'émissions et d'absorptions de GES par l'établissement des inventaires nationaux est un élément important des efforts déployés pour atteindre cet objectif [33].

### **I.7.1 Définition des inventaires des GES**

Les inventaires nationaux des GES comprennent les émissions anthropiques (résultent directement d'activités humaines ou de processus naturels qui ont été perturbé par les activités humaines) par les sources et les absorptions par les puits des GES sur une période donnée dans une limite géographique ou organisationnelle (territoire national y compris les territoires administrés) [34]. Un inventaire solide peut être une base précieuse sur laquelle des politiques solides peuvent être élaborées et mises en œuvre, et des actions climatiques peuvent être planifiées, y compris le développement de la référence, la prévision des émissions futures, l'évaluation des options politiques et l'établissement d'objectifs d'atténuation réalisables [35].

L'élaboration d'un inventaire national de GES nécessite la mise en place d'un système institutionnel national solide et d'un système d'information de qualité (données d'activités, facteurs d'émission, etc.), la compréhension et l'application des méthodes de calcul de manière appropriée ainsi que la capacité de compiler un rapport complet [36].

Un inventaire des GES pourrait contenir les informations suivantes :

- Des tableaux d'estimations annuelles des émissions et des absorptions par source, avec les estimations exprimées en unités de masse par année.
- Des feuilles de travail (feuilles de calcul) montrant comment les émissions sont calculées, y compris tous les paramètres utilisés pour les calculs.
- Pour chaque source, une description de la méthodologie mise en œuvre, les données d'activité disponibles (DA), les facteurs d'émission (FE) ainsi que les raisonnements ayant conduit à ces choix, Des informations sur l'analyse des incertitudes, les procédures Qualité (AQ/CQ) et sur les recalculs par rapport aux éditions précédentes de l'inventaire.

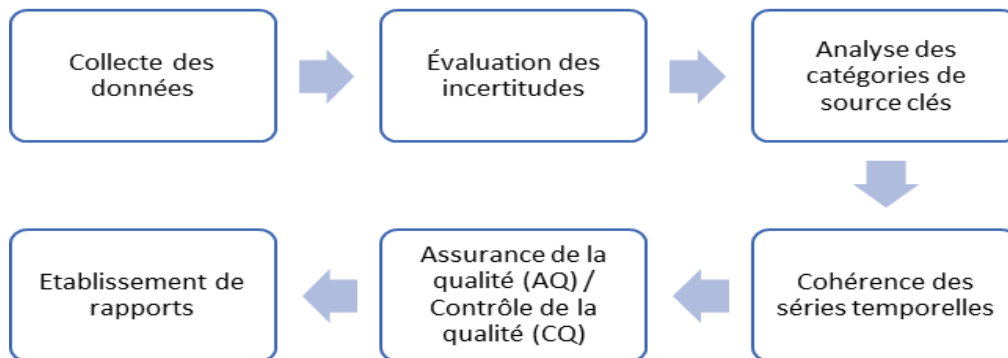
- Des données de base informatives (par exemple, un bilan énergétique national, une description des émissions de GES, etc.)
- Une section distincte présentant les changements par rapport aux éditions précédentes en ce qui concerne les méthodologies mises en œuvre, les sources d'information et les hypothèses, ainsi que les réponses apportées lors des examens précédents et les améliorations prévues pour les futures éditions d'inventaire [26].

La qualité des inventaires de GES repose sur l'intégrité des méthodologies utilisées, l'exhaustivité des rapports et les procédures de compilation des données.

Les inventaires reposent sur quelques concepts clés à propos desquels il existe une compréhension commune. Ceci permet de garantir que les inventaires sont comparables entre les pays et ne contiennent pas de double compte ou d'omission, et que les séries temporelles reflètent les changements réels dans les émissions [34].

### I.7.2 Compilation d'un inventaire des GES

Compiler un inventaire de GES est un processus par étapes [34] qui sont représentées dans la (**Figure I.8**) :



**Figure I.8 : les étapes de compilation d'un inventaire de GES**

L'objectif des Lignes directrices du GIEC était de fournir une méthode d'inventaire normalisée permettant aux parties à la CCNUCC d'élaborer et de soumettre leurs inventaires nationaux conformément au Protocole de Kyoto [35].

Les lignes directrices du GIEC ainsi que le GPC ont classé les activités d'émissions/d'élimination en secteurs, notamment : l'énergie, les processus industriels

et l'utilisation des produits (IPPU), l'agriculture, la foresterie et le changement d'affectation des terres (AFOLU) et les déchets. Six types de GES ont été calculés et convertis en équivalent CO<sub>2</sub> (eq CO<sub>2</sub>) en multipliant les coefficients du potentiel de réchauffement planétaire sur 100 ans de chaque GES, comme le prescrit le cinquième rapport d'évaluation du GIEC [35].

L'Algérie a réalisé son premier inventaire national des émissions de GES en 1994 et le deuxième en 2000. L'inventaire a couvert les GES direct et les gaz précurseurs à effet indirect, Les émissions de GES à effet direct ont été au préalable converti en eq CO<sub>2</sub> sur la base du pouvoir de réchauffement global retenu par le GIEC pour chacun de ces gaz [19].

### **I.8 Le pouvoir de réchauffement globale et l'équivalent CO<sub>2</sub>**

Le potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz est défini comme étant le forçage radiatif cumulé sur une durée de temps (100 ans), c'est le facteur de conversion qui permet de comparer l'influence de différents gaz à effet de serre sur le système climatique. Cette valeur se mesure en équivalent carbone.

Le dioxyde de carbone est considéré comme le gaz de référence et il lui est attribué un PRG égal à 1 pour 100 ans.

Exemple :

Si on émet 1 kg de méthane dans l'atmosphère, on produira le même effet, sur un siècle, que si on avait émis 21 kg de dioxyde de carbone (Cela signifie qu'un gramme de méthane a le même effet que 21 grammes de CO<sub>2</sub>.)

L'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) a une valeur de 310.

L'équivalent dioxyde de carbone (équivalent CO<sub>2</sub>) est une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global (PRG), en convertissant les quantités des divers gaz émis en la quantité équivalente de dioxyde de carbone ayant le même potentiel de réchauffement planétaire. Les équivalents dioxyde de carbone sont généralement exprimés en millions de tonnes métriques d'équivalents dioxyde de carbone. L'équivalent dioxyde de carbone pour un gaz est obtenu en multipliant les tonnes de gaz par le PRG associé : millions de tonnes métriques d'équivalents dioxyde de carbone = (millions de tonnes métriques de gaz) \* (PRG du gaz) [52].



Les émissions de gaz à effet de serre sont estimées à 75 870,09 Gigagrammes (Gg) (1Gg = 1000 tonne métrique) de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de 913,97 Gg de méthane (CH<sub>4</sub>) et à 31,39 Gg d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O). La séquestration de CO<sub>2</sub> par les forêts est estimée à 4 331,46 Gg. On peut considérer que, durant l'année 1994, l'Algérie a émis 104,794 millions de t eq CO<sub>2</sub> soit 3,92 teqCO<sub>2</sub>/hab. Si l'on prend uniquement les émissions de CO<sub>2</sub>, le taux d'émission de CO<sub>2</sub> par habitant est de 2,84 tonnes. Les résultats montrent que c'est essentiellement le secteur de l'Energie qui est responsable à plus des deux-tiers des émissions (66,92%). Le potentiel du pays en hydrocarbures explique en grande partie cette situation, car l'Algérie est un grand exportateur d'hydrocarbures [23].

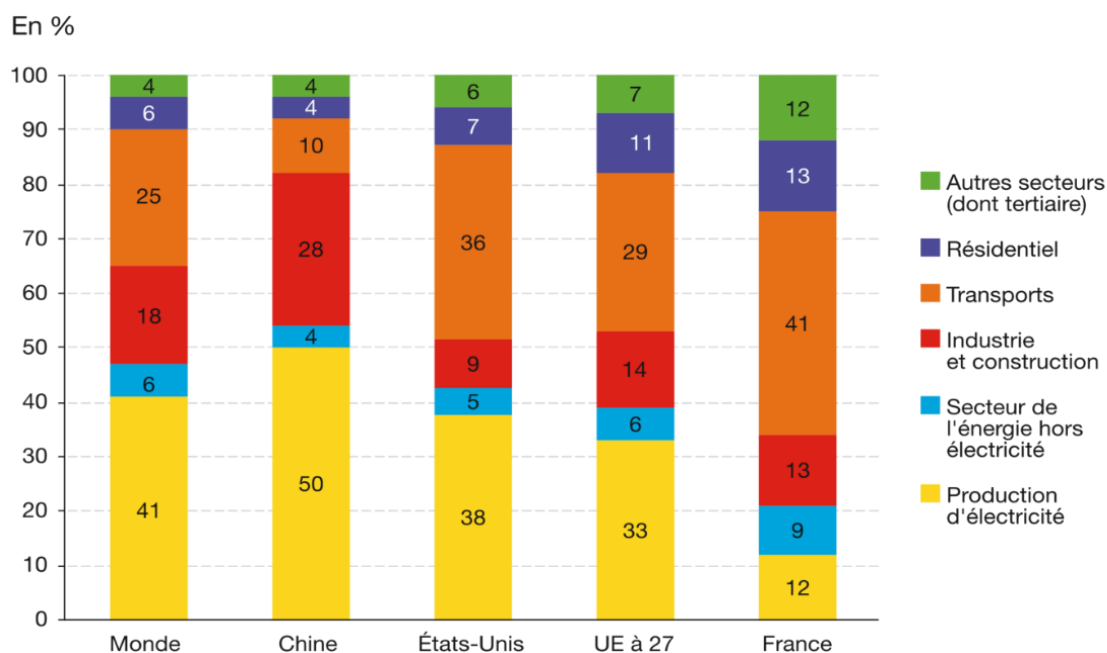
**Tableau I.4 : synthèse des émissions et des absorptions des GES en Algérie (1994) Unité (Gg) [23].**

Secteur	CO <sub>2</sub> émissions	CO <sub>2</sub> absorptions	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	COVNM	SO <sub>2</sub>
Energie	59245,74	0	515,57	0,30	238,41	916,09	184,46	31,69
Procédés Industriels	4457,80	0	0,24	0,88	2,47	5,35	92,91	7,89
Solvants	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Agriculture	0	0	168,04	27,45	0,88	21,43	NC	0
Sols/Forêts	12166,55	4331,46	20,61	1,42	5,12	180,34	NC	0
Déchets	0	0	209,51	1,34	0	0	NC	0
<b>Total</b>	<b>75870,09</b>	<b>4331,46</b>	<b>913,97</b>	<b>31,39</b>	<b>246,86</b>	<b>1123,21</b>	<b>277,37</b>	<b>39,58</b>

## **I.9 Tendance des émissions du CO<sub>2</sub> par secteur**

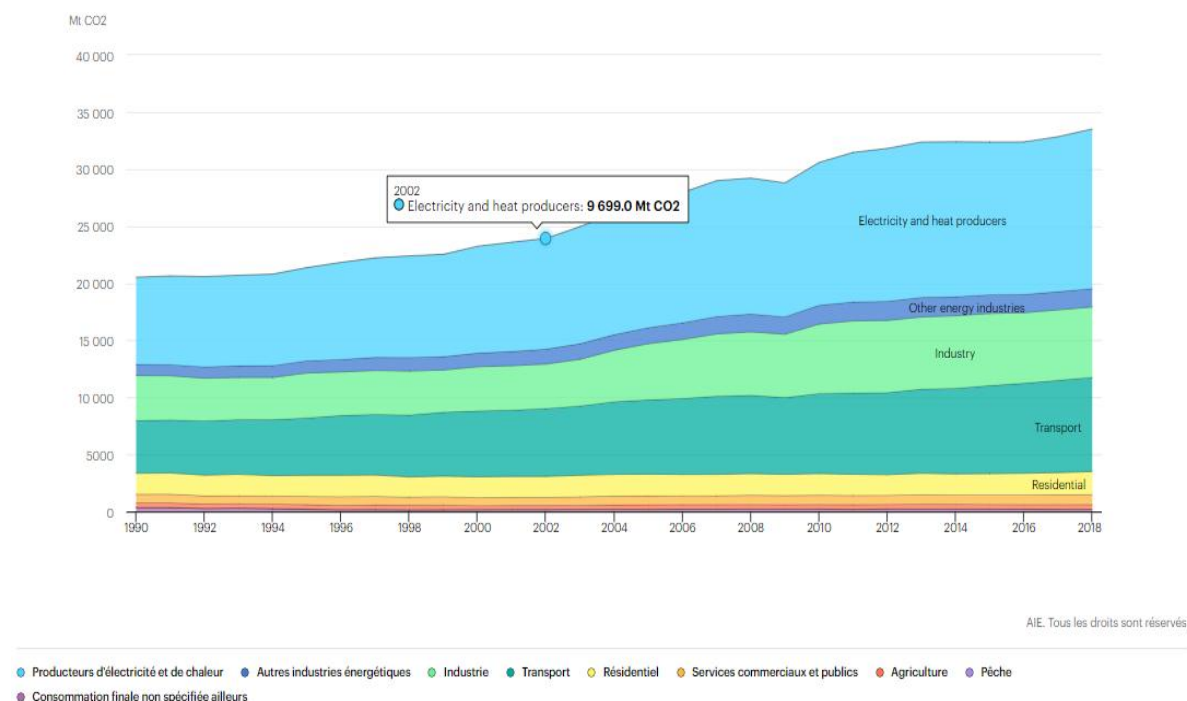
### **I.9.1 Part de l'électricité :**

La production d'électricité représente aujourd'hui environ 40 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie et plus d'un quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Elle reste le premier secteur émetteur de CO<sub>2</sub> dans le monde, avec 41 % du total des émissions dues à la combustion d'énergie comme représentée (**la figure I.9**) Elle est suivie par les transports (25 %) et l'industrie (18 %, y compris la construction) [37].



