

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou  
Faculté du Génie de la Construction  
Département du Génie Mécanique



## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel de Génie mécanique  
spécialité Energies renouvelables

### **Thème**

**Evaluation de l'empreinte carbone pour l'université  
Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

Présenté par :

**AIT BELKACEM Abdelkarim**

Proposé et dirigé par :

**Mr AIT AIDER Aomar**

*Promotion 2013 – 2014*

## *Dédicaces*

*A ma très chère mère et à mon père. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leur amour et de leur sacrifice. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie*

*A mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité :*

*Massi, Djallil, Fouad, Fatima, Nacima et son époux Mohand,*

*A ma nièce Anaïs, pour toute la joie et l'énergie qu'elle a su me transmettre,*

*Je vous souhaite une longue vie pleine de joies et de santé.*

*A tous mes amis, pour leur présence et leur encouragement,*

*A tous mes proches,*

*Je leur dédie ce modeste travail.*

***KARIM***

## *Remerciements*

*La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.*

*Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à Mr. AIT AIDER Aomar, mon directeur de mémoire, pour sa patience, sa disponibilité et surtout pour son aide scientifique et moral qu'il a eu à m'apporter tout au long de ce mémoire, je le remercie pour ses conseils judicieux qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie également la direction régionale de la Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre et en particulier Mme MEDJACHA et Mme BEN RABAH pour m'avoir accueilli à bras ouvert.*

*Mes remerciements vont aussi à la direction des œuvres universitaire centrale pour leur entière coopération et pour leur aide précieuse.*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de Génie mécanique, à tous les intervenants et personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé ma réflexion et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.*

# Sommaire

*Dédicaces*

*Remerciements*

**Abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**..... 1

## Chapitre I : Contextes climatiques

Introduction ..... 4

1. Définition du changement climatique ..... 4

2. Contexte climatique..... 5

2.1. Les changements climatiques observés et les effets constatés ..... 5

2.2. Les conséquences annoncées des changements climatiques ..... 9

2.3. Coût du réchauffement climatique ..... 10

2.4. Les causes de l'évolution du climat: Les activités anthropiques en première ligne ..... 10

2.5. Contexte climatique national ..... 11

2.6. Changements climatiques aux horizons 2020 et 2050..... 12

3. Lutte internationale contre le réchauffement climatique : une logique de compromis ..... 13

3.1. Les rapports du GIEC : La force de l'expertise collective ..... 13

3.2. Le cinquième rapport du GIEC aggrave le diagnostic sur l'évolution du réchauffement climatique ..... 14

3.3. Le protocole de Kyoto ..... 14

3.3.1. Mécanismes du protocole de Kyoto : les moyens de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. 15

3.3.2. Le Protocole de Kyoto : une architecture à reconduire ..... 19

4. Paris Climat 2015 ..... 19

5. Le développement durable, seule alternative contre le changement qu'est climatique ..... 20

5.1. Le développement durable : ce que c'est ..... 20

5.2. Les enjeux du développement durable ..... 21

5.2.1. Économiser les ressources ..... 21

5.2.2. Limiter le changement climatique ..... 21

5.2.3. Prévenir les conflits ..... 22

5.3. Les trois piliers du développement durable ..... 22

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| 5.3.1.          | La préservation environnement .....       | 22 |
| 5.3.2.          | L'équité sociale .....                    | 23 |
| 5.3.3.          | L'efficacité économique .....             | 24 |
| 5.4.            | Les acteurs du développement durable..... | 25 |
| 5.4.1.          | L'indispensable gouvernance .....         | 25 |
| 5.4.2.          | Les acteurs.....                          | 26 |
| 5.5.            | Passé du développement durable.....       | 27 |
| 5.6.            | Quelques dates importantes.....           | 27 |
| Conclusion..... |   | 30 |

## Chapitre II : Empreinte des activités anthropiques

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| Introduction ..... |  | 32 |
| 1.                 | Mécanisme de l'effet de serre.....                               | 32 |
| 2.                 | Gaz à effet de serre (GES).....                                  | 33 |
| 2.1.               | Les gaz à effet de serre naturels .....                          | 33 |
| 2.2.               | Les gaz à effet de serre anthropiques .....                      | 34 |
| 2.2.1.             | Les gaz à effet de serre directs .....                           | 35 |
| 2.2.2.             | Les gaz à effet de serre indirects .....                         | 37 |
| 3.                 | Propriétés des gaz à effet de serre .....                        | 39 |
| 3.1.               | Le forçage radiatif des GES .....                                | 39 |
| 3.2.               | Le pouvoir de réchauffement global des GES.....                  | 41 |
| 4.                 | Empreinte carbone et empreinte écologique .....                  | 42 |
| 4.1.               | Empreinte carbone.....   | 42 |
| 4.1.1.             | Puits de carbone.....  | 43 |
| 4.2.               | Empreinte écologique.....  | 44 |
| 4.2.1.             | Empreinte écologique, économie et social .....                   | 46 |
| 4.3.               | Biocapacité .....  | 48 |
| 4.3.1.             | Surfaces prises en compte dans le calcul de la biocapacité ..... | 49 |
| 4.3.2.             | Estimations de la biocapacité .....                              | 50 |
| 4.3.3.             | La planète en déficit écologique.....                            | 50 |
| 4.3.4.             | Le cumul du déficit écologique .....                             | 51 |
| 4.3.5.             | Le jour du dépassement écologique .....                          | 52 |
| 5.                 | Bilan carbone.....   | 55 |
| 5.1.               | Inventaire des émissions de GES .....                            | 55 |
| 5.1.1.             | Problématique à la quelle répond le bilan carbone .....          | 55 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.1.2. | But de l'inventaire .....                                 | 55 |
| 5.1.3. | Equivalent carbone des GES .....                          | 56 |
| 5.1.4. | Formule générale du calcul effectif.....                  | 57 |
| 5.1.5. | L'analyse du cycle de vie (ACV) .....                     | 58 |
| 5.1.6. | Les incertitudes.....                                     | 59 |
| 5.1.7. | Equivalences entre les unités de mesure de l'énergie..... | 60 |
| 5.2.   | Les sources d'émissions des GES .....                     | 61 |
| 5.2.1. | Combustibles fossiles .....                               | 61 |
| 5.2.2. | Production d'électricité .....                            | 65 |
| 5.2.3. | Transport .....   | 66 |
| 5.2.4. | Alimentation.....   | 70 |
| 5.2.5. | UTCF.....   | 71 |
|        | Conclusion.....   | 73 |

### Chapitre III : Evaluation de l'empreinte carbone : Application à l'UMMTO

|       |   |    |
|-------|---|----|
|       | Introduction .....  | 75 |
| 1.    | Présentation de l'UMMTO .....                                   | 75 |
| 2.    | Consommations de l'UMMTO .....                                  | 76 |
| 2.1   | Collecte des données globales .....                             | 76 |
| 2.1.1 | Electricité.....  | 77 |
| 2.1.2 | Chauffage : .....   | 79 |
| 2.1.3 | Transport.....  | 80 |
| 2.1.4 | Alimentation.....   | 82 |
| 3.    | Calcul des émissions en équivalent carbone pour l'UMMTO : ..... | 83 |
| 3.1   | Electricité.....  | 83 |
| 3.2   | Chauffage .....   | 85 |
| 3.2.1 | Gaz naturel .....   | 85 |
| 3.2.2 | Fioul domestique : .....  | 86 |
| 3.3   | Transport.....  | 87 |
| 3.4   | Alimentation.....   | 88 |
| 4.    | Emissions totales de l'UMMTO .....                              | 90 |
| 5.    | Empreinte carbone totale pour l'UMMTO.....                      | 91 |
|       | Conclusion .....  | 92 |

### Chapitre IV : Atténuation de l'empreinte carbone

|  |                    |    |
|--|--------------------|----|
|  | Introduction ..... | 94 |
|--|--------------------|----|

|  |     |
|--|-----|
| Vision énergétique du WWF pour 2050.....   | 94  |
| 1. Séquestration du carbone.....   | 95  |
| 1.2. Séquestration naturelle .....   | 95  |
| 1.2.1. Capture du CO <sub>2</sub> par les océans .....                                   | 96  |
| 1.2.2. Capture du CO <sub>2</sub> par les forêts et les sols .....                       | 97  |
| 1.2. Séquestration artificielle :.....   | 99  |
| 1.2.1. Capture du carbone :.....   | 99  |
| 1.2.2. Stockage du carbone :.....  | 101 |
| 2. Les énergies renouvelables : leur potentiel et perspectives de développement.....     | 103 |
| 2.1 Energie solaire.....   | 103 |
| 2.2 Energie éolienne .....   | 106 |
| 2.3 Energie géothermique.....  | 109 |
| 2.4 Energie hydraulique et biomasse.....   | 109 |
| 3. L'efficacité énergétique.....   | 109 |
| 3.1 Leviers de l'efficacité énergétique .....  | 110 |
| 3.2 Application à l'UMMTO.....   | 110 |
| 3.2.1 Bâtiments : une architecture bioclimatique pour une baisse des consommations ..... | 111 |
| 3.2.2 Transport : la promotion du gaz naturel comme carburant (GN/C ou GN/V).....        | 111 |
| Conclusion .....   | 112 |
| <b>Conclusion générale</b> .....   | 113 |
| <b>Bibliographie</b> :.....  | 115 |

## **Abréviations**

|        |  |
|--------|--|
| ACV    | Analyse du Cycle de Vie  |
| ADEME  | Agence de l'Environnement et la Maitrise de l'Energie              |
| BC     | Bio Capacité   |
| CCNUCC | Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques |
| CSC    | Capture et Stockage du Carbone                                     |
| EE     | Empreinte Ecologique   |
| FR     | Forçage Radiatif   |
| GES    | Gaz à Effet de Serre   |
| GIEC   | Groupe d'Experts intergouvernemental sur l'Evolution de Climat     |
| GNV    | Gaz Naturel  |
| GPL    | Gaz de Pétrole Liquéfié  |
| MDP    | Mécanisme de Développement Propre                                  |
| MOC    | Mécanisme de mise Conjointe  |
| OMM    | Organisation Météorologique Mondiale                               |
| PNUE   | Programme des Nations Unies pour l'Environnement                   |
| PRG    | Pouvoir de Réchauffement Global                                    |
| PRG    | Pouvoir de Réchauffement Global                                    |
| UMMTO  | Université Mouloud Mammeri   |
| UQA    | Unité de Quantité Attribuée  |
| WWF    | World Wildlife Fund  |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I-1 : Variations des températures à l'échelle du globe et des continents</b> <sup>1</sup> .....   | 6  |
| <b>Figure I-2 : Variations de la température et du niveau de la mer dans le monde et de la cryosphère dans l'hémisphère Nord</b> <sup>1</sup> ..... | 8  |
| <b>Figure I-3 : Schéma de fonctionnement du mécanisme des permis négociables</b> <sup>6</sup> .....   | 15 |
| <b>Figure I-4 : Schéma de fonctionnement du mécanisme de la mise en œuvre conjointe</b> <sup>6</sup> .....  | 16 |
| <i>Figure II-5 : Mécanisme de l'effet de serre</i> <sup>9</sup> .....   | 33 |
| <i>Figure II-6 : Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère</i> <sup>10</sup> .....                      | 34 |
| <i>Figure II-7 : Emissions par gaz en milliard de tonnes équivalent carbone</i> <sup>12</sup> .....   | 39 |
| <i>Figure II-8 : Forçage radiatif des gaz</i> <sup>1</sup> .....  | 41 |
| <i>Figure II-9 : Construction de l'empreinte écologique</i> <sup>16</sup> .....   | 45 |
| <i>Figure II-10 : Empreinte écologique et population par région (1961)</i> <sup>14</sup> .....  | 47 |
| <i>Figure II-11 : Empreinte écologique et population par région (2005)</i> <sup>14</sup> .....  | 47 |
| <i>Figure II-12 : Construction de la biocapacité</i> <sup>16</sup> .....  | 49 |
| <i>Figure II-13 : Biocapacité et empreinte écologique par région (2005)</i> <sup>14</sup> .....   | 51 |
| <i>Figure II-14 : Empreinte carbone et non-carbone mondiale</i> <sup>17</sup> .....   | 51 |
| <i>Figure II-15 : Jour de dépassement et déficit écologique</i> <sup>18</sup> .....   | 53 |
| <i>Figure II-16 : Jour de dépassement et déficit écologique</i> <sup>18</sup> .....   | 53 |
| <i>Figure II-17 : Pays débiteur et créditeur écologique (1961-2005)</i> <sup>14</sup> .....   | 54 |
| <i>Figure II-18 : Equivalent CO2 et équivalent carbone (C)</i> <sup>9</sup> .....   | 57 |
| <b>Figure II-19 : Analyse du cycle de vie d'une ampoule à incandescence</b> <sup>19</sup> .....   | 59 |
| <i>Figure II-20 : Kilogramme équivalent carbone par litre des différents carburants</i> .....   | 63 |
| <i>Figure II-21 : Facteurs d'émission (amont + combustion) de combustibles solides</i> .....  | 64 |
| <i>Figure II-22 : Facteurs d'émissions des différents moyens de production d'électricité</i> .....  | 66 |
| <i>Figure II-23 : Consommations moyennes des véhicules en fonction de leur ancienneté de mise en circulation</i> .....                              | 68 |
| <i>Figure II-24 : Consommation moyenne des véhicules essence et diesel en fonction de leur puissance administrative</i> .....                       | 68 |
| <i>Figure II-25 : Facteur d'émission en kilogramme équivalent carbone par kilogramme d'aliments produits</i> <sup>10</sup> .....                    | 71 |
| <i>Figure II-26 : Emission ou séquestration de carbone par changement d'affectation des terres et forêts</i> <sup>23</sup> .....                    | 72 |
| <i>Figure III-27 : Consommation électrique annuelle en kWh par faculté et résidence</i> .....   | 77 |
| <i>Figure III-28 : Consommations électriques mensuelle de l'UMMTO</i> .....   | 78 |
| <i>Figure III-29 : Consommation annuelle en gaz naturel par faculté et résidence</i> .....  | 79 |
| <i>Figure III-30 : Taux de conduite et embouteillage pour les différentes lignes</i> .....  | 82 |
| <i>Figure III-31 : Emission annuelle de GES par faculté/résidence</i> .....   | 84 |
| <b>Figure III-32 : Emission mensuelle de GES liée à la consommation électrique</b> .....  | 85 |
| <i>Figure III-33 : Emissions de GES liées à l'utilisation de gaz naturel pour le chauffage</i> .....  | 86 |
| <i>Figure III-34 : Emissions en équivalent carbone liées aux consommations alimentaires</i> .....   | 89 |
| <i>Figure III-35 : Emissions en équivalent carbone liées aux consommations alimentaires hors viande rouge</i> .....                                 | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Figure III-36 : Emissions totales de GES résultantes de l'UMMTO</i> .....   | 90  |
| <i>Figure IV-37 : Scénario représentatif du modèle "Vision énergétique du WWF pour 2050"<sup>14</sup></i> .....  | 95  |
| <i>Figure IV-38 : Bilan CO<sub>2</sub> global en milliards de tonnes de carbone (Giga tonnes de carbone)<sup>25</sup></i> .....  | 96  |
| <i>Figure IV-39 : Estimations des stocks de carbone dans les plantes et les sols forestier du monde<sup>27</sup></i> .....   | 98  |
| <i>Figure IV-40 : Capacités des forêts à absorber les émissions de carbone<sup>27</sup></i> .....  | 99  |
| <i>Figure 41 : Piégeage et stockage du CO<sub>2</sub> émanant de centrales électriques<sup>29</sup></i> .....  | 100 |
| <i>Figure IV-42 : Aperçu des options de stockage géologique<sup>29</sup></i> .....   | 102 |
| <i>Figure IV-43 : Zones de bassins sédimentaires convenant au stockage (gisements de pétrole, de gaz, formations salines, couches de houilles...)<sup>29</sup></i> ..... | 102 |
| <i>Figure IV-44 : Irradiation journalière reçue par m<sup>2</sup> pour Tizi-Ouzou</i> .....  | 105 |
| <i>Figure IV-45 : Durée d'insolation pour Tizi-Ouzou</i> .....   | 106 |
| <i>Figure IV-46 : Atlas de vents algériens<sup>5</sup></i> .....   | 107 |
| <i>Figure 47 : Vitesse du vent (m/s) en moyenne mensuelle pour Tizi-Ouzou</i> .....  | 108 |
| <i>Figure IV-48 : Application du concept de l'efficacité énergétique<sup>30</sup></i> .....  | 110 |
| <i>Figure IV-49 : Transport en commun utilisant le gaz naturel comme carburant<sup>31</sup></i> .....  | 112 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau I-1 : Prévisions climatiques à l'horizon 2020-2050<sup>5</sup></b> .....  | 13 |
| <b>Tableau I-2 : Fiche du protocole de Kyoto par pays<sup>7</sup></b> .....  | 17 |
| <b>Tableau II-3 : Forçage radiatif des principaux gaz à effet de serre<sup>13</sup></b> .....  | 40 |
| <b>Tableau II-4 : PRG des gaz à effet de serre<sup>13</sup></b> .....  | 42 |
| <b>Tableau II-5 : Empreinte écologique et carbone (hectares globaux par personne)<sup>14</sup></b> .....                                       | 45 |
| <b>Tableau II-6 : Biocapacité (hectares globaux par personne)<sup>14</sup></b> .....   | 50 |
| <b>Tableau II-7 : Equivalent carbone des gaz à effet de serre</b> .....  | 57 |
| <b>Tableau II-8 : Nature des données d'activités</b> .....   | 60 |
| <b>Tableau 9 : Equivalences entre les unités de mesure de l'énergie<sup>20</sup></b> .....   | 61 |
| <b>Tableau II-10 : Facteurs d'émission des combustibles liquides<sup>21</sup></b> .....  | 62 |
| <b>Tableau II-11 : Conversion des facteurs d'émission globaux (amont + combustion) en fonction de différents carburants<sup>21</sup></b> ..... | 62 |
| <b>Tableau II-12 : Calcul du facteur d'émission global (amont + combustion) du gaz naturel<sup>21</sup></b> .....                              | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| <i>Tableau II-13 : Facteurs d'émission globaux (amont + combustion) de combustibles solides</i> <sup>21</sup> .....                        | 64  |
| <i>Tableau II-14 : Facteurs d'émissions des différents moyens de production d'électricité</i> <sup>9</sup> .....                           | 65  |
| <i>Tableau II-15 : Facteurs d'émission des principaux carburants utilisés dans le transport routier</i> <sup>22</sup><br>.....             | 67  |
| <i>Tableau II-16 : Consommations moyennes des véhicules en fonction de leur ancienneté de mise en circulation</i> <sup>22</sup> .....      | 67  |
| <i>Tableau II-17 : Consommation moyenne des véhicules essence et diesel fonction de leur puissance administrative</i> .....                | 68  |
| <i>Tableau II-18 : Facteurs d'émission des véhicules par kilomètre et par classe de PTAC</i> <sup>22</sup> .....                           | 69  |
| <i>Tableau II-19 : Facteur d'émission en kilogramme équivalent carbone par tonne de produit alimentaire</i> <sup>20</sup> .....            | 70  |
| <i>Tableau II-20 : Les facteurs d'émission (ou de captation) par changement d'affectation des terres et des forêts</i> <sup>23</sup> ..... | 72  |
| <i>Tableau III-21 : Effectifs d'étudiants et enseignants pour l'année 2013-2014</i> .....  | 76  |
| <i>Tableau III-22 : Consommation électrique annuelle par faculté et résidence</i> .....  | 77  |
| <i>Tableau III-23 : Consommation électrique mensuelle en kWh de l'UMMTO</i> .....  | 78  |
| <i>Tableau III-24 : Consommation annuelle en gaz naturel par faculté et résidence</i> .....  | 79  |
| <i>Tableau III-25 : Données collectées pour le transport suburbain</i> .....   | 81  |
| <i>Tableau III-26 : Données utilisées pour l'alimentation</i> .....  | 82  |
| <i>Tableau III-27 : Emission annuelle de GES par faculté/résidence</i> .....   | 83  |
| <i>Tableau III-28 : Emission mensuelle de GES liée à la consommation électrique</i> .....  | 84  |
| <i>Tableau III-29 : Emission de GES liées à l'utilisation du gaz naturel pour le chauffage</i> .....                                       | 85  |
| <i>Tableau III-30 : Emissions de GES liées à l'utilisation du fioul pour le chauffage</i> .....  | 86  |
| <i>Tableau III-31 : Emissions annuelles en équivalent carbone et équivalent CO2 liées à l'usage du transport suburbain</i> .....           | 87  |
| <i>Tableau III-32 : Emissions annuelles en équivalent C et équivalent CO2 liées aux consommations alimentaires</i> .....                   | 88  |
| <i>Tableau III-33 : Emission totales de GES résultantes de l'UMMTO</i> .....   | 90  |
| <i>Tableau 34 : Empreinte carbone de l'UMMTO</i> .....   | 91  |
| <i>Tableau IV-35 : Données nationales annuelles liées à l'ensoleillement</i> <sup>5</sup> .....  | 103 |
| <i>Tableau IV-36 : Irradiation journalière reçue par m<sup>2</sup> pour Tizi-Ouzou</i> .....   | 104 |
| <i>Tableau IV-37 : Durée d'insolation pour Tizi-Ouzou</i> .....  | 105 |
| <i>Tableau IV-38 : Vitesse du vent (m/s) en moyenne mensuelle pour Tizi-Ouzou</i> .....  | 108 |

### Introduction générale

Le 20 juillet 1969, l'homme se pose sur la lune et prend conscience que la planète bleue est une minuscule oasis fragile, perdue dans l'immensité de l'univers. À l'époque, seulement 3,5 milliards d'êtres humains vivaient sur la Terre. Aujourd'hui, nous sommes près de 7 milliards... une augmentation de 100% en seulement 45 ans !

La croissance de la population mondiale associée au développement des activités industrielles induit depuis la révolution industrielle des rejets de plus en plus importants qui ont un impact fort sur l'environnement. Certes, en l'espace de seulement un demi-siècle, le niveau de vie d'une partie de l'humanité a plus évolué que pendant deux millénaires. Mais en contrepartie, les catastrophes industrielles n'ont cessé de se multiplier : Tchernobyl, Seveso, Bhopal, Exxon, Valdez pour ne citer que les plus graves, sans oublier les dégâts écologiques inquiétants : réchauffement climatique, pollution de l'air et de l'eau, disparitions des espèces animales et végétales, déforestation massive, désertification...

D'où ces questions fondamentales : Comment concilier progrès économique et social sans mettre en péril l'équilibre naturel de la planète ? Comment répartir les richesses entre les pays riches et ceux moins développés à l'heure où la planète semble déjà asphyxiée par le prélèvement effréné de ses ressources naturelles ? Comment atténuer l'inexorable réchauffement de notre atmosphère terrestre ? Et surtout, comment faire en sorte de léguer une terre en bonne santé à nos enfants ?

C'est pour apporter des réponses concrètes à ces questions qu'est né le concept de développement durable. Un concept que l'on résume aujourd'hui d'une simple phrase : « un développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ».

L'objectif n'étant pas ici de répertorier tous les facteurs de dégradation de l'environnement induits par les activités humaines, un impact global sera en particulier considéré :

Le changement climatique, la dimension globale de ses conséquences et la dépendance de nos sociétés vis-à-vis des combustibles fossiles source majeure des émissions de gaz à effet de serre en font un sujet d'actualité.

D'une part l'impact est global; les prévisions du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) font en effet état d'une augmentation moyenne de la température de l'atmosphère comprise entre 1.4 °C et 5.8 °C d'ici à 2100 avec ses nombreuses conséquences sur l'environnement. D'autre part nos sociétés ne parviennent que difficilement à réduire leur consommation d'énergie (transport, électricité, chauffage...) ou de produits impliquant une utilisation des hydrocarbures et donc des émissions de GES.

Le protocole de Kyoto qui oblige les pays signataires à ramener leurs émissions au niveau de 1990 et la politique des quotas de CO<sub>2</sub> impose aujourd'hui de prendre en compte cet impact dans le développement industriel, tertiaire, et des transports.

L'Algérie étant signataire du protocole de Kyoto, bien que n'étant pas concernée par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, elle serait bien inspirée de garder des niveaux stables de ces derniers.

Pour ce faire, le pays se doit de connaître et d'évaluer ses impacts environnementaux, et plus particulièrement le niveau de ses émissions en gaz carbonique.

Il est assez fréquent de penser que les émissions de gaz à effet de serre n'ont que deux grandes causes, et donc deux seules catégories de coupables : les transports et les industries. Ainsi, un épicier, une agence bancaire, un hôpital, un hôtel, ou un commissariat de police n'engendreraient pas d'émissions significatives, et un plan d'action pourrait très bien oublier ces acteurs de la vie économique ou sociale.

Malheureusement la réalité est bien plus complexe. Aujourd'hui, toute activité humaine, quelle qu'elle soit, engendre directement ou indirectement des émissions de gaz à effet de serre, même une compagnie d'assurances ou une université.

Ce mémoire a pour objet la modélisation environnementale des impacts d'activités humaines au sein d'une enceinte universitaire. La méthodologie prise en compte est le bilan carbone, c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre générées par une entreprise ou une organisation. Ces gaz à effet de serre sont traduits par leur équivalent en tonnes de CO<sub>2</sub>, et ces tonnes de CO<sub>2</sub> vont être compensées par des investissements financiers dans des projets visant à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, comme la reforestation, le développement des énergies renouvelables, ou encore la séquestration de carbone.

Dans le cadre de cette évaluation de l'empreinte carbone, nous prendrons le cas de l'université de Mouloud MAMMERI.

«On ne va jusqu'à l'espérance qu'à travers la vérité, au prix de grands efforts. Pour rencontrer l'espérance, quand on va jusqu'au bout de la nuit, on rencontre une autre aurore».

Georges Bernanos

# Chapitre I

## Contextes climatiques

## Introduction

Le climat terrestre a toujours fluctué. Dans le passé, les fluctuations étaient le résultat de causes naturelles, comme, par exemple, pendant les ères glaciaires. Aujourd'hui, on appelle « changement climatique », les variations climatiques qui s'opèrent durant environ 100 ans. Et selon la majorité des scientifiques, ces changements, et ceux prévus pour le reste du XXI<sup>e</sup> siècle, sont dus à l'activité humaine plutôt qu'à des changements naturels dans l'atmosphère. Aux yeux de la plupart des scientifiques, c'est le surplus de gaz à effet de serre libérés par les hommes qui représente la plus grande menace pour le climat.

Pour limiter les effets du changement climatique, les émissions de gaz à effet de serre doivent être sérieusement réduites. Pour les nations unies, le changement climatique représente l'une des plus graves menaces environnementales, sociales, économiques et sanitaires pour la planète. Les gouvernements des pays du monde se sont engagés à travailler pleinement à l'élaboration d'accords internationaux pour freiner le changement climatique, ils se sont lancés dans des actions d'envergure au niveau mondial.

### 1. Définition du changement climatique

Selon le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le changement climatique traduit une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. Cette définition diffère de celle figurant dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), selon laquelle les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

## 2. Contexte climatique

### 2.1. Les changements climatiques observés et les effets constatés

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque. On note déjà à l'échelle du globe une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau moyen de la mer.

#### Élévation des températures

Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Alors que dans le troisième Rapport d'évaluation du GIEC on estimait à 0.6 °C la tendance linéaire au réchauffement entre 1901 et 2000, la valeur établie pour 1906–2005 atteint 0.74 °C. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, quoique de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Par ailleurs, les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans.

Il est très probable que les températures moyennes dans l'hémisphère Nord ont été plus élevées pendant la seconde moitié du XXe siècle que durant n'importe quelle autre période de cinquante ans au cours des cinq derniers siècles et il est probable qu'elles ont été les plus élevées depuis 1 300 ans au moins.<sup>1</sup>

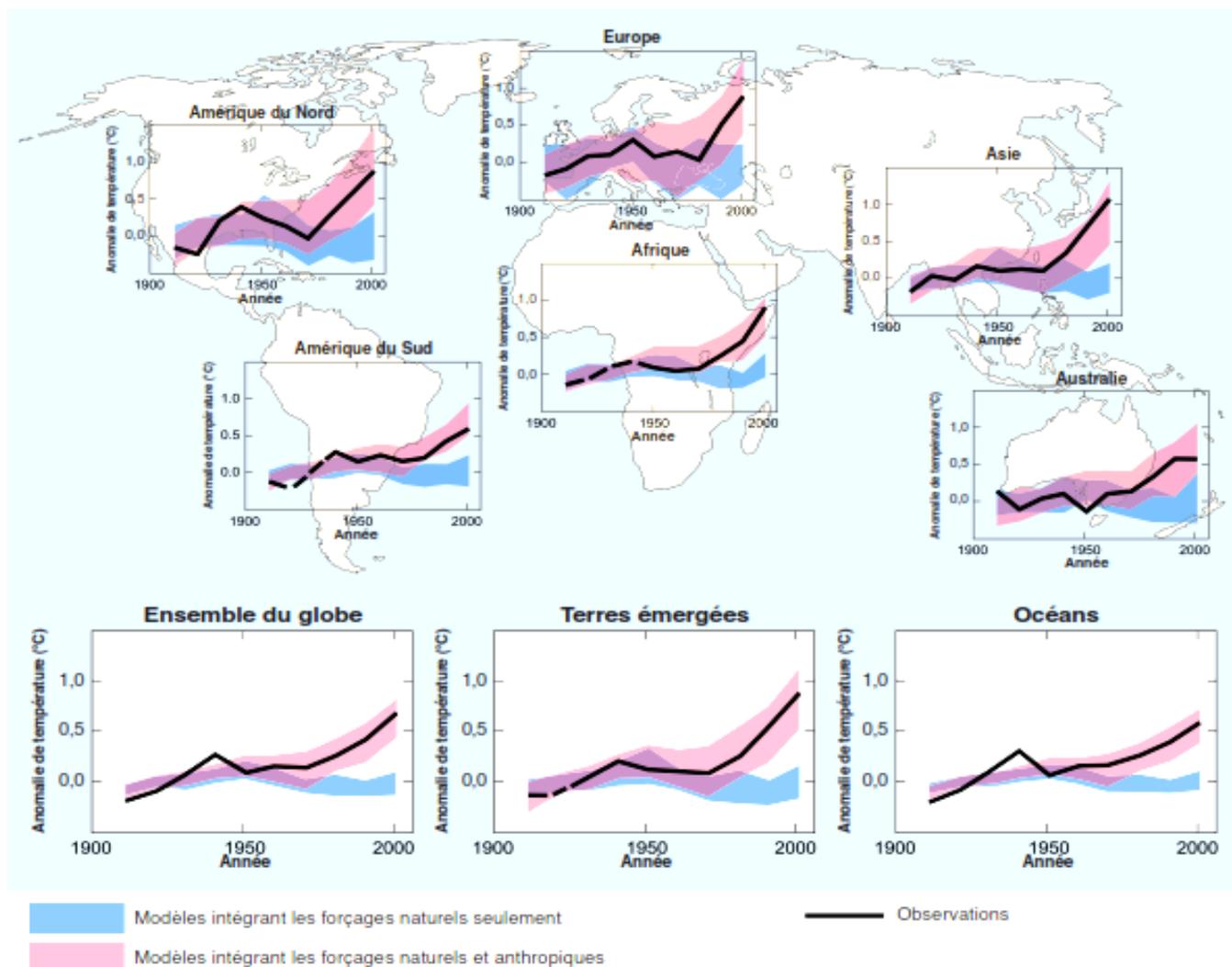


Figure I-1 : Variations des températures à l'échelle du globe et des continents <sup>1</sup>

### Elévation du niveau de la mer

L'élévation du niveau de la mer concorde avec le réchauffement. Sur l'ensemble de la planète le niveau moyen de la mer s'est élevé de 1.8 mm/an depuis 1961 et de 3.1 mm/an depuis 1993 sous l'effet de la dilatation thermique et de la fonte des glaciers, des calottes glaciaires et des nappes glaciaires polaires. On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme.

### Fonte des glaciers et réduction de la couverture neigeuse

La diminution observée de l'étendue des zones couvertes de neige et de glace concorde elle aussi avec le réchauffement.

Les données-satellite dont on dispose depuis 1978 montrent que l'étendue annuelle moyenne des glaces a diminué de 2.7 % par décennie dans l'océan Arctique avec un recul plus marqué en été (7.4 %).

Sur les deux dernières décennies, la masse des calottes glaciaires a diminué, les glaciers de pratiquement toutes les régions du globe ont continué à reculer, et les étendues de la banquise arctique et du manteau neigeux de printemps de l'hémisphère nord ont diminué.

La banquise arctique estivale a perdu, en surface, entre 9,4 % et 13,6 % depuis 1979. Les experts n'excluent pas sa disparition totale qu'elle ait totalement disparu au milieu du siècle, dans le cas du scénario le plus noir. Les glaciers de montagne ont perdu en moyenne environ 275 milliards de tonnes (Gt) de glaces par an entre 1993 et 2009.

Les experts estiment « très probable » que la calotte de glace du Groenland ait perdu en moyenne 34 Gt par an entre 1992 et 2001. L'Antarctique est soumis à une accélération comparable. La perte de glace des deux inlandsis contribue fortement à faire monter les océans.<sup>2</sup>

### Fonte des glaciers d'Alaska du fait du réchauffement climatique

Les glaciers d'Alaska ont fondu moins vite entre 1962 et 2006 que ce qui avait été prévu par les chercheurs américains. Néanmoins, le rythme de fonte des glaces reste préoccupant : 34 milliards de m<sup>3</sup> par an d'eau soit plus d'un million de litres par seconde perdus par les glaciers. Cela entraîne une hausse des mers de 0,12 millimètre par an.<sup>3</sup>

### Diminution la calotte de glace de l'Antarctique

Chaque année, la perte de masse de la calotte de glace en Antarctique représente en moyenne 7,8 millions de litres par seconde et 247 milliards de tonnes (en moyenne sur 2006-2009) contre 104 milliards de 2002 à 2006.<sup>3</sup>

### Glacé perdue par les glaciers de montagne du monde entier :

Chaque année, du fait du réchauffement climatique, les glaciers de montagne fondent en moyenne de 275 milliards de tonnes, cela représente l'équivalent d'une fonte de 8,7 millions de litres d'eau chaque seconde (compteur) soit la contenance de 2,3 piscines olympiques).<sup>3</sup>

### Dérèglement des précipitations :

Entre 1900 et 2005 les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie tandis qu'elles diminuaient au Sahel en Méditerranée en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970.

Les observations révèlent une augmentation de l'activité cyclonique intense dans l'Atlantique Nord depuis 1970 environ, cette évolution étant moins nette ailleurs. Aucune tendance claire ne se dégage quant au nombre de cyclones tropicaux qui se forment chaque année, et il est difficile de retracer avec certitude une évolution à long terme, surtout avant 1970.

Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et depuis 1975 élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier. <sup>1</sup>

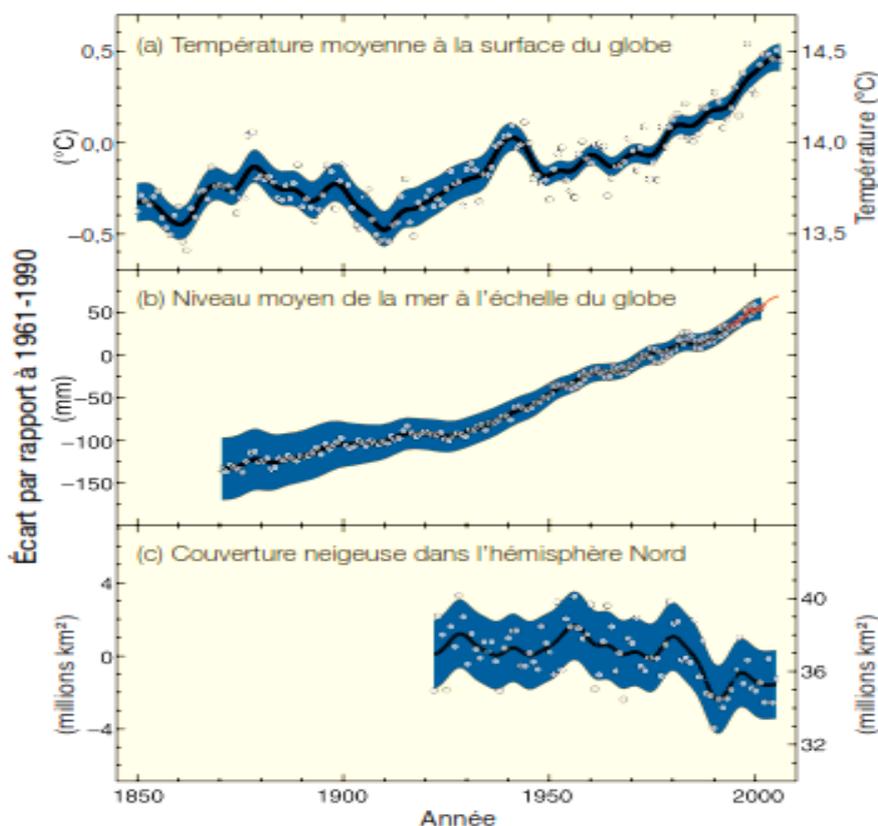


Figure I-2 : Variations de la température et du niveau de la mer dans le monde et de la cryosphère dans l'hémisphère Nord <sup>1</sup>

## 2.2. Les conséquences annoncées des changements climatiques

Dans un rapport alarmant publié il y a quelques semaines le GIEC, dans le troisième volet de son cinquième rapport général consacré à l'atténuation du changement climatique, mettait en garde contre les conséquences néfastes du changement climatique. C'est une révolution de notre modèle de développement économique que nous devons effectuer dès maintenant pour éviter un emballement du changement climatique.

Limiter la hausse de la température mondiale à 2 °C, c'est encore possible. Pour ce faire, il faudra réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 40 à 70% par rapport à 2010 d'ici 40 ans et les éliminer presque totalement d'ici la fin du siècle, mais les gouvernements et les acteurs économiques peinent quelque peu à agir.

En dépit des alertes publiées régulièrement par les scientifiques depuis 25 ans, les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de plus en plus vite. Elles ont crû de 2.2% par an entre 2000 et 2010 contre 0.4% en moyenne depuis 30 ans.

Pour l'instant la Terre s'est réchauffée de 0.85 °C depuis l'époque préindustrielle. A ce rythme le seuil des 2 °C supplémentaires qui est l'objectif international réitéré lors des conférences successives des Nations unies sur le climat sera franchi dès 2030. Les experts s'attendent également à ce que le réchauffement climatique provoque des événements météorologiques extrêmes plus intenses tels que les sécheresses, pluies diluviennes et des ouragans plus fréquents. Les vagues de chaleur vont très probablement se produire plus fréquemment et durer plus longtemps. Avec le réchauffement, nous nous attendons à voir les régions humides recevoir plus de pluies et les régions les plus sèches à en recevoir moins, même s'il va y avoir des exceptions.

