

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES**



**Mémoire de master en énergies renouvelables conversion photovoltaïque**

**THEME :**

**Le rôle du solaire photovoltaïque dans la transition énergétique et la modélisation des gaz à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

**Présenter par : SOLTANE Ramzi**

**Encadreur : AMROUCHE Badia**

**Promo 2022**

# *Remerciements*

*Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*Je tiens à saisir cette occasion et adresser mes profonds remerciements et mes profondes reconnaissances à :*

*Madame AMROUCHE Badia, mon encadreur de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de ma recherche.*

*Aux professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant nos recherches.*

*Mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi ; « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts.*

*Vous nous avez donnés un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».*

*Mes frères et mes sœurs pour leurs encouragements et leurs soutiens inconditionnels.*

*Mes Ami(e)s que j'aime tant, pour leur sincère amitié et confiance et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.*

*Monsieur CHARFI Mehdi et Monsieur SAIM Ahmed Zakaria pour leurs soutiens et leurs aides.*

*Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## Liste des figures

### Chapitre 1

- Figure 1.1 :** Extraction de houille dans la mine de charbon de Cerrejón en Colombie.....03
- Figure 1.2 :** évolution des températures mondiales (en moyenne décennie) reconstituée (1 à 2000) et observé (1850-2020).....12
- Figure 1.3 :** évolution de la température de surface mondiale comparée à la période 1850-1900.....15
- Figure 1.4 :** Evolution du niveau moyen mondial des océans comparés à 1900.....16
- Figure 1.5 :** l'évolution de degré de réchauffement climatique.....17
- Figure 1.6 :** augmentation de la température mondiale depuis 1850-1900, fonction des émissions cumulées ce CO2 (en gigatonnes) Giec / Traduction par Vert.....17

### Chapitre 2

- Figure 2.1 :** situation graphique du site BRN.....24
- Figure 2.2 :** centre de traitement des hydrocarbures BRN (CTH).....25
- Figure 2.3 :** centrale solaire BRN 10 MW.....26
- Figure 2.4 :** scénarios de référence et action.....38

### Chapitre 3

- Figure 3.1 :** Décomposition de la demande finale hors usages non énergétiques et consommation des industries énergétiques.....48
- Figure 3.2 :** désagrégation des modules résidentiels et services.....49
- Figure 3.3 :** Désagrégation du module et sous-modules industrie.....49
- Figure 3.4 :** Désagrégation du module agriculture.....50
- Figure 3.5 :** Désagrégation du module et sous-modules transport.....50
- Figure 3.6 :** Désagrégation des modules consommation des industries énergétiques et non-énergétiques.....51
- Figure 3.7 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....52
- Figure 3.8 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....52
- Figure 3.9 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....53

<b>Figure 3.10</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	53
<b>Figure 3.11</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	54
<b>Figure 3.12</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	54
<b>Figure 3.13</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	55
<b>Figure 3.14</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	56
<b>Figure 3.15</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	56
<b>Figure 3.16</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	57
<b>Figure 3.17</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	58
<b>Figure 3.18</b> : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP.....	58
<b>Figure 3.19</b> : l'évolution de la demande en énergie par source 2019 / 2050.....	59
<b>Figure 3.20</b> : Les émissions du scénarios de référence par source 2019 / 2015.....	60
<b>Figure 3.21</b> : graphe de la Demande selon les 3 scénarios 2019-50 (en Mtep).....	60
<b>Figure 3.22</b> : la demande selon les trois scénarios par sous-secteurs (2019, 2050).....	62
<b>Figure 3.23</b> : la demande pour le secteur résidentiel par sources (2019, 2050).....	64
<b>Figure 3.24</b> : Graphique des émissions annuelles et cumulées par scénario : 2019-2050.....	65

## Liste des tableaux

### Chapitre 2

<b>Tableau 2.1</b> : calcule des émissions de la centrale PV.....	30
<b>Tableau 2.2</b> : Fiche de calcule de facteur d'émission.....	32
<b>Tableau 2.3</b> : Fiche de calcule du scénario de référence.....	34
<b>Tableau 2.4</b> : Fiche de calcule du scénario de l'action.....	35
<b>Tableau 2.5</b> : Emission totales.....	37

### Chapitre 3

<b>Tableau 3.1</b> : Taux de croissance par branche agrégée 2010-2019 (ktep et %).....	42
<b>Tableau 3.2</b> : Evolution du transport routier par formes d'énergie (ktep et %).....	43
<b>Tableau 3.3</b> : Evolution de la consommation du secteur résidentiel par formes d'énergie (ktep et %).....	44
<b>Tableau 3.4</b> : Evolution de la consommation du secteur tertiaire par formes d'énergie (ktep et %).....	44
<b>Tableau 3.5</b> : Demande selon les 3 scénarios.....	61
<b>Tableau 3.6</b> : La Consommation énergétique par branches 2019 et 2050.....	63
<b>Tableau 3.7</b> : les émissions annuelles et cumulées par scénario en MtCO <sub>2</sub> eq.....	66

## Liste des abréviations

<b>AFREC</b>	African Energy Commission. Commission Africaine de l'Energie
<b>AIE</b>	Agence Internationale de l'Energie
<b>CAGR</b>	Compounded annual growth rate
<b>GES</b>	Gaz á effet de serre
<b>GIEC/IPCC</b>	Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>GNL</b>	Gaz naturel liquéfié
<b>GPL</b>	Gaz de pétrole liquéfié
<b>GPL/C</b>	Gaz de pétrole liquéfié carburant
<b>ISMEE</b>	Industries sidérurgique, métallique, mécanique et électrique.
<b>k</b>	Kilo, millier
<b>LEAP</b>	Low Emissions Alternative Platform. Auparavant: Long Term Energy Alternative Planning
<b>PRG</b>	Potentiel de réchauffement global ou planétaire
<b>TAC</b>	Taux de croissance annuel composé. Compounded annual growth rate
<b>Tep ou tep</b>	Tonne équivalent pétrole
<b>TRANSAC</b>	Scénario de transition accélérée
<b>TRANSMOD</b>	Scénario de transition modérée

## Liste des matières

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

### Chapitre 1 : La transition énergétique, Prospective et scénarios

<b>1.1. Introduction.....</b>	<b>02</b>
<b>1.2. Enjeux de la Transition énergétique.....</b>	<b>03</b>
<b>1.3. Histoire du concept.....</b>	<b>04</b>
<b>1.4. Situation mondiale.....</b>	<b>05</b>
<b>1.5. Situations par payer des Stratégies bas carbone et la transition énergétique.....</b>	<b>06</b>
<b>1.6. Financement de la transition, coopération internationale.....</b>	<b>09</b>
<b>1.7. Les gaz à effet de serre.....</b>	<b>10</b>
<b>1.8. Prospective-scénarios.....</b>	<b>11</b>
<b>1.9. Résumé du dernier rapport du GIEC (IPCC 2022).....</b>	<b>12</b>
1.9.1. Les scénarios du GIEC.....	13
1.9.2. Résultats des études du GIEC.....	15
<b>1.10. Avantages et inconvénients de la transition énergétique.....</b>	<b>18</b>
1.10.1. Avantages de la transition énergétique.....	18
1.10.2. Inconvénients de la transition énergétique.....	19
<b>1.11. Conclusion.....</b>	<b>21</b>

### Chapitre 2 : Etude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

<b>2.1. Introduction.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Présentation du site de Bir Rebaa Nord.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Présentation de la centrale PV BRN.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4. Méthodes de calcul des émissions de GES.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5. Les données collectées du site.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6. Présentation des différentes feuilles de calcul.....</b>	<b>28</b>
2.6.1. Calcule des émissions de la centrale PV.....	28
2.6.2. Calcul de facteur d'émission du centrale fossile BBK.....	31
<b>2.7. Présentation du scénario de référence.....</b>	<b>33</b>
<b>2.8. Présentation du scénario de l'action.....</b>	<b>33</b>
<b>2.9. Quantification des émissions totales.....</b>	<b>36</b>
<b>2.10. Conclusion.....</b>	<b>38</b>

### Chapitre 3 : Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

<b>3.1. Introduction.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2. Les éléments méthodologiques pour démarrage de la modélisation.....</b>	<b>39</b>
3.2.1. L'année de référence : 2019.....	39
3.2.2. La base statistique.....	40
3.2.3. Le périmètre de calcul des GES.....	40
3.2.4. L'horizon temporel.....	41
<b>3.3. Les scénarios (référence, TRANSMOD, TRANSAC).....</b>	<b>41</b>
<b>3.4. Les hypothèses des scénarios.....</b>	<b>41</b>
3.4.1. Les hypothèses de taux croissance par branches et par sources d'énergie dans le cas de scénario de référence.....	41
3.4.2. Les hypothèses s des scénarios TRANSMOD et TRANSAC.....	44
3.4.3. Impact de la pandémie et périodicité des taux de croissance.....	45
<b>3.5. La définition du modèle retenu : (LEAP).....</b>	<b>46</b>
<b>3.6. La demande et les modules de calcul des émissions de gaz à effet de serre.....</b>	<b>47</b>
3.6.1. Modules et sous-modules de la demande par branches.....	47
3.6.2. Désagrégation de la demande finale par sous-modules et sources d'énergie.....	48
<b>3.7. Les étapes essentielles pour tourner le modèle LEAP.....</b>	<b>52</b>
<b>3.8. Résultats de la modélisation.....</b>	<b>59</b>
3.8.1. La demande en enregie pour le scénario de référence.....	59
3.8.2. Les émissions du scénarios de référence.....	59
3.8.3. La Demande selon les trois scénarios 2019-50 (Mtep).....	60
3.8.4. La Demande par sous-secteurs (2019 , 2015 ).....	61
3.8.5. Consommation par branches 2019 et 2050.....	63
3.8.6. Emissions annuelles et cumulées par scénario: 2019-2050.....	65
3.8.7. Emissions annuelles et cumulées MtCO <sub>2</sub> eq : 2019-50.....	66
<b>3.9. Conclusion.....</b>	<b>66</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>68</b>

**Annxes**

**Bibliographie**



## Résumé

يشير انتقال الطاقة إلى جميع التغييرات التي تطرأ على نظام إنتاج وتوزيع واستهلاك الطاقة التي يتم إجراؤها في إقليم بهدف جعله أكثر إيكولوجية. بشكل ملموس، يهدف تحول الطاقة إلى تحويل نظام الطاقة لتقليل تأثيره البيئي بفضل ادماج قوي للطاقات المتجددة في النظام، ولا سيما الخلايا الكهروضوئية في حالة الجزائر. وهذا يمكن أن يسرع في تحقيق أهداف استراتيجيات الطاقة. الانتقال لأنه يتجنب انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. النمذجة هي خطوة مهمة في تطوير هذه الاستراتيجيات.

La transition énergétique désigne l'ensemble des modifications du système de production, de distribution et de consommation d'énergie qui sont opérées sur un territoire dans le but de le rendre plus écologique. Concrètement, la transition énergétique vise à transformer le système énergétique pour réduire son impact environnemental grâce à une forte pénétration des énergies renouvelables dans le système, notamment le photovoltaïques dans le cas de l'Algérie Ce qui peut accélérer l'atteinte des objectifs des stratégies de transition énergétique car il permet d'éviter les émissions de gaz à effet de serre. La modélisation est une étape importante dans le développement de ces stratégies car elle permet l'identification des trajectoires d'atténuation de GES (TANSMOD et TRANSAC) est définir l'objectif globale.

**Mot clés :** GES : gaz à effet de serre, TRANSAC : la transition accélérée, TANSMOD : la transition modérée

Energy transition refers to all the changes to the energy production, distribution and consumption system that are carried out in a territory with the aim of making it more ecological. Concretely, the energy transition aims to transform the energy system to reduce its environmental impact thanks to a strong penetration of renewable energies in the system, in particular photovoltaics in the case of Algeria. This can accelerate the achievement of the objectives of the strategies of energy transition because it avoids greenhouse gas emissions. Modeling is an important step in the development of these strategies because it allows the identification of GHG mitigation trajectories (TANSMOD and TRANSAC) is to define the overall objective.

**Keywords:** GHG: greenhouse gas, TRANSAC: accelerated transition, TANSMOD: moderate transition

# ***Introduction générale***

## Introduction générale

### **Introduction générale :**

La transition énergétique désigne un changement structurel profond des modes de production et de consommation d'énergie. C'est une composante de la transformation environnementale. Elle résulte des évolutions techniques, des prix et de la disponibilité des ressources énergétiques, mais aussi de la volonté de la population, des gouvernements, des entreprises, etc. Ceux qui souhaitent réduire les impacts négatifs sur l'environnement.

Le secteur de l'énergie est considéré comme étant le secteur le plus polluant dans le monde. La combustion de l'énergie durant le processus de conversion ou d'utilisation finale constitue les 3 principales sources d'émissions des gaz à effet de serre (GES). Toute action sur le secteur de l'énergie aura, certes, des implications sur le climat, et vice versa. Cette relation est étroite, et a attiré l'attention des policymakers et de la communauté scientifique. La quantification et l'analyse de cette relation a été l'objet des travaux de modélisation. En se basant sur une revue de littérature riche, on procède à la définition l'intérêt de la modélisation dans l'élaboration des stratégies d'atténuation, et à l'explication, ensuite, de l'interaction Climat-Energie-Economie. Sur cette base conceptuelle, on procède à la classification des modèles traitant cette interaction, tout en montrant l'adéquation particulière des modèles de système énergétique à la construction des scénarios des émissions des GES.

La modélisation une phase importante dans la préparation d'une stratégie d'atténuation. Elle permettra de construire des scénarios quantitatifs comparables, et d'identifier les facteurs clés de réussite, ainsi que de prendre les meilleurs choix stratégiques en termes d'atténuation. De ce fait, et pour bien mener les travaux de modélisation, tout un travail méthodologique préalable doit se faire.

# **Partie théorique**

***Chapitre 1***  
***La transition***  
***énergétique, Prospective***  
***et scénarios***

## **1.1. Introduction**

La transition énergétique désigne un changement structurel profond des modes de production et de consommation d'énergie. C'est une composante de la transformation environnementale. Elle résulte des évolutions techniques, des prix et de la disponibilité des ressources énergétiques, mais aussi de la volonté de la population, des gouvernements, des entreprises, etc. Ceux qui souhaitent réduire les impacts négatifs sur l'environnement.

De nombreuses institutions gouvernementales et ONG ont proposé des définitions et des scénarios pour la transition énergétique. Les scénarios envisagés consistent souvent en une transition du système énergétique actuel, basé sur l'utilisation de ressources non renouvelables, vers un mix énergétique utilisant majoritairement des ressources renouvelables, voire sur la base d'une consommation réduite. Il s'agit d'adopter des alternatives aux énergies fossiles, ressources finies et non renouvelables (à l'échelle du temps humain), et de les remplacer par des énergies renouvelables pour la quasi-totalité des activités humaines (transport, industrie, éclairage, chauffage, etc.).

La majorité des scénarios dans le monde encouragent un basculement vers des énergies moins émettrices de gaz à effet de serre, compte tenu du changement climatique contre lequel le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEG) met en garde.

La transition énergétique passe également par une réduction de la demande énergétique, induite notamment par l'amélioration des performances des bâtiments et des technologies (efficacité énergétique), et par l'évolution des modes de vie (sobriété énergétique). C'est donc aussi une transformation comportementale et sociotechnique, ce qui signifie un ajustement radical de la politique énergétique.

L'Algérie, dispose de ressources énergétiques renouvelables, en particulier l'énergie solaire, parmi les plus importantes sources d'énergie au monde et avec une extension régionale importante, peut se transformer en un avenir serein en matière d'énergies renouvelables, mais à condition de briser l'enfer cycle'. Dépendance à l'extérieur en termes de maîtrise et d'application des connaissances sur le terrain

## 1.2. Enjeux de la Transition énergétique

Les enjeux sont notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique, le passage à un système énergétique plus sûr en termes de géostratégie et de risques industriels/nucléaires, le passage à un système énergétique moins centralisé, et à différentes échelles spatiales de développement : architecturale, urbaine et paysagère. C'est aussi aller vers une moindre consommation d'énergie (rendement, efficacité énergétique), ce qui devrait également réduire les tensions géopolitiques causées par un accès inégal à l'énergie et une moindre disponibilité de l'énergie pour tous, en veillant à l'indépendance énergétique de tous.

Il s'agit donc de passer des énergies dites « carbonées » (pétrole, gaz naturel, charbon), et polluantes (incinération) à des énergies plus propres et plus sûres, telles que le solaire (thermique ou photovoltaïque), l'éolien, l'hydraulique, la géothermie et maritime. La biomasse est également souvent intégrée dans le mix énergétique proposé.

Cela peut prendre la forme d'une mise à jour technologique des installations, par le « repowering » (remplacement total ou partiel d'une installation pour la rendre plus performante), la rétro-ingénierie (remplacement de composants anciens, par exemple de turbines d'éoliennes, sans changer les caractéristiques de l'engin), ou la réingénierie (remplacement de composants obsolètes, en changeant les caractéristiques techniques de l'installation, en augmentant sa puissance en général).



**Figure 1.1 :** Extraction de houille dans la mine de charbon de Cerrejón en Colombie.

### **1.3. Histoire du concept**

Selon l'historien Jean-Baptiste Fressoz, « le terme de « transition énergétique » est apparu au milieu des années 1970 pour conjurer les inquiétudes liées à la « crise énergétique », cette dernière expression étant alors dominante. Dire « transition » plutôt que « crise » rendait le futur beaucoup moins anxiogène en l'arrimant à une rationalité planificatrice et gestionnaire ». Il indique qu'il « a été popularisé dans ce contexte par de puissantes institutions : le Bureau de la planification énergétique américain, la commission trilatérale, la CEE et divers lobbys industriels » [1].

Dans un sens plus large, le concept inclut également la démocratisation de l'approvisionnement en énergie. Dans le modèle énergétique traditionnel, le marché est contrôlé par quelques grands groupes disposant de vastes centrales, aboutissant ainsi à une situation d'oligopole discutable sur le plan politique et concurrentiel. Les systèmes fondés sur les énergies renouvelables, au contraire, peuvent en général être déployés de manière décentralisée. À travers des modèles participatifs tels que les parcs éoliens et les parcs solaires citoyens, les habitants peuvent être directement impliqués dans la production d'énergie.

Certains auteurs comme Tim Jackson pensent que la transition ne viendra pas des États, ou que les communautés locales doivent prendre leur responsabilités et évoluer vers des « Communautés locales bas-carbone » comme à Cheltenham<sup>19,20</sup>. Les installations photovoltaïques et d'autres alternatives peuvent impliquer des citoyens et de particuliers ainsi que de collectivités (ex. : bâtiments municipaux, de l'État, d'entreprises publiques, etc.) plus facilement que dans le modèle conventionnel qui profite généralement plutôt aux actionnaires. La décentralisation des énergies (renouvelables) peut aussi valoriser des régions et l'espace rural, tout en améliorant la balance commerciale par une diminution des importations d'énergies. Ces énergies jouent un rôle croissant dans les stratégies énergétiques communales et leur développement est soutenu par les collectivités locales, notamment via les schémas régionaux climat air énergie et les plans climat en France [2].

La transition peut s'étendre sur plusieurs niveaux qui intègrent les dimensions économique, écologique, financière, sociétale et spirituelle et dont les outils se diffusent et se structurent notamment sur internet.



### **1.4. Situation mondiale**

Selon l'historien Jean-Baptiste Fressoz, « il n'y a en fait jamais eu de transition énergétique. On ne passe pas du bois au charbon, puis du charbon au pétrole, puis du pétrole au nucléaire. L'histoire de l'énergie n'est pas celle de transitions, mais celle d'additions successives de nouvelles sources d'énergie primaire. L'erreur de perspective tient à la confusion entre relatif et absolu, entre local et global : si, au xxe siècle, l'usage du charbon décroît relativement au pétrole, il reste que sa consommation croît continûment, et que globalement, on n'en a jamais autant brûlé qu'en 2013. »

Dans son rapport 2019 sur les investissements dans l'énergie, l'Agence internationale de l'énergie conclut : « On ne trouve dans les données guère de signes d'une réallocation majeure des investissements en ligne avec l'accord de Paris sur le climat ; bien que les coûts baissent dans certaines régions, l'activité dans l'approvisionnement bas carbone stagne, en partie du fait d'une volonté politique insuffisante ; dans le scénario de développement durable, la part de l'investissement bas carbone passe de 35 % actuellement à 65 % en 2030 ; ceci exigerait un changement radical de politique. »

En 2019, dans son premier rapport sur le nucléaire en près de vingt ans, l'Agence internationale de l'énergie s'inquiète de l'avenir incertain des centrales nucléaires dans les pays développés, qui pourraient perdre 25 % de leur capacité nucléaire d'ici à 2025 et plus des deux tiers d'ici à 2040, notamment en Europe et aux États-Unis. Cette perte pourrait se traduire par le rejet de quatre milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> additionnelles dans l'atmosphère du fait de l'utilisation, en remplacement, de moyens de production plus émetteurs en dioxyde de carbone et freiner la transition écologique. Le rapport indique que la prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires existantes nécessite des investissements importants : entre cinq cents millions et un milliard de dollars pour prolonger de dix ans une capacité de production d'un gigawatt ; mais ce coût reste concurrentiel par rapport aux autres technologies de production d'électricité, y compris le solaire et l'éolien, et tendrait à favoriser une transition énergétique plus sûre et moins perturbante. Le rapport conclut : « sans investissements dans le nucléaire, la réalisation d'un système énergétique durable sera beaucoup plus difficile compenser une diminution du nucléaire par une augmentation des renouvelables coûterait plus cher. »

Un rapport publié le 2 décembre 2020 par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) révèle que les projets en cours d'extraction de combustibles conduiraient à une augmentation de 2 % par an de leur production alors qu'il faudrait la

réduire de 6 % par an entre 2020 et 2030 pour espérer atteindre l'objectif fixé par l'Accord de Paris sur le climat de ne pas dépasser 1,5 °C de réchauffement à la fin du siècle. Les États du G20 ont mobilisé 233 milliards de dollars d'aides publiques en faveur des activités dépendantes des ressources fossiles contre 146 milliards pour celles qui préservent le climat et l'environnement ; aux États-Unis, sur les 100 milliards de dollars d'aides publiques identifiés par le rapport, environ les deux-tiers ont été accordés aux secteurs dépendants du charbon, du pétrole et du gaz, le reste revenant aux énergies et aux activités vertes. Les proportions sont inverses en Chine, en Allemagne et en France.

