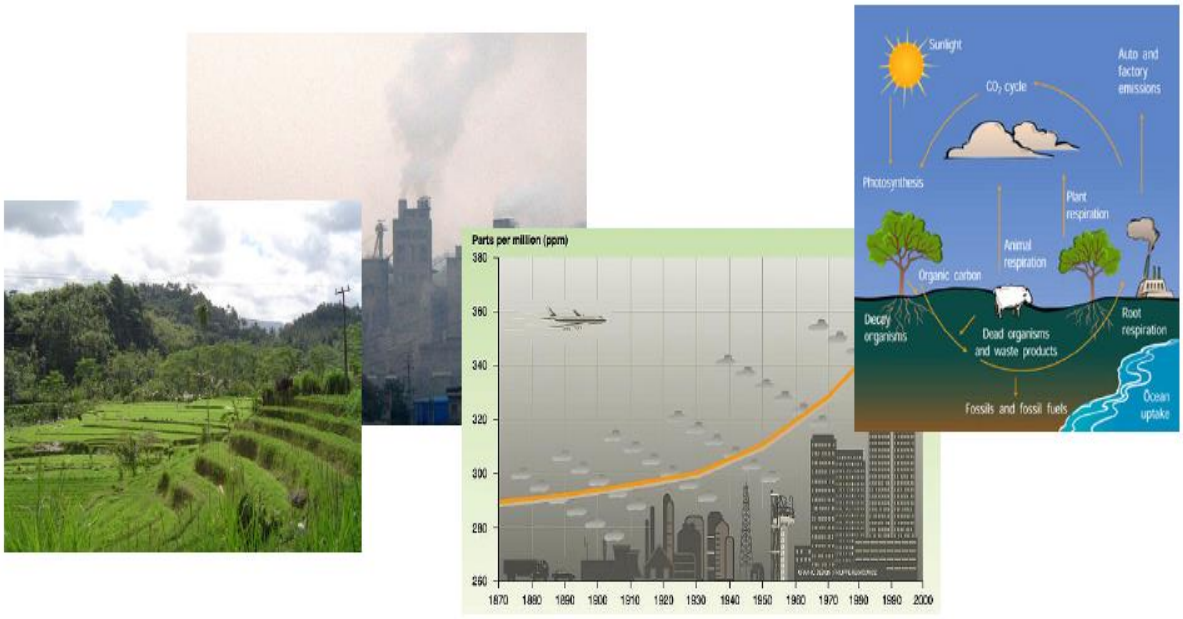
Organisation of Islamic Cooperation
Statistical, Economic and Social Research and Training Centre for Islamic Countries (SESRIC)

# Séminaire de formation en ligne sur les `` Indicateurs de l'ODD 13 (Action pour le climat)

*Modules pour auto-apprentissage*

## *Module 4 : Les caractéristiques physiologiques du changement climatique*




Préparé par :
Pierre Sohkadjie Songo
Honorine Nguimfack
De l'Institut National de la Statistique du Cameroun

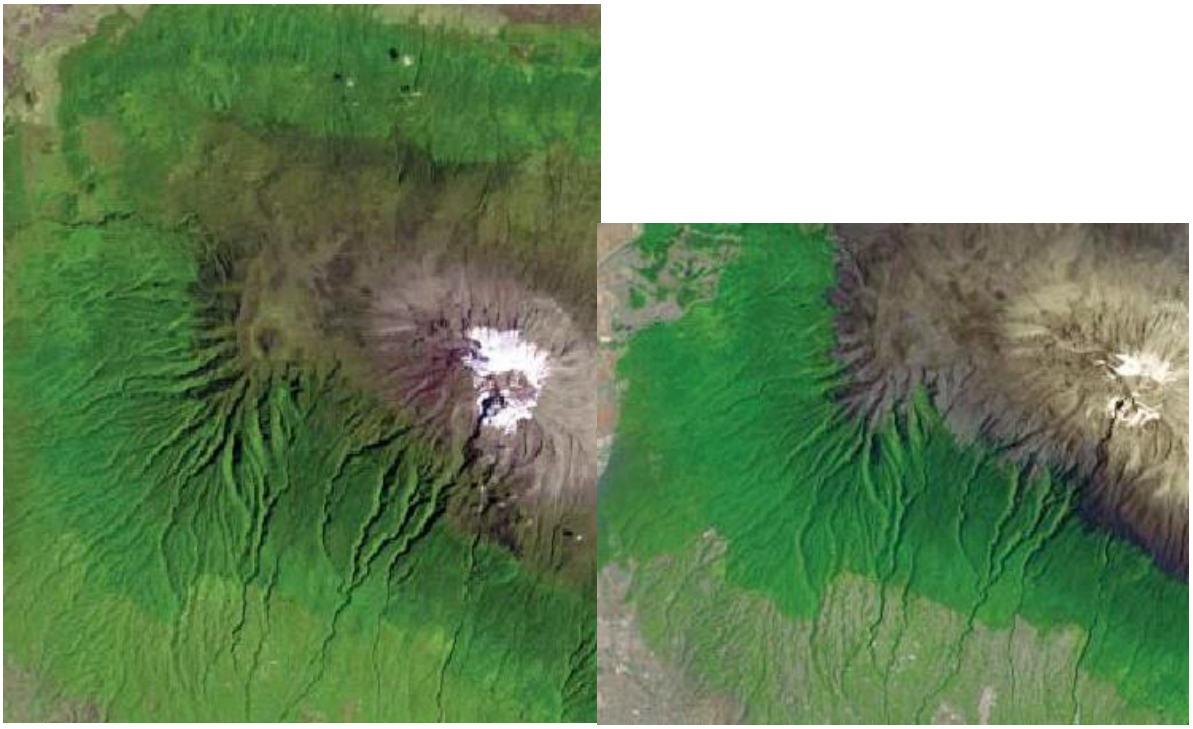
Mai 2021

# TABLE DES MATIERES


1. LES CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ..... 3
2. LES OBJECTIFS DE L'APPRENTISSAGE ET VOTRE PLAN DE TRAVAIL POUR CE MODULE..... 8
3. LE CLIMAT DE LA TERRE..... 9
4. LES GAZ À EFFET DE SERRE LES PLUS IMPORTANTS.....13
5. LES GAZ À EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHERE .....16
6. LE CYCLE DU CARBONE.....19
7. LA SEQUESTRATION, LES RESERVOIRS DE CO2, LES PUITS DE CO2 ET LE BILAN DU CARBONE ..23
8. LE ROLE DES FORETS DANS LE CYCLE DU CARBONE .....25
9. LES EMISSIONS DES GES ET LES OPTIONS D'ATTENUATION.....27

## 1. LES CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'accroissement du "gaz à effet de serre" - dû aux émissions induites principalement par l'homme – est responsable de changements climatiques. La montée en température résulte d'un nombre croissant d'événements météorologiques extrêmes et les changements du climat à l'échelle régionale font leur apparition de plus en plus rapide. Les glaciers et la neige ont commencé à disparaître, non seulement dans les Alpes en Europe ou en Argentine, mais aussi sur le mont Kilimandjaro. Les côtes africaines sont plus souvent touchées par de violentes tempêtes comme on l'observe dans les îles de Maurice et de Madagascar. Les inondations, telles qu'elles sont vécues récemment au Mozambique, sont devenues plus fréquentes.



***Rétrécissement de la couverture de neige au Mont Kilimandjaro en 1976 (à gauche) et 2000 (à droite). (Neige = blanc, forêt = vert) (Source: UNEP, Selected Satellite Images of Our Changing Environment, 2003)***

L'industrie, les transports et les individus, en particulier dans l'hémisphère nord, sont les principaux auteurs. Bien que sa contribution à ce phénomène planétaire soit encore limitée (les gaz à effet de serre sur le continent africain sont principalement produits par la République d'Afrique du Sud et les Etats de l'Afrique du Nord), l'Afrique est plus durement touchée par les impacts du changement climatique. Par exemple, les scientifiques ne reconnaissent que les effets tels que la sécheresse et les inondations vont augmenter d'une manière significative dans un avenir proche. Déjà en 2020, l'on prévoyait que la calotte glaciaire du Kilimandjaro devait disparaître pour la première fois en 11.000 ans.

Les modèles climatiques se sont avérés être des outils extrêmement importants pour la simulation et la compréhension du climat. Ils sont des représentations mathématiques du système climatique, exprimés sous forme de codes informatiques et ils sont exécutés sur des ordinateurs puissants. Au cours de plusieurs décennies de développement technique, les

modèles n'ont cessé d'apporter une image solide et sans ambiguïté du réchauffement climatique significatif dû à l'augmentation des gaz à effet de serre.

On attend des modèles climatiques qu'ils fournissent des estimations quantitatives crédibles des changements climatiques futurs, en particulier à des échelles continentales et au-dessus. On est presque certain qu'ils seront en mesure de fournir des estimations quantitatives crédibles des changements climatiques futurs, en particulier à des échelles plus grandes.

- Une source de confiance dans ces modèles vient du fait que leurs fondements sont basés sur des lois physiques établis, comme la conservation de la masse, de l'énergie et de l'élan, avec une richesse d'observations. Des méthodes statistiques basées spécialement sur l'analyse quantitative ont été développées pour la détection et l'attribution du changement climatique et pour produire des projections probabilistes des paramètres climatiques futurs.
- Une deuxième source de confiance vient de la capacité des modèles à simuler des aspects importants du climat actuel. Les modèles sont systématiquement et largement évalués en comparant leurs simulations avec les observations de l'atmosphère, de l'océan, de la cryosphère et de la surface terrestre.
- Une troisième source de confiance vient de la capacité des modèles à reproduire les caractéristiques des climats passés et les changements climatiques. Des modèles ont été utilisés pour simuler les climats anciens, tels que la chaleur à mi-Holocène de 6000 ans ou le dernier maximum glaciaire de 21.000 ans. De nombreuses fonctionnalités (permettant des incertitudes dans la reconstruction des climats passés) peuvent se reproduire à grande échelle comme le refroidissement océanique au cours de la dernière ère glaciaire. On attend avec confiance des modèles climatiques qu'ils fournissent des estimations quantitatives crédibles quant au changement climatique futur, en particulier à l'échelle continentale et au-dessus.