Il est fort probable que certains systèmes, secteurs et régions seront plus durement touchés que d'autres par l'évolution du climat :

- Certains écosystèmes terrestres (régions montagneuses, forêt boréale...), marins (récifs coralliens...) ou côtiers (mangroves...)
- Certaines régions sèches des latitudes moyennes à cause de la modification de la pluviosité
- Les basses terres littorales et les grands deltas asiatiques et africains, étant donné la densité de population et la forte exposition à l'élévation du niveau de la mer

- Les petites îles
- Les populations disposant d'une faible capacité d'adaptation, dont l'état sanitaire pourrait s'aggraver.

La tendance actuelle doit donc être inversée et le temps presse pour agir. Le rapport du GIEC est clair: il n'y a pas de plan B. Il n'y a qu'un plan A, celui d'une action collective pour réduire les émissions dès maintenant». <sup>4</sup>

### 2.3. Coût du réchauffement climatique

Le réchauffement climatique est responsable de 300.000 morts par an et coûte 90 milliards d'euros (125 milliards de dollars) chaque année, selon un rapport publié par le Forum humanitaire mondial de mai 2009. Selon ce rapport, vers 2030, les décès dus au réchauffement atteindront près d'un million par an. <sup>3</sup>

### 2.4. Les causes de l'évolution du climat: Les activités anthropiques en première ligne

Les variations de la concentration de gaz à effet de serre (GES) et d'aérosols dans l'atmosphère de la couverture végétale et du rayonnement solaire est l'une des principales causes modifiant le bilan énergétique du système climatique.

Les émissions mondiales de GES imputables aux activités humaines ont augmenté depuis l'époque préindustrielle; la hausse a été de 70 % entre 1970 et 2004. Les rejets annuels de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) – le plus important gaz à effet de serre anthropique – ont progressé de 80 % environ entre 1970 et 2004. À compter de l'an 2000 on a observé une inversion de la tendance au fléchissement des émissions de CO<sub>2</sub> par unité d'énergie produite qui se dessinait à long terme.

Depuis 1750 sous l'effet des activités humaines les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, de méthane (CH<sub>4</sub>) et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) se sont fortement accrues ; elles sont aujourd'hui bien supérieures aux valeurs historiques déterminées par l'analyse de carottes de glace portant sur de nombreux millénaires. En 2005 les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> (379 ppm) et de CH<sub>4</sub> (1 774 ppb) ont largement excédé l'intervalle de variation naturelle des 650 000 dernières années. La cause première de la hausse de la concentration de CO<sub>2</sub> est l'utilisation de combustibles fossiles ; le changement d'affectation des terres y contribue aussi,

mais dans une moindre mesure. Il est très probable que l'augmentation observée de la concentration de CH<sub>4</sub> provient surtout de l'agriculture et de l'utilisation de combustibles fossiles; cette progression s'est toutefois ralentie depuis le début des années 1990 ce qui concorde avec le fait que les émissions totales (anthropiques et d'origine naturelle) ont été quasi constantes durant cette période. Quant à la hausse de la concentration de N<sub>2</sub>O elle est essentiellement due à l'agriculture.

On peut avancer avec un degré de confiance très élevé que les activités humaines menées depuis 1750 ont eu pour effet net de réchauffer le climat.

L'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XXe siècle est très probablement attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques. Il est probable que tous les continents, à l'exception de l'Antarctique, ont généralement subi un réchauffement anthropique marqué depuis cinquante ans.

À lui seul le forçage total produit par l'activité volcanique et les fluctuations du rayonnement solaire depuis cinquante ans aurait probablement dû refroidir le climat. Seuls les modèles qui tiennent compte des forçages anthropiques parviennent à simuler les configurations du réchauffement observées et leurs variations. Il reste difficile de simuler et d'imputer l'évolution des températures aux échelles sous continentales. <sup>1</sup>

### 2.5. Contexte climatique national

L'Algérie, pays méditerranéen, glisse vers la semi-aridité et les risques de désertification restent très élevés. Cela présage des conditions naturelles singulièrement plus difficiles qu'aujourd'hui, dont les conséquences commencent à se faire sentir dans beaucoup de ses régions. Cette nouvelle donnée insinue que toutes les prédictions calculées à partir des données historiques sur le cycle naturel, qui servent de base aux décisions d'investissement dans le secteur de l'hydraulique, devraient être réétudiées en fonction des nouvelles données climatiques. Les changements climatiques observés à l'échelle globale de la planète se sont traduits en Algérie par :

- Une hausse de la température moyenne minimale et maximale enregistrée sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis les années soixante-dix et qui continue jusqu'à nos jours.

- Les impacts des changements climatiques ont provoqué une sécheresse endémique depuis 1975, engendrant une désertification avec une dégradation de plus de 8 % de la forêt et une érosion éolienne et hydrique des sols.
- Une tendance à la sécheresse observée durant les 30 dernières années et qui a eu un impact négatif sur les ressources en eau par :
  - Un déficit pluviométrique d'environ 30 %.
  - Un impact sur le niveau de remplissage des barrages et l'alimentation des nappes souterraines.
  - Des conséquences sur les activités socio-économiques.
  - Un impact sur l'environnement (pollution urbaine, industrielle et agricole, salinisation des eaux du fait combiné de la surexploitation des nappes et de la sécheresse).
    - S'agissant de l'agriculture, des études ont montré les risques suivants liés à ces changements climatiques :
      - une érosion plus forte entraînant une grande dégradation des sols.
      - des déficits de rendements des cultures pluviales pouvant atteindre jusqu'à 50 % durant la période 2000–2020.
      - une réduction de la durée végétative des cultures.<sup>5</sup>

## 2.6. Changements climatiques aux horizons 2020 et 2050

Pour étudier l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau, les données de projections climatiques saisonnières sur l'Algérie à l'horizon 2020 et 2050 obtenues par le modèle UKHI (United Kingdom Meteorological Office High Resolution) sont utilisées en adoptant le scénario «IS92a» du GIEC avec les deux hypothèses haut et bas décrites dans le tableau I-1 :

Tableau I-1 : Prévisions climatiques à l'horizon 2020-2050 <sup>5</sup>

| saison    | 2020              |      |                  |      | 2050              |      |                  |      |
|-----------|-------------------|------|------------------|------|-------------------|------|------------------|------|
|           | Températures (°c) |      | Pluviométrie (%) |      | Températures (°c) |      | Pluviométrie (%) |      |
|           | Bas               | Haut | Bas              | Haut | Bas               | Haut | Bas              | Haut |
| Automne   | 0,8               | 1,1  | 6                | 8    | 1,2               | 2,2  | -10              | 0,15 |
| Hiver     | 0,65              | 0,8  | 10               | 10   | 0,95              | 1,6  | 16               | 16   |
| Printemps | 0,85              | 0,95 | 5                | 9    | 1,25              | 1,9  | 10               | 20   |
| Eté       | 0,85              | 1,05 | 8                | 13   | 1,25              | 2,1  | 15               | 22   |

### 3. Lutte internationale contre le réchauffement climatique : une logique de compromis

#### 3.1. Les rapports du GIEC : La force de l'expertise collective

Le Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé en 1988 par deux institutions des Nations unies : l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Cet organisme intergouvernemental est ouvert à tous les pays membres de ces deux organisations.

Le GIEC a pour mandat d'évaluer, sans parti pris et de manière méthodique et objective, l'information scientifique, technique et socio- économique disponible en rapport avec la question du changement du climat. Ces informations sont sélectionnées parmi les études effectuées par des organismes pluridisciplinaires internationaux et publiées dans des revues scientifiques.

La compréhension des fondements scientifiques du changement climatique provoqué par l'homme doit permettre d'en établir les conséquences et d'envisager des stratégies d'adaptation et d'atténuation. Les rapports ne doivent pas préconiser de choix de nature politique.

Le GIEC rend ses rapports d'évaluation tous les six ans. Chacun d'entre eux est rédigé par des centaines de chercheurs, puis revu par l'ensemble de la communauté scientifique, ainsi que les experts des 195 pays membres du GIEC, mais aussi d'ONG, d'entreprises, etc.<sup>2</sup>

### 3.2. Le cinquième rapport du GIEC aggrave le diagnostic sur l'évolution du réchauffement climatique

Le 27 septembre 2013, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a adopté le premier volet de son cinquième rapport. Sur plusieurs points cette édition apparaît bien plus alarmante que la précédente, publiée en 2007.

Adopté ligne à ligne par les délégués et les scientifiques de l'ensemble des 195 pays membres du GIEC, il présente l'état des connaissances scientifiques sur le réchauffement de la manière la plus consensuelle possible. Le tableau est assez sombre. « C'est une confirmation mais aussi un renforcement des diagnostics précédents », résume l'un des vice-présidents du GIEC.

« Le réchauffement climatique est sans équivoque, et depuis les années 1950, beaucoup des changements observés sont sans précédent sur les dernières décennies à millénaires », indique le résumé du rapport à l'intention des décideurs.<sup>2</sup>

### 3.3. Le protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto, qui fixe des objectifs de réduction de gaz à effet de serre à une quarantaine de pays industrialisés, fait suite à la Convention sur le climat de 1992. Ouvert aux Etats parties à la Convention, il a été ratifié par 190 pays dont l'Algérie [octobre 2010]. Il ne comporte toutefois d'engagement que pour 38 pays industrialisés, avec un objectif de réduction moyenne de 5,2 % par rapport aux émissions de 1992 des émissions de six gaz à effet de serre entre 2008 et 2012.

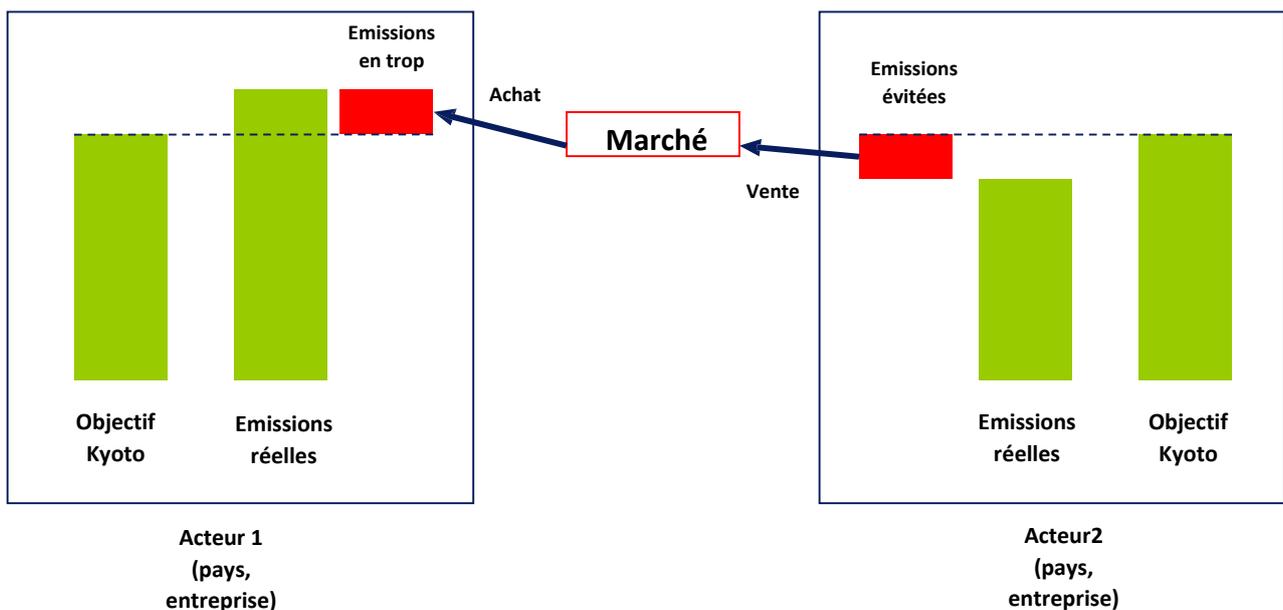
La négociation de Bonn finalisée à Marrakech en 2001 a permis la ratification par de nombreux pays en 2002 : par exemple, l'Union européenne alors composée de 15 États membres le 31 mai 2002, le Japon le 4 juin 2002. Par la suite, la Russie a ratifié le protocole le 22 octobre 2004 et cela a permis l'entrée en vigueur du protocole le 16 février 2005. En effet, pour entrer en vigueur, le protocole de Kyoto devait d'abord être ratifié par 55 pays représentant 55 % des émissions totales de GES en 1990.

### 3.3.1. Mécanismes du protocole de Kyoto : les moyens de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>

#### Mécanisme des permis négociables :

Il s'agit d'un système de marché de permis d'émission. Principal mécanisme prévu par le protocole de Kyoto, le système des permis négociables vise à encourager le plus rapidement possible l'amélioration des modes de production les plus polluants et les moins efficaces.

- Le protocole fixe un seuil d'émissions pour les pays concernés par les réductions.
- Les émissions évitées sont négociables (échangeables).
- Un surplus d'émissions peut être compensé par l'achat de quotas d'émissions évitées ailleurs.
- Les pays pauvres ou en voie de développement peuvent vendre leurs quotas de pollution non utilisés aux pays plus riches.



*Figure I-3 : Schéma de fonctionnement du mécanisme des permis négociables<sup>6</sup>*

#### Mécanisme de la mise en œuvre conjointe (MOC) :

La mise en œuvre conjointe (MOC) est un mécanisme de financement de projets ayant pour objectif premier le stockage de carbone ou la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il concerne les projets industriels ou forestiers visant à lutter contre l'effet de serre et

lancés tout particulièrement par la Russie et les pays d'Europe centrale et orientale. Ces projets permettent de générer des crédits d'émission de gaz utilisables par les investisseurs.

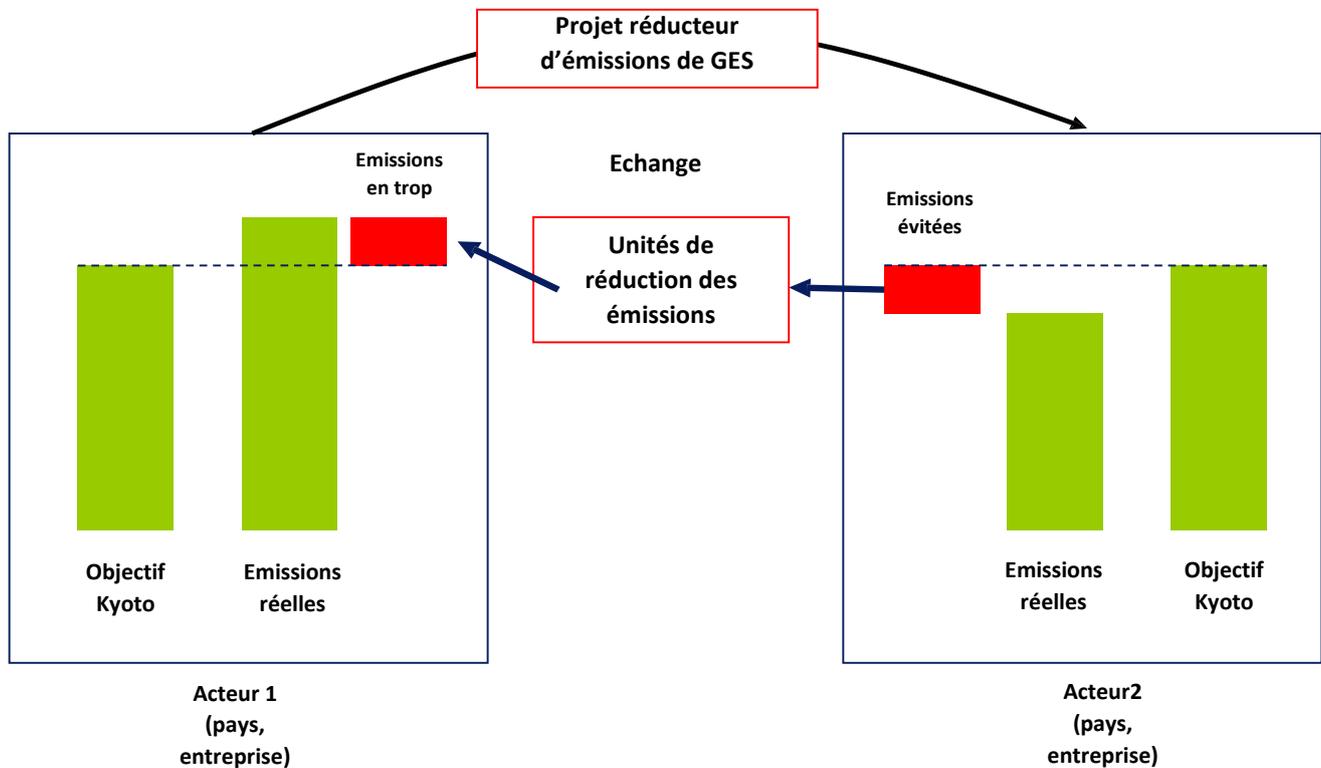


Figure I-4 : Schéma de fonctionnement du mécanisme de la mise en œuvre conjointe<sup>6</sup>

### Le mécanisme de développement propre (MDP)

Il est proche du dispositif précédent, à la différence que les investissements sont effectués par un pays développé, dans un pays en développement.

Au niveau international, la Conférence des parties au Protocole de Marrakech de décembre 2001 a permis de fixer les critères d'éligibilité des projets au titre des mécanismes de mise en œuvre conjointe ou de développement propre :

- le projet doit être «additionnel», c'est à dire générer une baisse effective des émissions pour l'activité concernée par rapport à ce qui se serait produit en l'absence du projet en question ;
- le pays hôte, qui doit au préalable ratifier le Protocole de Kyoto, doit ensuite approuver formellement le projet si celui-ci s'inscrit dans sa stratégie de développement durable.

Tableau I-2 : Fiche du protocole de Kyoto par pays<sup>7</sup>

| PAYS          | Objectif Kyoto<br>2008-2012 (en<br>% par rapport<br>à 1990) | UQA 2008-<br>2012<br>(MtCO <sub>2</sub> /an) | Moyenne<br>annuelle 2008-<br>2010 hors UTCF<br>(MtCO <sub>2</sub> eq) | Moyenne<br>annuelle 2008-<br>2010 hors UTCF<br>(%) | Distance<br>objectif Kyoto | Objectif Kyoto<br>envisagé pour 2013-<br>2020 (%) de<br>réduction en 2020<br>par rapport à 1990) |
|---------------|---|--|---|--|----------------------------|--|
| Allemagne     | -21   | 974  | 941   | -23,6  | 2,6                        | -20  |
| Autriche      | -13   | 69   | 84  | 6  | -19                        | -20  |
| Belgique      | -7,5  | 135  | 131   | -9,8   | 2,3                        | -20  |
| Danemark      | -21   | 55   | 62  | -10,8  | -10,2                      | -20  |
| Espagne       | 15  | 333  | 375   | 29,5   | -14,5                      | -20  |
| Finlande      | 0   | 71   | 70  | -1   | 1                          | -20  |
| France        | 0   | 564  | 525   | -6,9   | 6,9                        | -20  |
| Grèce         | 25  | 134  | 125   | 16,6   | 8,4                        | -20  |
| Irlande       | 13  | 63   | 64  | 14,3   | -1,3                       | -20  |
| Italie        | -6,5  | 483  | 511   | -1   | -5,5                       | -20  |
| Luxembourg    | -28   | 9  | 12  | -9,8   | -18,2                      | -20  |
| Pays bas      | -6  | 200  | 205   | -4   | -2                         | -20  |
| Portugal      | 27  | 76   | 74  | 23,5   | 3,5                        | -20  |
| Royaume uni   | -12,5   | 682  | 600   | -23,1  | 10,6                       | -20  |
| Suède         | 4   | 75   | 63  | -12,5  | 16,5                       | -20  |
| Bulgarie      | -8  | 122  | 63  | -53  | 45                         | -20  |
| Estonie       | -8  | 39   | 19  | -56  | 48                         | -20  |
| Hongrie       | -6  | 108  | 69  | -40  | 34                         | -20  |
| Lettonie      | -8  | 24   | 12  | -55  | 47                         | -20  |
| Lituanie      | -8  | 45   | 22  | -56  | 48                         | -20  |
| Pologne       | -6  | 530  | 395   | -30  | 24                         | -20  |
| Rep. Tchèque  | -8  | 179  | 139   | -28  | 20                         | -20  |
| Roumanie      | -8  | 256  | 130   | -53  | 45                         | -20  |
| Slovaquie     | -8  | 66   | 47  | -35  | 27                         | -20  |
| Slovénie      | -8  | 19   | 20  | -1   | -7                         | -20  |
| Australie     | 8   | 592  | 547   | 0  | 8                          | -5% en 2020 par<br>rapport à 2000  |
| Belarus       | -8  | 128  | 89  | -36  | 28                         | -5 à -10   |
| Croatie       | -5  | 30   | 30  | -6   | 1                          | -20 (idem UE 27)   |
| Islande       | 10  | 4  | 5   | 41   | -31                        | -20 (idem UE 27)   |
| Japon         | -6  | 1186   | 1249  | -1   | -5                         | Pas d'engagement<br>dans une 2e période  |
| Kazakhstan    | 0   |  | 255   | -29  | 29                         | -15  |
| Liechtenstein | -8  | 0  | <1  | 8  | -16                        | -20  |
| Monaco        | -8  | 0  | <1  | -15  | 7                          | -20  |
| Norvège       | 1   | 50   | 53  | 7  | -6                         | -30  |

|                               |           |                      |             |            |           |                                      |
|-------------------------------|-----------|----------------------|-------------|------------|-----------|--------------------------------------|
| Nouvelle- Zélande             | 0         | 62                   | 72          | 17         | -17       | Pas d'engagement dans une 2e période |
| Russie                        | 0         | 3323                 | 2180        | -34        | 34        | Pas d'engagement dans une 2e période |
| Suisse                        | -8        | 49                   | 53          | 1          | -9        | -20                                  |
| Ukraine                       | 0         | 921                  | 390         | -58        | 58        | -20                                  |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>-4</b> | <b>11656</b>         | <b>9678</b> | <b>-20</b> | <b>16</b> |                                      |
| États unis                    | -7        | Pas de participation | 6804        | 10         | -17       | Non partie au protocole              |
| Canada (sortie du KP en 2011) | -6        | 558                  | 704         | 19         | -25       | Non partie au protocole              |

Les pays de l'Europe de l'Est (ex URSS) figurent parmi les bons élèves du protocole, ils enregistrent les plus fortes baisses en émissions de CO<sub>2</sub>. Cela résulte de la modernisation de leurs industries lourdes, très polluantes.

Les États unis qui n'ont pas ratifié le protocole, et le Canada qui en est sorti en 2011, font partie des mauvais élèves. Ils ont vu leurs émissions croître significativement par rapport au seuil de 1990.

#### Unité de Quantité Attribuée (UQA)

Equivalent à 1 million de tonne de CO<sub>2</sub>, c'est l'unité des quotas fixés et attribués pour chaque pays ayant ratifié le protocole de Kyoto. Ces États les attribuent à leur tour à leurs entreprises.

#### Valeurs des échanges volontaires de titres de compensation carbone dans le mode

La valeur totale des compensations carbone volontaires progresse à toute vitesse : elles étaient de 97 millions de dollars en 2006 et 331 millions de dollars en 2007, soit une augmentation de 241%.<sup>3</sup>

#### Chiffre d'affaire du marché des crédits carbone

Les deux bourses qui gèrent les crédits carbone ont enregistré entre 120 et 150 milliards de dollars de volume d'échange en 2009. Ce marché, encore jeune en 2010, engendre des effets surprenants : des entreprises encore polluantes ont des crédits excédentaires qu'elles revendent.

### 3.3.2. Le Protocole de Kyoto : une architecture à reconduire

Malgré le refus de certains pays développés de s'engager pour une deuxième période, la poursuite du Protocole est essentielle pour éviter que ne disparaisse au 1er janvier 2013 le seul véritable texte juridiquement contraignant concernant le climat. Enfin, au-delà de la simple fixation d'objectifs de réduction, le Protocole de Kyoto consiste également en un ensemble d'instruments et de règles dont il convient de préserver les acquis en vue de l'élaboration du futur régime. Adopter une deuxième et dernière période d'engagement sous le Protocole de Kyoto sous forme de solution transitoire constitue un réel tremplin vers l'adoption à terme d'un nouvel accord juridiquement contraignant sous la Convention incluant l'ensemble des principaux émetteurs.

Une nouvelle négociation s'est ouverte à Bali en 2007 dans le but de conclure un accord international sur l'après-Kyoto. Une étape a été marquée, en décembre 2011, lors de la conférence de Durban, en Afrique du Sud, vers la conclusion d'un nouveau pacte mondial sur le climat. Une nouvelle fois et sur fond d'intérêts nationaux, la conférence sur le climat n'a pas tenu toutes ses promesses et les négociations d'un nouvel accord semblent être reportées. Néanmoins, le Protocole de Kyoto, adopté en 1997 et entré en vigueur en février 2005, a été reconduit, pour une deuxième phase qui s'étendra de 2013 à 2020.

La poursuite du Protocole de Kyoto a donc renforcé l'argumentaire des pays développés en faveur de l'adoption d'un nouvel accord juridiquement contraignant sous la Convention, prônant la continuité de l'action climatique et la sécurité juridique qu'offre ce type d'instrument juridique.

## 4. Paris Climat 2015

La France présidera la Conférence des Parties de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de 2015, du 30 novembre au 11 décembre (COP21/CMP11). C'est une échéance cruciale, puisqu'elle doit aboutir à un nouvel accord international sur le climat, applicable à tous les pays, dans l'objectif de maintenir le réchauffement mondial en deçà de 2°C. Le Président de la République française a annoncé la candidature de son pays dès septembre 2012. Pour ce faire, la France agira au plan international pour faciliter la recherche d'un consensus, ainsi qu'au sein de l'Union européenne qui occupe une place clé dans les négociations sur le climat : l'Union européenne, première puissance économique mondiale, doit

continuer à se donner les moyens d'entraîner la plupart des pays de la planète dans la relève du défi climatique.

Cette conférence devra marquer une étape décisive dans la négociation du futur accord international qui entrera en vigueur en 2020, en adoptant ses grandes lignes, avec comme objectif que tous les pays, dont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre, pays développés comme pays en développement, soient engagés par un accord universel contraignant sur le climat.

## 5. Le développement durable, seule alternative contre le changement qu'est climatique

### 5.1. Le développement durable : ce que c'est

Le concept de développement durable est apparu au début du XXe siècle. Ses origines sont imprécises puisque l'idée repose sur des notions générales de saine gestion considérant une nécessité de prévision dans un système limité. L'élément fondateur généralement accepté repose sur une définition provenant des travaux de la commission mondiale sur l'environnement et le développement qui a établi le rapport Brundtland (1987), du nom de sa présidente. Voici les principes repris dans la définition :

« C'est un développement qui répond aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. »

La recherche d'un développement qui respecte le concept de développement durable requiert donc une perspective d'analyse qui fait référence aux besoins. L'analyse ou l'évaluation de la durabilité d'un développement doit aussi considérer, au minimum, les effets présents et futurs de ce développement sur les piliers économique, social et environnemental.

Le concept de développement durable souligne aussi l'importance de considérer les effets des limites technologiques et sociales sur l'environnement. C'est-à-dire qu'il existe une limite dans la capacité de l'environnement à s'adapter aux flux provenant de l'activité humaine et une limite d'adaptation de l'activité humaine face aux modifications de l'environnement. Ces limites doivent donc être mises en perspective avec la capacité de l'environnement à répondre à nos besoins. Le concept de « biocapacité » est proposé par Catton (1982) pour définir cette limite. Il s'agit, dans ce cas, de la charge maximale de substance supportable à long terme par l'environnement. De plus, ces limites se modifient dans le temps et sont variables en fonction

de l'endroit où se situe la réponse au besoin. Il existe donc une variabilité spatiale et temporelle (spatiotemporelle) des limites qui complexifie l'évaluation de la durabilité d'un développement. La variabilité des réponses de l'environnement dans différentes régions et moments face aux interactions avec l'activité humaine doit aussi être considérée pour une évaluation plus représentative.

## 5.2. Les enjeux du développement durable

Épuisement des ressources, impact des activités humaines et inégalités sociales suscitent aujourd'hui des inquiétudes grandissantes. Pour être durable, le développement se doit de répondre à ces grands enjeux.

### 5.2.1. Économiser les ressources

Notre planète connaît depuis trois siècles une explosion démographique, qui ne cesse de s'accroître, aggravée par une augmentation des consommations individuelles, en particulier la consommation d'énergie. D'1 milliard d'habitants en 1800, nous sommes passés à plus de 7 milliards aujourd'hui et nous serons près de 10 milliards d'ici à 2100.

Ce rythme de croissance est bien supérieur à celui des ressources agricoles et met à mal les réserves de ressources énergétiques non renouvelables (charbon, pétrole, gaz naturel, uranium).

Si tous les pays du monde avaient un mode de vie équivalent à celui d'un Européen, il faudrait 3 Terres pour subvenir aux besoins de tous.

La biodiversité est aussi en péril : l'homme a modifié la nature plus rapidement et plus radicalement dans les cinq dernières décennies que jamais dans son histoire. Il est indispensable de freiner l'extinction des espèces, 100 à 1 000 fois plus élevée aujourd'hui qu'autrefois.

### 5.2.2. Limiter le changement climatique

Les activités humaines ont des impacts sur l'environnement : les gaz à effet de serre (GES) s'accumulent dans l'atmosphère et entraînent le réchauffement de la planète.

Les perturbations climatiques que cette situation commence à engendrer risquent d'avoir des conséquences imprévisibles et une portée considérable sur le plan environnemental, social et économique.

Certains cycles naturels sont menacés, ce qui pourrait affecter l'eau douce, les sols à vocation agricole, la forêt, la biodiversité. Avec, à la clé, des risques de pénurie.

### 5.2.3. Prévenir les conflits

Aujourd'hui, 20% de la population mondiale consomme près de 80% des ressources de la Terre. La disparité croissante entre pays développés et en développement est aujourd'hui insoutenable.

Inégalité d'accès aux ressources, en particulier à l'eau et à l'électricité, inégalité d'accès aux soins et à l'éducation, pauvreté, malnutrition, manque d'hygiène, exclusion... les conséquences des écarts grandissants entre les situations des ménages en divers endroits de la planète sont devenues l'un des facteurs d'instabilité mondiale.

## 5.3. Les trois piliers du développement durable

L'objectif du développement durable est de définir des schémas viables qui concilient les trois aspects écologique, social et économique des activités humaines : « trois piliers » à prendre en compte par les collectivités comme par les entreprises et les individus. La finalité du développement durable est de trouver un équilibre cohérent et viable à long terme entre ces trois enjeux.

### 5.3.1. La préservation environnement

Les ressources naturelles ne sont pas infinies. La faune, la flore, l'eau, l'air et les sols, indispensables à notre survie, sont en voie de dégradation. Ce constat de rareté et de finitude des ressources naturelles se traduit par la nécessité de protéger ces grands équilibres écologiques pour préserver nos sociétés et la vie sur Terre. Parmi les principaux enjeux environnementaux, les thématiques suivantes ont été identifiées :

#### **Economiser et préserver les ressources naturelles**

- Utiliser de façon optimale et efficace les ressources naturelles.
- Veiller à limiter le gaspillage (énergie, eau, matériaux, alimentation...).
- Privilégier l'utilisation de ressources renouvelables (animales, végétales, minières, énergétiques, etc.) et de matériaux recyclables.

#### **Protéger la biodiversité, c'est-à-dire maintenir la variété des espèces animales et végétales pour préserver les écosystèmes**

- Epargner des espèces menacées ou en voie de disparition.
- Intégrer les variétés anciennes ou rares.

- Eviter les produits OGM, favoriser les produits issus de l'agriculture biologique, biodynamique et raisonnée.

#### **Eviter les émissions de CO<sub>2</sub> pour lutter contre le changement climatique**

- Optimiser les transports (personnes, prestations, biens matériels).
- Choisir des prestations locales (services et biens).
- Favoriser l'utilisation de produits et d'espèces végétales de saison.

#### **Gérer et valoriser les déchets:**

- Limiter la consommation aux quantités nécessaires
- Favoriser le tri, le recyclage et la valorisation des déchets
- Intégrer ces problématiques dans sa politique d'achat responsable : analyse du cycle de vie des produits, sélection de produits issus du recyclage...

#### **5.3.2. L'équité sociale**

C'est la capacité de notre société à assurer le bien-être de tous ses citoyens. Ce bien-être se traduit par la possibilité pour tout un chacun, d'accéder, quel que soit son niveau de vie, aux besoins essentiels : alimentation, logement, santé, accès égal au travail, sécurité, éducation, droits de l'homme, culture et patrimoine, etc. Parmi les principaux enjeux sociaux, les thématiques suivantes ont été identifiées :

#### **Lutter contre l'exclusion et les discriminations, c'est-à-dire respecter et protéger les personnes les plus faibles (personnes handicapées, âgées, pauvres...), donner l'accès aux droits sociaux pour tous**

- Instaurer une politique sociale avancée : garantir de bonnes conditions de travail, favoriser la formation, intéresser les salariés...
- Mettre en place une politique d'aide à la réinsertion (professionnelle et/ou personnelle)
- Développer des projets ciblés pour limiter les disparités : égalité Homme – Femme, nivellement des salaires, accessibilité pour tous...

#### **Favoriser la solidarité**

- Contribuer à la réduction des inégalités sociales par la collaboration avec des associations et/ou des projets locaux ou internationaux

- Sélectionner des produits issus du commerce équitable (nord-sud et nord-nord), c'est-à-dire garantir un revenu minimal qui couvre les frais réels et le salaire de l'exploitant
- Développer des relations avec des acteurs spécifiques (collectivités, associations, fournisseurs...), locaux ou internationaux, afin d'améliorer certaines particularités communes.

### Contribuer au bien-être

- Développer le dialogue social, les remontées d'informations entre nos partenaires, nos fournisseurs, nos clients et nos salariés.
- Tenir compte des spécificités de chacun, en tant qu'employé et/ou client : accessibilité aux personnes à mobilité réduite, aménagement d'horaires pour les jeunes mères/pères, établissement d'une politique de mobilité...
- Proposer des actions ayant un impact positif sur les personnes concernées : détente, cohésion, contact avec la nature, échanges facilités...

### Valoriser les territoires

- Favoriser les produits et savoir-faire locaux
- Préserver, partager et diffuser le patrimoine local : culturel et naturel, incluant les traditions, langues, mœurs et arts sous toutes leurs formes.

#### 5.3.3. L'efficacité économique

Il s'agit de concilier la viabilité d'un projet, d'une organisation (performance économique) avec des principes éthiques, tels que la protection de l'environnement et la préservation du lien social. Selon ce système, le prix des biens et services doit refléter le coût environnemental et social de l'ensemble de leur cycle de vie, c'est-à-dire de l'extraction des ressources à la valorisation, en tenant compte de la fabrication, de la distribution et de l'utilisation.

Les enjeux d'une économie responsable sont nombreux, souvent liés à l'un des deux autres piliers du développement durable, l'environnement et le social, voir aux deux. Voici quelques pistes identifiées :

- Développer des pratiques commerciales innovantes et éthiques pour mieux répartir les bénéfices et les richesses. Ex : le commerce équitable, le microcrédit, le micro-don
- Répartir les richesses et les bénéfices de façon plus juste
- Intégrer le coût social et environnemental dans le prix des produits
- Chercher à développer le tissu économique local

#### Faire appel à des méthodes alternatives

- Economie circulaire : réduire, récupérer, recycler, réparer au lieu de produire
- Economie de la fonctionnalité : payer pour un service ou pour l'usage d'un bien au lieu du bien lui-même. Ex : auto-partage, habitat collectif, location de pneu aux kilomètres parcourus, vente de l'usage des photocopieurs et de leurs services...
- Consommation collaborative ou économie du partage, dont le principe repose sur la mutualisation des ressources (compétences, temps, argent, biens) à travers de nouvelles formes d'échanges entre particuliers (partage, troc, échange, location).

### 5.4. Les acteurs du développement durable

Citoyens, entreprises, collectivités territoriales, gouvernements, institutions, associations, scientifiques : pour réagir et agir face aux menaces qui pèsent sur les hommes et la planète, toutes les parties prenantes doivent se mobiliser.

#### 5.4.1. L'indispensable gouvernance

Aux trois piliers du développement durable (économie, société, environnement), s'ajoute un lien transversal, indispensable à la définition et à la mise en œuvre de politiques et d'actions relatives au développement durable : la gouvernance. Autrement dit, la participation active et organisée de tous les acteurs au processus de décision pour accompagner une transformation durable et en perpétuelle évolution permettant de conjuguer présent et avenir.

## 5.4.2. Les acteurs

### 5.4.2.1. Les pouvoirs publics

Lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, 173 gouvernements se sont engagés dans un programme international d'actions pour le XXI<sup>e</sup> siècle : **l'agenda 21**. Ce texte regroupe un ensemble de mesures qui concernent notamment le changement climatique, la désertification, la déforestation, la perte de la biodiversité, la pollution des eaux, l'épuisement des sols, les conditions de travail dans les pays en développement.

Au niveau de la zone économique européenne, il se décline en une **Stratégie européenne du développement durable**, qui donne des grandes lignes d'actions à ses états membres.

### 5.4.2.2. Les collectivités locales

L'Agenda 21 a également une déclinaison destinée aux collectivités territoriales : l'Agenda 21 local, un programme d'actions définissant les objectifs et les moyens de mise en œuvre de véritables projets de territoire intégrant développement économique, social et environnemental dès la conception même du projet.

Tous les principes associés au développement durable (solidarité, participation, équité, coopération...) doivent être présents tout au long de l'élaboration, de la mise en œuvre (des programmes sectoriels et des actions mises en œuvre) et de l'évaluation des projets.

Les champs d'actions portent sur l'environnement (eau, sol, air, bruit ...), les activités (agriculture, tourisme, entreprises, industrie ...), la qualité de vie (emploi, sécurité, culture, patrimoine, santé, solidarité, éducation ...) et l'urbanisme (logement, habitat).

### 5.4.2.3. Les entreprises

Au-delà de leurs résultats financiers, les entreprises sont de plus en plus amenées à prendre en compte le bilan social et environnemental de leurs actions. Dans ce cadre, nombreuses sont celles qui se sont engagées dans des pratiques de responsabilité sociale, fondées sur des valeurs éthiques : le respect des employés, de la société et de l'environnement.

Cette démarche leur permet en effet de devenir des acteurs essentiels de la mise en œuvre des principes du développement durable et de leur procurer un certain nombre d'avantages :

- Augmenter leurs performances commerciales et financières

- Fidéliser les employés et les consommateurs
- Réduire les risques, notamment juridiques, industriels et économiques.
- Construire une nouvelle crédibilité auprès des investisseurs et du public

#### 5.4.2.4. La société civile

Ce sont d'abord les ONG (Organisations Non Gouvernementales) telles que Greenpeace, les Amis de la Terre, le WWF, Amnesty International... Elles jouent un rôle vital pour faire avancer les prises de consciences et les débats vers des choix écologiquement rationnels et socialement responsables.

À l'échelle individuelle, chaque citoyen doit prendre sa part de responsabilité quant aux conséquences de ses choix de consommation et de son action pour faire changer les choses.

### 5.5. Passé du développement durable

Les Sommets de la Terre sont des rencontres entre les dirigeants mondiaux ayant lieu tous les 10 ans depuis 1972. Ils ont pour but de stimuler le développement durable au niveau mondial. Le premier sommet a eu lieu à Stockholm (Suède) en 1972, le deuxième à Nairobi (Kenya) en 1982, le troisième à Rio de Janeiro (Brésil) en 1992, le quatrième et dernier avant Kyoto à Johannesburg (Afrique du Sud) en 2002.