L'année 2020 a été une année record pour les investissements dans les technologies de la transition énergétique, tandis que ceux consacrés à l'exploration et la production d'hydrocarbures ont touché un point bas en dix ans (380 milliards \$, en baisse de 30 % selon le cabinet Rystad Energy) : selon Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 501 milliards \$ ont été engagés en 2020 dans les énergies renouvelables, le transport électrique, la chaleur électrique, le stockage d'énergie, l'hydrogène et la capture et le stockage du carbone, soit 9 % de plus qu'en 2019, dont 304 milliards \$ pour les énergies renouvelables (hors hydraulique), en progression de 2 %. En Europe, les investissements ont progressé de 67 % à 166 milliards \$ en 2020, année record pour la vente de véhicules électriques et pour les investissements dans les énergies renouvelables. La capture et le stockage du CO<sub>2</sub> ont bénéficié d'investissements massifs et inédits (+212 %).

Le Forum économique mondial (FEM) publie en avril 2021 un rapport qui classe les 115 pays étudiés selon leur indice de transition énergétique (ETI) : seuls 13 de ces pays avancent à un rythme satisfaisant pour se décarboner. Les trois premières places reviennent aux pays nordiques : Suède, Norvège et Danemark. La réduction de l'intensité carbone de leur bouquet énergétique y est la plus forte et la plus rapide, grâce à un engagement politique indéfectible pour atteindre un prix de la tonne de CO<sub>2</sub> pertinent et à des investissements massifs dans la décarbonation. Seuls trois pays du G20 figurent dans les 20 premières places du classement : le Royaume-Uni (7e), la France (9e) et l'Allemagne (18e). Les États-Unis sont au 24e rang, l'Italie au 27e, le Japon au 36e ; la Chine (68e) et l'Inde (87e) ont fait de gros progrès, mais le charbon continue de peser lourdement dans leur bouquet énergétique alors qu'ils représentent à eux seuls le tiers de la demande mondiale d'énergie. Pékin bénéficie surtout de la réduction de l'intensité énergétique de son économie, et New-Delhi d'avoir mieux ciblé ses subventions et donné un environnement réglementaire plus propice à la transition énergétique [3].

## **1.5. Situations par payer des Stratégies bas carbone et la transition énergétique**

L'Article 4.19 de l'Accord de Paris demande à toutes les Parties d'élaborer une stratégie à long terme de développement à faible émission de gaz à effet de serre (GES), en gardant à l'esprit l'article 2 compte tenu de leurs responsabilités communes mais différenciées et de leurs capacités respectives, eu égard aux différentes situations nationales. Depuis l'adoption de l'Accord de Paris en 2015, le développement des stratégies bas carbone s'est accéléré, suite aussi à un plus grand soutien institutionnel. Les pays du G20, en 2017, ont publié une déclaration soutenant des stratégies à long terme afin de transformer et d'améliorer continuellement leurs économies et leurs systèmes énergétiques. Une nouvelle organisation, la plate-forme 2050 Pathways, a été créée en juillet 2017 en tant qu'initiative multipartite lancée pour aider les pays qui cherchent à développer des stratégies à long terme visant à atteindre la neutralité carbone de manière durable et résiliente aux changements climatiques. Dans le cadre d'une révision de sa principale législation sur le climat et l'énergie, l'Union Européenne a défini un nouveau système de gouvernance, qui est étroitement lié au cycle de cinq ans de l'Accord de Paris pour l'examen des Contributions Déterminées au niveau National (CDN) des pays.

Dans le cadre du nouveau système, tous les États membres sont tenus d'adopter des plans nationaux intégrés pour le climat et l'énergie (PNEC) pour la période 2021-2030 et d'élaborer des stratégies nationales à long terme tout en garantissant la cohérence entre les stratégies à long terme et les PNEC.

La Stratégie des Etats-Unis pour le milieu du siècle pour une décarbonisation en profondeur » a été communiqué à la CCNUCC en novembre 2016. A ce point, les États-Unis avaient fixé, dans leur CDN, des objectifs de réduction des émissions de GES de l'ordre de 17 % en 2020 et de 26 à 28 % en 2025, ces deux objectifs étant définis par rapport aux niveaux de 2005. Toutefois, le 4 novembre 2019, le gouvernement a officiellement notifié aux Nations Unies que les États-Unis se retireraient de l'Accord de Paris. Malgré le recul des politiques climatiques, les émissions ont continué à baisser, principalement en raison des mesures de la transition énergétique appliquées à travers la diminution de l'utilisation du charbon pour la production d'électricité pour des raisons économiques. Les États-Unis atteindront donc presque leur objectif pour 2020 [4].

Pour la France la première édition de la « Stratégie Nationale Bas-Carbone » date du décembre 2016 et a été soumise à nouveau en avril 2017. Elle se base sur les exigences de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, qui joue un rôle décisif dans la politique française d'atténuation. Entre autres, la loi fixe des objectifs chiffrés, définit des mesures phares, stipule que les budgets carbone quinquennaux doivent être établis par décret, et oblige le gouvernement à élaborer une stratégie bas-carbone à long terme tous les 5 ans. Cette stratégie nationale bas-carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour conduire la politique d'atténuation du changement climatique. La première stratégie contenait les budgets carbone pour les périodes 2015 à 2018, 2019 à 2023 et 2024 à 2028. La loi prévoit également l'évaluation et la communication de la réalisation des objectifs, en fixant des délais spécifiques et des exigences institutionnelles. La nouvelle édition de la stratégie met en œuvre les exigences de la nouvelle loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. Elle contient le budget carbone pour la période 2029 à 2033 et fixe pour cap l'atteinte de la neutralité carbone dès 2050. Cela signifie que l'ambition a été accrue par rapport à la première édition de la stratégie, qui annonçait une réduction de 75 % d'ici 2050 par rapport à 1990. Une réduction de 75 % signifie des émissions de 140 Mt d'équivalent CO<sub>2</sub> en 2050, tandis que la neutralité carbone suppose que 80 Mt d'équivalent CO<sub>2</sub> peuvent encore être émises et séquestrées en 2050 pour atteindre un niveau d'émissions net nul. La stratégie donne des orientations de politique pour réaliser une transition vers une économie bas-carbone. La stratégie a été consultée avec les parties prenantes dans de diverses réunions et ateliers ainsi qu'avec le public dans des ateliers et sous la forme d'un questionnaire en ligne. Les deux éditions de la stratégie sont conformes aux engagements pris par la France dans le cadre de sa CDN ainsi que dans celui de l'Union européenne, qui exigent de la France qu'elle réduise ses émissions de 40 % d'ici 2030. Les deux éditions de la stratégie comprennent des objectifs sectoriels ainsi que des mesures pour tous les secteurs, qui sont décrites en détail. Les deux documents peuvent être considérées comme exemple extrêmement positif de stratégie à long terme. En même temps, la stratégie reconnaît que le premier budget carbone (2015-2018) a été dépassé par 65 Mt équivalents CO<sub>2</sub>, soit 16 Mt par an ou 3,7 % du premier budget. Le dépassement du premier budget carbone entraînera également un dépassement du deuxième budget, qui a donc été augmenté de 6 %. Le troisième budget a également été légèrement augmenté (de 0,5 %). Selon la stratégie, la réalisation des objectifs pour 2030 et 2050 n'est pas en danger. L'un des points forts de la stratégie est sa documentation très complète, qui conduit à un niveau élevé de transparence. En outre, la définition contraignante des budgets carbone est un atout majeur. Néanmoins, il

faut également noter que le niveau général d'ambition des objectifs climatiques de l'UE a été évalué par le Climate Action Tracker comme insuffisant pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris. C'est donc également vrai pour les objectifs français. [5]

Pour l'Algérie le gouvernement algérien a ratifié l'Accord de Paris en octobre 2016, et a soumis sa Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN). Cette contribution concerne les deux piliers, d'égale importance, de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques ; à savoir l'atténuation des émissions des gaz à effets de serre et l'adaptation aux effets des changements climatiques toutes en renforcent la transition énergétique. Elle prévoit en matière d'atténuation « une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 7 à 22%, à l'horizon 2030, par rapport à un scénario de référence (Business As Usual - BAU), conditionnées par des soutiens en matière de financements extérieurs, de développement et de transfert technologique et de renforcement des capacités. Les 7% de réduction des GES seront réalisés avec des moyens nationaux [6].

## **1.6. Financement de la transition, coopération internationale**

La Commission de régulation de l'énergie (CRE) appelle à la clarté et à la transparence sur le coût des énergies renouvelables, notant "nous avons effectivement fait la transition énergétique dans les années 1970 en passant au nucléaire, ce qui a entraîné des charges d'électricité régulées par les coûts", Lawrence Tubiana, Co- hôte de la discussion, Constatant que les deux tiers de la consommation finale d'énergie de la France sont encore d'origine fossile, alors que la facture énergétique a atteint 60 milliards de dollars de déficit commercial en 2011. Devant le Cabinet franco-allemand prévu le 19 février, François Hollande a annoncé "une grande entreprise franco-allemande de la transition énergétique." "

Le rapport ETP 2014 de l'Agence internationale de l'énergie publié en mai 2014 examine trois scénarios possibles d'évolution des systèmes énergétiques jusqu'en 2050 ; Le scénario le plus volontariste, intitulé « 2DS » (pour un scénario à deux degrés), vise à limiter l'augmentation moyenne de la température à 2°C comme le recommande le GIEC, et atteint ce résultat en limitant l'augmentation de la demande énergétique à 25 % ( alternativement) 70% dans le scénario 6DS pour poursuivre les tendances actuelles conduisant à un réchauffement de 6°C) et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre de 50% (au lieu d'une augmentation de 60%) ; Dans ce scénario 2DS, les énergies renouvelables contribuent à hauteur de 30 % à cette réduction des émissions, les gains d'efficacité énergétique

contribuant à hauteur de 38 %, la capture et la séquestration du carbone à hauteur de 14 %, le nucléaire et le changement de combustible se partagent les 18 % restants ; 44 000 milliards de dollars d'investissements supplémentaires nécessaires pour décarboner le système électrique sont largement compensés par les 115 000 milliards de dollars d'économies de carburant qu'il apporte ; Même avec un taux d'actualisation de 10 %, le bénéfice net serait toujours de 5 000 milliards de dollars.

En décembre 2015, la Banque européenne d'investissement a conclu un accord de partenariat avec la France, pour financer jusqu'à 1 milliard d'euros, dans les villes et les régions, des projets liés à la transition énergétique. Depuis le 1er juillet 2016, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte permet aux entreprises développant des projets d'énergies renouvelables d'engager financièrement les particuliers et les collectivités proches des installations, directement ou par l'intermédiaire de professionnels.

En 2017, la Banque Européenne d'Investissement accompagne Eiffel Investment Group en tant que gestionnaire d'actifs dans un nouveau fonds (100 millions d'euros de prêts à court terme de 6 à 36 mois) pour une transformation énergétique.

Pour le journaliste Guillaume Pitron, les pays occidentaux ne feront que changer la donne : « Les Chinois et les Occidentaux se sont simplement partagé les tâches de l'énergie future et de la transformation numérique : les premiers mettront la main à la pâte pour la production de composants de technologies vertes, tandis que les seconds, en les achetant, peut se vanter de bonnes pratiques environnementales. » [7].

### **1.7. Les gaz à effet de serre**

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre<sup>1</sup> et contribuent ainsi au réchauffement climatique. L'augmentation de sa concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs à l'origine du réchauffement climatique. Un gaz ne peut absorber le rayonnement infrarouge que de trois atomes par molécule, ou de deux atomes s'il s'agit de deux atomes différents.

Les principaux gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère sont :

- **La vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O)** et les gouttelettes d'eau des nuages, responsables de 72 % de l'effet de serre naturel<sup>2</sup>. Le réchauffement climatique accentue l'évaporation de l'eau, qui assèche la Terre, augmente l'effet de serre et réchauffe les océans ;
- **Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**, responsable d'environ 65 % de l'effet de serre anthropique, et dont la concentration a augmenté de 47 % depuis 1750<sup>3</sup> ;
- **Le méthane (CH<sub>4</sub>)**, qui est responsable de 17 % de l'effet de serre anthropique<sup>4</sup> du fait de son potentiel de réchauffement global élevé, égal à 34 fois celui du CO<sub>2</sub> à cent ans (en prenant en compte les rétroactions climatiques<sup>5</sup>), mais qui persiste moins de dix ans dans l'atmosphère.

### **1.8. Prospective-scénarios**

De 2012 à 2014, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie a demandé à des prospectivistes et à ses services techniques et économiques d'imaginer des scénarios énergétiques, climatiques (et d'adaptation) volontaristes pour 2030-2050. Ces scénarios sont axés sur la maîtrise de la consommation énergétique et le développement de l'offre d'énergies renouvelables dans des proportions volontaristes mais plausibles, tout en permettant une nouvelle « croissance verte ». Un document dit « Vision 2030-2050 » les réunit (publié en août 2014). L'Ademe estime que si « les meilleures possibilités techniques connues » en 2014 sont mises en œuvre conformément au scénario vertueux d'ici 2030 là où elles peuvent l'être, les engagements de la France peuvent être tenus, et que la pollution de l'air diminuera également, notamment si des progrès sont faits pour limiter le transport routier et la pollution routière. Cependant, dans le même temps, les scénarios climatiques mis à jour pour le xxie siècle en France à partir des données les plus récentes du GIEC confirment la tendance au réchauffement<sup>140</sup>, et de son côté l'OMM constate une aggravation et même un record de croissance du taux de CO<sub>2</sub> dans l'air pour 2013, probablement en partie à cause du fait que les océans n'arrivent plus à absorber autant de CO<sub>2</sub> qu'avant, en raison de leur réchauffement et de leur acidification notamment.

Un article de la revue *Futuribles* classe les différents scénarios présentés par diverses équipes lors du débat national sur la transition énergétique en quatre catégories : « sobriété » (scénario Négawatt), « efficacité » (scénario ADEME), « diversité » (scénario ANCRE) et « décarbonations » (scénario Négatep), qui se différencient selon leurs objectifs sur trois

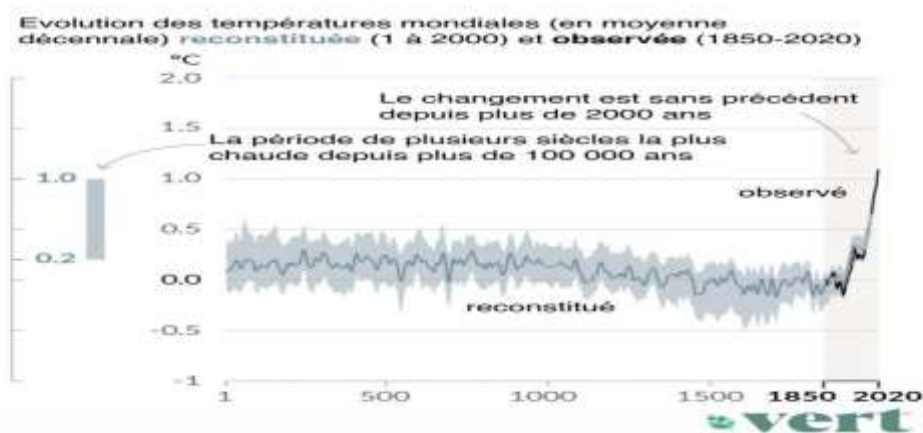


éléments discriminants : réduction des consommations, part de énergies renouvelables et part du nucléaire. Le projet de loi se réfère clairement à la catégorie « efficacité », mais l'auteur estime que son objectif de réduction des consommations de 50 % étant peu réaliste, la trajectoire future s'infléchira probablement vers la catégorie « diversité ».

Les scénarios avec réduction de la demande énergétique sont notamment défendus en France par l'Association négaWatt, et en Allemagne par l'Öko-Institut et le Institut de Wuppertal [8].

### 1.9. Résumé du dernier rapport du GIEC (IPCC 2022)

Premier constat, que le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat n'a cessé de répéter et de préciser dans ses rapports : l'impact humain sur la hausse des températures est « indiscutable ». Le réchauffement observé au cours de la décennie 2011-2020 par rapport à l'ère préindustrielle (milieu du XIXe siècle) était de 1,09°C. En 2019, la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a atteint son plus haut niveau depuis au moins deux millions d'années ; et pendant au moins 800 000 ans pour le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), deux autres gaz à effet de serre puissants. "L'ampleur des changements récents de l'ensemble du système climatique et l'état actuel de nombreux aspects de celui-ci sont sans précédent, s'étendant de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années", note le rapport. Pour s'en convaincre, les 234 auteurs de 66 pays ont parcouru près de 14000 documents et études scientifiques.



**Figure 1.2 :** évolution des températures mondiales (en moyenne décennale) reconstituée (1 à 2000) et observée (1850-2020)



© Giec / Traduction par Vert

Le rapport met en lumière le rôle longtemps sous-estimé du méthane. Ce puissant gaz à effet de serre, dont la concentration dans l'atmosphère croît plus rapidement que celle du dioxyde de carbone, est responsable de près de la moitié du réchauffement climatique. Il est utilisé comme combustible ou pour le chauffage (gaz naturel), d'énormes quantités sont rejetées par l'élevage et lors de l'extraction de gaz ou de pétrole. Bien qu'il produise la plupart de ses effets au cours de ses premières années dans l'atmosphère, la réduction de ses émissions aura des impacts rapides et importants sur le climat.

Le réchauffement lié à cette accumulation sans précédent de gaz à effet de serre a entraîné une foule de bouleversements déjà largement documentés, rappelle le document. Parmi ceux-ci : des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, tempêtes tropicales) qui se multiplient et s'intensifient ; des océans qui s'acidifient et sont vidés de leur oxygène ; les biosphères qui se déplacent vers les pôles, etc.

Parmi les conséquences les plus spectaculaires, l'élévation des températures a entraîné celle du niveau des océans, qui ont grimpé de 20 centimètres depuis 1900. Depuis 1971, cette hausse est due pour moitié (50%) à l'expansion thermique liée au réchauffement de l'eau marine ; la fonte des glaciers, 22% ; celle des calottes glaciaires, 20%. Entre les années 1990 et 2010, le rythme de fonte de ces dernières a été multiplié par quatre. Depuis 2006, la fonte des glaces est devenue le principal facteur d'élévation des océans. Un phénomène qui s'emballe : de +1,3mm par an entre 1901 et 1971, les mers sont montées de 1,9mm entre 1971 et 2006, et enfin de 3,7mm entre 2006 et 2018.

L'une des principales nouveautés contenues dans ce nouveau rapport est l'utilisation de nouveaux types de scénarios pour tenter d'anticiper le futur. Au nombre de cinq, ces scénarios dits « SSP », pour « trajectoires socio-économiques communes » (Shared Socioeconomic Pathways) ne tiennent pas seulement compte du réchauffement en termes scientifiques, comme dans le précédent rapport. Ils proposent cinq récits – du plus au moins optimistes – de la réponse humaine face à la crise climatique.

**1.9.1 Les scénarios du GIEC****SSP1 : Soutenabilité – La voie verte**

C'est le scénario de développement le plus inclusif qui respecte les limites écologiques planétaires et s'articule autour du bien-être de la population et de la réduction des inégalités. La consommation est orientée vers une faible croissance des matériaux, une moindre utilisation des ressources et de l'énergie. Les deux premiers scénarios du GIEC (SSP1-1.9 et SSP1-2.6) sont basés sur cette histoire.

**SSP2 : Au milieu du gué**

Notre monde poursuit ses tendances historiques avec la croissance des revenus inégalement répartis, et il opère lentement sa transformation écologique, malgré les objectifs qu'il se fixe. La transition démographique s'est achevée dans la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle. Il s'agit du scénario moyen (SSP2-4.5) utilisé par le GIEC.

**SSP3 : Rivalités régionales – Un chemin escarpé**

L'émergence du nationalisme, de la compétitivité, des préoccupations sécuritaires et des conflits régionaux amène les pays à se concentrer davantage sur les questions nationales ou régionales tout au plus, au détriment de la réduction des inégalités et de la pauvreté. Correspond au quatrième scénario (SSP3-7.0) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

**SSP4 - Inégalités – Une route divisée**

Le scénario d'exacerbation des inégalités entre une société fortement interdépendante au niveau international qui contribue à un développement économique fort soutenu par toutes les sources d'énergie, et des sociétés à faibles revenus, peu scolarisées et cantonnées à des activités à faible valeur ajoutée. La fracture s'aggrave et les conflits et troubles se répètent. Le GIEC n'a pas envisagé ce scénario dans son rapport.

**SSP5 Développement alimenté par des combustibles fossiles – L'autoroute**

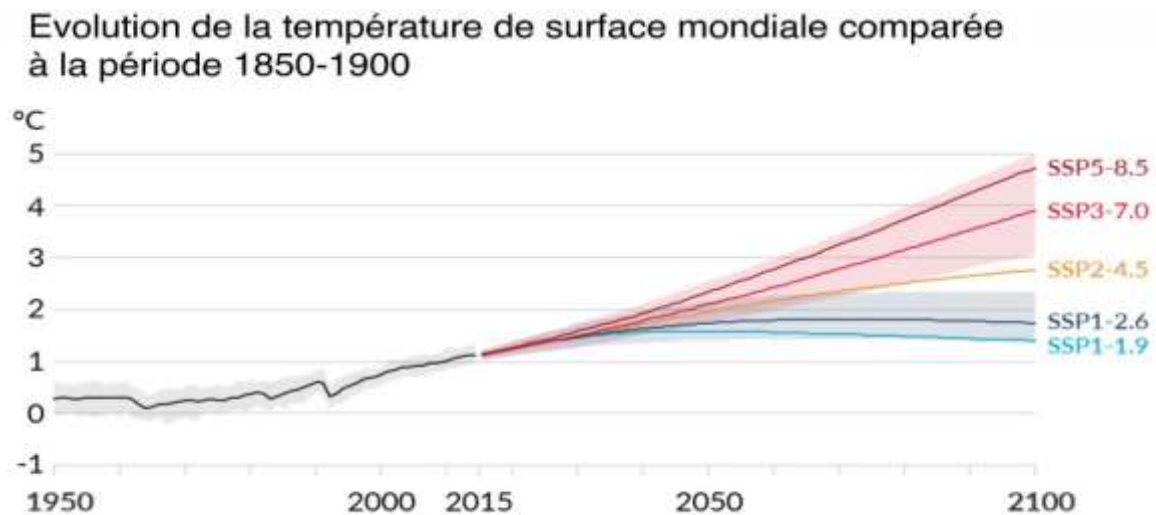
Scénario de développement économique et social élevé basé sur des marchés compétitifs et l'innovation qui nécessite l'utilisation d'abondantes ressources en combustibles fossiles.