Mais il est évident que les modèles climatiques ont des limites encore importantes. La confiance dans les estimations du modèle est plus élevée pour certaines variables climatiques (par exemple: la température) que pour les autres (par exemple: les précipitations). Une autre source des limitations sont les limites de la représentation des nuages, qui conduisent à des incertitudes dans l'ampleur et le calendrier, ainsi que des détails régionaux du changement climatique prévu.
Pour faire face à cette incertitude, la direction d'incertitude prévue pour le quatrième rapport d'évaluation s'appuie, pour la première fois, sur une distinction soigneuse entre les niveaux de confiance dans la compréhension scientifique et les probabilités de résultats spécifiques.
Ceci permet aux auteurs de dire avec grande confiance que l'événement est extrêmement improbable (par exemple: jeter un dé deux fois et obtenir un six deux fois), ou avec plus grande confiance encore que l'événement est à peu près aussi probable que le non (par exemple : pile ou face d'une pièce de monnaie). La confiance et la probabilité qu'on utilise ici sont des concepts distincts, mais ils sont souvent liés dans la pratique:

| Confidence Terminology | Degree of confidence in being correct |
|---|---|
| *Very high confidence* | At least 9 out of 10 chance |
| *High confidence* | About 8 out of 10 chance |
| *Medium confidence* | About 5 out of 10 chance |
| *Low confidence* | About 2 out of 10 chance |
| *Very low confidence* | Less than 1 out of 10 chance |

***Modèle de confiance pour la prévision du changement climatique***

En outre, la portée future des forces motrices pertinentes pour le changement climatique est encore incertaine. Comme nous l'avons appris dans le module 3, les forces motrices peuvent être :

- le taux de croissance démographique
- le développement économique
- l'intensité et la structure du processus de mondialisation de l'économie
- la structure de la consommation d'énergie
- l'efficacité de la consommation d'énergie
- le mélange des technologies de l'énergie

Le GIEC travaille principalement avec quatre principaux scénarios qui envisagent - entre autres - les facteurs mentionnés ci-dessus. Chaque modèle utilise des hypothèses différentes sur l'avenir pour prévoir comment les niveaux atmosphériques de CO2 et des températures vont changer.

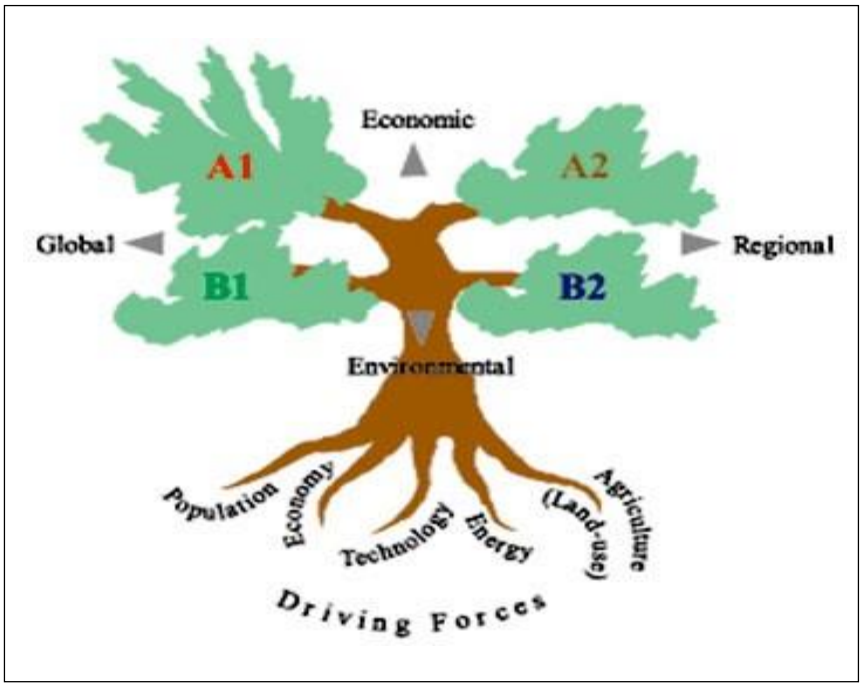
- A1 - Croissance économique et mondialisation libérale
  - Croissance économique rapide.
  - Une population mondiale qui atteint 9 milliards en 2050 puis diminue progressivement.
  - Propagation rapide de technologies nouvelles et efficaces.
  - Un monde convergent - le revenu et le mode de vie convergent entre les régions. De vastes interactions sociales et culturelles à travers le monde.

- A2 - Croissance économique avec un accent avant tout sur le développement régional
  - Un monde d'exploitation indépendante, nations autonomes.
  - L'augmentation de la population continue.
  - Développement régional axé sur l'économie
  - Changements et améliorations technologiques les plus lents et les plus fragmentés chez les habitants à faible revenu.

- B1 - Sensible à l'environnement avec de fortes relations mondiales
  - Croissance économique rapide comme dans A1, mais avec des changements rapides en vue d'une économie du service et de l'information.
  - Augmentation de la population à 9 milliards en 2050, puis en baisse comme dans A1.

- Réduction de l'intensité des matériaux et introduction de ressources propres et de technologies efficaces.
- Accent sur des solutions mondiales à la stabilité économique, sociale et environnementale.

- B2 - Sensible à l'environnement avec un accent avant tout sur le développement régional
  - La population A1 ne cesse d'augmenter, mais à un rythme plus lent que dans A2.
  - Accent sur des solutions locales plutôt que globales pour la stabilité économique, sociale et environnementale.
  - Niveaux intermédiaires de développement économique.
  - Changements technologique moins rapides et plus fragmentés que dans B1 et A1




***Les forces motrices et finales des émissions de CO2***

Le 4e rapport du GIEC a travaillé avec les scénarios d'émissions encore plus détaillés (y compris une différenciation des scénarios A1.1 La hausse de la température et l'élévation du niveau de la mer pour chaque famille de scénarios est prévue comme suit :

- Scénario A1B
  - La température augmentera de 2,8 ° C avec une fourchette probable de 1,7 à 4,4 ° C
  - Le niveau de la mer va augmenter avec une fourchette probable de 21 à 48 cm

- Scénario A1T
  - La température augmentera de 2,4 ° C avec une fourchette probable de 1,4 à 3,8 ° C

    - Le niveau de la mer va augmenter avec une fourchette probable de 20 à 45 cm
    - Scénario A1FI
    - La température augmentera de 4,0 ° C avec une fourchette probable de 2,4 à 6,4 ° C
    - Le niveau de la mer va augmenter avec une fourchette probable de 26 à 59 cm
- Scénario B1
    - La température augmentera de 1,8 ° C avec une fourchette probable de 1,1 à 2,9 ° C
    - Le niveau de la mer va augmenter à partir d'une fourchette probable de 18 à 38 cm
- Scénario B2
    - La température augmentera de 2,4 ° C avec une fourchette probable de 1,4 à 3,8 ° C
    - Le niveau de la mer va augmenter avec une fourchette probable de 20 à 43 cm
- Scénario A2
    - La température augmentera de 3,4 ° C avec une fourchette probable de 2,0 à 5,4 ° C.2

## 2. LES OBJECTIFS DE L'APPRENTISSAGE ET VOTRE PLAN DE TRAVAIL POUR CE MODULE

Après avoir travaillé à travers ce module, vous serez en mesure de savoir plus sur :

- La modélisation du changement climatique
- Les principales caractéristiques du climat de la terre
- Les plus importants gaz à effet de serre
- Les sources des gaz à effet de serre les plus importants
- L'influence des gaz à effet de serre sur le climat de la terre
- Le cycle du carbone
- Les options d'atténuation pour différents secteurs industriels

***Afin d'atteindre ces objectifs, vous devriez étudier attentivement le contenu de ce module. 3***

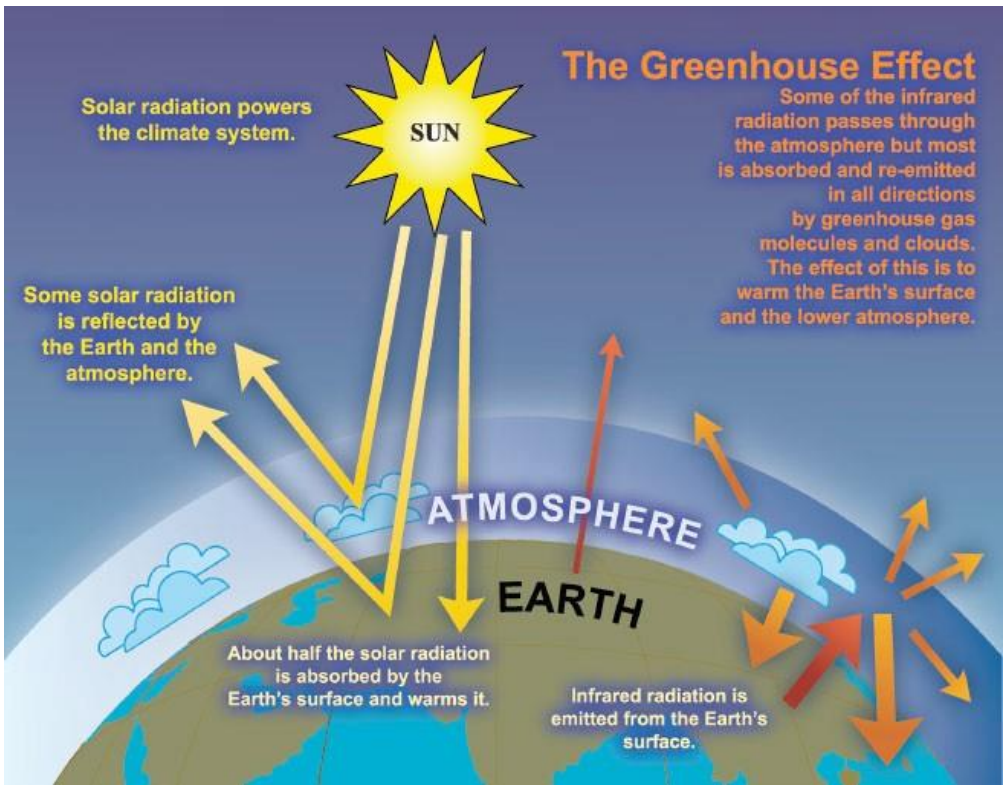
***Question***

*Une serre utilise le rayonnement solaire incident pour le chauffage de sa structure. L'énergie lumineuse du soleil est convertie en rayonnement thermique en pénétrant à travers une vitre ou du PVC. La structure fermée continue de garder la chaleur pour la croissance de plantes.*
*Savez-vous comment l '«effet de serre" sur la terre fonctionne ? Quel est l'effet des soi-disant "gaz à effet de serre" ?*