Le Sommet de 1992 a donné naissance à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et a vu l'adoption de la Convention sur le Climat. Celle-ci confirme la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre et a abouti à la signature en 1997 du protocole de Kyoto.

### 5.6. Quelques dates importantes

Depuis la fin des années 1960, l'histoire du développement durable a été marquée par de grandes dates :

#### **1962 : printemps silencieux**

La publication du livre « printemps silencieux » par Rachel Carson, met en commun les recherches dans le domaine de la toxicologie, de l'écologie et de l'épidémiologie pour suggérer que les pesticides utilisés dans l'agriculture atteignent désormais des niveaux catastrophiques.

Nombreux sont ceux qui ont considéré la publication de cet ouvrage comme un tournant décisif dans notre compréhension de l'interconnexion entre l'environnement, l'économie et le bien-être collectif.

### **Fin des années 60 : la sonnette d'alarme**

Un groupe de scientifiques, d'économistes, d'hommes d'affaires, de hauts fonctionnaires internationaux, de chefs ou anciens chefs d'États des 5 continents, appelé **Club de Rome**, lance un cri d'alarme sur la **dégradation de l'écosystème** par la croissance économique

### **1972 : La notion d'éco développement**

Le Sommet des Nations Unies sur l'environnement de Stockholm (Suède) fait suite aux problèmes de pollution et de pluies acides en Europe du nord, il met en garde la communauté internationale sur l'épuisement des ressources naturelles. C'est là que naît l'éco développement, qui met en avant un mode de développement intégrant les contraintes environnementales. Le sommet aboutit à la création de ministères de l'environnement dans les pays industrialisés, à la mise en place de nombreuses agences nationales de protection de l'environnement et à l'établissement du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUE).

### **1985 : découverte du trou dans l'ozone de l'antarctique.**

### **1987 : notre avenir à tous**

Madame Gro Harlem Brundtland, présidente de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, soumet à l'Assemblée générale des Nations Unies le rapport « Our common future » (Notre avenir à tous), dans lequel elle définit et popularise le terme « développement durable ». Ce texte présente la protection de l'environnement comme une priorité internationale, exigeant de réformer le système économique.

### **1987 : protocole de Montréal**

Le protocole de Montréal relatif à l'interdiction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone a été adopté.

**1988 : GIEC**

Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est constitué aux fins d'évaluer les données scientifiques, techniques et socioéconomiques les plus à jour dans le domaine.

**1992 : sommet de la terre à Rio de Janeiro**

La conférence des nations unies sur l'environnement et le développement durable (CNUED) définit les grandes lignes du développement durable : plus de 150 États signent un programme d'actions pour le 21ème siècle, appelé **agenda 21**. Il incite les entreprises, les associations, les citoyens à être les acteurs de ce développement au quotidien.

**1995 : sommet mondial pour le développement social**

Le sommet a lieu à Copenhague. La communauté internationale prend l'engagement d'éradiquer la pauvreté absolue.

**1997 : protocole de Kyoto**

Après le Sommet de la Terre, le développement durable inspire toutes les conférences internationales des Nations Unies sur de multiples sujets (population, développement social, place des femmes, habitat..).

Celle de 1997 à Kyoto (Japon) porte sur les changements climatiques : 180 pays s'engagent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 par rapport aux niveaux de 1990.

Parallèlement, l'Union européenne inscrit les objectifs du développement durable dans les traités de Maastricht (1992) et d'Amsterdam (1996) et les met en œuvre dans le cadre des programmes communautaires pour l'environnement et le développement.

**2000 : objectif millénaire pour le développement fixé par les nations unies**

Le plus grand rassemblement de dirigeants mondiaux jamais organisé adopte un ensemble de mesures assortit d'une limite de temps et pouvant être mesurée pour lutter contre la pauvreté, la faim, les maladies, la détérioration de l'environnement et la discrimination contre les femmes.

**2002 : sommet mondial pour le développement durable**

Le sommet a lieu à Johannesburg et commémore les 10 ans d'existence de la CNUED. Dans un climat de frustration et face au manque de progrès par les gouvernements, le sommet fait la promotion des « partenariats » en tant qu'approche non négociée de la durabilité.

**2005 : le protocole de Kyoto entre en vigueur**

Il établit un mécanisme de développement propre pour les pays en développement, et oblige les pays signataires à respecter leurs engagements de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

**2006 : la NASA signale le rétablissement de la couche d'ozone**

Cela est dû, en partie, à la réduction des concentrations de CFC découlant de leur élimination progressive en vertu du protocole de Montréal.

**2011 : négociations sur les changements climatiques à Durban**

Le résultat fut un pas en avant dans l'établissement d'un accord international au-delà de Kyoto.

**2012 : sommet de Rio+20**

Le sommet s'est achevé sur un document intitulé « l'avenir que nous voulons » qui, en gros, réaffirme les précédents engagements, le lancement d'un processus qui mènera à l'établissement d'objectifs de développement durable (ODD) et qui remplacera les objectifs millénaires pour le développement.

## Conclusion

Malgré une lutte internationale qui s'avère insuffisante pour le moment, le changement global du climat de notre planète ne cesse de croître. Les émissions anthropiques y sont, en grande partie, responsables.

De ce fait, pour instaurer une politique de développement durable, il est nécessaire de connaître et d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur l'environnement, que cela soit pour les pollutions atmosphériques ou pour l'appauvrissement du capital naturel de notre planète.

# Chapitre II

## Empreintes des activités anthropiques

## Introduction

Les combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont extraits de la croûte terrestre et sont non renouvelables à une échelle de temps écologique. Lorsque ces combustibles brûlent, ils rejettent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Pour empêcher la hausse des niveaux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, il n'y a que deux options : la séquestration de ces émissions par des technologies humaines, comme l'injection en profondeur ou la séquestration naturelle. La séquestration naturelle se produit lorsque les écosystèmes absorbent le CO<sub>2</sub> et le stockent dans leur biomasse existante, essentiellement forestière. Actuellement, des quantités négligeables de CO<sub>2</sub> sont séquestrées par des moyens humains.

Ce chapitre portera donc sur le bilan carbone des activités anthropiques, ainsi que son empreinte. Cela passe par l'étude des propriétés des gaz à effet de serre, leurs sources d'émissions et la méthodologie de l'inventaire des gaz à effet de serre.

### **Les gaz à effet de serre : Principal acteur du changement climatique ?**

#### 1. Mécanisme de l'effet de serre

L'existence de l'effet de serre a été postulée pour la première fois en 1896 par Arrhenius. Lorsque les rayons solaires atteignent l'atmosphère terrestre, une partie (environ 30%) est directement réfléchiée par l'air, les nuages, et la surface de la terre (en particulier les océans et les régions glacées) : c'est l'albédo. Les rayons incidents qui n'ont pas été réfléchis vers l'espace sont absorbés par les gaz à effet de serre (20%) et à la surface terrestre (50%). Cette dernière partie du rayonnement solaire absorbé à la surface de la terre lui apporte de l'énergie sous forme thermique qu'elle restitue à son tour en direction de l'atmosphère sous forme de rayons infrarouge : c'est le rayonnement du corps noir. Celui-ci est alors absorbé en partie par les gaz à effet de serre en plus de l'énergie reçue directement du soleil. Puis, cette chaleur produite par les gaz à effet de serre est réémise dans toutes les directions et notamment vers la terre. C'est cette absorption supplémentaire d'énergie par l'atmosphère qui est à l'origine de l'effet de serre, apportant ainsi un supplément d'énergie thermique vers la terre. Sans ce phénomène, la température moyenne sur terre chuterait de 15°C à -18°C. <sup>8</sup>

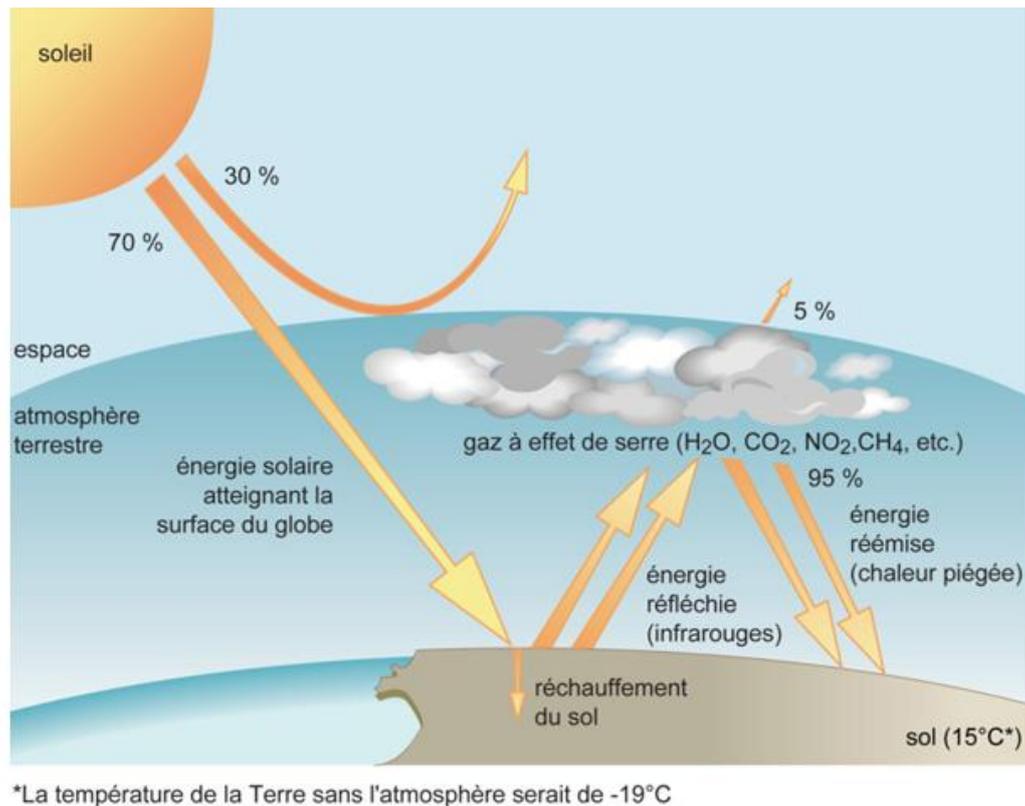


Figure II-5 : Mécanisme de l'effet de serre <sup>9</sup>

## 2. Gaz à effet de serre (GES)

Les gaz à effet de serre sont les composants gazeux de l'atmosphère qui contribuent à l'effet de serre. Le forçage radiatif qui correspond à la puissance radiative que le gaz à effet de serre renvoie vers le sol, permet de prendre en compte le pouvoir à effet de serre de chaque gaz. Ce terme nous paraît récent, malgré notre vieille connaissance des principaux gaz composant notre atmosphère que sont l'azote et l'oxygène (78% et 21% respectivement). Ces gaz n'ont pas la propriété de provoquer l'effet de serre. En effet, un gaz ne peut absorber le rayonnement infrarouge qu'à partir de trois atomes ou à partir de deux si ce sont des atomes différents, du coup, ni l'azote ni l'oxygène ne font partie de la catégorie des gaz à effet de serre. <sup>8</sup>

### 2.1. Les gaz à effet de serre naturels

Les deux principaux gaz responsables de l'effet de serre de la Terre, depuis que notre planète a une atmosphère qui ressemble à l'actuelle, sont la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) et le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>).

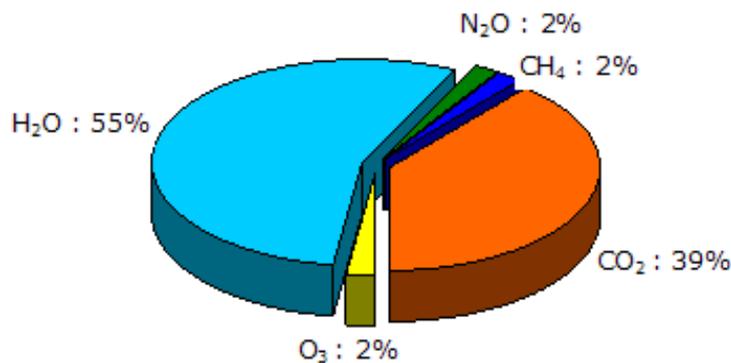
Il en existe d'autres, et même beaucoup d'autres. Certains, comme le CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau, sont "naturels", c'est-à-dire qu'ils étaient présents dans l'atmosphère avant l'apparition de

l'homme. Cette présence ancienne signifie, par la force des choses, qu'ils possèdent des sources naturelles, mais aussi des "puits", qui retirent les gaz en question de l'atmosphère et permettent à la concentration de rester à peu près stable. Pour la vapeur d'eau le "puits" s'appelle... la pluie, et pour le CO<sub>2</sub> une partie du puits est tout simplement la photosynthèse.

Outre la vapeur d'eau et le gaz carbonique, les principaux gaz "naturels" à effet de serre sont :

- Le méthane (CH<sub>4</sub>), qui n'est rien d'autre que... le gaz "naturel" de nos cuisinières,
- L'ozone (O<sub>3</sub>), molécule formée de trois atomes d'oxygène.

Dire que ces gaz sont "naturels", et qu'ils ont donc des sources naturelles, ne signifie bien évidemment pas que l'homme n'a pas d'influence sur leurs émissions ou sur leur concentration dans l'atmosphère. Pour les 3 gaz mentionnés ci-dessus, comme pour le CO<sub>2</sub>, il est avéré que l'homme ajoute sa part et a augmenté leur concentration dans l'air de manière significative. C'est du reste pour cela que, comme pour le CO<sub>2</sub>, le méthane et le protoxyde d'azote sont pris en compte dans les accords internationaux comme le protocole de Kyoto par exemple. Ce n'est pas le cas de l'ozone, mais cela est dû à des difficultés pratiques et non à une absence d'influence sur le climat.



**Figure II-6 : Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère<sup>10</sup>**

## 2.2. Les gaz à effet de serre anthropiques

A côté des gaz "naturels" à effet de serre, il en existe d'autres, que nous pouvons qualifier d'"artificiels" : il s'agit de gaz industriels qui ne sont présents dans l'atmosphère qu'à cause de l'homme. Les principaux gaz "industriels" à effet de serre sont les halocarbures: il s'agit d'une vaste famille de gaz obtenus en remplaçant, dans une molécule d'hydrocarbure (le propane, le butane, ou encore l'octane, que l'on trouve dans l'essence, sont des hydrocarbures), de

l'hydrogène par un gaz halogène (le fluor, le chlore...). Les molécules ainsi obtenues ont deux propriétés importantes pour nous : elles absorbent très fortement les infrarouges, beaucoup plus que le gaz carbonique à poids égal.

Ces molécules ont des durées de vie dans l'atmosphère qui peuvent être très longues, car il faut attendre qu'elles diffusent dans la stratosphère, donc qu'elles montent haut alors qu'elles sont souvent très lourdes, avant d'être "cassées", et cela peut prendre des milliers d'années.

Une famille particulière d'halocarbures, les CFC, a la double propriété de contribuer à l'augmentation de l'effet de serre, mais aussi de diminuer la concentration de l'ozone stratosphérique (la fameuse "couche d'ozone"). La production de ces gaz est désormais interdite (ou en cours d'éradication), au titre du protocole de Montréal signé en 1987, qui ne concerne pas les autres gaz à effet de serre.

Le dioxyde de carbone est le GES dont la concentration dans l'atmosphère a le plus changé depuis 50 ans en passant de 316 ppmv (ppmv : partie par million volumique) en 1958 à 368 ppmv environ en 2000. L'augmentation moyenne annuelle sur toute la période est de 1.2 ppmv/an et l'augmentation entre 1987 et 1997 est de 1.6 ppmv/an, traduisant une accélération du phénomène. La concentration en CO<sub>2</sub> à l'époque préindustrielle était de 280 ppmv d'après des prélèvements d'air emprisonné dans la glace des pôles. L'augmentation du taux de dioxyde de carbone atmosphérique à cause de l'activité humaine est donc de plus de 30%. C'est le gaz qui représente donc clairement l'influence de l'activité humaine.

### 2.2.1. Les gaz à effet de serre directs

Ce sont les principaux gaz à effet de serre visés par le protocole de Kyoto :

#### Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

C'est le gaz à effet de serre le plus connu et le plus important à contribuer au réchauffement de la planète. Incolore et inodore, son origine provient des combustions de tout élément organique d'origine fossile ou d'origine biomasse, dans les secteurs tertiaires, transport ou industriels. Il est aussi émis naturellement par les êtres vivants, les feux de forêts et les volcans en éruption.

L'accroissement rapide de sa concentration dans l'atmosphère est non seulement lié à l'augmentation de la consommation d'énergie fossile mais aussi à la diminution des couverts forestiers à l'échelle mondiale. Le CO<sub>2</sub> a aussi un impact important sur l'acidification des

océans. En effet, l'océan absorbe le CO<sub>2</sub> augmentant ainsi son acidité (baisse du pH) et menaçant un nombre important d'espèces marines.

### Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> :

Chaque seconde dans le monde, près de 1,2 million de kilos de CO<sub>2</sub> sont émis dans l'atmosphère. Cela représentait, en 2012, des émissions de 31.7 milliards de tonnes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère et 36 milliards en 2013. Le taux de concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a, lui, atteint un record avec 400 ppm.<sup>3</sup>

### Méthane (CH<sub>4</sub>)

Le méthane est le deuxième plus important gaz à effet de serre réglementé par le protocole de Kyoto. Incolore, inodore et non toxique, il est principalement émis par des sources telles que :

- Les exploitations des mines de charbon.
- L'extraction et le transport du gaz naturel.
- Les élevages de ruminants (vaches).
- Les fermentations anaérobies sous l'eau, principalement dans les zones humides (rizières, marais).

### Chlorofluorocarbure (CFC)

Il fait partie des gaz fluorés avec le HCFC et le HFC. Ces derniers participent à l'effet de serre et sont responsables de l'appauvrissement de la couche d'ozone et de ce fait sont regroupés sous l'appellation Substance Appauvrissantes en ozone (SAO). Ils sont principalement utilisés dans :

- L'industrie du froid, comme fluide caloporteur.
- L'industrie des propulseurs.
- L'industrie des mousses.

### Protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)

Le protoxyde d'azote est le troisième plus important gaz à effet de serre réglementé par le protocole de Kyoto. Egalement appelé Oxyde nitreux, il fait partie avec le SO<sub>2</sub>, le COVNM et le NH<sub>3</sub> du groupe des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Sa principale source d'émission est

l'agriculture et en particulier l'artificialisation des terres agricoles (apports azotés, fumier, engrais...etc).

### Hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)

L'hexafluorure de soufre est un gaz à effet de serre très puissant, sa contribution à l'effet de serre n'est cependant que de 0.3% en raison de sa faible concentration par rapport au CO<sub>2</sub>, mais sa durée de vie dans l'atmosphère est estimée à 3200 ans. Synthétisé uniquement par voie chimique, incolore et inodore, il est utilisé dans des domaines tels que :

- La métallurgie de production du magnésium et de l'aluminium.
- La fabrication de semi-conducteurs et de certains appareillages électriques de haute tension. <sup>11</sup>

### 2.2.2. Les gaz à effet de serre indirects

#### Le monoxyde de carbone (CO) :

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore et inodore essentiellement formé de manière anthropique. Il provient de la combustion incomplète des combustibles et des carburants généralement due à des installations mal réglées (c'est tout particulièrement le cas des toutes petites installations). Il est aussi présent dans les rejets de certains procédés industriels (agglomération de minerai, aciéries, incinération de déchets) mais aussi et surtout présent dans les gaz d'échappement des véhicules automobiles.

Du point de vue environnemental, ce gaz participe à l'acidification de l'air, des sols et des cours d'eau, ce qui affecte les écosystèmes. Le CO peut contribuer à la formation de l'ozone troposphérique, celui que nous respirons. Il peut aussi par réaction chimique se transformer en CO<sub>2</sub>, un des principaux gaz responsables de l'effet de serre.

#### Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) :

Les rejets de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) sont dus en grande majorité à l'utilisation de combustibles fossiles soufrés (charbon, lignite, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique, gazole, etc.). Tous les utilisateurs de ces combustibles sont concernés. Quelques procédés industriels émettent également des oxydes de soufre ou SO<sub>x</sub> (production de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.). Même la nature est émettrice de produits soufrés comme par exemple les volcans.

Les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM) :

Ce sont des composés contenant au moins un atome de carbone associé à des atomes d'oxygène, d'azote, de soufre, d'halogènes, de phosphore, de silicium. Ces composés, d'après leurs propriétés physico-chimiques, se trouvent à l'état de vapeur dans l'atmosphère.

Les COVNM sont issu de :

- Phénomènes de combustion.
- Evaporation de solvants présents dans les peintures, les colles, les détachants, les cosmétiques...etc.
- Evaporation des composés organiques tels que les carburants.

Leurs sources sont très nombreuses, dont les industries impliquant la mise en œuvre de solvants, dans le raffinage du pétrole, et la combustion dans les industries.

Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) :

Les oxydes d'azote (communément définis comme NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) proviennent, comme le SO<sub>2</sub>, essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.). Ils sont principalement formés dans les chambres de combustion.

Les principaux émetteurs de NO<sub>x</sub> sont le transport routier (d'où une politique de réduction au moyen de pots catalytiques par exemple) et les grandes installations de combustion. Volcans, orages, feux de forêts contribuent aussi aux émissions de NO<sub>x</sub>.

Le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) : grand absent des négociations climatiques

Le trifluorure d'azote est un gaz à effet de serre (GES) redoutable pour l'équilibre atmosphérique : il a un pouvoir de réchauffement global (PRG) 17000 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

La durée de vie du trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) dans l'atmosphère est très élevée, de 550 à 740 années. En un mot, le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) est un puissant contributeur à l'effet de serre qui n'a pas été pris en compte par le protocole de Kyoto. Beaucoup de spécialistes pensent que le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) devrait être pris en compte lors des sommets à venir sur les changements climatiques.

L'utilisation du trifluorure d'azote augmente de 10 à 11% par an notamment parce qu'il a été utilisé pour remplacer les PFC mis en cause par le protocole de Kyoto. Le trifluorure d'azote est utilisé dans la fabrication des ordinateurs, des panneaux solaires, des téléviseurs à écran plat, d'écrans tactiles, de processeurs électroniques.

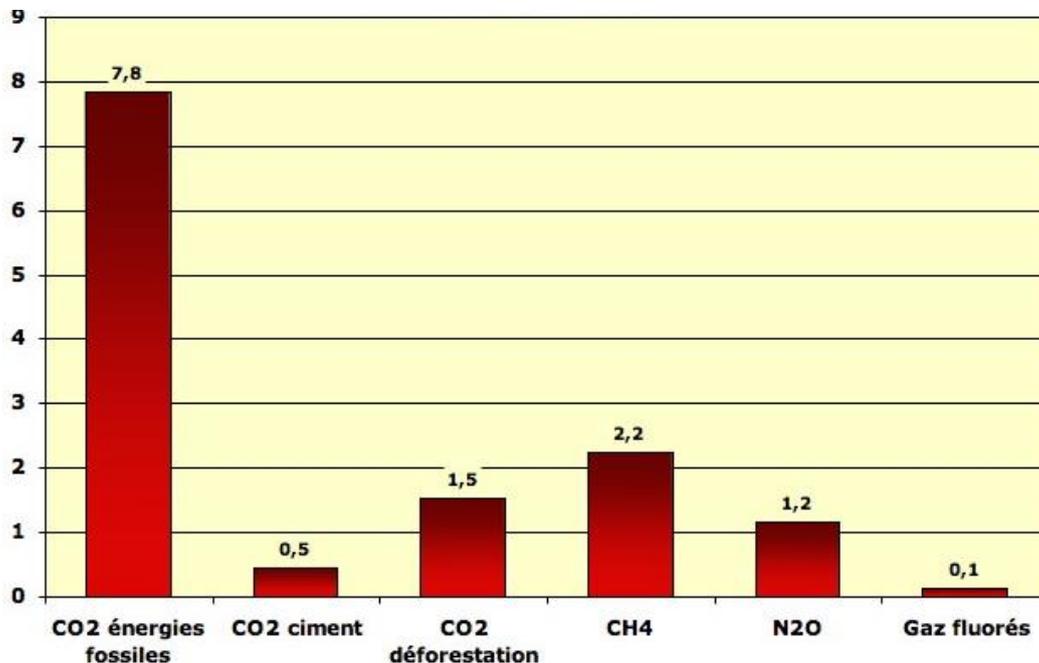


Figure II-7 : Emissions par gaz en milliard de tonnes équivalent carbone<sup>12</sup>

### 3. Propriétés des gaz à effet de serre

#### 3.1. Le forçage radiatif des GES

Le forçage radiatif mesure l'impact de certains facteurs affectant le climat sur l'équilibre énergétique du système couplé Terre/atmosphère. Le terme « radiatif » est utilisé du fait que ces facteurs modifient l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère. Cet équilibre radiatif contrôle la température à la surface de la planète.

Le terme forçage est utilisé pour indiquer que l'équilibre radiatif de la Terre est en train d'être déstabilisé. Le forçage radiatif est généralement quantifié comme « le taux de transfert d'énergie par unité surfacique du globe, mesuré dans les hautes couches de l'atmosphère ». Un forçage radiatif causé par un ou plusieurs facteurs est dit positif lorsqu'il entraîne un accroissement de l'énergie du système Terre/atmosphère et donc le réchauffement du système. Dans le cas inverse, un forçage radiatif est dit négatif lorsque l'énergie va en diminuant, ce qui

entraîne le refroidissement du système. Les climatologues sont confrontés au problème ardu d'identifier tous les facteurs qui affectent le climat, ainsi que les mécanismes de forçage, de quantifier le forçage radiatif pour chaque facteur et d'évaluer la somme des forçages radiatifs pour un groupe de facteurs.

*Tableau II-3 : Forçage radiatif des principaux gaz à effet de serre<sup>13</sup>*

| GES                    |                  | FR (W/m <sup>2</sup> ) | Pourcentage (%) |
|------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| Dioxyde de carbone     | CO <sub>2</sub>  | 1.66 ± 0.17            | 55.6            |
| Méthane                | CH <sub>4</sub>  | 0.48 ± 0.05            | 16.1            |
| CFC – HCFC             |                  | 0.32 ± 0.03            | 10.7            |
| Protoxyde d'azote      | N <sub>2</sub> O | 0.16 ± 0.02            | 5.3             |
| Hexafluorure de soufre | SF <sub>6</sub>  | 0.017 ± 0.002          | 0.6             |
| Ozone (troposphérique) | O <sub>3</sub>   | 0.35 ± 0.1             | 11.7            |

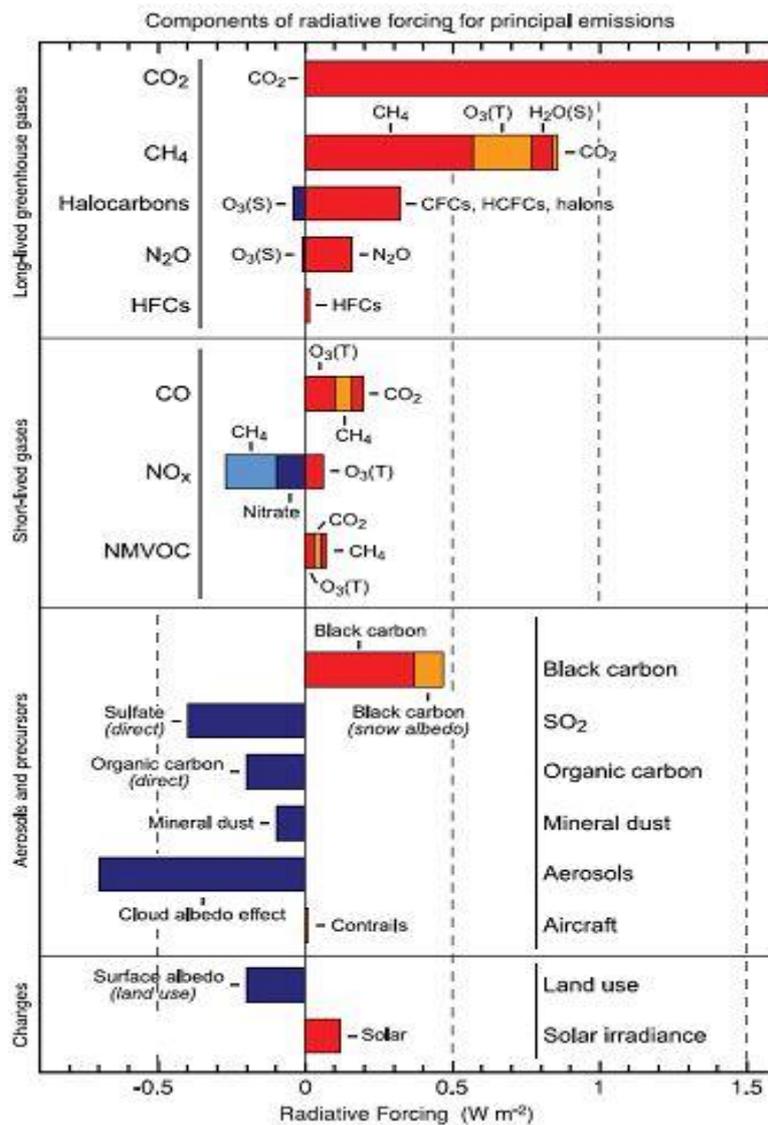


Figure II-8 : Forçage radiatif des gaz<sup>1</sup>

Ce concept permet de quantifier de manière simple l'impact de très nombreux facteurs sur le réchauffement climatique. Cependant il est un instantané. Pour évaluer par exemple l'impact dans le temps d'un GES, il faut tenir compte de sa durée de vie dans l'atmosphère. C'est ce que fait le Potentiel de réchauffement global.

### 3.2. Le pouvoir de réchauffement global des GES

Bien que le CO<sub>2</sub> soit l'un des principaux principal gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère, son pouvoir à effet de serre est négligeable par rapport aux autres GES. En effet, chaque gaz possède son propre pouvoir à effet de serre. Afin de pouvoir faire des comparaisons, il est possible de calculer le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) ou Global

WarmingPotential (GWP) pour chacun des GES. Cela permet de savoir de combien on augmente l'effet de serre lorsque l'on émet 1kg de gaz considéré.

Le PRG se définit comme le forçage radiatif d'une quantité de gaz donnée, relativement au dioxyde de carbone, intégré sur une durée qui est généralement de 100 ans.

$$PRG = \frac{\int_0^N F_{\text{gaz}}(t) dt}{\int_0^N F_{\text{CO}_2}(t) dt}$$

N représente la durée sur laquelle le PRG est calculé.

*Tableau II-4 : PRG des gaz à effet de serre<sup>13</sup>*

| GES                       | Formule                         | PRG (100 ans) |
|---------------------------|---------------------------------|---------------|
| Vapeur d'eau              | H <sub>2</sub> O                | /             |
| Dioxyde de carbone        | CO <sub>2</sub>                 | 1             |
| Méthane                   | CH <sub>4</sub>                 | 25            |
| Protoxyde d'azote         | N <sub>2</sub> O                | 298           |
| Dichlorodifluorométhane   | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 10900         |
| Chlorodifluorométhane     | CHClF <sub>2</sub>              | 1810          |
| Tétra fluorure de carbone | CF <sub>4</sub>                 | 7390          |
| Hexafluorure de soufre    | SF <sub>6</sub>                 | 22800         |

## 4. Empreinte carbone et empreinte écologique

### 4.1. Empreinte carbone

L'empreinte carbone est calculée en estimant la quantité de séquestration naturelle qui est nécessaire, en l'absence de séquestration par des moyens humains. Après soustraction de la quantité de CO<sub>2</sub> absorbée par les océans, on calcule la surface nécessaire pour absorber et conserver le carbone restant en se basant sur le taux moyen de séquestration des forêts du monde. En 2005, 1 hectare global pouvait absorber le CO<sub>2</sub> libéré par la combustion d'environ 1450 litres d'essence.

Le calcul de l'empreinte des émissions de carbone ne signifie pas que la séquestration de carbone dans la biomasse soit la solution face au changement climatique mondial. Ce serait plutôt le contraire : l'empreinte montre que la biosphère a une capacité insuffisante pour faire face aux niveaux actuels des émissions de CO<sub>2</sub>. Quand les forêts approchent de la maturité, leur

taux de séquestration de CO<sub>2</sub> avoisine zéro. Et si ces forêts sont dégradées ou détruites, elles deviennent des émetteurs nets de CO<sub>2</sub>.

Les émissions de carbone provenant de sources autres que la combustion de combustibles fossiles sont maintenant incorporées dans les national footprintaccounts. Il s'agit notamment des émissions provenant du torchage du gaz et du pétrole, du carbone libéré par les réactions chimiques dans la production de ciment et des émissions des feux de forêts tropicaux. En outre, le carbone émis lors de l'extraction et du raffinage des combustibles fossiles est maintenant attribué au pays où le combustible fossile est consommé.

L'empreinte carbone de consommation d'un pays comprend les émissions directes de dioxyde de carbone provenant de la combustion de combustibles fossiles, ainsi que les émissions indirectes provenant des produits fabriqués à l'étranger.<sup>14</sup>

#### 4.1.1. Puits de carbone

Un puits de carbone est un processus naturel de stockage du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : les forêts, les océans, les sols et sous-sols absorbent et constituent des réserves de carbone.

Les forêts de l'hémisphère nord, par le mécanisme de photosynthèse, absorbent entre 1,5 et 2,5 milliards de tonnes de carbone par an, alors que les forêts tropicales du sud dégagent plus de carbone qu'elles n'en consomment, en raison de leur surexploitation.

Les océans sont les principaux puits de carbone planétaires : les coraux et le plancton notamment, absorbent le CO<sub>2</sub>. Mais la destruction des récifs coralliens et l'expansion des zones mortes aquatiques, réduisent considérablement les capacités d'absorption du carbone par les océans. Dans l'océan Austral, qui absorbe 15 % des émissions de CO<sub>2</sub> mondiales, une étude a démontré que son propre puits de carbone a cessé de croître. Sa stabilisation est la conséquence même du réchauffement climatique. L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre et la réduction de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique, ainsi que le renforcement des vents dans cette zone, intensifient la remontée des eaux profondes, dans lesquelles le dioxyde de carbone se dissout moins facilement, car les eaux sont moins chaudes et plus salées.

La capacité des océans à absorber le dioxyde de carbone semble être arrivée à la limite de la saturation. Un cercle vicieux s'installe, car ce phénomène accélère l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub>, donc l'effet de serre et la hausse des températures. Une acidification croissante de l'eau de mer est également constatée par différentes études scientifiques. Dans une perspective de lutte contre le changement climatique, l'amélioration des puits naturels de

carbone doit s'ajouter à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La reforestation, la gestion durable des forêts font partie des actions à mettre en œuvre : l'augmentation de la séquestration de carbone dans les sols, et l'amélioration de la séquestration océanique sont encore à l'étude.<sup>15</sup>

- **Capture de CO<sub>2</sub> par les forêts mondiales :**

Chaque seconde, ce sont 76 kilos de CO<sub>2</sub> qui sont séquestrés par les forêts dans le monde. Les forêts du monde entier absorbent 1/3 du CO<sub>2</sub> dégagé par les énergies fossiles selon une étude publiée en juillet 2011 par le magazine scientifique Science. Les émissions liées à la déforestation réduisent à néant le bilan carbone des zones tropicales.<sup>3</sup>

- **Capture de CO<sub>2</sub> atmosphérique par les océans :**

Les océans font respirer les hommes ! Chaque seconde, en capturant 800 kilos de CO<sub>2</sub>, la mer rend notre atmosphère respirable et la protège du réchauffement. Les océans absorbent ainsi chaque année 25 milliards de kilos de dioxyde de carbone.<sup>3</sup>

#### 4.2. Empreinte écologique

L'empreinte écologique mesure la demande de l'humanité vis-à-vis de la biosphère en termes de surfaces biologiquement productives de terre et de mer nécessaires pour fournir les ressources que nous utilisons et absorber les déchets que nous produisons. En 2005, l'empreinte écologique mondiale était de 17,5 milliards d'hectares globaux ou 2,7 hectares globaux (hag) mobilisés par personne (un hectare global est un hectare avec une capacité de production de ressources et d'absorption de déchets correspondant à la moyenne mondiale). Du côté de l'offre, la surface productive totale de la Terre, ou bio-capacité, était de 13,6 milliards d'hectares globaux, soit 2,1 hectares globaux disponibles par personne. L'empreinte d'un pays est la somme de toutes les terres cultivées, des pâturages, des forêts et des zones de pêche nécessaires pour produire la nourriture, les fibres et le bois consommés par ses habitants, pour absorber les déchets émis par l'utilisation de l'énergie et pour fournir l'espace nécessaire aux infrastructures. Puisque ses habitants consomment des ressources et des services écologiques provenant du monde entier, les surfaces nécessaires correspondantes, où qu'elles soient sur la planète, sont additionnées dans leur empreinte.

L'empreinte de l'humanité a pour la première fois dépassée la bio-capacité totale de la Terre dans les années 1980. Depuis lors, ce dépassement n'a fait qu'augmenter (Figure 23) de sorte qu'en 2005, la demande était de 30% supérieure à l'offre.

