

## Résumé

L'une des questions fondamentales qui se posent dans les négociations sur le climat mondial s'agissent du niveau d'émissions anthropiques projetés et l'objectif de les réduire pour limiter le réchauffement planétaire. Aujourd'hui la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> approche de 400 ppm par rapport au niveau préindustriel de 280 ppm, ce mémoire montre l'empereur et les conséquences de cette augmentation, en aboutissant à l'effet de serre anthropique qui conduit au réchauffement climatique et provoque d'autres impacts comme, la montée du niveau des mers, et affectation des milieux océaniques et terrestres. Notre solution d'amine primaire MEA avec la concentration de 15% a prouvé une capacité d'absorption de CO<sub>2</sub> satisfaisante (0,36), avec un débit de gaz (CO<sub>2</sub>) de 3.2 L/min, et dans la température ambiante de laboratoire (28°C).

Mots clés : GES, absorption, amine, température.

## Abstract

One of the fundamental issues in the negotiations on global climate will affect the level of projected emissions and the objective of reducing anthropogenic GHG emissions for limiting global warming. This manuscript has shown that the amount of CO<sub>2</sub> in the atmosphere is increasing, with atmospheric concentrations now approaching 400 ppm compared to pre-industrial levels of 280 ppm. This elevated level of CO<sub>2</sub> concentration enhances the greenhouse effect, leading to global warming. This rise in temperature causes the climate to change, sea levels to rise, and ocean and land environments to be affected. Our primary amine MEA solution with a concentration of 15% has proved a satisfactory absorption capacity of CO<sub>2</sub> (0.36), with a flow rate of gas (CO<sub>2</sub>) of 3.2 L/min, and room temperature in the laboratory (28 ° C).

Keywords: GHG, absorption, amine, temperature.

## ملخص

واحدة من القضايا الأساسية في المفاوضات بشأن المناخ العالمي يؤثر على مستوى الانبعاثات المتوقع والهدف المتمثل في خفض انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ للحد من ظاهرة الاحتباس الحراري. ويبيّن هذا البحث أن كمية CO<sub>2</sub> في الجو يزيد مع التركيزات في الغلاف الجوي تقترب الآن 400 جزء في المليون فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعية من 280 جزء في المليون. هذا المستوى المرتفع من CO<sub>2</sub> يزيد من ظاهرة الاحتباس الحراري، الأمر الذي يؤدي إلى ظاهرة التغير الجوي. هذه الزيادة في درجة الحرارة تسبب تغير المناخ وارتفاع مستوى سطح البحر، والمحيطات والأرض أن تتأثر البيئات. وقد أثبت لدينا المحلول الأميني MEA الأولي مع تركيز 15٪ في القدرة على الاستيعاب مرضية من CO<sub>2</sub> (0,36)، مع معدل تدفق الغاز (CO<sub>2</sub>) من 3.2 لتر / دقيقة، ودرجة حرارة الغرفة في المختبر (28 درجة مئوية).

الكلمات الرئيسية: امتصاص، غازات الدفيئة، ودرجة الحرارة، أمين.

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**  
Département de chimie industrielle



## **Mémoire de master**

*Présenté par : DJELOUACHI Samir*

### **TITRE**

**Etude de la séparation du CO<sub>2</sub> par  
absorption dans les émissions polluantes  
industrielles: application a la séquestration**

Promoteur : Dr. BOUGHEDAOUI Menouar

Co-promoteur : Pr. KERBACHI Rabah

Devant le jury :

Dr. BOUZID Bachir.....Président du jury

Dr. ZEDDAM Chafia.....Examinatrice

Dr. CHIKHI Saaden.....Examinateur

Mars 2014

## Sommaire

I- Introduction.....	4
II- Phénomène d'effet de serre .....	5
III- Evolution des niveaux de GES dans l'atmosphère.....	10
III-1 Station Mauna Loa .....	12
III-2 Station Assekrem .....	13
III- Emissions de gaz a effet de serre .....	14
III-1 Parts des émissions.....	14
III-1-1 Emissions de CO <sub>2</sub> par pays .....	14
III-1-2 Emissions de CO <sub>2</sub> en Algérie.....	15
III-1-3 Emissions de CO <sub>2</sub> par secteur .....	16
IV- Impact sur l'environnement .....	18
IV-1 changements climatiques .....	18
IV-3 conséquences naturelles.....	19
IV-4 conséquences sociales et économiques.....	19
V- Réaction de la communauté internationale .....	20
V-1 CCNUCC : .....	20
V-2 Protocole de Kyoto:.....	20
V-2-1 Mécanismes de flexibilité de Protocol de Kyoto: .....	21
V-3 Post Kyoto.....	21
V-4 Négociations internationales : .....	22
VI- Techniques de réduction de CO <sub>2</sub> .....	23
VI-1 Capture et stockage du dioxyde de carbone.....	23
VI-2 Les principaux maillons de la chaine CSC .....	24
VI-2-1 Captage .....	24
VI-2-2 Transport.....	25
VI-2-3 Stockage .....	25
VI-3 Expérience Algérienne de CSC à In-Salah .....	26
VI-4 Absorption de CO <sub>2</sub> .....	27
VI-5 Types d'absorption .....	27
VI-5-1 Absorption par solvants chimiques.....	27
VI-5-2 Absorption par solvants physiques .....	28
VI-5-3 Absorption par solvants hybrides .....	28

VI-6 Séparation du CO <sub>2</sub> par absorption chimique.....	29
VI-6-1 Théorie de double films.....	30
VI-6-2 Amines.....	30
VI-6-3 Sélection du liquide absorbant.....	31
VII- Partie expérimentale.....	32
VII-1 Description du montage expérimental.....	32
VII-2 Méthode d'analyse de la MEA.....	33
VII-3 Essai.....	34
VII-4 Résultats.....	35
VII-5 Interprétation des résultats.....	38
VIII- Conclusion.....	39
Sigles et abréviations.....	40
Références bibliographiques:.....	43

*«L'aggravation, unanimement reconnue du phénomène de changement climatique, a amené nos pays à accorder un rang de priorité élevé à cette question. C'est ainsi que l'Algérie a eu l'honneur d'accueillir en novembre 2008, une Conférence des Ministres Africains de l'Environnement qui a permis l'élaboration d'une position africaine commune sur les changements climatiques. L'Algérie, en ce qui la concerne, fait face aux impacts des changements climatiques, qui aggravent le phénomène de désertification dont elle souffre. Elle a intégré la dimension du développement durable dans ses plans de développement, y compris dans un souci de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre. De même qu'elle a adopté des mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique et une politique de promotion des énergies renouvelables. Elle a, enfin, fait de la technologie du captage et du stockage de dioxyde de carbone un élément clé de sa politique nationale en matière de changement climatique » [1].*

**Extrait du discours de Monsieur  
Abdelaziz BOUTEFLIKA  
Président de la République**

**Sommet de Copenhague sur les  
changements climatiques  
17 décembre 2009**

## I- Introduction

D'après le discours du président de la république, l'Algérie est pleinement consciente des enjeux et défis qu'implique l'immense problématique des changements climatiques, sans avoir jamais manqué de marquer de l'empreinte sur le projet unique dans le monde adopté ici en Algérie qui concerne la technologie du captage et stockage géologique de dioxyde de carbone à kreshba Ain-Salah.

Ce travail contient deux parties, la première qui présente la partie enrichissante du manuscrit aborde les phénomènes physiques naturels concernant l'effet de serre, et leurs relation avec le réchauffement climatique en s'appuyant sur les émissions de GES et surtout le CO<sub>2</sub>, sans oublier de discuté les négociations internationaux pour lutté ce problème mondiale, et les déférents solutions adopté pour réduire les émissions mondiales de GES en basant sur l'option de CSC. La deuxième partie est purement expérimentale, on a étudié l'absorption de CO<sub>2</sub> dans une solution amine primaire le MEA, en injectons le gaz avec un débit constant dans une solution a déférents concentrations pour calculé sa capacité d'absorption.

Sans de nouveaux engagements et des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, le monde est susceptible de se réchauffer de plus de 3°C au-dessus de la température préindustrielle. Même avec les engagements d'atténuation en cours et des engagements pleinement mises en œuvre, il ya une probabilité de 20% que la température mondiale atteigne une valeur ajouté de 4°C d'ici 2100, un tel niveau de réchauffement et associé l'élévation du niveau de la mer de 0,5 à 1 mètre, ou plus[2].

Au cours des dernières années, la préoccupation croissante sur les énormes impacts négatifs de la production et de la consommation d'énergie a ravivé l'intérêt dans l'étude de la structure de l'énergie et le développement de nouvelles technologies à faible intensité carbonique. Les combustibles fossiles fournissent environ 81% de l'énergie commerciale à partir de 2009, ce qui a été fortement impliqué pour les concentrations croissantes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de la terre qui devraient conduire à des changements significatifs dans le climat avec des effets économiques et sociaux graves[3].

En conséquence, la plupart des efforts visant à atténuer le réchauffement climatique se sont concentrés sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, des technologies différentes ont été proposés et étudiés afin d'atteindre une société durable à faible intensité de carbone. CCS est une variante dans le portefeuille d'options pour réduire les émissions de gaz à effet de serre qui permet la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à partir des usines de production d'électricité à base de combustibles fossiles, aussi CCS permet la réduction d'autres polluants comme les SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, et les matières particulaires. Comme une méthode sûre et efficace de capturer et de stocker des milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> dans le sol pendant des milliers d'années, le CCS représente donc le pont à un système énergétique réellement durable.

## II- Phénomène d'effet de serre

Le plus intéressant, le plus diversifié et le plus précieux des Corps célestes, la Terre est entouré d'une enveloppe très fine, l'atmosphère qui permet l'existence du phénomène le plus étonnant entre tous: la vie. En fait, cette enveloppe qui nous semble vaste, presque infinie, se révèle plutôt, comparée au rayon de la Terre, comme un simple film mais un film constituant tout à la fois un manteau chauffant (l'effet de serre), un bouclier contre les rayons ultraviolets (la couche d'ozone dans la stratosphère) et un moyen de transport de cet élixir de vie qu'est (la troposphère avec le vent, les nuages et les précipitations). 99,9 % de la masse de l'atmosphère sont constitués par la troposphère et la stratosphère, soit les cinquante premiers kilomètres de notre air. Ce film ne correspond donc qu'à peine à 1% du rayon terrestre (6370 km) (figure1)[4].

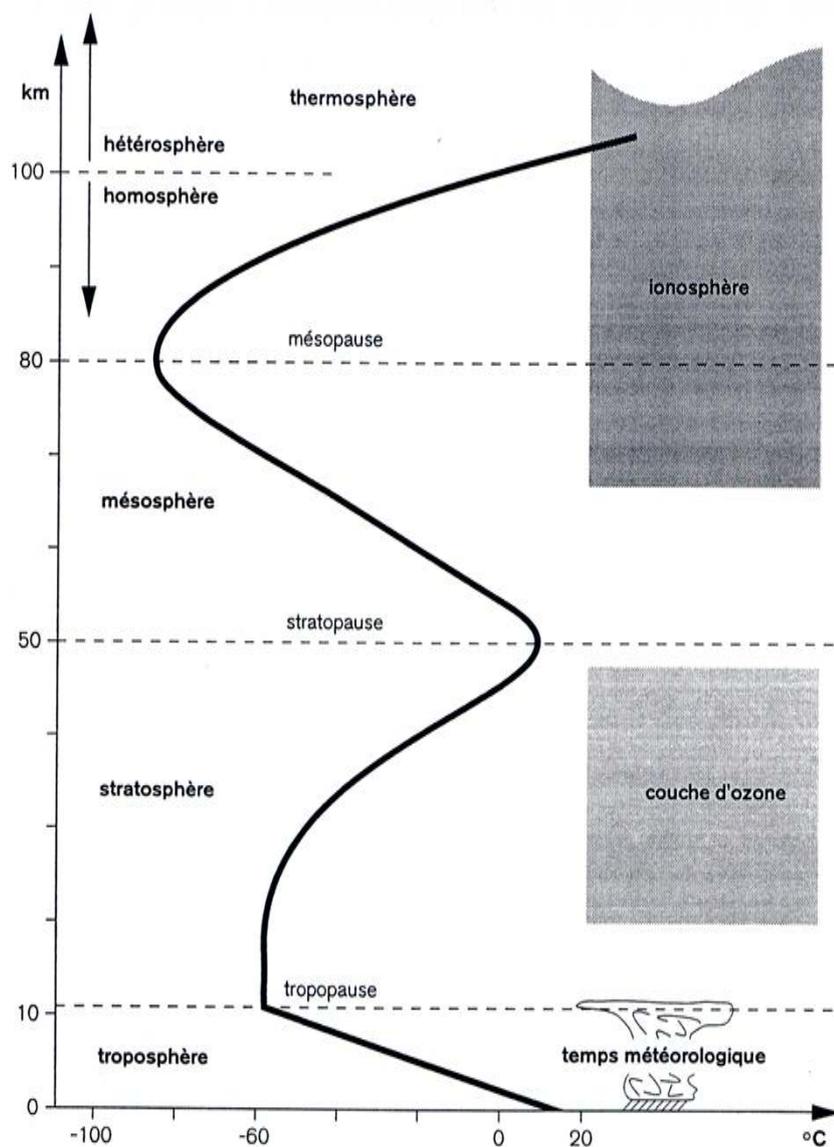


Figure 1 : Etagement de l'atmosphère sur la base d'une courbe de température

La Terre ne capte que les 22 milliardièmes de l'énergie émanant du Soleil et dont elle fait l'énergie motrice pour le vent, la pluie, le climat et les végétaux. Néanmoins, même cette infime traction du flux total d'énergie solaire est immensément grande. Pour la déterminer, on recourt à la constante solaire  $Q$ , qui exprime l'énergie de rayonnement que reçoit par seconde un mètre carré exposé perpendiculairement à lui. Des mesures détaillées, donnèrent une valeur  $Q$  étonnamment constante de  $1367,5 \text{ W/m}^2$ . Si l'on multiplie cette valeur par la superficie terrestre, on obtient le Chiffre de 174000 TW. Ce chiffre est 12000 fois supérieur à la consommation totale d'énergie de l'humanité, qui s'élève actuellement à 14 TW environ, ce qui correspond à quelque 11 milliards de tonnes de pétrole par an.

La figure 2 montre les principaux flux d'énergie à Considérer et indique leur intensité en pour cent. Du côté positif de ce bilan figure le 70% de la lumière du Soleil qui traverse sans obstacle l'atmosphère et est totalement absorbé par la surface de la Terre. A cela s'ajoute 70% du rayonnement de chaleur, car l'atmosphère portée à  $-18^\circ\text{C}$  envoie un rayonnement identique vers le sol comme vers l'espace. Le côté négatif du bilan, à savoir le rayonnement de chaleur réémis par la surface de la Terre, doit compenser le côté positif et s'élever de ce fait à 140%. Le bilan est équilibré aussi bien pour la surface de la Terre que pour l'atmosphère; il règne un équilibre du rayonnement et toutes les températures sont stationnaires, restent constantes[4].

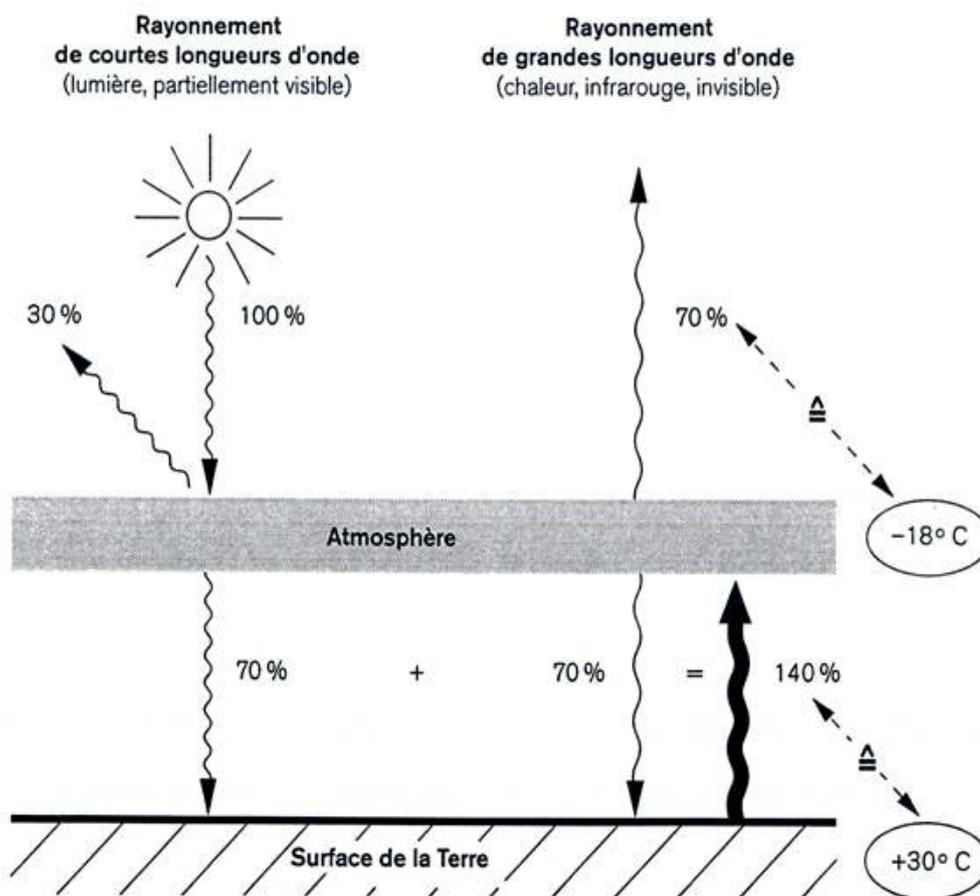


Figure 2 : Un calcul simplifié de l'effet de serre fournit une température globale moyenne, trop élevée, de  $30^\circ\text{C}$ .