***Une maison verte utilise le rayonnement solaire : Savez-vous comment l'effet de serre fonctionne ?***

## 3. LE CLIMAT DE LA TERRE

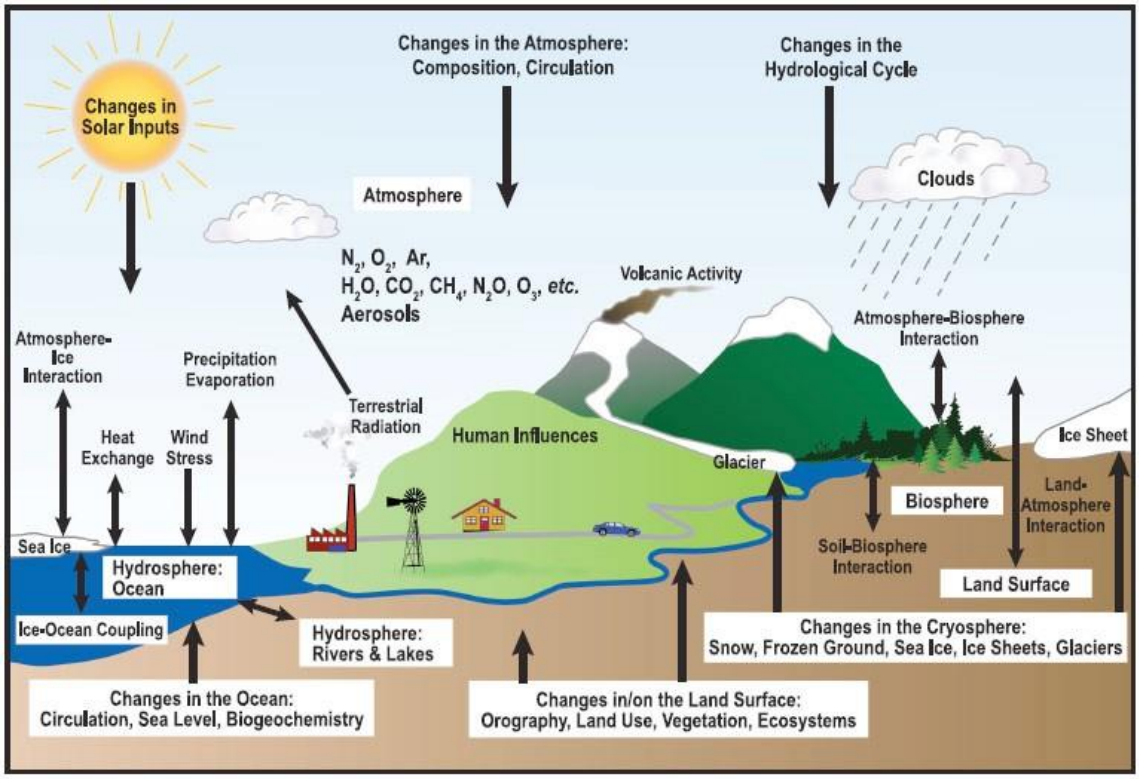
Afin de comprendre l'effet de serre, il est important de comprendre les facteurs dominants du climat planétaire.
Le climat mondial est régi par un flux continu d'énergie, principalement sous forme de lumière visible - du soleil à la terre. Environ 30% de cette énergie est reflétée immédiatement dans l'espace. 70% sont absorbés par la terre. La température sur la terre n'est pas suffisante pour émettre de l'énergie en tant que lumière visible. Par conséquent, l'énergie rayonnée par la terre est d'une longueur d'onde beaucoup plus longue que celle de la lumière du soleil.




***L'effet de serre***

Par conséquent, la terre ne peut refléter l'énergie que sous forme de rayonnement infrarouge, respectivement en tant que rayonnement thermique.
Cela a un effet important sur le climat de la terre. Tandis que les ondes de la lumière du soleil qui sont d'une longueur plus courte peuvent traverser l'atmosphère à une altitude élevée, la majeure partie du rayonnement infrarouge est absorbée par l'atmosphère en raison de sa longueur d'onde plus longue.
L'absorption de cette énergie rayonnante à ondes longues réchauffe l'atmosphère, l'atmosphère étant également chauffée par transfert de chaleur sensible et latente de la surface.
Ici, il devient évident ce que «à effet de serre» dans le contexte du climat de la Terre veut dire. Les soi-disant "gaz à effet de serre" sont des composants de l'atmosphère. En tant que tels, ils empêchent que le rayonnement infrarouge soit rejeté dans l'espace.

Les GES jouent un rôle crucial pour le climat sur terre. Les GES sont des composants chimiques de l'atmosphère qui empêchent que le rayonnement infrarouge soit rejeté de la surface de la terre vers l'espace. Par conséquent, ils sont essentiels pour le maintien d'un certain niveau de la température sur la planète, respectivement, sans émissions des GES la terre serait inhabitable.
La composition chimique de l'atmosphère de la terre est complexe. Les gaz à effet de serre sont mélangés ensemble dans l'atmosphère. (En ce sens, ce n'est pas seulement une couche).
Cela a un effet important sur le climat de la terre. Pendant que les ondes d'une longueur plus courte du soleil peuvent traverser l'atmosphère sur une grande échelle, la plus grande partie de la radiation infrarouge est absorbée à cause de ses ondes plus longues. L'absorption de cette énergie réchauffe l'atmosphère, qui est de sa part aussi réchauffée par le transfert de chaleur sensible et latente de la surface de la terre.

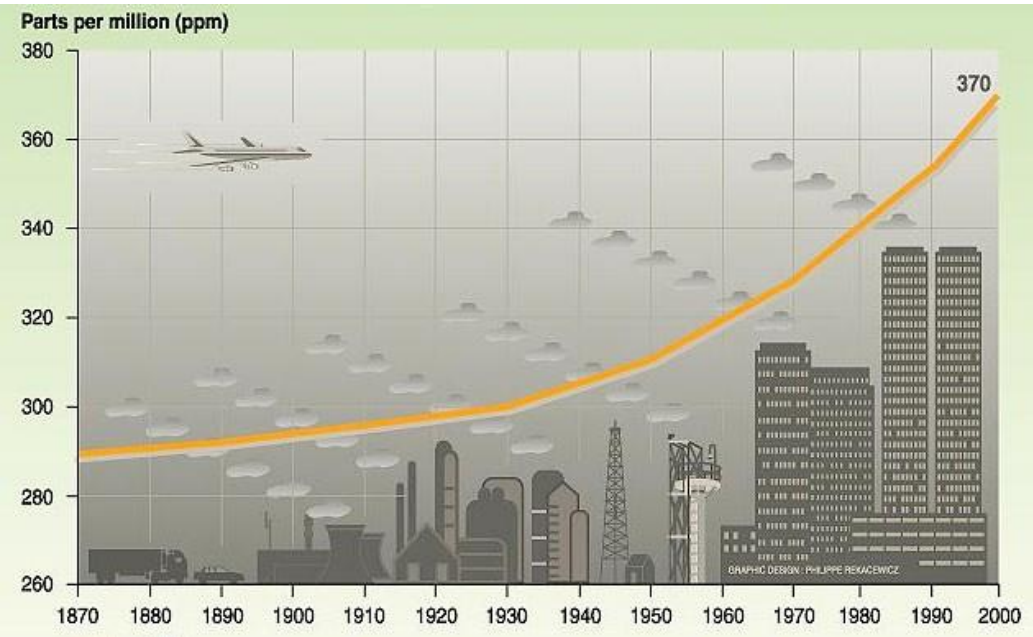



***La complexité du climat de la terre - une vue schématique des composants du système climatique, leurs processus et leurs interactions***

## *Le climat de la terre et les émissions de GES*

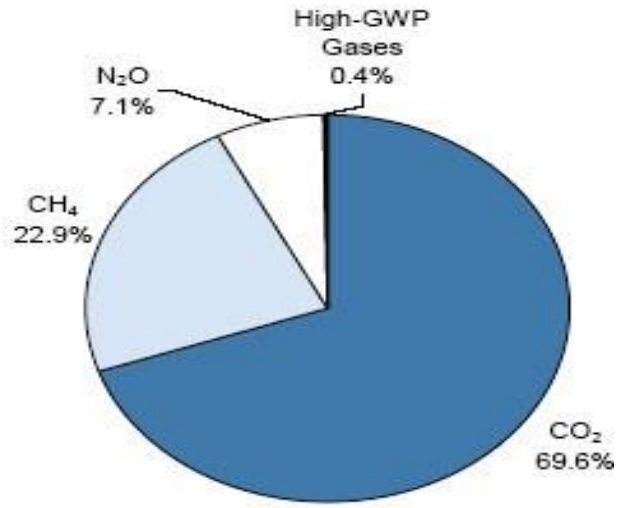
L'analyse scientifique montre que le climat de la terre a été instable au cours des 400.000 dernières années. Au cours de cette période, le climat chaud a changé avec l'âge de glace. Mais au cours des 10.000 dernières années, le climat a été plutôt stable. Les données disponibles montrent qu'il est peu probable que les températures mondiales ont varié de plus de 1 ° C en un siècle au cours de cette période. Mais au cours des dernières décennies, une augmentation rapide de la température est observée. Les observations montrent que les températures mondiales ont augmenté d'environ 0,6 ° C au cours du 20e siècle.
Le plus intéressant est le fait que cette augmentation va de pair avec une augmentation de la concentration de CO2 dans l'atmosphère. Depuis le début de la révolution industrielle, les

émissions de CO2 d'origine humaine ont énormément augmenté. Les émissions de GES ont augmenté d'environ 70% entre 1970 et 2000.