En 2005, la demande la plus forte de l'humanité en surfaces bio-productives était pour absorber les émissions de CO<sub>2</sub>, non absorbées par les océans, provenant de la combustion des énergies fossiles et des changements d'utilisation des sols. Cette « empreinte carbone » a augmenté d'un facteur 10 depuis 1961.<sup>14</sup>

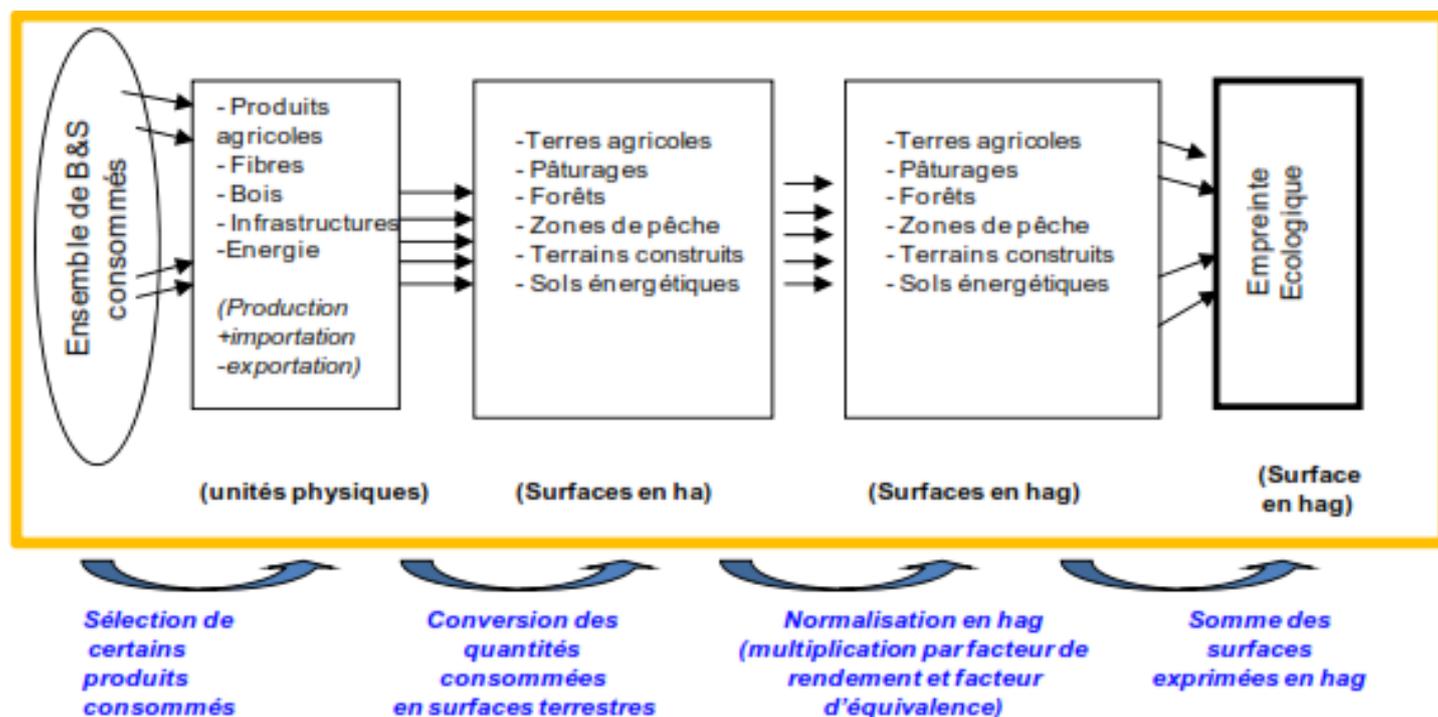


Figure II-9 : Construction de l'empreinte écologique<sup>16</sup>

Estimations des empreintes écologiques et carbonées :

Tableau II-5 : Empreinte écologique et carbone (hectares globaux par personne)<sup>14</sup>

| Population           | Empreinte écologique totale | Empreinte carbone | Terres cultivées | Pâturages | Forêts | Surfaces de pêche | Terrains bâtis |
|----------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|-----------|--------|-------------------|----------------|
| Monde                | 6 476                       | 2,7               | 1,41             | 0,64      | 0,26   | 0,23              | 0,09           |
| Pays à revenu élevé  | 972                         | 6,4               | 4,04             | 1,15      | 0,28   | 0,61              | 0,17           |
| Pays à revenu moyen  | 3 098                       | 2,2               | 1                | 0,62      | 0,22   | 0,18              | 0,09           |
| Pays à faible revenu | 2 371                       | 1                 | 0,26             | 0,44      | 0,09   | 0,15              | 0,02           |
| Afrique              | 902                         | 1,4               | 0,26             | 0,54      | 0,25   | 0,24              | 0,03           |
| <b>Algérie</b>       | 32,9                        | 1,7               | 0,69             | 0,62      | 0,17   | 0,13              | 0,01           |

#### 4.2.1. Empreinte écologique, économie et social

L'empreinte écologique totale d'une nation est déterminée par la taille de sa population et par l'empreinte moyenne de chacun de ses habitants. Cette dernière est fonction à la fois de la quantité de biens et services consommés en moyenne par habitant et des ressources utilisées ou déchets produits pour ces mêmes biens et services. Depuis 1970 environ, l'empreinte moyenne par personne est toutefois restée relativement constante, alors que la population a continué à augmenter. La figure ci-dessous montre l'évolution de 1961 à 2005 de l'empreinte moyenne et de la population pour chacune des régions du globe.

En Afrique, où la population a triplé au cours des 40 dernières années, la biocapacité disponible par personne a diminué de plus de 67%, et l'empreinte moyenne individuelle a diminué de 19%. En revanche, pour le monde dans son ensemble, la baisse de la biocapacité par personne est de 49%. Dans les deux cas, cette baisse résulte du partage par un plus grand nombre de personnes de la même quantité de biocapacité, plutôt que d'une baisse de la productivité de la Terre.

Dans les pays à revenu moyen, tant la population que l'empreinte par personne augmentent et contribuent à la croissance de la demande sur la biosphère. Même si certains pays de cette catégorie connaissent un ralentissement de leur démographie, la population totale de cette catégorie a néanmoins doublé depuis 1961. En outre, l'empreinte par personne dans ces pays y a augmenté de 21%. La croissance de la population est ici associée à une augmentation significative de l'utilisation des combustibles fossiles et de la consommation en produits énergivores comme les produits laitiers et la viande. Bon nombre des pays émergents font partie de cette catégorie. L'augmentation de l'empreinte individuelle y va de pair avec une industrialisation accélérée similaire à celle observée auparavant dans de nombreux pays à haut revenu. En Chine, par exemple, l'empreinte par personne et la population ont doublé entre 1961 et 2005. L'empreinte écologique totale y a donc plus que quadruplé. Avec la plus forte population des trois catégories, et une empreinte individuelle modérée, les pays à moyen revenu exercent en 2005 la plus forte demande sur la biosphère, avec une consommation égale à 39% de l'empreinte totale de l'humanité.

La demande croissante sur la biosphère des pays à haut revenu s'explique surtout par l'augmentation de l'empreinte individuelle, de 76% entre 1961 et 2005. Cette situation vient principalement de la multiplication par neuf de la composante carbone de leur empreinte. La croissance de la démographie dans les pays à haut revenu, qui ne comptent que 15% de la

population mondiale en 2005, est plus lente que dans les autres catégories. Toutefois, en raison de l'accroissement rapide de l'empreinte individuelle, les pays à haut revenu totalisent 36% de l'empreinte totale de l'humanité, ce qui représente 2,6 fois le total des pays à faible revenu.

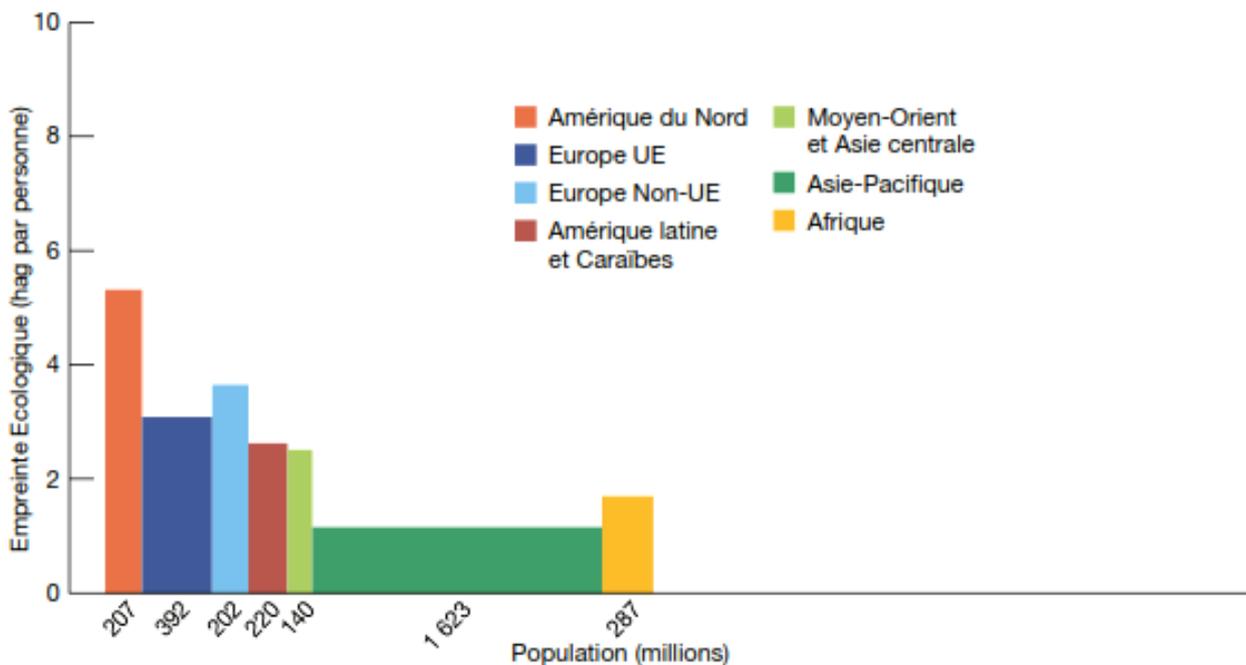


Figure II-10 : Empreinte écologique et population par région (1961)<sup>14</sup>

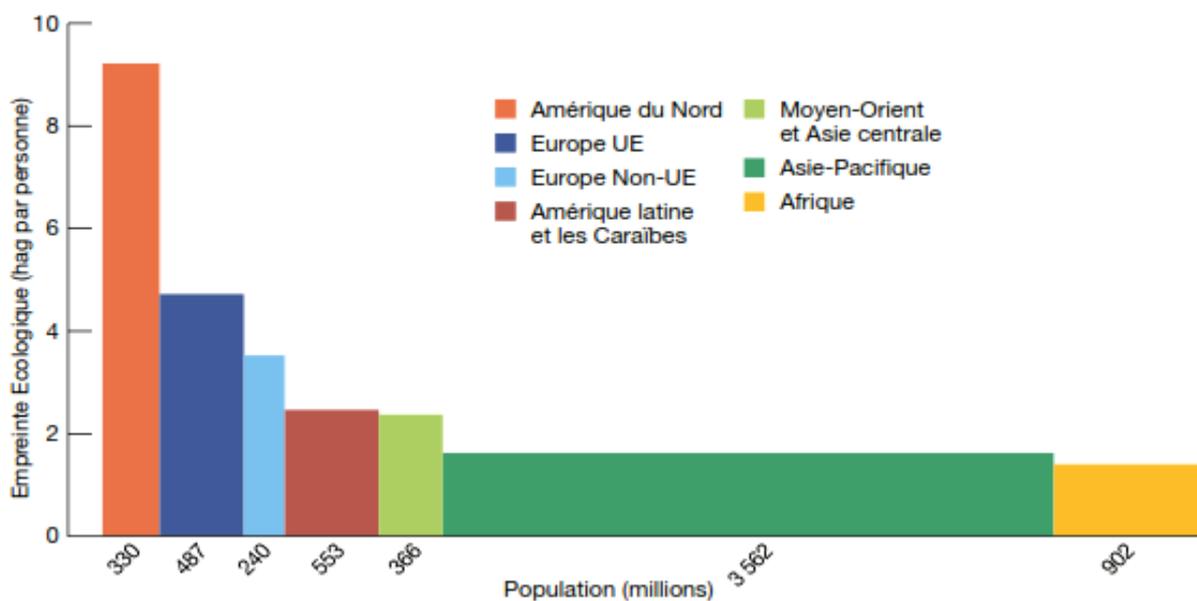


Figure II-11 : Empreinte écologique et population par région (2005)<sup>14</sup>

### 4.3. Biocapacité

La BC ou biocapacité est définie par le Global Footprint Network comme « la capacité des écosystèmes de fournir des matières biologiques utiles et d'assimiler des déchets générés par les hommes en utilisant les modes de gestion et les technologies d'extraction existantes ». Cette capacité peut être mesurée par les surfaces de terres et d'eau qui ont la capacité de fournir des matières biologiques, aussi appelées ressources ou ressources renouvelables par le Global Footprint Network. Ces surfaces sont dites « biologiquement productives ». La capacité à assimiler des déchets, bien que mentionnée dans la définition, n'entre pas dans le calcul de la Bio capacité.

La notion de surface biologiquement productive est centrale dans la définition de la BC comme dans celle de l'EE. Une surface biologiquement productive est une surface qui capte le soleil et l'utilise pour produire de la matière organique (ou ressource renouvelable) par le biais de la photosynthèse. Ces surfaces sont caractérisées par un rendement qui mesure la quantité de produit primaire produite par unité de surface. Cette notion de rendement sera largement utilisée dans la suite de ce document.

La BC est un indicateur synthétique agrégé car elle est calculée, à partir d'un système de comptes, comme une somme de surfaces biologiquement productives exprimées chacune en hectares et convertibles en une unité commune. Plusieurs types de surfaces biologiquement productives sont pris en compte dans le calcul de la BC: les terres arables, les pâturages, les forêts, les zones de pêche, les terrains construits. Seules les zones marginales à végétation raréfiée et des zones non productives ne sont pas prises en compte. Ces surfaces biologiquement productives sont extrêmement variables dans leur nature et ont des rendements très hétérogènes. Par conséquent, pour pouvoir les additionner et les comparer, elles sont exprimées en termes de surfaces de terres et d'eaux normalisées ayant un rendement moyen mondial, dont l'unité de mesure conventionnelle est appelée hectare global (hag). En 2005, la biocapacité mondiale est de 13,6 milliards d'hectares. Sachant que la population mondiale est estimée à 6,5 milliards d'humains sur la planète, la quantité moyenne de biocapacité par personne est donc de 2,1 hectares). <sup>16</sup>

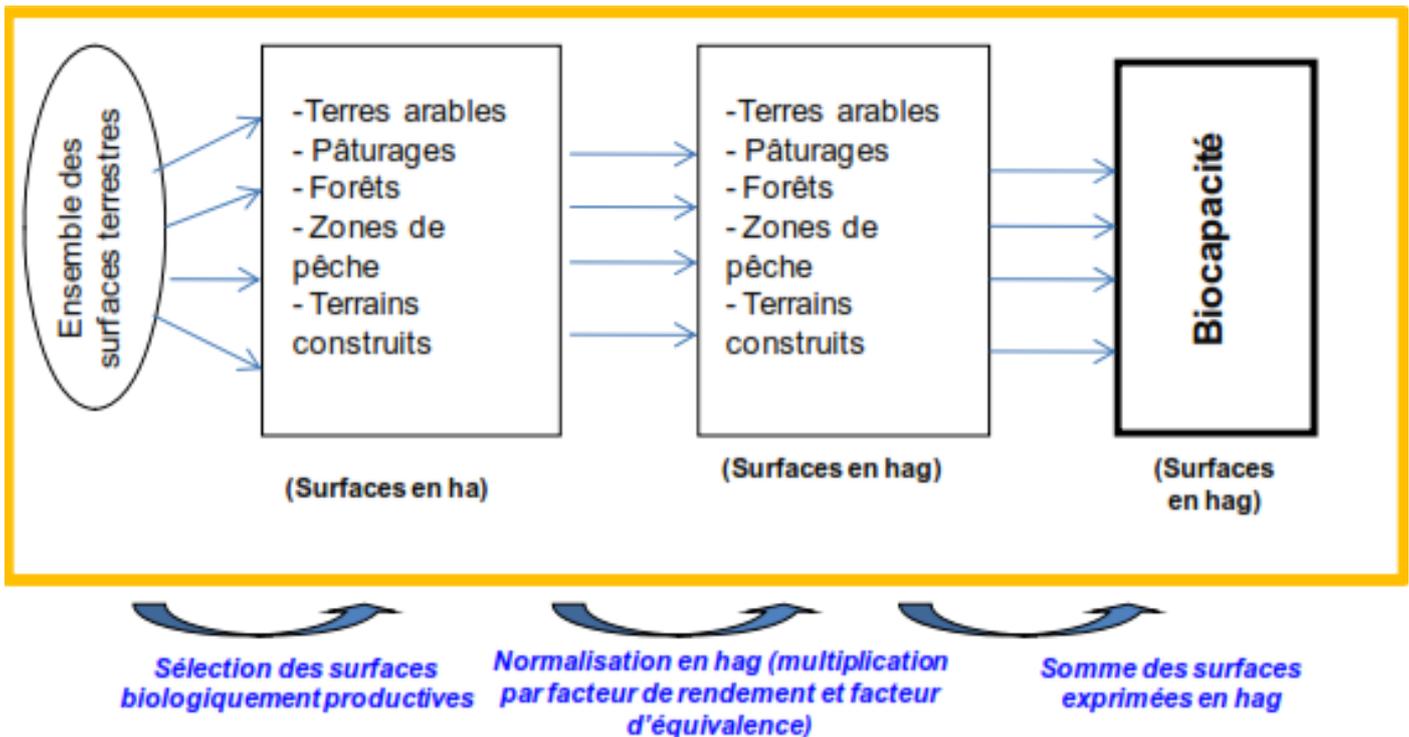


Figure II-12 : Construction de la biocapacité<sup>16</sup>

#### 4.3.1. Surfaces prises en compte dans le calcul de la biocapacité

Alors que la BC est calculée à partir de 5 types de surface de terres et d'eaux, le Global Footprint Network distingue six types de surfaces de terres et d'eaux dans le calcul de l'empreinte écologique. Ce sixième type de surface est appelée «sols énergétiques». Chacune de ces surfaces est reliée à une ou plusieurs catégories de produits primaires.

**Les terres agricoles :** surfaces de sols utilisées pour l'agriculture, dont celles nécessaires à l'alimentation des animaux d'élevage. Les terres agricoles font partie des terres arables.

**Les pâturages :** surfaces de prairies permanentes employées pour la production de produits laitiers, de viande, de laine et de cuir provenant du bétail.

**Les forêts :** surfaces forestières requises pour élaborer les produits en bois consommés par une population : sciure, panneaux en bois ou en fibres agglomérées, pâte à papier, papier et carton.

**Les zones de pêche :** surfaces de plateaux continentaux et d'eaux intérieures utilisés pour la prise et la production des poissons et les fruits de mer consommés par une population.

**Les terrains construits :** surfaces des sols construits pour le logement, le travail et le déplacement d'une population, ainsi que les sols qui ont été rendus impropres à la culture.

**Les sols énergétiques :** surfaces fictives de forêts qui devraient être employées pour capturer le CO<sub>2</sub> provenant de la combustion d'énergies fossiles en quantité suffisante pour éviter une augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, après déduction de la part des émissions anthropiques absorbée par les océans (environ 30 %).

#### 4.3.2. Estimations de la biocapacité

*Tableau II-6 : Biocapacité (hectares globaux par personne)<sup>14</sup>*

|                      | Biocapacité<br>Totale | Terres<br>cultivées | Pâturages | Forêts | Surfaces<br>de pêche | Réserve, ou<br>déficit<br>écologique |
|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------|--------|----------------------|--------------------------------------|
| Monde                | 2,1                   | 0,64                | 0,37      | 0,81   | 0,17                 | -0,6                                 |
| Pays à revenu élevé  | 3,7                   | 1,42                | 0,33      | 1,2    | 0,58                 | -2,7                                 |
| Pays à revenu moyen  | 2,2                   | 0,62                | 0,4       | 0,83   | 0,23                 | 0                                    |
| Pays à faible revenu | 0,9                   | 0,35                | 0,28      | 0,13   | 0,07                 | -0,1                                 |
| Afrique              | 1,8                   | 0,45                | 0,82      | 0,35   | 0,13                 | 0,4                                  |
| <b>Algérie</b>       | 0,9                   | 0,42                | 0,37      | 0,08   | 0,01                 | -0,7                                 |

#### 4.3.3. La planète en déficit écologique

La biocapacité étant de 2,1 ha/hab et l'empreinte écologique de 2,7 ha/hab, cela signifie que l'humanité a utilisé davantage de services issus de la biosphère que celle-ci était capable d'en régénérer sur la même période. C'est le déficit écologique. Le déficit écologique national mesure le montant de l'empreinte d'un pays qui excède sa biocapacité. Un déficit national se comble par des importations ou est compensé par une perte du capital écologique national. Mais un déficit écologique global ne peut être compensé par le commerce et est équivalent à un dépassement écologique global.

Cette pression a dépassé la capacité de la terre depuis la fin des années 1970. Nous vivons donc sur les réserves de la planète et à force, il ne restera plus rien pour les générations futures.

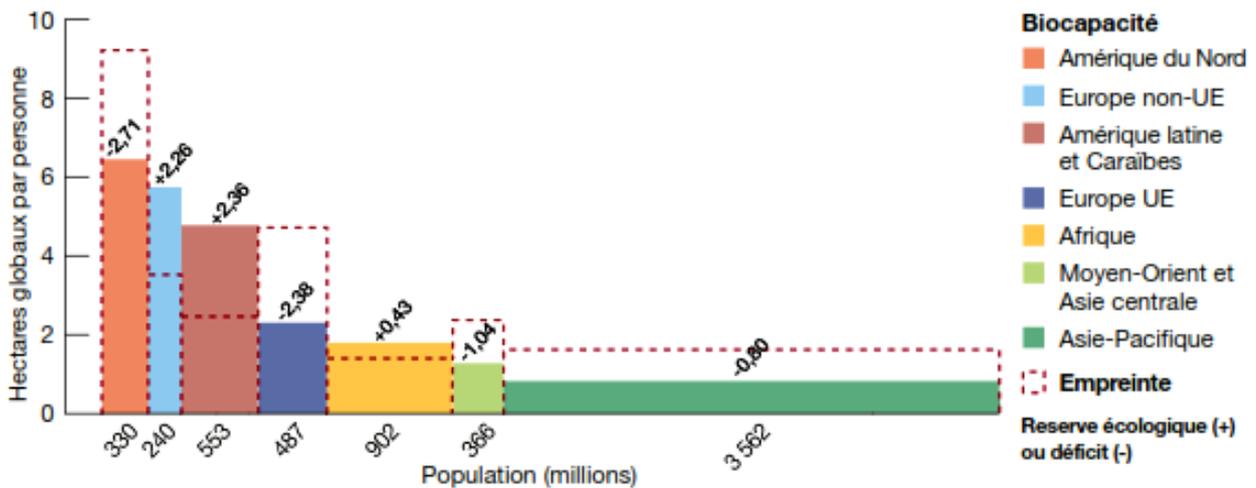


Figure II-13 : Biocapacité et empreinte écologique par région (2005)<sup>14</sup>

4.3.4. Le cumul du déficit écologique

Au fur et à mesure des années, les déficits annuels se cumulent et donnent donc une dette écologique. Les dettes sont exprimées en années-planètes ; une année-planète étant la production annuelle de la biosphère.

La réserve écologique est la biocapacité d'un territoire qui n'est pas consommée par la population de ce territoire : c'est le contraire d'un déficit écologique.

Les pays dont les empreintes sont inférieures à la biocapacité locale ont une réserve écologique. Cette réserve n'est pas nécessairement inutilisée : elle peut être occupée par les empreintes d'autres pays (au travers des productions pour l'exportation).

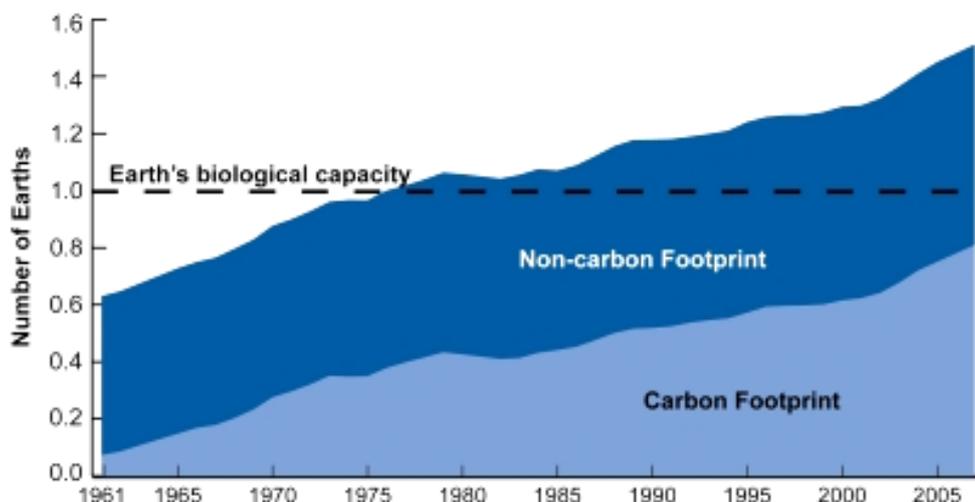


Figure II-14 : Empreinte carbone et non-carbone mondiale<sup>17</sup>

#### 4.3.5. Le jour du dépassement écologique

Le jour du dépassement était le 20 Août pour l'année 2013. A cette date, l'humanité a épuisé le budget écologique annuel de la planète. Pour le reste de l'année, notre consommation résultera en un déficit écologique croissant qui puisera dans les stocks de ressources naturelles et augmentera l'accumulation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Global Footprint Network fournit un bilan comptable de la demande de l'humanité en ressources et services naturels comparée à la capacité de la planète à les fournir. Les résultats sont sans appel : l'humanité épuise en huit mois la capacité annuelle de notre planète à reproduire les ressources naturelles que nous consommons et à absorber le CO<sub>2</sub> que nous émettons.

Le premier dépassement est intervenu en 1970. Depuis, la date se fait chaque fois plus précoce, marquant une accélération importante du processus de dégradation de notre planète. En 1980, « l'Overshoot Day » était tombé un 8 novembre, en 2000, un 8 octobre et en 2009, un 7 septembre. La tendance est claire : le jour du dépassement arrive chaque année un peu plus tôt.

Le jour du dépassement est un concept développé par l'institut de recherche anglais new economics foundation, partenaire du Global Footprint Network. Le jour du dépassement marque chaque année le moment auquel nous commençons à vivre au-dessus de nos moyens écologiques. Même si le jour du dépassement ne représente qu'une estimation des tendances de consommation des ressources, il constitue la meilleure approximation scientifique de l'écart entre notre demande en ressources et services écologiques et la capacité de notre planète à les fournir.

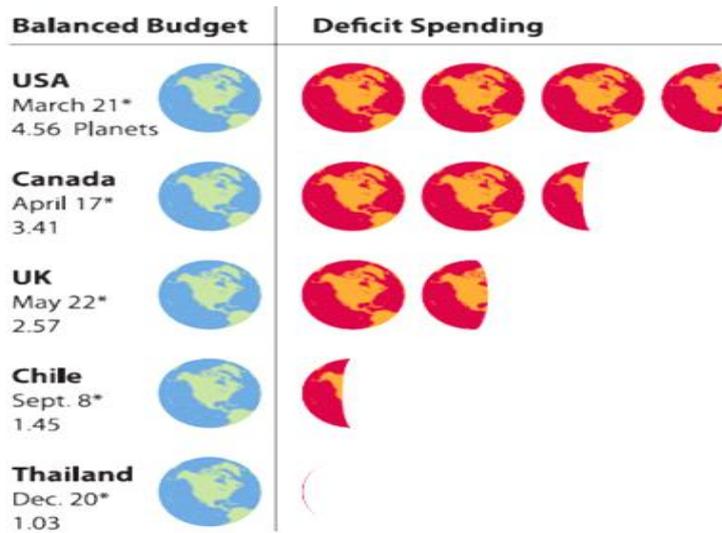


Figure II-15 : Jour de dépassement et déficit écologique <sup>18</sup>

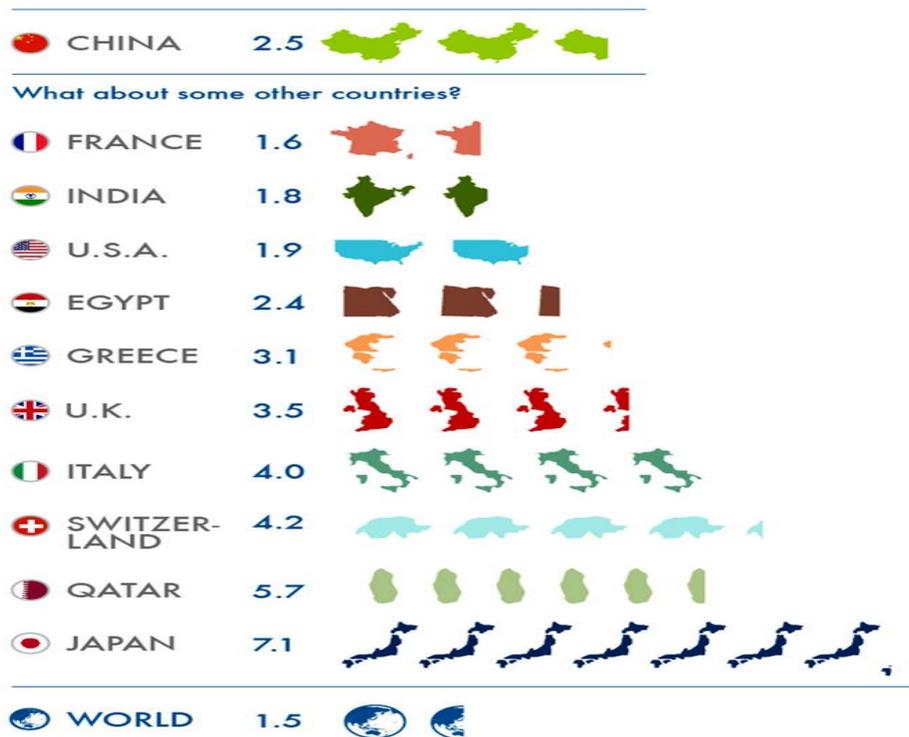


Figure II-16 : Jour de dépassement et déficit écologique <sup>18</sup>

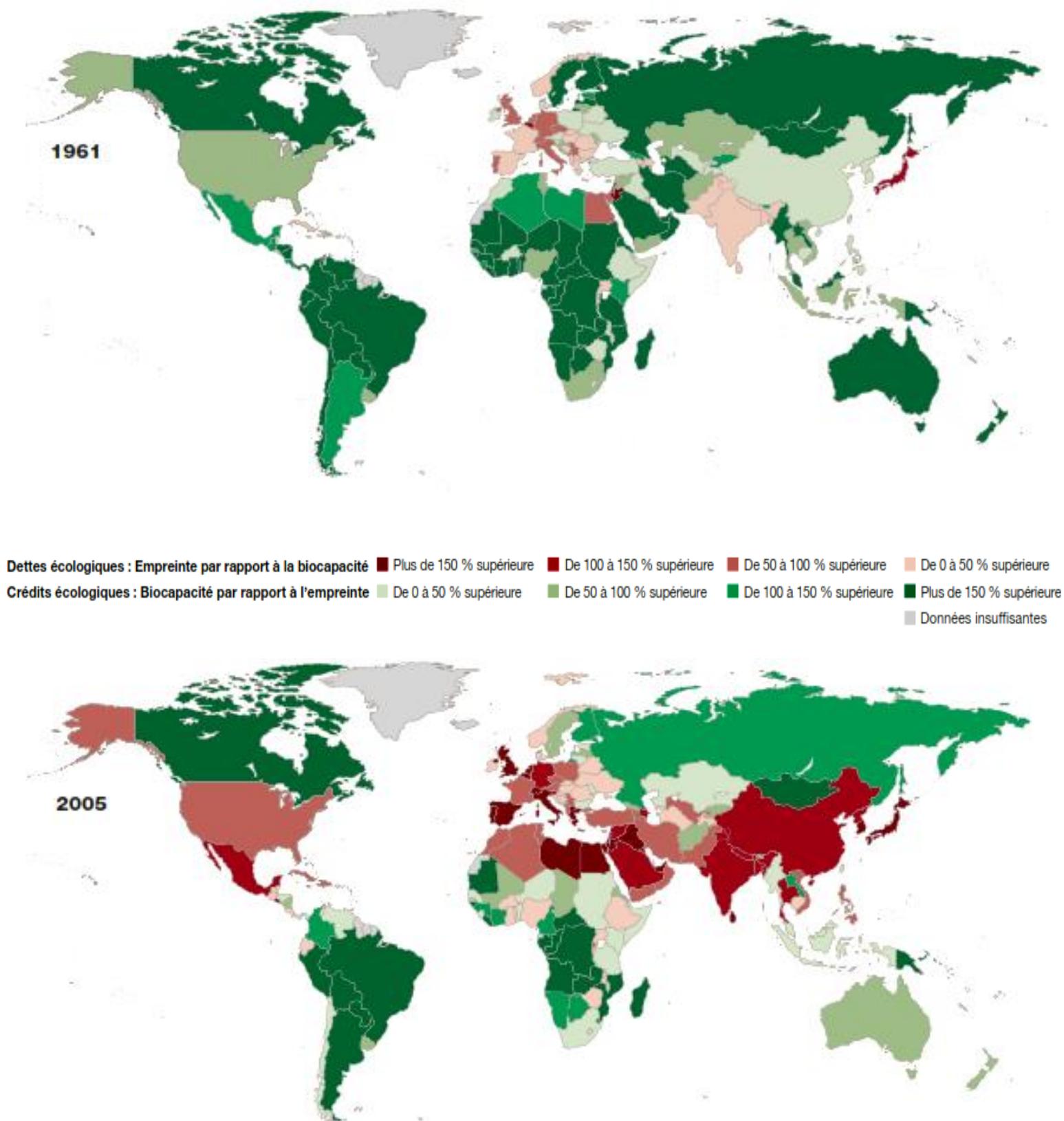


Figure II-17 : Pays débiteur et créiteur écologique (1961-2005)<sup>14</sup>

## 5. Bilan carbone

### 5.1. Inventaire des émissions de GES

Le bilan carbone ou inventaire des émissions de gaz à effet de serre est une méthode comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre (GES) à partir de données facilement disponibles pour parvenir à une bonne évaluation des émissions directes ou induites par une activité. Son objectif consiste à donner les moyens de lutter contre le réchauffement climatique par l'établissement de priorités d'actions, quelles que soient les marges de manœuvre disponibles et le type d'activité. L'outil a été mis au point entre 2000 et 2003 par des experts français (tels que Jean-Marc Jancovici), sous l'égide de l'ADEME et de la Mission Interministérielle pour l'Effet de Serre. Il est actuellement opérationnel pour les entreprises et les collectivités et en cours de finalisation pour les particuliers.

#### 5.1.1. Problématique à la quelle répond le bilan carbone

La préoccupation est centrée sur la lutte contre le changement climatique. En effet, l'ampleur du problème, dont le lien avec la concentration en gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère fait consensus de manière quasi unanime au sein de la communauté

#### 5.1.2. But de l'inventaire

Au-delà de la simple question de l'obligation réglementaire, un inventaire d'émissions de gaz à effet de serre permet de :

- **Faire une analyse stratégique de son activité (cible la direction en interne) :**

- \* Comparaison entre les postes
- \* Positionnement vis-à-vis de l'extérieur (ou au sein du secteur)
- \* Calculs d'indicateurs

- **Communiquer vers l'extérieur :**

- \* Aux partenaires
- \* Au sein de la filière, pour échanger sur les bonnes pratiques
- \* Aux clients
- \* Au grand public

- **Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre :**

L'inventaire permet d'identifier les postes les plus importants, et de mettre en perspective l'ensemble des actions envisagées pour réduire les émissions.

Concrètement, réduire ses émissions de GES, c'est :

- **Réduire ses coûts :**

Réduire ses émissions, c'est également réduire ses coûts énergétiques directs, mais également ses coûts d'achat et anticiper les futures variations du coût des énergies fossiles

Dans l'éventualité de la mise en place d'une taxe carbone, réduire ses émissions, c'est bénéficier de réductions d'impôts.

- **Augmenter son chiffre d'affaire (à terme) :**

Un engagement de réduction des émissions de l'entreprise peut-être un élément marketing différenciant

- **Donner un nouveau moteur à l'innovation :**

La contrainte permet bien souvent de stimuler l'innovation

- **Construire un nouveau projet d'entreprise positif :**

« Sauver le monde » est un projet plus porteur en interne que « Réduire les coûts de 10% », alors que les deux vont très souvent de pair

- **Favoriser les échanges de bonnes pratiques :**

Le carbone peut être utilisé comme vecteur de communication au sein de la filière pour améliorer globalement l'efficacité carbone de celle-ci

### 5.1.3. Equivalent carbone des GES

Pour rendre compte de manière agrégée de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , PFC, HFC, CFC, etc.), on utilise une grandeur unique, qui peut être exprimée avec deux unités : la tonne équivalente carbone ou la tonne équivalent  $\text{CO}_2$ . Le facteur de conversion de l'une à l'autre des unités est lié au poids relatif de l'atome de carbone dans la molécule de  $\text{CO}_2$ .

Lorsqu'on additionne l'impact de plusieurs gaz à effet de serre, on fait le cumul de la quantité globale de carbone que ces gaz contiennent et on obtient un chiffre représentatif de l'impact global sur l'effet de serre.

Par définition, un kg de  $\text{CO}_2$  vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone, c'est à dire le poids du carbone seul dans le composé "gaz carbonique".

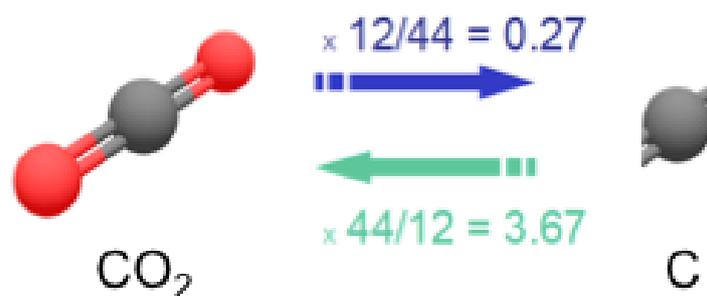


Figure II-18 : Equivalent CO<sub>2</sub> et équivalent carbone (C)<sup>9</sup>

Pour les autres gaz, l'équivalent carbone vaut :

$$\text{Équivalent carbone} = \text{PRG relatif} \times 0,2727$$

Tableau II-7 : Equivalent carbone des gaz à effet de serre

| Gaz                       | Formule          | (PRG) | Equivalent en carbone par Kg émis |
|---------------------------|------------------|-------|-----------------------------------|
| Gaz carbonique            | CO <sub>2</sub>  | 1     | 0,2727                            |
| Méthane                   | CH <sub>4</sub>  | 23    | 6,82                              |
| Protoxyde d'azote         | N <sub>2</sub> O | 298   | 81,3                              |
| Dichlorodifluorocarbone   | CFC-12           | 8500  | 2318                              |
| Chlorodifluorocarbone     | HCFC-22          | 1700  | 463,6                             |
| Tétra fluorure de carbone | CF <sub>4</sub>  | 6500  | 1723                              |
| Hexafluorure de soufre    | SF <sub>6</sub>  | 23900 | 6518,2                            |

#### 5.1.4. Formule générale du calcul effectif

Tous les inventaires d'émissions de GES basés sur le calcul et non sur la mesure visent à obtenir un total d'émissions, éventuellement réparti par catégorie, en multipliant une donnée d'activité par un facteur d'émission, comme synthétisé dans la formule suivante :

$$E = \sum_{i=1}^n A_i * FE_i$$

Avec :

**E** : Émissions totales de l'inventaire ou d'un sous-ensemble de l'inventaire.

**A<sub>i</sub>** : Donnée d'activité du flux *i*, lequel flux est généralement exprimé en unités physiques (ex: tonnes de gazole, kWh électriques, tonnes d'acier, tonnes.km de fret routier, surfaces construites, etc.).

**FE<sub>i</sub>** : Facteur d'émission applicable au flux *i*.

**n**: Nombre de flux pris en compte dans le cadre de l'inventaire ou du sous- ensemble de l'inventaire.

#### 5.1.5. L'analyse du cycle de vie (ACV)

Le cycle de vie d'un système est l'ensemble des phases consécutives et liées d'un système, c'est à dire de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination « du berceau à la tombe ». Un système est l'ensemble des opérations se rapportant à un produit, un procédé ou une activité. Suivant ce concept, toutes les étapes du cycle de vie (extraction et traitement des matières premières, transformation, transport et distribution, consommation, recyclage et gestion des déchets) ont une incidence sur l'environnement et l'économie.