Le rayonnement infrarouge en provenance du sol correspondrait à une température de +30 °C. Cette estimation sommaire d'un effet de serre idéal donne cependant des températures trop élevées. En effet, chaque imperfection agit comme un trou, et la serre réelle possède heureusement quelques imperfections qui réduisent la température moyenne à +15 °C. La serre devient cependant plus étanche (c'est-à-dire quelle comporte de moins en moins de trous) à la suite de l'enrichissement de l'atmosphère en gaz à effet de serre, si bien que la température augmente.

Pour mieux comprendre la physique de l'effet de serre et surtout de son renforcement par des émissions anthropiques, il nous faut maintenant étudier plus en détail les interactions entre le rayonnement et l'atmosphère. La figure 3 montre ici les processus les plus importants. Commençons par le rayonnement solaire dont l'intensité est maximale pour des longueurs d'ondes de 0,4 à 0,7 µm. Au vu de l'évolution biologique ce n'est pas un hasard si ce spectre concorde exactement avec celui que nous pouvons voir et que nous désignons comme la lumière, Car les cellules de l'œil se sont adaptées au mieux à la portion du spectre à la densité d'énergie la plus forte[4].

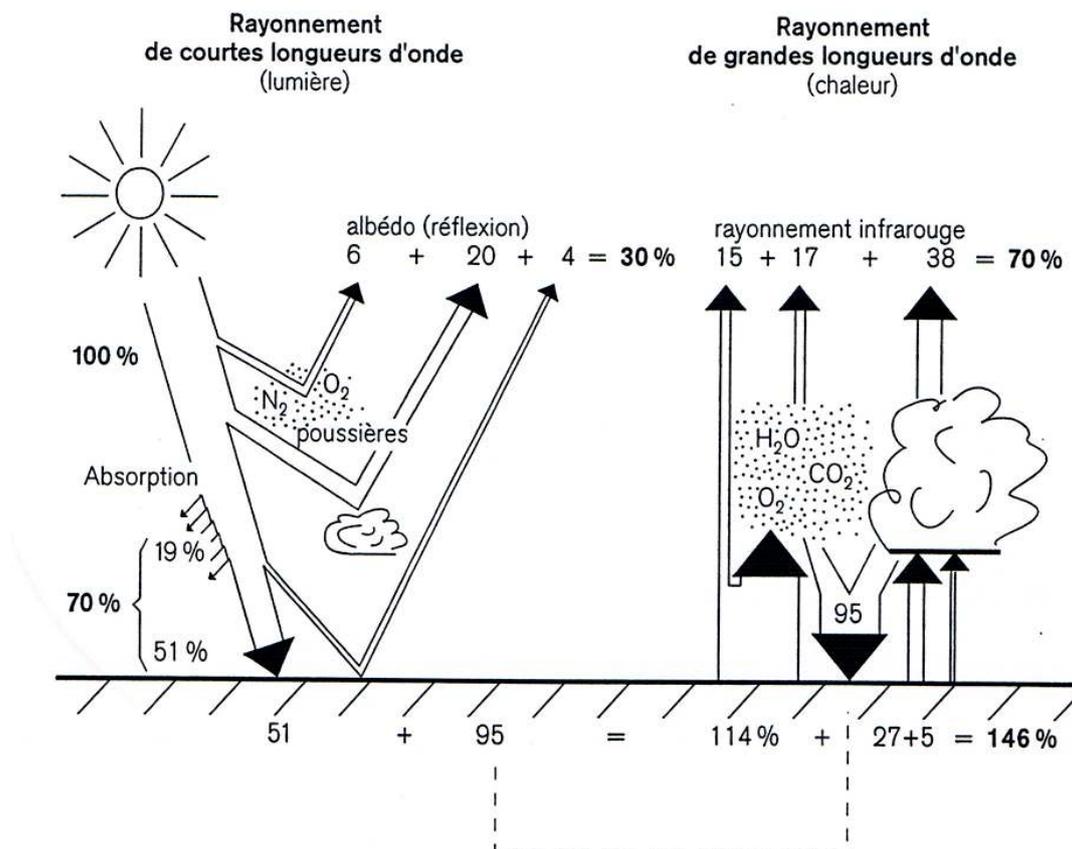


Figure 3 : Les principaux processus de rayonnement provoquant l'effet de serre.

La diffusion de la lumière par des molécules d'air (oxygène, azote, argon) est liée au fait que les ondes photoniques électromagnétiques poussent leurs électrons à osciller et diffusent un rayonnement électromagnétique de même longueur d'onde (donc de la lumière) à la manière de petits émetteurs radio. Comme ce processus se déroule le plus efficacement

pour la lumière (bleue) à ondes courtes, c'est principalement de la lumière bleue qui est diffusée; c'est pourquoi le ciel nous apparaît bleu. Par contre, si nous regardons le Soleil couchant, dont les rayons arrivant en diagonale doivent parcourir un chemin plus long au sein de l'atmosphère et au cours duquel se perd beaucoup de lumière bleue, nous pouvons surtout observer les longueurs d'ondes rouges plus longues qui subsistent; c'est pourquoi le Soleil couchant nous apparaît rouge. Un processus de diffusion analogue provoqué par les aérosols (petites particules telles que cristaux Salins, gouttelettes d'eau et poussières par exemple) réagit moins sensiblement aux longueurs d'ondes photoniques parce que les particules diffusant la lumière sont ici plus grosses; il en résulte une lumière blanche indirecte. C'est pourquoi les petits nuages ou le ciel au-dessus de régions poussiéreuses nous semblent blancs. L'ensemble de ces processus de diffusion réfléchit 26% du rayonnement solaire entrant, en moyenne, les nuages se taillant la part du lion avec 20% environ. Seuls 4% de la lumière sont réfléchis par les océans et les terres émergées.

En plus de ces processus de diffusion, dix-neuf autres pour cents du rayonnement solaire sont absorbés au sein de sphère, convertis en chaleur. Du fait que la chaleur n'est rien d'autre que l'énergie cinétique d'atomes et de molécules, les processus d'absorption ne peuvent avoir lieu que lorsque le rayonnement électromagnétique (ici la lumière) peut toucher une molécule et faire se secouer ses différents atomes entre eux (il en résulte une énergie de vibration), ou la tourner tout entière (dont il résulte une énergie de rotation). Comme les molécules symétriques ne possèdent pas une telle prise électromagnétique (appelée moment dipolaire), les principaux composants de l'atmosphère, l'azote ( $N_2$ ) et l'oxygène ( $O_2$ ), ne peuvent absorber aucun rayonnement et doivent s'en remettre aux gaz-traces asymétriques; la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), le gaz carbonique ( $CO_2$ ) et l'ozone ( $O_3$ ). L'ozone qui se trouve principalement dans la stratosphère, possède des bandes d'absorption dans le spectre infrarouge et ultraviolet. Le fait que les végétaux terrestres n'aient pu apparaître qu'il y a 600 millions d'années environ, après qu'une quantité suffisante d'oxygène se fût accumulée dans l'atmosphère, n'est pas un hasard: cet oxygène transformé par le puissant rayonnement ultraviolet a pu former la couche d'ozone, protégeant la vie terrestre naissante contre le rayonnement. Aujourd'hui, pour la première fois depuis ce temps, ce bouclier dont le maximum de concentration est situé à 25 km d'altitude est menacé, par l'action des molécules anthropogènes, les chlorofluorocarbones (CFC). La capacité d'absorption de la vapeur d'eau et du gaz carbonique est située quant à elle surtout dans le spectre infrarouge du fait du nombre relativement élevé de bandes de vibration et de rotation qui y sont localisées. A la suite des processus de diffusion et d'absorption décrits ci-dessus, il reste donc: 51% pour réchauffer la surface de la Terre.

A ce rayonnement de courtes longueurs d'onde de 51% (figure 2) vient s'ajouter un courant de chaleur de grandes longueurs d'onde provenant de l'atmosphère. Ces deux éléments forment ensemble la partie positive du bilan énergétique du sol. Le rayonnement infrarouge d'origine atmosphérique moyen, également appelé contre-rayonnement atmosphérique, est de 95% et se compose de deux éléments. D'une part (pour environ deux tiers) les nuages, comme les corps compacts, envoient de la chaleur en direction de la Terre en fonction de leur température. Une nuit d'hiver sous un ciel couvert est donc considérablement plus chaude qu'une nuit étoilée. D'autre part (pour environ un tiers), les gaz-traces

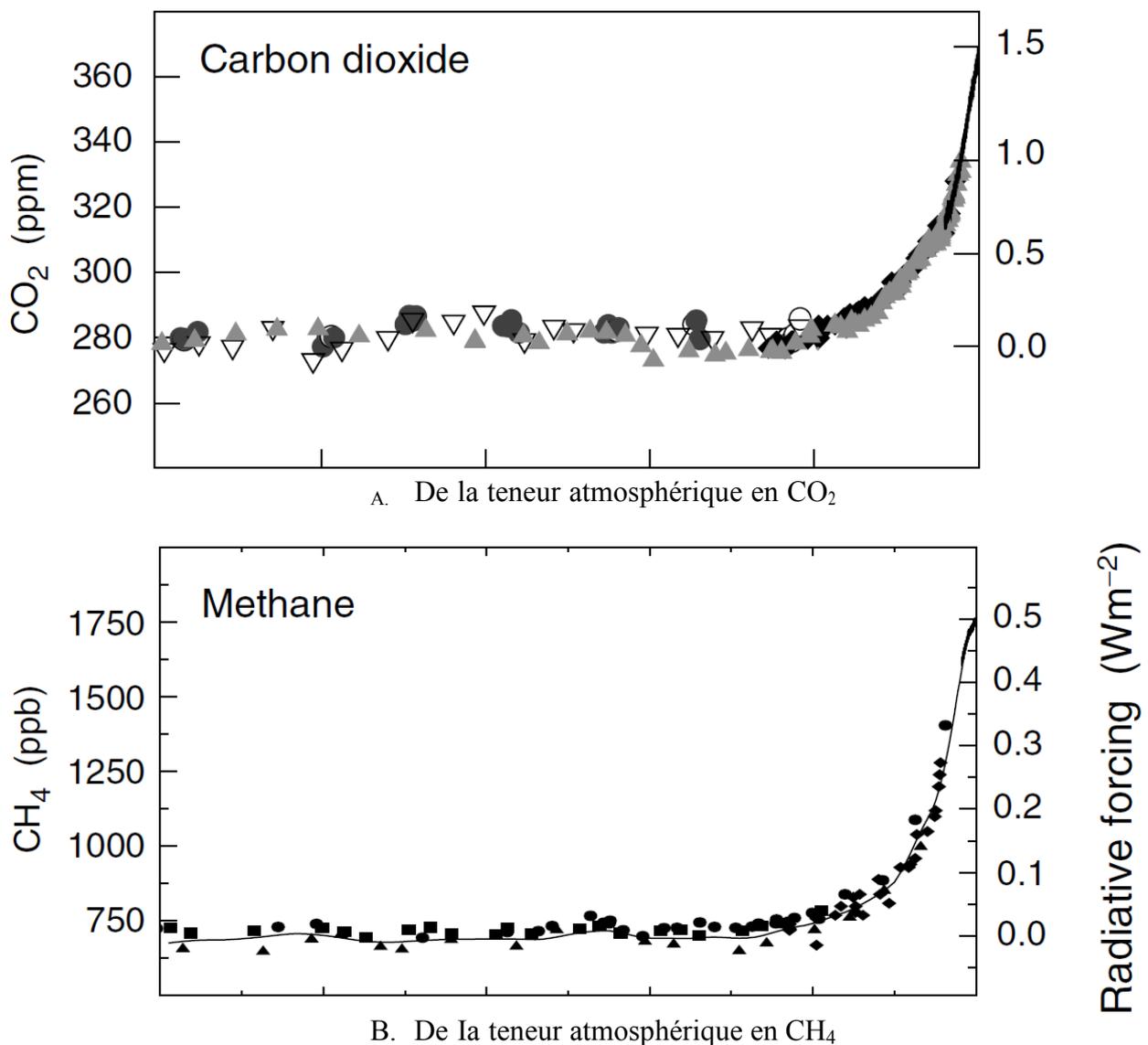
asymétriques susmentionnés, soit la vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone émettent de la lumière infrarouge dans les longueurs d'ondes qui correspondent à leur capacité d'absorption, agissant principalement dans trois segments du spectre, à savoir en dessous de  $8\mu\text{m}$  (vapeur d'eau), à  $9\text{-}10\mu\text{m}$  (ozone) et au-delà de  $13\mu\text{m}$  (gaz carbonique et vapeur d'eau). Par temps clair, le rayonnement de chaleur réémis par la surface de la Terre peut cependant s'échapper entre ces bandes d'absorption ( $8\text{-}9$  et  $10\text{-}13\mu\text{m}$ ) en direction de l'espace. On parle alors d'une fenêtre atmosphérique. Du fait que ces fenêtres spectrales se trouvent justement là où, selon la loi du rayonnement, la surface de la Terre libère le plus d'énergie, c'est-à-dire aux alentours de  $10\mu\text{m}$ , elles revêtent une importance considérable. Cette remarque explique également pourquoi l'ozone joue un rôle important dans l'effet de serre: sa capacité d'absorption se situe dans un segment du spectre ne contenant d'une part aucune autre bande d'absorption importante et se trouvant d'autre part près du maximum d'émission de la surface de la Terre.

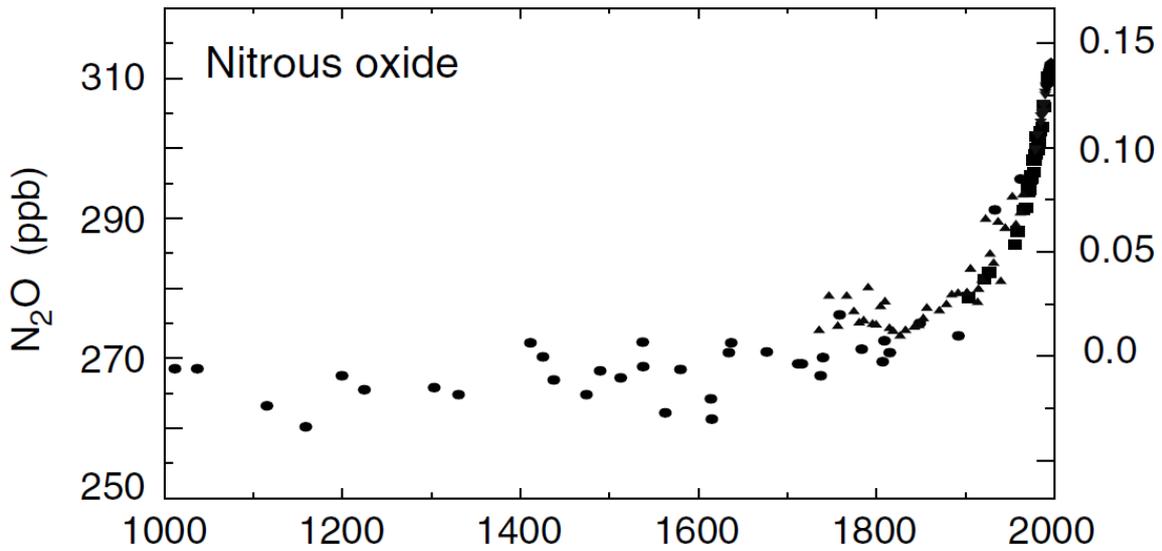
Nous avons ainsi du côté positif du bilan énergétique du sol un rayonnement de 51% (ondes courtes) et 95% (ondes longues), soit un total de 146%. Si ce flux d'énergie ne devait être libéré dans l'atmosphère que par le rayonnement de chaleur, nous obtiendrions une température d'équilibre de  $33^\circ\text{C}$ . Heureusement, dans le cycle énergétique planétaire, 27% sont utilisés pour l'évaporation globale de l'eau et 5% sont libérés dans l'atmosphère par la convection, c'est-à-dire par de l'air chaud ascendant. Les 114% restants donnent la température moyenne observée à la surface de la Terre d'environ  $15^\circ\text{C}$ . Seule une part relativement petite de ce rayonnement, à savoir 15%, peut s'échapper directement dans l'espace par la fenêtre atmosphérique. Les 99% qui restent sont absorbés et réémis une ou plusieurs fois par la vapeur d'eau, le gaz carbonique, l'ozone et les nuages, de sorte que 38 % sont finalement émis dans l'espace par les nuages et par les gaz-traces asymétriques. Au total  $15+38+17 = 70\%$  sont libérés par le rayonnement de chaleur et, 70 autres pour-cent sont représentés par la lumière du Soleil; le bilan total est donc équilibré[4].