Correspond au scénario le plus pessimiste du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (SSP5-8.5

## 1.9.2. Résultats des études du GIEC

### 1.9.2.1. La température de surface mondiale

Quoi qu'il en soit, les températures continueront d'augmenter au moins jusque dans les années 1950. Le scénario le plus optimiste est de limiter le réchauffement à 1,6°C (fourchette de 1,2 à 2°C) d'ici le milieu du siècle, avant - sans certitude - une légère baisse des températures. Début du XXI<sup>e</sup> siècle tombe à 1,4°C (entre 1 et 1,8°C). Le scénario le plus pessimiste prévoit une hausse de température entre 3,3 et 5,7 °C, avec une estimation moyenne de +4,4 °C.



**Figure 1.3** : évolution de la température de surface mondiale comparée à la période 1850-1900

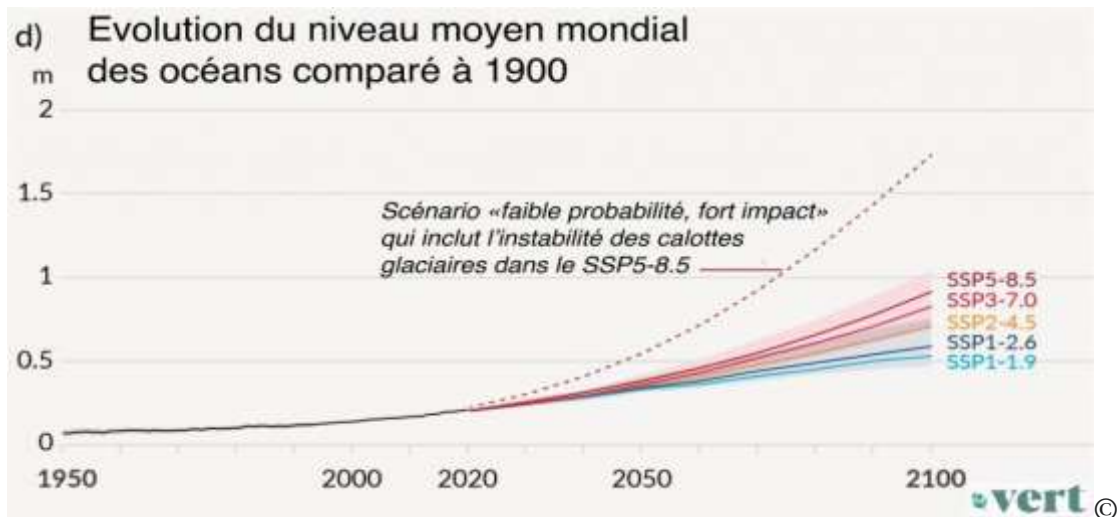
© Giec / Traduction par Vert

En tout état de cause, le réchauffement de 1,5 et 2°C – objectifs visés dans l'accord de Paris qui lie toutes les nations du globe depuis 2015 – sera dépassé au 21<sup>e</sup> siècle « à moins qu'une réduction profonde des gaz à effet de serre n'intervienne lors des prochaines décennies ».

### 1.9.2.2. Le niveau des mers

Le comportement des océans est l'un des sujets cruciaux de ce siècle. Comparé à la période 1995-2014, le niveau des mers pourrait monter de 28 à 55 centimètres dans le

scénario le plus optimiste, et attendrait 63 centimètres à 1 mètre dans le scénario à fortes émissions, note le rapport. Pis, en raison de « profondes incertitudes » liées au comportement des calottes glaciaires, les auteur·rice·s n'excluent pas un scénario catastrophe, dans lequel l'océan monterait de 2 mètres d'ici 2100 et jusqu'à 5 mètres en 2150.



**Figure 1.4 :** Evolution du niveau moyen mondial des océans comparés à 1900

Giec / Traduction par Vert

### 1.9.2.3. Les épisodes extrêmes

Sous l'effet des dérèglements climatiques, les épisodes « extrêmes » vont s'emballer. Les fortes précipitations risquent de se multiplier et de s'intensifier dans la plupart des régions. Idem pour les tempêtes tropicales, dont la fréquence et la brutalité vont s'accroître.

A 2°C de réchauffement, un épisode de température extrême qui apparaissait une fois tous les 10 ans au 19<sup>ème</sup> siècle, se produira 5,6 fois par décennie. A 4°C, il se produira presque tous les ans. Ces vagues de chaleur seront également bien plus torrides. Le réchauffement va également intensifier les saisons et les épisodes très secs et très humides, aggravant sécheresses et inondations. Les moussons seront plus sévères partout dans le monde, en particulier en Asie et du sud ; de l'est et sud-est, et en Afrique de l'Ouest.

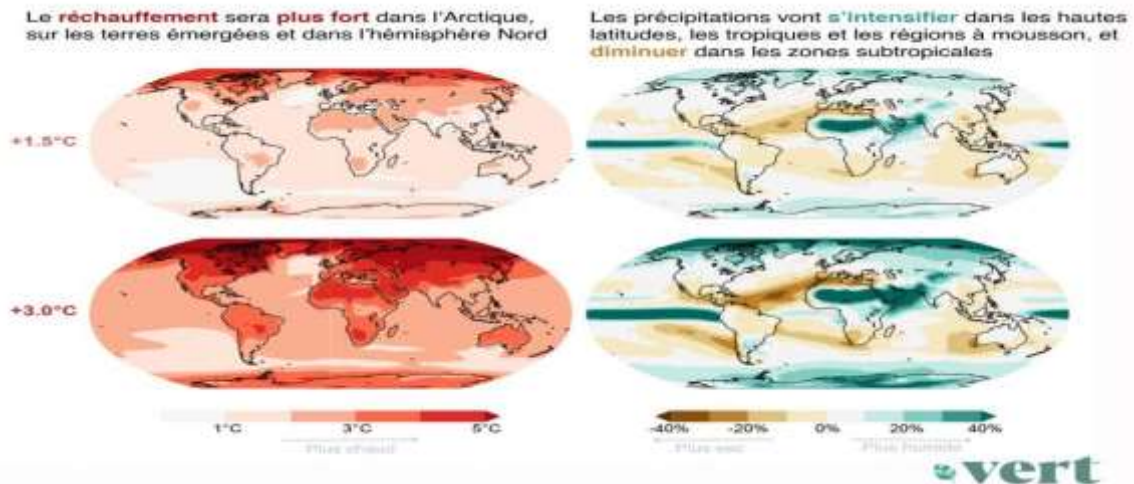


Figure 1.5 : l'évolution de degré de réchauffement climatique

© Giec / Traduction par Vert

#### 1.9.2.4. La température mondiale

Entre 1850 et 2019, 2390 gigatonnes (milliards de tonnes) de CO<sub>2</sub> ont été émises par les humains. Pour s'assurer (à 83%) de rester sous la barre de 1,5°C de réchauffement d'ici 2100, l'humanité ne peut plus émettre que 300 gigatonnes de CO<sub>2</sub>, soit moins de dix années au rythme actuel. Et 900Gt pour ne pas dépasser 2°C [9].

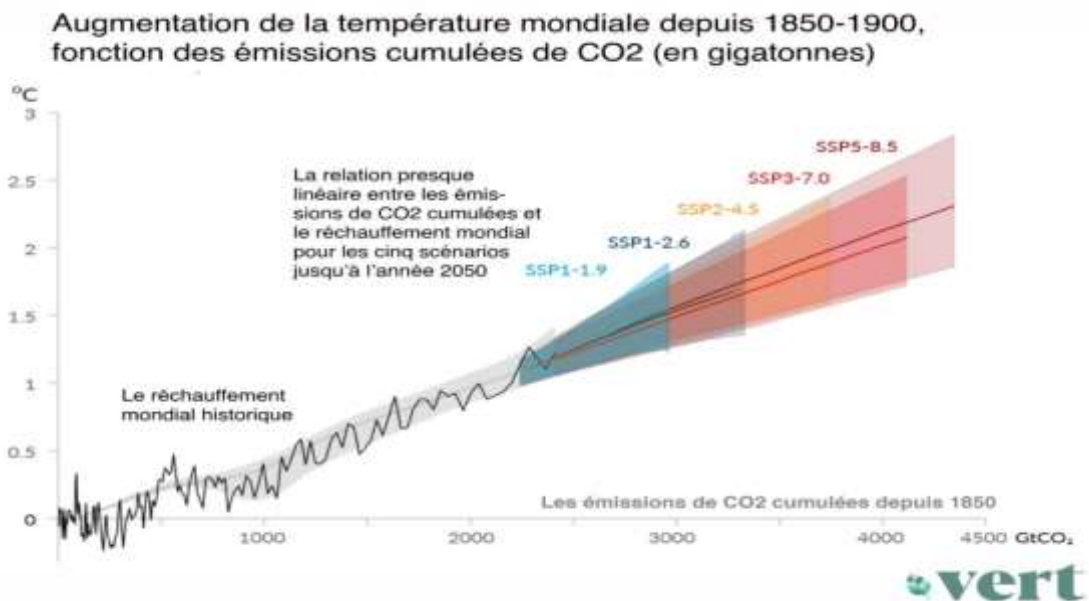


Figure 1.6 : augmentation de la température mondiale depuis 1850-1900, fonction des émissions cumulées ce CO<sub>2</sub> (en gigatonnes) Giec / Traduction par Vert

## **1.10. Avantages et inconvénients de la transition énergétique**

La transition énergétique consiste à passer en partie d'un modèle centralisé, dominé par les grandes centrales électriques, à une structure décentralisée faisant une part plus importante aux énergies renouvelables alimentant les réseaux basse et moyenne tension ; Cependant, les marchés de l'énergie éolienne et solaire s'orientent de plus en plus vers de grandes centrales électriques connectées au réseau à haute tension. Il a donc des avantages et des inconvénients.

### **1.10.1. Avantages de la transition énergétique**

- Plus grande sécurité d'approvisionnement grâce à la décentralisation : l'utilisation d'une multitude de petites centrales permet d'adapter plus facilement la production aux besoins et de décharger les lignes à haute tension<sup>145</sup> (voir aussi la section Autres aspects) ; ceci est cependant très contestable, étant donnée la répartition inégale des productions renouvelables et leurs fluctuations : en Allemagne, la production éolienne est surtout concentrée au nord du pays alors que la consommation est plus concentrée au sud, ce qui nécessite la construction de nouvelles lignes à haute tension ; au Danemark, la compensation des fluctuations de l'éolien a nécessité la pose de plusieurs lignes sous-marines d'interconnexion avec la Suède et la Norvège, afin de bénéficier de la complémentarité entre les barrages hydroélectriques de ces deux pays et les éoliennes danoises ; en été, les excédents de production solaire de l'Allemagne du Sud s'exportent massivement vers la France et la Suisse.
  - Il n'y a pas de destruction ou de pollution de l'environnement associée à l'extraction de sources d'énergie fossiles.
  - Il n'y a pas de déchets radioactifs ni d'autres risques associés à la production d'énergie nucléaire.
  - Réduire les émissions de gaz à effet de serre et de substances toxiques provenant des combustibles fossiles.
- 
- Conservation de ressources limitées telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, dont les réserves (estimées en 2009) seront épuisées dans respectivement 41, 62 et 124 ans <sup>151</sup>.
  - Une plus grande indépendance économique et politique vis-à-vis des pays exportateurs de combustibles fossiles ou d'uranium.

- Réduire les risques économiques liés aux pénuries d'énergie voire à une crise énergétique (ex. premier et deuxième chocs pétroliers) grâce à des sources d'énergie primaire quasi illimitées.
- L'absence de conflits liés aux ressources (la guerre en Irak, par exemple, a été en partie motivée par les ressources pétrolières du pays).
- Avantages économiques grâce à des alimentations électriques moins coûteuses à long terme.
- Accroître la richesse nationale en réduisant les importations d'énergie.
- Les panneaux photovoltaïques, les capteurs solaires thermiques et certaines éoliennes peuvent être directement installés chez le consommateur final. En l'absence de coûts de transport et de taxes, ces installations ne sont donc pas soumises à la concurrence sur la base du prix de gros, mais sur celle du prix final.

### **1.10.2 Inconvénients de la transition énergétique**

---

- Les énergies éolienne, solaire et (dans une moindre mesure) hydraulique sont dépendantes de la météo ; la production d'énergie est donc plus difficile à planifier qu'avec des centrales conventionnelles. Pour couvrir les besoins réels, il faut donc faire appel à des techniques de stockage, diversifier les types de centrale et assurer une large répartition géographique des installations. Il peut également être nécessaire de construire des centrales pour l'énergie en base. Dans le sud de l'Allemagne par exemple, l'arrêt des centrales nucléaires a entraîné la nécessité d'agrandir les centrales au gaz existantes et de construire de nouvelles installations. Le soutien massif dont bénéficient actuellement les énergies renouvelables en Allemagne permet néanmoins d'éviter la construction de nouvelles centrales dans l'immédiat. Les acteurs de l'industrie électrique ont d'ailleurs demandé que des aides fédérales soient versées dans ce but.
- Les besoins de stockage liés à l'intermittence des énergies éolienne et solaire sont incompatibles avec les ressources mondiales : le stockage de deux jours de consommation électrique par la technologie la plus moderne des batteries lithium-ion nécessiterait la mise en ligne de 12 millions de tonnes de batteries utilisant 300 000 tonnes de lithium, soit plus de sept années d'une production mondiale de 40 000 tonnes.
- Le redéploiement des sites de production d'électricité a un impact géographique et nécessite d'importants aménagements d'infrastructure pour acheminer la nouvelle



production vers les zones de consommation. Ainsi, en Allemagne, la construction de quatre grandes "autoroutes de l'électricité", d'une longueur totale de 3 800 km, depuis les éoliennes au Nord vers le Sud plus industriel coûterait 32 milliards.

- Certaines techniques de stockage, comme le pompage-turbinage, requièrent beaucoup d'espace. C'est la raison pour laquelle l'Allemagne notamment s'intéresse à la technique power to Gas.
- Les cultures destinées à la production de biocarburant peuvent entrer en concurrence avec les cultures destinées à l'alimentation. En Allemagne, entre 2007 et début 2012, le prix des terrains agricoles a augmenté en moyenne de 25 %, parfois même de plus de 85 % à l'est du pays, et d'environ 13 % à l'ouest. D'après la fédération paysanne allemande, il existe une concurrence féroce entre la production de nourriture et la production d'énergie dans les campagnes.
- L'obligation d'achat de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables reporte les coûts de production sur l'ensemble des consommateurs. En l'absence de concurrence suffisante sur le marché, le développement de nouvelles infrastructures peut ainsi conduire à une augmentation considérable des charges pesant sur les consommateurs.
- En Allemagne, le financement de la transition énergétique n'est pas réparti de manière équitable. Selon une étude de l'Institut de l'économie allemande, les ménages pauvres paient le subventionnement de l'électricité solaire et éolienne dix fois plus cher que les ménages aisés. De plus, contrairement aux petites entreprises et à la majorité des moyennes, les industries gourmandes en énergie sont largement exemptées de participation. D'après l'Agence fédérale des réseaux, les grandes entreprises, qui représentent 18 % de la consommation d'électricité en Allemagne, ne sont tenues de participer qu'à hauteur de 0,3 % au financement de la transition énergétique. En raison de ces subventions apportées aux grandes entreprises au détriment des petites et des consommateurs particuliers, la Commission européenne a introduit en juin 2012 une procédure d'attribution des aides.
- Une transition énergétique limitée aux seuls pays développés et dépourvue d'accord international sur les questions climatiques masque le problème de la répartition actuelle de la consommation d'énergie fossile à l'échelle mondiale. Même si quelques pays pionniers parviennent à réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> en optimisant leur production d'énergie, l'impact de l'homme sur la concentration de CO<sub>2</sub> à l'échelle mondiale ne sera pas réduit si ces émissions sont déplacées vers d'autres pays, en délocalisant par exemple



les unités de production vers des pays émergents ou en développement où le prix de l'énergie est plus attractif. Les mécanismes d'échange de droits d'émission, conçus pour résoudre ce problème, ne sont pas encore suffisamment développés sur le plan international.

- Forte dépendance des technologies éolienne et photovoltaïque aux terres rares.
- Un rapport de la Banque mondiale publié en juillet 2017 met en évidence que « la composition des technologies supposées alimenter le passage à une énergie propre - éolien, solaire, hydrogène et systèmes électriques - nécessite en fait significativement plus de ressources que les systèmes d'alimentation en énergie traditionnels » : si le monde prend les mesures requises pour contenir l'élévation de la température nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels, la demande de métaux pourrait doubler ; l'exemple le plus frappant est celui du développement des accumulateurs électriques utilisés pour stocker l'électricité produite par les énergies éolienne et solaire, qui pourrait entraîner un bond de 1 000 % de la demande de lithium.

## **1.11. Conclusion**

L'utilisation accrue des biocarburants est l'une des raisons de la hausse des prix des denrées alimentaires, qui a débuté en 2003. Elle a également provoqué la hausse des prix fin 2007, lors de la « crise des tortillas ». Sous la direction du gouvernement, près d'un quart du maïs cultivé a été consacré à la production de bioéthanol, provoquant une flambée des prix mondiaux du maïs et rendant les tortillas mexicaines inabordables. Les besoins alimentaires croissants liés à l'augmentation de la population mondiale intensifient cette compétition pour les espaces arables, et les effets sur l'environnement ne doivent pas être négligés.

De nombreux pays développés et émergents ont commencé à développer les énergies renouvelables à grande échelle. Les partisans de la transition énergétique considèrent cette évolution comme inéluctable compte tenu de la nature limitée et des prix toujours plus élevés des énergies fossiles, du réchauffement climatique ainsi que des risques posés par l'utilisation de l'énergie nucléaire et le stockage éventuel de déchets radioactifs.

En 2012, le PV est toujours plus cher que les énergies fossiles (et l'éolien), même si les prix n'ont cessé de baisser jusqu'à présent. Cette baisse est attribuée aux économies d'échelle résultant de l'augmentation de la production, de la forte concurrence et du progrès

technologique (courbe d'apprentissage). Le secteur vise une réduction supplémentaire de 40 % d'ici 2020.

Les coûts de l'électricité éolienne ont également diminué ces dernières années et devraient continuer à baisser. De plus en plus d'éoliennes sont déjà consommées, produisant ainsi de l'électricité à faible coût.

La production d'électricité décentralisée augmente la stabilité du réseau. Les défaillances qui surviennent dans de petites unités de production individuelles peuvent être plus facilement compensées qu'une défaillance majeure affectant une grande usine. Cependant, en raison de la nature intermittente des énergies renouvelables, des technologies telles que le réseau intelligent ou le contrôle en temps réel de la température des lignes électriques (ce qui augmentera le courant continu admissible) peuvent être nécessaires.

Les énergies renouvelables, et notamment l'énergie photovoltaïque, peuvent servir de recours en été lorsque l'eau des fleuves ne suffit plus à refroidir les centrales conventionnelles qui doivent alors être arrosées, ralenties ou arrêtées. Ces situations sont de plus en plus fréquentes en raison du réchauffement climatique, qui entraîne la baisse du niveau de nombreux cours d'eau et une augmentation de leur température.

***Chapitre 2***  
***Etude de cas de la***  
***centrale PV de 10MW***  
***Appartenant au***  
***Groupement***  
***SONATRACH-ENI***

### **2.1. Introduction :**

Le terme « photoélectrique » peut désigner un phénomène physique (l'effet photoélectrique découvert par Alexander Edmund Becquerel en 1839) ou la technologie qui lui est associée. Le PV solaire est de l'électricité produite en convertissant une partie du rayonnement solaire par une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet dans certaines conditions de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

Tout le monde dit que les énergies renouvelables sont des énergies vertes et respectueuses de l'environnement, mais les gens savent comment ? l'idée de cette étude est de montrer à quel point les énergies renouvelables sont des énergies vertes et respectueuses de l'environnement.

L'objectif de ce travail est de démontrer l'effet de l'installation PV sur les émissions de gaz à effet de serre du site BRN et par la suite l'impact sur l'environnement.

Une mission de terrain a été effectuée pour collecter les données nécessaires et connaître le fonctionnement du site en termes d'électricité. Les résultats sont présentés dans le chapitre suivant.

### **2.2. Présentation du site de Bir Rebaa Nord**

L'objectif de ce travail c'est de calculer les émissions évitées à travers l'électrification. Electrification du site par l'alimentation de la région de BRN par l'électricité produite par la Centrale solaire photovoltaïque et par le réseau électrique alimenté par la centrale électrique fossile de Hassi Berkine.

Latitude : 31°40'49" Nord, Longitude : 6°04'22" Est, L'altitude par rapport au niveau de la mer : 152 m

Le site de Bir Rebaa Nord (BRN) est un site qui appartient au groupement SONTARACH ENI (GSE), est la première joint-venture créée en Algérie en 1995, elle est constituée de 8 blocs, 25 champs et 150 puits (80 producteurs d'huile, 36 injecteurs d'eau, 16 injecteurs de gaz, 5 producteurs de gaz, 13 producteurs d'eau), 1000 Km ligne de surface.