L'analyse de cycle de vie (ACV) est la composante environnementale des études du cycle de vie d'un système : c'est un outil qui peut être utilisé pour évaluer les impacts environnementaux d'un système (identification, quantification et caractérisation des transferts de pollution). Les études d'ACV sont généralement des études comparatives de systèmes ou de phases de cycle de vie. L'ACV permet de détecter les avantages ou les faiblesses d'un système ou d'en développer de nouveaux et d'identifier les transferts de pollution.

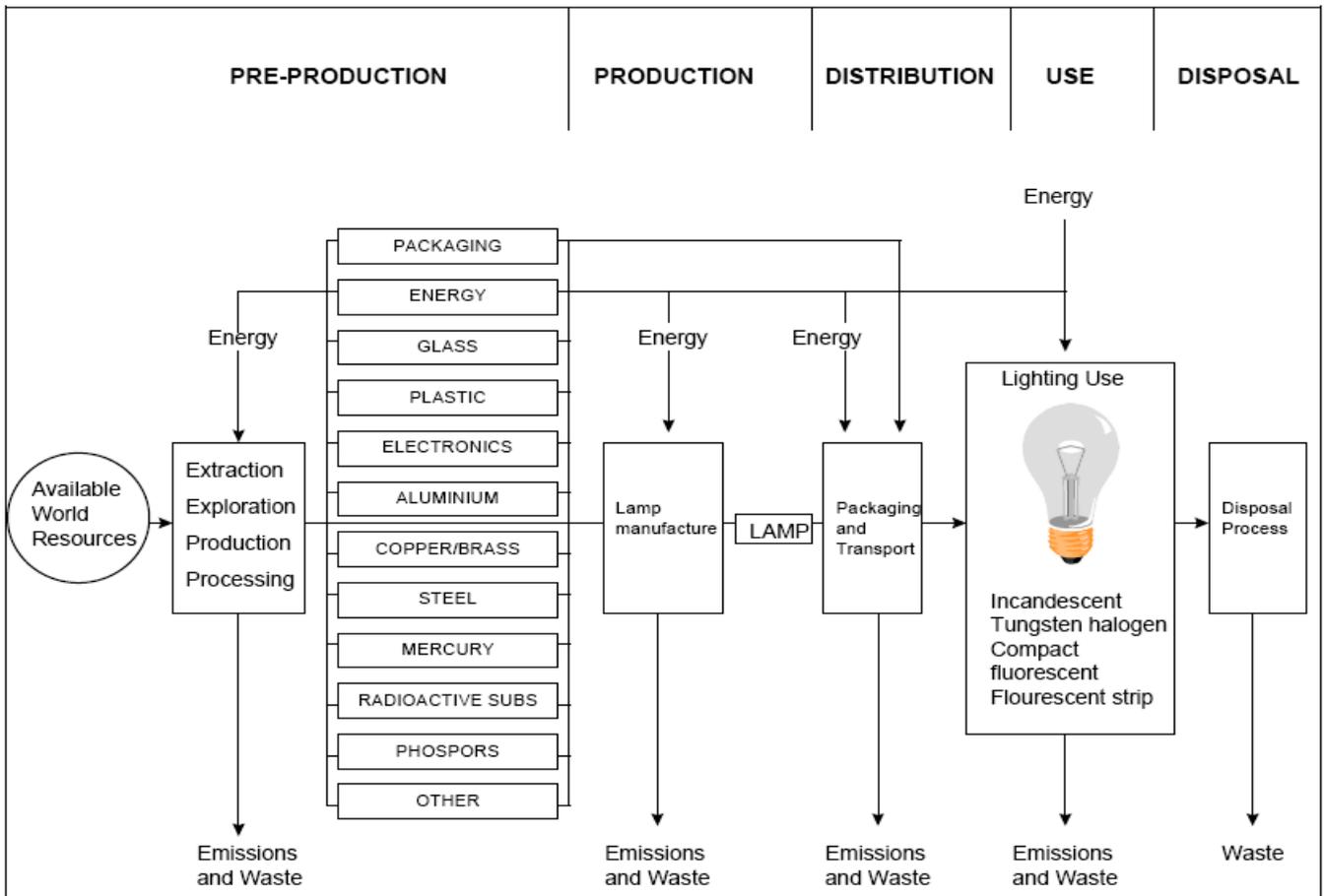


Figure II-19 : Analyse du cycle de vie d'une ampoule à incandescence<sup>19</sup>

5.1.6. Les incertitudes

Dès lors que l'on utilise une méthode qui applique des facteurs d'émission à des données d'activité il y a deux sources d'incertitude lors du calcul des émissions de gaz à effet de serre : une incertitude sur les données et une incertitude sur les facteurs d'émissions. Concernant les données d'activités, celles-ci peuvent être soit directement disponibles (par exemple les kWh lus sur un compteur) soit plus ou moins estimés à partir de données indirectes. La table ci-dessous présente les différents types de données utilisables pour réaliser un Bilan Carbone.

*Tableau II-8 : Nature des données d'activités*

| Type de données     | Description  |
|---------------------|--|
| Données primaires   | Données observées, prélevées à partir des systèmes d'information et relevés physiques appartenant ou exploités par la société (ou une société dans sa chaîne d'approvisionnement).                     |
| Données secondaires | Données génériques ou données moyennes provenant de sources publiées, qui sont représentatives des activités d'une entreprise ou de ses produits   |
| Données extrapolées | Données primaires ou secondaires liées à une activité similaire qui sont adaptées ou personnalisées à une nouvelle situation.  |
| Données approchées  | Données primaires ou secondaires liées à une activité semblable qui peut être utilisée en lieu et place de données représentatives. Ces données existantes sont directement utilisées sans adaptation. |

Chaque calcul effectué est donc assorti d'une d'incertitude, ce qui permet d'obtenir une incertitude pour le résultat d'ensemble. Le but ultime de l'analyse étant de révéler des liens de dépendance et des points de vulnérabilité face à la contrainte carbone, une vision même floue sur un champ d'observation très large (autre manière de traduire l'incertitude du résultat) ne compromet pas cet objectif dès lors que l'incertitude est connue.<sup>9</sup>

#### 5.1.7. Equivalences entre les unités de mesure de l'énergie

Comme indiqué ci-dessus, il arrive que l'énergie à prendre en compte soit disponible dans une unité inhabituelle pour la France (des BTU, des stères de bois...). Pour faciliter la tâche de l'utilisateur, les tableurs du Bilan Carbone comprennent tous le tableau ci-dessous, qui permet de convertir ces unités en unités plus usuelles.

Tableau 9 : Equivalences entre les unités de mesure de l'énergie<sup>20</sup>

| Conversion des unités |           |           |           |           |            |           |                   |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------------|
|                       | tep       | Tec       | Joule     | kWh PCI   | BTU        | m3 de gaz | tonne bois<br>20% |
| tep                   | 1         | 1,43      | 4,20 E+10 | 11 667    | 39 808 351 | 1 200     | 2,99              |
| tec                   | 0,697     | 1         | 2,93 E+10 | 8 136     | 27 759 690 | 837       | 2,09              |
| Joule                 | 2,38 E-11 | 3,41 E-11 | 1         | 2,78 E-07 | 0,000948   | 2,86 E-08 | 7,12 E-11         |
| kWh PCI               | 8,57 E-05 | 1,23 E-04 | 3,60 E+06 | 1         | 3 412      | 0,1       | 2,56 E-04         |
| Thermie               | 0,00009   | 0,00013   | 3,78 E+06 | 1,05      | 3582,75    | 0,108     | 0,00027           |
| BTU                   | 2,51 E-08 | 3,60 E-08 | 1 055     | 0,00029   | 1          | 3,01 E-05 | 7,51 E-08         |
| m <sup>3</sup> de gaz | 0,00083   | 0,0012    | 3,50 E+07 | 9,7       | 33 174     | 1         | 0,00249           |
| tonnes bois<br>20%    | 0,334     | 0,479     | 1,40 E+10 | 3 900     | 13 307 363 | 401       | 1                 |

## 5.2. Les sources d'émissions des GES

### 5.2.1. Combustibles fossiles

#### 5.2.1.1. Combustibles liquides

Parmi ces combustibles liquides, on retrouve :

- **Le bitume**, généralement utilisé pour la construction routière et le BTP. Il peut dans de rares cas être brûlé.

- **Le fioul lourd**, principalement utilisé pour les centrales thermiques ou pour les moteurs diesel des navires (voir plus bas HFO)

- **Le fioul domestique**, utilisé dans les chaudières domestiques

- **Le gazole ou diesel**, issu de la même coupe que fioul domestique. Il est mélangé avec des biocarburants pour être utilisé comme carburant.

- **Le kérosène**, utilisé pour l'aviation.

- **L'essence**, mélangé avec des biocarburants pour être utilisé comme carburant (voir plus bas essence pompe, E10 et E85)

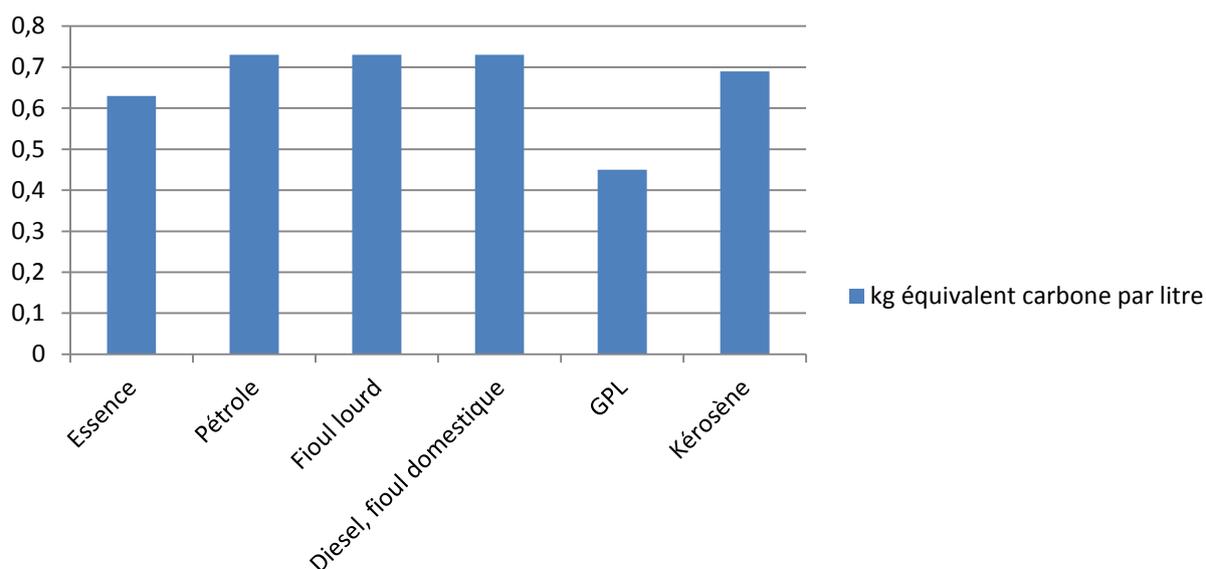
Tableau II-10 : Facteurs d'émission des combustibles liquides<sup>21</sup>

| Source d'énergie         | kg équivalent<br>carbone par tonne | kg équivalent<br>carbone par<br>kWh | kg équivalent<br>carbone par tep<br>(énergie finale) | kg équivalent<br>carbone par<br>litre |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Essence                  | 870                                | 0,072                               | 833  | 0,63                                  |
| Pétrole                  | 855                                | 0,071                               | 830  | 0,73                                  |
| Fioul lourd              | 850                                | 0,077                               | 890  | 0,73                                  |
| Diesel, fioul domestique | 850                                | 0,074                               | 856  | 0,73                                  |
| GPL                      | 805                                | 0,063                               | 731  | 0,45                                  |
| Kérosène                 | 859                                | 0,073                               | 845  | 0,69                                  |

Ces valeurs ne tiennent compte que de la phase de combustion de l'hydrocarbure, et ne prennent pas en compte les émissions "amont". Ces émissions non prises en compte sont associées à l'extraction, au transport, et au raffinage éventuel de ces combustibles.

Tableau II-11 : Conversion des facteurs d'émission globaux (amont + combustion) en fonction de différents carburants<sup>21</sup>

| Source d'énergie         | kg équivalent<br>carbone par<br>tonne | kg équivalent<br>carbone par kWh | kg équivalent<br>carbone par tep | kg équivalent<br>carbone par litre |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Essence                  | 1025                                  | 0,085                            | 981                              | 0,739                              |
| Pétrole                  | 916                                   | 0,076                            | 889                              | 0,779                              |
| Fioul lourd              | 968                                   | 0,088                            | 1013                             | 0,828                              |
| Diesel, fioul domestique | 951                                   | 0,082                            | 958                              | 0,814                              |
| GPL                      | 954                                   | 0,074                            | 867                              | 0,539                              |
| Kérosène                 | 967                                   | 0,082                            | 952                              | 0,778                              |



**Figure II-20 : Kilogramme équivalent carbone par litre des différents carburants**

Nous constatons ainsi qu'en intégrant les émissions amont, diesel, essence et kérosène sont comparables en termes d'émission par unité d'énergie finale, et que le GPL n'est "que" 10% plus propre que l'essence question émissions de CO<sub>2</sub> par unité d'énergie.

#### 5.2.1.2. Combustibles gazeux

**Tableau II-12 : Calcul du facteur d'émission global (amont + combustion) du gaz naturel<sup>21</sup>**

| Source d'énergie | kg équivalent carbone par tonne | kg équivalent carbone par kWh | kg équivalent carbone par tep | Kg équivalent par thermie |
|------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Gaz naturel      | 908                             | 0,064                         | 739                           | 0,0665                    |

#### 5.2.1.3. Combustibles solides

Les combustibles fossiles solides retenus dans la Base Carbone sont les suivants :

- Des charbons (tourbe, lignite, houille, anthracite)
- Les schistes bitumineux
- Des cokes de charbon (charbon à coke, coke de houille, coke de lignite) et le coke de pétrole.

Tableau II-13 : Facteurs d'émission globaux (amont + combustion) de combustibles solides

21

| Combustible   | kg équ. C par<br>tonne | kg équ. C par<br>kWh | kg équ. C par tep |
|---|------------------------|----------------------|-------------------|
| Charbon à coke  | 820                    | 0,113                | 1320              |
| Houille   | 820                    | 0,113                | 1320              |
| Charbon sous-bitumineux                               | 827                    | 0,114                | 1331              |
| Agglomérés (provenant de<br>houille ou sous bitumeux) | 975                    | 0,109                | 1276              |
| Lignite   | 610                    | 0,129                | 1501              |
| Briquelette de lignite                                | 600                    | 0,127                | 1478              |
| Coke de houille                                       | 963                    | 0,124                | 1440              |
| Coke de lignite                                       | 647                    | 0,137                | 1592              |
| Coke de pétrole                                       | 916                    | 0,099                | 1155              |
| Tourbe  | 494                    | 0,153                | 1782              |
| Schistes  | 418                    | 0,16                 | 1859              |
| Pneumatiques usagés                                   | 608                    | 0,084                | 976               |

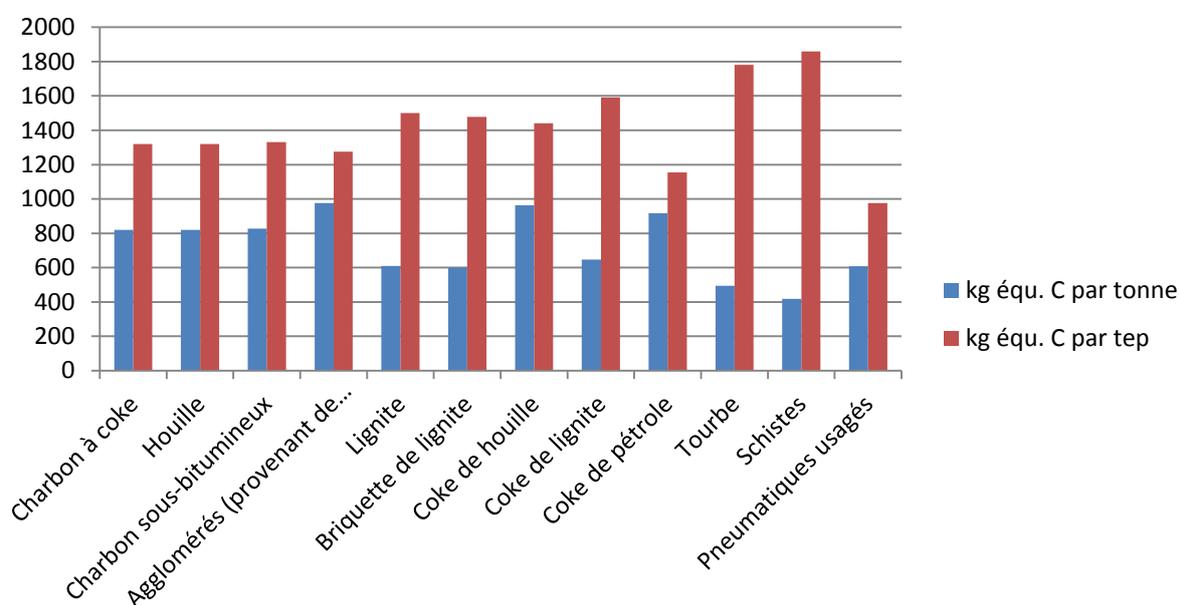


Figure II-21 : Facteurs d'émission (amont + combustion) de combustibles solides

## 5.2.2. Production d'électricité

**Quelques considérations préliminaires :**

Que ce soit dans une centrale à charbon, nucléaire, avec une éolienne ou un barrage, l'électricité est toujours produite à partir d'énergie dite "primaire" (pétrole, gaz, nucléaire, solaire...). Pour calculer le contenu en équivalent carbone d'un kWh électrique fourni à l'utilisateur, il serait nécessaire de prendre en compte l'ACV (Analyse du Cycle de Vie). Il faut donc de tenir compte :

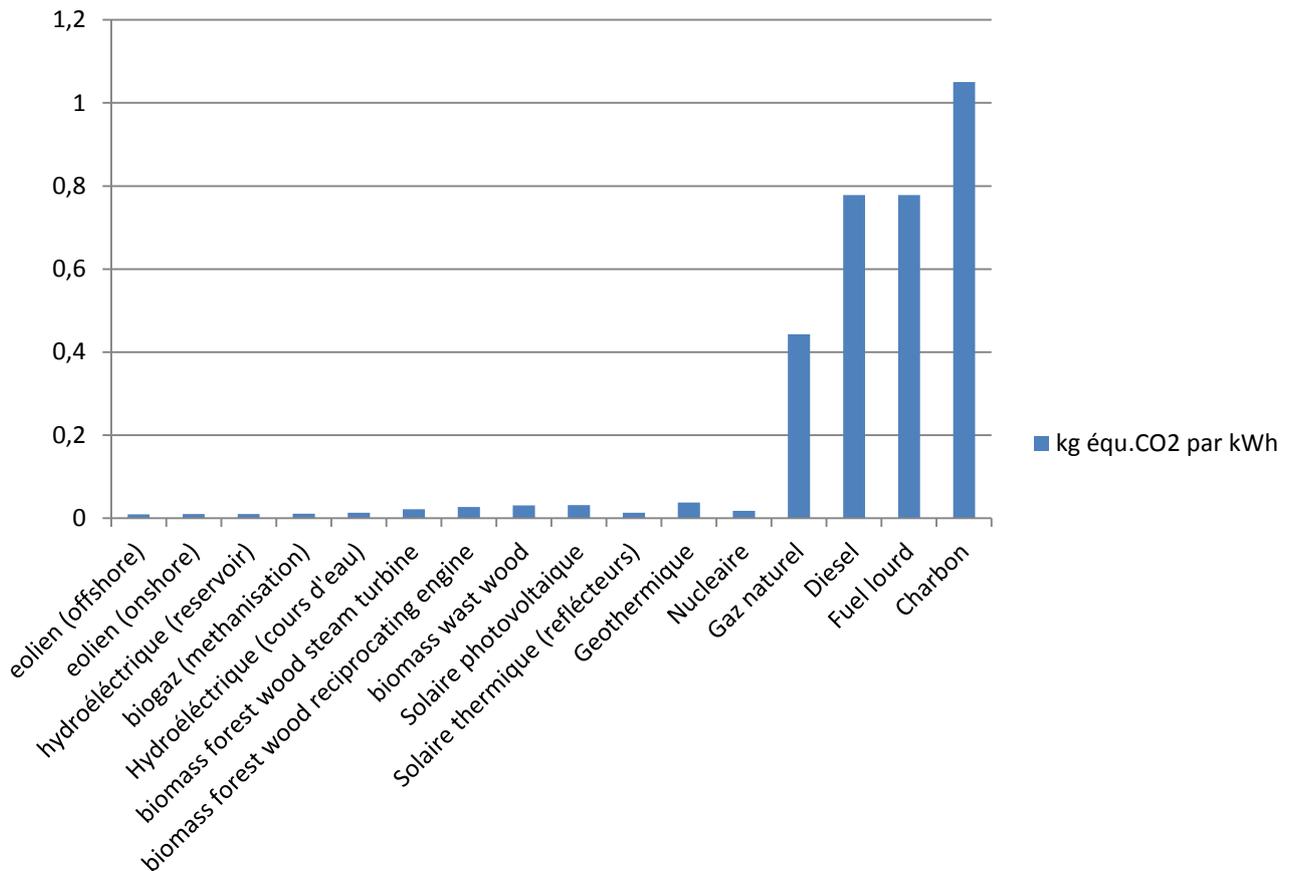
De l'énergie primaire utilisée pour faire un kWh en sortie de centrale, - des émissions amont liées à la mise à disposition de cette énergie primaire à la centrale électrique,

Des émissions qui ont été engendrées par la construction de l'installation de production (qu'il s'agisse d'une centrale produisant en masse ou d'un panneau solaire),

Des pertes en ligne si l'énergie électrique n'est pas produite sur place, car cette énergie perdue a bien entendu conduit à des émissions.

**Tableau II-14 : Facteurs d'émissions des différents moyens de production d'électricité<sup>9</sup>**

| Technologie                                      | kg équ.CO <sub>2</sub> par kWh | kg équ.C par kWh |
|--|--------------------------------|------------------|
| Eolien (offshore)                                | 0,009                          | 0,0024           |
| Eolien (on shore)                                | 0,01                           | 0,0027           |
| Hydroélectrique (réservoir)                      | 0,01                           | 0,0027           |
| Biogaz (méthanisation)                           | 0,011                          | 0,003            |
| Hydroélectrique (cours d'eau)                    | 0,013                          | 0,0035           |
| Biomasse (turbine à vapeur de bois de la forêt)  | 0,022                          | 0,006            |
| Biomasse (moteur alternatif de bois de la forêt) | 0,027                          | 0,007            |
| Biomasse (déchets de bois)                       | 0,031                          | 0,008            |
| Solaire photovoltaïque                           | 0,032                          | 0,009            |
| Solaire thermique (réflecteurs)                  | 0,013                          | 0,003            |
| Géothermique                                     | 0,038                          | 0,01             |
| Nucléaire  | 0,018                          | 0,005            |
| Gaz naturel                                      | 0,443                          | 0,121            |
| Diesel   | 0,778                          | 0,212            |
| Fuel lourd                                       | 0,778                          | 0,212            |
| Charbon  | 1,05                           | 0,286            |



**Figure II-22 : Facteurs d'émissions des différents moyens de production d'électricité**

### 5.2.3. Transport

Les transports sont une source de gaz à effets de serre du fait :

- Du gaz carbonique provenant de la combustion des carburants (pétrole, gaz, GPL, etc.).
- Des fuites liées à la climatisation le cas échéant, qui engendrent des émissions d'halocarbures (HFC le plus souvent).
- Des polluants locaux divers, qui peuvent être directement des gaz à effet de serre (oxydes d'azote), ou être des précurseurs de l'ozone, qui est lui-même un gaz à effet de serre (l'ozone des basses couches, encore appelé ozone troposphérique, est responsable d'environ 15% de la perturbation humaine du système climatique).

## Cas des véhicules légers :

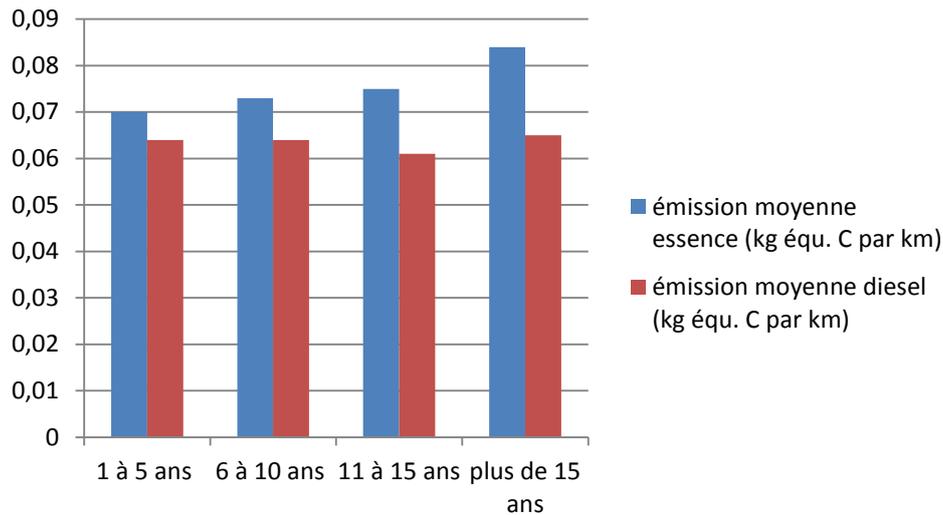
**Tableau II-15 : Facteurs d'émission des principaux carburants utilisés dans le transport routier <sup>22</sup>**

| carburant | émission (Kg.eq carbone/ litre) |
|-----------|---------------------------------|
| essence   | 0,897                           |
| Diesel    | 0,947                           |
| GPL       | 0,6                             |
| GNV       | 0,597 (Kg.eq carbone/m3)        |

**Tableau II-16 : Consommations moyennes des véhicules en fonction de leur ancienneté de mise en circulation<sup>22</sup>**

| Ancienneté de mise en circulation | Consommation moyenne essence (litres aux 100 km) | émission moyenne essence (kg équ. C par km) | Consommation moyenne diesel (litres aux 100 km) | émission moyenne diesel (kg équ. C par km) |
|-----------------------------------|--|---|---|--|
| 1 à 5 ans                         | 7,8  | 0,07  | 6,8   | 0,064                                      |
| 6 à 10 ans                        | 8,2  | 0,073                                       | 6,8   | 0,064                                      |
| 11 à 15 ans                       | 8,4  | 0,075                                       | 6,4   | 0,061                                      |
| plus de 15 ans                    | 9,4  | 0,084                                       | 6,9   | 0,065                                      |

Ces facteurs d'émission ne comprennent pas seulement la combustion des carburants, un facteur d'émission moyen lié à la fabrication du véhicule est ajouté, il est de l'ordre de **11g équ.C/km pour le cas véhicules essence**, et **11,2g équ.C/km pour le cas de véhicules diesel**.

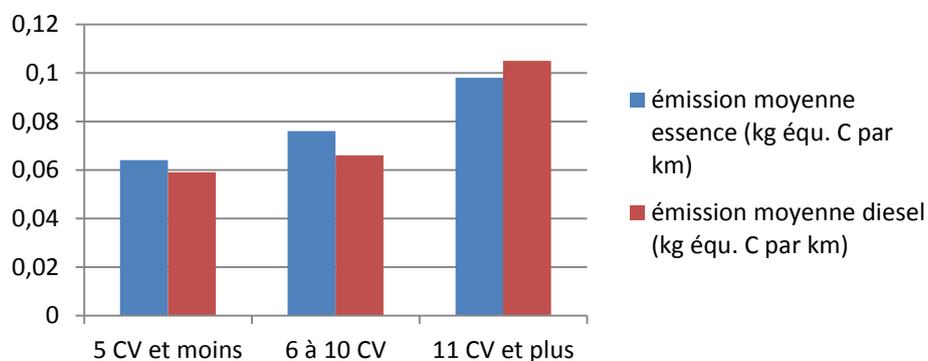


**Figure II-23 : Consommations moyennes des véhicules en fonction de leur ancienneté de mise en circulation**

Les consommations des véhicules et donc leurs émissions en GES sont aussi affecté par la puissance administrative de ces véhicules, le tableau II-14 démontre quelques chiffres liés à cette caractéristique :

**Tableau II-17 : Consommation moyenne des véhicules essence et diesel fonction de leur puissance administrative <sup>22</sup>**

| Classe de puissance administrative | Consommation moyenne essence (litres aux 100 km) | émission moyenne essence (kg équ. C par km) | Consommation moyenne diesel (litres aux 100 km) | émission moyenne diesel (kg équ. C par km) |
|------------------------------------|--|---|---|--|
| 5 CV et moins                      | 7,2  | 0,064                                       | 6,3   | 0,059                                      |
| 6 à 10 CV                          | 8,5  | 0,076                                       | 7   | 0,066                                      |
| 11 CV et plus                      | 10,9   | 0,098                                       | 11,1  | 0,105                                      |



**Figure II-24 : Consommation moyenne des véhicules essence et diesel en fonction de leur puissance administrative**

**Cas des véhicules de transport :**

Les véhicules de transport ont des consommations, et donc des taux d'émission de GES qui varient. Cette variation est due à la charge que chaque véhicule transporte comme exprimé dans le tableau II-15 :

**Tableau II-18 : Facteurs d'émission des véhicules par kilomètre et par classe de PTAC<sup>22</sup>**

| Classe de PTAC               | consommation<br>(Litres aux 100<br>km) | combustion<br>(kg équ. C par<br>km) | fabrication<br>(kg équ. C par<br>km) | émissions<br>(kg équ. C par<br>km) |
|------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| < 1,5 t essence              | 8,4                                    | 0,062                               | 0,009                                | 0,071                              |
| < 1,5 t diesel               | 7,2                                    | 0,059                               | 0,007                                | 0,066                              |
| 1,5 à 2,5 tonnes<br>essences | 9,5                                    | 0,07                                | 0,011                                | 0,081                              |
| 1,5 à 2,5 tonnes<br>diesel   | 8,4                                    | 0,068                               | 0,008                                | 0,076                              |
| 2,6 à 3,4 tonnes<br>essences | 16,7                                   | 0,123                               | 0,013                                | 0,136                              |
| 2,6 à 3,4 tonnes<br>diesel   | 10,8                                   | 0,088                               | 0,01                                 | 0,098                              |
| 3,5 tonnes                   | 12,4                                   | 0,1                                 | 0,011                                | 0,111                              |
| 3,6 à 5 tonnes               | 18,5                                   | 0,151                               | 0,012                                | 0,163                              |
| 5 à 6 tonnes                 | 14,5                                   | 0,118                               | 0,014                                | 0,132                              |
| 6,1 à 10,9 tonnes            | 21,9                                   | 0,178                               | 0,016                                | 0,194                              |
| 11 à 19 tonnes               | 29,6                                   | 0,241                               | 0,02                                 | 0,261                              |
| 19,1 à 21 tonnes             | 34,2                                   | 0,278                               | 0,021                                | 0,299                              |
| plus de 21 tonnes            | 42,8                                   | 0,348                               | 0,024                                | 0,372                              |

**PTAC :**

Le poids total autorisé en charge (PTC puis PTAC) est la masse maximale autorisée pour un véhicule routier (le terme « poids » est généralement utilisé pour la masse, hors domaine aéronautique), tel que spécifié dans le code de la route. Elle comprend la charge maximale de marchandises (charge utile) ainsi que le poids maximal du chauffeur et de tous les passagers.

Cette masse est définie par le constructeur ou l'importateur du véhicule, entre autres caractéristiques présentées lors de l'homologation du véhicule par les autorités compétentes, nécessaire pour que ce véhicule obtienne l'autorisation de circuler sur le réseau routier du pays considéré.

#### 5.2.4. Alimentation

L'agriculture, c'est-à-dire les cultures de fruits et légumes, les fourrages ou encore l'élevage bovin sont source d'émissions de gaz à effet de serre. Les sources prises en compte sont :

- Les émanations de N<sub>2</sub>O liées à l'usage d'engrais.
- L'utilisation directe de carburants dans les engins agricoles et bateaux de pêche.
- Les émanations de CH<sub>4</sub> liées à la digestion des ruminants et la fermentation des déjections.

**Tableau II-19 : Facteur d'émission en kilogramme équivalent carbone par tonne de produit alimentaire<sup>20</sup>**

| Produits           | facteur d'émission (Kg.eq C/t) |
|--------------------|--------------------------------|
| veau               | 12000                          |
| bœuf               | 3900                           |
| poulet             | 400                            |
| œufs               | 300                            |
| yaourt             | 660                            |
| fromage pate cuite | 3610                           |
| lait de vache      | 316                            |
| fromage lait cru   | 1500                           |
| beurre             | 2700                           |
| poisson            | 440                            |
| sucre              | 200                            |
| fruits tropicaux   | 366                            |
| Pain biscottes     | 137                            |
| Pâtes              | 383                            |
| Riz et semoule     | 120                            |
| Viennoiseries      | 809                            |
| Biscuits           | 684                            |
| Pâtisseries        | 914                            |

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Lait                       | 396  |
| Fromages                   | 3800 |
| Charcuterie                | 1410 |
| Poissons                   | 500  |
| Légumes de saison          | 122  |
| Pommes de terre et dérivés | 32   |
| Légumes secs               | 64   |
| Fruits                     | 122  |
| Sucres et dérivés          | 200  |
| Eaux                       | 6    |
| Jus de fruits et sodas     | 64   |
| Café                       | 200  |
| Pain                       | 125  |
| huile                      | 300  |
| lentilles                  | 32   |

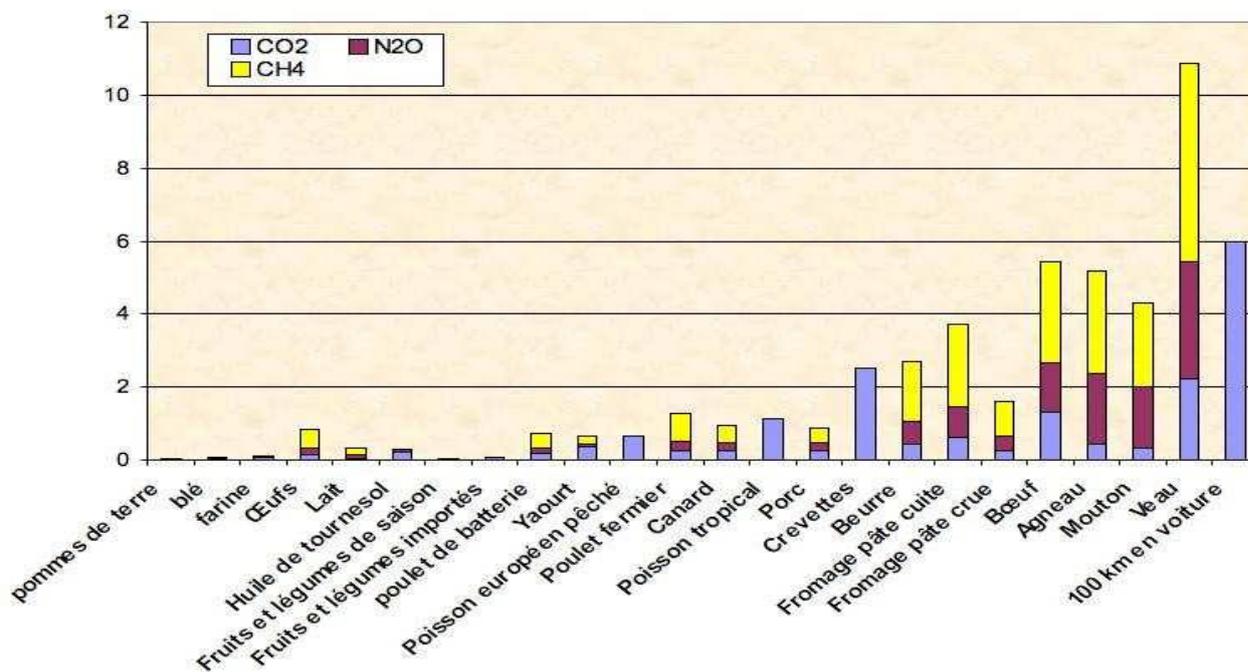


Figure II-25 : Facteur d'émission en kilogramme équivalent carbone par kilogramme d'aliments produits <sup>10</sup>

### 5.2.5. UTCF

Les changements d'affectation des sols modifient les stocks de carbone contenus sur les sols. Il peut en résulter soit une émission de CO<sub>2</sub>, soit une captation de CO<sub>2</sub>. Par exemple, d'un

point de vue majoritaire, le retournement d'une prairie et sa substitution par une culture entraîne un déstockage du carbone des sols. Les cinétiques de stockage/déstockage du carbone entraînées par des changements d'affectation des sols sont des phénomènes qui s'inscrivent sur de longues périodes. Par ailleurs, on peut également noter sur le graphe ci-dessous que la vitesse de déstockage à une échelle de 20 ans est deux fois plus rapide que la vitesse de stockage.

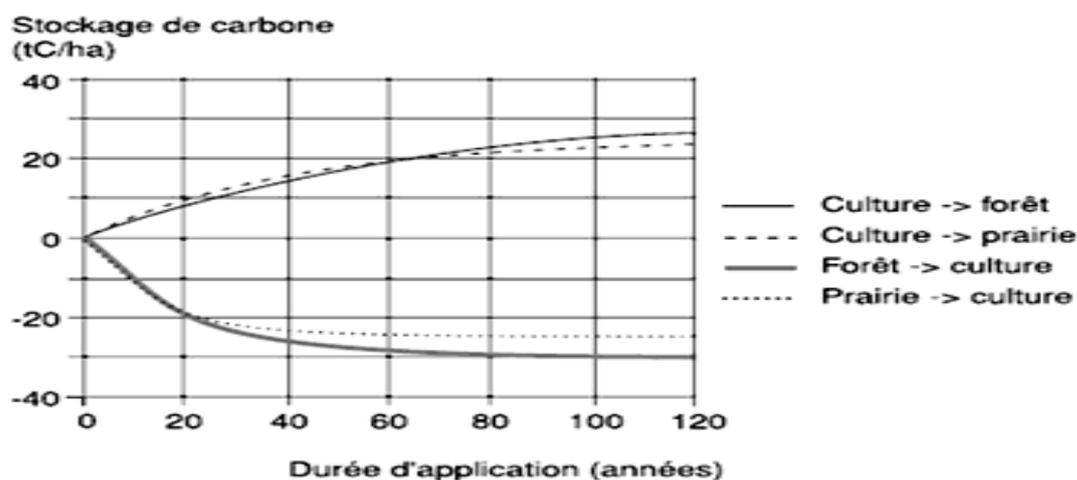


Figure II-26 : Emission ou séquestration de carbone par changement d'affectation des terres et forêts<sup>23</sup>

Tableau II-20 : Les facteurs d'émission (ou de captation) par changement d'affectation des terres et des forêts<sup>23</sup>

| Affectation du sol              | Facteur d'émission (tCO <sub>2</sub> /ha/an) |          |
|---------------------------------|--|----------|
| Forêt ==> Culture               | 2,75   |          |
| Forêt ==> Prairie               | 0,37   | (+ 0,37) |
| Prairie ==> Culture             | 3,48   | (+1,1)   |
| Culture ==> Prairie             | -1,8   | (+ 0,95) |
| Prairie ==> Forêt               | -0,37  | (+ 0,73) |
| Culture ==> Prairie             | -1,61  | (+ 0,88) |
| Culture ==> Forêt               | -1,8   | (+ 0,95) |
|                                 | Facteur d'émission (tCO <sub>2</sub> /ha)    |          |
| Culture ==> Sol imperméabilisés | 190  | (+80)    |
| Prairie ==> Sol imperméabilisés | 290  | (+120)   |
| Forêt ==> Sol imperméabilisés   | 290  | (+ 120)  |

## Conclusion

Le changement climatique est à la fois l'un des plus grands défis de l'Humanité, et l'un des signes les plus importants de notre surconsommation écologique. En effet, l'empreinte carbone représentant la moitié de l'empreinte écologique de l'ensemble de l'humanité, il paraît essentiel de la réduire afin de lutter contre cette surconsommation.