### III- Evolution des niveaux de GES dans l'atmosphère

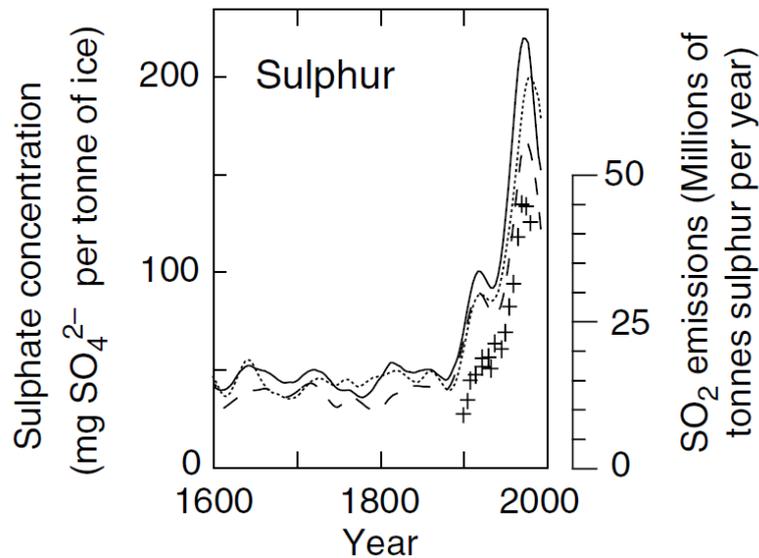
La concentration d'un gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère résulte de son accumulation. Elle reflète la somme de ses émissions antérieures, pondérée par des coefficients qui traduisent les modalités et les rythmes, à la marge d'un scénario donné, de sa migration hors atmosphère. La contribution de chacun des gaz à l'effet de serre dépend elle-même, à un moment donné, de sa concentration dans l'atmosphère multipliée par un coefficient de réchauffement global spécifique. L'influence de chaque gaz est ainsi fonction à la fois de l'intensité de ses émissions passées, de sa contribution spécifique au réchauffement et de sa longévité. Notons déjà que le plus important des gaz à effet de serre, à la fois pour sa contribution totale au réchauffement et pour la forte irréversibilité de son accumulation est incontestablement le  $\text{CO}_2$  : il contribue à environ trois quarts de l'accroissement actuel du pouvoir de réchauffement[5]. (Voir les figures 1A, 1B, 1C et 1D)

Figure 4: Évolution au cours du dernier millénaire[6]





C. De la teneur atmosphérique en N<sub>2</sub>O



D. De la teneur en aérosols sulfatés déposés dans la glace de Groenland

Cet accroissement de la concentration des gaz à effet de serre est clairement lié à l'activité humaine : ainsi, en 1990, pour les pays industrialisés, la production d'énergie, à hauteur de 38 %, le transport à hauteur de 24 %, les autres activités industrielles pour 21 %, l'habitat et l'agriculture pour 16 %, constituent les principales sources anthropiques d'émissions en dioxyde de carbone provenant de la combustion de carbone fossile. Les activités agricoles contribuent de façon significative aux émissions de protoxyde d'azote et aussi de méthane (plus 50% du total, ou viennent s'ajouter essentiellement les combustions des déchets[5].

### III-1 Station Mauna Loa

Globalement, les émissions de CO<sub>2</sub> ont augmentée de 3% en 2011, atteignant un niveau record de 34 milliards de tonnes. Une croissance de 50% des émissions anthropiques globale de CO<sub>2</sub> depuis 1992, malgré qu'en 1997 les pays industrialisés ont décidés de mettre un objectif d'atténuation des émissions totales de GES dans le cadre du protocole de Kyoto, Cette croissance des émissions a provoqué une augmentation de 10% dans la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique de 356 à 392 ppm[7].

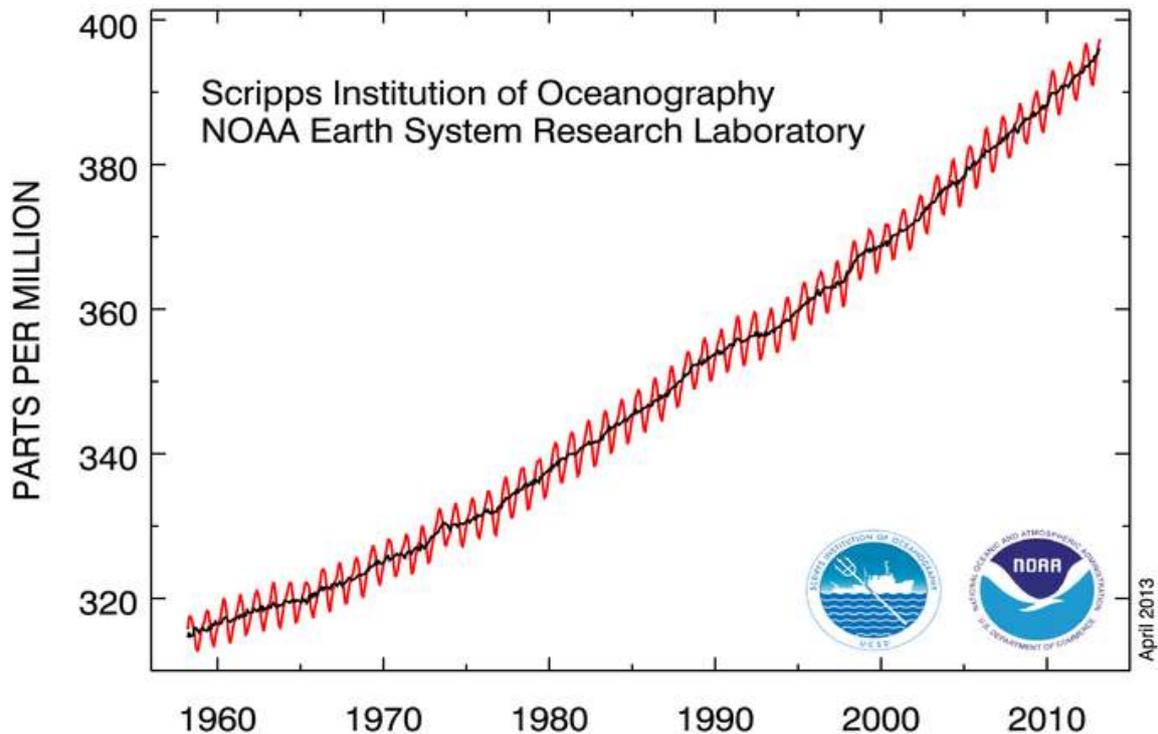
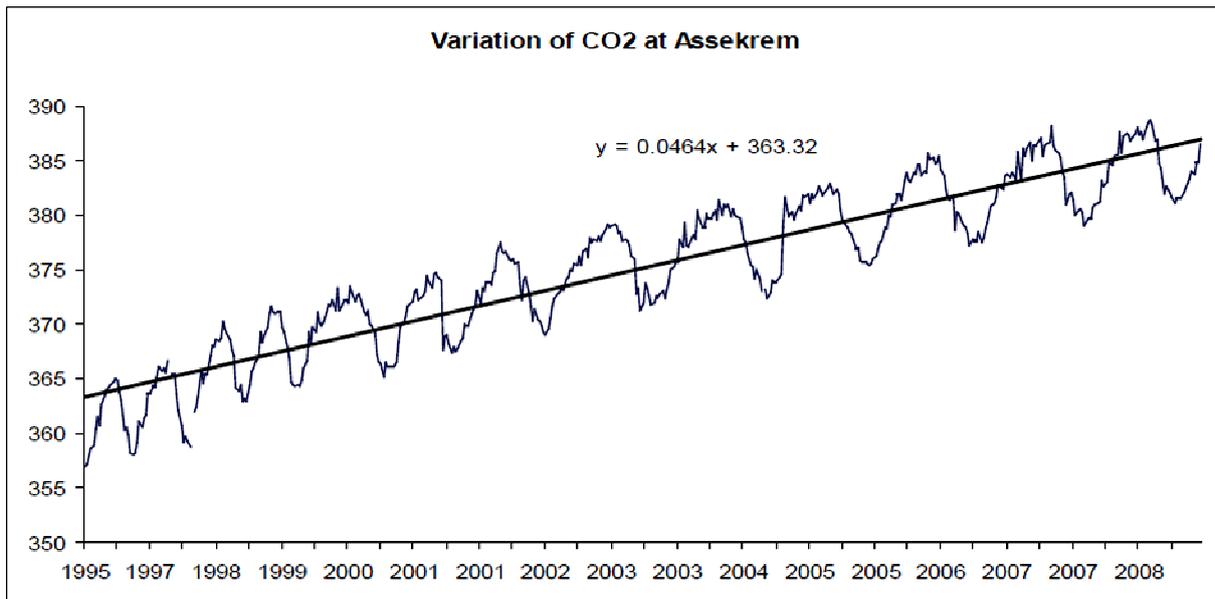


Figure 5: évolution temporelle du CO<sub>2</sub> a la station Mauna Loa (Hawaï)[2].

La figure 6 montre les données de dioxyde de carbone mesurées (courbe rouge) et les concentrations de CO<sub>2</sub> moyennes annuelles pour la période 1958-2012. L'oscillation saisonnière indiquée sur la courbe rouge reflète la croissance des plantes dans l'hémisphère Nord, qui stockent plus de CO<sub>2</sub> au cours du printemps boréal et de l'été que ce qui est respiré. Basée sur des mesures de carottes de glace, deux concentrations de CO<sub>2</sub> préindustriels ont été démontré qu'ils ont été de l'ordre de 260 à 280 ppm. Les données géologiques et climatique montre clairement que les présents concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> sont supérieures à tout moment au cours des 15 derniers millions d'années.

### III-2 Station Assekrem



Source : ONM, 2009

Figure 6: évolution temporelle du CO<sub>2</sub> a la station Assekrem (Tamanrasset)[1].

L'Algérie participe au programme mondiale (OMM/PNUE) de veille de l'atmosphère globale a travers la mise en place et la gestion d'une station a Tamanrasset pour la surveillance de l'évolution des niveaux de GES dans une station de fond.

La figure 6 montre que le CO<sub>2</sub> est en croissance régulière, en passant de 360 ppm en 1995 à 385 ppm en 2009, avec une augmentation annuelle de 2 ppm/an avec une variation saisonnière : maximum au printemps et minimum en automne, en relation avec le cycle de la photosynthèse de la végétation.

### III- Emissions de gaz a effet de serre

La concentration des gaz à effet de serre s'est considérablement accrue depuis les débuts de l'ère industrielle. La concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a augmenté de 30 % : partant de 280 parties par million en volume (ppm), en 1750, elle a montée en 2003 à environ 370 ppm. La masse totale de carbone accumulée dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> pendant cette période passait de 590 gigatonnes de carbone (GtC) en 1765, à 609 GtC (correspondant à 286 ppm) en 1850, pour en arriver en 2003 à 785 GtC. En parallèle, la concentration de méthane a augmenté de 145 %. Pour retrouver de tels niveaux de concentration atmosphérique pour ces deux gaz, il faut remonter à plus de 400 000 ans en arrière[5].

#### III-1 Parts des émissions

Les inventaires des émissions de GES pour chaque secteurs est conformer a une bonne pratique suivie attentivement par la méthodologie et les directives de GIEC, les lignes directives décrivent les méthodes améliorés pour estimer les émissions de tous les catégories de sources et de puits[8].

##### III-1-1 Emissions de CO<sub>2</sub> par pays

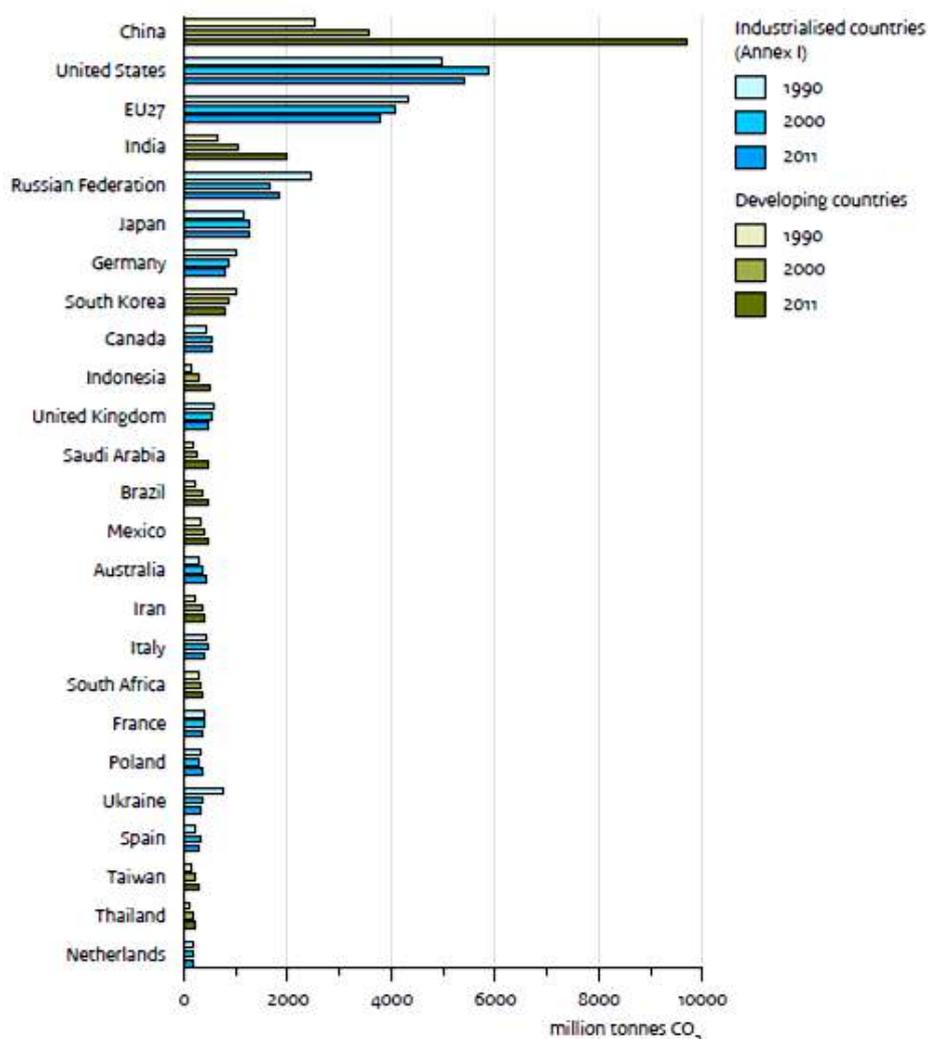


Figure 7: Emissions industrielle globale de CO<sub>2</sub> par région[7]

Les cinq plus grands émetteurs de CO<sub>2</sub> en 2011 sont la Chine (part de 29%), les Etats-Unis (16%), l'Union européenne (UE27) (11%), l'Inde (6%) et le Fédération de Russie (5%), suivis par le Japon (4%). Alors que les émissions du CO<sub>2</sub> des industries en Europe ont diminué de 2 % en 2011, après une augmentation de 3% en 2010, et une baisse exceptionnelle de 12% en 2009. Aux Etats-Unis, les émissions du CO<sub>2</sub> résultantes de la combustion des carburants ont augmenté de 0,4% en 2011, après une augmentation de 5% en 2010, et une baisse forte de 3% et 7% en 2009 et 2008.

En 2011 les émissions du CO<sub>2</sub> de la chine ont augmenté de 9%, cette augmentation est due a l'augmentation de la génération de la puissance thermique (centrales électriques du charbon). L'inde est le quatrième plus grand pays émetteur de CO<sub>2</sub> dans le monde, et ces émissions ont continué à augmenter en 2011 par 6%.

Outre les émissions par pays, il est intéressant d'avoir à l'esprit les émissions moyennes par habitant par pays. En 2005, les émissions de GES anthropiques globales étaient de l'ordre 26 GT CO<sub>2</sub>eq, pour environ 6.5 milliards d'habitants, la moyenne planétaire était de 4 tonnes d'CO<sub>2</sub>eq[9].