Source : l'Agence International de l'Énergie (AIE),

**Figure I.9 : Origine des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie en 2018**



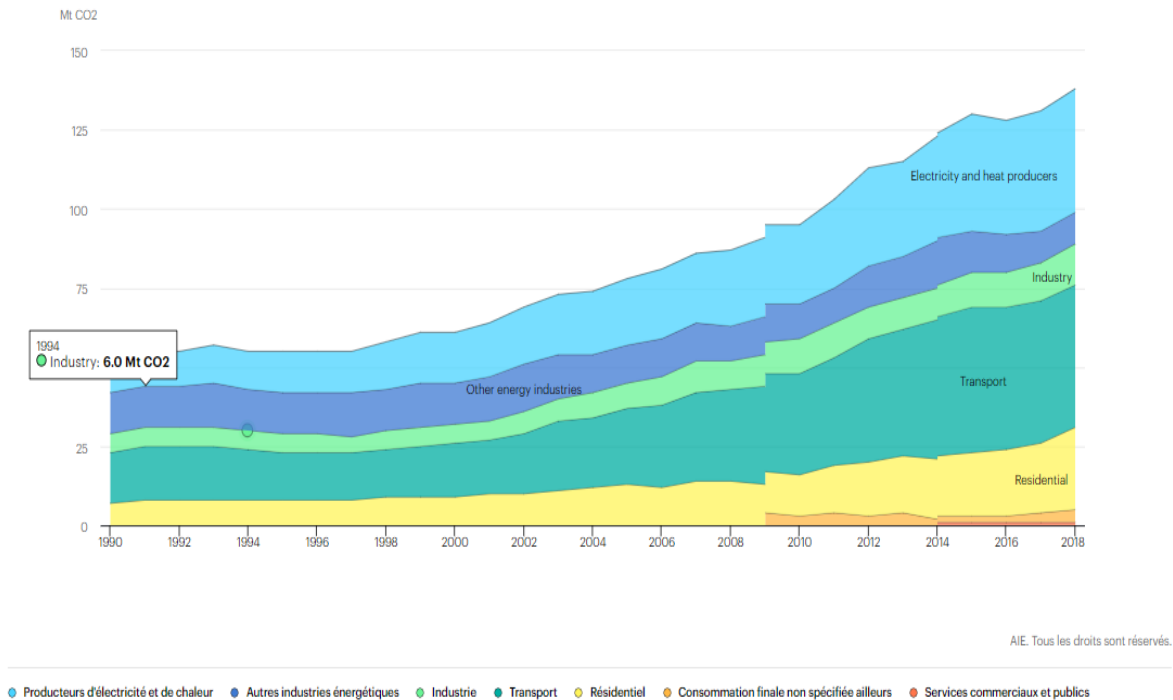
**Figure I.10 : Émissions de CO<sub>2</sub> par secteur, Monde 1990-2018 [37].**

Au cours des années précédentes, la demande d'électricité en Algérie a augmenté rapidement, principalement en raison de l'expansion des activités économiques et de la croissance démographique. La consommation nette d'électricité était de 45 milliards

de kilowattheures en Algérie en 2014. De 2008 à 2014, la consommation d'électricité de l'Algérie a augmenté en moyenne annuelle d'environ 8 %. En 2011, la consommation par habitant atteignait 1091 KWh par personne. Les prévisions indiquent que la consommation d'électricité de l'Algérie devrait augmenter fortement ; il devrait atteindre 75-80 TWh en 2020 et 130-150 TWh en 2030. Selon le bilan énergétique national de 2009, la consommation d'électricité se répartit en trois grands volets : l'Industrie Construction & Travaux Publics (I.CPW) ; Transports (Tr) ; Résidentiel et autres dont l'agriculture (R).

La consommation d'électricité au cours de la période 1999-2009 augmente rapidement pour les trois secteurs. Pour le secteur résidentiel, la consommation d'électricité augmente trop vite, passant de 3,134 ktep en 1999 à 5,524 ktep en 2008, soit une augmentation de 76,26 %. En 2009, cette croissance a connu une légère baisse de 1,60%, qui peut être due aux variations climatiques. Pour l'industrie, le bâtiment et les travaux publics (I.CPW) le bilan montre une augmentation inférieure à celle du secteur résidentiel, passant de 1.950 ktep en 1999 à 2.721 ktep en 2000, soit un taux de 39,60 %. L'évolution de la consommation dans le secteur des transports n'est pas régulière.

La surconsommation d'électricité et le torchage intensif du gaz pour la produire, sont les principales causes d'émissions de CO<sub>2</sub> dans le pays. **(La Figure I.11)** souligne que depuis 1970, les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent en Algérie en raison de la production et de la consommation de combustibles fossiles. Par exemple, en 2013, les émissions de CO<sub>2</sub> ont atteint 113,87 Mt [38].



**Figure I.11 : Émissions de CO<sub>2</sub> par secteur, Algérie 1990-2018 [38].**

### **I.10 Méthodologie de calculs des émissions et absorptions des GES**

Toutes les émissions/absorptions de GES ont été essentiellement calculées selon cette formule de (GIEC, 1996, 2006) :

$$EM_{gi} = AD_i \times EF_{AD_{gi}}$$

Où :

- $EM_{gi}$  est le type d'émission/retrait de gaz  $g$ , en raison de la quantité d'activité  $i$  (ici  $AD_i$ ),
- $EF_{AD_{gi}}$  est le facteur d'émission de  $AD_i$ , c'est-à-dire l'émission de gaz  $g$  lors de l'exécution d'une unité d'activité  $AD_i$ . [35].

Par exemple, dans le secteur de l'énergie, la consommation de combustible constituerait une donnée sur les activités, et la masse de dioxyde de carbone émise par unité de combustible consommé serait un facteur d'émission [34].

Les facteurs d'émissions ont longtemps été l'outil fondamental dans le développement d'inventaires d'émissions nationaux, pour les décisions de gestion de la qualité de l'air et dans le développement de stratégies de contrôle des émissions.

Ces facteurs facilitent l'estimation des émissions provenant de diverses sources de pollution atmosphérique [39].

Un FE GES doit être quantifié pour chaque système de réseau spécifique à travers un ensemble de lignes directrices standardisées et transparentes. Par exemple, les lignes directrices pour les inventaires de gaz à effet de serre nationaux promulgués par le GIEC ont été généralement adoptés au niveau international pour calculer l'EF d'un réseau régional ou national, qui change en fonction annuelle du portefeuille d'énergie (par exemple, l'énergie thermique, l'énergie nucléaire, énergie renouvelable) employée par le producteur d'électricité [32].

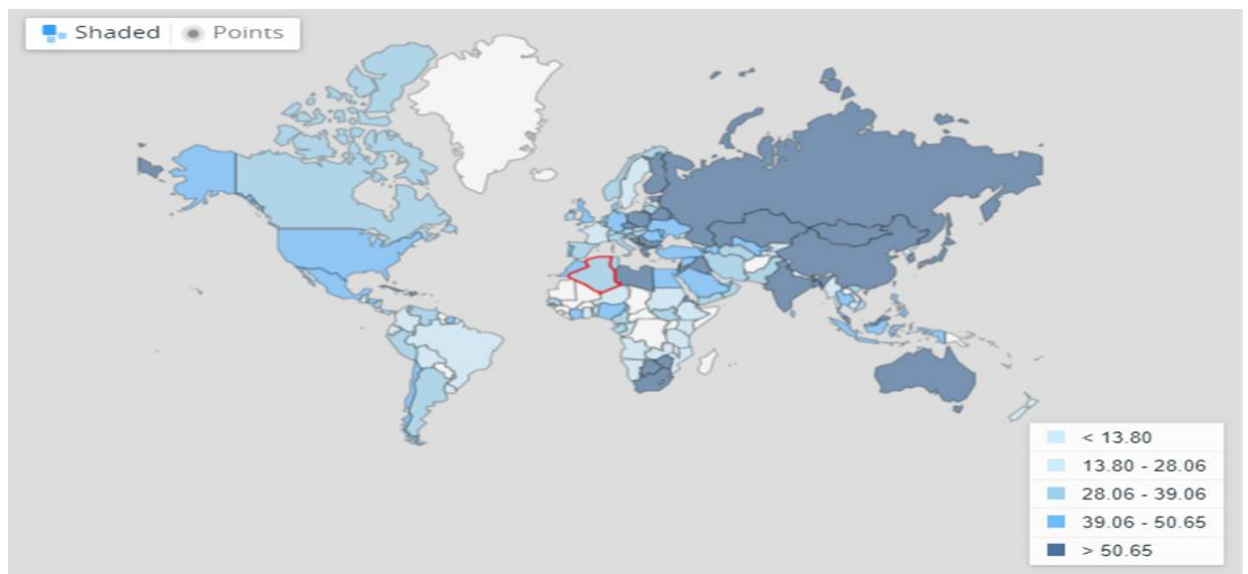
## CHAPITRE II

### EMISSIONS DU SECTEUR DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Que ce soit dans une centrale à charbon, nucléaire, avec une éolienne ou un barrage, l'électricité est toujours produite à partir d'énergie dite "primaire" (pétrole, gaz, nucléaire, Solaire...) qui est très variable d'un pays à un autre [40].

#### II.1 Tendance des émissions du secteur d'électricité

La production d'électricité représente aujourd'hui environ 40 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie et plus d'un quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre. La production d'électricité a plus que doublé au cours des 27 dernières années - atteignant près de 26 000 térawattheures (TWh) en 2017 - et devrait atteindre plus de 40 000 TWh en 2040 dans le scénario des nouvelles politiques (NPS) des Perspectives énergétiques mondiales. La part de l'électricité dans la consommation finale totale a également augmenté, ce qui devrait continuer grâce à l'augmentation de la richesse, à l'électrification des utilisations finales et à la numérisation.



Source : l'Agence International de l'Energie (AIE),

**Figure II.1 : Emissions du CO<sub>2</sub> attribuable à la production de l'électricité, et la position de l'Algérie par rapport au monde**

Parallèlement, les émissions de la production d'électricité ont doublé au cours des 27 dernières années, passant de 6,3 GtCO<sub>2</sub> à 12,5 GtCO<sub>2</sub>, augmentant presque au même rythme que la production elle-même. Les centrales électriques au charbon en Asie sont à elles seules responsables de la majeure partie de l'augmentation des

émissions. De 2010 à 2017, plus de 90 % des ajouts mondiaux de capacité électrique au charbon se sont produits en Asie (610 GW), soit l'équivalent de la capacité totale de production d'électricité au charbon dans les économies avancées [37].

## **II.2 Production de l'électricité**

Les trois principales catégories d'énergie pour la production d'électricité à l'échelle des services publics sont : les combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole), l'énergie nucléaire et d'autres sources des énergies renouvelables.

## **II.3 Production centralisée d'électricité**

La « production centralisée » fait référence à la production d'électricité à grande échelle dans des installations centralisées. Ces installations sont généralement situées loin des utilisateurs finaux et connectées à un réseau de lignes de transport à haute tension. L'électricité générée par la production centralisée est distribuée via le réseau électrique à plusieurs utilisateurs finaux. Les installations de production centralisée comprennent les centrales électriques à combustible fossile, les centrales nucléaires, les barrages hydroélectriques, les parcs éoliens, etc. [41].

## **II.4 Réseau électrique**

Un système de fournisseurs d'électricité et de consommateurs synchronisés reliés par des lignes de transport et de distribution et exploité par un ou plusieurs centres de contrôle [42].

L'électricité "de réseau" est celle qui est consommée par un client situé dans un pays et qui se branche sur une prise électrique sans avoir passé un contrat avec un producteur nommément désigné, contrat par lequel le client décide de ne consommer que l'électricité fournie par le producteur en question [40].

On utilisera l'expression « électricité de réseau » pour désigner un kWh produit dans un pays donné. Cette électricité de réseau se verra conventionnellement affecter le contenu moyen en gaz à effet de serre de la consommation électrique effectuée dans le pays [43].

## **II.5 Les pertes d'énergies sur le réseau électrique :**

Les pertes de transmission et de distribution d'électricité sont définies comme des écarts entre l'énergie produite et effectivement distribuée aux consommateurs, dus à des facteurs à la fois techniques et non techniques

- **Les pertes techniques** : Ces pertes résultent du transit d'énergie active et réactive dans le réseau au cours de processus de transport. Leur volume (ou quantité) dépend directement des caractéristiques des ouvrages existants et de leurs modes d'exploitation.
- **Les pertes non techniques ou « commerciales »** : Elles résultent des dysfonctionnements de processus de mesure, de relève, de comptabilisation, de facturation et de recouvrement de l'énergie consommée par la clientèle. Leur importance dépend directement de la qualité de gestion de la clientèle.
- **Les pertes par effet de joule** : Les pertes par effet joule constituent la composante principale des pertes de transport. Ces pertes sont causées par le courant qui circule dans les lignes et les transformateurs.

La puissance dissipée par l'effet joule vaut :  $P = R * I^2$

Avec **P** : la puissance dissipée par effet joule en watts (W)

**R** : la résistance de l'élément en ohms ( $\Omega$ )

**I** : le courant qui circule dans l'élément en ampères (A)

Ces pertes représentent entre 2% et 3% de l'électricité acheminée. Cela veut donc dire que si le réseau de transport de l'électricité livre 100 MW à un consommateur, il en achemine 103 MW et 3MW sont perdus lors du transport ce qui provoque une élévation de taux de facteur d'émission.

Les pertes d'électricité sont bien réelles et impossibles à éviter, mais on peut chercher à les réduire [51].

## **II.6 Production mondiale d'électricité par source d'énergie**

La demande mondiale d'électricité a augmenté de 4 % en 2018 (soit 900 TWh), près de deux fois plus vite que la demande globale d'énergie, et à son rythme le plus rapide depuis 2010. Les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire ont répondu à la majorité de la croissance de la demande. Néanmoins, la production des centrales électriques au charbon et au gaz a considérablement augmenté, entraînant une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur de 2,5 % [44].

- **Pour 64% des énergies fossiles**

38% provenant du charbon

3% provenant du pétrole

23% provenant du gaz naturel

- **Pour 10% de l'énergie nucléaire**
- **Pour 26% des énergies renouvelables**



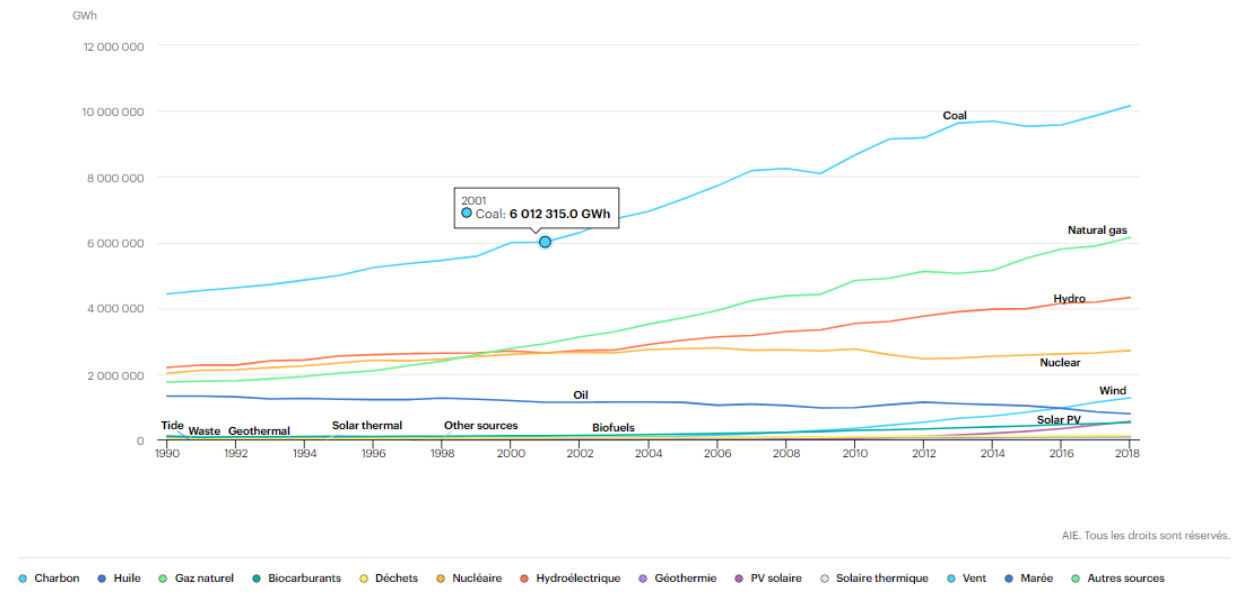
16% provenant de l'hydraulique

3% provenant de la biomasse et des déchets

5% provenant de l'éolien

2% provenant du solaire photovoltaïque

La production d'électricité par principale source d'énergie (1990-2018) dans le monde est présentée dans (**la Figure II.2**) :



**Figure II.2: Production d'électricité par source, Monde 1990-2018**

Le mix de la production électrique mondiale reste néanmoins encore largement dominé par le charbon, pourtant décrié pour sa forte contribution à l'effet de serre.