Aujourd'hui, les projecteurs sont sur les émissions de carbone, mais les changements climatiques concernent également les autres limites critiques : pêcheries, forêts, cultures et ressources en eau. Si nous ne nous attachons pas à lutter contre le changement climatique avec une vision systémique du problème, certaines solutions au changement climatique pourront avoir de graves impacts inattendus. Par exemple, la ruée vers les biocarburants provoque, dans de nombreux cas, des transferts de pressions écologiques vers les terres de cultures et les forêts.

# Chapitre III

## Evaluation de l'empreinte carbone : Application à l'UMMTO

## Introduction

Comment quantifier la pression que peut exercer l’activité d’une université sur l’écosystème local, régional ou planétaire ?

C’est pour répondre à cette question qu’une évaluation de l’empreinte carbone pour l’université Mouloud MAMMARI est entreprise dans ce projet. Nous allons donc quantifier son empreinte en suivant la méthodologie avancée dans le second chapitre. Pour ce faire, nous considérerons les consommations de l’université liées à l’électricité, au chauffage, au transport et à la restauration. Avec le logiciel Fortran nous calculerons les émissions résultantes des différentes activités au sein de l’université.

### 1. Présentation de l’UMMTO

L’université de Tizi-Ouzou est créée en 1977 (décret exécutif no 17-77 du 20 juin 1977) sous forme de Centre universitaire (CUTO) rattaché à l’université d’Alger. En 1989 le C.U.T.O est érigé en université (décret no 89-139 du 1er août 1989). Quelques 490 étudiants y firent leur entrée en 1977 mais ce nombre ne cesse de croître année après année pour atteindre en 2009 quelques 42 000 étudiants.

En 1984, le Centre universitaire de Tizi-Ouzou éclate en 9 instituts nationaux d’enseignement supérieur (INES) :

- INES des Sciences Juridiques et Administratives
- INES d’Agronomie
- INES de Biologie
- INES des Lettres et littérature arabes
- INES de Génie Civil
- INES des Sciences Économiques
- INES des Sciences Médicales
- INES d’Electronique et Informatique

En 1989, cinq nouveaux départements y sont créés :

- Département d’Architecture

- Département d'Électronique
- Département des Langues Étrangères
- Département des Sciences Exactes
- Département de Génie Mécanique

En 1991, les quatre premiers départements cités deviennent des instituts. Quant au cinquième, il n'est érigé en institut qu'en 1995.

Actuellement, l'université compte 9 facultés réparties sur quatre sites: Boukhalfa, Hasnaoua, Bastos et Tamda.

Elle compte aussi des résidences pour les étudiants et enseignants sur les sites de Tamda, Rehahlia, Oued Aissi, M'douha, l'Habitat, Bastos, Hasnaoua, Boukhalfa, Hamlat et sur DBK et les Issers.

*Tableau III-21 : Effectifs d'étudiants et enseignants pour l'année 2013-2014*

| Facultés                                    | Etudiants    | Corps enseignant |
|---|--------------|------------------|
| Sciences                                    | 4938         | 285              |
| Génie électrique et informatique            | 3732         | 218              |
| Génie de la construction                    | 3975         | 232              |
| Sciences biologiques et agronomiques        | 4379         | 243              |
| Médecine                                    | 2849         | 174              |
| Droit                                       | 6347         | 248              |
| Sc. économiques, de gestion et commerciales | 8086         | 231              |
| Lettres et Langues                          | 6669         | 234              |
| Sciences humaines et sociales               | 5742         | 143              |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>46717</b> | <b>2008</b>      |

## 2. Consommations de l'UMMTO

La première démarche à faire dans le calcul de l'empreinte carbone de l'université est la collecte et la publication des données globales des consommations liées à son activité.

### 2.1 Collecte des données globales

La collecte de données globales pour le cas de l'université s'est avérée compromise en raison de données manquantes. En effet, une étude globale du secteur des transports et de l'alimentation est difficilement réalisable. Une partie de ces données, à savoir le transport urbain et les consommations alimentaires d'une partie des résidences ne nous ont pas été fournies par la direction des œuvres universitaires de Hasnaoua.

Pour notre étude, nous ne prendrons en compte qu’une partie des données liées au transport et à l’alimentation, ces dernières nous ont été fournies par la direction centrale des œuvres universitaires.

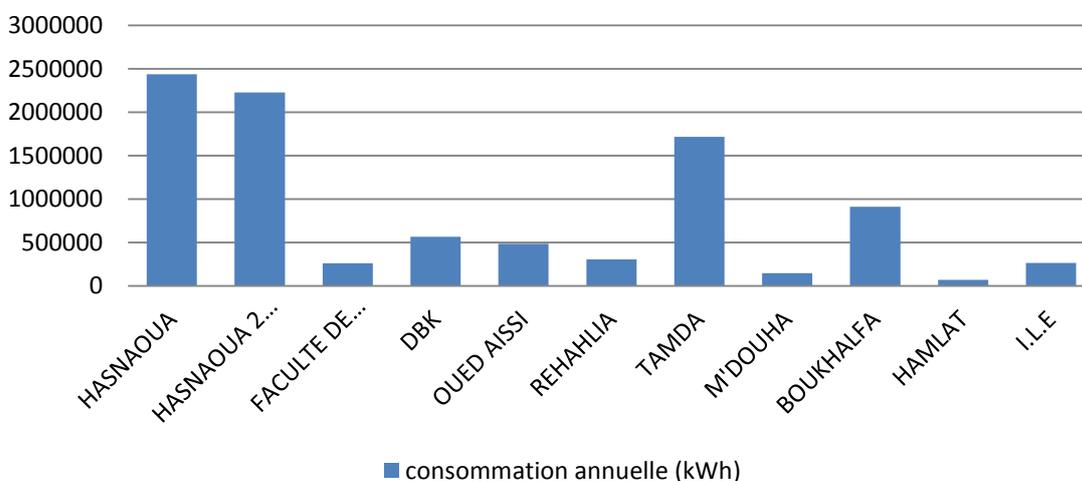
2.1.1 Electricité

L’université Mouloud MAMMERY est alimentée en électricité produite par la centrale de Cap Djinet. Cette dernière est une centrale à flamme utilisant le gaz comme combustible.

Les consommations annuelles en électricité de l’université Mouloud MAMMERY sont regroupées dans le tableau2 et le diagramme de la figure 1:

**Tableau III-22 : Consommation électrique annuelle par faculté et résidence** <sup>24</sup>

| RAISON SOCIALE      | Consommation annuelle (kWh) |
|---------------------|-----------------------------|
| HASNAOUA            | 2437788                     |
| HASNAOUA 2 (BASTOS) | 2228816                     |
| FACULTE DE MEDECINE | 263847                      |
| DBK                 | 568152                      |
| OUED AISSI          | 484892                      |
| REHAHLIA            | 305616                      |
| TAMDA               | 1716254                     |
| M'DOUHA             | 148910                      |
| BOUKHALFA           | 913278                      |
| HAMLAT              | 69950                       |
| I.L.E               | 266391                      |
| <b>TOTAL</b>        | <b>9403894</b>              |

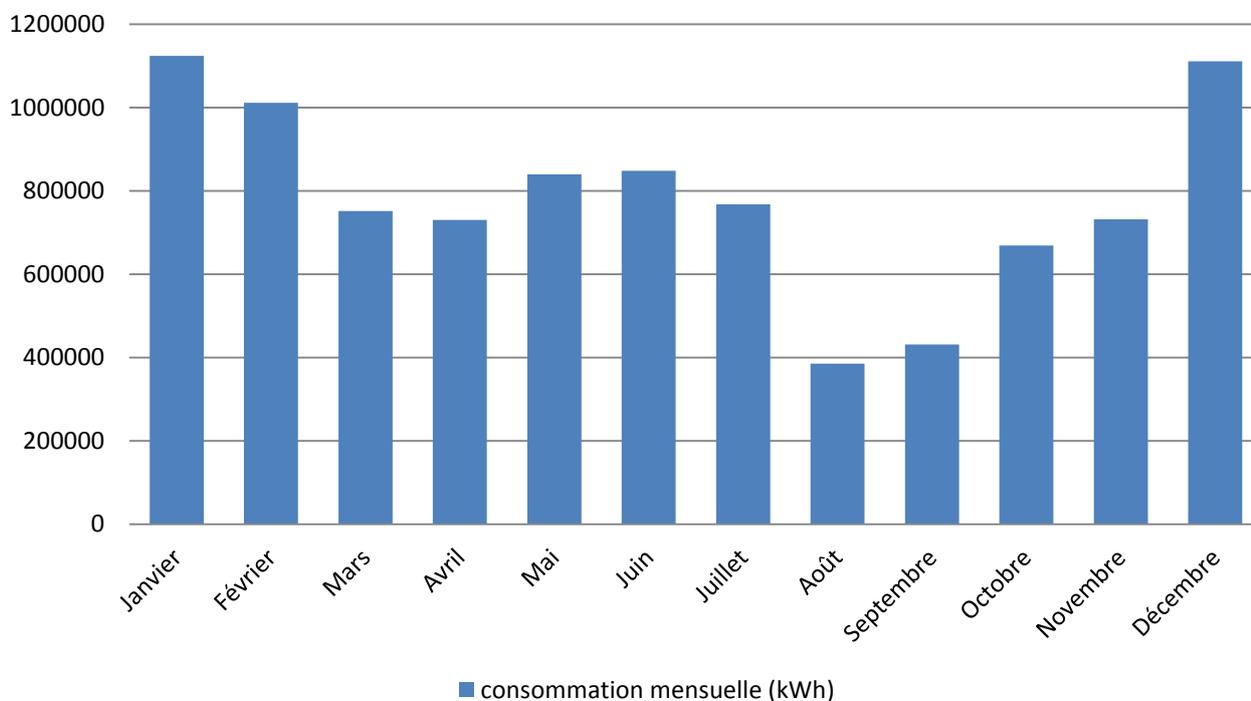


**Figure III-27 : Consommation électrique annuelle en kWh par faculté et résidence**

Sur le diagramme de la figure 2, nous représentons la répartition des consommations électriques mensuelles regroupées dans le tableau 3.

**Tableau III-23 : Consommation électrique mensuelle en kWh de l’UMMTO** <sup>24</sup>

| Année 2013   | consommation mensuelle (kWh) |
|--------------|------------------------------|
| Janvier      | 1124650                      |
| Février      | 1011826                      |
| Mars         | 751920                       |
| Avril        | 730045                       |
| Mai          | 839624                       |
| Juin         | 848476                       |
| Juillet      | 768190                       |
| Août         | 385517                       |
| Septembre    | 431529                       |
| Octobre      | 668675                       |
| Novembre     | 732075                       |
| Décembre     | 1111367                      |
| <b>TOTAL</b> | <b>9403894</b>               |



**Figure III-28 : Consommations électriques mensuelle de l’UMMTO**

2.1.2 Chauffage :

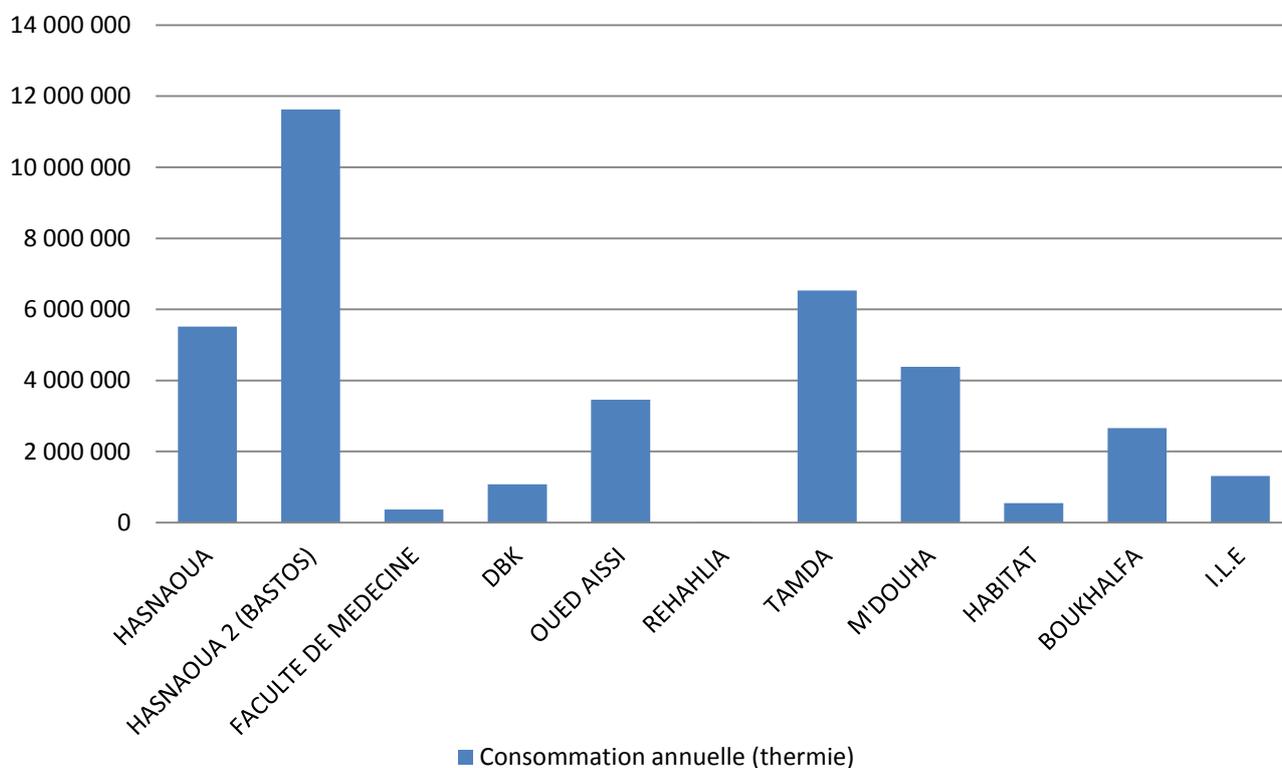
L’université se chauffe au moyen de chaudières. Ces dernières fonctionnent soit au gaz naturel, soit au fioul.

2.1.2.1 Gaz naturel

Le tableau 4 et le diagramme de la figure 3 nous donnent une idée de la répartition annuelle et par faculté et résidence de la consommation de gaz naturel.

**Tableau III-24 : Consommation annuelle en gaz naturel par faculté et résidence** <sup>24</sup>

| Raison social       | Consommation annuelle (thermie) |
|---------------------|---------------------------------|
| HASNAOUA            | 5 516 550                       |
| HASNAOUA 2 (BASTOS) | 11 622 359                      |
| FACULTE DE MEDECINE | 368 304                         |
| DBK                 | 1 075 157                       |
| OUED AISSI          | 3 457 273                       |
| REHAHLIA            | 2 614                           |
| TAMDA               | 6 532 416                       |
| M'DOUHA             | 4 381 717                       |
| HABITAT             | 551 080                         |
| BOUKHALFA           | 2 658 241                       |
| I.L.E               | 1 313 386                       |
| <b>TOTAL</b>        | <b>37 479 097</b>               |



**Figure III-29 : Consommation annuelle en gaz naturel par faculté et résidence**

2.1.2.2      Fioul domestique

Certaines chaudières de l’université continuent à fonctionner au fioul domestique. Quelques **56 milles litres ont été consommés durant l’année 2013**.

2.1.3      Transport

Une étude globale des transports pour l’université s’avère compliquée en raison d’un manque de données.

Dans notre étude, nous prendrons le cas du transport suburbain. Les données liées au transport suburbain sont fournies par la direction des œuvres universitaires centrale (DOUC).

**Etat du parc autobus de l’université :**

Le transport suburbain de l’université Mouloud MAMMARI comprend un parc de 98 autobus desservant pas moins de 32 lignes.

Les autobus de marque SNVI, que cela soit les modèles 100 places ou ceux de 50 places, constituent la majorité du parc de l’université. Ils sont généralement dans un état vétuste. Une étude théorique sur leur consommation en gasoil comprendrait donc un trop grand taux d’incertitude. Dans notre étude, les données collectées sur leur consommation sont issues d’une enquête menée au préalable auprès des conducteurs d’autobus et ce dans le souci de situer avec un maximum de précision l’état des consommations en carburant de leurs autobus ainsi que le taux moyen d’embouteillage dans leurs trajets (tableau 5, figure 4).

Ces autobus s’avèrent être très gourmands en matière de consommation de carburant, allant de **60 litres/100km** pour une circulation hors agglomération, à une consommation de **130 litres/100km** pour une circulation en agglomération (avec un taux élevé d’embouteillage). Le taux moyen d’embouteillage se situe à environ 43%.

Tableau III-25 : Données collectées pour le transport suburbain <sup>25</sup>

| Destinations   |          | Distance (km) | Rotations journalières | Nombre d’autobus | Distance journalière parcourue (km) | Taux de conduite en embouteillage (%) |
|----------------|----------|---------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| TADMAIT        | HASNAOUA | 19,5          | 3                      | 1                | 117                                 | 20                                    |
|                | TAMDA    | 36,1          |                        | 2                | 433,2                               | 50                                    |
| BENI DOUALA    | HASNAOUA | 16,4          | 3                      | 5                | 492                                 | 20                                    |
|                | TAMDA    | 23,5          |                        | 1                | 141                                 | 40                                    |
| BENI ZMENZER   | HASNAOUA | 11,8          | 3                      | 5                | 354                                 | 30                                    |
|                | TAMDA    | 25,6          |                        | 1                | 153                                 | 50                                    |
| LNI            | HASNAOUA | 31            | 3                      | 8                | 1488                                | 30                                    |
|                | TAMDA    | 19,7          |                        | 2                | 236,4                               | 30                                    |
| TIZI RACHED    | HASNAOUA | 18,1          | 3                      | 2                | 217,2                               | 60                                    |
|                | TAMDA    | 4,4           |                        | 1                | 26,4                                | 30                                    |
| MEKLA          | HASNAOUA | 24,5          | 3                      | 5                | 735                                 | 60                                    |
|                | TAMDA    | 10,8          |                        | 1                | 64,8                                | 30                                    |
| AZAZGA         | HASNAOUA | 36,2          | 3                      | 7                | 15240                               | 60                                    |
|                | TAMDA    | 22,4          |                        | 1                | 134,4                               | 30                                    |
| FREHA          | HASNAOUA | 31,4          | 3                      | 4                | 753,6                               | 50                                    |
|                | TAMDA    | 17,7          |                        | 1                | 106,2                               | 30                                    |
| OUAGNOUN       | HASNAOUA | 16,8          | 3                      | 3                | 302,4                               | 40                                    |
|                | TAMDA    | 10,2          |                        | 2                | 122,4                               | 20                                    |
| BOUDJIMA       | HASNAOUA | 25,3          | 3                      | 5                | 759                                 | 40                                    |
|                | TAMDA    | 18,7          |                        | 1                | 112,2                               | 30                                    |
| MAKOUDA        | HASNAOUA | 21,8          | 3                      | 6                | 784,8                               | 30                                    |
|                | TAMDA    | 38,4          |                        | 3                | 691,2                               | 40                                    |
| AKAOUDJ        | HASNAOUA | 23,9          | 3                      | 4                | 573,6                               | 50                                    |
|                | TAMDA    | 17,5          |                        | 3                | 315                                 | 30                                    |
| SIDI NAAMANE   | HASNAOUA | 15            | 3                      | 1                | 90                                  | 30                                    |
|                | TAMDA    | 32,6          |                        | 1                | 195,6                               | 50                                    |
| SID ALI BOUNAB | HASNAOUA | 17            | 3                      | 2                | 204                                 | 30                                    |
|                | TAMDA    | 34,6          |                        | 0                | 0                                   | 50                                    |
| MAATKA         | HASNAOUA | 21,7          | 3                      | 11               | 1432,2                              | 40                                    |
|                | TAMDA    | 37,1          |                        | 3                | 667,8                               | 60                                    |
| TIRMITHINE     | HASNAOUA | 17            | 3                      | 5                | 510                                 | 40                                    |
|                | TAMDA    | 29,8          |                        | 1                | 178,8                               | 60                                    |
|                |          | <b>726,5</b>  |                        | <b>98</b>        | <b>13911,6</b>                      | <b>39 %</b>                           |
|                |          | <b>Total</b>  |                        | <b>Total</b>     | <b>Total</b>                        | <b>Taux moyen</b>                     |

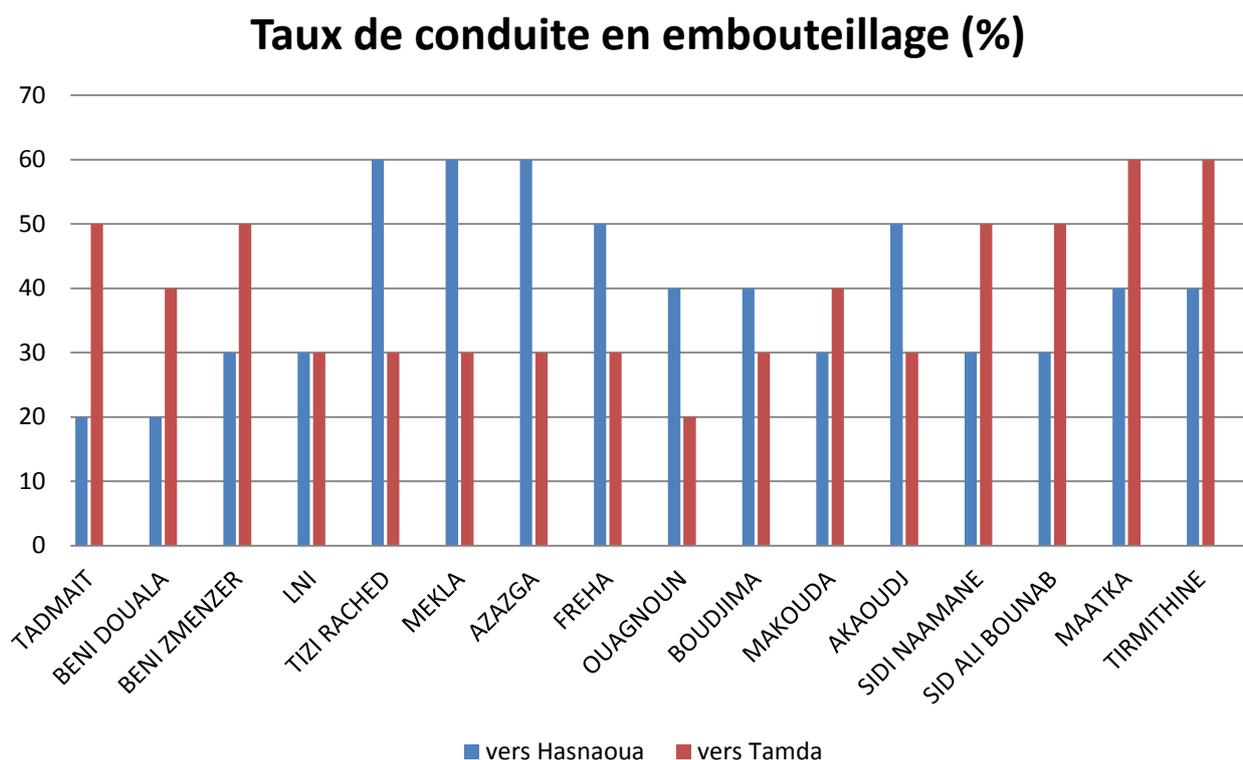


Figure III-30 : Taux de conduite et embouteillage pour les différentes lignes

#### 2.1.4 Alimentation

Au même titre que pour le transport, des données globales sur l’alimentation au sein de l’université ne sont pas disponibles. Nous ne prendrons donc en considération que les seules données liées à l’alimentation fournies par la DOUC et regroupées dans le tableau III-6.

Tableau III-26 : Données utilisées pour l'alimentation <sup>25</sup>

| Produits           | Quantités consommées (tonne) |
|--------------------|------------------------------|
| veau               | 142,589                      |
| fromage pate cuite | 38,207                       |
| fromage lait cru   | 9,013                        |
| Charcuterie        | 44,895                       |
| Pâtisseries        | 5,759                        |
| Viennoiseries      | 23,864                       |
| yaourt             | 115,139                      |
| Poissons           | 46,994                       |
| poulet             | 156,504                      |
| Pâtes              | 26,345                       |
| fruits tropicaux   | 186,094                      |
| œufs               | 7,445                        |
| huile              | 8,112                        |
| Pain               | 382,942                      |

|  |         |
|--|---------|
| Légumes de saison                            | 262,18  |
| Fruits                                       | 344,192 |
| Riz et semoule                               | 34,128  |
| Légumes secs                                 | 32,435  |
| Jus de fruits et sodas                       | 171,743 |
| tubercules (pomme de terre, carotte... etc.) | 352,515 |
| Eaux   | 8,32    |

### 3. Calcul des émissions en équivalent carbone pour l’UMMTO :

Les calculs pour la quantification des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités de l’université sont effectués avec le logiciel FORTRAN. Ce dernier est un langage de programmation utilisé généralement pour des calculs scientifiques.

#### 3.1 Electricité

Sur le tableau 7 et la figure 5, nous reportons les émissions annuelles de gaz carbonique par faculté et résidence.

*Tableau III-27 : Emission annuelle de GES par faculté/résidence*

| RAISON SOCIAL       | consommation<br>annuelle totale<br>(kWh) | Emissions                   |                                     |
|---------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|
|                     |  | Tonne équivalent<br>carbone | Tonne équivalent<br>CO <sub>2</sub> |
| HASNAOUA            | 2437788                                  | 294,972                     | 1082,549                            |
| HASNAOUA 2 (BASTOS) | 2228816                                  | 269,686                     | 989,75                              |
| FACULTE DE MEDECINE | 263847                                   | 31,925                      | 117,166                             |
| DBK                 | 568152                                   | 68,746                      | 252,299                             |
| OUED AISSI          | 484892                                   | 58,671                      | 215,326                             |
| REHAHLIA            | 305616                                   | 36,979                      | 135,714                             |
| TAMDA               | 1716254                                  | 207,666                     | 762,136                             |
| M'DOUHA             | 148910                                   | 18,018                      | 66,126                              |
| BOUKHALFA           | 913278                                   | 110,506                     | 405,559                             |
| HAMLAT              | 69950                                    | 8,463                       | 31,062                              |
| I.L.E               | 266391                                   | 32,233                      | 118,296                             |
| <b>TOTAL</b>        | <b>9403894</b>                           | <b>1137,865</b>             | <b>4175,983</b>                     |

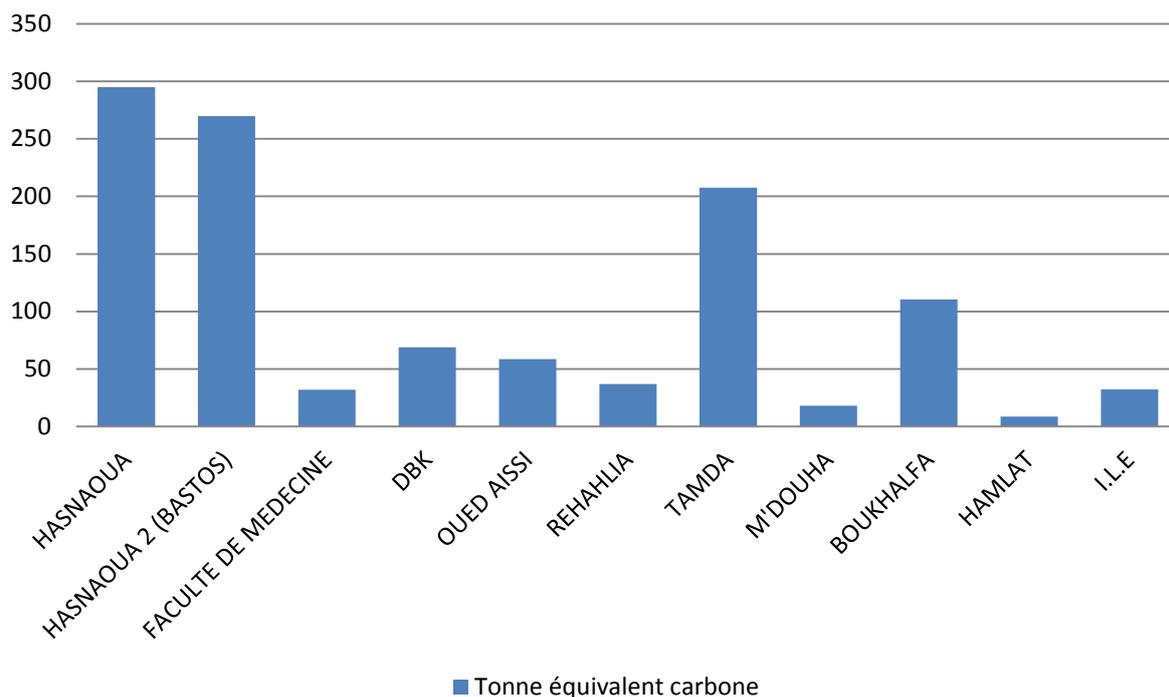


Figure III-31 : Emission annuelle de GES par faculté/résidence

La répartition mensuelle de ces consommations est donnée par le tableau 8 et la figure 6.

Tableau III-28 : Emission mensuelle de GES liée à la consommation électrique

| Année 2013   | Consommation mensuelle (kWh) | Emissions (tonne équ.C) | Emissions (tonne équ.CO <sub>2</sub> ) |
|--------------|------------------------------|-------------------------|--|
| Janvier      | 1124650                      | 136,082                 | 499,423                                |
| Février      | 1011826                      | 122,43                  | 449,321                                |
| Mars         | 751920                       | 90,982                  | 333,905                                |
| Avril        | 730045                       | 88,335                  | 324,191                                |
| Mai          | 839624                       | 101,594                 | 372,851                                |
| Juin         | 848476                       | 102,665                 | 376,782                                |
| Juillet      | 768190                       | 92,95                   | 341,13                                 |
| Août         | 385517                       | 46,647                  | 171,196                                |
| Septembre    | 431529                       | 52,215                  | 191,629                                |
| Octobre      | 668675                       | 80,909                  | 296,938                                |
| Novembre     | 732075                       | 88,581                  | 325,092                                |
| Décembre     | 1111367                      | 134,475                 | 493,524                                |
| <b>TOTAL</b> | <b>9403894</b>               | <b>1137,865</b>         | <b>4175,982</b>                        |

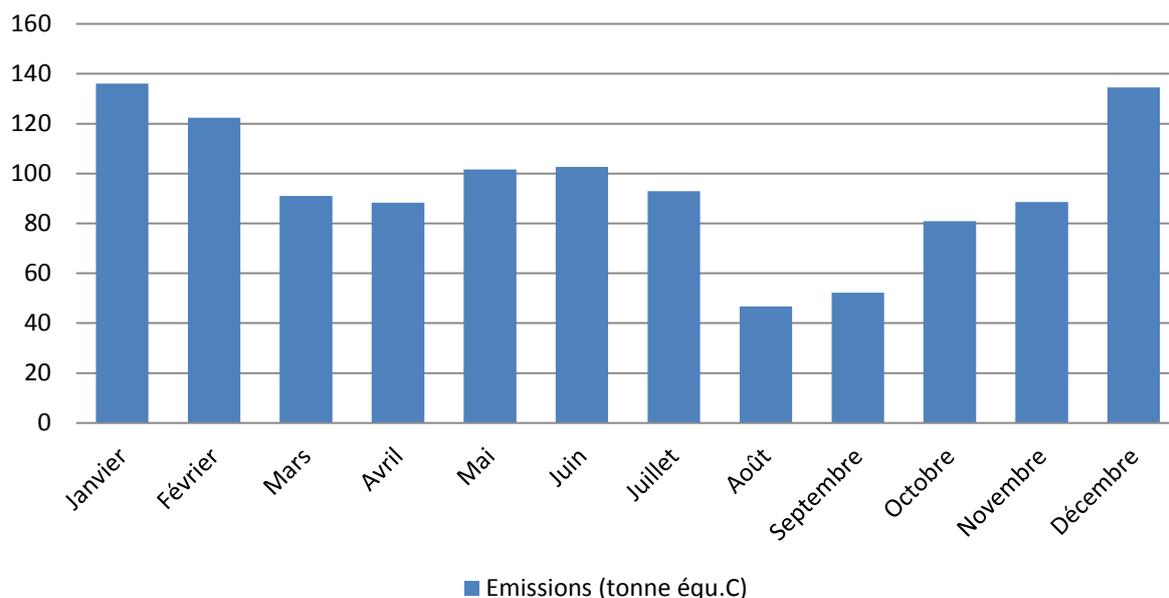


Figure III-32 : Emission mensuelle de GES liée à la consommation électrique

### 3.2 Chauffage

#### 3.2.1 Gaz naturel

Les émissions en gaz carbonique liées à l’utilisation du gaz naturel pour le chauffage et la restauration sont données dans le tableau III-9 et la figure III-7 :

Tableau III-29 : Emission de GES liées à l'utilisation du gaz naturel pour le chauffage

| Raison social       | Consommation annuelle (thermie) | Emissions annuelles (tonne équ.C) | Emissions annuelles (tonne équ.CO2) |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| HASNAOUA            | 5 516 550                       | 366,85                            | 1346,342                            |
| HASNAOUA 2 (BASTOS) | 11 622 359                      | 772,886                           | 2836,495                            |
| FACULTE DE MEDECINE | 368 304                         | 24,492                            | 89,886                              |
| DBK                 | 1 075 157                       | 71,497                            | 262,397                             |
| OUED AISSI          | 3 457 273                       | 229,908                           | 843,764                             |
| REHAHLIA            | 2 614                           | 0,174                             | 0,637                               |
| TAMDA               | 6 532 416                       | 434,405                           | 1594,269                            |
| M'DOUHA             | 4 381 717                       | 291,384                           | 1069,38                             |
| HABITAT             | 551 080                         | 36,646                            | 134,493                             |
| BOUKHALFA           | 2 658 241                       | 176,773                           | 648,757                             |
| I.L.E               | 1 313 386                       | 87,34                             | 320,538                             |
| <b>TOTAL</b>        | <b>37 479 097</b>               | <b>2492,181</b>                   | <b>9146,958</b>                     |

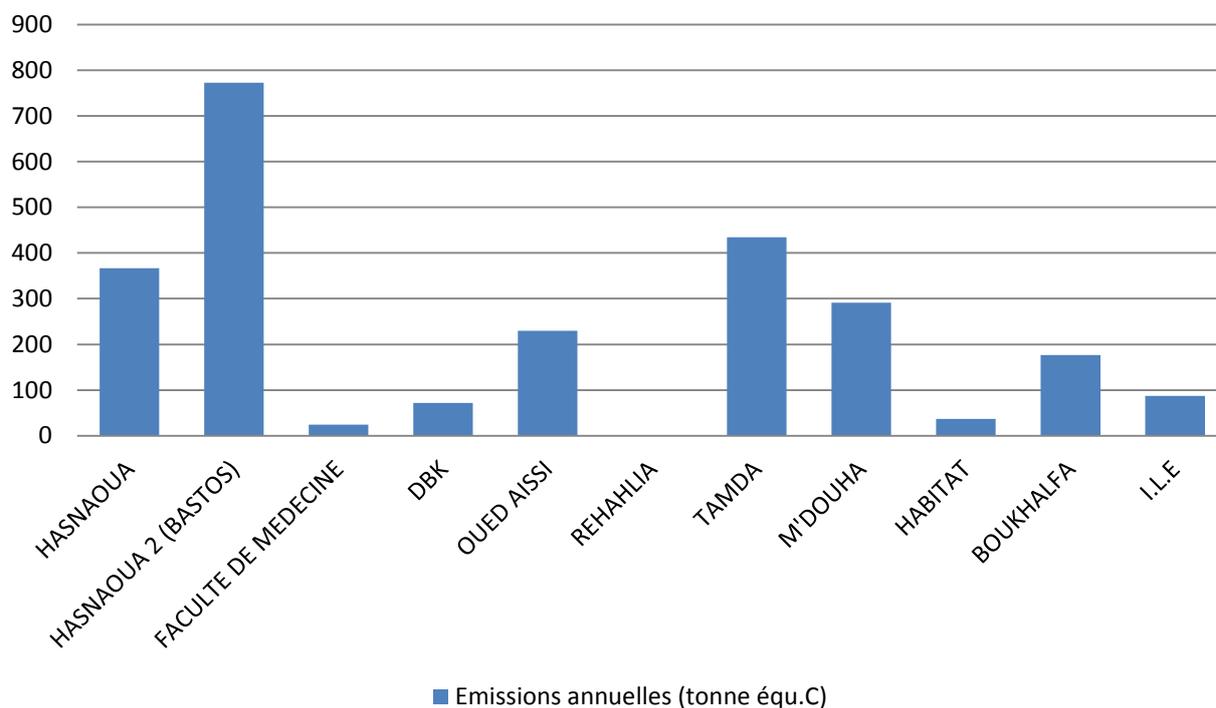


Figure III-33 : Emissions de GES liées à l'utilisation de gaz naturel pour le chauffage

### 3.2.2 Fioul domestique :

Les émissions en gaz carbonique liées au chauffage par le fioul sont données dans le tableau III-10 :

Tableau III-30 : Emissions de GES liées à l'utilisation du fioul pour le chauffage

|                  | consommation annuelle (litre) | tonne équ.C émis | tonne équ.CO <sub>2</sub> émis |
|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|
| Fioul domestique | 56000                         | 45,584           | 167,293                        |

Les émissions en GES résultantes du chauffage de l’université au fioul sont marginale comparé à celles liées au chauffage au gaz naturel. Cela est dû aux faibles quantités de fioul consommées.

Si le chauffage de l’université fonctionnait intégralement au fioul domestique, les quantités de gaz carboniques émises atteindraient quelques 12 610 tonnes équivalent CO<sub>2</sub>, soit une augmentation de 38%, le fioul étant plus polluant que le gaz naturel.