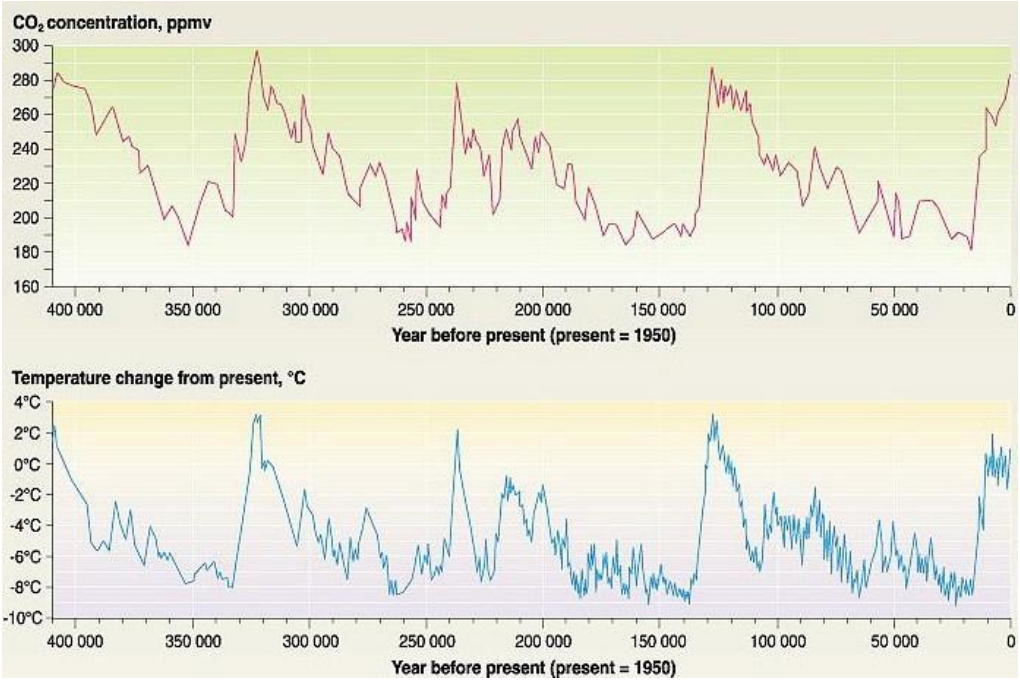

***Développement de la concentration atmosphérique mondiale du CO2***

Le taux annuel moyen de croissance du CO2 atmosphérique était de 2,2 ppm par an en 2007 (contre 1,8 ppm en 2006), et au-dessus de la moyenne de 2,0 ppm pour la période 2000-2007. Le taux moyen de croissance annuelle moyenne pour les 20 années précédentes était d'environ 1,5 ppm par an. Cette augmentation a porté la concentration atmosphérique de CO2 à 383 ppm en 2007, 37% au-dessus de la concentration au début de la révolution industrielle (environ 280 ppm en 1750). La concentration actuelle est la plus élevée au cours des dernières années et probablement au cours des 20 derniers millions d'années. [ppm = parties par million].




***Contribution des émissions anthropiques de GES à l'effet de serre de l'ère pré-industrielle à nos jours (mesurée en watts / m²)***

Basé sur l'analyse de l'évolution des températures et de la co-relation avec les émissions de CO2 au cours des 400.000 dernières années, la science suppose qu'il peut être possible que les émissions supplémentaires de GES puissent porter le climat à un état très instable. Comment le système climatique global réagit n'est pas encore suffisamment connu. Il semble plutôt que le climat ne suive pas une évolution linéaire, mais un chemin non-linéaire avec des changements soudains et dramatiques lorsque les niveaux de GES atteignent un point de déclenchement qui n'est pas encore connu.




***La température et la concentration de CO2 dans l'atmosphère au cours des 400.000 dernières années***

## 4. LES GAZ À EFFET DE SERRE LES PLUS IMPORTANTS

Les gaz à effet de serre les plus importants sont les suivants :

- La vapeur d'eau est un gaz à effet de serre qui se produit «naturellement». Il représente le plus grand pourcentage de l'effet de serre "naturel". Dans le même temps, la surface supérieure des nuages blancs réfléchit le rayonnement solaire dans l'espace. Les activités humaines n'ont pas d'influence directe sur la quantité de vapeur d'eau atmosphérique. Indirectement, les humains ont le potentiel d'affecter sensiblement la vapeur d'eau par le changement climatique. Par exemple, une atmosphère plus chaude contient davantage de vapeur d'eau. La vapeur d'eau augmente à un taux globalement conforme à la vapeur d'eau supplémentaire que l'air chaud peut contenir. La vapeur d'eau réagit aux changements climatiques, mais elle ne conduit pas aux changements climatiques

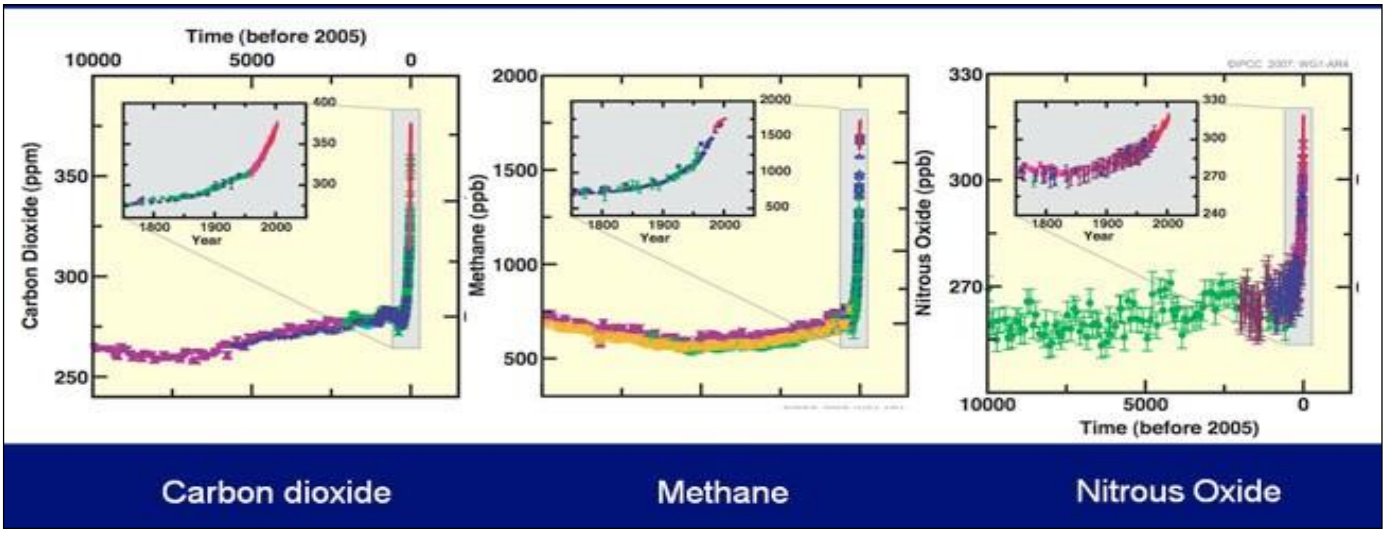
***La vapeur d'eau réfléchit le rayonnement solaire dans l'espace***

- Le dioxyde de carbone (CO2) est présent naturellement dans l'atmosphère. Plusieurs milliards de tonnes de carbone sont échangées naturellement chaque année entre l'atmosphère, les océans et la végétation terrestre. Les niveaux de dioxyde de carbone semblent avoir varié de moins de 10% au cours des 10.000 ans avant l'industrialisation. Le dioxyde de carbone a augmenté, passant de l'utilisation des combustibles fossiles dans les transports, le chauffage et le refroidissement des bâtiments, et la fabrication de ciment et d'autres biens. La déforestation libère du CO2 et réduit son absorption par les plantes. Le dioxyde de carbone est également libéré dans les processus naturels tels que la décomposition de la matière végétale.

- Le méthane (CH4) reste dans l'atmosphère pendant environ 9-15 ans. Le méthane est 20 fois plus efficace pour piéger la chaleur dans l'atmosphère que le dioxyde de carbone sur une période de 100 ans. Il est émis à partir d'une variété de sources naturelles et influencées par l'homme. Les sources qui sont influencées par l'homme comprennent les sites d'enfouissement, le gaz naturel et des systèmes pétroliers, les activités agricoles, les mines de charbon, la combustion fixe et mobile, le traitement des eaux usées, et certains procédés industriels. Le méthane représente 20% de forçage radiatif total de tous les gaz à effet de serre qui sont de longue vie.