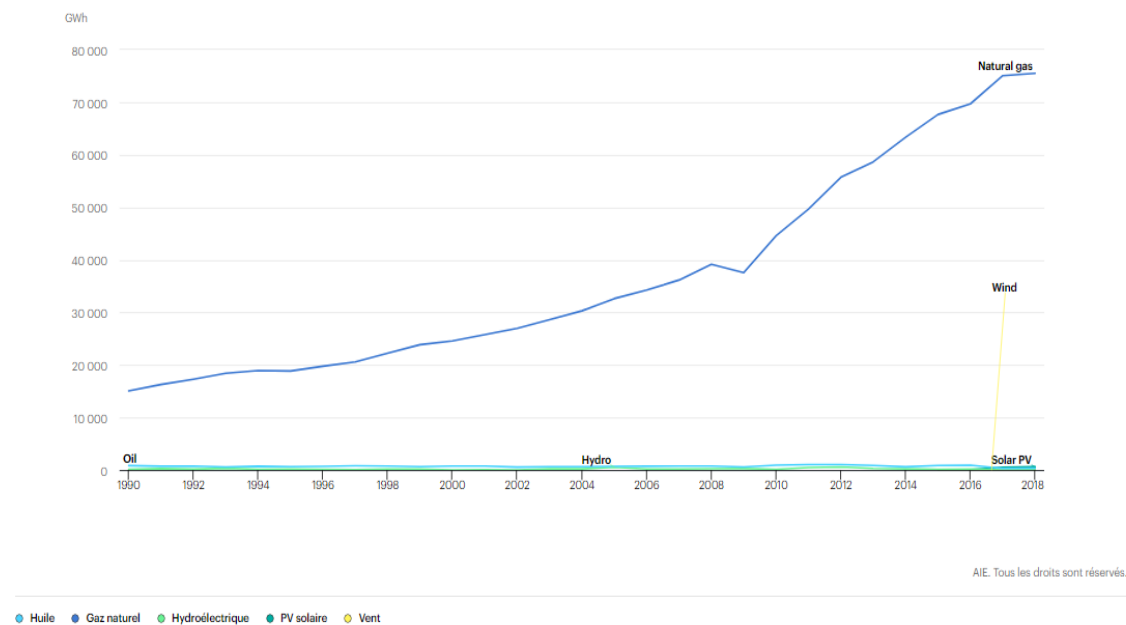
Le « Key World Energy Statistics 2018 » de (l'AIE) présente la production d'électricité mondiale des plus grands pays producteurs de 2016. Avec une production de 6 218 TWh, la Chine était en 2016 le premier producteur mondial d'électricité et représentait à elle seule 24,8% de la production mondiale. La production d'électricité chinoise reposait à plus de 70% sur les énergies fossiles.

Les États-Unis sont le second plus gros pays producteur d'électricité et représentent 17,2% de la production mondiale. Viennent ensuite L'Inde, la Russie, le Japon, le Canada, le Brésil, et la Corée du Sud. La France arrive en 10e position, avec une production annuelle de 556 TWh en 2016, soit 2,2% de la production mondiale.

La quantité de CO<sub>2</sub> rejetée par la production d'électricité a néanmoins sensiblement augmenté ces 30 dernières années, atteignant les 13 412 Mt CO<sub>2</sub> (soit 76,1% de plus qu'en 1990).

Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la production d'électricité représentent 41,5 % des émissions de CO<sub>2</sub> totales dues à la combustion d'énergie. En 2016, la Chine représentait à elle seule plus de 34 % des émissions mondiales [45].

### Cas de l'Algérie :



**Figure II.3 : Production d'électricité par source, Algérie 1990-2018**

La (Figure II.3) montre que La production d'électricité en Algérie provient majoritairement du gaz naturel à un taux de 99 %, le mix électrique en Algérie est présenté dans le tableau suivant (tableau II.1) :

**Tableau II.1 : production de l'électricité par source en Algérie (TWh)**

Source	1990	%	2000	%	2010	%	2016	2017	%	Var 2017 2017/1990
<b>Pétrole</b>	0.87	5.4	0.77	3.0	0.96	2.1%	0.97	0.32	<b>0.4%</b>	<b>-63%</b>
<b>Gaz naturel</b>	15.10	93.7	24.6	96.7	44.6	97.5	69.66	75.06	<b>98.7%</b>	<b>+397%</b>
<b>Total fossiles</b>	<b>15.97</b>	<b>99.2</b>	<b>25.36</b>	<b>99.8</b>	<b>45.56</b>	<b>99.6</b>	<b>70.66</b>	<b>75.38</b>	<b>99.2%</b>	<b>+372%</b>
<b>Hydraulique</b>	0.135	0.8	0.054	0.2	0.17	0.4	0.22	0.06	<b>0.07%</b>	<b>-59%</b>
<b>Solaire</b>							0.09	0.57	<b>0.8%</b>	<b>Ns</b>
<b>Eolien</b>							0.03	0.008	<b>0.01%</b>	<b>Ns</b>
<b>Total</b>	<b>16.10</b>	<b>100</b>	<b>25.41</b>	<b>100</b>	<b>45.73</b>	<b>100</b>	<b>71.0</b>	<b>76.02</b>	<b>100%</b>	<b>+372%</b>

Source : l'Agence International de l'Energie (AIE),

Le système électrique algérien est composé de nombreuses sources de production, telles que le gaz, le pétrole, le solaire, l'éolien et d'autres sources renouvelables. Cependant, environ 98% de la production d'électricité de l'Algérie repose sur des sources de combustibles fossiles. En particulier, plus de 92,4% de la production d'électricité algérienne sont dérivés du gaz naturel et 6,5% du pétrole. Le ministère nl

## II.7 Facteur d'émission CO<sub>2</sub> du réseau d'électricité

Le facteur d'émission de l'électricité pour un système de réseau est défini comme étant la quantité de CO<sub>2</sub> émis par unité d'électricité produite. [40], c'est le coefficient qui permet de détailler le contenu gaz à effet de serre pour la production ou la consommation d'un kilowattheure d'électricité en équivalent CO<sub>2</sub>.

Le facteur d'émission pour un kWh d'électricité de réseau reflète les énergies primaires utilisées pour alimenter le réseau en question, c'est-à-dire, pour l'essentiel, l'énergie primaire consommée par les producteurs nationaux, déduction faite du solde des échanges. [40]

Les facteurs d'émissions de l'électricité de réseau, reflétant le parc de centrales installées sur le territoire national, varie lentement. En effet, la composition de ce parc ne change pas d'une année à l'autre. [17]

Les sources d'énergie, le type de combustibles et l'efficacité de la production d'électricité jouent tous un rôle important dans la détermination de la valeur d'un facteur d'émission du réseau électrique.

Des facteurs d'émission spécifiques au pays pour l'électricité du réseau sont publiés pour certains pays, par exemple (Defra /DECC) publie des facteurs pour le Royaume-Uni, et (l'EPA) publie des facteurs pour les États-Unis. Cependant, pour la plupart des autres pays, les meilleurs facteurs disponibles sont les facteurs composites publié par l'AIE. [46]

En France, le facteur d'émission correspondant à un kWh produit était de 23 grammes équivalent carbone par kWh en analyse de cycle de vie. Pour l'étranger, les valeurs ont été fournies par le GHG Protocol, lui-même faisant référence à l'Agence Internationale de l'Énergie.

Le tableau ci-dessous donne des informations sur les facteurs d'émission de quelques pays (année de référence : 2004). [40]

**Tableau II.2 : Facteurs d'émission de la production d'électricité par pays en 2004**

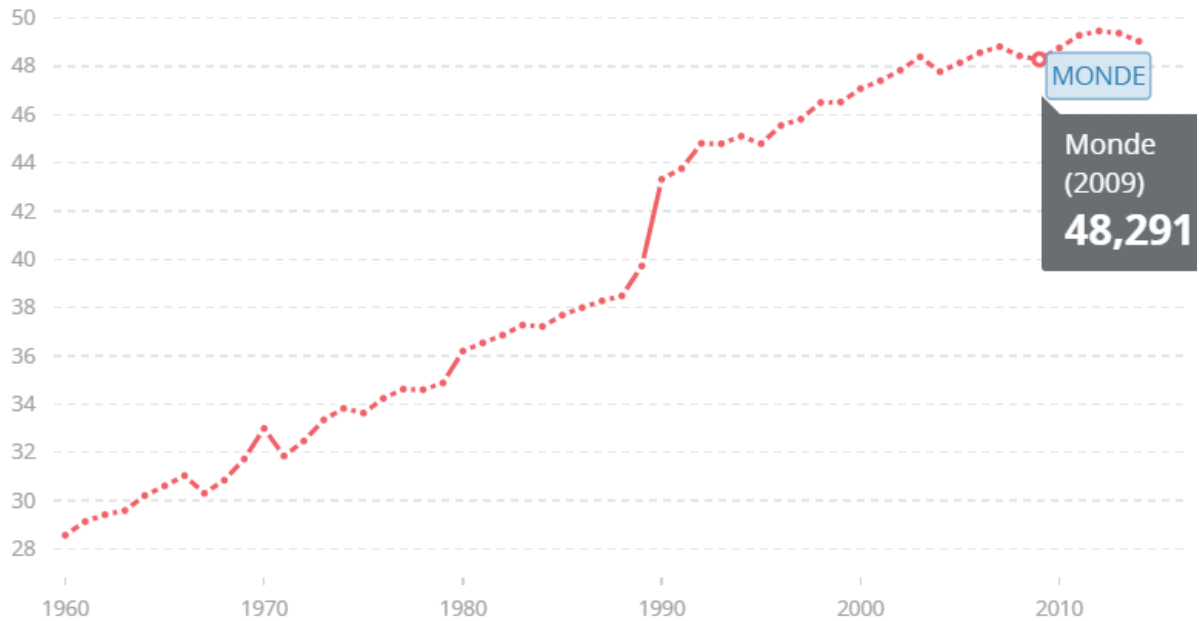
<b>Pays</b>	<b>Kg équivalent carbone par kWh</b>
France	0,023
Allemagne	0,141
Autriche	0,056
Belgique	0,073
Danemark	0,091
Espagne	0,117
Finlande	0,069
Grèce	0,222
Irlande	0,176
Italie	0,139
Luxembourg	0,083
Pays-Bas	0,120
Portugal	0,137
Royaume-Uni	0,124
Suède	0,012
Electricité Moyenne européenne	0,096
USA	0,158
Japon	0,115

Source : l'Agence International de l'Energie (AIE), 2004

## **II.8 Emissions du CO<sub>2</sub> attribuable à la production de l'électricité**

Les émissions provenant de la production d'électricité varient selon le type de combustible/source d'énergie et selon le type et l'efficacité des centrales électriques. La quantité de CO<sub>2</sub> produite par kWh pendant une période donnée variera en fonction des sources d'électricité fournies au réseau électrique pendant cette période. Par conséquent, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'électricité et les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> varieront toutes les heures, tous les jours, tous les mois et tous les ans.

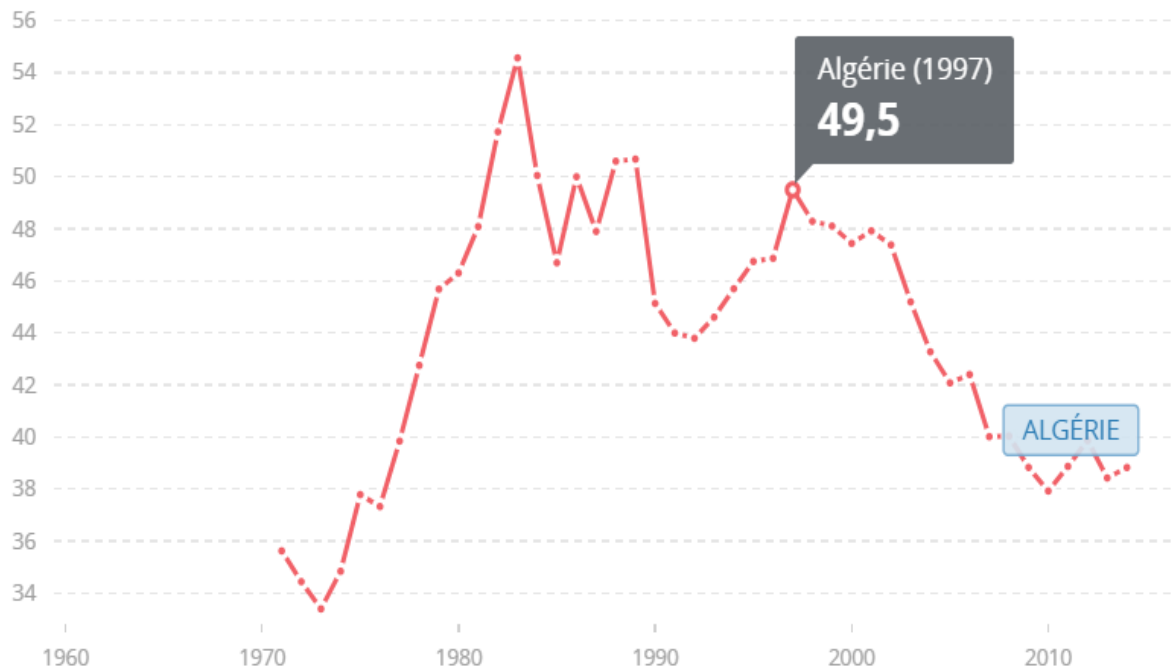
La production totale d'électricité à partir de centrales électriques à grande échelle est restée presque constante à un peu plus de 4 000 gigawattheures (GWh) par an depuis 2010. Cependant, les changements dans le mix de production d'électricité ont entraîné une diminution significative des émissions de CO<sub>2</sub> associées à la production d'électricité.