### III-1-2 Emissions de CO<sub>2</sub> en Algérie

L'Algérie est un pays parmi les pays en développement, un pays exportateur de gaz et de pétrole qui n'a pas un tissu industriel important, mais dans les émissions de CO<sub>2</sub> elle est parmi les tops trois émetteurs de l'Afrique après l'Afrique de Sud et l'Egypte. D'après le tableau 1 on remarque clairement que les émissions de CO<sub>2</sub> en Algérie présente le 10% des émissions totale africaines, et ces chiffres vont augmenter dans le futur avec l'augmentation de la demande et la consommation de l'énergie.

Tableau 1: Emissions de CO<sub>2</sub> en Afrique [10]

Classement des pays	CO <sub>2</sub> émis par combustion des combustibles (millions tonnes de CO <sub>2</sub> équivalent)
Sud Afrique	346,8
Egypte	177,6
Algérie	98,6
Afrique	929,7

En ratifiant le protocole de Kyoto l'Algérie n'a pas besoin de respecter ses conditions qui sont destinées aux pays développés, mais elle à bénéficier des mécanismes de flexibilités défini par le Protocol de Kyoto avec la participation dans le projet de mécanisme de développement propre (MDP) et voici deux exemples parmi plusieurs fruits de cette démarche :[1]

1. Réhabilitation des installations de la raffinerie d'Arzew : NAFTEC Arzew. Trois actions permettant de réduire le torchage et limiter la consommation d'énergie.

- Passé le torchage de 12 000 t/an à 2000 t/an.
- Augmenter le rendement des fours et chaudières.
- Améliorer le système de contrôle de la raffinerie.

2. Réhabilitation des installations de la raffinerie d'Alger : NAFTEC Alger. Trois actions permettant de réduire le torchage et limiter la consommation d'énergie.

- Passer le torchage de 12 000 t/an à 2000 t/an.
- Augmenter le rendement des fours et chaudières.
- Améliorer le système de contrôle de la raffinerie.

Alors réduire nos futures émissions est la meilleure démarche pour des bonnes perspectives concernant la performance environnementale de notre pays.

### III-1-3 Emissions de CO<sub>2</sub> par secteur

La répartition des émissions de GES dans la figure 3 indique une prédominance de l'utilisation des combustibles fossiles (61%), suivi par la déforestation et la décomposition de la biomasse (15%), et ces deux derniers secteurs présentent l'essentiel des émissions de CO<sub>2</sub>.

C'est pour ça les sources d'émissions de CO<sub>2</sub> se compose en deux principaux secteurs :

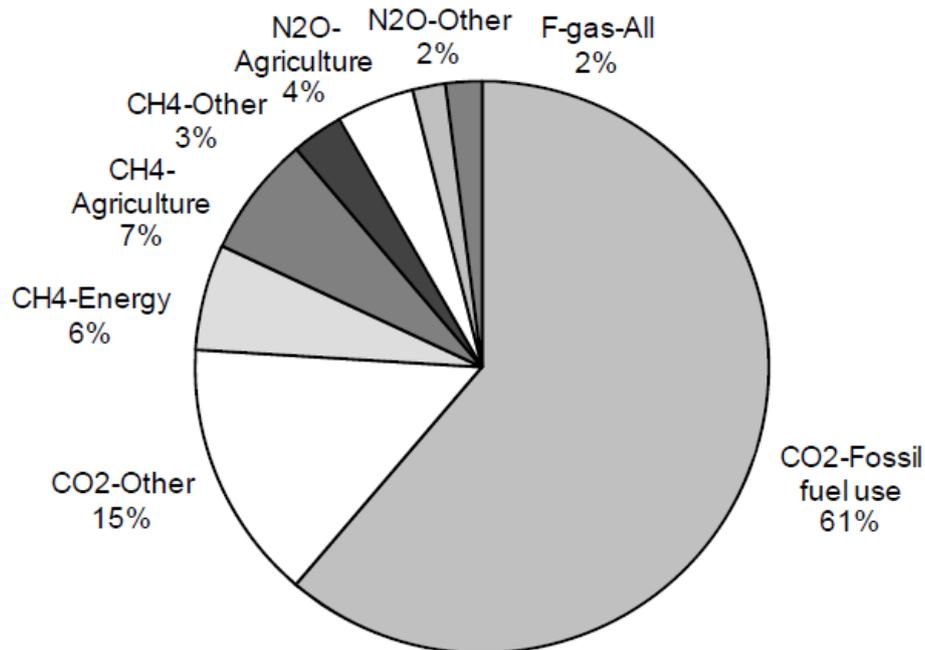


Figure 8: Part des six GES de source anthropique dans les émissions de 2010 [10].

#### III-1-3-1 secteur non-combustible

La production de ciment est la plus grande industrie émettrice de CO<sub>2</sub> dans les sources non-combustible, contribuant par 4% des émissions mondiales, ces émissions de CO<sub>2</sub> sont

généérées par l'oxydation de carbonate dans le procédé de clinkerisation, tandis que les émissions de CO<sub>2</sub> lié à la consommation d'énergie pour la production de ciment présentent 4%. Donc le total des émissions est 8% des émissions mondiale.

La Chine est le plus grand producteur de ciment dans le monde, ces émissions de CO<sub>2</sub> dues à cette production présente 57% (parmi les 8% mondiale), Inde 5%, les Etats-Unis, la Turquie, le Japon, Russie, le Brésil, l'Iran et le Vietnam entre 1,5% et 2%.

Dans la production d'acier, la plupart des émissions de CO<sub>2</sub> sont générée par le processus de production de fer et l'acier ou ils utilisent les fours à coke, les hauts fourneaux, et les fours d'acier à base d'oxygène. la Chine représente 44% de la production d'acier brut en 2011, suivie par le Japon (8%), les Etats-Unis (6%), la Russie et l'Inde (chacun 5%), la Corée du Sud (4%), Allemagne (3%) et l'Ukraine, le Brésil et la Turquie (chacun 2%)[7].

### III-1-3-2 Secteur a combustibles fossiles

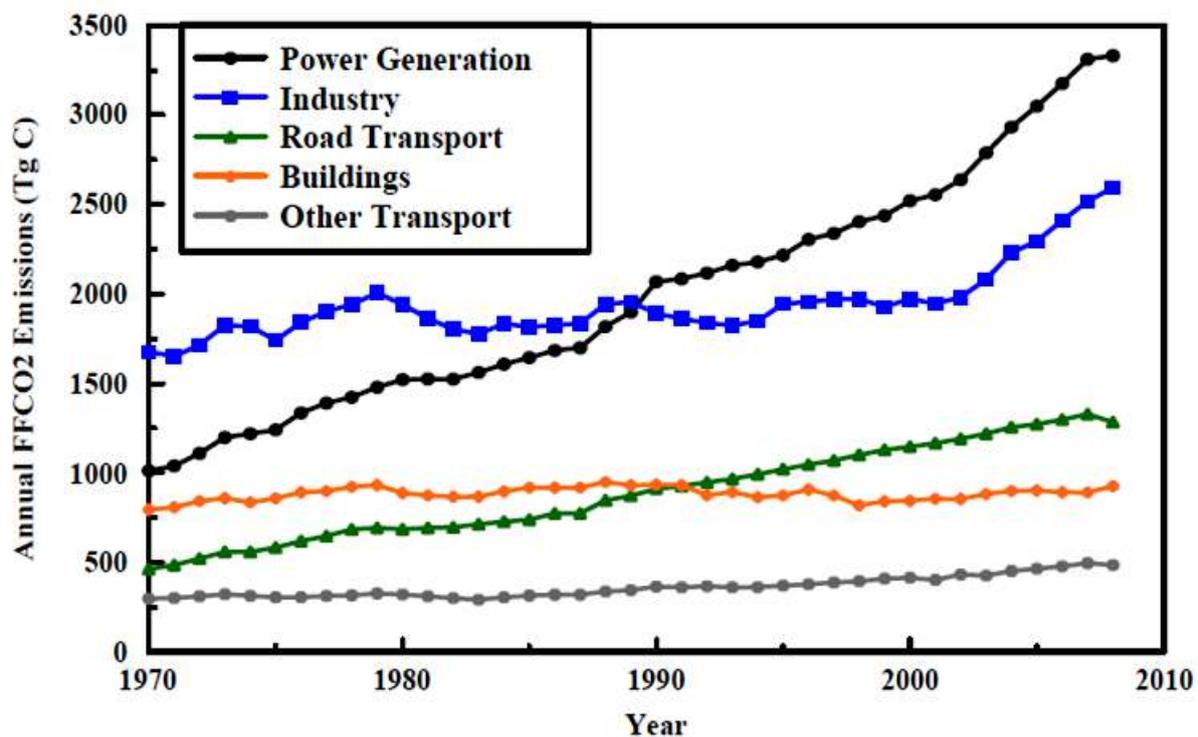


Figure 9: l'évolution des émissions de FFCO<sub>2</sub> par différents secteurs[11]

La figure 9 montre l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> due à la combustion des combustibles par différents secteurs, ou la production d'énergie et l'industrie dominent la masse totale des émissions.

les émissions de CO<sub>2</sub> qui provient de la combustion des combustibles présente 90% des émissions totale en 2011, ou la consommation mondiale de pétrole a augmenté de 2,9% ; 2,2% pour le gaz naturel, et 5,4% pour le charbon. la part de lion dans ces émissions est attribué a la chine, Etats unis, Inde, Japon[7].

## IV- Impact sur l'environnement

Les émissions des gaz à effet de serre (GES) et en particulier de CO<sub>2</sub> ont fortement augmenté au cours des récentes décennies, Ces gaz absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, sont jugés responsables des perturbations climatiques. Les observations atmosphériques montrent que la température moyenne de notre planète ne cesse d'augmenter, alors que les experts concluent que l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre a conduit à un « forçage radiatif » du climat qui tend à :

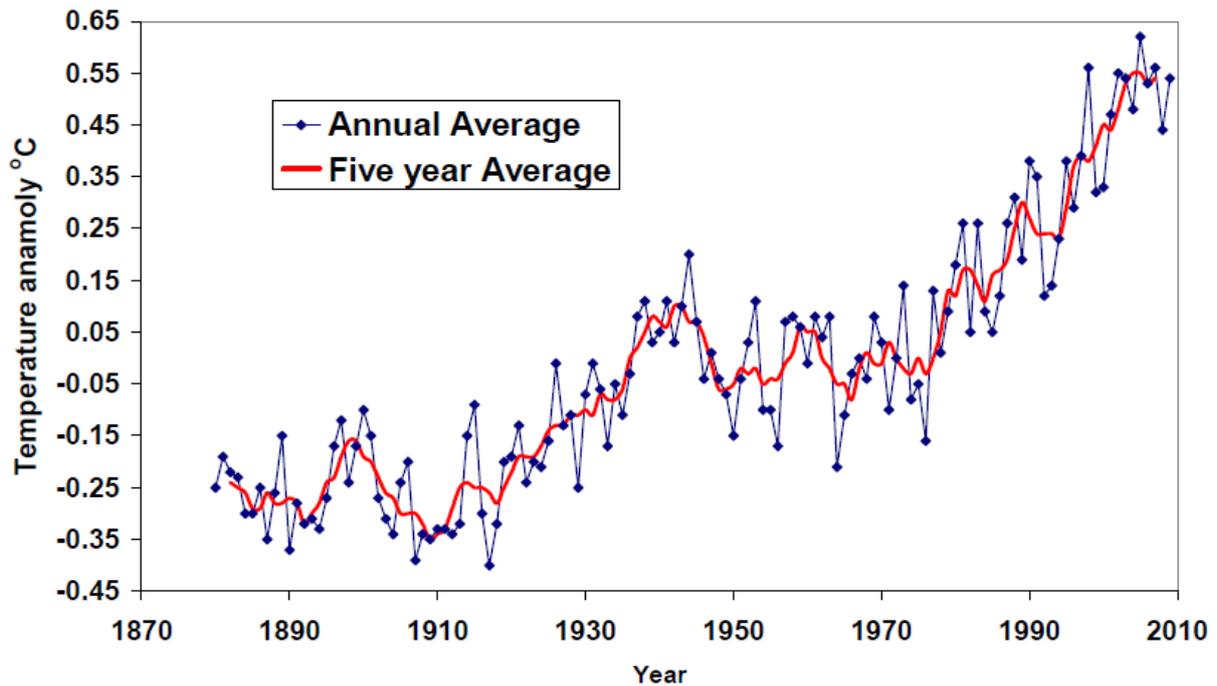


Figure 10:Température moyenne du globe [12]

- l'élévation de la température moyenne de la surface de la Terre, particulièrement depuis 1910 (+1°C),
- la montée du niveau moyen des océans (16 cm en 100 ans),
- la diminution de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord (-9 %, soit -3 millions de km<sup>2</sup> entre 1950 et 2000)[13].

les effets anthropiques sur l'environnement ont commencé il y'a des milliers d'années avec la domestication des cultures et du bétails dans des régions dispersées, malgré que ces émissions préindustrielle était beaucoup plus petites que celle au cours de l'ère industriel (1850)[14].

### IV-1 changements climatiques

Selon le GIEC, *le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler 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. Et selon la CCNUCC, 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*[15].

Les émissions de GES ont une grande relation avec les changements climatiques, et cette relation s'explique dans le phénomène physique naturel de l'effet de serre, Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère terrestre une partie sera partiellement absorbé par les GES pour maintenir la température moyenne de l'air environ 30°C plus élevée (+15°C au lieu de -16°C). L'évolution des émissions GES anthropiques a sensiblement modifié la concertation moyenne des GES naturel, et cette modification de ce paramètre a causé la dérégulation de plusieurs paramètres climatiques expliquant la définition des changements climatiques.

### **IV-3 conséquences naturelles**

Un réchauffement climatique de 1.8 à 2 °c entre 1990 et 2050 pourrait conduire à la suppression d'un quart des espèces vivantes en 2050.[9] La communauté scientifique reconnaît la nécessité de lutter contre cette problématique, et ils prévoient d'après leurs analyses que certains événements extrêmes vont devenir plus fréquents et plus intenses (pluies extrêmes, canicules et sécheresses) e les vagues de froid vont devenir plus rares. La montée des niveaux des eaux dans les états insulaires (Bangladesh), ou des millions de personnes pourraient devoir être déplacées. Sans oublier les systèmes uniques en leurs genres et leurs vulnérabilité face a ces changements (glaciers, récifs de corail et atolls, mangrove, forêts boréales et tropicales, écosystèmes polaires et alpins, zones humides et la prairie et herbages aborigènes résiduels) [9] ou il y'a des espèces vivent le plus grand risque d'extinction.

### **IV-4 conséquences sociales et économiques**

Les dérèglements de nombreux systèmes qui causes des phénomènes climatiques extrêmes (vagues de chaleurs, inondations, tempêtes et sécheresses) ont provoqué des hausses sensibles de la mortalité, et ces impacts seront les plus forts dans les pays a faibles revenue, moins capable de prendre les mesures d'adaptation nécessaires.

Plusieurs études sur les conséquences de changement climatiques sont menés par des économistes et non pas par des climatologues, et cela prouve l'importance des couts monétaires dans le développement de l'économie et la protection de l'environnement. D'après leurs études, l'évaluation globale des couts annuels potentiels des changements climatiques environ 5.500 milliard d'euros,[9] Pour arriver a ce chiffre les spécialistes évaluent les dommages sur la biodiversité et les écosystèmes et les pertes humaines causé par les changements climatiques par un prix basé sur des questions méthodologique, éthiques, et philosophiques. Ce type d'analyse a objectif d'identifier les couts et les bénéfices potentiels, parce que avec un léger changement vers un réchauffement sert à bénéficier l'agriculture des pays qui connaissent un climat froid aujourd'hui.

En fin le message principal délivré par les spécialistes est que le cout totale de l'action pour contrer les dérèglements climatiques et stabilisé les émissions de GES en dessous de 550 ppm est de 5 à 20 fois moins important que le cout de l'inaction[9].

## **V- Réaction de la communauté internationale**

Autant la prise de conscience du phénomène a été lente, autant l'action collective internationale, celle envisagée dans la Convention cadre sur le changement climatique (CCNUCC-1992) et le Protocole de Kyoto (PK-1997), s'est mise en place dans des délais courts. Cette promptitude est assez remarquable si l'on prend en compte les extraordinaires difficultés d'une négociation planétaire sur un sujet neuf, les incontournables problèmes d'information, de communication, d'analyse qu'il a fallu résoudre, et les conflits d'intérêts qu'il a fallu surmonter pour en arriver là.

### **V-1 CCNUCC :**

Le 9 mai 1992, les gouvernements du monde entier ont adopté la CCNUCC. Le Monde prenait ainsi conscience d'un des problèmes environnementaux les plus urgents auxquels doit faire face le genre humain. Quelque 186 pays, y compris l'Union européenne, sont Parties à la Convention[16].