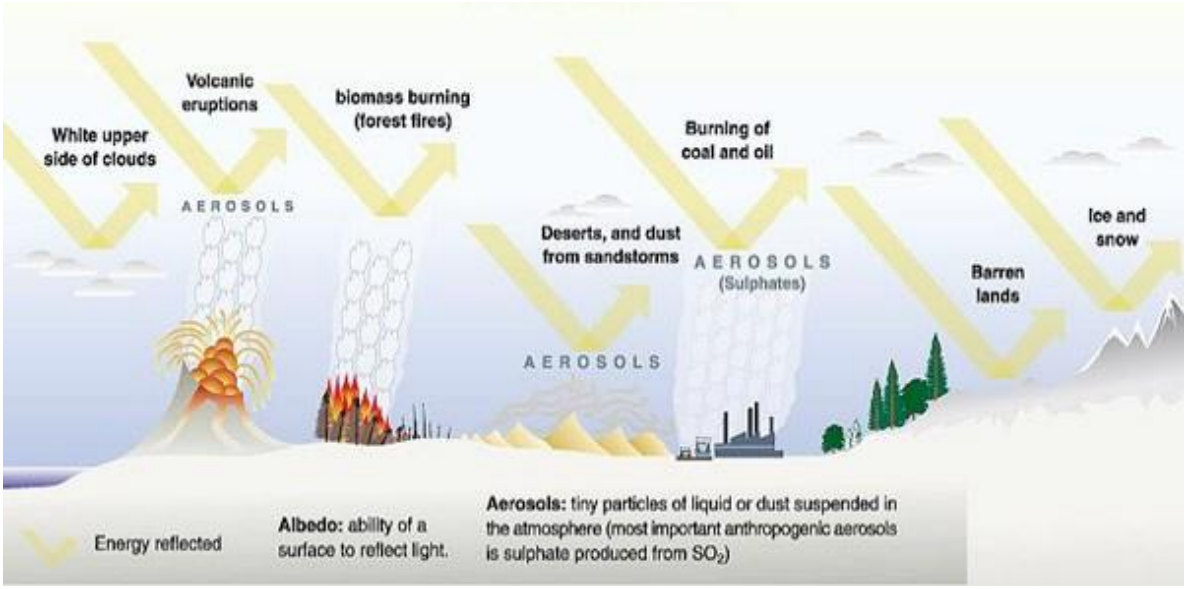
***L'agriculture contribue d'une manière significative à la production de méthane***

- L'oxyde nitreux est émis par les activités humaines telles que l'utilisation d'engrais et la combustion de combustibles fossiles. Les processus naturels dans les sols et les océans libèrent également N2O. Les sources anthropiques des émissions de N2O sont les sols agricoles, en particulier la production de cultures fixatrices d'azote et des fourrages, l'utilisation d'engrais synthétiques et de fumier, et les dépôts de fumier par le bétail, la combustion de combustibles fossiles, en particulier provenant de la combustion mobile.
- Les concentrations de gaz à halocarbures ont augmenté principalement en raison de l'activité humaine. L'ozone, les hydrofluorocarbures, les perfluorocarbures, l'hexafluorure de soufre (et un certain nombre d'autres gaz industriels) contribuent de manière significative à l'effet de serre d'origine humaine. Les halocarbures émis par les activités humaines détruisent la couche d'ozone dans la stratosphère et ont causé le trou de l'ozone au- dessus de l'Antarctique. L'abondance de gaz chlorofluorocarbones est en baisse en raison des réglementations internationales visant à protéger la couche d'ozone.




***Les concentrations actuelles de gaz à effet de serre et leurs taux de variation montrent qu'ils sont sans précédent.***

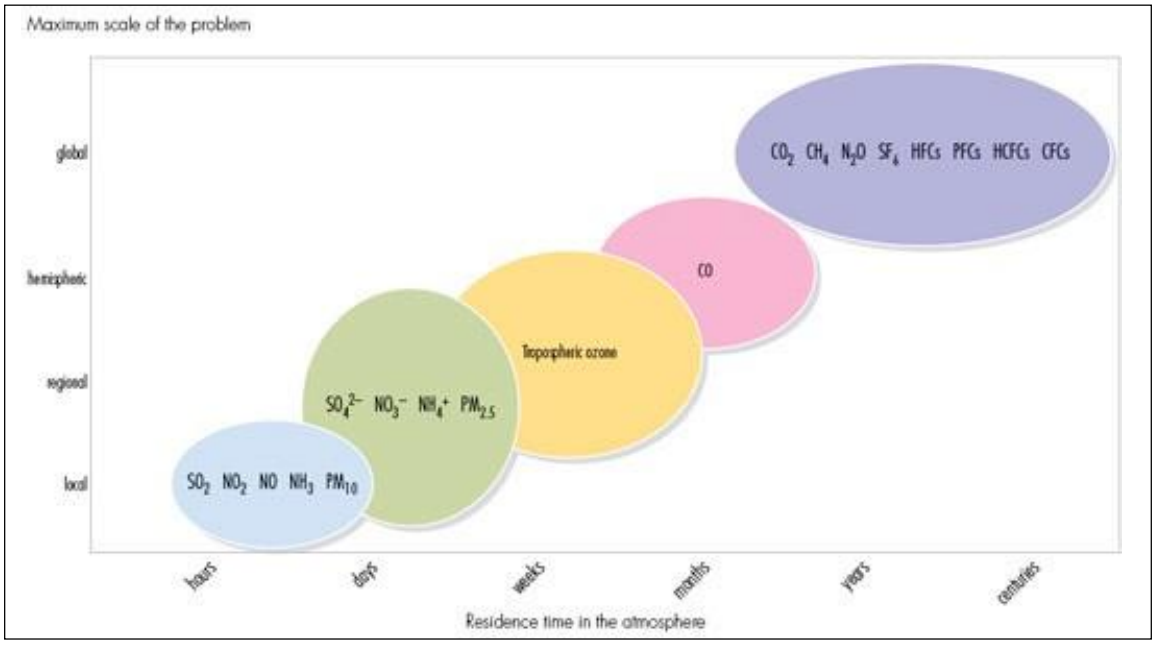
- Les aérosols sont des petites particules dans l'atmosphère provenant de la fumée, la poussière, la fabrication et d'autres sources. Les aérosols peuvent absorber et diffuser le rayonnement, qui peut provoquer un refroidissement (ou réchauffement) de l'atmosphère, c'est à dire certains aérosols provoquent un forçage positif tandis que les autres provoquent un forçage radiatif négatif. 9 Ils sont également importants pour la formation et le comportement des nuages, et peuvent influer sur le cycle de l'eau et équilibrer la radiation de la terre. Le forçage radiatif direct additionné sur tous les types d'aérosols est négatif, c'est à dire qu'il a un effet refroidissant sur le climat mondial.




***Les aérosols peuvent avoir un effet de refroidissement dans l'atmosphère***

## 5. LES GAZ À EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHERE

Un autre paramètre qui doit être pris en compte dans l'évaluation du changement climatique est le fait que différents polluants primaires qui sont émis, et les polluants secondaires qui se forment dans l'atmosphère, ont des temps de séjour très différents. Certains GES peuvent rester dans l'atmosphère jusqu'à 50.000 ans. Et des émissions de GES sont transportées à des distances variables, ce qui affecte l'échelle à laquelle leur impact se fait sentir.




***Certains polluants, leurs temps de séjour moyen dans l'atmosphère et l'étendue maximum de leur impact***

Il n'est pas possible d'affirmer qu'un certain gaz provoque un certain pourcentage de l'effet de serre, parce que les influences des différents gaz ne sont pas additives. De même, il est important de tenir compte des faits que la concentration et l'impact des différents GES diffèrent d'une façon significative. Par exemple, le méthane est un gaz à effet de serre beaucoup plus puissant que le CO2, mais il est présent dans l'atmosphère à des concentrations beaucoup plus faibles. Un autre exemple : le monoxyde de carbone. Le monoxyde de carbone a un forçage radiatif indirect sous l'effet de l'élévation des concentrations de CH4 et de l'ozone troposphérique par des réactions chimiques avec les autres constituants de l'atmosphère (par exemple, le radical hydroxyle,
OH) qui, autrement, aident à détruire l'ozone troposphérique et le CH4.
Un des plus importants paramètres pour évaluer le processus et la dynamique de l'effet de serre est le "Global Warming Potential" de chaque gaz. Le PRG est un indice défini comme le forçage radiatif cumulé entre le présent et un horizon de temps choisi, causé par une unité de masse de gaz émis aujourd'hui, et exprimée par rapport à un gaz de référence tels que le CO2, comme cela est utilisé ici. Le PRG est une tentative pour fournir une mesure simple des effets radiatifs relatifs des gaz à effet de serre différents.

| Greenhouse gases | Chemical formula | Pre-industrial concentration | Concentration in 1994 | Atmospheric lifetime (years)*** | Anthropogenic sources | Global warming potential (GWP) * |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbon-dioxide | $CO_2$ | 278 000 ppbv | 358 000 ppbv | Variable | Fossil fuel combustion<br>Land use conversion<br>Cement production | 1 |
| Methane | $CH_4$ | 700 ppbv | 1721 ppbv | 12,2 +/- 3 | Fossil fuels<br>Rice paddies<br>Waste dumps<br>Livestock | 21 ** |
| Nitrous oxide | $N_2O$ | 275 ppbv | 311 ppbv | 120 | Fertilizer<br>industrial processes<br>combustion | 310 |
| CFC-12 | $CCl_2F_2$ | 0 | 0,503 ppbv | 102 | Liquid coolants<br>Foams | 6200-7100 *** |
| HCFC-22 | $CHClF_2$ | 0 | 0,105 ppbv | 12,1 | Liquid coolants | 1300-1400 *** |
| Perfluoromethane | $CF_4$ | 0 | 0,070 ppbv | 50 000 | Production<br>of aluminium | 6 500 |
| Sulphur hexa-fluoride | $SF_6$ | 0 | 0,032 ppbv | 3 200 | Dielectric<br>fluid | 23 900 |