Source : La banque mondiale

**Figure II.4 : Emissions de CO<sub>2</sub> lors la production de l'électricité et de chaleur (% de la combustion totale de combustibles) du Monde (1960-2010).**

Depuis 1970, l'Algérie a connu une croissance économique rapide grâce à ses ressources en combustibles fossiles. L'économie algérienne reste une économie basée sur le pétrole et comprend des secteurs à forte intensité énergétique tels que le bâtiment et les transports. Par conséquent, la consommation totale d'électricité augmente rapidement. La consommation d'électricité a atteint 40,9 TWh en 2013, devrait atteindre en moyenne 75 à 80 TWh en 2020 et 130 à 150 TWh en 2030. La demande d'électricité devrait augmenter à un taux de croissance annuel moyen de 6 %. Ceci souligne l'importance de la consommation d'électricité en tant que composante cruciale de la croissance économique pour l'Algérie. [38]



Source : La banque mondiale

**Figure II.5 : Emissions de CO<sub>2</sub> lors la production de l'électricité et de chaleur (% de la combustion totale de combustibles), Algérie (1960-2010).**

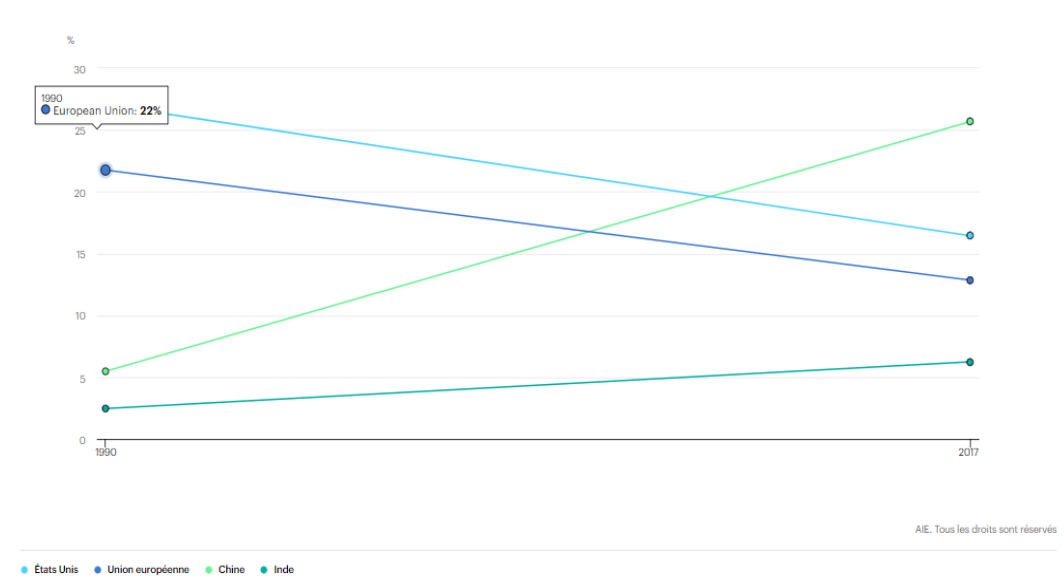
## **II.9 Découplage entre la production d'électricité et les émissions de CO<sub>2</sub> associées, et principaux facteurs contributifs**

Depuis 1990, l'intensité mondiale de CO<sub>2</sub> de la production d'électricité – c'est-à-dire la quantité d'émissions de CO<sub>2</sub> créées pour chaque kWh d'électricité produit – est restée globalement stable. Jusqu'au début des années 2010, la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la production d'électricité a suivi la croissance de la demande d'électricité. Cependant, les dernières années ont montré un découplage : la demande d'électricité continue d'augmenter, mais les émissions liées à la production d'électricité ont commencé à se stabiliser

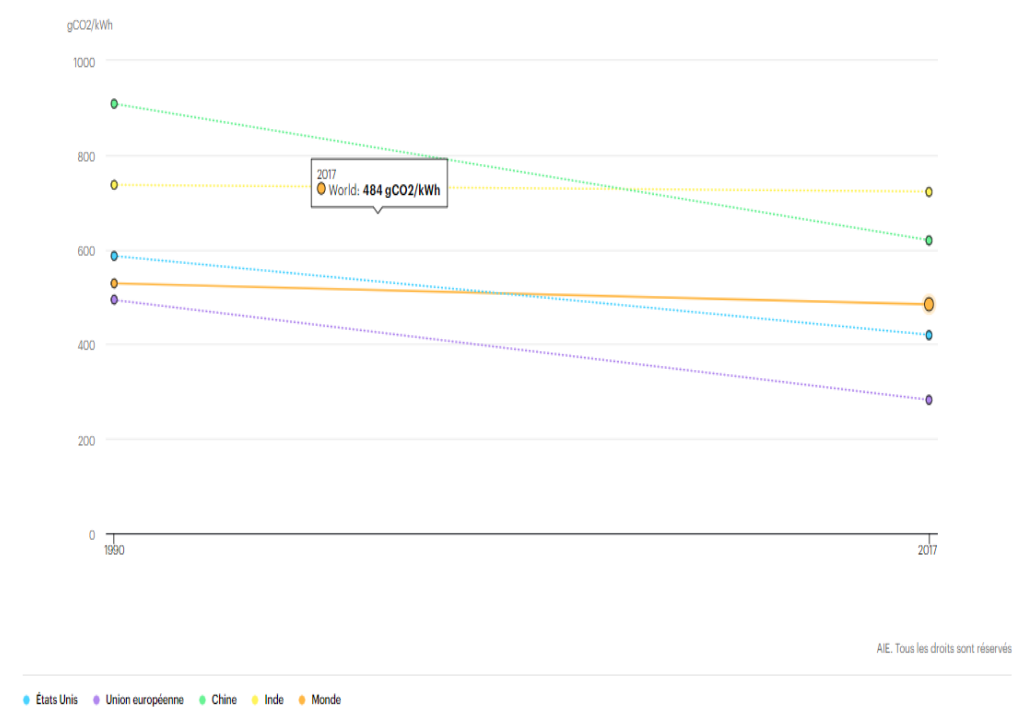


**Figure II.6 : Principaux facteurs contributifs aux émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production d'électricité, 2019 [37].**

La (figure II.6) montre qu'il y ait des signes de découplage d'un point de vue mondial, les progrès varient selon les régions. De nombreuses régions disposent de ressources nationales renouvelables telles que l'hydroélectricité et la bioénergie ou d'autres technologies à faible émission de carbone telles que le nucléaire. Ces sources se traduisent par des intensités de CO<sub>2</sub> déjà bien inférieures à la moyenne mondiale. Cependant, la majorité des pays s'appuient encore sur un mix électrique loin d'être décarboné.



**Figure II.7 : Part de la production mondiale d'électricité de certains pays, 1990-2017 [37].**



**Figure II.8 : Intensité en CO<sub>2</sub> de certains pays, 1990-2017 [37].**

La décarbonisation de la production mondiale d'électricité semble être en cours, l'intensité carbone diminuant d'environ 2 % par an au cours des dernières années. Ce qui indique que de grandes améliorations ont été réalisées, mais davantage d'efforts sont nécessaires pour atteindre les objectifs climatiques. Les (figures II.7 et II.8) montrent que le découplage des émissions et de la production d'électricité est d'une importance cruciale dans un monde qui doit se décarboner. [37]

Le facteur d'émission CO<sub>2</sub> du réseau électricité (GEF) est nécessaire pour déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> lors de déplacement de l'électricité produite par des centrales électriques dans un système électrique lorsqu' :

- Une activité de projet fournit de l'électricité à un réseau.
- Une activité de projet qui entraîne des économies d'électricité qui aurait été fournie par le réseau.

Les facteurs d'émission sont nécessaires pour calculer les émissions attribuables aux achats d'électricité, de vapeur, de chaleur et de froid.

Les facteurs d'émission reflètent la ressource énergétique renouvelable ou fossile utilisée et l'efficacité de la conversion de l'énergie d'entrée en énergie utile de sortie



(énergie utile produite) [47] Il s'agit d'un paramètre permettant de déterminer les émissions de référence dans le secteur des énergies renouvelables (énergie hydraulique, éolienne, solaire PV, géothermique, etc. géothermie, etc.) et du secteur de la récupération de la chaleur et des gaz résiduels. [43] Le choix des facteurs d'émission est donc important pour l'efficacité des politiques visant à réduire la consommation locale d'électricité. Si le facteur d'émission est inexact, l'effet de la réduction de la consommation d'électricité sur l'objectif global de réduction des émissions peut être surestimé ou sous-estimé, compromettant l'efficacité des politiques de réduction des émissions de la ville [49] Les émissions liées à la consommation d'électricité sont calculées en appliquant un FE donné à la quantité d'électricité consommée par l'entité déclarante. Pour calculer le "contenu en équivalent carbone" d'un kWh électrique fourni à l'utilisateur, il serait nécessaire, dans l'idéal, de tenir compte :

- De l'énergie primaire utilisée pour faire un kWh en sortie de centrale,
- Des émissions amont liées à la mise à disposition de cette énergie primaire à la centrale électrique,
- Des émissions qui ont été engendrées par la construction de l'installation de production (qu'il s'agisse d'une centrale produisant en masse ou d'un panneau solaire),
- Des pertes en ligne si l'énergie électrique n'est pas produite sur place, car cette énergie perdue a bien entendu conduit à des émissions lors de sa production [17].

## **II.10 Les principales méthodes de calcul du contenu CO<sub>2</sub> par usage**

### **II.10.1 Méthodes de l'Agence International de l'Energie**

La méthodologie pour les facteurs d'émission spécifiques à l'électricité consiste à calculer les émissions totales provenant de la production d'électricité dans un pays et à diviser ce chiffre par la quantité totale d'électricité produite par le pays.

$$F_{\text{réseau}}^{\text{CO}_2} = \frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}}$$

Un calcul supplémentaire a été nécessaire afin d'attribuer une partie des émissions des centrales de cogénération à l'électricité produite.

Pour effectuer cette allocation, on utilise la méthode de l'efficacité ;

Cette méthode utilise les efficacités des installations dédiées à l'électricité et des installations dédiées à la chaleur pour dériver un rapport pour répartir les émissions entre les deux sorties de la cogénération. Nous avons supposé que l'efficacité d'une centrale électrique dédiée est de 35 % et que l'efficacité d'une centrale thermique dédiée est de 80 %.

La méthode d'efficacité requiert également des informations sur la production d'électricité et de chaleur des centrales de cogénération.

En l'absence d'autres données, on suppose que la production d'électricité est de 0,35 kWh pour chaque kWh d'entrée, et que la production de chaleur est de 0,45 kWh par kWh.

Le calcul de la méthode d'efficacité est le suivant :

$$\text{Émissions totales attribuables à la chaleur} = (0.45/0.8) / ((0.45/0.80) + (0.35/0.35)) = 36 \%$$

$$\text{Émissions totales attribuables à l'électricité} = 64 \%$$

Une fois que les émissions totales provenant de la production d'électricité dédiée et de l'électricité issue de la cogénération ont été calculées le total sera divisé par la quantité totale d'électricité produite. [47]

## **II.10.2 Méthodes de l'ADEME**

### **II.10.2.1 La méthode saisonnalisée par usages**

Avec cette méthode, chaque usage est ainsi décomposé en une part saisonnalisée et une part non saisonnalisée. La part saisonnalisée se voit attribuer un facteur d'émission élevé (reflétant la part importante de production thermique conventionnel) ; la part non saisonnalisée, un facteur d'émission faible (prédominance du nucléaire).

La notion « production de base », pour un moyen de production donné, se fonde sur le minimum de production constaté, à la maille mensuelle, sur l'année. La production « dite saisonnalisée » correspond à tout ce qui est produit au-delà de ce talon de production minimum. Il est donc possible de calculer les émissions de CO<sub>2</sub> du kWh en base et saisonnalisé. Selon le même principe, pour un usage donné, la consommation de base est égale au minimum mensuel multiplié par 12, et la consommation saisonnalisée correspond à tout ce qui est consommé au-delà de ce talon de consommation minimum. On calcule ensuite un « pourcentage de

saisonnalité » correspondant à la part de la consommation saisonnalisée dans la consommation annuelle.

### **II.10.2.2 Les méthodes moyenne, horaire, journalière ou mensuelle**

Le principe commun à ces méthodes est de relier le contenu CO<sub>2</sub> moyen du système électrique, au pas de temps temporel considéré, avec un profil d'usage. A titre d'exemple, la méthode mensualisée (c'est-à-dire au pas de temps mensuel) estime le contenu CO<sub>2</sub> d'un usage selon les étapes suivantes :

- a) Pour chaque mois, calcul d'un « facteur d'émission » du parc de production électrique (valeur en gCO<sub>2</sub>/kWh), tenant compte de la part respective de chaque moyen de production ;
- b) Pour chaque mois également, calcul de la part de la consommation de l'usage sur sa consommation annuelle (valeur en %, pour chaque mois) ;
- c) Ensuite, calcul du produit de ces deux résultats (valeur en gCO<sub>2</sub>/kWh) pour chacun des 12 mois de l'année ;
- d) Enfin, somme des valeurs précédentes, de sorte à obtenir un résultat de contenu CO<sub>2</sub> reflétant le profil annuel de cet usage.

Le calcul au pas de temps horaire fonctionne selon le même principe, à ceci près qu'il nécessite des chroniques de production et d'usage beaucoup plus précises (sur les 8760 heures de l'année).

Les méthodes moyennes traduisent bien la variabilité des émissions de CO<sub>2</sub> du parc de production au pas de temps considérée, mais par rapport à la méthode saisonnalisée par exemple, elles ont pour effet de niveler le contenu CO<sub>2</sub> de chaque usage autour du contenu CO<sub>2</sub> moyen du système électrique.

### **II.10.2.3 Les méthodes à but prospectif**

#### **II.10.2.3.1 La méthode marginale**

Avec cette méthode, on considère une action à la marge de l'ensemble du système électrique et on analyse son impact. Par exemple pour une action de maîtrise de l'énergie permettant de diminuer la consommation de quelques MWh, on considère que l'on évite les émissions des derniers moyens appelés, souvent très carbonés. Cette méthode est adaptée à un cadre prospectif puisqu'elle évalue l'influence d'une action susceptible de modifier significativement la réponse du système électrique en termes

d'émission (comportement critique au moment des pointes d'appel de puissance). Cependant le calcul n'est par définition valable qu'à la marge d'un système donné, et n'est donc pas généralisable à un volume important, à une transformation impliquant un déploiement simultané de nouvelles solutions (par exemple : développement de l'électricité dans le transport et le bâtiment de manière simultanée) ou dans une approche prospective à long terme. Elle ne permet pas non plus d'évaluer l'influence du mix électrique sur l'impact carbone global de la somme des usages (on parle d'un défaut d'additivité).

### **II.10.2.3.2 La méthode incrémentale**

Cette méthode consiste à comparer les émissions de CO<sub>2</sub> d'un scénario prospectif de référence avec un scénario prospectif de politique publique associant évolution des usages et du mix de production.

Ce principe méthodologique peut se décliner selon deux variantes concernant le parc de production :

- soit ce dernier reste inchangé entre les deux cas de figure ;
- soit il est augmenté d'une certaine capacité de production, quantifiée de sorte à répondre à l'incrément, c'est-à-dire produire sur l'année la quantité d'électricité supplémentaire induite. En pratique, la quantité globale correspond à la quantité d'électricité consommée annuellement, et l'incrément peut être une unité de consommation (un GWh, un TWh...) ou bien une quantité correspondant à l'ajout d'un besoin spécifique (des logements à chauffer, par exemple).

La méthode incrémentale s'accorde bien avec des analyses prospectives nécessitant une anticipation et une modélisation des profils d'usage et du parc de production. [50]

## **Méthodologie de calculs et résultats**

## CHAPITRE III

### METHODOLIGIE DE CALCUL ET RESULTATS

#### 3.1. Méthodologie adoptée

Il existe différentes méthodes de calcul du contenu CO<sub>2</sub> de l'électricité répondant chacune à des enjeux spécifiques. Pour ce travail, et afin de calculer le facteur d'émissions du contenu CO<sub>2</sub> du kWh électrique pour le réseau national de l'Algérie, la méthode adoptée est celles de l'agence international de l'énergie (méthode de base), qui consiste à calculer les émissions totales provenant de la production d'électricité dans le réseau national de l'Algérie et diviser ce chiffre par la quantité totale d'électricité produite.

$$F^{\text{CO}_2}_{\text{réseau}} = \frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}}$$

##### 3.1.1. Collecte de données

Le travail consiste à exploiter la série de données temporelles des trente dernières années de production du parc national de centrales de production d'électricité en considérant le réseau connecté et isolés du sud de l'Algérie.