L'objectif ultime de la Convention est de « stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. » Définir ce que l'on entend par dangereux est une grande question politique et suppose non seulement des considérations sociales et économiques, mais aussi un jugement scientifique[16].

### **V-2 Protocole de Kyoto:**

Le premier instrument juridique suivi par le CCNUCC signé par 38 pays industrialisés en décembre 1997, contient des conditions à respecter, et des solutions proposées, pour réduire les émissions de six GES.

Dans la ratification du protocole, il ya un gros problème d'intérêt, ou un pays développé comme l'Amérique pensent que le protocole n'est pas efficace pour lutter contre l'effet de serre, parce que la moitié des émissions sont générées par les pays en développement, et ils pensent que le protocole présente un danger pour leurs économies nationales et internationales, parce que les industries à forte intensité énergétique dans les pays développés seront confrontées à des contraintes sur leurs émissions contrairement à leurs concurrents dans les pays en développement, alors leurs coûts économiques seront élevés pour conformer aux objectifs d'émissions. L'Union européenne dans la 9<sup>ème</sup> conférence à Delhi en octobre 2002 a indiqué qu'il s'attendait à ce que les pays en développement s'engagent dans un débat sur la façon dont leurs émissions pourraient être contrôlées dans l'avenir. La réaction des pays en développement a été forte négative et ils ont été contre de discuter leurs futurs engagements jusqu'à ce que les pays développés prennent l'action. Avec cette problématique l'administration du protocole de Kyoto a décidé de discuter les intérêts des pays en développement figurant une place plus importante aux plus grands émetteurs des pays en développement (la Chine, l'Inde, le Brésil, les pays exportateurs de gaz et pétrole), et les pays (oasis) vulnérables aux risques d'élévation du niveau de la mer[17], et l'objectif principal à court terme a été de minimiser les coûts économiques pour les pays développés.

### V-2-1 Mécanismes de flexibilité de Protocol de Kyoto:

Afin d'honorer leurs engagement de réduction des émissions de GES, les pays industrialisés doivent mettre en œuvre des mesures domestiques, s'ils n'y arrivent pas, le protocole de Kyoto a prévu trois mécanismes de flexibilité pour les aidés a réalisé leurs engagements a moindre cout[18] :

- Les **permis d'émission** qui autorisent la vente et/ou le rachat des droits à émettre des gaz à effet de serre entre les pays industrialisés.
- Des **applications conjointes** qui donnent aux pays industrialisés la possibilité d'investir hors de leur territoire pour réduire les émissions à effet de serre et d'obtenir ainsi des permis d'émission.
- Le **développement propre**, qui est similaire au système précédent, excepté que les investissements doivent être effectués dans un pays émergent, autrement dit un pays absent de l'annexe I de la convention-cadre des Nations Unies.

### V-3 Post Kyoto

En guise de rappel, la 17ème Conférence des Parties de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements Climatiques qui s'est tenue en 2011 à Durban en Afrique du Sud, s'est achevée sur une grande décision sur la nécessité pour tous les pays de prendre des dispositions urgentes pour faire face à la menace grave, souvent violente et potentiellement irréversible du phénomène de changement climatique. Cette reconnaissance s'est concrétisée par le lancement d'un processus de préparation d'un accord pour le post 2020 qui inclurait tous les pays et aurait force légale[19].

Tableau 2 : Objectifs de réduction d'émissions de GES pour 2020 définis en application de l'accord de Copenhague

Pays	Objectifs de réduction
Australie	– 5 % à – 15 % ou – 25 % (par rapport à 2000)
Biélorussie	– 5 % à – 10 % (par rapport à 1990)
Canada	– 17 % (par rapport à 2005)
Croatie	– 5 % (par rapport à 1990)
États-Unis	– 17 % (par rapport à 2005)
Japon	– 25 % (par rapport à 1990)
Islande	– 30 % (par rapport à 1990)
Kazakhstan	– 15 % (par rapport à 1992)
Liechtenstein	– 20 % à – 30 % (par rapport à 1990)
Monaco	– 30 % (par rapport à 1990)
Nouvelle-Zélande	– 10 % à – 20 % (par rapport à 1990)
Norvège	– 30 % à – 40 % (par rapport à 1990)
Russie	– 15 % à – 25 % (par rapport à 1990)
Suisse	– 20 % à – 30 % (par rapport à 1990)
Ukraine	– 20 % (par rapport à 1990)
Union européenne	– 20 % à – 30 % (par rapport à 1990)

Doha a accueilli du 26 novembre au 7 décembre 2012, la 18ème Conférence des parties (COP18) de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) et la 8ème Conférence à la réunion des Parties au Protocole de Kyoto (CRP-8). La Conférence a attiré environ 9000 participants, dont 4356 personnalités gouvernementales, 3956 représentants d'organes et institutions des Nations Unies, d'organisations intergouvernementales et d'organisations de la société civile, et 683 membres des médias[19].

Les pays industrialisés (annexe I) affichent des objectifs chiffrés qui s'établissent entre 5 et 30 %, présentés dans le tableau 2, tandis que les pays émergents ou en voie de développement (annexe II) présentent des actions concrètes de réduction de leurs émissions.

#### **V-4 Négociations internationales :**

A la sortie de deux semaines de négociations, la majorité des délégations n'affichaient pas réellement de sourire. La société civile non plus. Pourtant, si l'on en croit un récent rapport scientifique commandité par la Banque Mondiale, si rien n'est fait, le climat moyen mondial pourrait augmenter de près de 4°C à la fin de ce siècle. A la sortie de deux semaines de négociations, la majorité des délégations n'affichaient pas réellement de sourire. La société civile non plus. Pourtant, si l'on en croit un récent rapport scientifique commandité par la Banque Mondiale, si rien n'est fait, le climat moyen mondial pourrait augmenter de près de 4°C à la fin de ce siècle[19].

Un des résultats majeurs de la Conférence de Doha, est la reconduite pour 8 ans ((2012- 2020) du Protocole de Kyoto (PK). Un nouveau régime climatique sera négocié pour l'après 2020. Le PK, représente à ce jour le seul mécanisme juridiquement contraignant pour les pays émetteurs de gaz à effet de Serre et arrivait en effet à terme le 31 décembre 2012. Il s'agit toutefois d'un succès mitigé car beaucoup reproche au PK ses insuffisances en matière d'atténuation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et de financement de l'adaptation dans les pays les plus touchés, notamment en Afrique. Le groupe dit parapluie (umbrella group) entraîné par les Etats-Unis, notamment n'a pas fait les concessions attendues. Pour les pays africains, les résultats de Doha semblent insuffisants pour parvenir à l'objectif acté à la conférence de Copenhague, de maintenir le réchauffement planétaire sous la barre de 2°C[19].

En outre, cette seconde phase du PK n'engagera que quelques pays dont ceux de l'Union Européenne, l'Australie, l'Islande, la Norvège et la Suisse qui ne contribuent qu'à environ 15 pour cent des émissions de gaz à Effet de Serre). Plusieurs pays gros pollueurs se retirent du PK à savoir la Nouvelle-Zélande et de la Russie qui suivent le Canada vers la porte de sortie et renforcent ainsi les rangs des grands émetteurs « boudeurs » de Kyoto, à l'image des Etats-Unis, signataires du Protocole, mais qui ne l'ont jamais ratifié[19].

## VI- Techniques de réduction de CO<sub>2</sub>

Le CO<sub>2</sub> est le produit direct de la combustion des composés carbonés qui produit des résidus de combustion avec un fort dégagement d'énergie. Ces carburants sont de nature variée, le bois, le charbon et des hydrocarbures gazeux et liquides, qui présentent des sources d'énergie fossiles et non renouvelables. Nous avons des ressources en pétrole pour 50 ans, en gaz pour 200 et en charbon pour cinq siècles, alors qu'à l'heure actuelle il ya de sources concentrées et fixes responsables de 100 000 tonnes des émissions de CO<sub>2</sub> par an, comme les centrale électrique thermique et les gisements de pétrole ou de gaz, ou on a la capacité de capté le CO<sub>2</sub> avant qu'il soit rejeter dans l'atmosphère et diminuer l'impact sur l'environnement [20].

Les stratégies de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sont plusieurs (maitrise de la consommation énergétique, développement des énergies renouvelables, renforcement des puits naturels de CO<sub>2</sub>, dissémination du nucléaire.....) mais leurs mise en œuvre reste ni massive, ni rapide. Alors que pendant la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> et ses conséquences, aujourd'hui le captage et stockage géologique du CO<sub>2</sub> est une solution prometteuse, en offrant des réductions massives et immédiates de ces émissions, ainsi que cette filière nous autorise à continuer d'utiliser les combustibles fossiles dans l'intervalle de temps nécessaire au développement de nouvelles formes d'énergie.

Le CSC nécessite des installations industrielles et des infrastructures importantes et couteuses, elle est donc de préférence applicable à proximité des grandes sources fixes d'émissions de CO<sub>2</sub> comme les centrales électriques pour des raisons essentiellement économiques et techniques.

### VI-1 Capture et stockage du dioxyde de carbone

*La capture et le stockage (CSC) du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est un processus consistant à séparer le CO<sub>2</sub> de ses sources industrielles et énergétiques, à le transporter dans un lieu de stockage et à l'isoler de l'atmosphère sur le long terme.* [21] Dans le présent rapport, nous considérons le CSC comme une option parmi les mesures d'atténuation visant à stabiliser la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Figure 11 présentes les déférentes sources de CO<sub>2</sub> (centrale électrique .....), et les déférents combustibles. Le CO<sub>2</sub> est piégé par déférentes techniques de séparations et transporter soit pour la valorisation dans des procédés industriels (fixations dans des carbonates inorganiques) soit pour le stockage géologique ou océanique. Pour le stockage géologique de CO<sub>2</sub> après capture, il ya trois projets qui sont en cours : le projet Norvégien Sleipner, le projet Weyburn au Canada et le projet Algérien d'In Salah. Alors que les quantités stockées de CO<sub>2</sub> dans chaque cas sont de l'ordre de 1 à 2 MtCO<sub>2</sub> par an[21].

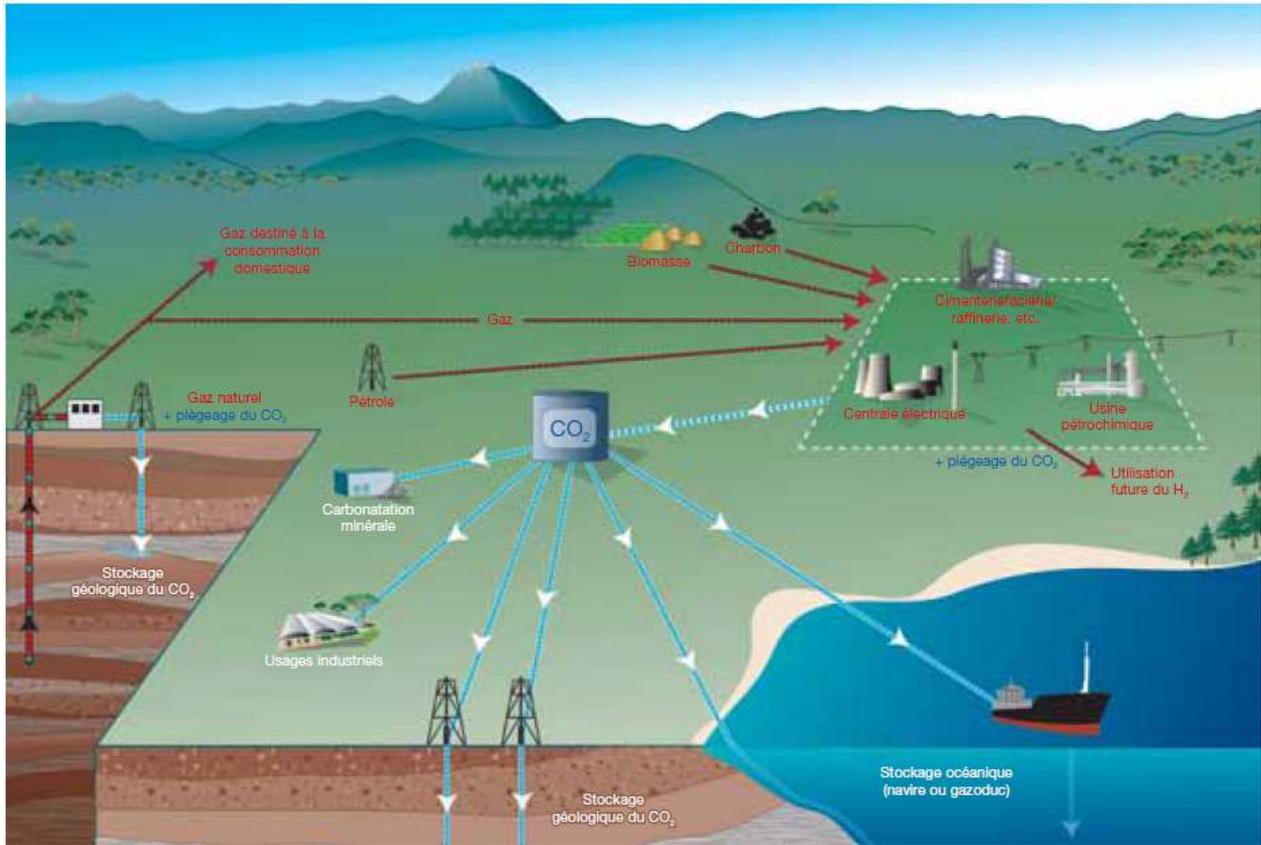


Figure 11 : Schéma des installations éventuelles de CSC[21].

## VI-2 Les principaux maillons de la chaîne CSC

### VI-2-1 Captage

Avant d'être transporté vers des sites de stockage géologique, le CO<sub>2</sub> doit être capté et respecter certains spécifications de pureté. Les procédés de captures de CO<sub>2</sub> diffèrent dans le but de séparer le CO<sub>2</sub> des fumées de combustion, le type de procédé utilisé dépend de type de combustible utilisé et la taille de l'installation et le procédé de production, et la composition des fumées de combustion. C'est pour ça il ya plusieurs types de piégeage comme indiqué sur la figure 12.

1- le captage en postcombustion consiste à capter le CO<sub>2</sub> directement dans les fumées en sortie de l'installation de combustion ou industrielle.

2- le captage en oxycombustion consiste à faire une combustion soit à l'oxygène, soit à l'aide d'une masse oxyde. Les fumées ainsi produites contiennent essentiellement du CO<sub>2</sub> et de l'eau et sont pratiquement pauvre en azote.

3- le captage en précombustion consiste à transformer le combustible initial (pétrole, gaz, charbon, biomasse) en un mélange H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>, et après extraction du CO<sub>2</sub> à brûler l'hydrogène dans une installation thermique adaptée. Dans ce cas, l'installation thermique ne rejette que de l'eau à l'atmosphère.

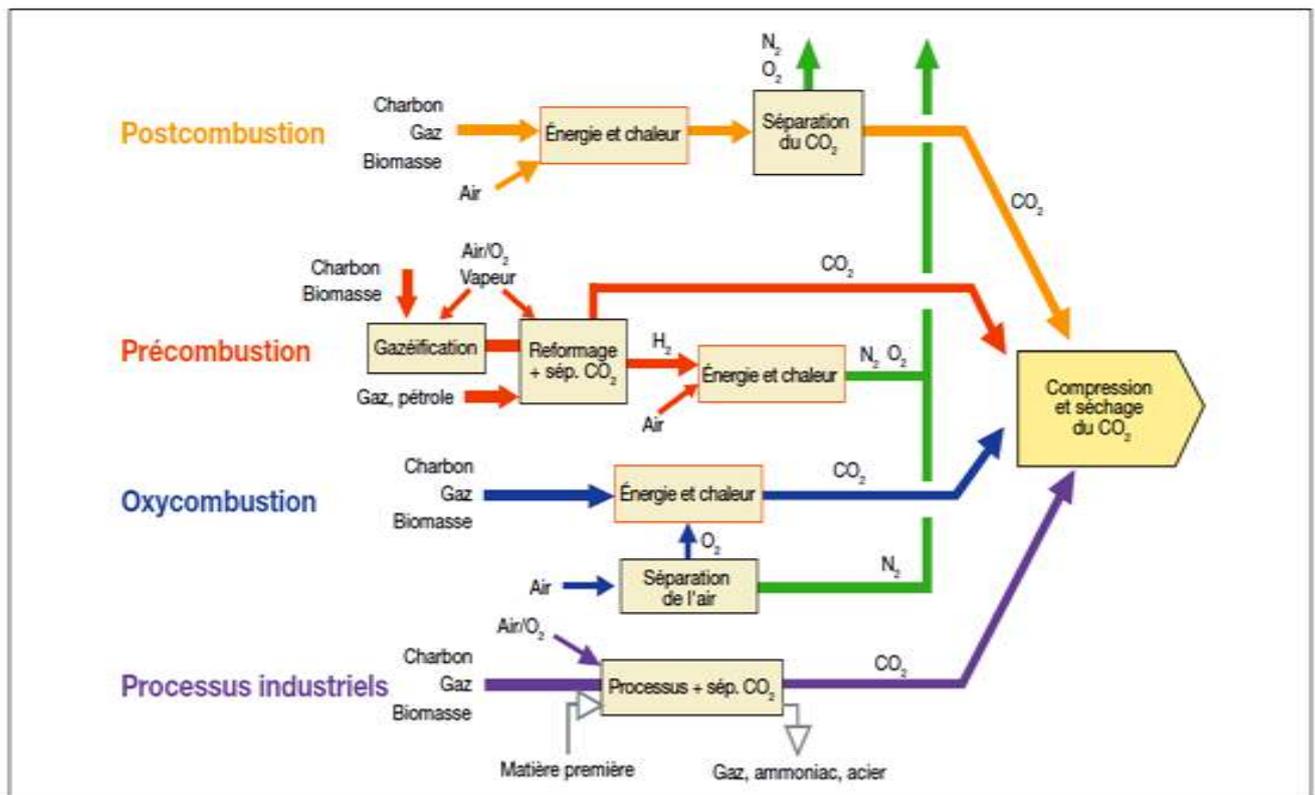


Figure 12: les systèmes de piégeage de CO<sub>2</sub>[21].