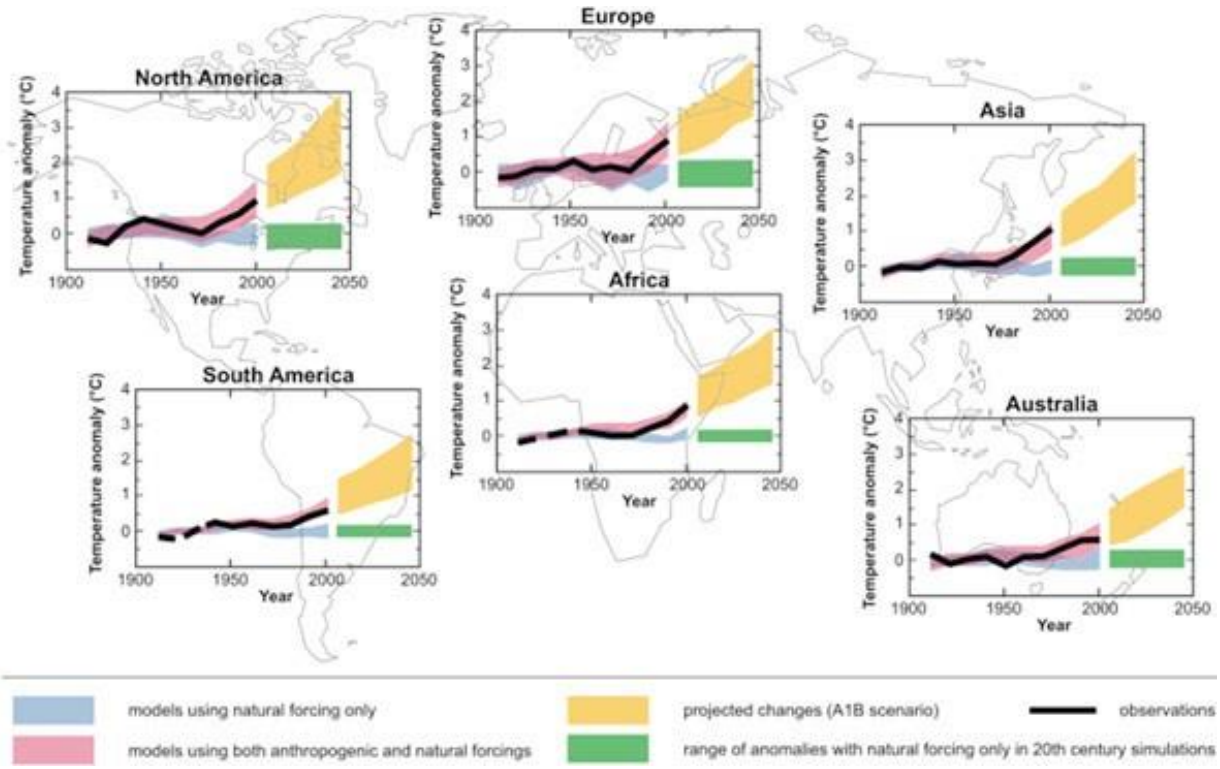
***Les forçages anthropiques tant qu'éléments moteurs principaux pour le changement climatique***

Le tableau énumère quelques-uns des principaux gaz à effet et de leurs concentrations dans l'ère préindustrielle et, en 1994, les durées de vie atmosphériques; les sources anthropiques et le potentiel de réchauffement global (GWP).

Il est de plus en plus évident pour la communauté scientifique que les causes naturelles ont un impact significatif plus petit sur le changement climatique que les activités humaines : les forçages naturels surgissent en raison de changements solaires et d'éruptions volcaniques explosives. Selon le GIEC, la production solaire a augmenté progressivement dans l'ère industrielle, ce qui provoque un forçage radiatif positif.

Mais le forçage radiatif par les activités humaines est beaucoup plus important pour le changement climatique actuel et l'avenir que le forçage radiatif dû à des changements dans les processus naturels.

Les modèles qui analysent la hausse des températures sur la terre au cours du siècle dernier montrent que les forçages naturels avaient un impact limité sur l'évolution des températures. Mais si on considère l'ajout des activités de l'homme dans les modèles, il devient évident que les forçages anthropiques provoquent une accélération importante de la hausse des températures.



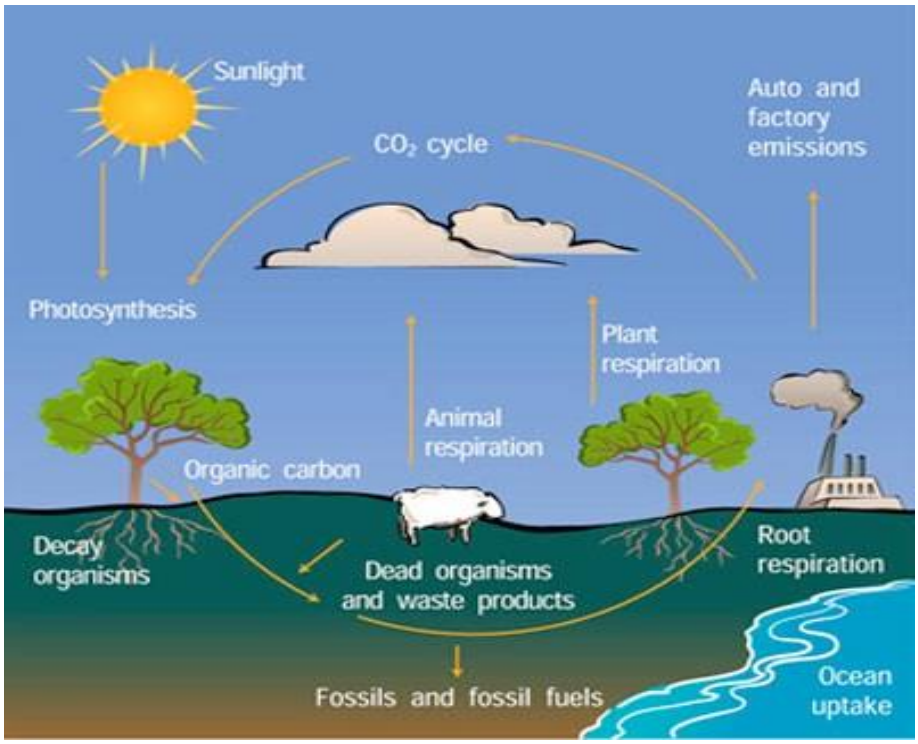

***Réchauffement observé au cours du 20e siècle comparés avec les calculs des modèles climatiques jusqu'en 2005***

Les projections sur le développement du climat sont fondées sur des modèles très complexes qui doivent prendre en compte une multitude des paramètres. En outre, elles doivent faire face à de nombreuses hypothèses et les interrelations de différents paramètres. Il est donc très difficile de prévoir le développement des activités humaines dans les décennies à venir. Sur la base de différents scénarios, le GIEC s'attend à une nouvelle augmentation des températures comprise entre 1,8 et 4 ° C pour le 21e siècle. Ces changements auront un impact majeur sur les écosystèmes mondiaux, régionaux et locaux et les conditions de vie des êtres humains.

## 6. LE CYCLE DU CARBONE

Le cycle du carbone en tant que cycle biogéochimique

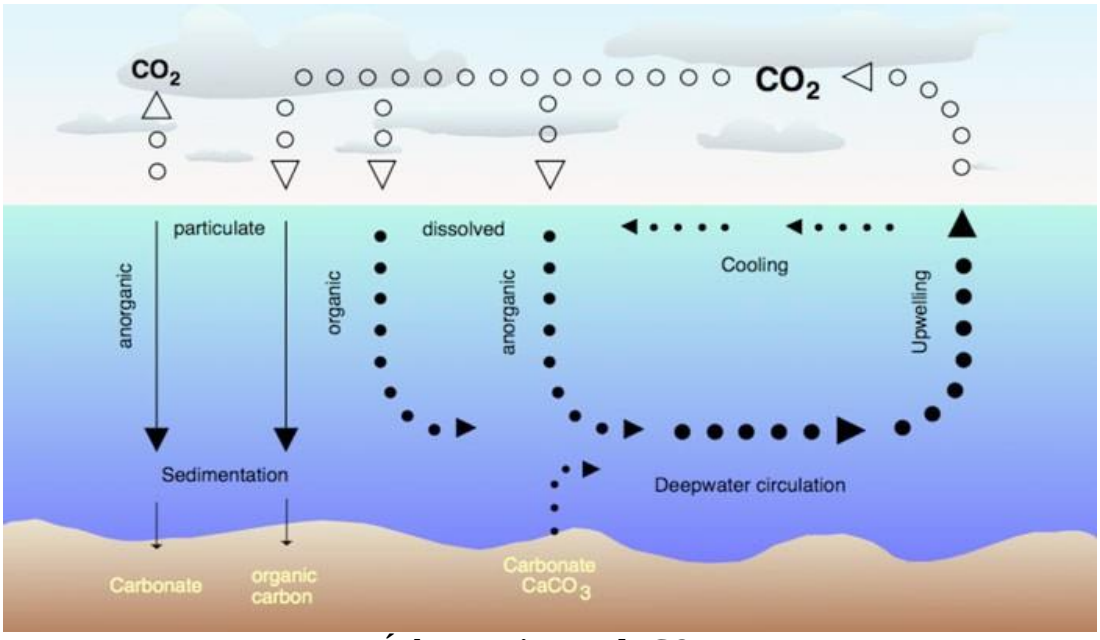
Pour comprendre et analyser l'effet de serre, il est d'une importance primordiale de comprendre ce que l'on appelle le "cycle du carbone". Le carbone (C) est essentiel pour la vie. Le carbone est le quatrième élément le plus abondant dans l'Univers.