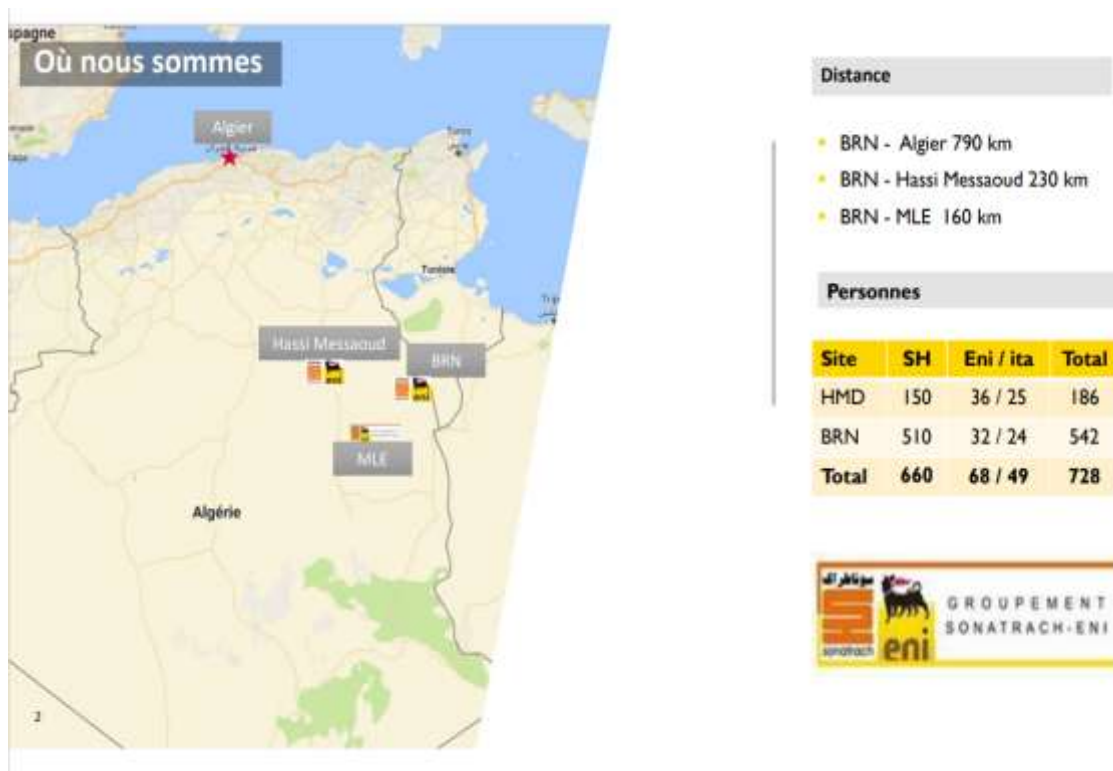
## Chapitre 2 Étude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

BRN Train 1 et 2 avec une capacité totale de 80 kbb/j, et une capacité d'environ 2x3,5 millions Sm<sup>3</sup>/j de traitement de gaz pour la compression

ROD Train 3 avec une capacité de 84 kbb/j et une capacité d'environ 2x5.5 millions Sm<sup>3</sup>/j de traitement de gaz pour la compression

La production actuelle du GSE s'élève à :

- Production pétrole brut 65 kbb/j (moyenne octobre 2021)
- Production gaz 12 millions Sm<sup>3</sup>/j (6,7 millions Sm<sup>3</sup>/j réinjecté)
- Expédition Gaz vers MLE (5 millions Sm<sup>3</sup>/j)
- Injection d'eau 60 kbb/d
- Production d'huile cumulée depuis l'origine >740 millions bbl
- Expédition de gaz cumulée depuis l'origine >2,2 billions de Sm<sup>3</sup>
- Photovoltaïques : Énergie produite cumulé >37,2 GWhs



**Figure 2.1** : situation graphique du site BRN



**Figure 2.2 :** centre de traitement des hydrocarbures BRN (CTH)

### **2.3 Présentation de la centrale PV BRN**

La station photovoltaïque de BRN a été installée en 2019 par l'entreprise locale / EPC contrat (ENGTP), PV sont d'une structure fixe avec une connexion aux sous-stations existantes (Hassi Berkine).

La station est de puissance maximale de 10.179 kWp, l'énergie produite en 2020 est 19.340 MWh module 100 kton/y CO2 évités.

Une station de production d'énergie solaire a été inaugurée ce dimanche au niveau du site Bir Rebaâ Nord (BRN), à Hassi Messaoud dans la wilaya d'Ouargla.

La station, qui est le fruit d'un partenariat entre le groupe Sonatrach et l'italien ENI, est composée de 31 320 panneaux solaires étalés sur une superficie de 20 hectares.

D'un coût global de 16 millions de dollars, cette nouvelle station a été réalisée dans un délai de 12 mois pour une durée de vie estimée à 25 ans.

## Chapitre 2 Etude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

La station permettra d'économiser jusqu'à 15% du gaz utilisé dans la production d'électricité.



**Figure 2.3 :** centrale solaire BRN 10 MW

### 2.4 Méthodes de calcul des émissions de GES

Les émissions sont déterminées au moyen de l'une des trois méthodes suivantes selon la disponibilité des données et des moyens de mesure de chaque source d'émission :

La segmentation des procédés est effectuée pour estimer les émissions de CO<sub>2</sub> de chaque installation dans chaque unité par la détermination du FE spécifique du CO<sub>2</sub> de la combustion effectuée dans l'équipement considéré. Le calcul des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O est basé sur le facteur d'émission par défaut de l'IPCC 2006 et IPCC refinements 2019.

Le calcul avec le facteur d'émission unitaire :

$E_s = \sum_{f=1}^{f=n} [Q_f * [PCI]_f * [FE]_{(s,f)}]$	(2.1)
---	-------

## **Chapitre 2 Étude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE**

Avec

Es : émission de la substance s (en unité massique),

Qf : quantité de combustible f consommé (en masse),

PCIf : pouvoir calorifique inférieur du combustible f (en unité énergétique/unité massique),

FE<sub>s,f</sub> : facteur d'émission de la substance s pour le combustible f (en unité massique de polluant/unité énergétique).

Les calculs des émissions de GES se font selon l'équation de la méthodologie adoptée :

Emissions = Donnée d'activité x Facteur d'émission éditeur d'équation +numéro

Emissions (teCO<sub>2</sub>) = Donnée d'activité (Unité de mesure) \* FE (teCO<sub>2</sub> /unité de mesure)

### **2.5 Les données collectées du site**

Les données collectées sont :

- Estimation de la consommation future d'électricité selon les projets de développement et des nouvelles découvertes de puits,
- La série temporelle de la composition du fuel gaz consommé par les turbogénérateurs à BRN de 2011 à 2021,
- Quantités de gas-oil consommée par les équipements des puits de 2011 à 2021,
- Evolution du nombre de puits actifs considérés par année dans le calcul des quantités de gasoil consommé,
- Cartographie des puits à forte probabilité d'être électrifiés et ceux à très faible probabilité pour le considérer dans les scénarios de l'action,
- Série temporelle de données de consommation de gaz combustible et de production d'électricité et de la composition du fuel gaz utilisé par la centrale électrique de Berkine



## **2.6 Présentation des différentes feuilles de calcul**

### **2.6.1 Calcule des émissions de la centrale PV**

La matrice présentée dans le Tableau N°01 : calcule des émissions de la centrale pv, a été développée afin de calculer les émissions de la centrale PV, en fait les émissions des centrale PV ne sont pas zéro comme la majorité entre nous pense, la centrale a des émissions qui sont les émissions du SF6, qui est un gaz à effet de serre et qui est rajouté dans les disjoncteurs. Le SF6 a un pouvoir de réchauffement de 2600 fois plus que le CO2. Elle a aussi des émissions dû à l'utilisation des groupes électrogènes consomme de Diesel, ces groupes alimentent la centrale en cas d'absence d'éclairage, des essais sont programmés périodiquement pour assurer le bon fonctionnement de ces groupes.

Cette matrice a été développée et remplie lors de la visite réalisée dans le cadre de stage avec la GIZ, et qui contient les informations suivantes :

- L'Énergie produite par la centrale PV
- La quantité rechargée du SF6
- La quantité de gazole consommée par les groupes électrogènes
- Énergie livrée par centrale PV vers CTH
- Facteur d'émission CO2 gazole groupe électrogène

Les données fournies par la station sont des données de l'année 2019 jusqu'à l'année 2022, le reste ce sont des hypothèses pour faire les projections jusqu'à l'année 2030.

Une nouvelle station rentre en service dès l'année 2023, la chose qui justifie le doublement dans l'énergie produite par la centrale à partir de 2023.

Le calcul est fait pas EXCEL comme mentionné dans la partie méthode de calcul

- **Les émissions évitées par la centrale :**

Le calcul des émissions évitées par la centrale se fait par l'équation suivante :

$$\text{Emission évitées} = \text{EL CTH} * \text{FE}$$

- Émission évitées : Émissions équivalentes évitées (PV solaire)
- EL CTH : Énergie livrée par centrale PV vers CTH
- FE : le facteur d'émission calculé pour la station BBK est utilisé dans ce calcul.

- **Les émissions du groupe diesel :**

$$\text{Emission groupe diesel} = \text{CG} * \text{FE} / 1000$$

- CG : Consommation de gazole (groupe secours station solaire)

## **Chapitre 2 Étude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE**

- FE : Facteur d'émission CO2 gasoil groupe électrogène
  - **Les Emission net évitées CO2 :**

Après il faut calculer les Emission net évitées CO2 par la relation suivant :

Emission net évitées CO2 = Emissions équivalentes évitées (PV solaire) - Emission groupe diesel - Emission SF6

## Chapitre 2 Étude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

**Tableau 2.1 : calcule des émissions de la centrale PV**

Solaire photovoltaïque													
	Capacité installé	Energie produite par centrale PV	Energie livree par centrale PV vers CTH	Facteur d'émissions CO2 réseau électrique Berkine	Emission SF6 =(0,1%)?	Quantité recharge SF6 (station solaire)	Emission SF6	Consommation de gasoil (groupe secours station solaire)	Facteur d'émission CO2 gasoil groupe électrogène	Emission groupe diesel	Emissions équivalentes évitées (PV solaire)	Emission net évitées CO2	
Anné	(MWh)	(MWh)	(MWh)	(tCO2/MWh)	5 Transformateurs	(g)	teqCO2	(litre)	(kgCO2/l)	tCO2	tCO2	teqCO2	
2010	0	0	0	0,689	NO (Not Occuring)	0	0	0	2,67	0	0	-	
2011	0	0	0	0,672	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2012	0	0	0	0,716	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2013	0	0	0	0,675	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2014	0	0	0	0,661	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2015	0	0	0	0,684	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2016	0	0	0	0,687	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2017	0	0	0	0,668	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2018	0	0	0	0,667	NO	0	0	0	2,67	0	0	-	
2019	10 MWc	9185,53	9002,30	0,705	NO	0	0	500	2,67	1,335	6 343	6 342	
2020	10 MWc	20003,30	19349,40	0,705	NO	0	0	270	2,67	0,7209	13 638	13 637	
2021	10 MWc	19588,54	19033,41	0,697	NO	0	0	200	2,67	0,534	13 266	13 266	
2022	10 MWc	19500,00	19000,00	0,7	NO	0	0	250	2,67	0,6675	13 300	13 299	
2023	10 MWc	19500,00	19000,00	0,7	NO	0	0	250	2,67	0,6675	13 300	13 299	
2024	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2025	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2026	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2027	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2028	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2029	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	
2030	20 MWc	39500,00	39000,00	0,7	NO	0	0	350	2,67	0,9345	27 300	27 299	

### **2.6.2 Calcul de facteur d'émission du centrale fossile BBK :**

Le facteur d'émission est un coefficient permettant de convertir les données d'activité en émissions de GES. C'est le taux d'émission moyen d'une source donnée, par rapport aux unités d'activité ou aux processus (kg CO<sub>2</sub> / GJ, t, MWh, m<sup>3</sup>, etc. d'un combustible).

Les facteurs d'émission spécifiques par segment technologique dépendent des paramètres suivants :

- Le type de combustible utilisé,
- La technologie de combustion,
- Les conditions d'exploitation,
- La technologie de contrôle,
- La qualité de l'entretien,
- L'âge de l'équipement utilisé pour brûler le combustible.

La méthodologie de calcul du facteur spécifique annuelle à chaque segment technologique à partir de la composition chimique du fuel utilisé est développée pour chaque unité du site.

Cette méthode (matrice de calcul dans le Tableau N°02 : Fiche de calcul de facteur d'émission) est basée sur :

- La composition chimique mensuelle ou annuelle,
- Les propriétés physiques du gaz combustible,
- Les Constantes et paramètres chimiques,
- Les séries de données temporelles de la composition chimique du mélange gazeux combustible fournies sont les résultats d'analyse de laboratoire, exprimés en pourcentage molaire des composants du gaz (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, méthane, éthane, propane, butane, pentane) ainsi que les résultats d'analyse de laboratoire des séries de données temporelle de la densité et du PCS.

## Chapitre 2 Etude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

**Tableau 2.2 : Fiche de calcul de facteur d'émission**

<b>Bilan Energétique 2003-2021</b>								
<b>(Production d'électricité / consommation gaz)</b>								
<b>Centrale Electrique Hassi Berkine</b>								
<b>Année</b>	<b>Product en Mwh</b>	<b>Consom gaz en m3</b>	<b>CPS Th/kWh</b>	<b>PCS en Th/m3</b>	<b>PCI (MJ/m3)</b>	<b>EF(tCO2/TJ)</b>	<b>Emission (tCO2)</b>	<b>EF Reseau (tCO2/MWh)</b>
2003	818 775	179 990 000	2,863	13,022490	49,1	61,4	542 279,57	0,662
2004	770 232	168 548 000	2,850	13,022490	49,1	61,4	507 806,75	0,659
2005	1 045 688	239 266 000	2,980	13,022490	49,1	61,4	720 868,17	0,689
2006	1 190 551	271 115 000	2,966	13,022490	49,1	61,4	816 823,85	0,686
2007	1 207 592	280 505 000	3,025	13,022490	49,1	61,4	845 114,34	0,700
2008	1 030 624	238 894 000	3,019	13,022490	49,1	61,4	719 747,40	0,698
2009	1 040 839	234 424 000	2,933	13,022490	49,1	61,4	706 280,04	0,679
2010	864 281	197 603 000	2,977	13,022490	49,1	61,4	595 344,57	0,689
2011	1 215 671	271 115 000	2,904	13,022490	49,1	61,4	816 823,85	0,672
2012	1 455 559	348 423 000	3,117	13,022490	49,1	61,0	1 042 047,56	0,716
2013	1 461 031	355 134 000	2,937	12,084703	45,5	61,0	985 632,30	0,675
2014	1 680 441	399 978 300	2,876	12,084703	45,5	61,0	1 110 092,33	0,661
2015	1 706 353	420 527 000	2,978	12,084703	45,5	61,0	1 167 122,81	0,684
2016	1 725 821	426 986 000	2,990	12,084703	45,5	61,0	1 185 049,00	0,687
2017	1 827 397	450 166 170	2,983	12,084703	45,5	59,6	1 221 304,49	0,668
2018	1 992 394	489 670 000	2,975	12,084703	45,5	59,6	1 328 478,71	0,667
2019	1 940 245	478 626 000	2,977	12,084703	45,5	62,7	1 367 157,40	0,705
2020	1 894 428	467 452 720	2,982	12,084703	45,5	62,7	1 335 241,80	0,705
2021	1 798 371	441 844 180	2,973	12,084703	45,5	62,3	1 253 443,05	0,697
<b>TOTAL</b>	<b>26 666 293</b>	<b>6 360 267 370</b>						

## **2.7 Présentation du scénario de référence**

Un scénario de référence illustre ce que seraient les événements ou conditions futurs en l'absence de mesures mises en place pour atteindre les objectifs d'atténuation. C'est-à-dire le scénario sans action, dans notre cas un scénario sans stations PV, BRN avant l'installation de la centrale été alimenter par trois turbogénérateurs dans le site et aussi alimenter par la station de BBK depuis 2004, des projections des émissions à l'horizon 2030 a été faite suit à des hypothèses proposées pas les ingénieurs de BRN, pour monter l'effet de la centrale solaire à long terme.

La même méthodologie et suivi, une matrice pour le calcul des émissions de des trois turbogénérateurs et les émissions indirectes de la station BBK, les résultats sont dans le tableau 2.3.

## **2.8 Présentation du scénario de l'action**

Le scénario de l'action est scénarios qui reflet la réalité des émissions actuelle avec la centrale PV et qui prend en considération la station qui vas être mise en service en 2023, la même matrice de calcule a été développer en intégrant les émissions évitées par la centrale, la différence entre le scénario de référence et le scénario de l'action c'est l'objectif du travail, la matrice de calcule est les résultats sont présentés dans le tableau 2.4.

## Chapitre 2 Étude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

**Tableau 2.3 : Fiche de calcul de scénario de référence**

Année	Scénario référence energie							Emissions CO2 Référence			
	Consommation électricité BRN du réseau de BERKINE	Energie produite 3T BRN	Tot Gasoil Puits	Total Gasoil reference	Apport PV Solaire eq du Total conso			Emission Elec Berkine	Emission Turbine BRN	Emission Gasoil	Emission Totale REF
					Total Conso Energie BRN	reseau Berkine	BRN avec eq solaire REF				
(MWh)	(MWh)	(MWh)	litres	(MWh)			tCO2	tCO2	tCO2	tCO2	
2010	23 478	48 627	70 122	7 112 884	142 227		142 227	16 364	121 568	18 991	156 923
2011	19 091	69 723	90 544	9 184 415	179 358		179 358	13 306	174 308	24 522	212 136
2012	25 503	59 783	87 765	8 902 608	173 051		173 051	17 776	149 458	23 770	191 003
2013	17 862	70 072	81 071	8 223 509	169 005		169 005	12 450	175 180	21 957	209 587
2014	22 224	70 262	59 606	6 046 206	152 092		152 092	15 490	175 655	16 143	207 288
2015	51 598	36 805	45 526	4 617 951	133 929		133 929	35 964	92 013	12 330	140 306
2016	68 859	31 885	32 424	3 288 936	133 167		133 167	47 995	79 713	8 781	136 489
2017	46 044	36 666	9 643	978 158	92 352		92 352	32 092	91 664	2 612	126 368
2018	51 541	26 886	7 025	712 582	85 452		85 452	35 924	67 215	1 903	105 042
2019	39 301	26 504	8 283	840 226	74 088	9 002	83 091	27 393	66 260	2 243	95 896
2020	30 417	21 383	5 927	601 189	57 726	19 349	77 076	21 201	53 457	1 605	76 262
2021	44 791	19 160	10 386	1 053 548	74 337	19 033	93 370	31 219	47 900	2 813	81 931
2022	45 000	18 000	10 906	1 106 225	73 906	19 000	92 906	31 365	45 000	2 954	79 319
2023	60000	18 000	11 451	1 161 537	89 451		89 451	41 820	45 000	3 101	89 921
2024	64000	18 000	12 023	1 219 614	94 023		94 023	44 608	45 000	3 256	92 864
2025	74000	18 000	12 625	1 280 594	104 625		104 625	51 578	45 000	3 419	99 997
2026	78000	18 000	13 256	1 344 624	109 256		109 256	54 366	45 000	3 590	102 956
2027	82000	18 000	13 919	1 411 855	113 919		113 919	57 154	45 000	3 770	105 924
2028	84000	18 000	14 615	1 482 448	116 615		116 615	58 548	45 000	3 958	107 506
2029	86000	18 000	15 345	1 556 570	119 345		119 345	59 942	45 000	4 156	109 098
2030	88000	18 000	16 113	1 634 399	122 113		122 113	61 336	45 000	4 364	110 700

## Chapitre 2 Etude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

**Tableau 2.4 : Fiche de calcul de scénario de l'action**

Scénario action Energie									
Production PV solaire	Energie Turbine Action	Gasoil puits action	Gasoil Puits Action	Energie fournie par Réseau Berkine	Total Conso Energie BRN ACTION	Emission Turbine	Emission gasoil puits	Emission Berkine	Emission totales Action
MWh	MWh	Litres	MWh	MWh	MWh	tCO2	tCO2	tCO2	tCO2
0,0	48 627,1	7 112 884	70 122	23 478	142 226,8	121567,75	18 991	16 364	<b>156 923</b>
0,0	69 723,0	9 184 415	90 544	19 091	179 357,6	174307,5	24 522	13 306	<b>212 136</b>
0,0	59 783,0	8 902 608	87 765	25 503	173 051,5	149457,5	23 770	17 776	<b>191 003</b>
0,0	70 072,0	8 223 509	81 071	17 862	169 004,6	175180	21 957	12 450	<b>209 587</b>
0,0	70 262,0	6 046 206	59 606	22 224	152 091,9	175655	16 143	15 490	<b>207 288</b>
0,0	36 805	4 617 951	45 526	51 598	133 928,6	92012,5	12 330	35 964	<b>140 306</b>
0,0	31 885	3 288 936	32 424	68 859	133 167,5	79712,5	8 781	47 995	<b>136 489</b>
0,0	36 666	978 158	9 643	46 044	92 352,5	91664,25	2 612	32 092	<b>126 368</b>
0,0	26 886	712 582	7 025	51 541	85 451,9	67215	1 903	35 924	<b>105 042</b>
9 002,30	26 504	840 226	8 283	39 301	83 090,6	66260	2 243	27 393	<b>95 896</b>
19 349,40	21 383	601 189	5 927	30 417	77 075,9	53456,5	1 605	21 201	<b>76 262</b>
19 033,41	19 160	1 053 548	10 386	44 791	93 370,0	47899,5	2 813	31 219	<b>81 931</b>
19 000,00	18 000	1 106 225	10 906	45 000	92 905,6	45000	2 954	31 365	<b>79 319</b>
19 000,00	0	940 292	9 270	61 181	89 450,9	0	2 511	42 643	<b>45 154</b>
39 000,00	0	799 248	7 879	47 144	94 023,4	0	2 134	32 859	<b>34 993</b>
39 000,00	0	679 361	6 697	58 927	104 624,6	0	1 814	41 072	<b>42 886</b>
39 000,00	0	577 457	5 693	64 563	109 255,8	0	1 542	45 000	<b>46 542</b>
39 000,00	0	490 838	4 839	70 080	113 918,6	0	1 311	48 846	<b>50 156</b>
39 000,00	0	417 212	4 113	73 502	116 614,6	0	1 114	51 231	<b>52 345</b>
39 000,00	0	354 631	3 496	76 849	119 345,3	0	947	53 564	<b>54 511</b>
39 000,00	0	301 436	2 972	80 141	122 112,6	0	805	55 858	<b>56 663</b>



## **2.9. Quantification des émissions totales**

Dans le tableau 2.5, les résultats ont été regroupés afin de représenter les scénarios dans un graphe.