Les données nécessaires au calcul ont été tiré des bulletins de l'APRUE, qui assure le rôle d'observatoire des consommations énergétiques des différents secteurs au niveau national, intéressée par le développement de ce facteur CO<sub>2</sub> du réseau national.

##### 3.1.2. Base de calcul

La base de calcul s'appuie sur des tableurs de calcul EXCEL, composée de :

- Feuilles réservées aux années de calcul (du 1990 au 2019).
- Feuilles réservées aux résultats et graphes.

Une feuille de calcul est composée de :

- Les Centrales de production d'électricité (SPE, SK et indépendantes, SKTM, centrales hydrauliques et finalement les centrales photovoltaïques et éoliens).
- La consommation des combustibles fossiles (gaz naturel et gasoil) et le totale des deux combustibles en (Mth) et (TJ).
- La production en (GWh) et (MWh).

- Les émissions en t eq CO<sub>2</sub>.
- Les facteurs réseau (fossiles et fossiles +ENR) avec et sans pertes.
- ✓ Pour arriver à calculer le facteur réseau en (Kg CO<sub>2</sub>/ MWh) suit à la méthode de base de l'AIE, et une fois la consommation du combustible et la production de l'électricité sont donné en (Mth), une étape de conversion est nécessaire pour passer du (Mth) au (TJ) et du (GWh) ay (MWh) :

Consommation en (TJ) = consommation en (Mth)\*4.1868

Production en (MWh) = production en (GWh)\*1000

- ✓ Une fois les résultats de la consommation sont donnés en (TJ), une étape de calcul des émissions en (t eq CO<sub>2</sub>) est donné comme suit :

L'émission du gaz naturel en (t eq CO<sub>2</sub>) = la consommation du gaz naturel en (TJ) \* facteur de conversion du gaz naturel

L'émission du gasoil en (t eq CO<sub>2</sub>) = la consommation du gasoil en (TJ) \* facteur de conversion du gasoil

Avec :

Facteur de conversion du gaz naturel = **56.1 (t eq CO<sub>2</sub>/ TJ)**

Facteur de conversion du gasoil = **74.1 (t eq CO<sub>2</sub>/ TJ)**

- ✓ Une fois calculer l'émission on applique la loi de calcul de facteur réseau pour arriver au résultat final

$$F_{\text{réseau}}^{\text{CO}_2} = \frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}}$$

- ✓ 4 facteurs réseau sont calculé :
- Facteur réseau fossile sans pertes =  $\frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}}$  des combustibles fossiles uniquement.
- Facteur réseau fossiles avec pertes =  $\frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}*0.93}$  des combustibles fossiles uniquement. Avec : 0.93 = pourcentage des pertes.
- Facteur réseau fossiles +ENR sans pertes =  $\frac{\text{Emission (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production (MWh)}}$  des combustibles fossiles et énergies renouvelables.

- Facteur réseau fossiles +ENR avec pertes =  $\frac{\text{Emission totale (Kg CO}_2\text{)}}{\text{Production totale (MWh)} \cdot 0.93}$

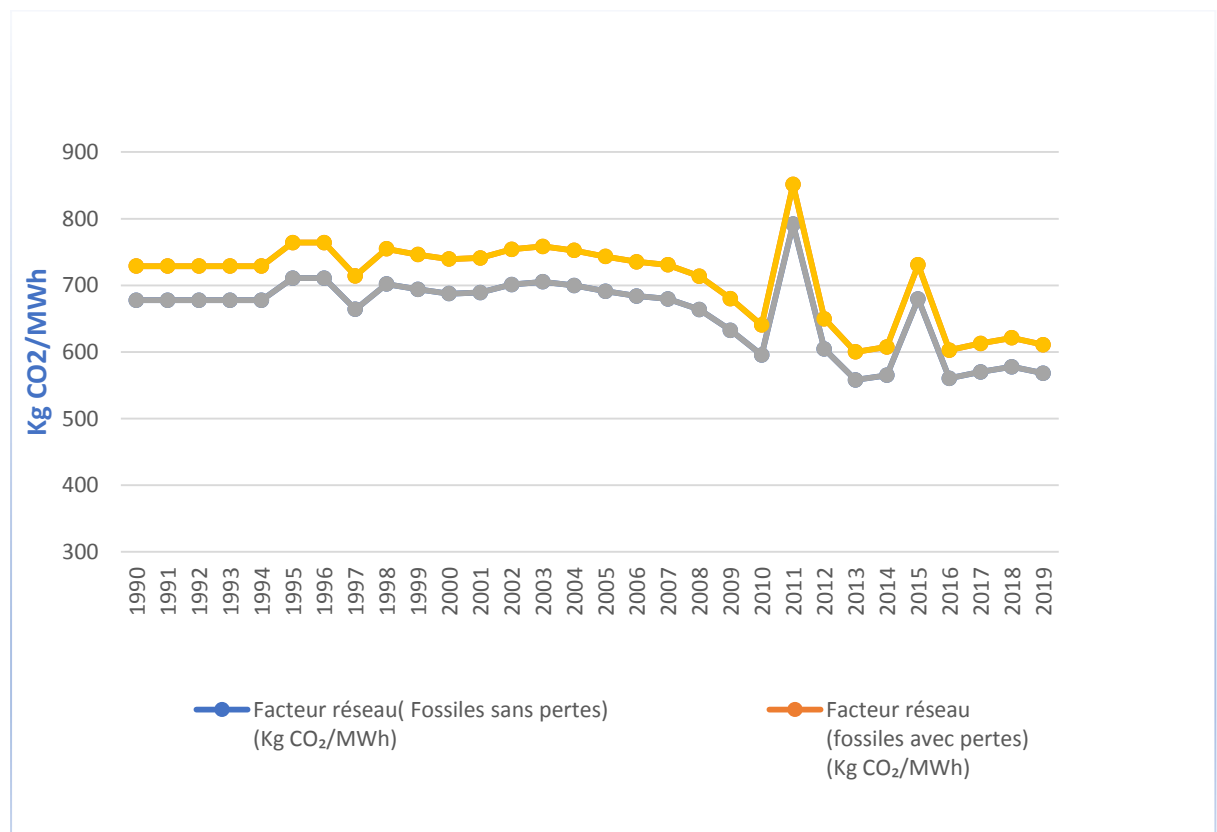
- ✓ Une fois les facteurs réseau des trente années sont calculé les données de consommation, production et facteurs émission doivent être regroupé dans des tableaux pour le traçage des graphiques à la fin.

### 3.2. Résultats et discussions

Dans cette partie on va étudier L'influence de la consommation de combustibles et la production d'électricité sur l'évolution du facteur réseau.

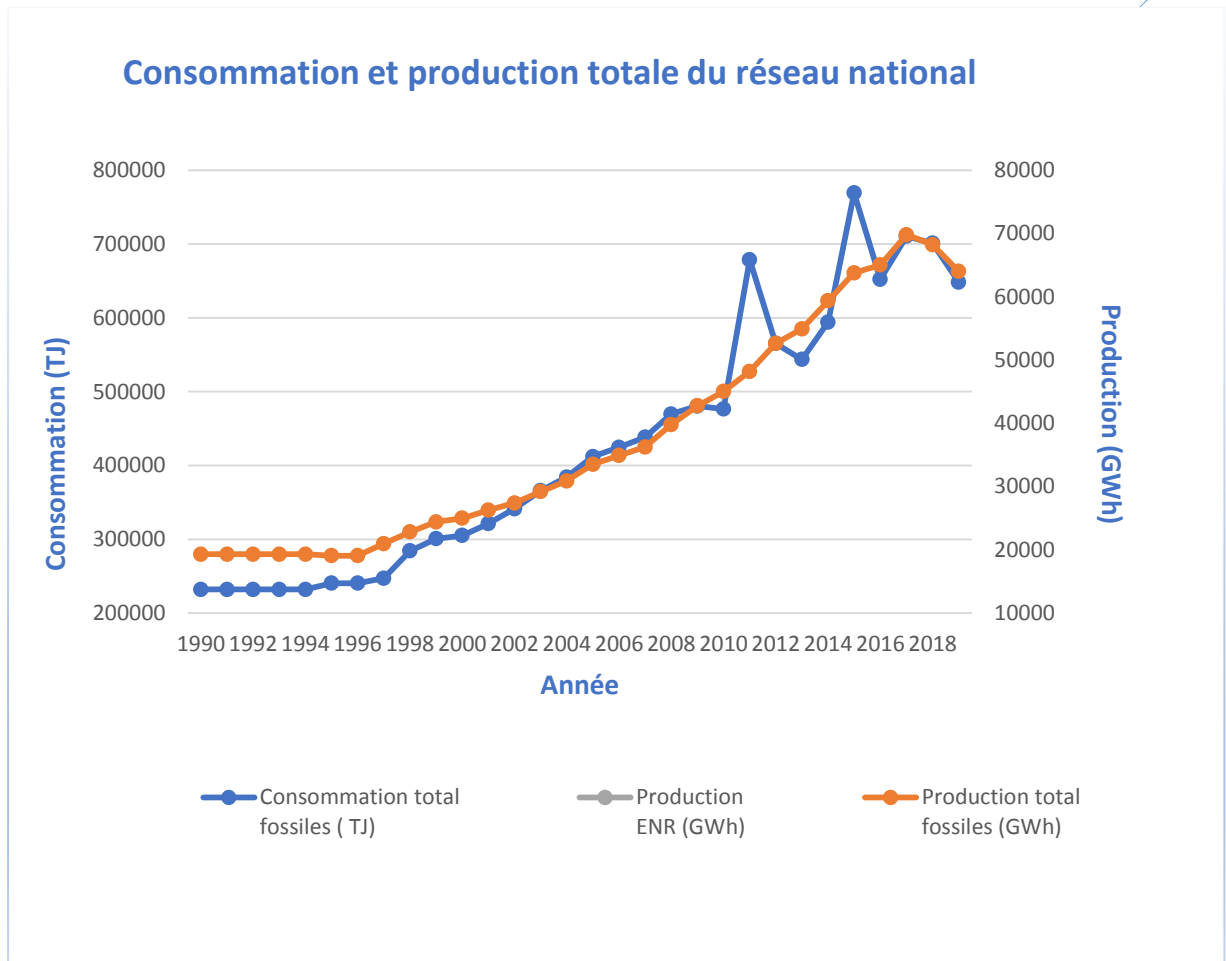
#### 3.2.1. Parc de production national

Le parc de production national est constitué des centrales électriques de la SPE et la SKTM, qui sont une filiale de Sonelgaz, ainsi que des sociétés en partenariat avec Sonelgaz.



**Figure III.1 : Facteurs CO<sub>2</sub> du réseau national**





**Figure III.2 : Consommation et production totale du réseau national.**

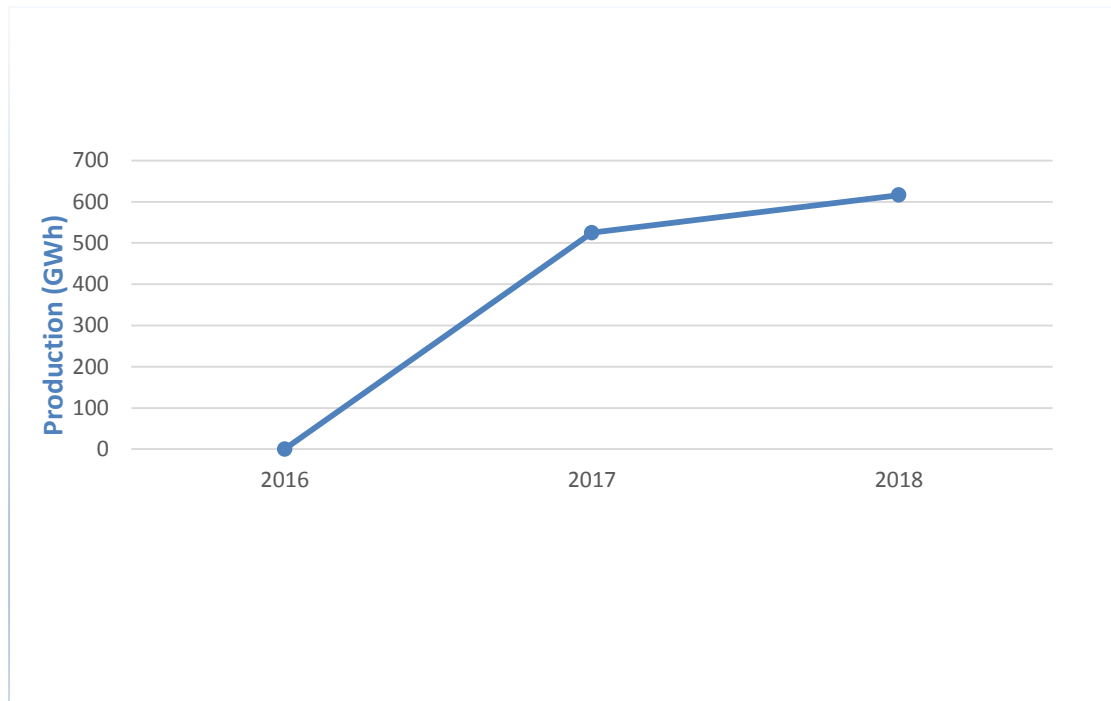
La (figure III.1) est un graphique qui représente l'évolution des facteurs réseau global avec et sans perte technique par effet Joule exprimé en Kg CO<sub>2</sub>/ MWh durant la période 1990 - 2019 dont les données ont été collectées auprès de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE).

Le suivi de l'évolution permet d'observer une similitude dans les courbes des facteurs réseau avec perte d'une part, et sans perte d'autre part avec une légère différence d'environ 7% qui représente le pourcentage des pertes.

On note que la tendance générale des graphiques va vers la baisse (700/590 Kg eq CO<sub>2</sub>/MWh)

Les deux importants pics observés pour l'ensemble des facteurs réseaux correspondent aux années 2011 et 2015 avec 851 Kg CO<sub>2</sub>/MWh et 731 Kg CO<sub>2</sub>/MWh respectivement. Cette augmentation est due à la forte consommation des combustibles

fossiles avec environ 678000 Tj en 2011 et d'environ 770000 Tj en 2015, et par la suite la grande production d'électricité comme représentée la (**figure III.2**), On pense que cela est dû aussi au fait que les turbines à gaz fonctionnent avec une charge réduite et à l'entretien et la maintenance des procédés.