***Le cycle du carbone***

Le cycle du carbone est le cycle biogéochimique par lequel le carbone est échangé entre

- la biosphère,
- la pédosphère,
- la géosphère,
- l'hydrosphère, et
- l'atmosphère de la terre.




***Échange air-mer de CO2***

Le cycle global du carbone peut être divisé en deux catégories principales :

- Les caractéristiques géologiques, qui se répercutent à des plus grandes échelles de temps (des millions d'années). Ici, le carbone se déplace entre les roches et minéraux, l'eau de mer et l'atmosphère. Par exemple, l'altération des roches silicatées. L'acide carbonique réagit avec de la roche altérée pour produire des ions de bicarbonate. Les ions de bicarbonates produits sont transportés vers l'océan, où ils sont utilisés pour faire des carbonates marins. Contrairement à CO2 dissous dans l'équilibre ou des tissus qui se désintègrent, les intempéries ne déplacent pas le carbone dans un réservoir à partir duquel il peut facilement revenir à l'atmosphère. L'équilibre entre les intempéries, la subduction et le volcanisme contrôle les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone sur des périodes des plusieurs centaines de millions d'années.

***Des éruptions volcaniques émettent du gaz dans l'atmosphère***

- Les caractéristiques biologiques / physiques, qui opèrent à des échelles de temps plus courtes (de quelques jours à des milliers d'années). Ici, le carbone est la pierre

angulaire de la vie. Il est l'élément qui ancre toutes les substances organiques, à partir de combustibles fossiles à l'ADN. Ainsi, la biosphère est caractérisée par le cycle continu de la fixation du CO2 et la dégradation des composés organiques du carbone fixe.

### *Le processus de la photosynthèse et la respiration*

Comme ce module l'a déjà souligné, la photosynthèse et la respiration jouent un rôle majeur dans le mouvement de carbone sur la terre. Lors de la photosynthèse, les plantes absorbent le dioxyde de carbone et la lumière du soleil pour produire du combustible-glucose et d'autres sucres pour construire des structures végétales, soit par l'intermédiaire du processus de la photosynthèse, les plantes vertes absorbent l'énergie solaire et absorbent le dioxyde de carbone de l'atmosphère pour produire des glucides (sucres). Ce processus constitue le fondement du cycle du carbone biologique. Près de toutes les formes de vie sur la terre dépendent de la production de sucres à partir de l'énergie solaire et du dioxyde de carbone (photosynthèse) et du métabolisme (respiration) de ces sucres pour produire de l'énergie chimique qui facilite la croissance et la reproduction.

***La photosynthèse et la respiration jouent un rôle majeur dans le mouvement de carbone sur la terre.***

Les plantes et les animaux brûlent efficacement les hydrates de carbone (et autres produits dérivés) à travers le processus de la respiration, l'inverse de la photosynthèse. La respiration libère l'énergie contenue dans les sucres pour l'utilisation dans le métabolisme des glucides et rend le «carburant» de retour au dioxyde de carbone. Ensemble, la respiration et la décomposition (la respiration qui consomme de la matière organique pour la plupart par des bactéries et des champignons) rejettent le carbone fixé biologiquement dans l'atmosphère. La quantité de carbone absorbée par la photosynthèse et remise à l'atmosphère par la respiration de chaque année est 1000 fois supérieure à la quantité de carbone qui se déplace à travers le cycle géologique sur une base annuelle.

**A noter, s'il vous plaît :**

La photosynthèse et la respiration jouent également un rôle important à long terme dans le cycle géologique du carbone. La présence de la végétation des terres améliore l'altération des sols, conduisant à l'absorption lente du dioxyde de carbone par l'atmosphère. Dans les océans, une partie du carbone est absorbée par le phytoplancton (plantes marines microscopiques qui forment la base de la chaîne alimentaire marine) pour faire des coquilles de carbonate de calcium ($CaCO3$). Il se dépose au fond (après leur mort) pour former des sédiments. Pendant les périodes où la photosynthèse dépassé la respiration, la matière organique est lentement construite au fil des millions d'années pour former des gisements de charbon et de pétrole. Tous ces processus de médiation biologique représentent une élimination du dioxyde de carbone de l'atmosphère et le stockage du carbone dans les sédiments géologiques.

# 7. LA SEQUESTRATION, LES RESERVOIRS DE CO2, LES PUITS DE CO2 ET LE BILAN DU CARBONE

Les termes scientifiques en tant que réservoirs de CO2, les éviers de CO2, la séquestration et le budget de carbone ont gagné l'attention du public dans le contexte du débat sur le changement climatique, respectivement sur le fond des initiatives internationales comme le Protocole de Kyoto.

Le cycle du carbone est généralement considéré comme quatre grands réservoirs de carbone reliés entre eux par des voies d'échange. Les réservoirs sont

- l'atmosphère,
- la biosphère terrestre (qui comprend généralement les systèmes d'eau douce et le matériel non-vie biologique, tels que le carbone du sol),
- les océans (qui comprennent le carbone inorganique dissous et le matériel non-vie biote marin), et
- les sédiments (qui comprennent les combustibles fossiles).

Un "puits de dioxyde de carbone" est un réservoir de dioxyde de carbone d'une taille qui devient plus grande.
Par exemple, la culture de plantes fonctionne comme des puits. Les principaux puits naturels sont les suivants :

- la pompe biologique des océans et
- les plantes et autres organismes qui utilisent la photosynthèse pour éliminer le carbone de l'atmosphère en l'incorporant dans la biomasse et libérant de l'oxygène dans l'atmosphère.

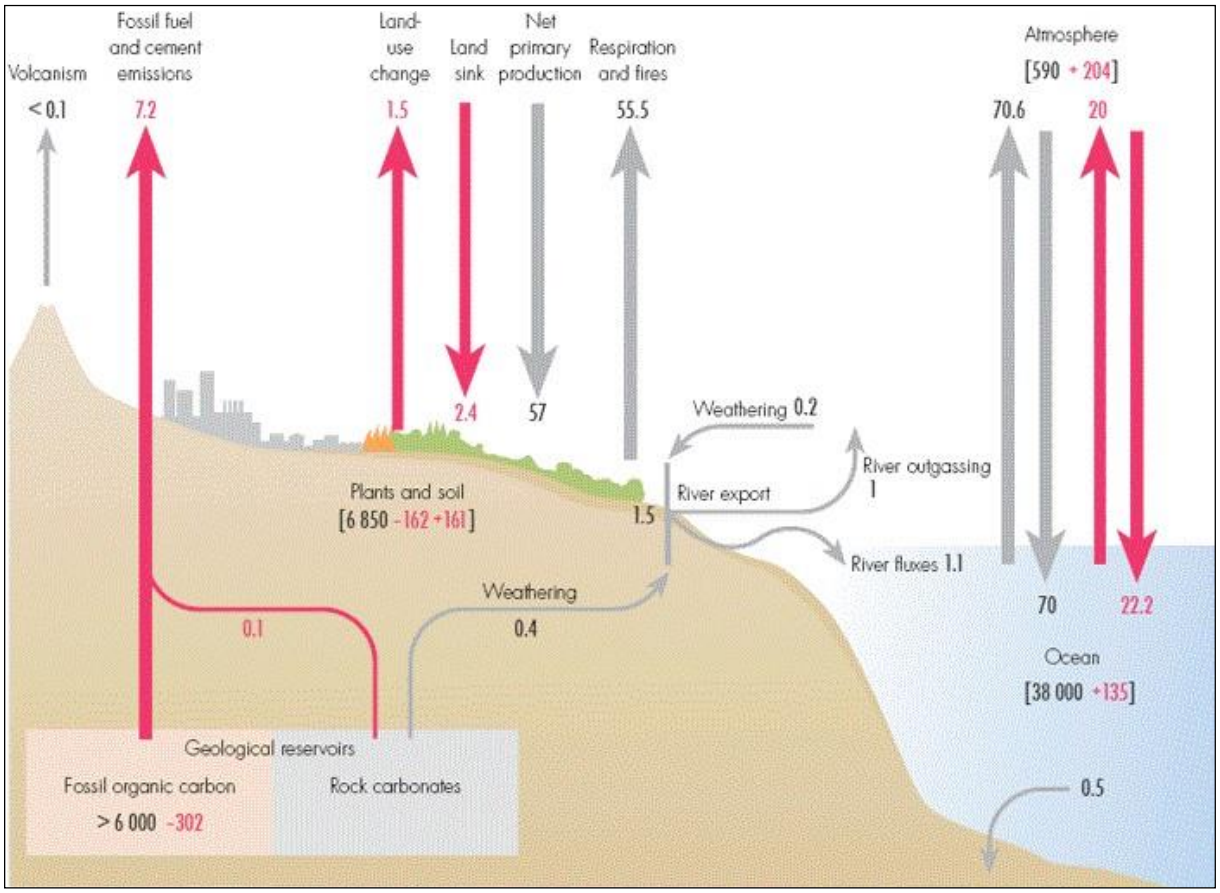
***Les plantes et les océans sont des puits les plus importants de CO2***

Le processus par lequel les puits de dioxyde de carbone éliminent le CO2 de l'atmosphère est connu sous le nom de la séquestration c'est à dire que la séquestration du carbone est définie comme le processus d'augmentation de la teneur en carbone d'un réservoir de carbone autre que l'atmosphère. Un réservoir de carbone est un puits si, pendant un intervalle de temps donné, plus de carbone s'écoule dans le bassin que s'écoule hors du réservoir. De même, un

réservoir de carbone peut être une source nette d'émissions de CO2 si moins de carbone se déverse dans le bassin que ce qui sort du réservoir.