Les émissions calculées dans la matrice du scénario de référence est de l'action sont regrouper dans le tableau, le calcul de chaque émission est fait par les équations suivantes :

- **Les émissions totales de référence :**

Les émissions totales de référence sont calculées par an selon l'équation suivante :

Emission Totale REF = Emission Elec Berkine (HBK) + Emission Turbine BRN+  
Emission Gasoil puits

- **Emission totales Action**

Les émissions totales de référence sont calculées par an selon l'équation suivante :

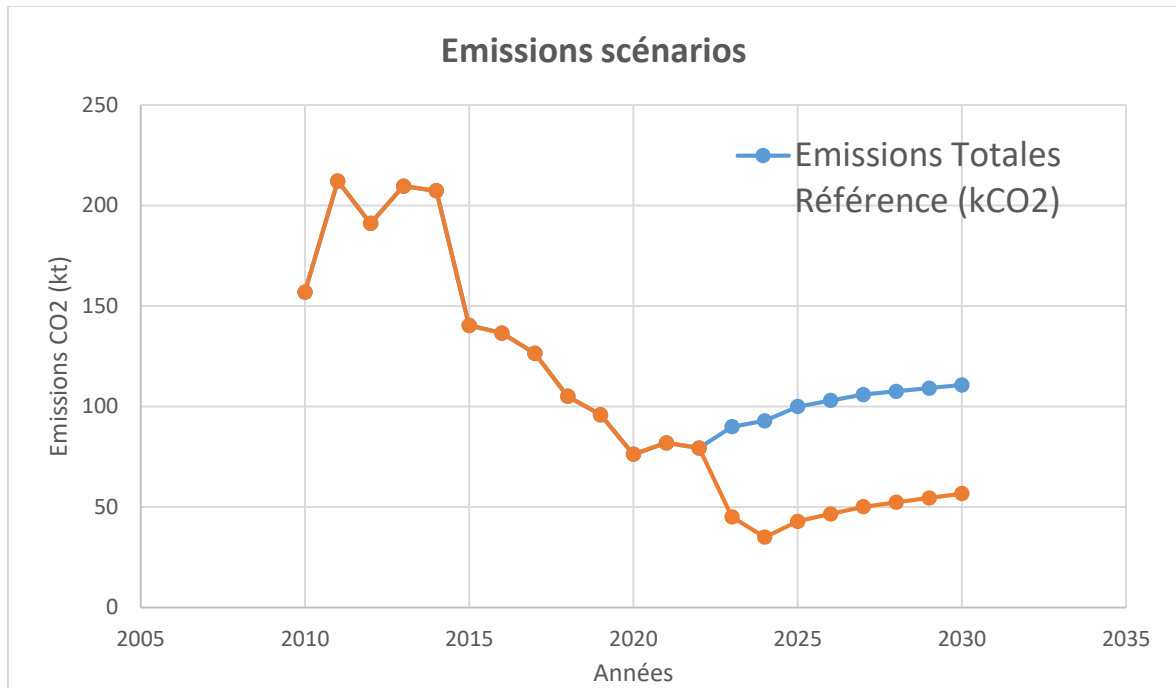
Emission totales Action= Emission Turbine BRN + Emission gasoil puits +  
Emission Berkine (HBK)

Tous les émissions sont calculées en TCO<sub>2</sub> dans les deux premières colonnes, ces émissions sont converties en Kco<sub>2</sub> en divisant les totales par ans sur 1000.

## Chapitre 2 Etude de cas de la centrale PV de 10MW Appartenant au GSE

**Tableau 2.5 : Emission totales**

Année	Emission Totale REF (tCO2)	Emission totales Action (tCO2)	Année	Emissions Totales Référence (kCO2)	Emissions totales Action (kCO2)
2010	156923,32	156923,32	2010	156,923316	156,923316
2011	212136,32	212136,32	2011	212,136315	212,136315
2012	191003,05	191003,05	2012	191,003054	191,003054
2013	209586,58	209586,58	2013	209,586583	209,586583
2014	207288,5	207288,5	2014	207,288498	207,288498
2015	140306,24	140306,24	2015	140,306235	140,306235
2016	136488,56	136488,56	2016	136,488564	136,488564
2017	126368,39	126368,39	2017	126,368391	126,368391
2018	105041,67	105041,67	2018	105,041671	105,041671
2019	95896,2	95896,2	2019	95,8962004	95,8962004
2020	76262,406	76262,406	2020	76,2624064	76,2624064
2021	81931,452	81931,452	2021	81,9314517	81,9314517
2022	79318,622	79318,622	2022	79,3186218	79,3186218
2023	89921,303	45153,821	2023	89,9213029	45,1538209
2024	92864,368	34993,452	2024	92,8643681	34,9934523
2025	99997,186	42886,152	2025	99,9971865	42,8861517
2026	102956,15	46542,25	2026	102,956146	46,5422495
2027	105923,65	50156,126	2027	105,923653	50,1561262
2028	107506,14	52344,515	2028	107,506136	52,3445146
2029	109098,04	54510,758	2029	109,098043	54,5107576
2030	110699,84	56663,028	2030	110,699845	56,6630276



**Figure 2.4 :** scénarios de référence et action

## 2.10. Conclusion

La réduction des émissions de GES permettrait de limiter le réchauffement climatique, mais elle pourrait aussi avoir d'autres bénéfices, tant les conséquences de ce réchauffement sont nombreuses sur la santé, le climat et l'environnement : élévation du niveau de la mer, perte d'habitats, inondations, En effet, en plus de réchauffer la planète, les gaz à effet de serre influencent également la circulation atmosphérique.

L'objectif principal de la transition énergétique est d'éviter les émissions de gaz à effet de serre tout en répondant à la demande énergétique, ce qui est réalisé sur le site de BRN grâce à la construction de centrales photovoltaïques qui participent à l'alimentation du site. Ces centrales ont un impact sur les émissions de gaz à effet de serre à long terme.

Les résultats montrent la différence entre les scénarios, dans le scénario de référence on peut atteindre 100 KCO<sub>2</sub> en 2030 mais dans le scénario de l'action on n'est qu'à 50 KCO<sub>2</sub>, ce qui montre l'impact des centrales solaires sur les émissions de gaz à effet de serre du site BRN, ces émissions évitées contribuent à la lutte contre le changement climatique.

Le solaire photovoltaïque est l'un des piliers de la transition énergétique.

## ***Chapitre 3***

***Modélisation des émissions  
de Gas à effet de serre du  
secteur de l'énergie en  
Algérie***

## **Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gaz à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

### **3.1. Introduction**

Le secteur de l'énergie est considéré comme étant le secteur le plus polluant dans le monde. La combustion de l'énergie durant le processus de conversion ou d'utilisation finale constitue la troisième principale source d'émissions des gaz à effet de serre (GES). Toute action sur le secteur de l'énergie aura, certes, des implications sur le climat, et vice versa. Cette relation est étroite, et a attiré l'attention des policymakers et de la communauté scientifique. La quantification et l'analyse de cette relation a été l'objet des travaux de modélisation. En se basant sur une revue de littérature riche, on procède à la définition l'intérêt de la modélisation dans l'élaboration des stratégies d'atténuation, et à l'explication, ensuite, de l'interaction Climat-Energie-Economie. Sur cette base conceptuelle, on procède à la classification des modèles traitant cette interaction, tout en montrant l'adéquation particulière des modèles de système énergétique à la construction des scénarios des émissions des GES. La modélisation constitue une phase importante dans la préparation d'une stratégie d'atténuation. Elle permettra de construire des scénarios quantitatifs comparables, et d'identifier les facteurs clés de réussite, ainsi que de prendre les meilleurs choix stratégiques en termes d'atténuation.

Dans ce chapitre on va décrire les étapes de réalisation de la modélisation partant du travail préalable de réunir les éléments méthodologiques jusqu'à l'élaboration des scénarii.

### **3.2. Les éléments méthodologiques pour démarrage de la modélisation**

Les principaux critères concernent le choix de l'année de référence et les scénarios et le modèle retenus, la méthode de calcul des émissions de gaz à effet de serre, le périmètre du système énergétique et la base statistique.

#### **3.2.1. L'année de référence : 2019**

L'année 2019 a été retenue comme l'année de référence car il s'agit de la dernière année pour laquelle on dispose de données statistiques sur l'énergie relativement complètes. Par ailleurs, à l'inverse de 2020, l'année 2019 est une année que l'on peut considérer comme normale car elle n'a pas été marquée par des phénomènes cycliques de forte amplitude.

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gaz à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.2.2. La base statistique : bilans énergétiques établis par le ministère de l'énergie

La base statistique retenue est celle des bilans énergétiques établis annuellement par le Ministère de l'énergie (voir annexe bilans 2010 et 2019). Ces données, assez complètes englobent tout le système énergétique et s'étalent sur une période suffisamment longue pour dégager les tendances de croissance prévisionnelle des différents secteurs et sources d'énergie dans le cas du scénario tendanciel ou scénario de référence. Par ailleurs ces données sont publiques et accessibles en ligne à travers le site du ministère ([www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz)).

**Quel bilan énergétique :** Le document du Ministère de l'énergie intitulé « bilan énergétique national 2019, édition 2020 » comprend 3 bilans énergétiques : le bilan en unités physiques (tableau 1 a), le bilan en tep<sup>1</sup> (tableau 2a) ainsi qu'un troisième bilan en tep selon le format EUROSTAT. Les bilans retenus dans ce rapport sont représentés par les tableaux 2a bilan 2019 et tableau 4a, bilan 2010 (voir annexe). Ces bilans sont conformes à la présentation par des institutions en charge de l'énergie, notamment la Commission Africaine de l'Energie (AFREC) et l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

### 3.2.3. Le périmètre de calcul des GES

Tous les **gaz á effet de serre** tels que définis par le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC/IPCC) seront calculés. Le calcul englobera l'ensemble du système énergétique (production, transformation et consommation finale y compris l'autoconsommations des industries énergétiques.

Le calcul concernera **tous les principaux secteurs** et toutes les **sources d'énergie**, primaire et dérivée. Ces informations seront présentées avec l'arborescence du modèle retenu.

Le calcul se fera en fonction du potentiel de réchauffement global (PRG) de 100 ans selon les facteurs d'émission par défaut du GIEC. En effet chaque GES a une durée de vie atmosphérique et un potentiel de rétention de la chaleur qui lui est propre. Le PRG permet de mesurer la capacité de chaque gaz à effet de serre à piéger la chaleur dans l'atmosphère, par rapport au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Le modèle retenu (LEAP) permet si nécessaire de calculer les émissions selon le PRG de 20 ans et 500 ans. Ceci n'est cependant pas nécessaire car les variations sont relativement faibles selon les trois horizons temporels du PRG. Par

---

<sup>1</sup> Tep : tonnes équivalent pétrole

## **Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

ailleurs le calcul des émissions comprend des marges d'erreur dues au choix, souvent par défaut, des facteurs d'émission.

### **3.2.4. L'horizon temporel**

L'horizon temporel retenu s'étend jusqu'en 2050 avec une analyse des résultats en 2030, 2040 et 2050. Cependant les calculs seront disponibles pour toutes les années couvrant la période 2019-2050.

### **3.3. Les scénarios (référence, TRANSMOD, TRANSAC)**

Hormis le scénario tendanciel (scénario de référence ou business as usual), deux autres scénarios de transition seront retenus : un scénario de transition modéré (**TRANSMOD**) et un scénario de rupture ou de transition énergétique accélérée (**TRANSAC**) avec une forte pénétration des énergies renouvelables dans le système électrique et une forte pénétration de l'électricité, en grande partie d'origine renouvelable, dans la structure de la consommation finale. Ces deux paramètres sont fondamentaux dans les stratégies d'atténuation des émissions de GES.

- **Le scénario de référence** (ou Business as Usual) : consistera à prolonger jusqu'à l'horizon 2050 la tendance constatée au cours de la période 2010-2019. Ce scénario est le moins probable.
- **Le scénario TRANSMOD** : est probable et pourrait être réalisée avec les ressources humaines et financières du pays.
- **Le scénario TRANSAC** : vise une réduction importante des émissions de GES rapport aux deux précédents scénarios. Sa réalisation reste conditionnée par un appui des partenaires techniques et financiers non nationaux.

### **3.4. Les hypothèses des scénarios**

#### **3.4.1. Les hypothèses de taux croissance par branches et par sources d'énergie dans le cas de scénario de référence**

Le calcul des émissions de gaz à effet de serre étant établi au **point de combustion**, il est donc fondamental de connaître les consommations actuelles et prévisionnelles par branche et sous branche et l'évolution tendancielle afin de calculer les émissions de gaz à effet de serre. Les taux de croissance par branche sur la période 2010-2019, ). **Le tableau N°3.1** donnent une bonne indication **pour le scénario tendanciel**.

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

Le taux de croissance annuel composé (Compounded annual growth rate : CAGR) est

obtenu par la formule suivante :  $TC = \left( \frac{\text{valeur 2019}}{\text{valeur 2010}} \right)^{1/\text{années}} - 1$ .

Ce taux est plus précis que la moyenne au cours de la période.

**Tableau 3.1** : Taux de croissance par branche agrégée 2010-2019 (ktep et %)

Branches	2010	2019	TCA
Materiaux de construction	3204	4888	4,81%
ISMEE	1040	1805	6,32%
BTP	792	892	1,33%
Indust manufacturieres	671	1167	6,34%
Chimie-pétrochimie	348	483	3,71%
Transport routier	10510	14388	3,55%
Transport aérien	495	495	0,00%
Résidentiel	8862	18140	8,28%
Agriculture	322	374	1,68%
Tertiaire et autres	3231	5015	5,01%

Afin d'affiner la précision pour les principales branches, nous avons calculé les taux de croissance annuels composés<sup>2</sup> en prenant en considération les **formes d'énergie** utilisées. A titre d'exemple, pour le transport routier, le taux de croissance moyen du secteur ne reflète pas les disparités de croissance des différentes formes d'énergie comme par exemple entre les essences, le diesel et le GPL carburant (GPL/C). **Le tableau N°3.2** montre l'importance des variations entre les différentes formes d'énergie et les distorsions qu'entraînerait l'utilisation des taux de croissance par branche.



### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

#### **3.4.1.1. Evolution du transport routier par formes d'énergie**

Ces taux de croissance annuel moyen seront appliqués pour le transport routier dans le cas du scénario tendanciel au cours de période 2020-2050

**Tableau 3.2 :** Evolution du transport routier par formes d'énergie (ktep et %)

	2010	2019	TCA
Essences	2885	4141	4,1%
Diesel	7254	9121	2,6%
GPL	387	1013	11,3%

#### **3.4.1.2. Evolution du secteur résidentiel par formes d'énergie**

Le secteur résidentiel représente l'autre secteur important en matière d'émissions de GES. Ceci s'explique par l'importance de la consommation de combustibles fossiles du secteur.

**Tableau 3.3 :** Evolution de la consommation du secteur résidentiel par formes d'énergie (ktep et %)

Résidentiel	2010	2019	TCA
Gaz naturel	4085	10370	10.9%
GPL	1737	1665	-0.5%
Electricité	3023	6101	8.1%

La quasi stagnation de la consommation de GPL du secteur résidentiel pourrait s'expliquer en grande partie par le raccordement au réseau de gaz naturel.

#### **3.4.1.3. Evolution du secteur tertiaire par formes d'énergie**

Le secteur tertiaire occupe une place relativement importante dans la consommation finale notamment en matière de consommation de gaz naturel. La consommation de ce secteur a fortement augmenté au cours de la période 2010-2019.

### **Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

**Tableau 3.4 :** Evolution de la consommation du secteur tertiaire par formes d'énergie (ktep et %)

	2010	2019	TCA
Diesel	626	1149	7.0%
Essences	96	44	-8.3%
Gaz naturel	573	1157	8.1%
GPL	39	55	3.9%
Electricité	1896	2571	3.4%

La diminution des essences pourrait s'expliquer par le fait que la consommation de ce produit est généralement attribuée au secteur transport. Cependant de petites quantités pourraient être utilisées pour des usages hors transport.

#### **3.4.2. Les hypothèses des scénarios TRANSMOD et TRANSAC**

Les hypothèses de ces deux scénarios seront affinées en fonction des résultats du scénario tendanciel et des politiques de l'Algérie dans le domaine de l'énergie ainsi que des informations disponibles sur l'évolution à long terme de la consommation et de la transformation de l'énergie. Par ailleurs les hypothèses des scénarios TRANSMOD et TRANSAC vont varier au cours de l'horizon temporel 2020-2050. A titre d'exemple, les taux de consommation annuel de la plupart des secteurs sont extrêmement élevés et ne pourraient pas être maintenus sur le long terme. Aussi, convient-il de considérer, à partir de 2030, des taux de croissance plus modérés fondés sur un modèle de consommation moins énergivore notamment du fait des mesures d'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel et des prix de l'énergie incorporant des subventions moins importantes. Par ailleurs dans le secteur des transports, la pénétration de véhicules électriques sera prise en compte avec des taux qui vont différer selon les deux scénarios. Les hypothèses des scénarios Transmod et Transac seront discutées pour toutes les branches et pour toutes les sources d'énergie.

Des taux différenciés sont proposés en fonction de l'analyse du scénario de référence. Quand les taux de croissance constatés du scénario de référence sont très élevés (supérieurs

### **Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

à 10%), les taux de réduction proposés sont respectivement de 10%, 8% et 6%. Quand les taux de croissance sont moins élevés, les réductions proposées sont de 8%, 6% et 4%.

La consommation de l'agriculture étant particulièrement faible, même des taux de croissance élevés ne sont pas suffisants. Aussi avons-nous considéré un doublement des consommations des valeurs absolues. Au point de vue technique, nous aurons plutôt recours à la fonction Interp () plutôt qu'aux fonctions Growth et similaires.

Quand les taux sont très faibles (exemples du transport aérien et maritime, il est proposé une augmentation des taux de croissance et non une diminution). En effet les infrastructures sont une composante importante et un déterminant du développement économique et social.

#### **3.4.3. Impact de la pandémie et périodicité des taux de croissance :**

L'objectif étant la satisfaction des besoins des différentes branches, il s'agira par conséquent d'établir les taux de croissance des différentes branches et sous branches qui contribuent à la consommation finale. Par exemple quel est le taux de croissance de la consommation finale du secteur résidentiel à l'horizon 2050 ? Ces taux de croissance ne sont pas uniformes sur la période 2020-2050. Il est probable que la consommation d'électricité du secteur transport va beaucoup augmenter à partir de 2030 et que celle des essences et diesel va diminuer. Afin de refléter ces disparités temporelles des taux de croissance des différentes formes d'énergie, nous retiendrons 3 périodes dans le cas de scénarios Transmod et Transac : **2020-2030 ; 2030-2040 et 2040-2050**. Ces périodes ne sont pas figées et pourront être adaptées si l'on dispose d'une information appuyée par des études.

Afin de tenir compte de l'impact de la pandémie sur les émissions de gaz à effet de serre, nous avons tenu compte de la tendance observée au niveau mondial marquée par une diminution de la consommation des activités économiques. Cependant la part du secteur résidentiel n'a pas été impactée par la pandémie. Nous avons donc considéré une diminution en 2020 de la consommation de 3% pour tous les secteurs hormis le secteur résidentiel. En 2021, les émissions ont retrouvé leur niveau de 2019. Ce qui a été le cas de plusieurs pays. Cette hypothèse permet ainsi d'affiner l'évolution des émissions GES

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### **3.5. La définition du modèle retenu : (LEAP)**

LEAP, Löw Emissions Alternative Platform, est un outil logiciel largement utilisé pour l'analyse de la politique énergétique et l'évaluation de l'atténuation du changement climatique développé à l'Institut de l'environnement de Stockholm.

LEAP a été adopté par des milliers d'organisations dans plus de 190 pays à travers le monde. Ses utilisateurs comprennent des agences gouvernementales, des universitaires, des organisations non gouvernementales, des sociétés de conseil et des services publics d'énergie. Il a été utilisé à de nombreuses échelles différentes allant des villes et des États aux applications nationales, régionales et mondiales.

LEAP devient rapidement la norme de facto pour les pays qui entreprennent une planification intégrée des ressources, des évaluations de l'atténuation des gaz à effet de serre (GES) et des stratégies de développement à faibles émissions (LEDS), en particulier dans les pays en développement, et de nombreux pays ont également choisi d'utiliser LEAP dans le cadre de leur engagement à rendre compte à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Au moins 32 pays ont utilisé LEAP pour créer des scénarios d'énergie et d'émissions qui ont servi de base à leurs contributions déterminées au niveau national sur le changement climatique (INDC) : le fondement de l'accord historique de Paris sur le climat destiné à démontrer l'intention des pays de commencer à décarboner leurs économies et investir dans la résilience climatique.

Nous avons évalué plusieurs modèles possibles dont LEAP (Low Emissions Alternative Platform). Plusieurs études ont mis en relief la pertinence de LEAP et notamment son efficacité pour le calcul des émissions GES et son articulation avec les bilans énergétiques similaires à ceux établis annuellement par le ministère de l'énergie.

LEAP a aussi l'avantage d'être un modèle **ouvert** permettant une grande flexibilité pour l'utilisateur et une grande transparence notamment dans les calculs et le choix des hypothèses ayant un impact important sur le profil des émissions de GES. LEAP fait partie des modèles dits bottom-up c'est à dire en prenant comme point de départ la demande désagrégée où les besoins constituent la base du modèle. LEAP peut également fonctionner avec une base de données qui peut être limitée ce qui peut être utile pour la formation. En revanche, il est évident qu'une base de données restreinte ne permettra pas de définir des politiques alternatives pertinentes. Les développements suivants et la méthodologie seront donc fondés sur LEAP.

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### **3.6. La demande et les modules de calcul des émissions de gaz à effet de serre :**

Les émissions de gaz à effet de serre sont émises au **point de combustion** c'est à dire par les différents secteurs impliqués dans la consommation finale (industrie, transport, résidentiel, agriculture) et par la transformation d'énergie pour la production d'électricité, notamment dans le cas de l'Algérie l'utilisation du gaz naturel dans les centrales thermiques.

Un calcul précis des émissions de GES suppose la prise en considération de tous les modules et sous modules ainsi que toutes les formes d'énergie. Dans le cas contraire les résultats seront nettement moins précis car les évolutions des branches et sous-branches sont différentes selon les sources d'énergie (tableaux 1, 2 et 3).

#### **3.6.1. Modules et sous-modules de la demande par branches**

Pour des raisons de cohérence statistique, tous les modules et sous modules seront extraits de la **base de données du ministère de l'énergie**. Le modèle sera calé en fonction de la décomposition par branche et par sources d'énergie de cette base statistique (voir annexe bilan énergétique 2010 et 2019).