### VI-2-2 Transport

Le CO<sub>2</sub> est souvent transporté par gazoduc, sous forme gazeuse avec des pressions supérieure a 8 Mpa afin d'éviter un écoulement diphasique et d'accroître la densité. Alors que le CO<sub>2</sub> est très corrosif quand il est chargé d'humidité, ce qui exigerait un alliage résistant à la corrosion. Tandis qu'il possible de transporter le CO<sub>2</sub> avec des camions-citernes ou des wagons-citernes a une température de -20 °C et pression de 2 Mpa. Le choix de transport lié a plusieurs facteurs (économique, débit de flux, distance .....)[21].

### VI-2-3 Stockage

le CO<sub>2</sub> doit être injecter au-delà de 800 m de profondeur afin d'atteindre les conditions de température et de pression , il faut s'assurer de la présence, au dessus de la roche-réservoir, d'une couche écran imperméable composé d'argiles ou de sel empêchant toute remontée de CO<sub>2</sub> vers la surface.

Trois types de formations géologiques, dans lesquelles peut être emprisonné le CO<sub>2</sub>, sont présentés dans la figure 13:

- les aquifères profonds
- les gisements de pétrole ou de gaz épuisés ou en phase de déclin,
- le stockage dans des veines de charbon inexploitées.

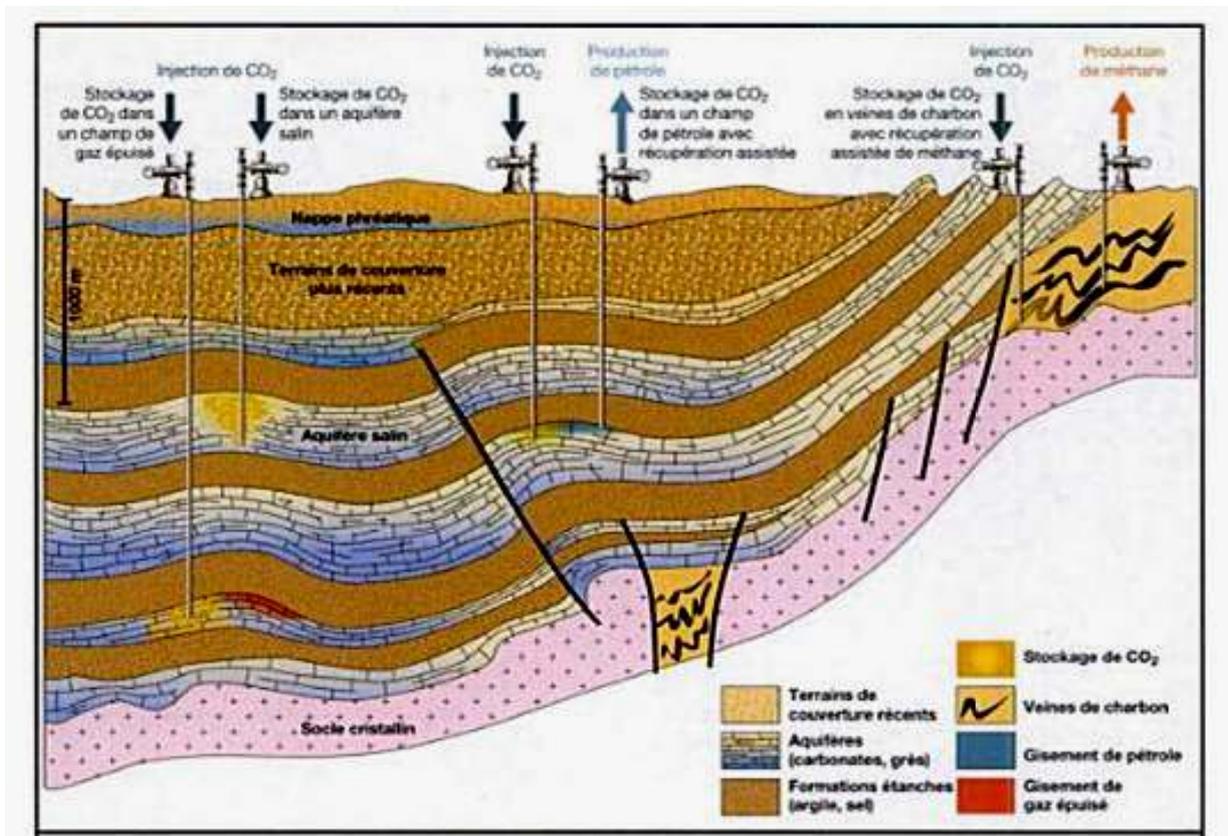


Figure 13: les différents types de stockages

### VI-3 Expérience Algérienne de CSC à In-Salah

Le projet In Salah en Algérie, qui est un projet de traitement de gaz, a commencé l'injection de CO<sub>2</sub> en 2004. Plus de 3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> ont été stockés dans un aquifère salin profond (plus de 2 km sous la terre) jusqu'à présent. Le gaz naturel extrait sur le site contient un petit pourcentage de CO<sub>2</sub>, ce CO<sub>2</sub> devait être séparé du flux de gaz pour assurer des normes de pureté pour les vendre. Les deux partenaires initiaux du projet, BP et Sonatrach, a décidé d'investir 100 millions de dollars pour stocker le CO<sub>2</sub> géologique, apportant ainsi une contribution précieuse à la démonstration de la CSC et de son contrôle, de mesure et vérification et régulation[22].



Figure 14: Le site de CSC à In-Salah

## VI-4 Absorption de CO<sub>2</sub>

L'absorption consiste à mettre en contact un mélange de gaz et un liquide afin de solubiliser préférentiellement un composé[23]. Le système d'absorption est constitué d'un absorbeur et désorbeur :

un absorbeur ou contacteur qui présente une colonne d'absorption à plateaux ou à garnissages, les plateaux permettent de diviser le gaz en petites bulles dans un flux ascendant vertical, garnissages permettent de diviser le flux de liquide en films fins à travers le gaz circulant à contre courant.[23]Le CO<sub>2</sub> présent dans le gaz est sélectivement retenu par le solvant (injecté en tête d'absorbeur), le solvant chargé en CO<sub>2</sub> (solvant riche) est récupéré en fond d'absorbeur, le gaz décarbonaté sortant en tête.

un désorbeur (stripper) pour recycler ou régénérer le solvant, dans lequel le CO<sub>2</sub> est extrait du solvant riche en modifiant les conditions de pression et de température, alors que le solvant régénéré (pauvre) est recyclé vers l'absorbeur, et le CO<sub>2</sub> (soluté) sortant en tête de désorbeur.

## VI-5 Types d'absorption

### VI-5-1 Absorption par solvants chimiques

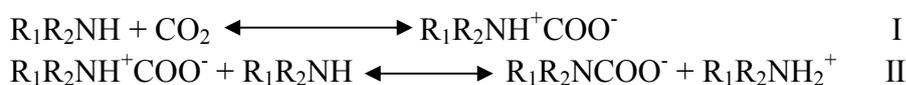
Les alcanolamines sont les plus utilisés dans les procédés d'absorption de gaz acide, avec une réaction chimique acido-basique pour capter le CO<sub>2</sub>. La structure moléculaire des alcanolamines contient au moins un groupement hydroxyle (-OH), qui augmente la solubilité dans l'eau et diminue la pression de vapeur de la solution aqueuse, et un groupement amine (-N) qui fournit l'alcalinité nécessaire en solution aqueuse pour assurer l'absorption des gaz acides[23].

Les amines les plus utilisées sont : La MonoEthanolAmine MEA et la DiGlycolAmine DGA, amines primaires, la DiEthanol-Amine DEA, amine secondaire, la MéthylDiEthanolAmine MDEA, amine tertiaire, et Les amines à encombrement stérique, telles que la 2-Amino-2-Méthyl-1-Propanol .[23] Alors que la cinétique d'absorption est améliorée par le remplacement de quelques pourcents d'amines tertiaires ou d'amines à encombrement stérique par une amine primaire ou secondaire, la capacité d'absorption peut diminuer ou augmenter selon le taux de charge.

Les divers propriétés et les divers amines et mélanges d'amines sont l'objet de nombreux travaux de recherche pour améliorer l'efficacité de captage de CO<sub>2</sub> et réduire le coût de régénération.

### Mécanismes réactionnels

La réaction d'une amine primaire (R<sub>1</sub>NH<sub>2</sub>) ou secondaire (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>NH) avec le CO<sub>2</sub> forme rapidement en présence de H<sub>2</sub>O un Zwitterion (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>NH<sup>+</sup>COO<sup>-</sup>, la réaction I), suivi d'une déprotonation instantanée par une base (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>NH) ou une molécule d'eau pour produire un ion carbamate stable (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>NCOO<sup>-</sup>, la réaction II) et une base protonée (R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>NH<sub>2</sub><sup>+</sup>).



La réaction globale :



La réaction IV permet l'hydrolyse du carbamate et libère du bicarbonate ( $HCO_3^-$ ). Cette réaction est lente.



En ce qui concerne le caractère stérique des amines à encombrement stérique, permet de réduire la stabilité du carbamate formé, et subir une hydrolyse pour former le bicarbonate (la réaction IV) et pendant ce temps libère des molécules d'amines libres pour réagir avec le  $CO_2$  et augmenter la capacité d'absorption dans le système[24].

Les amines tertiaires ne forment pas de carbamate en raison de l'absence d'une liaison N, ils agissent comme des bases, ce qui contribue à la formation de bicarbonate. L'avantage des amines tertiaires est que l'équilibre est facilement renversé dans le désorbeur[25].

#### VI-5-2 Absorption par solvants physiques

Les solvants physiques séparent le  $CO_2$  des autres constituants gazeux par différence de solubilisation. Le  $CO_2$  plus soluble, se retrouve sous forme moléculaire dans le solvant. Le premier solvant physique historique est l'eau, mais les gaz acides ont une trop faible solubilité dans l'eau pour que ce solvant puisse être efficace. Le méthanol ( $CH_3OH$ ) et le Carbonate de propylène ( $C_4H_6O_3$ ) sont les plus anciens solvants commercialisés.

Les solvants physiques sont généralement utilisés pour les fortes pressions partielles. En pratique, les procédés utilisant des solvants physiques ne sont utilisés que pour des pressions partielles en  $CO_2$  supérieures à 1,4 Mpa, et des débits considérables seraient nécessaire pour atteindre des taux d'éliminations de  $CO_2$  inférieur à 90%, par exemple le débit de solvant dans un procédé de méthanol serait 10 fois plus élevé qu'un procédé de MEA. Alors que leurs intérêt réside dans le fait que la régénération du solvant peut se réaliser par un simple abaissement de la pression.

Les procédés de solvants physiques sont bien adaptés à la précombustion pour le traitement de gaz de synthèse, mais ne sont pas considérés actuellement comme une solution attractive pour le captage de  $CO_2$  en précombustion[23, 26, 27].

#### VI-5-3 Absorption par solvants hybrides

Les solvants dits « hybrides » utilisés pour l'absorption des gaz acides sont constitués de mélanges de solvant chimique et de solvant physique. L'utilisation de ces mélanges permet de combiner leurs avantages, la composition chimique donne une bonne capacité d'absorption, et la composition physique permet de réduire l'énergie de régénération. Ces mélanges peuvent être des solutions aqueuses d'alcanolamines dans lesquels l'eau est remplacée en partie ou complètement par un solvant physique. En titre d'exemple : Le mélange sulfolane (22 %) et MDEA (50 %) en solution aqueuse (Sulfinol-M®), utilisé pour une récupération sélective d' $H_2S$  sur  $CO_2$ .

Dans le traitement de gaz naturel de synthèse ce procédé peut conserver les deux avantages chimique et physique, mais dans le cadre de capture de  $CO_2$  en poste combustion,

la régénération des solvants hybrides est moins facile, elle nécessite une quantité de chaleur plus élevée du fait de la présence du solvant chimique[23] et [27].

### VI-6 Séparation du CO<sub>2</sub> par absorption chimique

L'extraction de CO<sub>2</sub> en postcombustion abouti à plusieurs technologies sont : l'absorption par solvant, l'adsorption sur solides, la séparation par membranes ou la cryogénie.

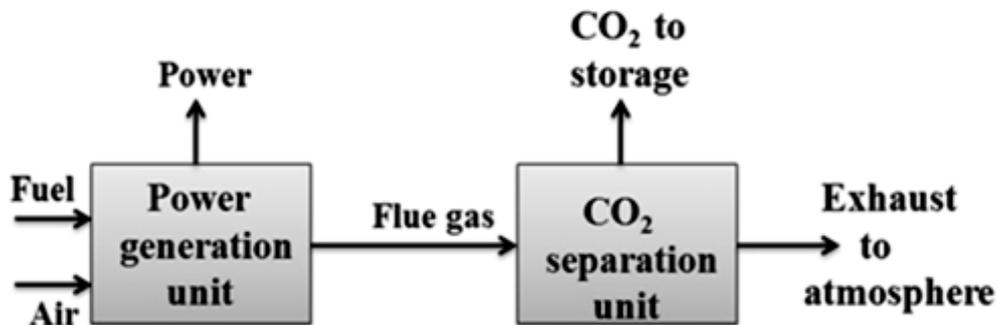


Figure 15 : Principe de capture du CO<sub>2</sub> en postcombustion.

Dans ce travail on s'intéresse à la séparation de CO<sub>2</sub> à postcombustion par absorption gaz-liquide, avec une perspective de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère. Ce procédé capte le CO<sub>2</sub> après la combustion dans l'air, le CO<sub>2</sub> sera absorbé spécifiquement avec un solvant organique, dans notre cas le solvant est une solution aqueuse d'amine.

Le captage en postcombustion placé en aval des procédés de production des fumées issus d'industrie diverses (centrale électrique, cimenterie ou sidérurgie), cet emplacement peut être mise en œuvre sur des installations déjà en opération, alors que cette option est un avantage par rapport aux autres types de captage. L'extraction du CO<sub>2</sub> présent dans les fumées des gaz industriels est déjà pratiquée depuis plusieurs décennies dans plusieurs activités telles que le traitement du gaz naturel ou la production de l'ammoniac.