3.3 Transport

**Tableau III-31 : Emissions annuelles en équivalent carbone et équivalent CO2 liées à l’usage du transport suburbain**

| Destinations   |           | Distance annuelle parcourue | Taux de conduite en embouteillage (%) | Tonne équivalent carbone | Tonne équivalent CO <sub>2</sub> |
|----------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| TADMAIT        | HASNAOU A | 21060                       | 20                                    | 14,758                   | 54,161                           |
|                | TAMDA     | 77976                       | 50                                    | 70,147                   | 257,44                           |
| BENI DOUALA    | HASNAOU A | 88560                       | 20                                    | 62,059                   | 227,757                          |
|                | TAMDA     | 25380                       | 40                                    | 21,149                   | 77,619                           |
| BENI ZMENZER   | HASNAOU A | 63720                       | 30                                    | 48,875                   | 179,374                          |
|                | TAMDA     | 27540                       | 50                                    | 24,774                   | 90,924                           |
| LNI            | HASNAOU A | 267840                      | 30                                    | 205,444                  | 753,979                          |
|                | TAMDA     | 42552                       | 30                                    | 32,639                   | 119,785                          |
| TIZI RACHED    | HASNAOU A | 39096                       | 60                                    | 37,762                   | 138,586                          |
|                | TAMDA     | 4752                        | 30                                    | 3,644                    | 13,377                           |
| MEKLA          | HASNAOU A | 132300                      | 60                                    | 127,785                  | 468,974                          |
|                | TAMDA     | 11664                       | 30                                    | 8,946                    | 32,834                           |
| AZAZGA         | HASNAOU A | 273672                      | 60                                    | 264,334                  | 970,106                          |
|                | TAMDA     | 24192                       | 30                                    | 18,556                   | 68,101                           |
| FREHA          | HASNAOU A | 135648                      | 50                                    | 122,028                  | 447,846                          |
|                | TAMDA     | 19116                       | 30                                    | 14,662                   | 53,812                           |
| OUAGNOUN       | HASNAOU A | 54432                       | 40                                    | 45,359                   | 166,468                          |
|                | TAMDA     | 22032                       | 20                                    | 15,439                   | 56,661                           |
| BOUDJIMA       | HASNAOU A | 136620                      | 40                                    | 113,848                  | 417,822                          |
|                | TAMDA     | 20196                       | 30                                    | 15,491                   | 56,852                           |
| MAKOUDA        | HASNAOU A | 141264                      | 30                                    | 108,355                  | 397,663                          |
|                | TAMDA     | 124416                      | 40                                    | 103,678                  | 380,499                          |
| AKAOUDJ        | HASNAOU A | 103248                      | 50                                    | 92,881                   | 340,876                          |
|                | TAMDA     | 56700                       | 30                                    | 43,491                   | 159,612                          |
| SIDI NAAMANE   | HASNAOU A | 16200                       | 30                                    | 12,426                   | 45,603                           |
|                | TAMDA     | 35208                       | 50                                    | 31,673                   | 116,24                           |
| SID ALI BOUNAB | HASNAOU A | 36720                       | 30                                    | 28,165                   | 103,368                          |
|                | TAMDA     | 0.000                       | 50                                    | 0                        | 0                                |
| MAATKA         | HASNAOU A | 257796                      | 40                                    | 214,826                  | 788,413                          |
|                | TAMDA     | 120204                      | 60                                    | 116,102                  | 426,096                          |
| TIRMITHINE     | HASNAOU A | 91800                       | 40                                    | 76,498                   | 280,75                           |
|                | TAMDA     | 32184                       | 60                                    | 31,085                   | 114,085                          |
| <b>TOTAL</b>   |           | <b>501984</b>               |                                       | <b>2126,879</b>          | <b>7805,683</b>                  |

Un taux relativement haut d’embouteillage, accompagné d’une consommation excessive des autobus en carburant résultante de leur vétusté, ces deux facteurs influent énormément sur les quantités de dioxyde de carbone rejeté par les autobus.

En effet, plus le taux d’embouteillage est grand, plus les émissions de CO<sub>2</sub> sont grandes. Même cas de figure en ce qui concerne l’état des autobus, plus ces derniers sont vieux, plus ils leur consommation augmente et de ce fait leurs émissions aussi.

### 3.4 Alimentation

Les émissions de gaz carbonique liée aux consommations alimentaires sont données dans le tableau III-12 et les figures III-8 et III-9 :

**Tableau III-32 : Emissions annuelles en équivalent C et équivalent CO<sub>2</sub> liées aux consommations alimentaires**

| <b>Produits</b>                             | <b>émission (t équ.C)</b> | <b>émissions (t équ.CO<sub>2</sub>)</b> |
|---|---------------------------|---|
| veau  | 1711,068                  | 6279,62                                 |
| fromage pate cuite                          | 137,927                   | 506,1931                                |
| fromage lait cru                            | 13,519                    | 49,6165                                 |
| Charcuterie                                 | 63,302                    | 232,3182                                |
| Pâtisseries                                 | 5,264                     | 19,3178                                 |
| Viennoiseries                               | 19,306                    | 70,8529                                 |
| yaourt                                      | 75,991                    | 278,8897                                |
| Poissons                                    | 23,497                    | 86,2339                                 |
| poulet                                      | 62,602                    | 229,7479                                |
| Pâtes                                       | 10,09                     | 37,0307                                 |
| fruits tropicaux                            | 68,11                     | 249,9652                                |
| œufs  | 2,233                     | 8,1969                                  |
| huile                                       | 2,433                     | 8,9313                                  |
| Pain  | 47,868                    | 175,6746                                |
| Légumes de saison                           | 32                        | 117,3885                                |
| Fruits                                      | 42                        | 154,1085                                |
| Riz et semoule                              | 4,095                     | 15,0299                                 |
| Légumes secs                                | 2,076                     | 7,6183                                  |
| Jus de fruits et sodas                      | 33,662                    | 123,5382                                |
| tubercules (pomme de terre, carotte... etc) | 11,28                     | 41,3993                                 |
| Eaux  | 0,05                      | 0,183                                   |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>2368,373</b>           | <b>8691,8544</b>                        |

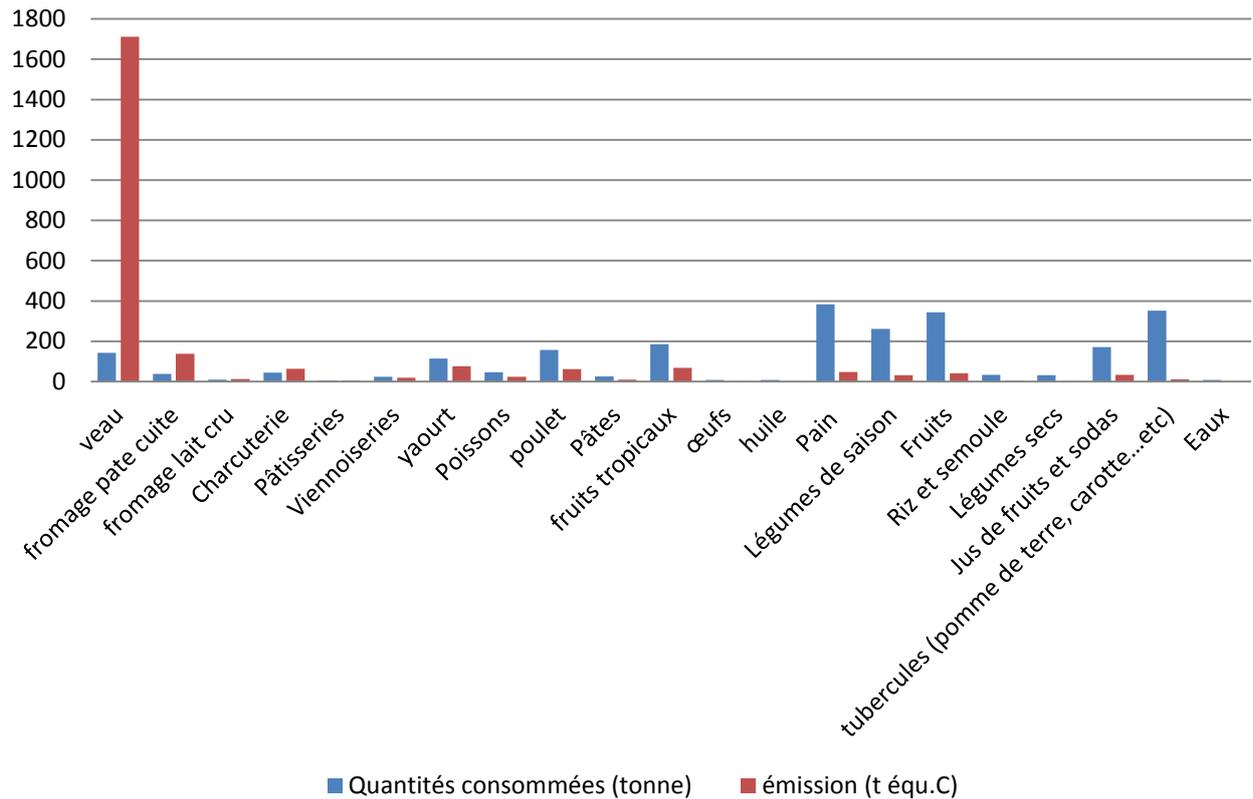


Figure III-34 : Emissions en équivalent carbone liées aux consommations alimentaires

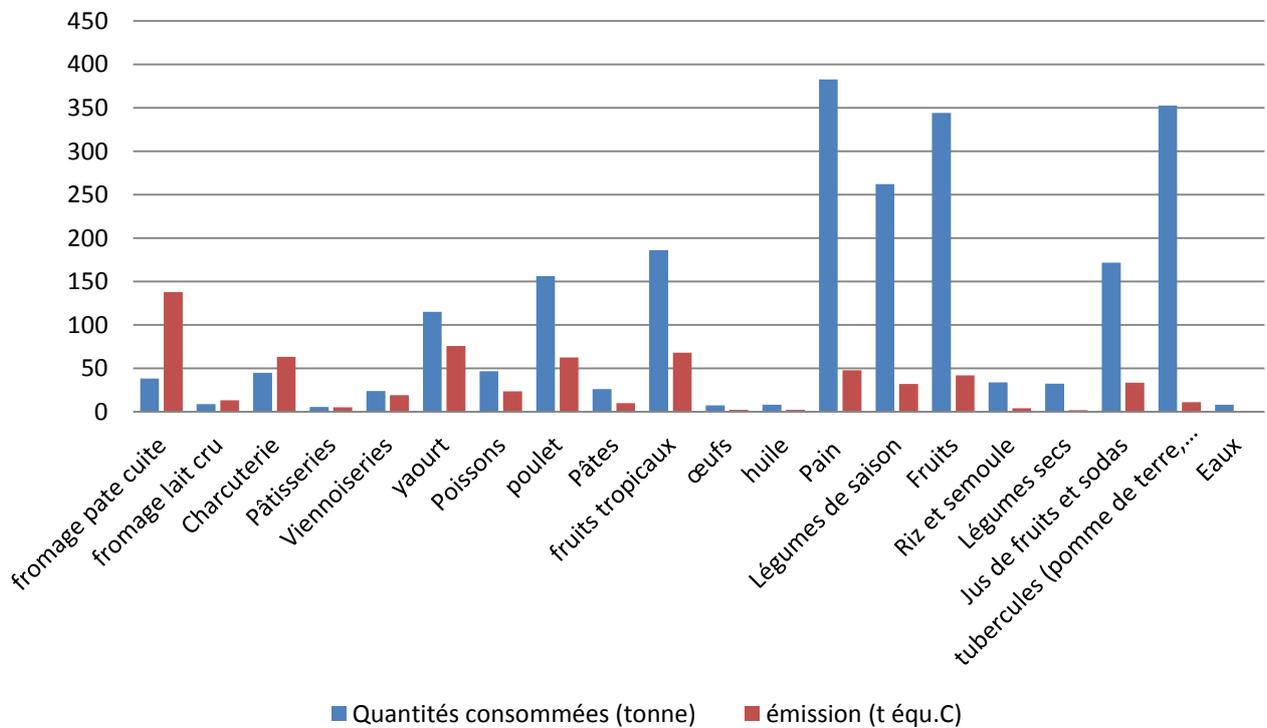


Figure III-35 : Emissions en équivalent carbone liées aux consommations alimentaires hors viande rouge

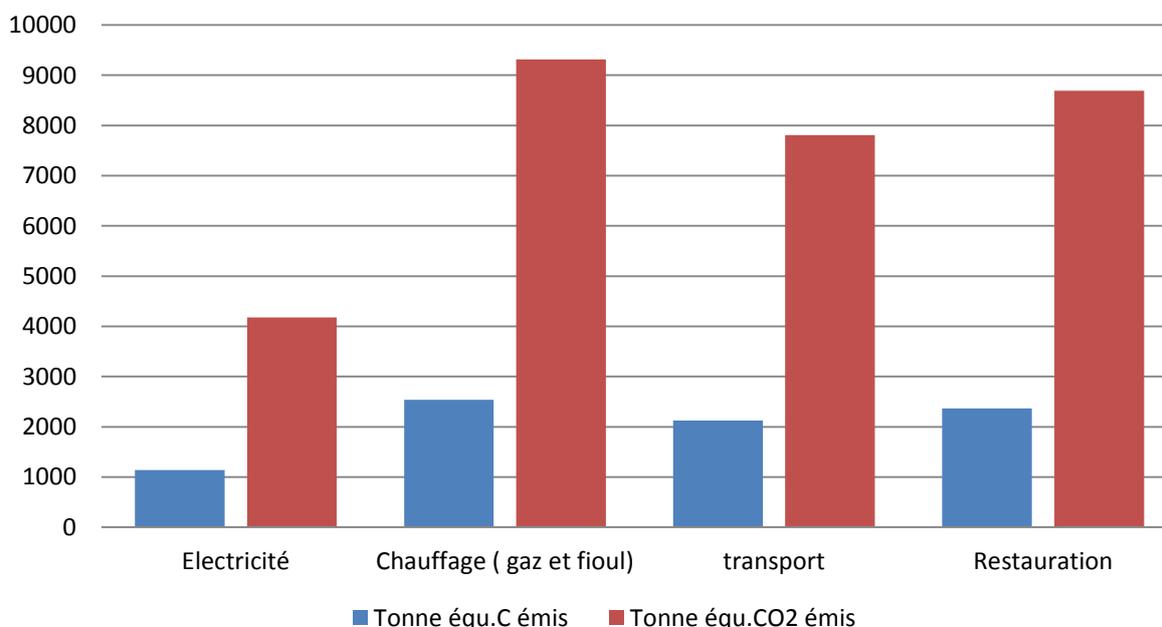
La première question revenant systématiquement dans la majorité des calculateurs d’empreinte carbone disponible est « combien de fois mangez-vous de la viande rouge par jour, semaine...etc. » et on comprend mieux pourquoi. Les quantités de gaz à effet de serre émises par la consommation de viande sont très nettement supérieures au reste des aliments. D’autres produits d’origine animale émettent des quantités importantes de gaz carbonique comme le lait et ces dérivées.

#### 4. Emissions totales de l’UMMTO

Le tableau III-13 et la figure III-10 montre le total des émissions de l’université :

**Tableau III-33 : Emission totales de GES résultantes de l’UMMTO**

|                          | Emissions de GES |                                |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|
|                          | tonne équ.C émis | tonne équ.CO <sub>2</sub> émis |
| Electricité              | 1137,865         | 4175,982                       |
| Chauffage (gaz et fioul) | 2537,765         | 9314,251                       |
| transport                | 2126,879         | 7805,683                       |
| Restauration             | 2368,373         | 8691,854                       |
| <b>TOTAL</b>             | <b>8170,882</b>  | <b>29987,77</b>                |



**Figure III-36 : Emissions totales de GES résultantes de l’UMMTO**

## 5. Empreinte carbone totale pour l’UMMTO

Pour compenser une tonne de CO<sub>2</sub> émise par l’université, il nous faudra planter environs 6 arbres.<sup>26</sup>

Selon le type d’arbre à planter et selon la région, le nombre d’arbres à planter par hectare varie. Pour le cas de Tizi-Ouzou, la moyenne se situe à 300 arbres (oliviers, chênes... etc.) par hectare.

Avec comme facteur d’équivalence d’une plantation d’arbre de l’ordre de 3.2, l’empreinte de l’émission d’une tonne de carbone reviendrait à planter 0.192 Hag (hectare globaux) d’arbres.<sup>18</sup>

**Tableau 34 : Empreinte carbone de l’UMMTO**

|                          | Emissions de GES |                    | Empreinte carbone |               |                  |
|--------------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|------------------|
|                          | tonne équ.C émis | tonne équ.CO2 émis | arbres            | hectares      | hectares globaux |
| Electricité              | 1137,865         | 4175,982           | 25055             | 83,52         | 267,26           |
| Chauffage (gaz et fioul) | 2537,765         | 9314,251           | 56885             | 189,62        | 606,78           |
| transport                | 2126,879         | 7805,683           | 46834             | 156,11        | 499,55           |
| Restauration             | 2368,373         | 8691,854           | 52151             | 173,84        | 556,288          |
| <b>TOTAL</b>             | <b>8170,882</b>  | <b>29987,77</b>    | <b>180925</b>     | <b>603,09</b> | <b>1929,878</b>  |

Les secteurs les plus émetteurs ne sont pas forcément ceux que l’on croit, le secteur des transports arrive par exemple à la troisième place derrière le chauffage et la restauration. Si pour le secteur du chauffage au gaz et fioul, la logique est respectée, celui de la restauration l’est beaucoup moins. Une plus grande considération pour ce secteur mérite donc d’être prise.

L’électricité arrive quand à elle en dernière place, sa production par les centrales à gaz (moins émettrices que celles au charbon ou au fioul lourd) y est pour beaucoup.

## Conclusion

**1929.878Hag**, soit une plantation de **603.09 Ha d’arbres dans la région de Tizi-Ouzou**, l’équivalent de **180925 arbres à planter**. Voilà donc l’empreinte carbone de l’université Mouloud MAMMERY. Ces chiffres ne sont donc pas anodins, cela témoigne de la grande activité de la structure universitaire mais surtout des émissions importantes de gaz à effet de serres liées à cette dernière.

L’étude de l’empreinte carbone est importante, elle permet dans ce cas de figure, de connaître les réels impacts de l’université et de la pression qu’elle exerce sur son environnement et de cibler les secteurs les plus polluants

Cette étude a donc démontré les différents secteurs émetteurs en gaz carbonique de l’université. Grâce à cela, un plan d’action pour une réduction des émissions peut être entrepris pour chacun de ces secteurs.

# Chapitre IV

## Atténuation de l'empreinte carbone

## Introduction

En 2005, la production d'énergie à partir de la combustion de combustibles fossiles, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, représentait près de 45% de l'empreinte écologique mondiale. Une réduction substantielle de l'utilisation des combustibles fossiles et des émissions de dioxyde de carbone qui en dérivent est indispensable pour prévenir les changements climatiques et limiter le réchauffement à 2°C au-dessus de niveaux préindustriels.

Dans ce chapitre, nous traiterons les différentes voies existantes pour une atténuation efficace de l'empreinte carbone, particulièrement pour le cas de l'université Mouloud MAMMERY, cette dernière ayant une empreinte carbone non négligeable (chapitre 3).

### Vision énergétique du WWF pour 2050

La "Vision énergétique du WWF pour 2050" utilise un modèle d'analyse des leviers susceptibles de satisfaire la demande mondiale en énergie tout en réduisant de manière significative les émissions de gaz à effet de serre et ce, en combinant des ressources énergétiques et des technologies déjà disponibles et plus durables.

Ce modèle repose sur trois stratégies parallèles :

- **L'accroissement de l'efficacité énergétique** dans l'industrie, les bâtiments et toutes les formes de transport afin de stabiliser la demande globale d'énergie d'ici à 2025.
- **L'utilisation d'énergies renouvelables** comme l'éolien, l'hydraulique, le solaire et le thermique, la biomasse, tout en éliminant progressivement les émissions des combustibles fossiles conventionnels utilisés pour la production d'énergie et les procédés industriels.
- **L'augmentation du piégeage et du stockage du carbone.** En outre, une augmentation de l'utilisation du gaz naturel est proposée à titre transitoire de 2010 à 2040.

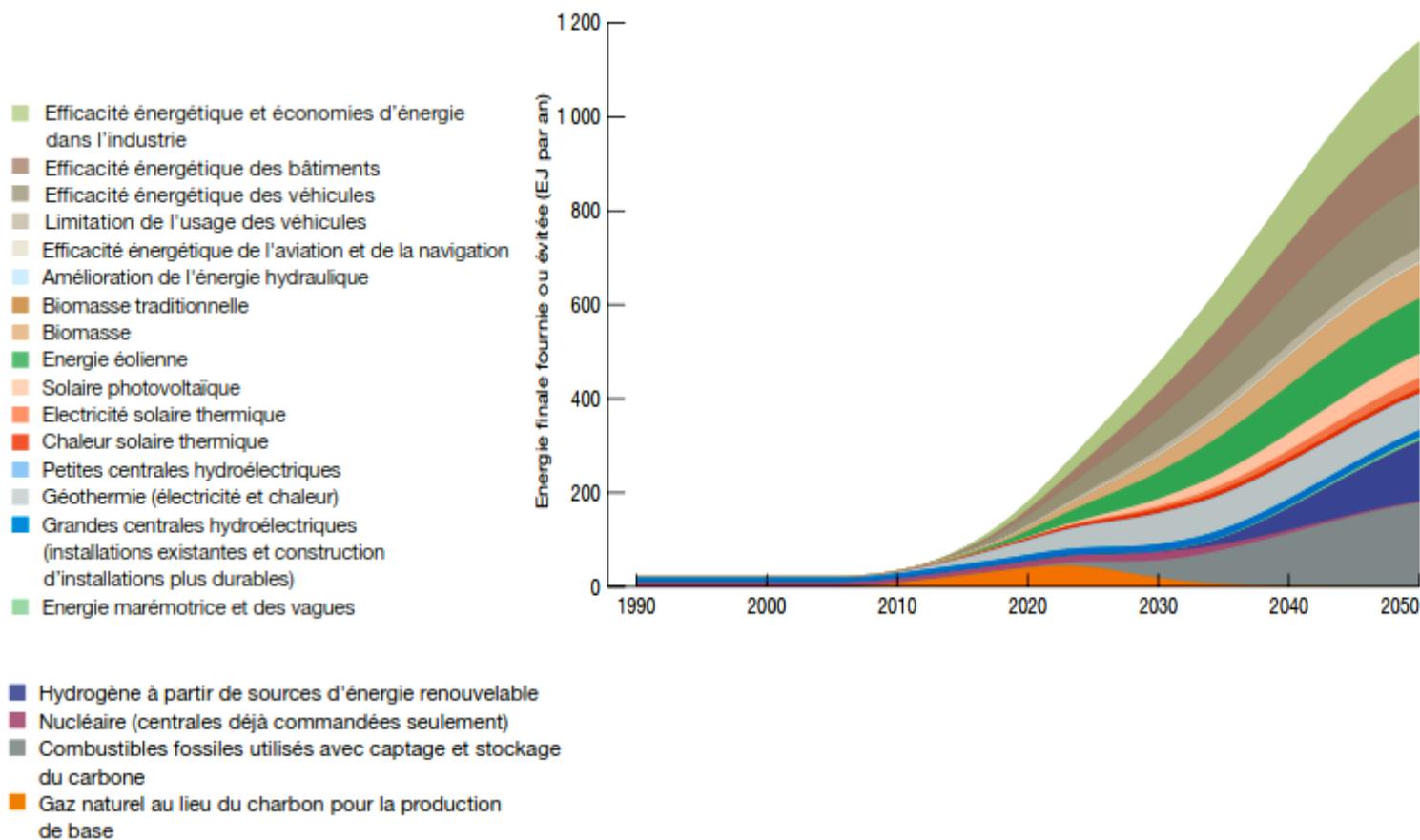


Figure IV-37 : Scénario représentatif du modèle "Vision énergétique du WWF pour 2050"<sup>14</sup>

Le modèle "Vision énergétique du WWF pour 2050" montre qu'il est techniquement possible de réduire considérablement les émissions dangereuses tout en répondant aux besoins en énergie des pays développés et en voie de développement au 21ème siècle.

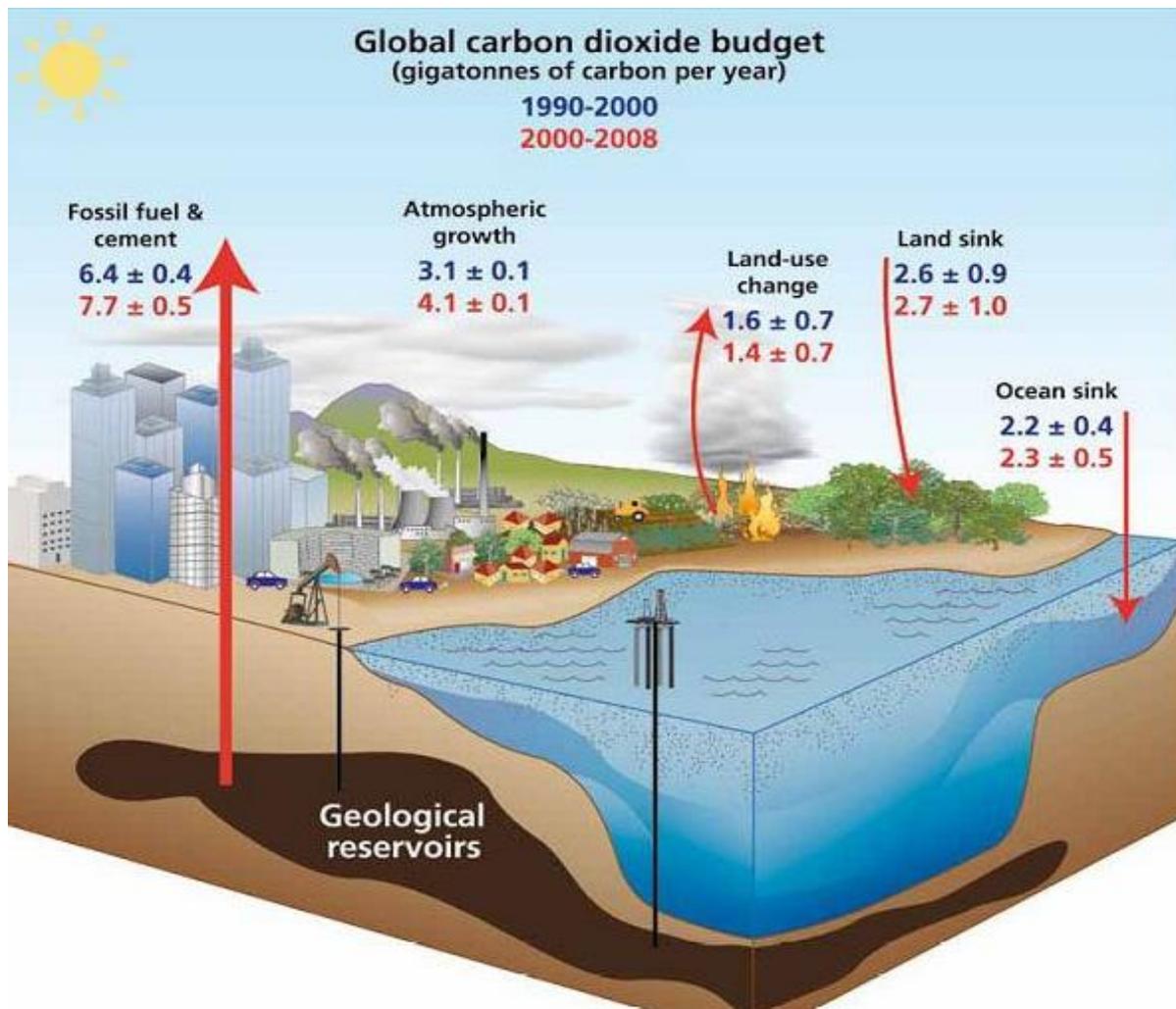
## 1. Séquestration du carbone

Absorber, séquestrer, stocker, compenser ses émissions de GES... un nouveau vocabulaire a vu le jour ces dernières années dans le domaine des changements climatique.

### 1.2. Séquestration naturelle

La séquestration de CO<sub>2</sub> se fait déjà de façon naturelle dans ce qu'on appelle les puits de carbone. Les forêts, les océans, les sols et sous-sols absorbent et constituent des réserves de gaz carbonique. Ces puits de carbone ne font pas disparaître le CO<sub>2</sub>, ils le stockent et l'empêchent de s'échapper dans l'atmosphère. Il est donc important de s'assurer que ces puitsde

carbone restent en place et soient contrôlés. Malheureusement, la surexploitation des forêts ainsi que la dégradation des océans nuisent au processus naturel de stockage. Et comme les émissions de GES sont en hausse, la nature n'arrive plus à satisfaire seule la demande d'absorption de CO<sub>2</sub>.



*Figure IV-38 : Bilan CO<sub>2</sub> global en milliards de tonnes de carbone (Giga tonnes de carbone)<sup>27</sup>*

### 1.2.1. Capture du CO<sub>2</sub> par les océans

Les océans représentent un grand réservoir de carbone. Chaque année, les océans piègent un tiers des émissions anthropogéniques de CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> inorganique dissout dans l'océan se retrouve sous trois formes : CO<sub>2</sub> dissout (1%), ion bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : 91%) et ion carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> : 8%). La capacité totale d'emmagasinement du CO<sub>2</sub> dans les océans est fonction de sa solubilité, de la capacité du tampon chimique de l'eau de mer et de la fixation photosynthétique du CO<sub>2</sub> par la biomasse marine.

La partie superficielle de l'océan est en équilibre avec l'atmosphère et l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère s'accompagne d'une augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans la couche superficielle de l'océan. Les eaux de surface chargées de carbone anthropogénique descendent dans les abysses principalement dans l'Atlantique nord et l'océan austral.

Les changements climatiques ont un impact majeur sur l'habilité des océans à piéger le CO<sub>2</sub>, en particulier dans l'océan Atlantique. Si la température de l'eau de mer superficielle augmente, la diminution de densité qui en résulte ralentit l'enfoncement des eaux de surface dans les régions polaires, et par conséquent diminue l'habilité de l'océan à emmagasiner le CO<sub>2</sub>. À l'inverse, la circulation océanique réduite diminue le brassage océanique et donc l'émission vers l'atmosphère du carbone emmagasiné dans les profondeurs océaniques.<sup>28</sup>

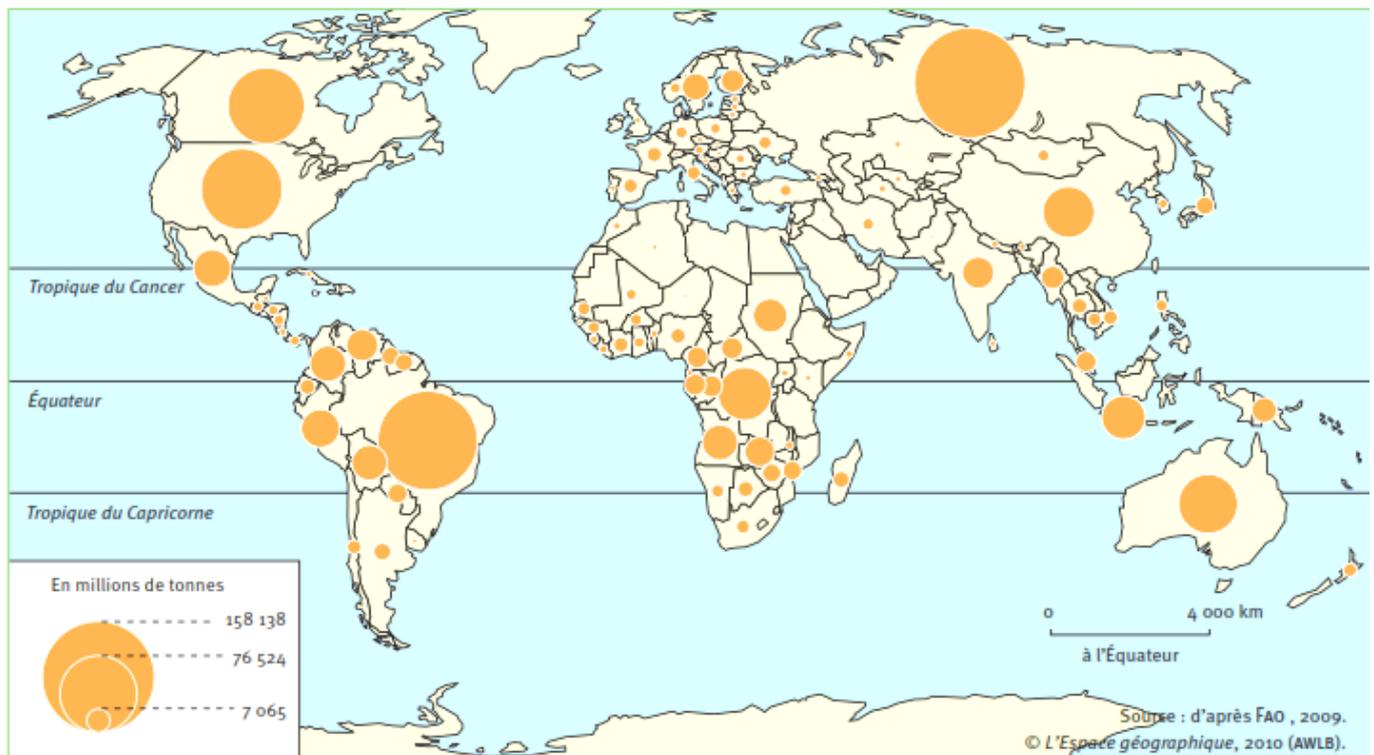
### 1.2.2. Capture du CO<sub>2</sub> par les forêts et les sols

Les forêts du monde entier absorbent un tiers du CO<sub>2</sub> dégagé par les énergies fossiles selon une étude publiée en juillet 2011 par le magazine scientifique Science.

Par ailleurs, quand on plante une forêt, il y avait déjà "autre chose" avant, et donc ce qui compte n'est pas la totalité de ce que la forêt absorbe, mais ce qu'elle absorbe "en plus" de ce que la végétation qui précédait absorbait.

Enfin l'absorption n'est pas constante : elle est faible au début, quand les plants sont tous petits, augmente avec la croissance des plants et redevient faible lorsque la forêt est à maturité, elle passe donc par un maximum.

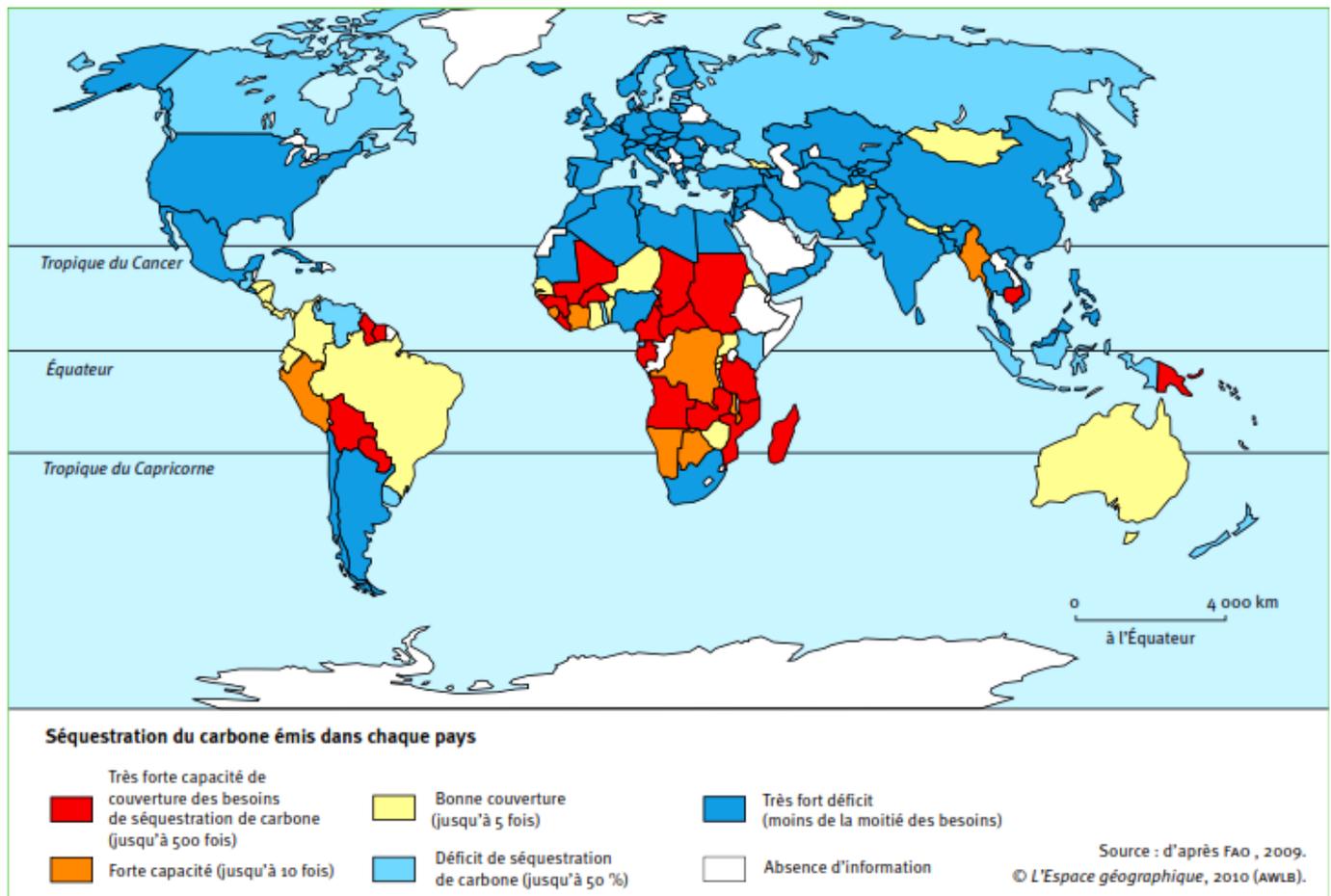
Planter des forêts n'engendre donc un gain que dans le cas où ces forêts remplacent des terres agricoles. En cas de remplacement de prairies, le bilan est nul voir défavorable en ce qui concerne l'évolution du stock de carbone à l'hectare, puisque le contenu en carbone d'une prairie (sol et végétation, l'essentiel du stock étant contenu dans le sol) est le même que celui d'une forêt tempérée, en ordre de grandeur.



**Figure IV-39 : Estimations des stocks de carbone dans les plantes et les sols forestier du monde <sup>29</sup>**

Comme on voit sur la figure IV-3, l'Algérie stocke une quantité infime de CO<sub>2</sub> dans ses sols. Comme ses rejets en gaz à effet de serre sont assez importants, l'Algérie présente un déficit important en matière de séquestration de carbone par ses forêts (figure IV.5). ).

Le potentiel de séquestration de gaz carbonique en Algérie pourrait être amélioré au moyen de plantations. Une plantation d'arbres dans une région semi-aride pourrait capturer des quantités importantes de CO<sub>2</sub>.



**Figure IV-40 : Capacités des forêts à absorber les émissions de carbone <sup>29</sup>**

## 1.2. Séquestration artificielle :

La capture et le stockage (CSC) du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont une des actions possibles à mettre en œuvre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre imputables à l'utilisation continue des combustibles fossiles. Sous sa forme la plus simple, le procédé de CSC est une chaîne constituée de deux étapes majeures : la capture et la compression du CO<sub>2</sub> (généralement dans une importante installation industrielle) et son transport vers un site de stockage où il sera isolé de l'atmosphère sur le long terme.