La demande finale, hormis **la consommation des industries énergétiques et des usages non énergétiques**, comprendra cinq modules. L'industrie sera décomposée en cinq sous-modules et le transport en 4 sous-modules selon l'arborescence suivante (voir arborescence figure 3.1).

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gaz à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie



**Figure 3.1 :** Décomposition de la demande finale hors usages non énergétiques et consommation des industries énergétiques

Dans le cas de l'Algérie du fait de l'auto-consommation des industries énergétiques, particulièrement les unités de GNL, cette partie (energy own use ou consommation des industries énergétiques) représente un poids non négligeable de la consommation totale et par conséquent des émissions de gaz à effet de serre. Ce module ainsi que celui concernant les usages non énergétiques seront traités séparément de manière à respecter la méthodologie de l'élaboration des bilans énergétiques élaborés par le Ministère de l'Energie et par les principales institutions internationales notamment l'AFREC et l'AIE.

### **3.6.2. Désagrégation de la demande finale par sous-modules et sources d'énergie**

Les émissions de gaz à effet de serre seront calculées pour **chaque branche** de la demande finale et pour **chaque source** d'énergie utilisée.

#### **3.6.2.1. Secteur résidentiel et les services**

Pour le secteur résidentiel et les services, les émissions seront calculées selon l'arborescence suivante :



## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.6.2.3.Agriculture

Le module agriculture ne concerne que la consommation d'énergie liée à ce secteur comme le carburant pour le machinisme agricole. Les autres émissions, non liées à l'énergie comme les émissions de méthane résultant de l'élevage bovin, ne sont pas comptabilisées dans ce rapport. Le module agriculture comprend les consommations d'énergie des formes d'énergie suivantes :

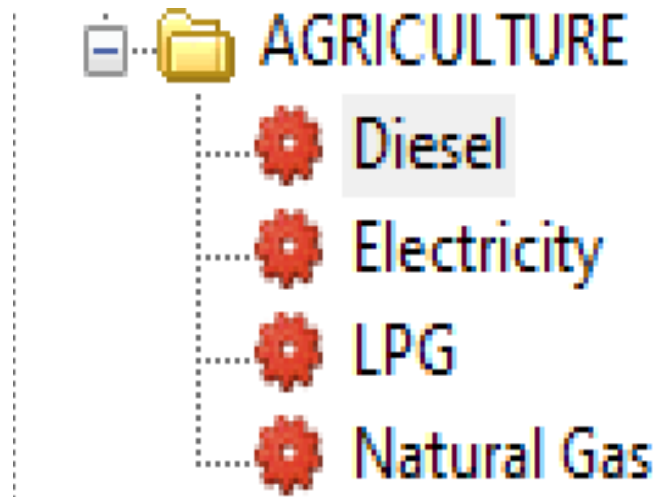


Figure 3.4 : Désagrégation du module agriculture

### 3.6.2.4.Transport

Le **transport** sera ventilé selon les sous-modules et formes d'énergie suivants.

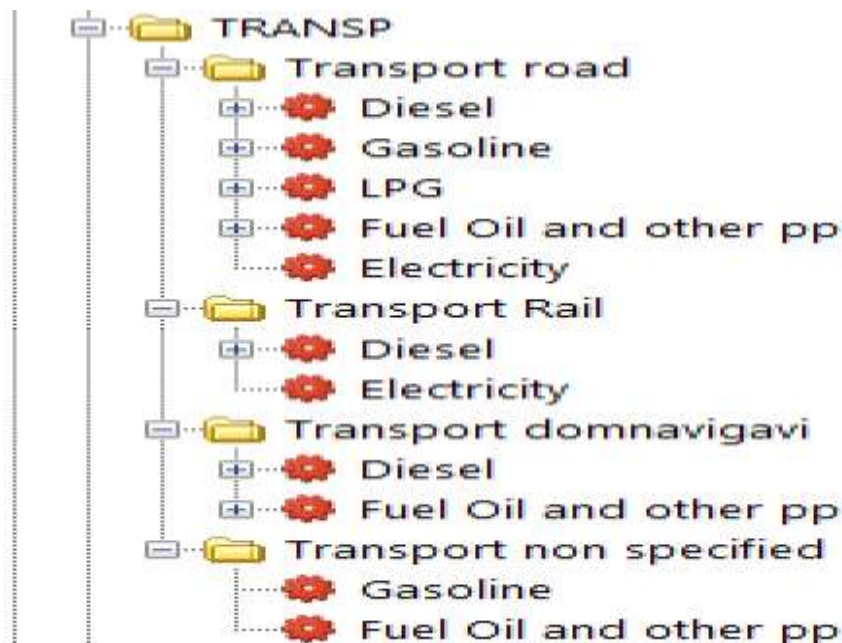


Figure 3.5 : Désagrégation du module et sous-modules transport

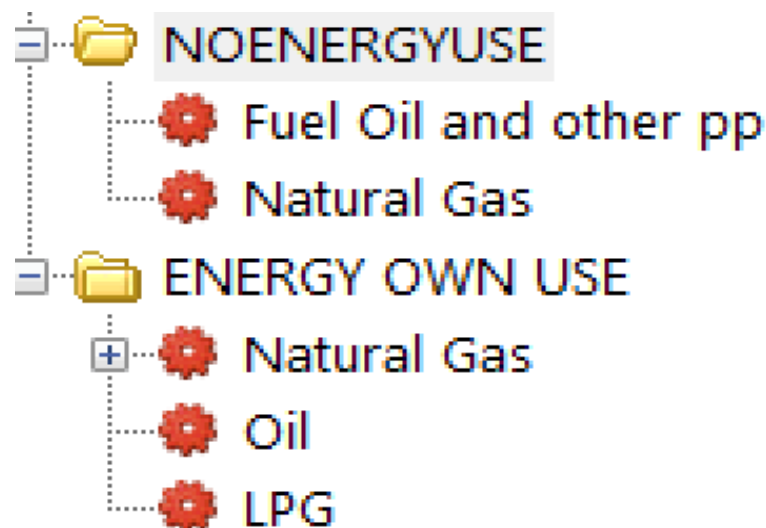


## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.6.2.5. Consommation des industries énergétiques et des usages non énergétiques

Ces deux branches qui font partie intégrante de la consommation de combustibles fossiles et par conséquent des émissions de GES sont présentées séparément dans les bilans énergétiques. LEAP étant calé sur les bilans énergétiques, celles-ci seront également présentées séparément et permettront de voir la part de l'auto-consommation des industries énergétiques dans les émissions de GES. Dans la mesure où des statistiques sont disponibles sur les consommations respectives de chaque industrie énergétique (liquéfaction, raffinage, centrales électriques etc.), il sera possible d'y associer les émissions de GES.

Les émissions de gaz à effet de serre résultant des **consommations des industries énergétiques et des usages non énergétiques** sont présentées dans le module suivant :



**Figure 3.6 :** Désagrégation des modules consommation des industries énergétiques et non-énergétiques

### 3.7. Les étapes essentielles pour tourner le modèle LEAP

- Pour démarrer : aller à area ; ensuite New pour créer un fichier

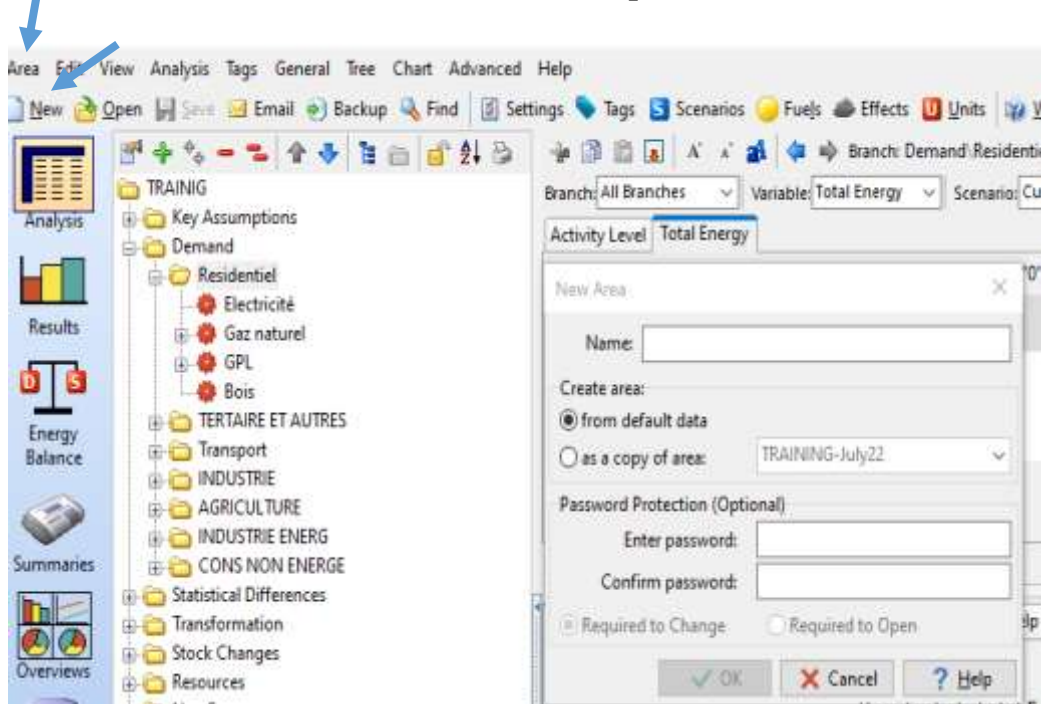


Figure 3.7: Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- L'alimentation du modèle a lieu à partir du bloc « Analysis »

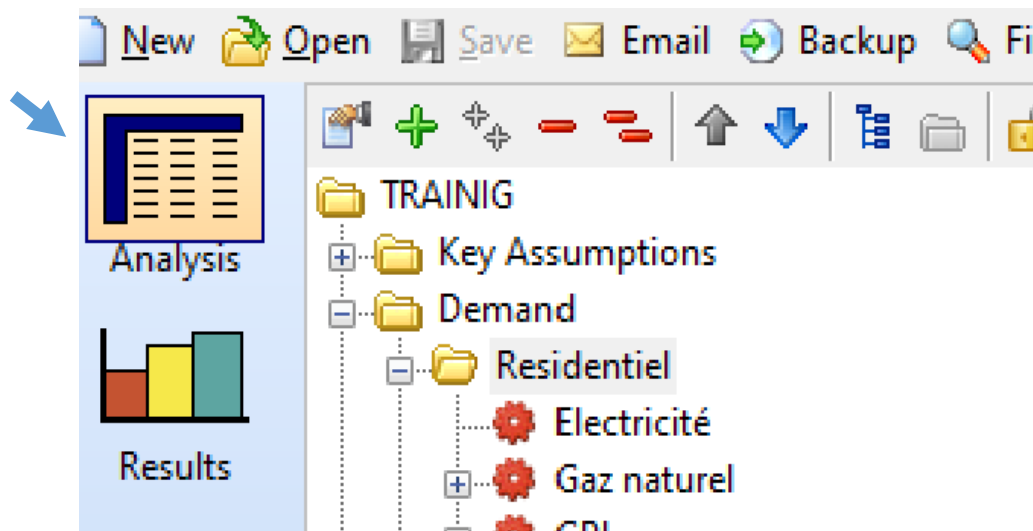


Figure 3.8: Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

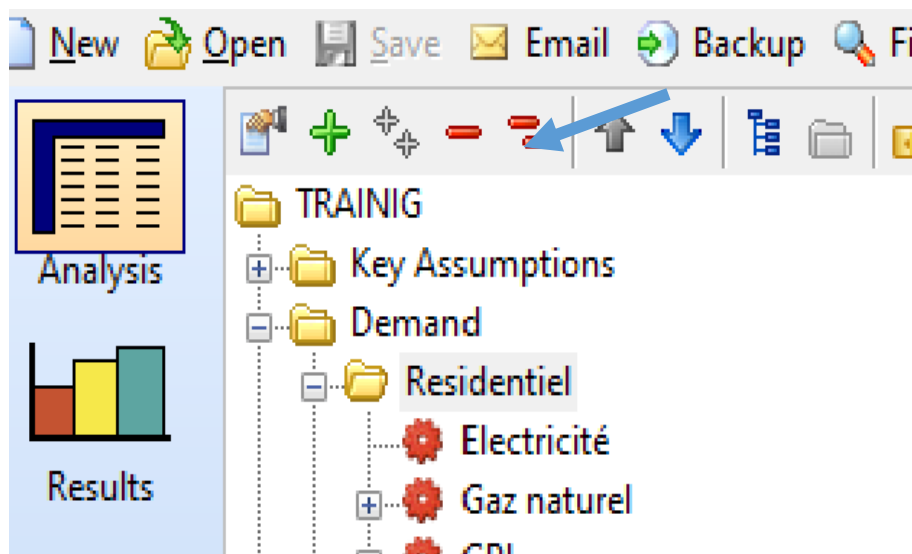
### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

- Commencer par la demande « Demand ». Créer TOUTES les branches et sous branches selon arborescence suivante.



**Figure 3.9:** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- Pour chaque branche et sous-branche : insérer TOUS les combustibles

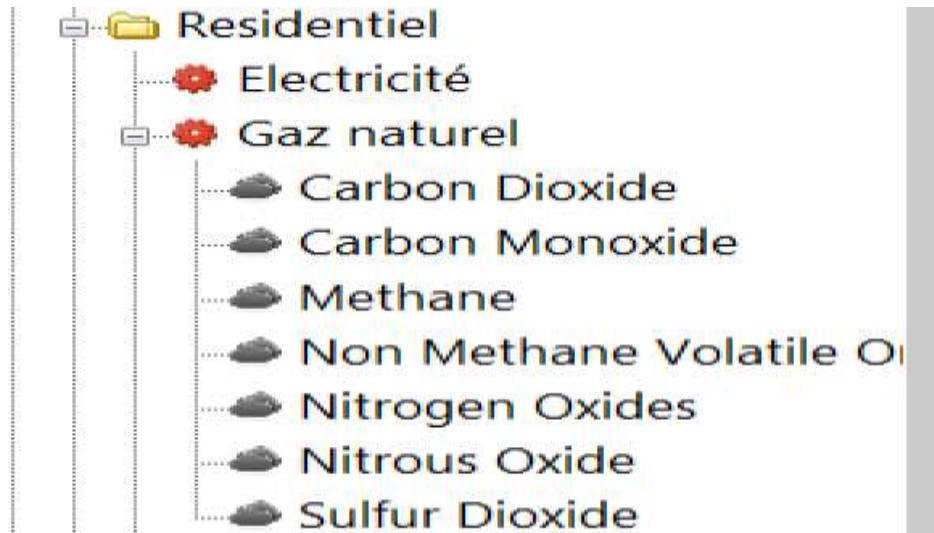


**Figure 3.10:** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

- Pour chaque combustible : insérer les **facteurs d'émission**.

De préférence aller à la BD environnementale : **Add multiple effect. Exemple pour le secteur résidentiel/gaz naturel**



**Figure 3.11:** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- Insérer échelle et unités : sélectionner « thousand » et « tonnes of oil equivalent ». Ceci pour nos calculs. D'autres unités peuvent être choisies. Exemple résidentiel



Branch	Expression	Scale	Units
Electricité	11180*0.086	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
Gaz naturel	1157	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
GPL	55	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
Bois	1	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
Gas oil	1149	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
Essence	44	Thousand	Tonnes of Oil Equi...
Fuel oil et autres	40	Thousand	Tonnes of Oil Equi...

**Figure 3.12 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

- Insérer les données du « **Current Account** ». Cette étape est **très longue** car alimentée à partir de la base statistique qui comprend beaucoup de données. Certaines données doivent être converties : Unités spécifiques en tep. Exemple secteur résidentiel. Dans cet exemple, nous avons converti les **unités spécifiques de l'électricité** selon leur équivalence à la consommation afin de se conformer aux pratiques les plus courantes. Toutes les branches doivent être renseignées.

Branch	Expression
Electricité	11180*0.086
Gaz naturel	1157
GPL	55
▶ Bois	1
Gas oil	1149
Essence	44
Fuel oil et autres	40

**Figure 3.13** : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- Définir les hypothèses du scénario de référence

Les hypothèses seront définies selon des taux de croissance par **sous-branche et par combustible**. Des taux de croissance différenciés peuvent être utilisés en fonction des périodes mais la syntaxe des expressions ne sera pas la même. Les fonctions (expressions) sont données par LEAP. Vous pouvez cependant écrire vos propres expressions. Pour avoir les expressions. Cliquer sur expression et menu déroulant Ex-taux de croissance uniforme sur toute la période 2019-2050 Growth (1.5%)

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

The screenshot shows the LEAP software interface with the 'All Variables' tab selected. A table displays energy consumption data for 2019 across different branches. A context menu is open over the 'Electricité' row, listing various actions like Cut, Copy, Ditto, Growth Rate, End Year Value, Branch/Variable, Function, and Time Series.

Branch	2019 Value	Expression
Electricité	2,281.84	265
GPL	1,665.00	Gro
Gaz naturel	10,370.00	103
Bois	3.00	3

**Figure 3.14 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

This screenshot is identical to Figure 3.14, showing the same LEAP software interface with the 'All Variables' tab, the energy consumption table, and the context menu open over the 'Electricité' row.

Branch	2019 Value	Expression
Electricité	2,281.84	265
GPL	1,665.00	Gro
Gaz naturel	10,370.00	103
Bois	3.00	3

**Figure 3.15:** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

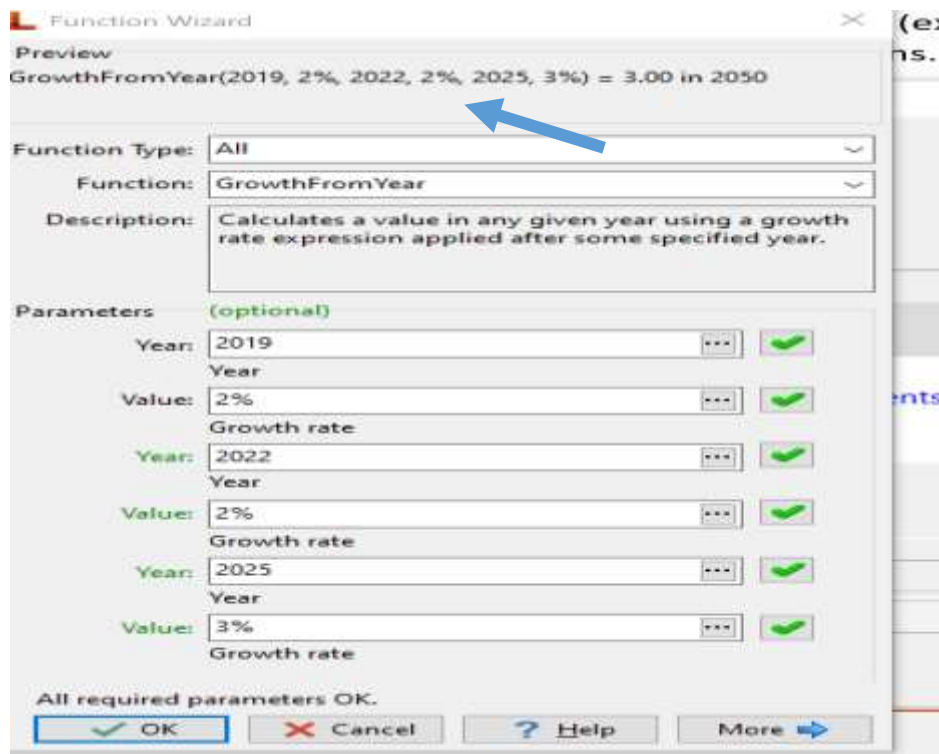
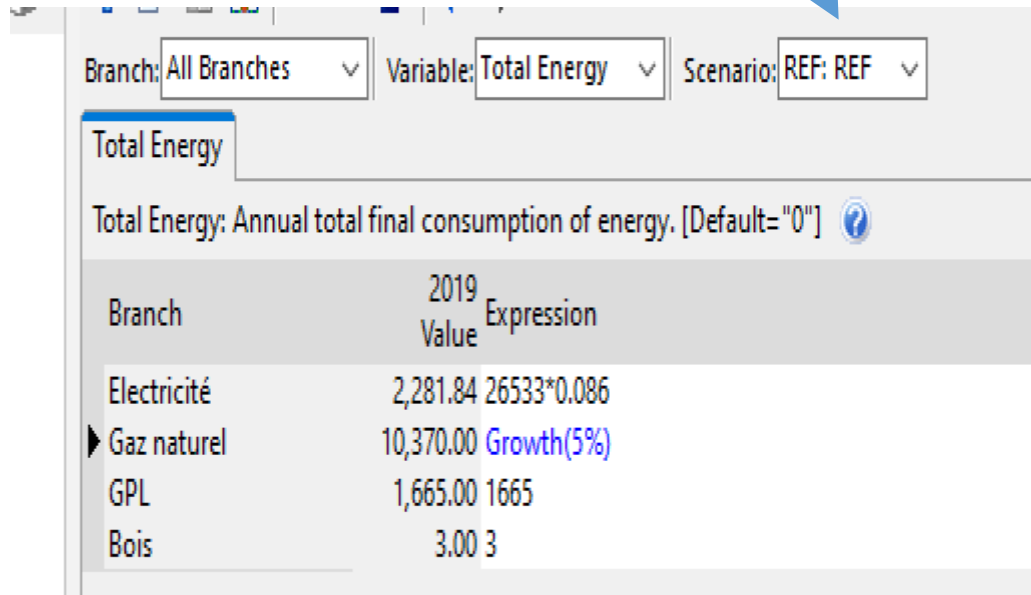


Figure 3.16 : Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- **Recommandation et attention.** Il est préférable d'écrire directement l'expression. Cette expression vous permet de définir des hypothèses sur 3 tranches temporelles.
- Ecrire les expressions du scénario de référence c'est-à-dire les calculs de l'évolution de la demande 2019-2050 en fonction des hypothèses retenues.  
**Attention :** Ne pas écrire sous current account MAIS sous le **scénario de référence**. **Cela se reproduit fréquemment et cela donne des erreurs.** Si aucun amendement, LEAP va reproduire la **même valeur sur toute la période**. Ce qui est le cas pour cet exemple sauf le gaz naturel qui va croître de **5%/an** sur toute la période 2019-50



## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie



Branch: All Branches Variable: Total Energy Scenario: REF: REF

Total Energy

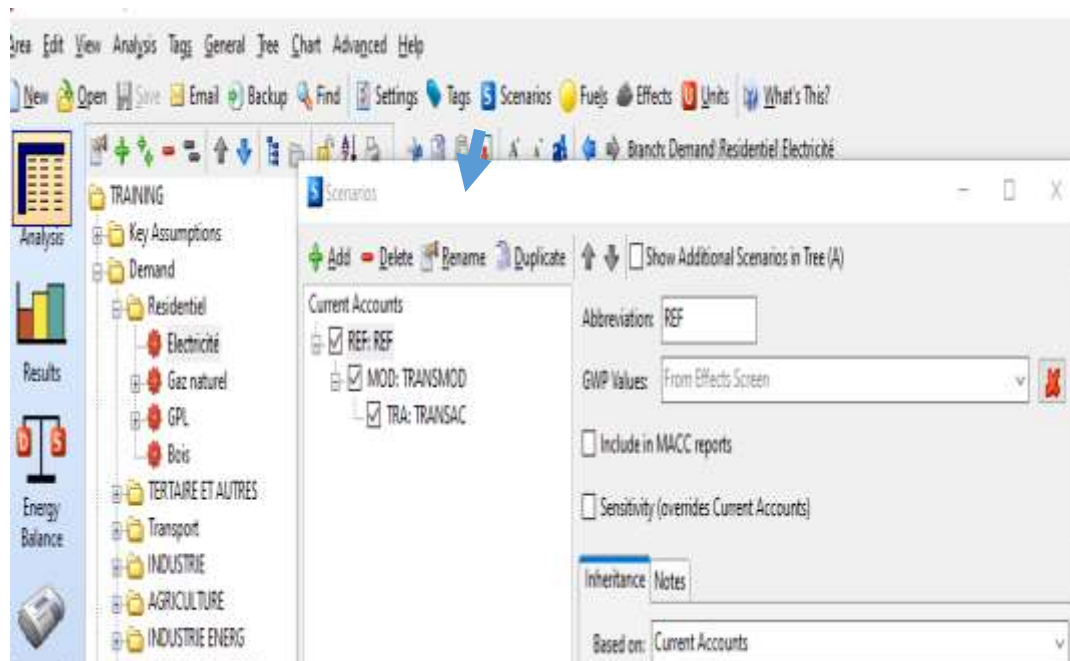
Total Energy: Annual total final consumption of energy. [Default="0"]

Branch	2019 Value	Expression
Electricité	2,281.84	26533*0.086
▶ Gaz naturel	10,370.00	Growth(5%)
GPL	1,665.00	1665
Bois	3.00	3

**Figure 3.17 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP

- Insérer les 2 autres scénarios. Cette étape peut être aussi réalisée au début. Elle est reportée à la fin afin d'éviter de passer par inadvertance du compte courant aux scénarios.