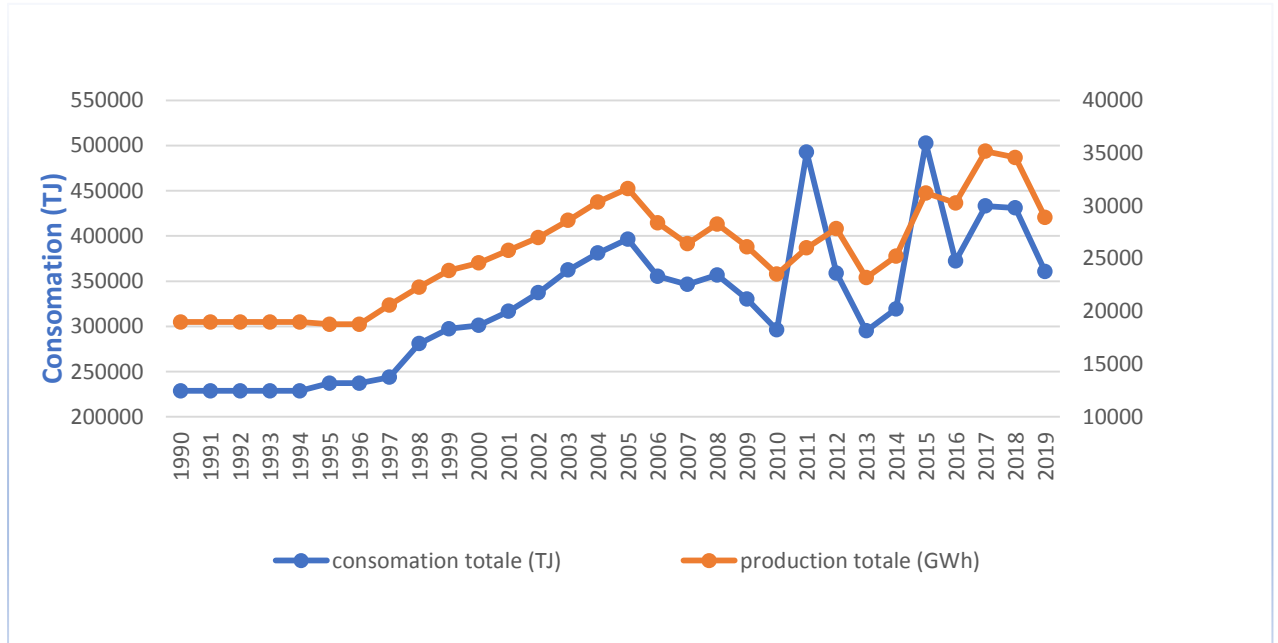
**Figure III.3 : Production ENR du réseau national.**

La production au niveau des centrales ENR été nulle tout au long la période 1990 - 2016 suivi d'une faible production durant les deux années 2017 et 2018 (environ 620 GWh), cela est due à la mise en service des nouvelles centrales photovoltaïques et éoliennes (**figure III.3**).

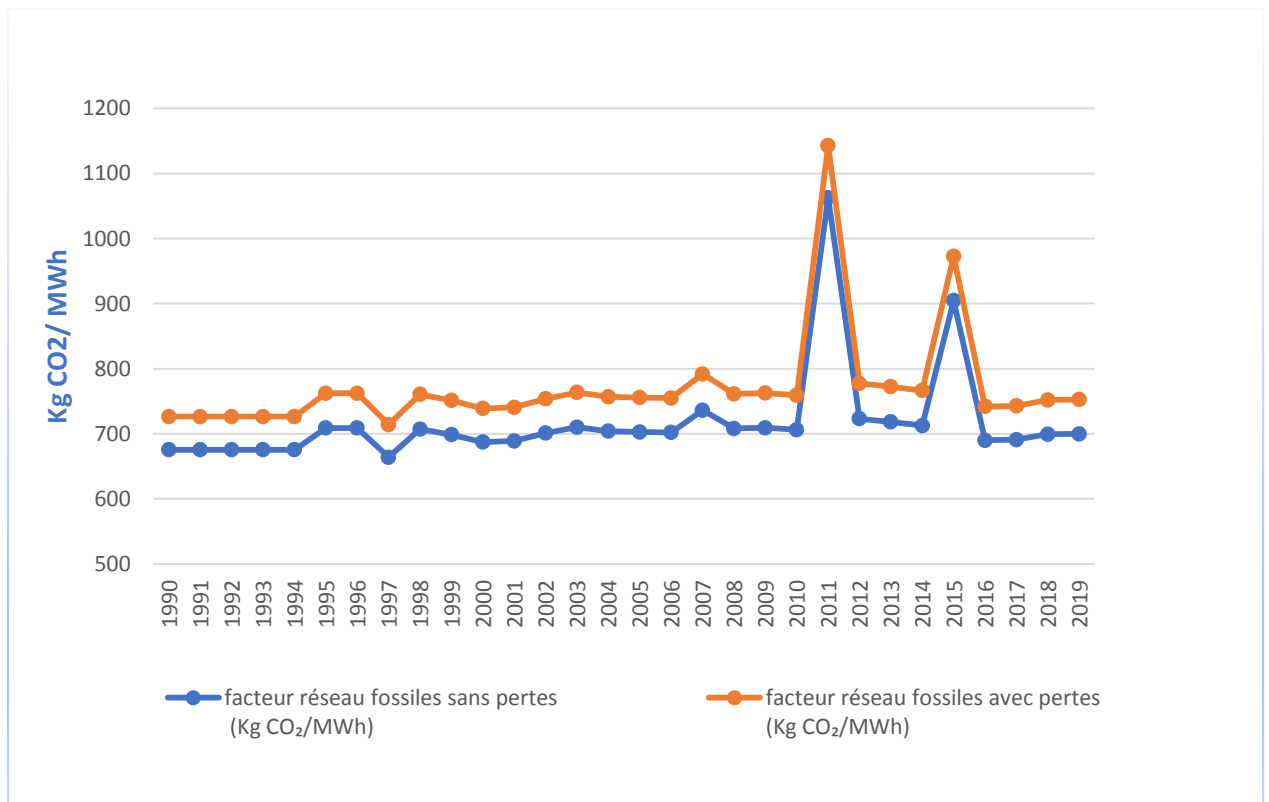
#### **3.2.1.1. Réseau interconnecté du nord**

Le RIN s'étale sur le nord du pays, il est alimenté par une soixante-douzaines de centrales de production d'électricité reliées entre elles à travers un réseau de transport. La production d'électricité au niveau des centrales du nord utilise principalement le gaz naturel (combustible de base). Dans le cas d'interruption d'alimentation en gaz naturel, et pour éviter les coupures en réseau électrique, les stations de production basculent vers le gasoil comme combustible de réserve.

### 3.2.1.1.1. Centrales SPE



**Figure III.4 : Consommation et production total de SPE.**



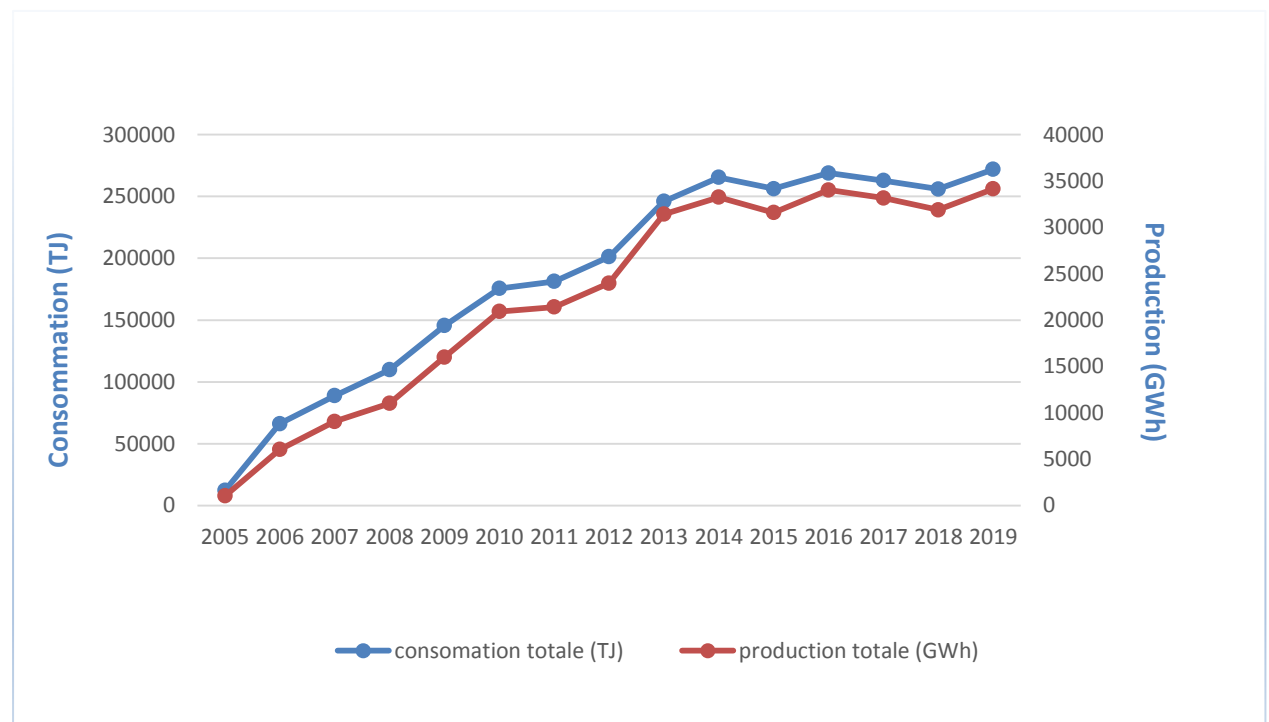
**Figure III.5 : Facteurs réseau fossile avec et sans perte de SPE.**

D'après les deux (figures III.4 et III.5) qui montrent la consommation et la production Total au niveau des centrales SPE, et les facteurs réseau fossiles (avec et

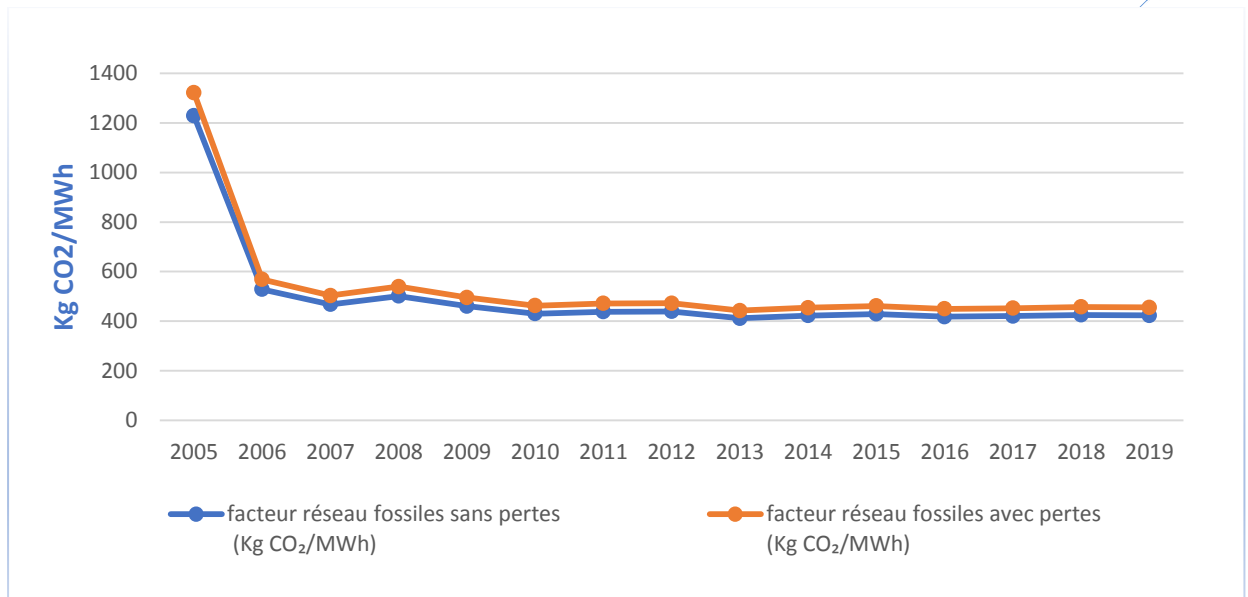
sans pertes) associés, on constate que la forte production d'électricité due à l'augmentation de la consommation du combustible à une relation directe avec les facteurs réseau fossile. Une légère augmentation (de 7%) du facteurs réseau fossile avec perte est remarquée, cette faible variation se traduit par de la perte de l'électricité produite sous forme chaleur (effet Joule) lors sa distribution aux consommateurs.

Les deux pics observés correspondent à la consommation et la production total des deux années 2011 et 2015 avec (492702Tj et 26005GWh) et (502688Tj et 31214 GWh) respectivement (**figure III.4**) sont probablement due à des phases d'installation des turbines, des modification... etc., conduisent à marquer des tendances élevées pour les deux facteurs réseau fossiles (**figure III.5**).

### 3.2.1.1.2. Centrales SK



**Figure III.6 : Consommation et production total de SK.**



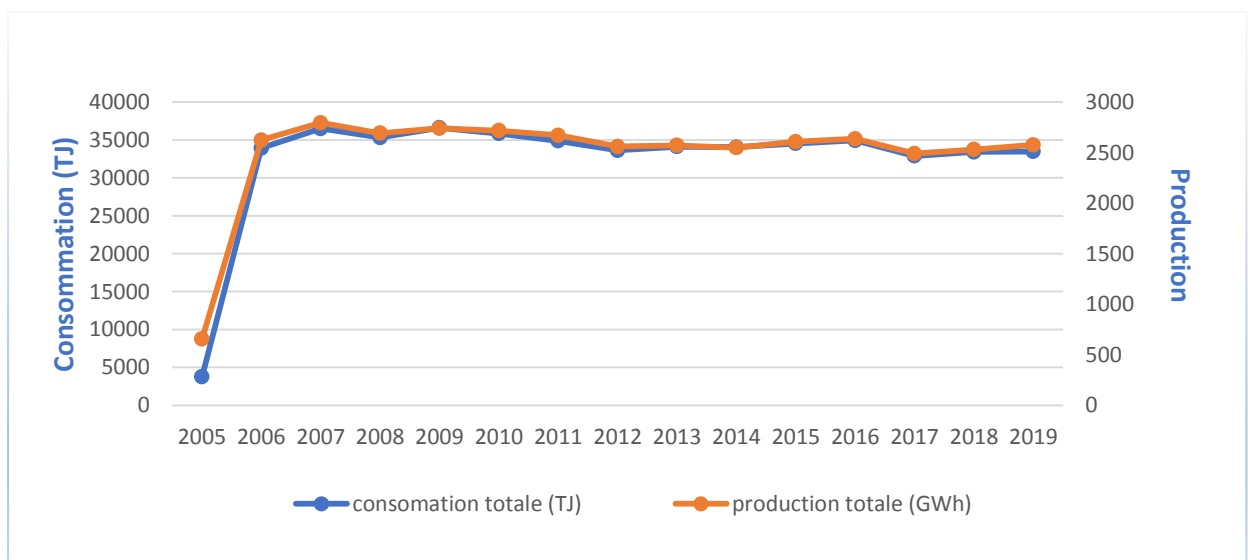
**Figure III.7 : Facteur réseau fossile avec et sans perte de SK**

En ce qui concerne les centrales SK les résultats ont montré une nette évolution dans la consommation du combustible qui atteint environ 300 000 Tj et la production totale avec 35 000 GWhs en 2019 (**Figure III.6**).