### 1.2.1. Capture du carbone :

Les centrales électriques et d'autres grandes installations industrielles sont les meilleurs candidats en matière de capture de CO<sub>2</sub>. La technologie disponible est généralement déployée de sorte à capturer environ 85-95 % du CO<sub>2</sub> traité dans une usine de capture (GIEC, 2005). Les principales techniques sont brièvement décrites ci-dessous :

### La capture postcombustion :

Le CO<sub>2</sub> peut être séparé des gaz de cheminée de l'usine de combustion ou des courants de gaz naturel et alimenter une unité de compression et de séchage afin d'amener un courant de CO<sub>2</sub> relativement propre et sec vers un système de transport. Ces systèmes utilisent normalement un solvant liquide pour capturer le CO<sub>2</sub>.

### La capture précombustion :

Elle traite le combustible dans un réacteur avec de l'oxygène ou de l'air, et/ou de la vapeur pour produire un « gaz de synthèse » ou « gaz combustible » composé essentiellement de monoxyde de carbone et d'hydrogène. La réaction du monoxyde de carbone avec la vapeur dans un réacteur catalytique, appelé réacteur de conversion, permet d'obtenir du CO<sub>2</sub> et davantage d'hydrogène. Le CO<sub>2</sub> est ensuite séparé du mélange gazeux, généralement par un procédé d'absorption physique ou chimique, et donne un combustible riche en hydrogène qui peut être utilisé dans de nombreuses applications, comme les chaudières, les fourneaux, les turbines à gaz et les piles à combustible.

### La capture par oxycombustion :

Les procédés par oxycombustion utilisent de l'oxygène presque pur à la place de l'air lors de la combustion produisant ainsi un gaz principalement composé de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O. Ce courant gazeux peut directement être ajouté à une unité de compression et de séchage du CO<sub>2</sub>. Cette technologie est au stade de la démonstration.<sup>30</sup>

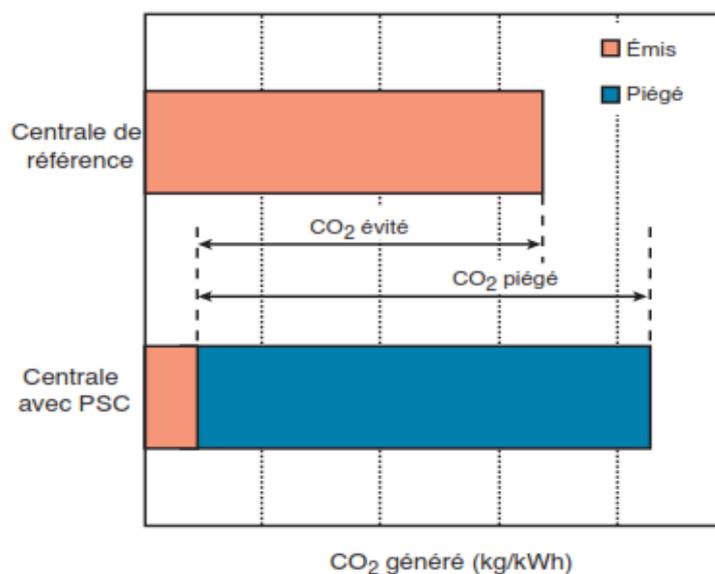


Figure 41 : Piégeage et stockage du CO<sub>2</sub> émanant de centrales électriques <sup>31</sup>

L'augmentation de la production de CO<sub>2</sub> résultant de la perte d'efficacité globale des centrales due au supplément d'énergie nécessaire au piégeage, au transport et au stockage et à d'éventuelles déperditions pendant le transport entraîne une augmentation de la quantité de CO<sub>2</sub> généré par unité de produit (barre inférieure) par rapport à la centrale de référence (barre supérieure) où on ne procède pas au piégeage.

#### 1.2.2. Stockage du carbone :

Le Chapitre 5 du rapport SRCCS (GIEC 2005) indique que le stockage géologique du dioxyde de carbone peut se faire à terre ou en mer :

- Les formations salines profondes : Il s'agit de roches magasins poreuses et perméables qui contiennent de l'eau salée dans leurs espaces interstitiels.
- Les champs de pétrole épuisés ou partiellement épuisés – dans le cadre ou non d'opérations de récupération assistée de pétrole (RAP).
- Les champs de gaz naturel épuisés ou partiellement épuisés – avec ou sans opérations de récupération assistée de gaz (RAG).
- Les veines de charbon (couches de houille) – avec ou sans opérations de récupération assistée de méthane dans une couche de houille (RAMCH).

En outre, des opportunités de niche pour le stockage peuvent apparaître telles que le stockage dans des cavernes salées, les formations de basalte et les schistes très organiques. Des informations supplémentaires sur ces types de sites de stockage et sur les mécanismes de piégeage qui y retiennent le CO<sub>2</sub> sont disponibles au Chapitre 5 du SRCCS (GIEC 2005).

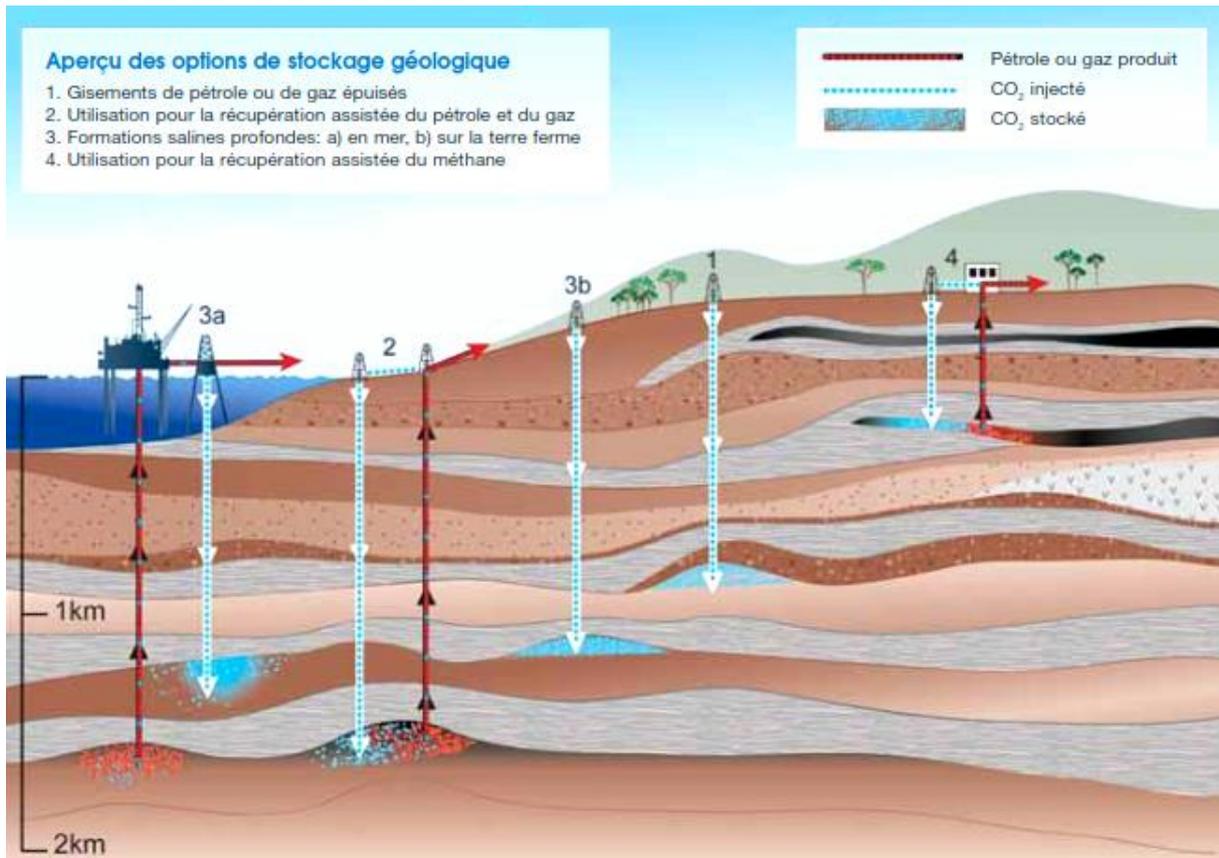


Figure IV-42 : Aperçu des options de stockage géologique <sup>31</sup>

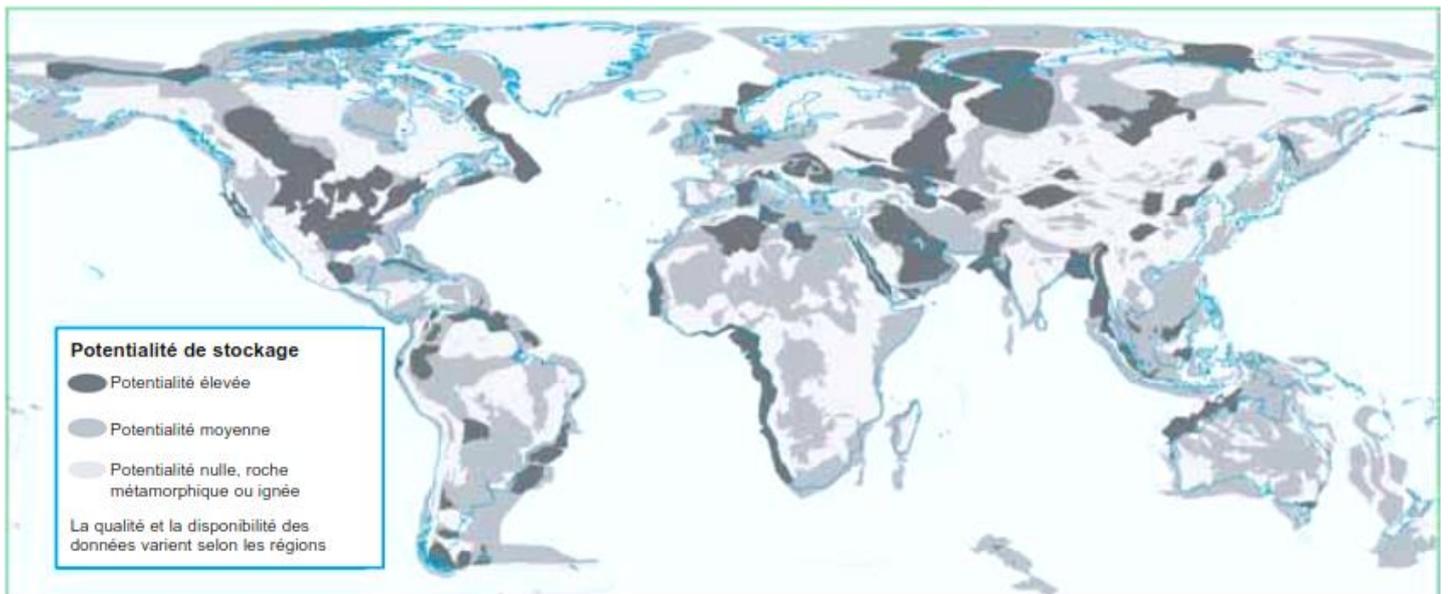


Figure IV-43 : Zones de bassins sédimentaires convenant au stockage (gisements de pétrole, de gaz, formations salines, couches de houilles...) <sup>31</sup>

L'Algérie et plus particulièrement le sud algérien recèle un grand potentiel de stockage de carbone dans les profondeurs du sol. Ce fort potentiel vient du fait que l'Algérie, comme bon nombre des pays producteurs de pétrole et de gaz, possède d'énormes gisements de pétrole et de gaz.

### **Ain Salah : un exemple de site de stockage opérationnel**

Sur ce site gazier d'Algérie, ce sont 1,2 million de tonnes de CO<sub>2</sub> qui sont à partir de 2004 extraite du gaz naturel et réinjectés dans un ancien gisement de gaz naturel chaque année. Ce site de séquestration fait partie intégrante d'un vaste projet de développement des gisements de gaz de la région, dont la production est exportée vers l'Europe après transit par HassiR'Mel.

## **2. Les énergies renouvelables : leur potentiel et perspectives de développement**

L'Algérie a intégré le développement des énergies renouvelables dans sa politique énergétique par l'adoption d'un cadre juridique favorable au développement de ces énergies, la réalisation d'importantes infrastructures dans ce domaine et la planification d'importants projets.

### **2.1 Energie solaire**

#### **Gisement national :**

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde, estimé à cinq milliards GWh/an. La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse les 2500 heures annuellement et peut atteindre les 3600 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2 650 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays.

**Tableau IV-35 : Données nationales annuelles liées à l'ensoleillement <sup>5</sup>**

|   | <b>Littoral</b> | <b>Hauts plateaux</b> | <b>Sahara</b> |
|---|-----------------|-----------------------|---------------|
| <b>Surface (%)</b>                          | 4               | 10                    | 86            |
| <b>Temps d'ensoleillement (h/an)</b>        | 2650            | 3000                  | 3500          |
| <b>Energie reçue (kWh/m<sup>2</sup>/an)</b> | 1700            | 1900                  | 2650          |

## Gisement local :

Avec une puissance solaire très importante, une période d'ensoleillement directe s'étalant sur la majeure partie de l'année, l'énergie solaire représente assurément pour la région de Tizi-Ouzou l'énergie renouvelable la plus importante.

**Energie solaire reçue :**

Le tableau IV-2 nous donne un aperçu sur l'irradiation annuelle reçus par la région de Tizi-Ouzou :

*Tableau IV-36 : Irradiation journalière reçue par m<sup>2</sup> pour Tizi-Ouzou* <sup>32</sup>

| <b>2012</b>    | <b>Irradiation (KWh/m<sup>2</sup>/j)</b> |
|----------------|--|
| janvier        | 2,187                                    |
| février        | 3,113                                    |
| mars           | 4,055                                    |
| Avril          | 5,276                                    |
| Mai            | 6,128                                    |
| Juin           | 6,877                                    |
| Juillet        | 6,896                                    |
| Aout           | 6,491                                    |
| Septembre      | 5,013                                    |
| Octobre        | 3,512                                    |
| Novembre       | 2,388                                    |
| Décembre       | 2  |
| <b>moyenne</b> | <b>4,495</b>                             |

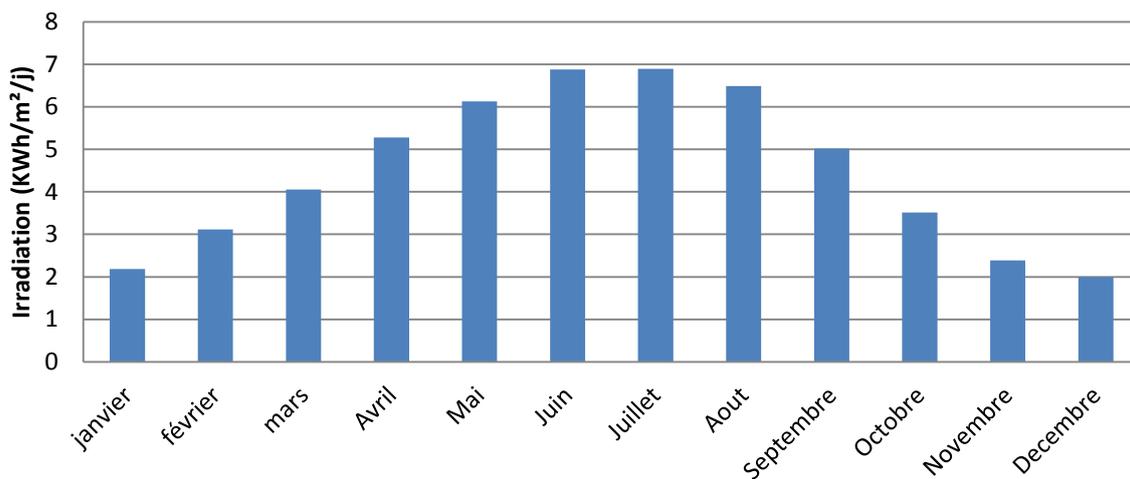


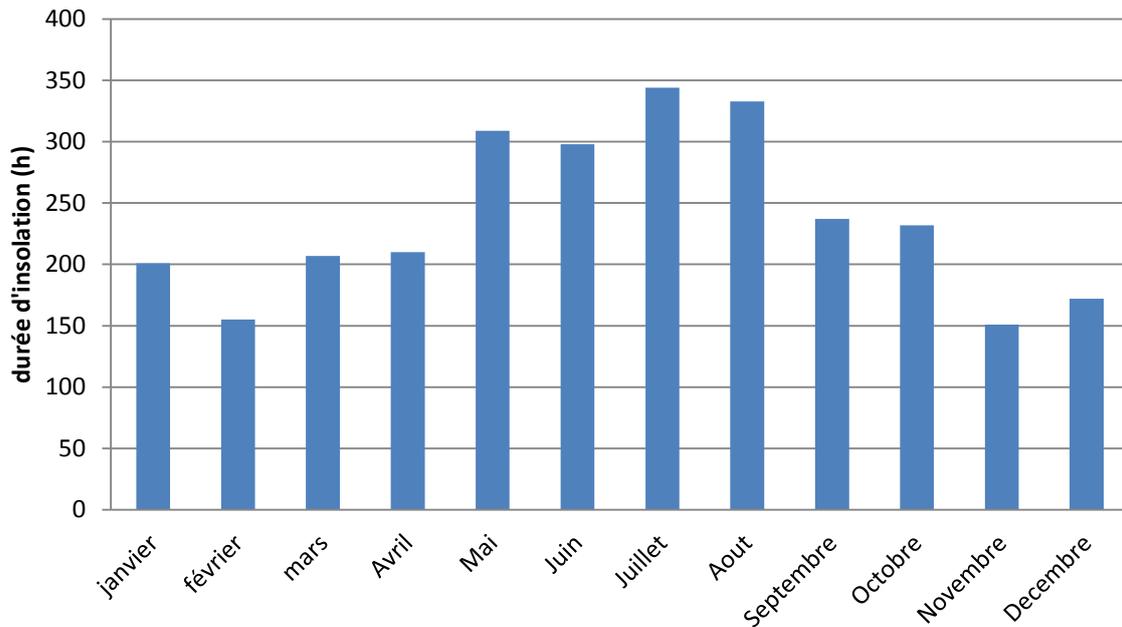
Figure IV-44 : Irradiation journalière reçue par m² pour Tizi-Ouzou

**Durée d’enseulement :**

Le tableau IV-3 présente la durée d’insolation, c’est à dire la durée pendant laquelle la région de Tizi-Ouzou reçoit un rayonnement direct (absence de nuages) :

Tableau IV-37 : Durée d’insolation pour Tizi-Ouzou <sup>32</sup>

| 2012         | durée d’insolation (h) |
|--------------|------------------------|
| janvier      | 201                    |
| février      | 155                    |
| mars         | 207                    |
| Avril        | 210                    |
| Mai          | 309                    |
| Juin         | 298                    |
| Juillet      | 344                    |
| Aout         | 333                    |
| Septembre    | 237                    |
| Octobre      | 232                    |
| Novembre     | 151                    |
| Décembre     | 172                    |
| <b>TOTAL</b> | <b>237</b>             |



*Figure IV-45 :Durée d'insolation pour Tizi-Ouzou*

## 2.2 Energie éolienne

Par définition, l'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Elle est le fruit de l'action d'aérogénérateurs, des machines mues par le vent et dont la fonction est de produire de l'électricité.

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor qui, couplé à une génératrice, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent mais aussi de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air.

### Gisement national :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. L'Algérie a un régime de vent modéré (2 à 6 m/s). La figure 15 représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Ce potentiel énergétique peut être exploité pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux.

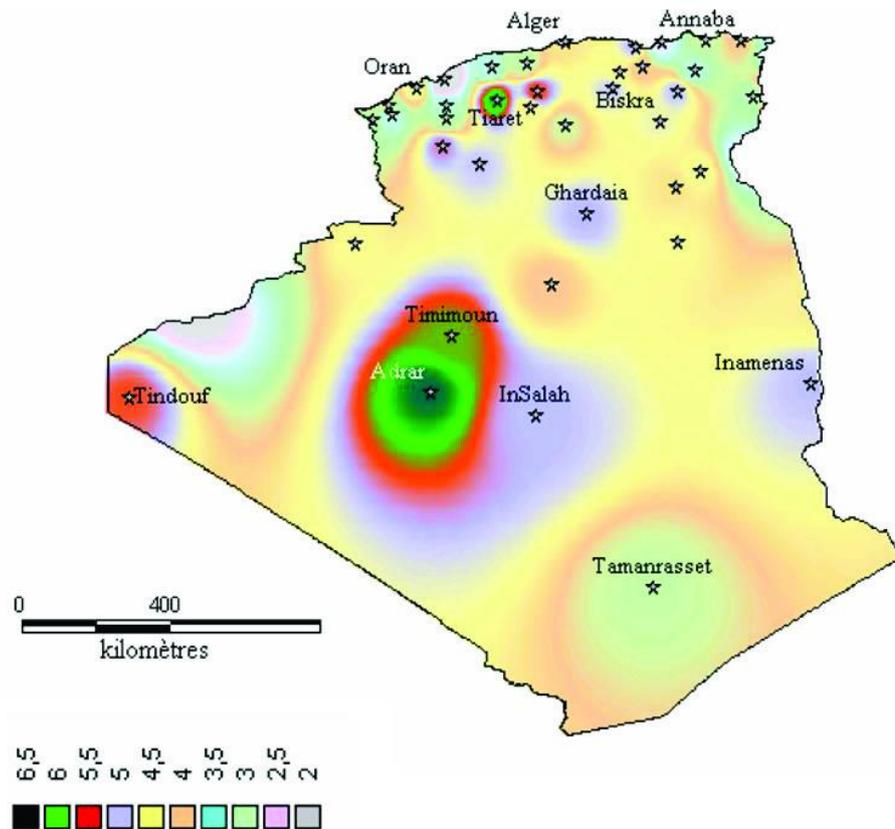


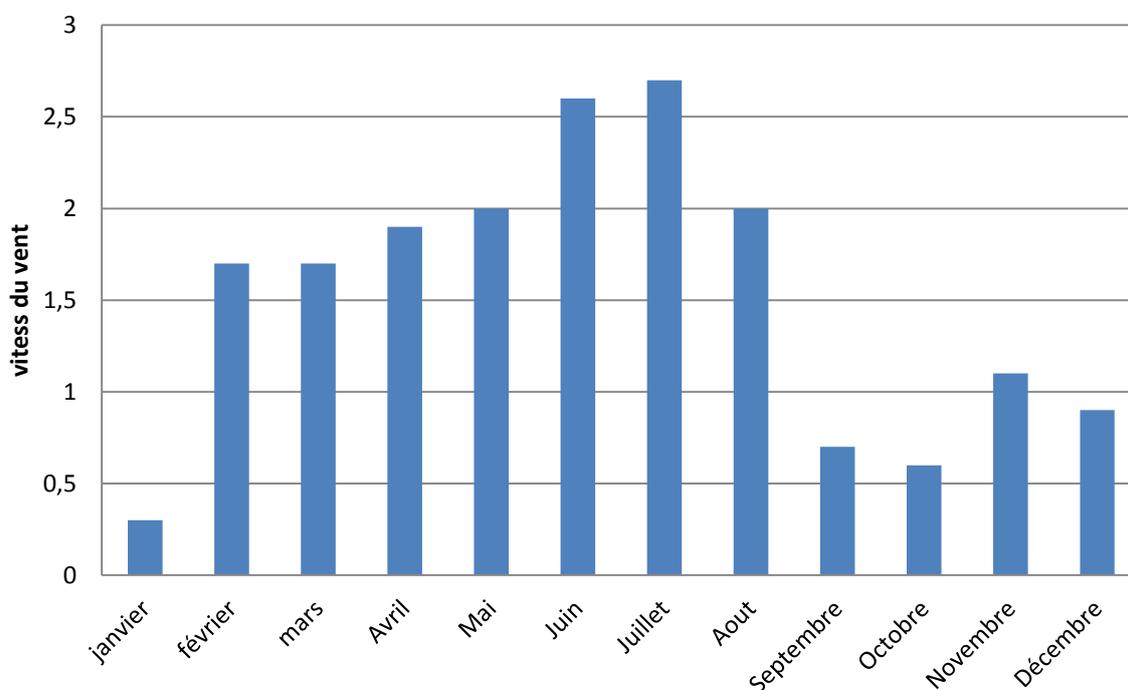
Figure IV-46 : Atlas de vents algériens <sup>5</sup>

Gisement local :

La Kabylie n’est pas vraiment réputée être une région venteuse, en témoigne les chiffres donnés sur le tableau IV.4 ci-dessous. Une installation éolienne ne serait, dans ce cas de figure, pas très rentable.

**Tableau IV-38 : Vitesse du vent (m/s) en moyenne mensuelle pour Tizi-Ouzou <sup>26</sup>**

| 2012           | vitesse mensuelle du vent (m/s) |
|----------------|---------------------------------|
| Janvier        | 0,3                             |
| Février        | 1,7                             |
| Mars           | 1,7                             |
| Avril          | 1,9                             |
| Mai            | 2                               |
| Juin           | 2,6                             |
| Juillet        | 2,7                             |
| Aout           | 2                               |
| Septembre      | 0,7                             |
| Octobre        | 0,6                             |
| Novembre       | 1,1                             |
| Décembre       | 0,9                             |
| <b>Moyenne</b> | <b>1,5</b>                      |

**Figure 47 : Vitesse du vent (m/s) en moyenne mensuelle pour Tizi-Ouzou**

### 2.3 Energie géothermique

Les calcaires jurassiques du Nord algérien qui constituent d'importants réservoirs géothermiques, donnent naissance à plus de 200 sources thermales localisées principalement dans les régions du Nord-Est et Nord- Ouest du pays. Ces sources se trouvent à des températures souvent supérieures à 40°C, la plus chaude étant celle de Hammam Chellala (ex. Meskhoutine) à 96°C. Ces émergences naturelles qui sont généralement les fuites de réservoirs existants, débitent à elles seules plus de 2 m<sup>3</sup>/s d'eau chaude. Ceci ne représente qu'une infime partie des possibilités de production des réservoirs. Plus au Sud, la formation du continental intercalaire, constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étale sur 700 mille km<sup>2</sup>. Ce réservoir, appelé communément « nappe albiennne » est exploité à travers des forages à plus de 40 m<sup>3</sup>/s ; l'eau de cette nappe se trouve à une température moyenne de 57 °C. Si on associe le débit d'exploitation de la nappe albiennne au débit total des sources thermales, cela représenterait une puissance de plus de 700 MW. Il existe trois zones dont le gradient thermique dépasse les 5°C/100 m :

- Relizane et Mascara
- AïnBoucifet Sidi Aïssa
- Guelma et Djebel El Onk

### 2.4 Energie hydraulique et biomasse

La part de capacité hydraulique dans le parc de production électrique est de 4 % ; soit 230 MW. Cette faible puissance est due au nombre insuffisant de sites hydrauliques exploitables. Le potentiel de la biomasse se compose de la biomasse issue des forêts et des déchets urbains et agricoles. Le potentiel actuel de la biomasse de forêts est évalué à environ 37 Mtep. Le potentiel récupérable est de l'ordre 3,7 Mtep. Le potentiel énergétique des déchets urbains et agricoles est estimé à 5 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles qui ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement de l'ordre de 1,33 Mtep/an.<sup>5</sup>

## 3. L'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée.

Coté atténuations des émissions de GES, l’efficacité énergétique joue un rôle dans la diminution et non la séquestration des émissions, c’est-à-dire traiter les émissions depuis l’activité source.

L’amélioration de l’efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

- Augmenter le niveau de service rendu, à consommation d’énergie constante.
- Économiser l’énergie à service rendu égal.
- Réaliser les deux simultanément.

Ainsi, les solutions d’efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d’énergie.<sup>33</sup>

### 3.1 Leviers de l’efficacité énergétique

En matière d’efficacité énergétique, il faut jouer sur trois leviers :

- La diminution des besoins qui sont relatifs au bâti.
- L’amélioration des équipements techniques du bâtiment et leur gestion.
- Le comportement de l'utilisateur.

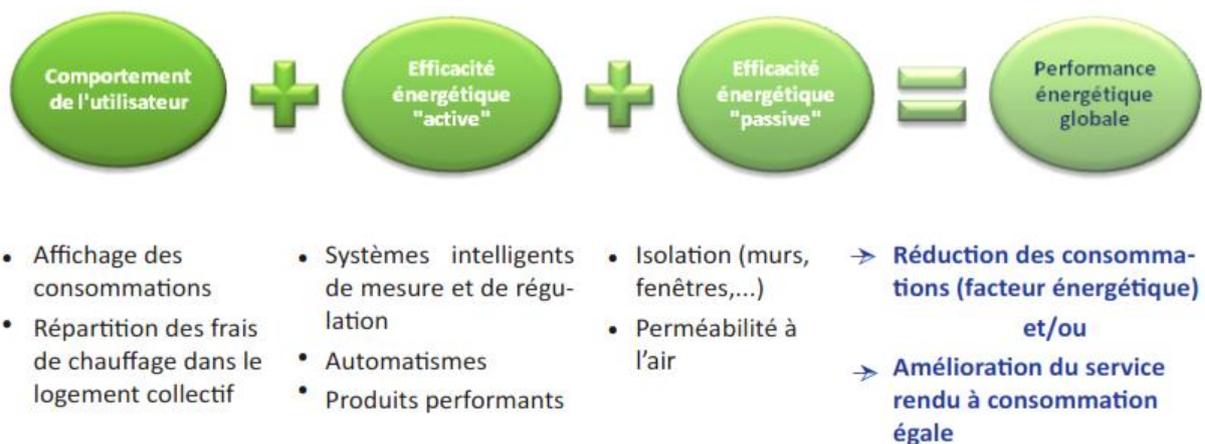


Figure IV-48 : Application du concept de l’efficacité énergétique<sup>33</sup>

### 3.2 Application à l’UMMTO

L’efficacité énergétique serait la voie la plus « réalisable » dans l’atténuation des émissions de GES pour l’université de Tizi Ouzou. Le plan d’action en matière d’efficacité énergétique se présente comme suit :

### 3.2.1 Bâtiments : une architecture bioclimatique pour une baisse des consommations

Un terme revient systématiquement accompagner les constructions modernes ; l'architecture bioclimatique.

L'architecture bioclimatique permet de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et peut être obtenu par des méthodes puis des techniques simples utilisant un modèle de construction appropriés et des systèmes énergétiques efficaces de technologies :

#### **Une meilleure utilisation de l'éclairage solaire :**

- Une augmentation des surfaces vitrées dans les bâtiments qui doivent être orientées de préférence vers la direction sud. Cela réduirait l'utilisation de l'éclairage artificiel (lampes).
- L'introduction de chauffe-eau solaire. L'acquisition d'un chauffe-eau solaire est soutenue par le fonds national pour la maîtrise de l'énergie(FNME).
- L'introduction de la climatisation solaire.

#### **Une meilleure isolation thermique :**

- Isolation des parois extérieures aux moyens de matières isolante (laine de roche, laine de verre, liège ou encore des matériaux à changement de phase (MCP)...etc.).
- Isolation des parois vitrés au moyen de double vitrage (un gain d'énergie allant jusqu'à 60%).

### 3.2.2 Transport : la promotion du gaz naturel comme carburant (GN/C ou GN/V)

Dans le précédent chapitre, nous avons fait le point sur l'état vétuste du parc autobus de l'université et ainsi, des quantités énormes d'émissions qui en résultent. Qu'on se le dise, ces quantités émises sont extrêmement grandes pour un secteur comme le transport.

La possibilité d'une réduction significative de ces émissions est dès lors plus qu'importante. Cette dernière se traduit par l'introduction d'autobus roulant au gaz naturel dans le parc autobus de l'université. Son facteur d'émission étant nettement plus faible que le gasoil, la quantité de GES émise par le transport universitaire serait en nette diminution.

Dès le début des années 1990, un programme d'études a été initié pour la conversion au gaz naturel carburant (GN/C) des véhicules utilitaires roulant au gasoil. Des installations ont été réalisées par Sonelgaz pour la distribution de ce carburant à une flotte expérimentale. Il est

prévu d'ici 2013 de faire fonctionner au GN/C plusieurs dizaines de bus pour la ville d'Alger et d'étendre l'opération aux autres grandes villes d'Algérie d'ici 2020.<sup>34</sup>



*Figure IV-49 : Transport en commun utilisant le gaz naturel comme carburant* <sup>34</sup>

## Conclusion

Un potentiel important en énergies renouvelable, une possibilité de capture d'une bonne partie des émissions de gaz carbonique par la plantation d'arbres ou par séquestration artificielle, l'Algérie en général et la région de Tizi-Ouzou en particulier présente de grandes possibilités d'atténuations de l'empreinte carbone liée à son activité. Mieux encore il y a de la place pour une atténuation complète de ses émissions anthropiques et donc un effacement de sa dette écologique grandissante.

Cependant, les projets de développement des énergies nouvelles, d'efficacité énergétique et les projets de séquestration du gaz carbonique à l'échelle nationale comme à une échelle locale (cas de l'université Mouloud MAMMERI) restent pour l'heure au stade embryonnaire.

## Conclusion générale

Ce travail, inscrit dans le cadre du développement durable, a comme objectif d'évaluer l'empreinte carbone d'une institution, l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou en l'occurrence.

Le projet de calcul de l'empreinte carbone pour l'université ou pour tout autre secteur d'activité en général répond aux besoins actuels du monde en général et de l'Algérie en particulier de connaître la pression réelle qu'ils exercent sur l'écosystème planétaire, et de ce fait, prendre des initiatives pour permettre un développement en équilibre avec celui de notre écosystème.

Nos résultats montrent que l'empreinte carbone de l'UMMTO n'est pas négligeable : il faut planter annuellement plus de 603.09 ha d'arbres, soit 60.31 km<sup>2</sup> afin de compenser ses émissions de CO<sub>2</sub>. D'une manière générale, l'université est représentative de tout le secteur tertiaire national qui est vétuste, énergivore et dénué de politique de développement durable. Il mérite d'être pris en charge plus sérieusement.

Une politique de développement durable au sein de l'université mérite d'être pensée. Elle passe essentiellement par la valorisation des potentialités locales, tant humaines que matérielles.

## Programme de calcul « FORTRAN » utilisé

```

program emissions
implicit none
real::El,G,D,t,Ca,FD,C
real::Ce,Cg,Cd,Fel=0.121,Feg=0.0665,FETmin=0.5682,FETmax=1.231
,Cfd,Fef=0.814

print*,'electricite:'
print*,'consommations en electricite (kWh):'
read*,El
print*,'chauffage:'
print*,'consommation en gaz naturel (thermie):'
read*,G
print*,'consommation en fioul domestique (litre):'
read*,FD
print*,'transport'
print*,'distance totale parcourue par les autobus (km):'
read*,D
print*,'taux de circulation urbaine (avec encombrement):'
read*,t
print*,'alimentation:'
print*,'quantite des emission liees a la l''alimentaion et
precedement calcule (kg equ.C):'
read*,Ca ! Ca est la quantité des émissions en
carbone liées à la consommation des divers aliments.

      Ce=El*Fel ! Fel est le facteur
d'émission de l'électricité produite par une centrale à gaz.

      Cg=G*Feg ! Feg est le facteur
d'émission du gaz naturel.

      Cfd=FD*Fef ! Fef est le facteur
d'émission du fioul domestique.

      Cd=D*t*FETmax+D*(1-t)*FETmin ! FETmin est
le facteur d'émission pour une circulation urbaine.
! FETmax est
le facteur d'émission pour une circulation extra urbaine.
      C=Ce+Cg+Cd+Ca

print*,'les emissions en gaz à effet de serre liees à:'
print*,'la consommation d''electricité:',Ce,' kg equ.C'
print*,'la consommation de gaz natrurel sont de:',Cg,' kg
equ.C'
print*,'transport suburbain:',Cd,' kg equ.C'

print*,'la quantité titale de carbone emise est de l''ordre
de:',C,'kg equ.C'
end program emissions

```

## Bibliographie :

1. GIEC, (GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT). *4ème rapport, Bilan des changements climatiques*. 103 (2007).
2. DEFLESSELLES, B. & LAMBERT, J. *Rapport d'information sur les négociations internationales relatives au changement climatique*. 19–35 (2013).
3. Planetoscope, climat : réchauffement. (2014).
4. Chems Eddine CHITOUR, Les défis imminents de l'Algérie, Le nouvel observateur, (2014).
5. *Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC*. (2010).
6. Jésus, F. Les mécanismes de projet du protocole de Kyoto. (2005).
7. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Le protocole de Kyoto : une architecture à reconduire et de réels résultats.
8. PORTHA, J.-F. Méthodologie pour tenir compte de l'impact environnemental d'un procédé lors de sa conception. (2008).
9. ADEME. *Inventaire des émissions de GES appliqué au secteur des spiritueux au travers de la méthode Bilan Carbone*. 58–86 (2011).
10. ADEME & Jancovici, J. M. *Bilan carbone*. (2009).
11. CITEPA. *SECTEN*. 329 (2013).
12. Manicore. *Quels sont les gaz à effet de serre - Quelles sont leurs contributions à l'effet de serre*.
13. GIEC, (GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT). *Seconde évaluation du GIEC Changement de climat 1995*. 64 (1995).
14. WWF, (World Wildlife Fund). *Rapport planète vivante*. (2008).
15. Vedula. *Puits de carbone*. (2014). at <<http://www.vedura.fr/economie/quotas-carbone/puits-carbone>>
16. Zuinen, N. & Gouzée, N. *Biocapacité et empreinte écologique des modes de vie*. (2010).

17. Empreinte Carbone. (2012). at <[www.footprintnetwork.org/ Empreinte Carbone]>
18. Venetoulis, J. & Talberth, J. *Ecological footprint of nations*. (2005).
19. Gagnon, B. *Analyse du cycle de vie et développement durable*. 37–39 (2009).
20. ADEME. *Guide des facteurs d'émissions Version 6.1*. (2010).
21. ADEME. *Guide des facteurs d'émissions Version 3.0*. (2005).
22. ADEME. *guide des facteurs d'émissions, version 6.1, chapitre4 : prise en compte des transports*. (2010).
23. base carbone. Changement d'affectation des sols. at  
<<http://www.basecarbone.fr/docs/generale/fr/index.htm?utcf.htm>>
24. Société de Distribution de l'Électricité et du Gaz du Centre. (2014).
25. Direction des Oeuvres Universitaires Centrale. (2014).
26. Salmi, A. Contribution des énergies renouvelables à la réduction de l'empreinte carbone de la zone industrielle Oued-Aissi. (2013).
27. Le Queré. *Global Change*. (2009).
28. Beaudoin, G. Séquestration du carbone. at <[www.ggl.ulaval.ca](http://www.ggl.ulaval.ca)>
29. Boulier, J. Les forêts au secours de la planète : quel potentiel de stockage du carbone ? (2010).
30. GIEC, (GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, chapitre 5 : Transport, injection et stockage géologique du dioxyde de carbone*. (2006).
31. GIEC, (GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT). *Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*. 5–57 (2005).
32. Station météorologique de Tzi-Ouzou à Boukhalfa. (2012).
33. FIEEC, (Federation des Industries Electriques Electroniques et de Communication). *Efficacité énergétique des bâtiments*. (2011).
34. Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. (2011).