Menu horizontal: cliquer sur scénarios



**Figure 3.18 :** Démonstration des étapes de fonctionnement du LEAP



## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

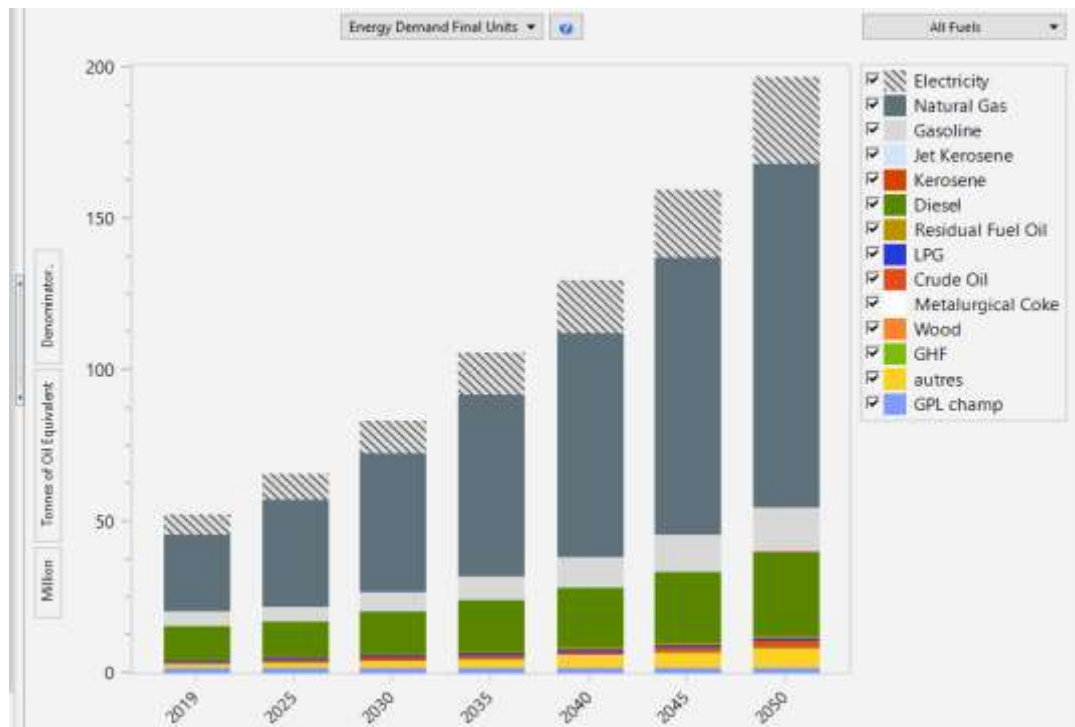
### 3.8. Résultats de la modélisation :

Le modèle LEAP nous donne la possibilité de voir les résultats sous différentes formes graphiques et même sous forme de tableaux.

Les résultats de la modélisation sont présentés ci-dessous :

#### 3.8.1. La demande en energie pour le scénario de référence :

L'évolution de la demande d'énergie selon les hypothèses proposées dans le scénario de référence est présentée dans la Figure 3.19 en tonnes équivalent pétrole, à partir de l'année de référence 2019 jusqu'à l'horizon 2050. En analysant les résultats, on peut constater la forte augmentation de la demande, notamment pour l'électricité et le gaz naturel.

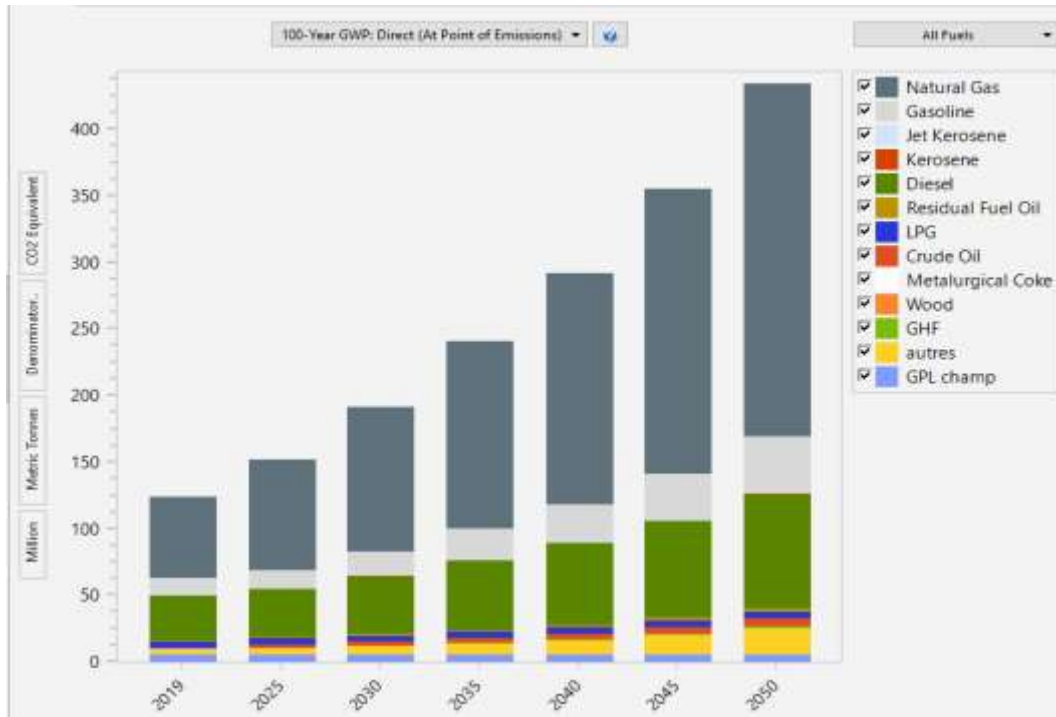


**Figure 3.19** : l'évolution de la demande en énergie par source 2019 / 2050

#### 3.8.2. Les émissions du scénarios de référence :

La figure 3.20 montre le scénario de référence des émissions par source d'émission en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone, et les émissions provenant de l'utilisation du gaz naturel prennent la majorité des émissions, car il est utilisé pour produire de l'électricité dans le cas de l'Algérie.

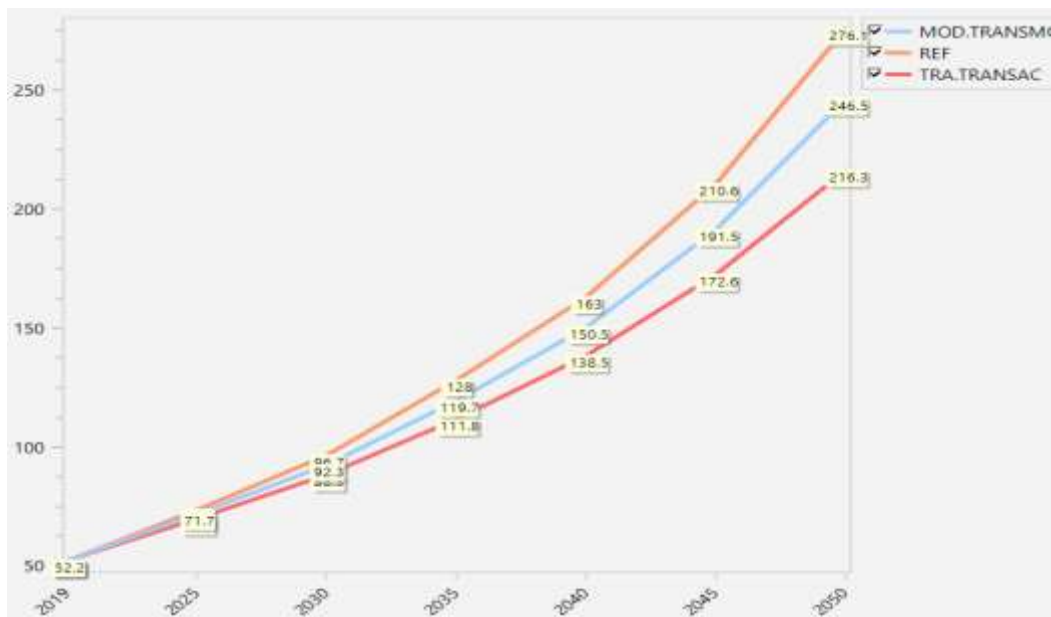
## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie



**Figure 3.20 :** Les émissions du scénarios de référence par source 2019 / 2015

### 3.8.3. La Demande selon les trois scénarios 2019-50 (Mtep):

L'évolution de la demande d'énergie selon les hypothèses proposées dans le scénario de référence, TANSMOD et TRANSAC en tonnes équivalent pétrole à l'horizon 2050, est présentée dans la Figure 3.21 :



**Figure 3.21 :** graphe de la Demande selon les 3 scénarios 2019-50 (en Mtep)

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

Le tableau suivant presente la demande en chiffre pour les trois scénarios :

**Tableau 3.5:** Demande selon les 3 scénarios

Scenario	Growth								
	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2019-50
TRANSMOD	52.2	54.9	71.7	92.3	119.7	150.5	191.5	246.5	5.1%
REF	52.2	55.1	73.7	96.7	128.0	163.0	210.6	276.1	5.5%
TRANSAC	52.2	54.7	69.9	88.3	111.8	138.5	172.6	216.3	4.7%

#### **3.8.4. La Demande par sous-secteurs (2019 , 2015 ) :**

La figure 3.22 montre la demande pour les trois scénarios par sous-secteur pour les années 2019 et 2050, en comparant les deux années, on peut voir que le sous-secteur des transports et le secteur résidentiel sont des secteurs énergivores.

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

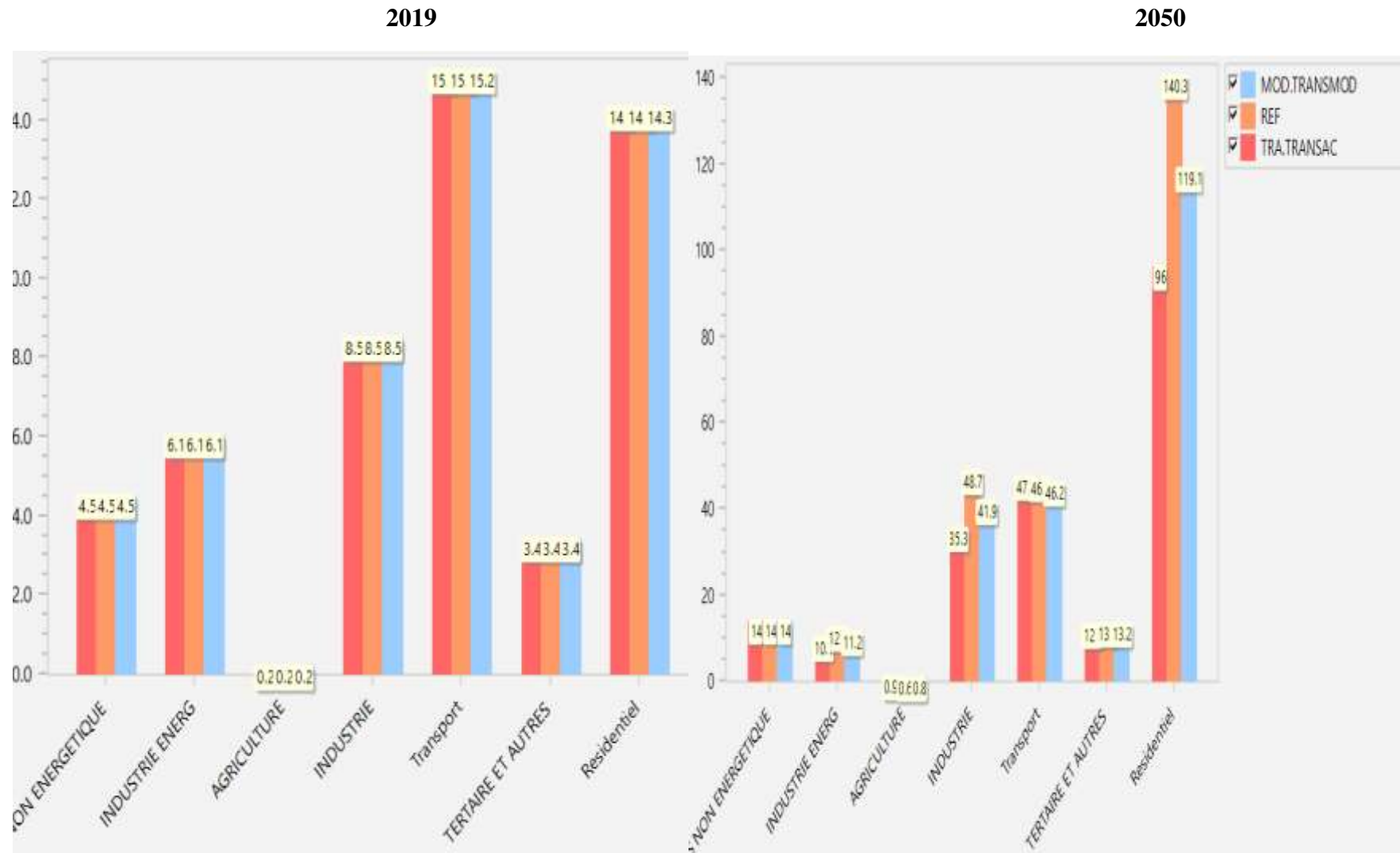


Figure 3.22: La Demande selon les trois scénarios par sous-secteurs (2019 , 2050 )

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.8.5. Consommation par branches 2019 et 2050:

Les tableaux suivants présentent les consommations énergétiques par branche pour 2019 et 2050 pour les trois scénarios :

**Tableau 3.6 :** La Consommation énergétique par branches 2019 et 2050

		2019						
Scenario	Non Ener	Ind Ener	AGR	INDUSTRIE	Transport	TERTAIR	Residentie	Total
MOD.TRANSM	4,5	6,1	0,2	8,5	15,2	3,4	14,3	52,2
REF	4,5	6,1	0,2	8,5	15,2	3,4	14,3	52,2
TRA.TRANSAC	4,5	6,1	0,2	8,5	15,2	3,4	14,3	52,2
		2050						
Scenario	CONS NO	INDUS	AGRICU	INDUSTF	Transpo	TERTAI	Resident	Total
MOD.TRANSM	14,0	11,2	0,8	41,9	46,2	13,2	119,1	246,5
REF	14,0	12,3	0,6	48,7	46,9	13,2	140,3	276,1
TRA.TRANSAC	14,0	10,1	0,9	35,3	47,3	12,8	96,0	216,3
Total	41,9	33,6	2,3	126,0	140,4	39,3	355,4	738,9

### Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

2019

2050

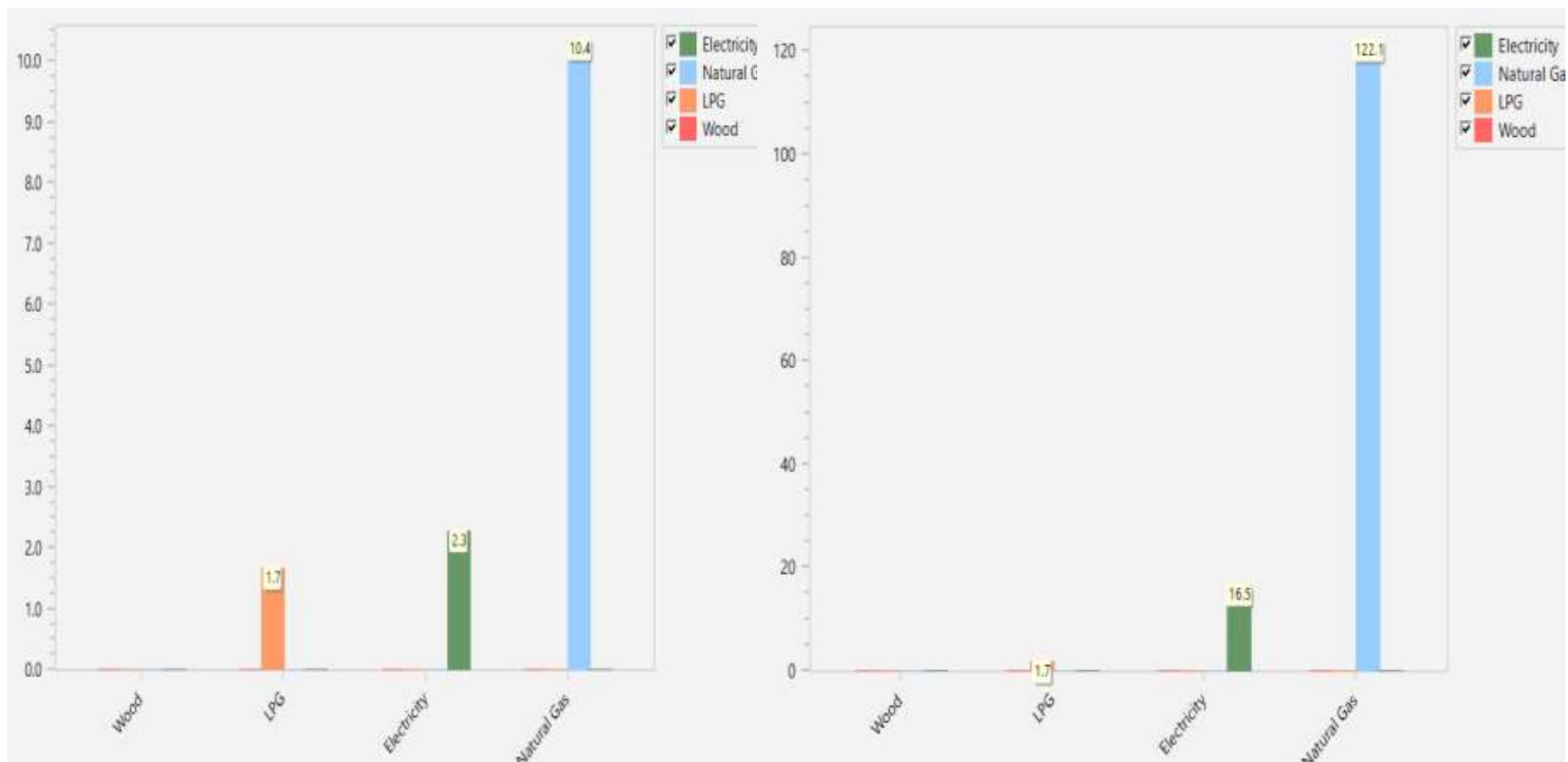
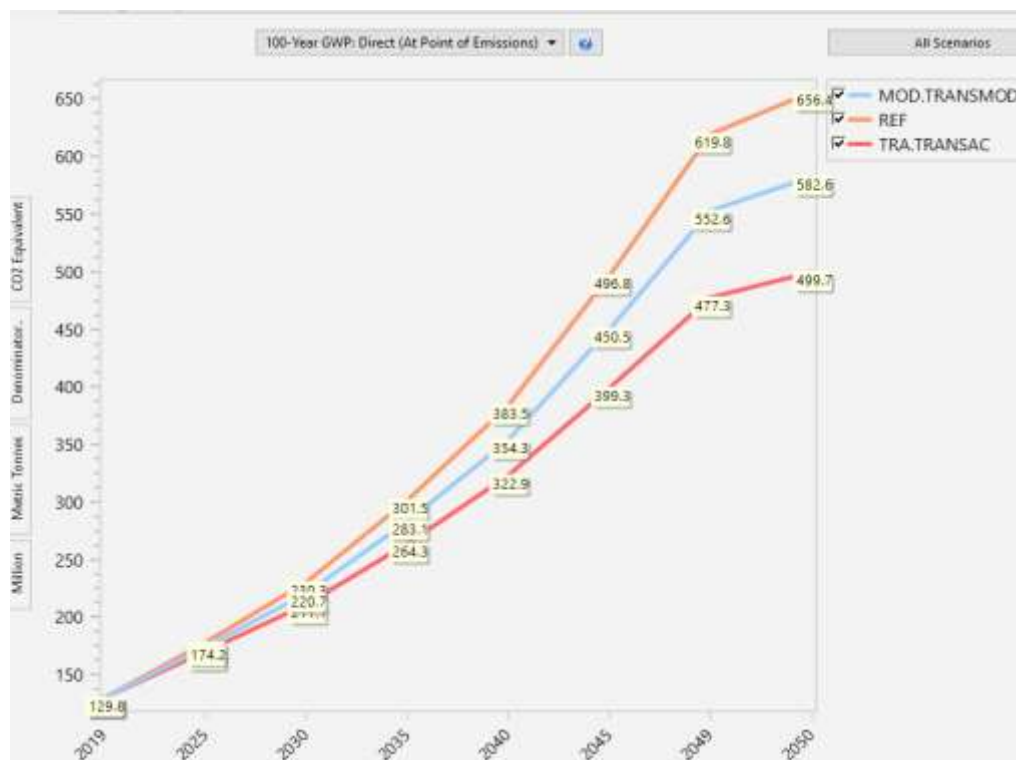


Figure 3.23 : La Demande pour le secteur Residential par sources (2019 , 2050 )

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gaz à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.8.6. Emissions annuelles et cumulées par scénario: 2019-2050

La figure 3.24 montre les émissions annuelles cumulées par scénario d'ici 2050, et nous pouvons voir la quantité de gaz à effet de serre pour chaque scénario pour n'importe quelle année. Pour le scénario de référence, on peut atteindre 500 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> intoxicantes en 2050, mais pour les deux autres scénarios, cette valeur peut être évitée par une forte pénétration des énergies renouvelables dans la structure de consommation, notamment le PV et les véhicules électriques. Extraire les hypothèses du scénario Transomed, le PV se partage 7 MW par an d'ici 2050, et pour Transac, le PV fournit 40% de la demande d'électricité d'ici 2050.