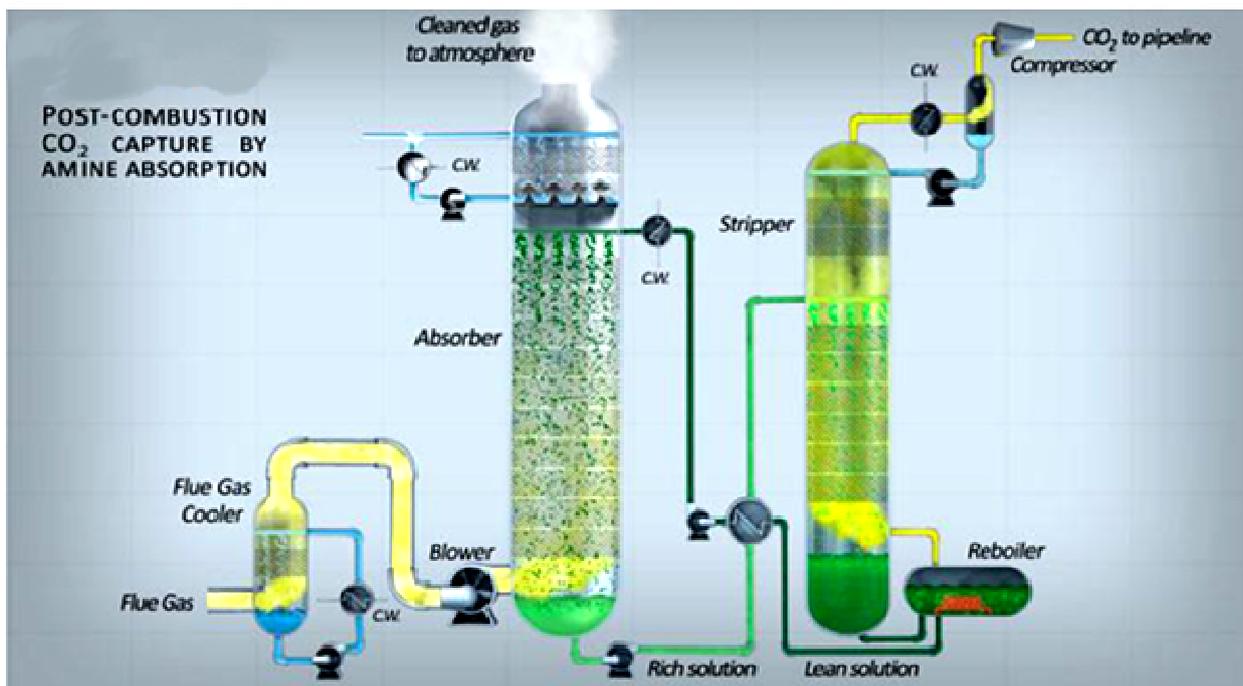


Figure 16: Système de capture de CO<sub>2</sub> par amine en postcombustion

### VI-6-1 Théorie de double films

Cette théorie suggérée par Whitman (1924) considère que la résistance au transfert de masse est localisée dans deux films minces situés de part et d'autre de l'interface et, qu'à l'intérieur de chacun d'eux, le phénomène est régi par la diffusion moléculaire en régime permanent. A l'extérieur des films, la turbulence est telle que les concentrations ou pressions partielles sont uniformes. Ces films sont constitués principalement par les sous-couches limites laminaires pariétales des écoulements des deux phases. Les gradients de concentrations étant prépondérants dans les films laminaires, c'est donc dans ces films que va se situer la majeure partie de la résistance au transfert. Dans cette théorie on admet que l'interface proprement dite ne présente pas de résistance au transfert et que l'équilibre thermodynamique entre les deux phases y est atteint et obéit aux mêmes relations à l'équilibre que les deux phases dans leur ensemble[28].

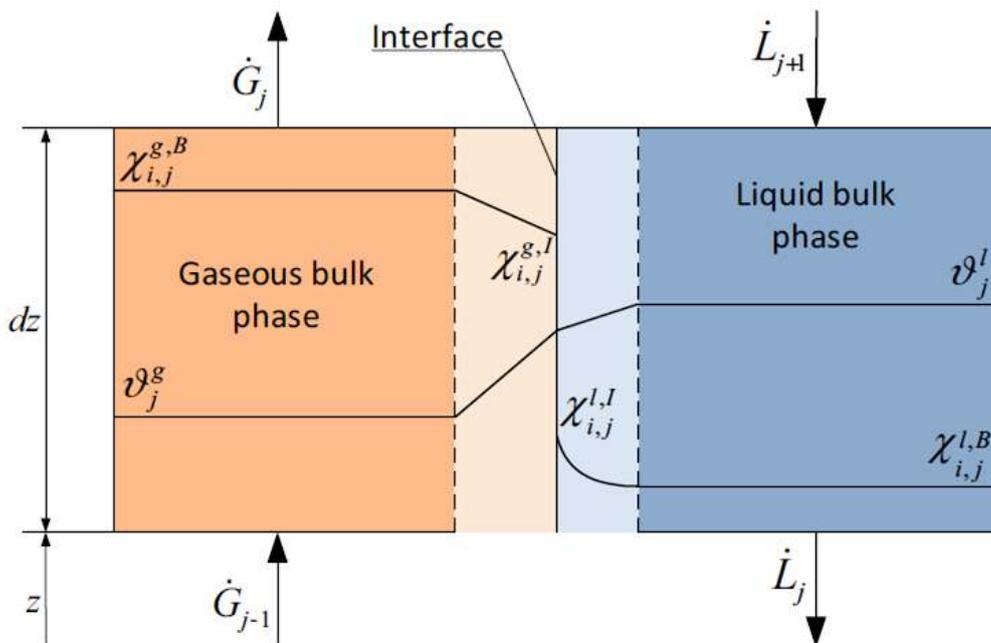


Figure 17 : Modèle du double film dans le cas d'une absorption avec une réaction chimique[29].

Si le gaz dissous G est consommé, pendant sa diffusion dans le film liquide, par une réaction avec un composé L, le profil de concentration de G dans le film est modifié, le gradient devenant plus élevé à l'interface (figure 17), ce qui augmente le flux en phase liquide, celui-ci est multiplié par un facteur E appelé facteur d'accélération.

### VI-6-2 Amines

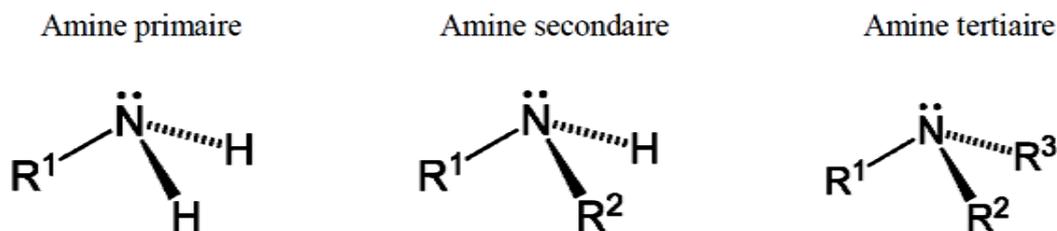
Plusieurs types d'amines sont utilisés dans l'absorption de  $\text{CO}_2$ , des amines primaires, secondaires, tertiaires et même des mélanges, et chaque amine a ces avantages et inconvénients. Amines primaires sont très réactives avec le  $\text{CO}_2$ , mais elles gardent cette

propriété même avec les impuretés des fumées ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_2$ ), elles sont corrosives et sensibles à la dégradation, et nécessitent une énergie importante pour la régénération. Les amines secondaires et tertiaires sont moins sensibles à la dégradation et nécessitent moins d'énergie pour la régénération, mais elles sont faiblement réactives dans les fumées qui ont une faible pression partielle en  $\text{CO}_2$ , et elles nécessitent des colonnes d'absorption 5 à 6 fois plus hautes qu'avec une amine primaire[27].

Avec l'utilisation d'un solvant chimique, il y a deux caractéristiques principales à prendre en compte :

- La cinétique de la réaction d'absorption du  $\text{CO}_2$  : les amines primaires sont plus réactives que les amines secondaires, elles-mêmes plus réactives que les amines tertiaires. La vitesse d'absorption du  $\text{CO}_2$  influera sur le dimensionnement de la colonne d'absorption et donc sur le coût d'investissement du procédé de captage.

- La solubilité du  $\text{CO}_2$  dans le solvant : une amine réactive avec le  $\text{CO}_2$  permettra d'avoir une très bonne solubilité du  $\text{CO}_2$  mais sera plus difficilement régénérable. Choisir une amine plus facilement régénérable est tentant mais cela se fait au détriment de la vitesse de réaction et de la solubilité du  $\text{CO}_2$ . La taille de l'installation sera donc plus importante et donc plus coûteuse[26].



Avec  $\text{R}^1$ ,  $\text{R}^2$ ,  $\text{R}^3$  chaînes carbonées.

Figure 18 : Types d'amines

### VI-6-3 Sélection du liquide absorbant

À l'échelle industrielle le coût du procédé joue le principal rôle dans la politique de protection de l'environnement, bien comprendre le procédé est la première démarche pour une optimisation efficace menant à un prix moindre et durable. La réaction du  $\text{CO}_2$  avec les solvants chimiques est basée sur une réaction réversible, la régénération du solvant est réalisée par un apport de chaleur pour séparer le  $\text{CO}_2$  de cette solution absorbante formant ainsi un processus cyclique d'absorption-désorption.

Les qualités requises pour les solvants chimiques sont : [13]

- par définition, une importante sélectivité vis-à-vis du  $\text{CO}_2$ ,
- un faible coût de régénération,
- une grande capacité d'absorption,
- une stabilité chimique élevée,
- un faible impact sur l'environnement,
- un faible coût de production,
- une cinétique rapide,
- une résistance à la corrosion[30].

## VII- Partie expérimentale

Le procédé d'absorption met en jeu plusieurs paramètres à savoir les concentrations du  $\text{CO}_2$ , de MEA, la température et la pression. Pour pouvoir étudier l'influence de tous ces paramètres, il est nécessaire d'effectuer un grand nombre d'expériences.

L'étude consiste à faire varier la concentration du MEA, tout en fixant le débit de gaz entrant ( $\text{CO}_2$ ) à 3.2 L/min sous une température ambiante. Notre objectif dans ce chapitre est d'étudier le chargement de  $\text{CO}_2$  dans la solution d'amine.

### VII-1 Description du montage expérimental

La solution d'absorption est préparé par la dilution de MEA ( $d=1.02$ ) avec de l'eau ultra pure dans un volume totale de 100 ml pour obtenir une concentration de 15%, et en refait l'opération mais avec une concentration de 30%.

Un gaz de  $\text{CO}_2$  provenant d'une bouteille de 5L sous une pression de 4 bar de pression été injecté dans la solution situé dans un ballon de 500 ml a deux cols a l'aide d'un tube capillaire. Le débit de gaz été réglé a 3.2 L/min ( $\pm 0.2$ ) a l'aide d'un débit mètre a gaz équipé d'un flotteur inoxydable de marque (BioBlock).

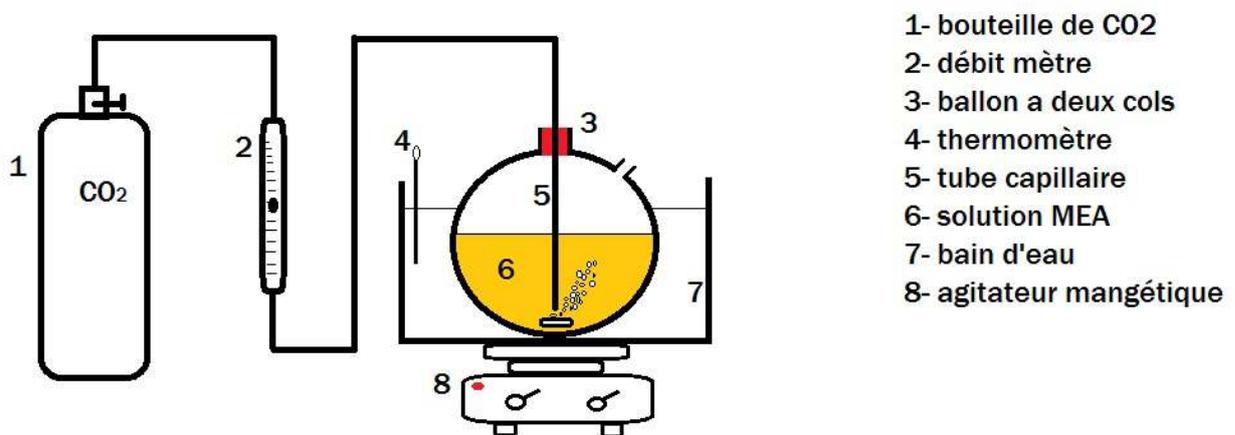


Figure 19 : Montage expérimental

Le ballon est plongé dans un bain d'eau pour obtenir une température ambiante (296 K). Un col du ballon reste ouvert pour éviter une forte pression à l'intérieur du ballon. L'expérience dure 20 min et pendant ce temps la répartition uniforme de gaz dans la solution amine été garanti a l'aide d'un agitateur a barreau magnétique de marque (Stuart).

Les prélèvements des échantillons au cours du temps de l'expérience se font à l'aide d'une seringue introduite au fond du ballon a travers le col ouvert.



Figure 20 : Photo réelle du montage

### VII-2 Méthode d'analyse de la MEA

Les concentrations de  $\text{CO}_2$  absorbés dans les échantillons sont déterminées par la soustraction des quantités de carbone total (CT) mesurés avant et après l'absorption du  $\text{CO}_2$  à l'aide de l'analyseur de COT.



Figure 21 : Analyseur COT

Le principe de cet appareil est la combustion du volume injecté (100-500  $\mu\text{l}$ ) sous un courant d'oxygène ultra pure sur un catalyseur de platine porté a  $680^{\circ}\text{C}$ . Le dioxyde de carbone formé quantifié dans une cellule infrarouge.

Pour déterminer la concentration en carbone inorganique IC de l'échantillon, une nouvelle injection est nécessaire, la solution sera introduite dans un vase contenant de l'acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), à une température ambiante de  $25^{\circ}\text{C}$  les bicarbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  se transforment en dioxyde de carbone a la façon suivante : la présence d'ion  $\text{H}^+$  le radical carbonate devient instable et se brise, cette instabilité permette a l'acide de les reconnaître au milieu des composés organiques et inorganiques. Le  $\text{CO}_2$  formés est quantifiés dans une cellule infrarouge.

Note :  $\text{COT} = \text{CT} - \text{IC}$

On a utilisé le CT parce que on est intéresser a calculer la quantité de  $\text{CO}_2$  introduite dans la solution amine avec les deux réactions, carbamatation et hydrolysatation.

### VII-3 Essai

Dans notre 1ere expérience on a utilisé de l'eau distillé, et les 13 prélèvements été effectuer dans plusieurs expériences avec plusieurs solutions mères. Cette fausse démarche a conduit a des résultats très perturbés difficile a interpréter, sans savoir on a contrarié la loi de la cinétique d'une réaction qui nécessite que tous les prélèvements soit dans la même expérience avec une seul solution mère. Et pour améliorer les résultats on a utilisé l'eau pure fournée par laboratoire de l'école national polytechnique d'Alger, parce que des études antérieures indiquent que l'augmentation de la viscosité dans la phase liquide et la présence des électrolytes pourrait avoir certain influence sur le chargement de  $\text{CO}_2$  par une diminution.

## VII-4 Résultats

Tableau 3 : Valeurs expérimentales et théoriques de la première expérience.

Ech	t (s)	CT <sub>a</sub>	Δ CT <sub>a</sub> (g/L)	Na (mol/L)	Taux de chargement TC <sub>a</sub> (mol CO <sub>2</sub> /mol MEA)
0	0	13,60	0,00	0	0
1	20	14,87	1,27	0,028857078	0,129602229
2	40	14,95	1,35	0,030674847	0,137766149
3	60	15,35	1,75	0,03976369	0,178585749
4	80	16,30	2,70	0,061349693	0,275532299
5	120	16,22	2,62	0,059531925	0,267368379
6	150	16,78	3,18	0,072256305	0,324515819
7	180	16,93	3,33	0,075664622	0,339823169
8	240	17,09	3,49	0,079300159	0,356151008
9	300	17,15	3,55	0,080663486	0,362273948
10	360	17,16	3,56	0,080890707	0,363294438
11	600	17,16	3,56	0,080890707	0,363294438
12	720	17,16	3,56	0,080890707	0,363294438
13	1200	17,16	3,56	0,080890707	0,363294438

Calcul :  $M_{CO_2} = 44,01 \text{ g/mol}$  ;  $M_{MEA} = 61,08 \text{ g/mol}$

$$\Delta CT_a = CT_a - CT_{a0} \quad N_a = \Delta CT_a / M_{CO_2}$$

$$N_{a0} = CT_{a0} / M_{MEA} \quad TC_a = N_a / N_{a0}$$

a-  $C_{MEA} = 15\%$ ,  $Q = 3.2 \text{ L/min}$ ,  $T_{moy} = 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$

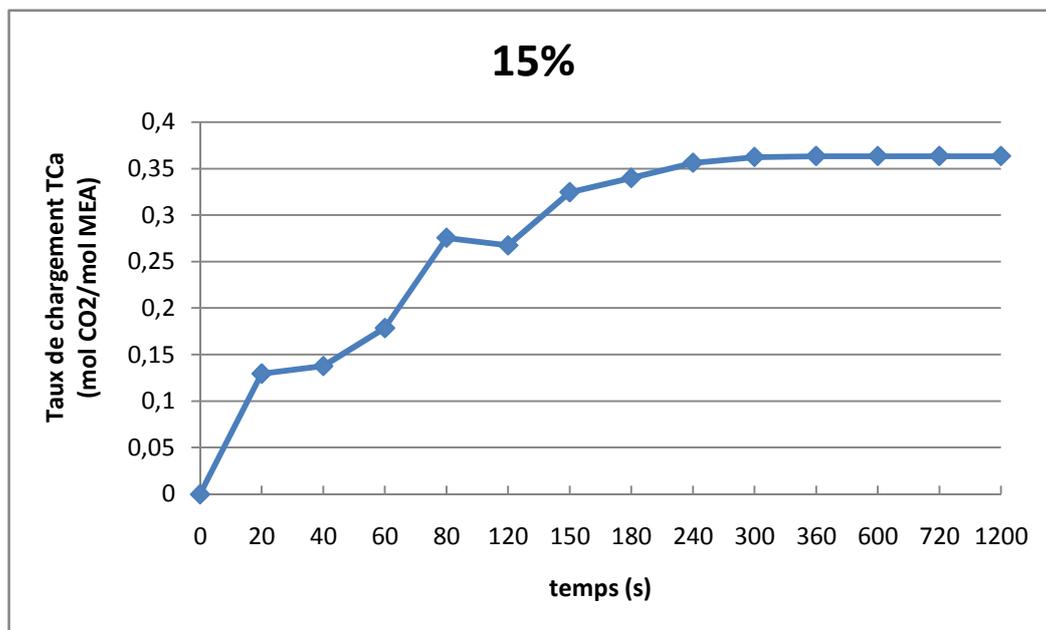


Figure 22: Evolution du chargement de CO<sub>2</sub> en fonction du temps pour la première expérience.