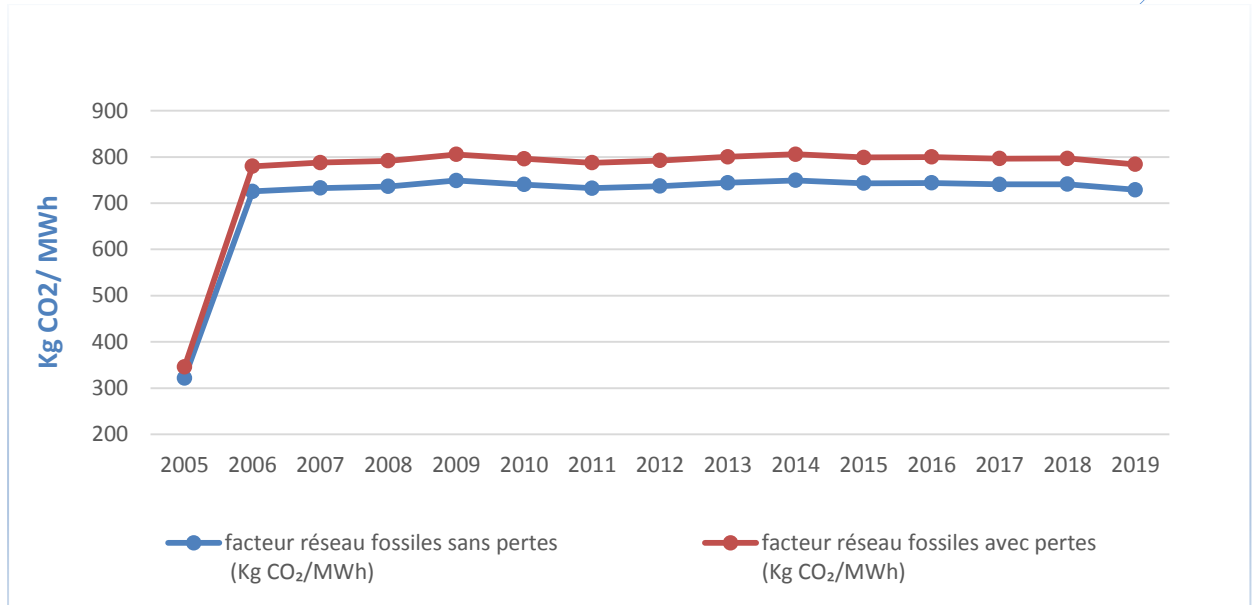
Dans la (**Figure III.7**) les résultats ont montré un taux élevé de FE environ 1300 kg CO<sub>2</sub>/MWh au démarrage de ces centrales car elles n'étaient pas optimisées. Une année après, les centrales ont été optimisées et le facteur devient stable durant les années suivantes.

C'est les centrales les plus modernes et les plus performantes en Algérie

### 3.2.1.1.3. Les centrales indépendantes (auto producteurs)



**Figure III.8: consommation et production total des indépendants.**



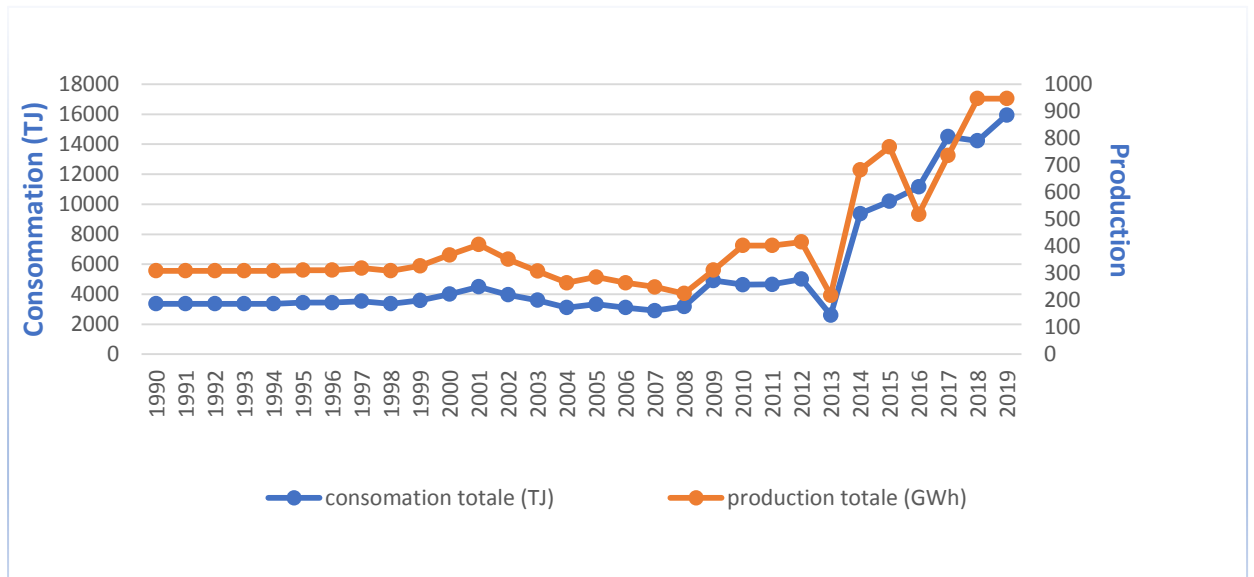
**Figure III.9 : Facteurs réseau fossiles avec et sans pertes des indépendants.**

Les résultats indiquent une augmentation aigüe en 2005/2006 de la consommation et la production total des centrales indépendants (**Figure III.8**) due à la mise en service des centrales ce qui exprime par la suite la forte augmentation des facteurs réseau fossiles (avec et sans perte) (**Figure III.9**), suivi par une stabilité de consommation et de production total ainsi les facteurs réseau toute au long la période 2007-2019.

#### 3.2.1.2. Réseau isolé du sud

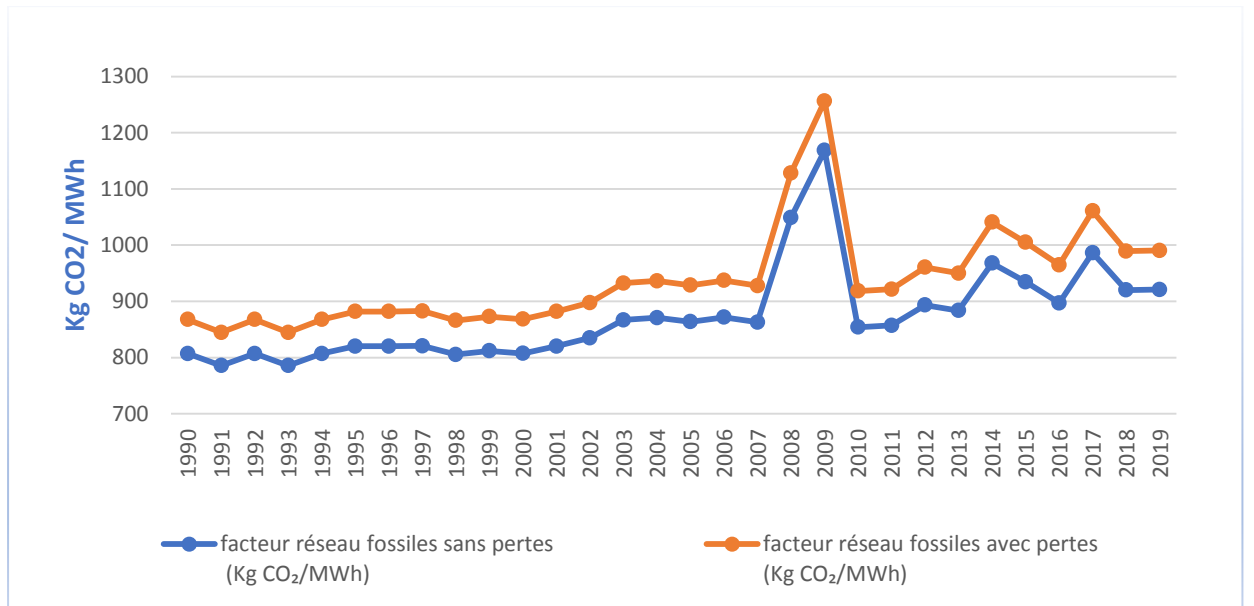
Le RIS s'agit des sites conventionnels et des sites PV du grand sud, alimentées par des réseaux locaux à travers des groupes diesel, des TG ou des centrales TV, et ce compte tenu des distances mises en jeu et des niveaux de consommation relativement faibles.

### 3.2.1.2.1. Centrales hybrides (SKTM)



**Figure III.10 : Consommation et production total de SKTM**

D'après la (**Figure III.10**), une stabilité dans la consommation et la production de l'électricité a été remarqué durant la période (1990 /2007) suivie d'une augmentation remarquable à partir 2008 d'où la production été plus élevé que la consommation. Cela dépend principalement du rayonnement solaire qui atteint le sol, C'est l'importance de l'hybridation des centrales au sud.



**Figure III.11 : Facteurs réseau fossile avec et sans perte de SKTM.**

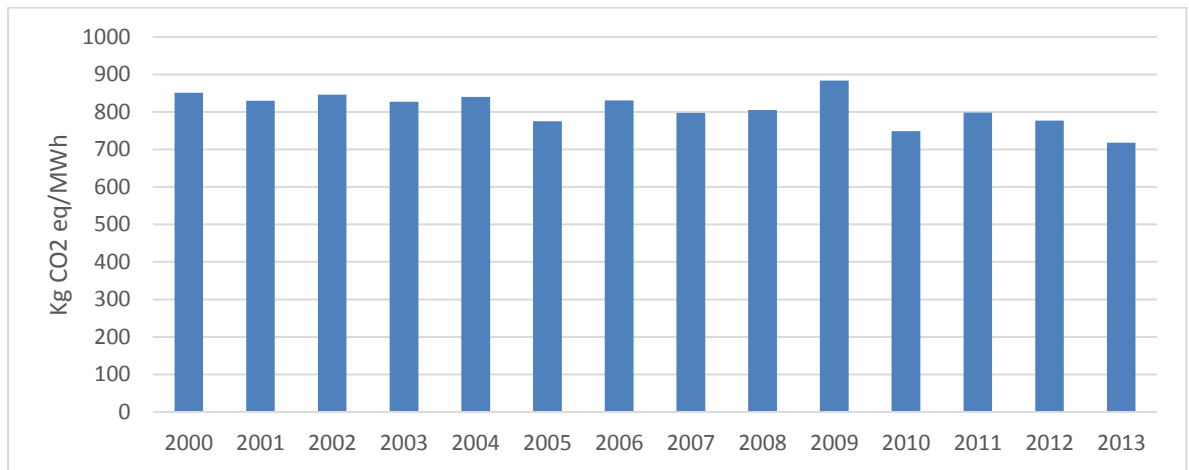
D'autre part les facteurs réseau de CO<sub>2</sub> avec et sans perte ont marqué une hausse progressive entre 1990 et 2007. Un pic important a été enregistré en 2008 de 1128 et

1049 Kg CO<sub>2</sub> /MWh du facteur réseau avec et sans perte respectivement, car la production n'été pas optimisé (trop de consommation de gasoil), les fluctuations observées pour les années suivantes due à l'augmentation de la production suite à la forte demande d'électricité et la non performance des centrales diesel au sud (**Figure III.11**)

Les résultats de tous les graphiques précédents nous mènent à conclure que :

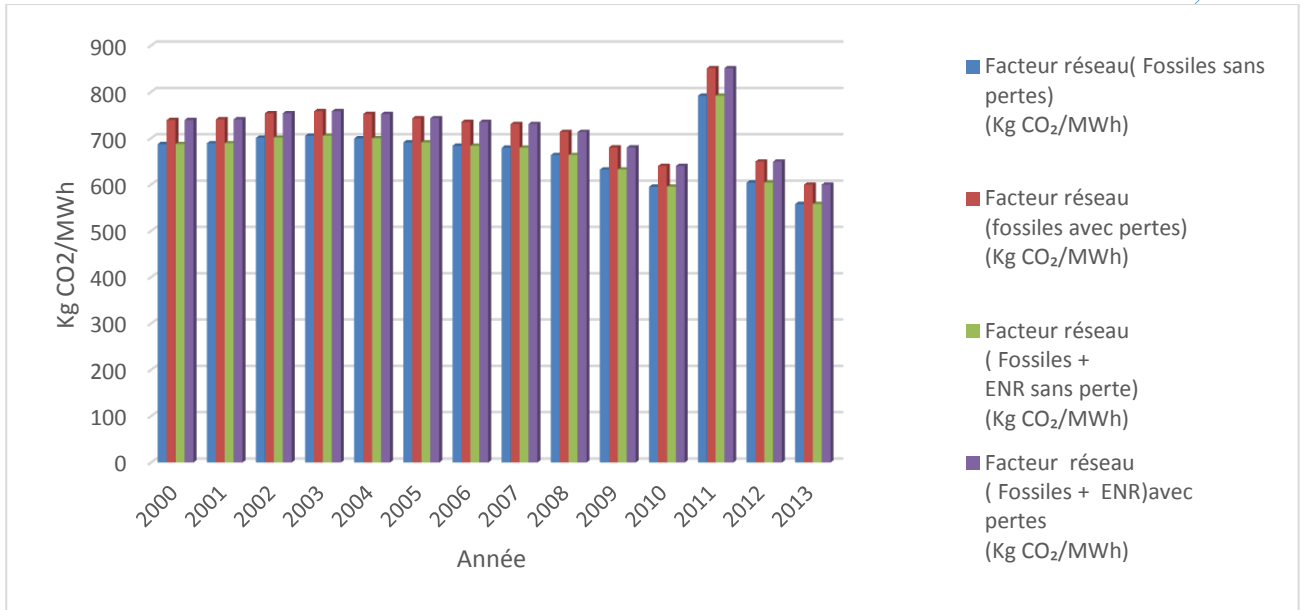
- Les centrales SPE affectent le réseau national.
- L'installations des turbines à cycle combiné a un effet sur le facteur réseau car elles sont plus performantes que les turbines à gaz.

### 3.2.2. Valeurs du facteur réseau estimée par l'AIE et comparaison



**Figure III.12 : Facteur CO<sub>2</sub> du réseau électrique d'Algérie selon l'AIE (2000 - 2013)**





**Figure III.13 : Facteur réseau calculé (2000 - 2013)**

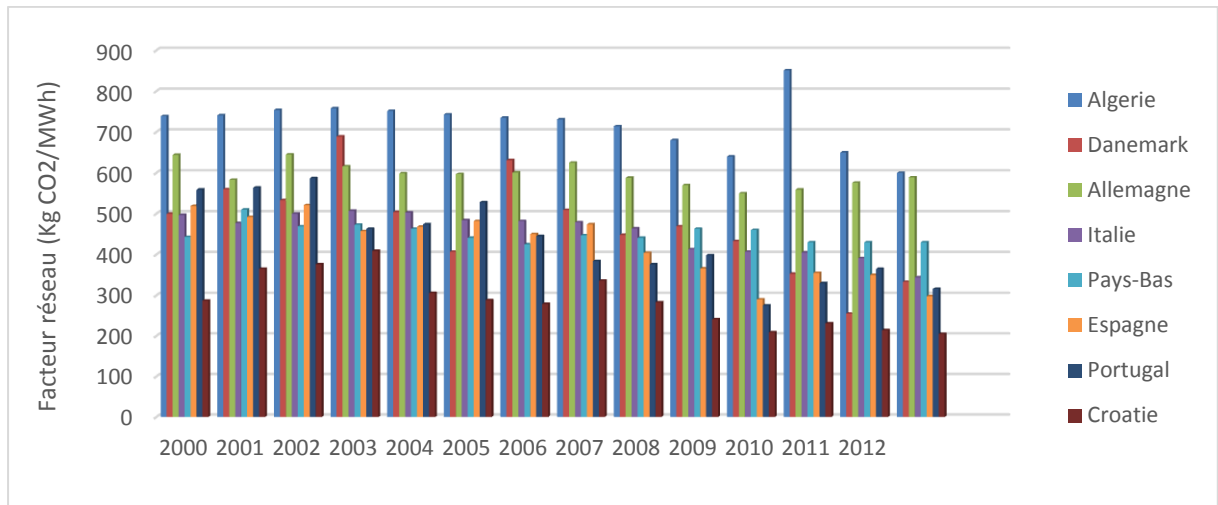


**Figure III.14: Comparaison entre le facteur de l'AIE et le facteur réseau calculé de l'Algérie (2000/2013)**

Les (Figures III.12, III.13 et III.14) représentent des histogrammes de facteurs réseau de l'Algérie étudié dans ce mémoire et calculé par l'Agence international de l'énergie (AIE).