**Figure 3.24 :** Graphique des émissions annuelles et cumulées par scénario : 2019-2050

## Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie

### 3.8.7. Emissions annuelles et cumulées MtCO<sub>2</sub>eq : 2019-50

Le tableau suivant présente les émissions annuelles et cumulées par scénario en MtCO<sub>2</sub>eq :

**Tableau 3.7** : les émissions annuelles et cumulées par scénario en MtCO<sub>2</sub>eq

Scenario	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2049	2050	2019-50	Economi	Tx annuel moyen
TRANSMOD	129.8	174.2	221	283	354	451	553	583	9,650	-749	5.0%
REF	129.8	178.5	230	301	384	497	620	656	10,399		5.4%
TRANSAC	129.8	170.1	211	264	323	399	477	500	8,839	-1,560	4.4%

### 3.9. Conclusion

L'économie de L'Algérie dépend du Gaz et du pétrole, les résultats de l'extraction, le traitement et le transport de ces sources sont des émissions de GES, avec ces émissions l'Algérie participe au réchauffement climatique au niveau mondial.

En analysant les résultats de la modélisation avec l'outil LEAP, on constate que pour le

En analysant les résultats de la modélisation avec l'outil LEAP, on constate que pour le scénario Transmod, 749 MtCO<sub>2</sub>e soit 24 MtCO<sub>2</sub> par an pourraient être évités, et pour le scénario Transmod 1560 MtCO<sub>2</sub>e soit 50 MtCO<sub>2</sub>e équivalent dioxyde de carbone. /an peut bien sûr être évitée par une transition énergétique forte qui dépend essentiellement du solaire PV dans le cas de l'Algérie, compte tenu du potentiel dont elle dispose. La réduction des gaz à effet de serre ne préserve pas la terre et la vie humaine, et cette réduction a également un impact économique sur le pays.



### **Chapitre 3 Modélisation des émissions de Gas à effet de serre du secteur de l'énergie en Algérie**

Conformément à la norme de commande standard de 30 €/tonne réalisée en Europe. Avec les scénarios TRANSAC, en moyenne, 250 millions jusqu'à 1,5 milliard d'euros/an peuvent être maintenus et 120 millions jusqu'à 720 millions d'euros/an peuvent être maintenus pour les scénarios TRANSMOD.

Donc on peut dire que L'Algérie est pays émetteurs de GES, et cela est très clair a traves les résultats du modèle et même à travers les études réalisés par la banque mondial, cette dernières a classée L'Algérie commettant le cinquième pays émetteur de GES.

On peut donc dire que l'Algérie est un pays émetteur de gaz à effet de serre, et cela ressort très clairement des résultats du modèle et même à travers les études menées par la Banque mondiale, cette dernière a classé l'Algérie comme le cinquième pays émetteur de gaz à effet de serre.



## ***Conclusion générale***

## Conclusion générale

### **Conclusion générale :**

La transition énergétique est l'une des thématiques les plus importantes au niveau international, plusieurs rapports notamment les rapports de GIEC, ont exprimé la nécessité d'aller vers un système énergétique qui repose sur un mix énergétique qui intègre fortement les énergies renouvelables dans la structure de la consommation finale, avec plus de mesures d'efficacité énergétique. Tout ça pour lutter contre les changements climatiques est ces conséquences.

L'Algérie est payée très riche en ressources primaires notamment le gaz naturel, le pétrole et aussi le renouvelable photovoltaïque, Le secteur de l'énergie est considéré comme l'un des secteurs les plus polluants au monde. La combustion de la matière primaire (pétrole, gaz) pendant le processus de conversion ou d'utilisation finale est la source majeure d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Toute action sur le secteur de l'énergie aura certainement des impacts sur le climat, et cette relation est étroite, et elle a retenu l'attention des décideurs politiques et de la communauté scientifique. La définition et l'analyse de cette relation a fait l'objet de travaux de modélisation.

Les résultats de la modélisation réalisés dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude avec l'outil LEAP, a montré une évolution majeure en termes de demande en énergies à l'horizon 2050 (de 50 Mtep en 2019 à 200 MteP en 2050), qui cause par la suite une élévation des GES rechant dans l'atmosphère (de 125 Mt CO<sub>2</sub>eq en 2019 à 500 Mt CO<sub>2</sub>eq en 2050), la chose qui nécessite des mesures d'atténuation pour diminuer ces GES, qui est la définition de la transition énergétique, cette diminution est représentée par les deux scénarios TRANMOD avec et TRANSAC. Transmod 749 Mt CO<sub>2</sub>eq soit 24 Mt CO<sub>2</sub>eq/an Transac 1560 Mt CO<sub>2</sub>eq soit 50 Mt CO<sub>2</sub>eq/an. Il est recommandé de poursuivre le travail de modélisation avec LEAP, car y'a d'autres composantes à renseigner notamment la partie transformation pour satisfaire la demande énergétique et la partir pour le calcul des émissions fugitives et le torchage pour avoir un bilan énergétique complet.

Le renouvelable photovoltaïque joue un rôle très important dans la transition, et l'exemple du remplacement des turbogénérateurs par une station PV a montré les tonnes de CO<sub>2</sub> qui peuvent être évitées, la chose qui encourage le mix énergétique basé sur le PV surtout avec la forte diminution des coûts de PV dans le monde.

La réduction des émissions de GES permettrait de limiter le réchauffement climatique, mais elle pourrait aussi avoir d'autres bénéfices, tant les conséquences de ce réchauffement sont

## **Conclusion générale**

nombreuses sur la santé, le climat et l'environnement : élévation du niveau de la mer, perte d'habitats, inondations, En effet, en plus de réchauffer la planète, les gaz à effet de serre influencent également la circulation atmosphérique.

# ***Annexes***

## Annexes

### Bilan énergétique 2010

Bilan Energétique 2010 Tableau 3.A	HOUILLE ET CHARBON	COKE SIDÉRIURGIQUE	BOIS	TOTAL PRODUITS SOLIDES	PÉTROLE BRUT	L.O.N.	Produits pétroliers raffinés	Total Produits Pétroliers	gasoil	fuel oil	essences	kerosenes	Jet Fuel	Naphte	Autres Produits	TOTAL PRODUITS LIQUIDES	GAZ NATUREL	GNL	GPL	ETHANE	DHF	GAZ DE COKER.	TOTAL PRODUITS GAZEUX	ELECTRICITE	TOTAL GENERAL	
Unité (KTEP)		0,70						1,1																0,3		
PRODUCTION			52	52	61083	11985										73208	80624		8479				85303	45	162648	
IMPORTATION		316		316			352	1389	418	249						1441								189	1945	
EXPORTATION					36271	6688		15544	8172	31	1019	8247				58503	35792	16262	8986				61042	306	118751	
BOUTAGES								358	57	330						358								358		
VARL STOCK (PROD.)		-5		-5	46	141										186		0,18	2				2	185		
DISPONIBILITES INTER.		329	52	372	24945	5196	352	-14812	360	-8223	-31		-1019	-8247	347	15841	45002	-16263	1480				28259	27	44299	
VARL STOCK (CONSUM.)								7	-82	7	12					7			-8				-8	-2		
CONSUMATION BRUTE		329	52	372	24945	5196	352	-14819	423	-8230	-43		-1017	-8247	295	15634	45002	-16263	1486				28268	27	44301	
TRANSFORMATION					-24588	-5123	-329	20164	8426	8324	2933		1550	8438	494	-1657	-30520	16252	1152	20	323		-10774	11715	-915	
COKERIES																										
UNITÉS FOURNEAUX																					323			323	323	
UNITÉS DE LIQUEFACTION								254					252	2		254	-19110	16252	480	20			-357	-103		
RAFFINERIES					-24588	-5123	-329	20070	8586	8324	2933		1550	8184	492	-1651			671				671	11521	-1278	
CENTRALES ELECTRIQUES								-90	-160							-160	-11411						-11411	144	144	
CENTRALES ELECTRIQUES des Autoproductions																								144	144	
AUTRES								747							747	747	1418			20			1438		2185	
CONSUM. NON ENERGIE																										
CONSUMATION NETTE		329	52	372	376	33	22	12588	8649	94	2890		533	189	42	13030	13094	-41	2650		323		16056	11743	41202	
CONSUM. INDUS. ENERG.					354											354	4834				48		4882	786	6234	
CONSUM. AUX CHAMPS					37											37									37	
GAZODUCS ET OLEODUCS																	687							687	21	707
UNITÉS DE LIQUEFACTION																	3451							3451	80	3531
RAFFINERIES					522											522	523							523	53	1088
AUTRES																	174				48		222	844	868	
CONSUMATION FINALE		300	52	352				12272	8761	0,14	2966	17	484		33	12272	8021		2326		70		10419	867	21650	
INDUSTRIE		300	30	330				864	814		6	16			28	864	3327		156		70		3554	3266	6819	
MATERIAUX DE CONSTRUCTION								14	14		0,02					14	2327		83				2410	780	3204	
CIMENTRIES								8	8		0,02					8	1505						1505		1513	
ISIME		300		300													361				70		431	309	1040	
SIDERURGIE DE BASE		300		300													361				70		431	194	625	
CHIMIE								2	2							2	50						50	297	348	
PETROCHIMIE								2	2							2	50						50	52		
INDUSTRIES MANUFACTURIERES																	298		0,06				289	382	671	
AGROALIMENTAIRE																	164		0,06				164	307	471	
IND. TEXTILES, CUIR ET HABILLEMENT																							28	75	103	
VERRES																							97		97	
BTP								537	532		1	5				537	206						206	46	792	
AUTRES INDUSTRIES								311	296		5	12			29	311	95		73				168	1430	1864	
TRANSPORTS								10860	7296		2865		484		5	10860	5		387				292	163	11215	
RAIL								42	42		0,24					42	5						5	163	210	
ROUTIER								10124	7254		2865				5	10124			387				387		10510	
AERIEN								485					484		0,17	485									485	
MARITIME								0,44							0,44										0,44	
AUTRES																										
MENAGES ET AUTRES			17	17				747	601		86	0,23				747	4688		1785				6673	5128	12815	
RESIDENTIEL			17	17													4085		1737				5822	3023	8862	
AGRICULTURES								25	25		0,01					25	31		8				39	258	322	
TERTIARE ET AUTRES								722	626		86	0,23				722	573		39				612	1886	3231	
PERTES			15	15	211	6	22	307							1	546	189		1		205		385	2338	3203	
ECART STATISTIQUE			5	5	-388	28		29	88	84	-76	-17	39	189	9	-341	49	-41	322		0,03		360	0,25	-24	

### Annexe 01





## Annexes

### Hypothèse :

Secteur / Branche		Type de Combustible	TAUX SCENARIO REF			SCENARIO TRANSMOD: Valeurs propos			TRANSAC				
			Maintenir la dernière valeur	TX (2019-2025) %	TX (2026-2035) %	TX (2036-2050) %	TX (2019-2025) %	TX (2026-2035) %	TX (2036-2050) %	TX (2019-2025) %	TX (2026-2035) % ou valeurs absolues	TX (2036-2050) % ou valeurs absolues	
résidentiel	Naturel Gas		11,0%	9,0%	7,0%	9,9%	8,3%	6,8%	8,9%	7,5%	5,9%		
	Electricity		9,0%	8,0%	5,0%	8,3%	7,5%	4,8%	7,5%	6,8%	4,3%		
	LPG	1 411				1411	1411	1411	1411	1411	1411		
	Wood	18				18	18	18	18	18	11		
TERTIAIRE ET AUTRES	Electricity		4,7%	4,3%	3,0%	4,4%	4,04%	2,9%	4,4%	4,04%	2,9%		
	Naturel Gas	46	8,0%	6,0%	4,0%	7,4%	5,64%	3,8%	6,7%	5,4%	3,8%		
	LPG					46	46	46	46	46	41		
	WOOD	3				3	3	3	3	3	3		
Transport	Routier	DIESEL		7,7%	5,0%	3,0%	7,1%	4,7%	2,9%	6,4%	4,5%	2,9%	
		Gasoline		2,6%	2,3%	2,0%	2,6%	2,3%	2,0%	2,6%	2,3%	2,0%	
		Autres		3,6%	2,0%	1,8%	3,6%	2,0%	1,8%	3,6%	2,0%	1,8%	
		Autres Fuel Oil	106	3,3%	3,0%	2,7%	3,1%	2,9%	2,6%	2,9%	2,7%	2,4%	
	Aerien	Gasoline		4,5%	3,5%	2,0%	4,2%	3,2%	1,8%	3,8%	2,9%	1,6%	
		Autres Fuel Oil					106	106	106	106	106	101	
	Ferroviaire	Electricity		NA	NA	NA	7,0%	10,2%	8,6%	6,7%	9,7%	8,1%	
		Diesel	35	3,3%	3,0%	1,0%	3,3%	3,0%	1,0%	3,3%	3,0%	1,0%	
	Aerien	Electricity		6,0%	8,0%	10,0%	6,0%	8,0%	10,0%	6,0%	8,0%	10,0%	
		Jet Kerosene		1,0%	1,5%	2,0%	1,1%	1,7%	2,2%	1,2%	1,8%	2,4%	
	Maritime	Naturel Gas		8,0%	6,0%	4,0%	8,0%	6,0%	4,0%	8,0%	6,0%	4,0%	
		Electricity		11,4%	9,0%	7,0%	10,5%	8,5%	6,7%	9,5%	7,6%	6,0%	
	ISMME	Diesel		1,0%	1,5%	2,0%	1,1%	1,7%	2,2%	1,2%	1,8%	2,4%	
		Fuel Oil		1,0%	1,5%	2,0%	1,1%	1,7%	2,2%	1,2%	1,8%	2,4%	
		Electricity		13,3%	11,0%	7,0%	11,9%	10,1%	6,8%	10,7%	9,1%	5,9%	
		Natural Gas		9,8%	8,0%	5,0%	8,8%	7,4%	4,7%	8,0%	6,4%	4,2%	
Matériaux de construction	Metallurgical Coke		25,0%	20,0%	15,0%	22,5%	18,4%	14,1%	20,3%	15,6%	12,0%		
	Diesel		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Gasoline		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Electricity		7,3%	5,3%	5,0%	6,7%	5,0%	4,8%	6,3%	4,7%	4,6%		
chimie	Naturel Gas		6,7%	4,9%	4,4%	6,2%	4,8%	4,2%	5,9%	4,4%	4,0%		
	LPG		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Diesel		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Electricity	5				5	5	5	5	5	5		
Industrie	Industrie chimie	Kerosene		7,0%	5,0%	3,0%	6,4%	4,7%	2,9%	6,1%	4,5%	2,9%	
		Naturel Gas		13,2%	10,0%	7,0%	11,8%	9,2%	6,6%	10,7%	8,3%	5,9%	
	Industrie manufacturière	Electricity		22	22	22	22	22	22	22	22	22	
		Naturel Gas		6,0%	5,0%	3,0%	5,6%	4,8%	3,0%	5,4%	4,6%	3,0%	
BTP	LPG	2	2,9%	3,0%	2,7%	2,9%	3,0%	2,7%	2,9%	3,0%	2,7%		
	DIESEL		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Naturel Gas		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	LPG	4				4	4	4	4	4	4		
agriculture	Kerosene		8,7%	6,0%	4,0%	8,0%	5,6%	3,8%	7,6%	5,4%	3,6%		
	Electricity		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		
	Diesel		2,8%	5,0%	5,0%	3,0%	5,3%	5,3%	3,1%	5,5%	5,5%		
	Naturel gas		2,8%	5,0%	5,0%	2,8%	5,3%	5,2%	3,1%	5,8%	5,7%		
INDUSTRIE ENERGETIQUE	Autres Industries	LPG	19	1,9%	2,0%	2,0%	2,1%	2,6%	2,6%	2,7%	3,4%	3,4%	
		Electricity		5,1%	3,2%	1,0%	4,8%	3,2%	1,0%	4,8%	3,2%	1,0%	
		Naturel gas		7,0%	6,3%	5,0%	6,4%	5,9%	4,8%	6,4%	5,9%	4,8%	
		LPG		5,0%	3,0%	1,0%	4,7%	3,0%	1,0%	4,7%	3,0%	1,0%	
	Conso aux champs	Kerosene	11				11	11	11	11	11	11	
		WOOD	36				36	36	36	36	36	31	
	Gazoducs et Oleoducs	Diesel		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1%	1%	1,0%	1%	1%	
		Autres	5				5	5	5	5	5	5	
		Unités de Liquéfaction	Crude Oil		2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
			Electricity		16,3%	13,0%	11,0%	14,7%	12,0%	10,3%	13,2%	10,8%	9,3%
Raffinerie		Naturel gas		2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	
		Crude Oil		2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	
Autres		Electricity		-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	
		Naturel gas		-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	-1,0%	
	Electricity		10,9%	9,0%	5,7%	9,8%	8,3%	5,3%	8,8%	7,5%	4,8%		
	Naturel gas		3,3%	2,0%	1,0%	3,3%	2,0%	1,0%	3,1%	1,9%	1,0%		
INDUSTRIE ENERGETIQUE	Autres	Crude Oil		-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	-3,0%	
		Electricity		6,0%	5,0%	4,0%	5,5%	4,7%	3,8%	5,0%	4,2%	3,5%	
	Autres	Naturel gas		-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	
		LPG		1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	
Autres	GHF		20,4%	7,0%	5,0%	18,4%	6,4%	4,7%	16,5%	5,8%	4,2%		

## Annexe 03

# ***Bibliographie***

## Bibliographie

### **Bibliographie :**

[1] Jean-Baptiste Fressoz, POUR UNE HISTOIRE DÉSORIENTÉE DE L'ÉNERGIE  
(archives-ouvertes.fr)

[2] Edward Elgar, Peters, M, S Fudge and T Jackson (2010) *Low carbon communities: imaginative approaches to combating climate change*

[3] *locally* [https://fr.Transition\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Situation\\_mondiale](https://fr.Transition_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Situation_mondiale) CDN des Etats-Unis

[4] <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/United%20States%20of%20America%20First/U.S.A.%20First%20NDC%20Submission.pdf>

[5] Gouvernement Français : Stratégie Nationale Bas Carbone, 1re édition, Déc 2017 : [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/151119\\_SNBC\\_publiee%20Avec%20resume.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/151119_SNBC_publiee%20Avec%20resume.pdf) CPDN de l'ALgérie

[6] <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=33cda6ccfcad96d5JmltdHM9MTY1OTA5MDQ5MiZpZ3VpZD0zMWFiNjlmMS1iZTgwLTQ0NWmtYjBkZC01NmFiZDZmYWUzODEmaW5zaWQ9NTEyNg&pptn=3&hsh=3&fclid=25916f13-0f29-add201d510b5545&u=a1aHR0cHM6Ly91bmZjY2MuaW50L3NpdGVzL2RlZmF1bHQvZmlsZXMvTkRDLzIwMjltMDYvQWxnJUMzJUE5cmlJTIwLUiOREMtJTIwMDMlMjBzZXB0ZW1icmUIMjAyMDE1LnBkZg&ntb=1>

[7] [https://fr.Transition\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Financement\\_de\\_la\\_transition,\\_coop%C3%A9ration\\_internationale](https://fr.Transition_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Financement_de_la_transition,_coop%C3%A9ration_internationale)

[8] [https://fr/Transition\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Prospective\\_%E2%80%93\\_sc%C3%A9narios](https://fr/Transition_%C3%A9nerg%C3%A9tique#Prospective_%E2%80%93_sc%C3%A9narios)

[9] rapport du Giec

<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=62a4a45c9b36fae7JmltdHM9MTY1ODgzNDU3MSZpZ3VpZD1kZDNkNTMwNi1lZWUwLTQ0NzQtOWRjZS01ZWU5NGY5ZTYyMmWYmaW5zaWQ9NTE2OQ&pptn=3&hshclid=48cfb0bd-0cd5-11ed-af6e-8887e6e03480&u=a1aHR0cHM6Ly92ZXJ0LmVjby9hcnRyY2xlc9ub3V2ZWZlLXJhcHBvcnQtZHUtZ2llYy1jaW5xLXNjZW5hcmlvcy1wb3VyLWxhLWZpbi1kdS1zaWVjbGU&ntb=1>