Tableau 4 : Valeurs expérimentales et théoriques de la deuxième expérience.

Ech	t (s)	CT b	$\Delta CT_a$ (g/L)	Nb (mol/L)	Taux de chargement TCb (mol CO2/mol MEA)
0	0	25,02	0,00	0	0
1	20	26,30	1,27	0,029084299	0,071001958
2	40	27,01	1,35	0,045216996	0,110385856
3	60	27,65	1,75	0,059759146	0,145886835
4	80	28,00	2,70	0,067711884	0,165301433
5	120	28,05	2,62	0,068847989	0,168074947
6	150	28,30	3,18	0,074528516	0,181942517
7	180	28,42	3,33	0,077255169	0,18859895
8	240	28,51	3,49	0,079300159	0,193591276
9	300	28,54	3,55	0,079981822	0,195255384
10	360	28,57	3,56	0,080663486	0,196919492
11	600	28,54	3,56	0,079981822	0,195255384
12	720	28,61	3,56	0,08157237	0,199138304
13	1200	28,58	3,56	0,080890707	0,197474195

Calcul :  $M_{CO_2} = 44,01 \text{ g/mol}$  ;  $M_{MEA} = 61,08 \text{ g/mol}$

$$\Delta CT_b = CT_b - CT_{b0} \quad N_b = \Delta CT_b / M_{CO_2}$$

$$N_{b0} = CT_{b0} / M_{MEA} \quad TC_b = N_b / N_{b0}$$

b-  $C_{MEA} = 30\%$ ,  $Q = 3.2 \text{ L/min}$ ,  $T_{moy} = 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$

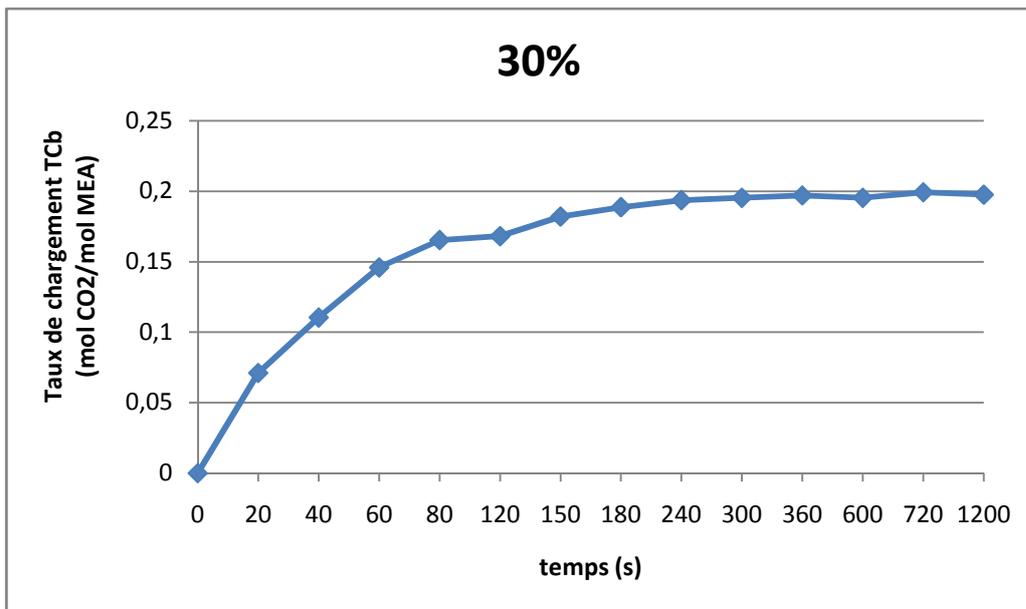


Figure 23: Evolution du chargement de CO<sub>2</sub> en fonction du temps pour la deuxième expérience.

Ech	t (s)	T (°C)
0	0	26
1	20	26
2	40	26
3	60	28
4	80	28
5	120	30
6	150	31
7	180	31
8	240	31
9	300	31
10	360	31
11	600	31
12	720	31
13	1200	31

Tableau 5 : Valeurs de variations de la température dans les deux expériences.

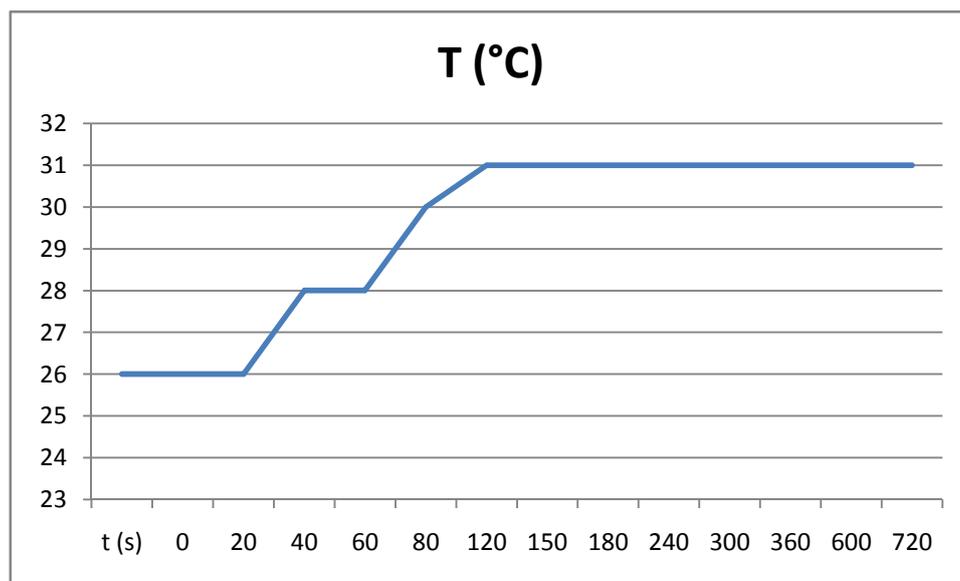


Figure 23: Evolution de la température en fonction du temps.

## VII-5 Interprétation des résultats

La formation de carbamate augmente la vitesse de la réaction chimique entre le CO<sub>2</sub> et le MEA, une réaction de 1<sup>er</sup> ordre qui commence dans l'interface et se produit dans la phase réactionnel, mais généralement limite le chargement à 0.5 mole CO<sub>2</sub>/ mole MEA, Dans notre étude la capacité d'absorption est limitée à 0.36 mole CO<sub>2</sub>/ mole MEA ( $C_{\text{amine}} = 15\%$ ) à cause de notre basse pression et petite surface de contact, parce que avec une grande pression le carbamate peut se hydrolyser pour augmenter le chargement.

Le débit de gaz 3.2 L/min, injecté dans le tube capillaire en verre avec un seul orifice, implique la formation des bulles, et cette dernière a produit une augmentation de turbulence à proximité de l'interface gaz liquide et donc augmente le taux de transfert.

Une forte concentration d'amine (30%) entraîne une diminution de chargement de CO<sub>2</sub>, ce comportement est attribué à différentes causes :

- 1) La forte concentration entraîne une augmentation de la viscosité de la phase liquide qui engendre une diminution des coefficients de diffusion, et ce dernier influence d'une manière négative sur le processus de transfert de la matière c'est pour ça la charge de CO<sub>2</sub> reste constante.
- 2) Les processus d'agrégation entre le grand nombre des molécules d'amines à créer un inconvénient dans l'accès des molécules de CO<sub>2</sub> dans le groupement amine pour produire la réaction.

Le profil de la température au cours de fonctionnement  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , change respectivement 26°C, 28°C, 30°C, 31°C, avec une valeur ajoutée de 5°C, ce qui signifie qu'une réaction d'absorption exothermique est produite qui a dégagé une quantité de chaleur dans le bain d'eau.

## VIII- Conclusion

La capture de CO<sub>2</sub> par absorption chimique est plus compliquée, avec plusieurs paramètres variantes difficile à manipuler tous dans une mémoire de master. Notre solution d'amine primaire MEA avec la concentration de 15% a prouvé une capacité d'absorption satisfaisante (0.36) par rapport à notre modeste montage. Pour augmenter la capacité d'absorption on propose comme perspective l'ajout d'une amine secondaire qui joue un rôle activateur près de la surface gaz-liquide, les deux amines absorbent le CO<sub>2</sub> en produisant le carbamate qui pénètre dans la solution. Et le carbamate peut réagir avec l'excès de molécules d'amine secondaire régénérant le MEA à l'interface liquide pour réagir avec une autre molécule CO<sub>2</sub>, le cycle se répète engendrant l'augmentation de la capacité.

Les principales caractéristiques de l'amine qui tend à être utilisée comme absorbeur de gaz acide est sa régénération avec une faible température et une forte pression, c'est pour la capacité d'absorption n'est pas nécessairement le plus important caractère entre les différents amines parce que l'énergie consommée dans leur régénération augmente dans le même sens que leur capacité de chargement.

La menace du réchauffement planétaire et le changement climatique constitue une nouvelle force motrice pour améliorer les technologies de séparation du CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> séparé peut être utilisé pour la récupération assistée du pétrole et du gaz ou stocké géologiquement, éliminant ainsi son rejet dans l'atmosphère. Captage et stockage de CO<sub>2</sub> est la seule option qui permet d'énormes investissements dans les infrastructures de combustible fossile et en même temps aboutir à une réduction importante des émissions de CO<sub>2</sub>.

## Sigles et abréviations

CT : carbone total

CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone

CH<sub>4</sub> : méthane

N<sub>2</sub>O : protoxyde d'azote

HFC : Hydrofluorocarbure

PFC : Perfluorocarbure

SF<sub>6</sub> : hexafluorure de soufre

PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

GES : Gaz Effet de Serre

Gt : Gigatonnes

CO<sub>2</sub>eq : CO<sub>2</sub> équivalent

MDP : Mécanisme de Développement Propre

FFCO<sub>2</sub> : CO<sub>2</sub> de Fire Fuel

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

ppm : partie par million

CSC : Capture et stockage du dioxyde de carbone

Mt : Mégatonne

Mpa : Mega Pascal

m : mètre

MEA : MonoEthanolAmine

DGA : DiGlycolAmine

DEA : DiEthanol-Amine

MDEA : MéthylDiEthanolAmine MDEA

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : bicarbonate

$\text{CH}_3\text{OH}$  : méthanol

$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$  : carbonate de propylène

$\text{H}_2\text{S}$  : sulfure d'hydrogène

$\text{O}_2$  : dioxygène

COT : Carbone Organique Total

Tg C : Tégragrammes de carbone est égale à  $10^{12}$  grammes de carbone.

NAFTEC : une filiale de Sonatrach spécialisée dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien.

PK : Protocole de Kyoto

OPEP : Organisation des pays exportateurs de pétrole

ETS : Emissions Trading System

ATS : aviation trading system

OMM : organisation météorologique mondiale

PNUE : programme des nations unies pour l'environnement.

s : second

t : temps

$C_a$  : concentration de la première solution mère.

$C_b$  : concentration de la deuxième solution mère.

$CT_a$  : carbone total des prélèvements de la première solution.

$CT_b$  : carbone total des prélèvements de la deuxième solution.

$M_{\text{CO}_2}$  : masse molaire de  $\text{CO}_2$

$M_{\text{MEA}}$  : masse molaire de l'amine

$N_a$  : concentration molaire de  $\text{CO}_2$  absorbé dans la première solution.

$N_b$  : concentration molaire de  $\text{CO}_2$  absorbé dans la deuxième solution.

T : température

$N_{a0}$  : concentration molaire de MEA avant l'absorption dans la première solution.

$N_{b0}$  : concentration molaire de MEA avant l'absorption dans la deuxième solution.

$TC_a$  : Taux de chargement de CO2 dans la première solution.

$TC_b$  : Taux de chargement de CO2 dans la deuxième solution.

## Références bibliographiques:

1. MATE, seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC. 2010: Alger.
2. Bank, W., Turn Down the Heat: Why a 4° Warmer World must be Avoided. 2012, International Bank for Reconstruction and Development Washington, DC.
3. Nataly Echevarria Huaman, R. and T. Xiu Jun, Energy related CO<sub>2</sub> emissions and the progress on CCS projects: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. p. 368-385.
4. Gassmann, F., Effet de serre, modèles et réalités : réflexions d'un physicien sur l'évolution du climat trad. de l'allemand Tatiana Fankhauser, ed. Genève : Georg 1996.
5. Guesnerie, R., et al., Kyoto et l'économie de l'effet de serre. 2003: Documentation française.
6. Houghton, J.T., et al., Climate change 2001: the scientific basis. Vol. 881. 2001, Cambridge University Press Cambridge.
7. Olivier, J.G., J.A. Peters, and G. Janssens-Maenhout, Trends in global CO<sub>2</sub> emissions 2012 report. 2012: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
8. Pulles, T., The Kyoto Protocol reporting and review process. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, 2012. p. 1-4.
9. Brohé, A., Les marchés de quotas de CO<sub>2</sub>. *Cahiers financiers*. 2008: Larcier. 128.
10. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion 2012 International Energy Agency. p. 51.
11. Andres, R.J., et al., A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion. *Biogeosciences*, 2012.
12. Kothandaraman, A., Carbon dioxide capture by chemical absorption: a solvent comparison study. 2010, Massachusetts Institute of Technology.
13. Coulier, Y., Etude thermodynamique de solutions aqueuses d'amines démixantes pour le captage du dioxyde de carbone. 2011, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
14. Ruddiman, W.F., Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2013.
15. Pachauri, R.K. and A. Reisinger, Bilan 2007 des changements climatiques. 2008, OMM, PNUE. p. 114.
16. Maldague, M., Note de synthèse sur la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). 2005: J.-M. Tremblay.
17. Jotzo, F., Developing countries and the future of the Kyoto Protocol. *Global Change, Peace & Security*, 2005. p. 77-86.
18. LEBAZ, M.A.C.N., Simulation de l'évaluation et du captage du CO<sub>2</sub> émis par la cimenterie de Meftah, in Département de Génie Chimique. 2011, Ecole Nationale Polytechnique: Alger. p. 105.
19. CILSS, Conférence des Parties (COP 18) de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. 2012: Doha, Qatar.
20. Ha-Duong, M. and N. Chaabane, Captage et stockage du CO<sub>2</sub>. 2010: Editions Quae.
21. Metz, B., et al., Piégeage et stockage du dioxyde de carbone, Rapport spécial du GIEC (IPCC), résumé à l'intention des décideurs et résumé technique. *International Panel on Climate Change*, 2005.
22. Global, C., Institute, 2012. The global status of CCS, 2012.
23. Descamps, C., Etude de la capture du CO<sub>2</sub> par absorption physique dans les systèmes de production d'électricité basés sur la gazéification du charbon intégrée à un cycle combiné. 2004, École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
24. Yu, C.-H., C.-H. Huang, and C.-S. Tan, A Review of CO<sub>2</sub> Capture by Absorption and Adsorption. *Aerosol Air Qual. Res.*, 2012. p. 745-769.
25. Kwak, N.-S., et al., A study of the CO<sub>2</sub> capture pilot plant by amine absorption. *Energy*, 2012. p. 41-46.
26. Amann, J.-M., Etude de procédés de captage du CO<sub>2</sub> dans les centrales thermiques. 2007, École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
27. Lecomte, F., P. Broutin, and E. Lebas, Le captage du CO<sub>2</sub>: Des technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. 2009: Editions Technip.

28. AMEL, A.A.L.L., Simulation de l'évaluation et du captage du CO<sub>2</sub> émis par une cimenterie d'Alger, mémoire de magister. Ecole National Polytechnique. 2010.
29. Posch, S. and M. Haider, Dynamic modeling of CO<sub>2</sub> absorption from coal-fired power plants into an aqueous monoethanolamine solution. Chemical Engineering Research and Design, 2012(0).
30. Koller, E., Aide-mémoire de génie chimique, 1er édition. 2001, Dunod.