Un faible écart d'environ 100 Kg CO<sub>2</sub>/MWh a été remarqué entre le facteur calculé et les données de l'AIE, cela est traduit par le fait que l'AIE ne travaillé pas sur le même type de données utilisées pour le calcul de FE, elle utilise les bilans énergétiques dont elle ne considère pas le réseau de sud.

### 3.2.3. Comparaison avec d'autres pays du monde

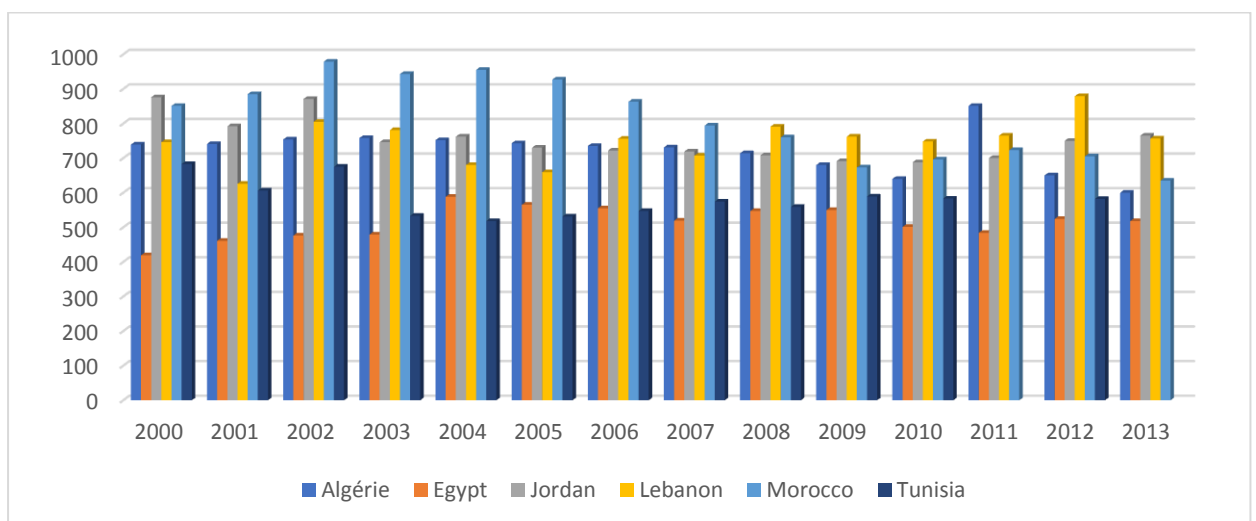


**Figure III.15 : Comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie avec d'autres pays du monde (2000 - 2013)**

La (Figure III.15) représente des histogrammes de comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie et autres pays du monde en Kg CO<sub>2</sub> /MWh de 2000 au 2013. L'Algérie a marqué le taux le plus élevé par rapport aux autres pays tout au long la période (2000-2013), Elle atteint les 800 Kg CO<sub>2</sub>/MWh en 2011.

Cela est traduit par l'utilisation des procédés performants dans les pays européens par contre à l'Algérie qui utilise des techniques simples et moins performantes.

### 3.2.4. Comparaison avec les pays sud méditerranéens



**Figure III.16 : Comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie et les pays sud méditerranéens**

La (**Figure III.16**) représente des histogrammes de comparaison entre le facteur réseau de l'Algérie et quelques pays sud méditerranéens en Kg CO<sub>2</sub> durant la période 2000 au 2013. La comparaison montrée que l'Algérie a marqué le taux le plus élevé des FE tout au long la période 2000 au 2007, ce niveau a diminué dans les années suivantes à cause de la modernité de quelques centrales.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif de ce travail est le développement du facteur d'émission de CO<sub>2</sub> de réseau national de la production d'électricité en Algérie. Ce facteur est déjà développé par les agences internationales sur la base du bilan national d'énergie élaboré par le ministère de l'énergie annuellement qui contient des données agrégées. Ce travail s'est basé sur l'exploitation des données de consommation et de production par centrale au cours des trente dernières années pour calculer le facteur réseau en équivalent CO<sub>2</sub> des émissions de gaz à effet de serre. Il a permis d'étudier l'évolution du facteur dont l'influence de l'hybridation des centrales au sud par l'installation des centrales photovoltaïques solaires et aussi de la modernisation du parc de production par l'introduction des turbines à cycle combiné.

Une exploitation de série de données de production du parc national des centrales électriques a été effectuée à l'aide des bulletins de l'agence national de la promotion et la rationalisation de l'énergie (A.P.R.U.E) qui assure le rôle d'observatoire des consommations énergétiques des différents secteurs au niveau national.

L'évolution du facteur réseau de CO<sub>2</sub> en Algérie dépend des émissions provenant de la consommation des combustibles fossiles. Les centrales diesel restent les plus émettrices comparées aux centrales à gaz naturel. Il est à noter que les centrales hybrides ont très peu d'influence sur le niveau du facteur réseau national jusqu'à 2019 en raison du faible niveau de production par les centrales solaires et éoliennes qui reste inférieure à 600 GWh par an comparé à la production nationale annuel de 60 TWh.

Les centrales au gaz naturel ont vu une nette décroissance de leur facteur réseau à la suite du développement du parc par l'introduction du cycle combiné pour atteindre 568 et 611 Kg CO<sub>2</sub> eq/MWh respectivement sans perte et avec perte par effet Joule.

La comparaison des résultats trouvés avec les données de l'AIE montre un écart par excès d'environ 100 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh qui est certainement dû aux types de données utilisées par l'AIE.

Les résultats trouvés sont basés sur l'utilisation d'un facteur de conversion développé par le ministère de l'énergie et promulgué par décision ministériel en 2012. Il est recommandé de recalculer ce facteur de conversion des émissions de gaz à effet

de serre en équivalent CO<sub>2</sub> en utilisant le cinquième rapport du GIEC publié en 2014 ou les pouvoirs de réchauffements des gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) ont été révisés.

Par ailleurs, les données de production et de consommation des centrales du sud nécessitent une vérification auprès de SKTM afin de compléter et de confirmer certaines données.

Le facteur perte technique du réseau transport et de distribution est pris comme constant durant toute la période de calcul. Il est utile de développer le facteur perte technique pour le réseau interconnecté et isolé sur une base annuelle pour améliorer le calcul.

Il est recommandé de poursuivre le travail en considérant ces améliorations et vérifications afin d'améliorer la précision des calculs de ce facteur réseau. Ce facteur sera d'une grande utilité dans l'évaluation des émissions évitées ou réduites par l'Algérie dans la lutte contre les changements climatiques dans le cadre de l'Accord de Paris et de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 Zheng, X., et al., A review of greenhouse gas emission profiles, dynamics, and climate change mitigation efforts across the key climate change players. *Journal of Cleaner Production*, 2019. 234 : p. 1113-1133.
- 2 Mukhopadhyay, R., S.M. Karisiddaiah, and J. Mukhopadhyay, Chapter 1 - Introduction, in *Climate Change*, R. Mukhopadhyay, S.M. Karisiddaiah, and J. Mukhopadhyay, Editors. 2018, Elsevier. p. 1-13.
- 3 Singh, P., D. Yadav, and S. Pandian E, 5 - Link between air pollution and global climate change, in *Global Climate Change*, S. Singh, et al., Editors. 2021, Elsevier. p. 79-108.
- 4 Anderson, T.R., E. Hawkins, and P.D. Jones, CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 2016. 40(3): p. 178-187.
- 5 The Causes of Climate Change, NASA. GLOBAL CLIMATE CHANGE.  
<https://climate.nasa.gov/causes/>.
- 6 Boughedaoui, M., Généralité sur la pollution atmosphérique. p. 13.
- 7 Yoro, K.O. and M.O. Daramola, Chapter 1 - CO<sub>2</sub> emission sources,
- 8 Jacobson, M.Z., *Air pollution and global warming: history, science, and solutions* 2012: Cambridge University Press.
- 9 Julie Kerr Casper, *Fuels and Pollution: The Future of Air Quality (Global Warming)* Editors 2010, Facts on File.
- 10 Gorjian, S. and H. Ebadi, Chapter 1 - Introduction, in *Photovoltaic Solar Energy Conversion*, S. Gorjian and A. Shukla, Editors. 2020, Academic Press. p. 1-26.
- 11 Darkwah, W.K., et al., Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, 2018: p. 8.
- 12 Petit, M., Effet de serre, impacts et solutions : quelle crédibilité ? *Comptes Rendus Geoscience*, 2003. 335(6): p. 497-501.
- 13 Kumar, A., S. Nagar, and S. Anand, 1 - Climate change and existential threats, in *Global Climate Change*, S. Singh, et al., Editors. 2021, Elsevier. p. 1-31.
- 14 Lorius, C., Effet de serre : les lacunes du savoir et de la perception. *Comptes Rendus Geoscience*, 2003. 335(6): p. 545-549.
- 15 [https://public.wmo.int/Greenhouse gas concentrations surge to new record](https://public.wmo.int/Greenhouse%20gas%20concentrations%20surge%20to%20new%20record), WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION.
- 16 Carbon Dioxide. Nasa GLOBAL CLIMATE CHANGE, <https://climate.nasa.gov/>.
- 17 Base carbone, version 11.0.0 - mardi 18 novembre 2014. <https://www.ademe.fr/>

- 18 Energy Sector Africa Regional Workshop on the Building of Sustainable National Greenhouse Gas Inventory Management Systems, and the Use of the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 14-18 March 2016, Maseru, Lesotho Pavel Shermanau, IPCC TFI TSU.
- 19 Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre de l'année 2000. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme, Février 2010.
- 20 epa. Sources of Greenhouse Gas Emissions.  
<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.
- 21 epa. Greenhouse Gas Emissions, Global Greenhouse Gas Emissions Data, <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
- 22 epa. Electricity Sector Greenhouse Gas Emissions by Fuel Source, U.S Environmental Protection Agency.
- 23 RAPPORT D'INVENTAIRE NATIONAL DES GAZ A EFFET DE SERRE D'ALGERIE. Mars 2001.
- 24 Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre, p. 107 p. 2019.
- 25 Greenhouse Gas Emissions, Global Greenhouse Gas Emissions Data, Global Emissions by Economic Sector, <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
- 26 RESOURCE GUIDE FOR PREPARING THE NATIONAL COMMUNICATIONS OF NON-ANNEX I PARTIES. UNFCCC 2009.
- 27 Daniel J. Soeder and Scyller J. Borglum. The Fossil Fuel Revolution: Shale Gas and Tight Oil, p 12. 2019.
- 28 Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et JC Minx GIEC (2014). Changement climatique : Atténuation du changement climatique Contribution du Groupe de travail III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis . EPA. 2014
- 29 epa. FACT SHEET. Final ACE Rule – CO<sub>2</sub> Emissions Trends. • On Wednesday, June 19, 2019.
- 30 Gouareh, A., B. Settou, and N. Settou, A new geographical information system approach based on best worst method and analytic hierarchy process for site suitability and technical potential evaluation for large-scale CSP on-grid plant: An application for Algeria territory. Energy Conversion and Management, 2021. 235 : p. 113963.
- 31 EMISSION FACTORS 2020 DATABASE DOCUMENTATION. Agence internationale de l'énergie IEA, 2020.
- 32 Chuang, J., et al., The relationship between electricity emission factor and renewable

- energy certificate: The free rider and outsider effect. Sustainable Environment Research, 2018. 28(6) : p. 422-429.
- 33 <https://unfccc.int/>.
- 34 INTRODUCTION AUX LIGNES DIRECTRICES 2006, chapitre I. <https://www.ipcc.ch/>.
- 35 Li, Y., W. Du, et al. (2017). "Challenges in developing an inventory of greenhouse gas emissions of Chinese cities: A case study of Beijing." Journal of Cleaner Production 161 : 1051-1063.
- 36 GUIDE FOR PEER REVIEW OF NATIONAL GHG INVENTORIES. UNFCCC 2017. <https://unfccc.int/>.
- 37 Claudia Pavarini and Fransesco Mattion, Tracking the decoupling of electricity demand and associated CO2 emissions. 8 march 2019. AIE site <https://www.iea.org/>.
- 38 Bélaïd, F. and M. Youssef (2017). "Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria." Energy Policy 102: 277-287.
- 39 Informations de base sur les facteurs d'émissions atmosphériques et la quantification. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification>.
- 40 GUIDE DES FACTEURS D'EMISSIONS, Version 5.0 Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées. JANVIER 2007.
- 41 Centralized Generation of Electricity and its Impacts on the Environment <https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment>.
- 42 Site de L'Agence d'information sur l'énergie, <https://www.eia.gov/>.
- 43 Indirect Emissions from Purchased Electricity. <https://www.epa.gov/>.
- 44 Rapport mondial sur l'état de l'énergie et du CO2 2019.Extrait de rapport, Électricité. <https://www.iea.org/>.
- 45 Key world energy statistics. <https://www.eia.gov/>.
- 46 EMISSION FACTORS : DATABASE DOCUMENTATION (2020 edition). <https://www.eia.gov/>.
- 47 Matthew Brander, Aman Sood, Charlotte Wylie, Amy Haughton, and Jessica Lovell. Electricity-specific emission factors for grid electricity. August 2011.
- 48 utility of grid emission factors. <https://unfccc.int/>.
- 49 Ji, L., et al., Greenhouse gas emission factors of purchased electricity from interconnected grids. Applied Energy, 2016. 184 : p. 751-758.
- 50 Positionnement de l'ADEME sur le calcul du contenu CO2 de l'électricité, cas du chauffage électrique, Août 2020.<https://www.ademe.fr/>.



- 51 Samuel Adams, Francis Atsu, Edem Mensah klabodu, Lamptey Richmond. Electricity transmission, distribution losses and economic growth in South Africa. Heliyon, volum 6, November 2020.
- 52 User's Guide for Estimating Indirect Carbon Dioxide Equivalent Emissions from Electricity Consumption Using the State Inventory Tool April 2017.