**Information importante !**

Des terres naturelles et les puits de CO2 océanique ont retiré 54% (ou 4,8 PgC par an) de tous les CO2 émis par les activités humaines au cours de la période 2000-2007. La taille des puits naturels a augmenté en proportion de l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère. Cependant, l'efficacité de ces puits en éliminant le CO2 a diminué de 5% au cours des 50 dernières années, et continuera de le faire à l'avenir. C'est à dire qu'il ya 50 ans, pour chaque tonne de CO2 émis dans l'atmosphère, les puits naturels ont retiré 600 kg. Actuellement, les puits en retirent uniquement 550 kg pour chaque tonne de CO2 émis, et ce montant est en baisse.




***Le budget global du carbone pour la période 2000 à 2005.***

## 8. LE ROLE DES FORETS DANS LE CYCLE DU CARBONE

Les forêts jouent un rôle plus crucial dans le cycle global du carbone. Les forêts stockent 86% de hors-sol de la planète de carbone et 73% du carbone du sol de la planète. Les forêts jouent deux rôles importants :

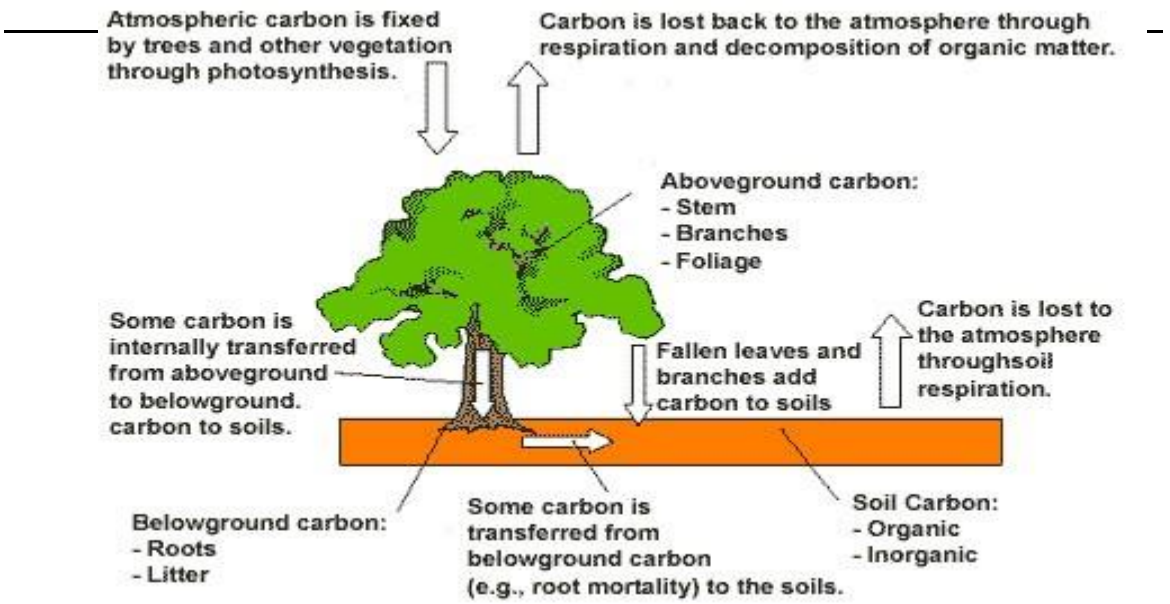
1. Elles sont les stocks de carbone, et
2. elles sont des puits de dioxyde de carbone quand elles sont de densité ou de taille de plus en plus grande.

Et les forêts jouent un rôle majeur dans l'atténuation du changement climatique et l'adaptation respectivement des forêts présentent un stock de carbone global significatif. Surtout dans le contexte du protocole de Kyoto et des accords internationaux.

**A noter s'il vous plaît :**

> Les forêts et les cultures dans le processus de croissance absorbent beaucoup du carbone, tandis que les forêts anciennes et stables consomment autant de CO2 pendant la journée que ce qu'elles produisent pendant la nuit. À savoir le processus de séquestration du CO2 est accrue dans des forêts relativement nouvelles où la croissance des arbres est encore rapide.

Les arbres et les sols peuvent gagner ou perdre en carbone par des processus différents. Dans l'ensemble, les forêts accumulent le carbone au fil du temps dans les bassins hors-sol, souterrains et dans le sol. Les bassins de carbone des sols dans les terres forestières et des terres agricoles peuvent augmenter ou diminuer en fonction de l'infiltration d'origine végétale fixe de carbone dans les feuilles, les tiges et les racines.




***The carbon cycle in a forest***

Dans les forêts, le carbone peut être séquestré pendant des décennies voire des siècles, jusqu'à ce que les écosystèmes matures atteignent un stade de saturation en carbone, mais la dégradation naturelle et des perturbations comme les incendies ou la récolte peuvent libérer

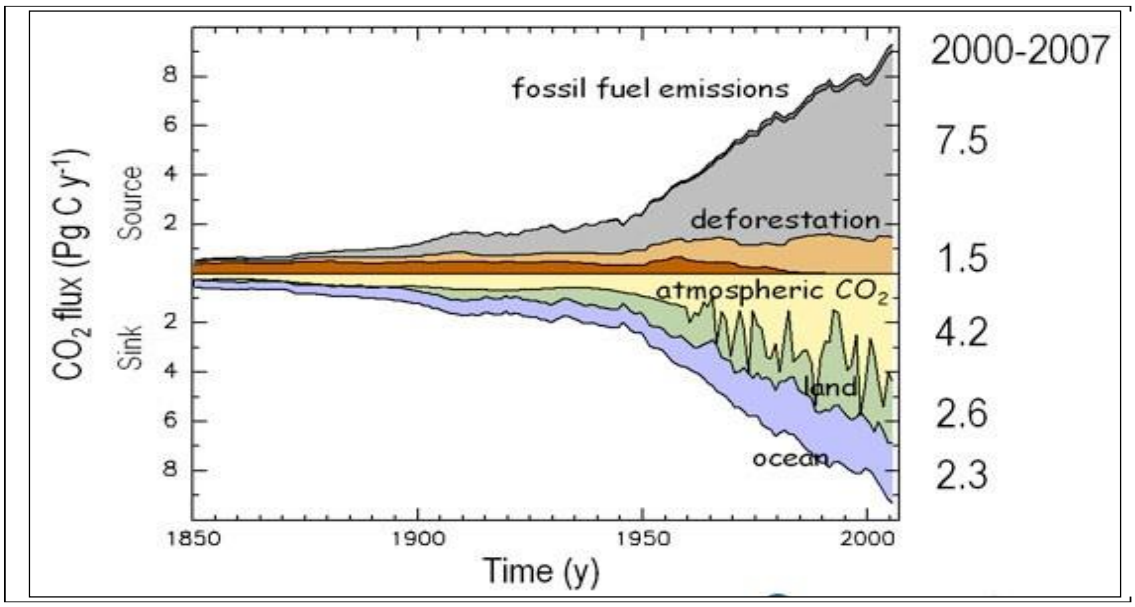
du carbone dans l'atmosphère sous forme de CO2. Dans les sols agricoles, le carbone peut être séquestré pendant 15 ans ou plus, en fonction non seulement du type de sol, mais aussi du type, de la continuité et de la durée des pratiques de gestion.

La séquestration du carbone individuelle et les options d'atténuation des GES dans le secteur forestier et l'agriculture comprennent :

- la plantation d'arbres
- la croissance des arbres et les activités d'aménagement forestier qui l'améliorent au fil du temps
- la préservation de la forêt
- les pratiques culturelles de conservation sur les terres agricoles
- l'élevage agricole et la gestion des éléments nutritifs qui conduisent à des réductions de CH4 et N2O

Les ampleurs celui du stockage du carbone et celui des puits de carbone - dépendent de paramètres très différents comme :

- les types d'espèces d'arbres,
- les conditions du site;
- les conditions du sol;
- les régimes de perturbations naturelles comme les incendies de forêt;
- la quantité de matière organique morte;
- l'âge des forêts;
- la densité des forêts;
- le taux de croissance des forêts;
- le taux de déforestation.




***Aujourd'hui, les émissions de GES dépassent les capacités de séquestration des puits***

## 9. LES EMISSIONS DES GES ET LES OPTIONS D'ATTENUATION

La CCNUCC souligne que "des nombreuses solutions technologiques offrent un important potentiel de réduction de CO2, y compris la production d'énergie à partir des sources renouvelables et des augmentations substantielles de l'efficacité énergétique grâce aux nouvelles technologies et un design élégant. Une combinaison des solutions technologiques et des mesures politiques seraient nécessaire pour atteindre l '«économie bas carbone». Chaque pays ou région individuels devront utiliser différentes combinaisons de technologies pour mieux répondre à leurs besoins et tirer parti de leurs ressources locales.

L'amélioration de l'efficacité énergétique de production offre un large éventail d'avantages dans tous les secteurs de l'économie; des nouveaux investissements dans la production d'énergie, de l'industrie, du transport, et de la construction d'infrastructures pourraient être nettement plus efficaces que le stock existant. Des améliorations dans ce domaine pourraient réduire les émissions de GES, prévenir la pollution, réduire la pauvreté, améliorer la sécurité dans la fourniture d'énergie, accroître la compétitivité et, finalement, améliorer les possibilités de santé et de l'emploi.

***Les lampes solaires sont utilisées par les vendeurs dans les régions rurales de l'ouest de l'Inde, où le manque d'électricité a entravé le développement.***

Des activités à forte intensité énergétique sont en augmentation rapide dans les pays en développement, où, par rapport aux pays industrialisés, une proportion plus importante des possibilités de l'amélioration de l'efficacité énergétique est associée à des nouvelles installations (plutôt qu'à la modification des installations existantes).

Le potentiel de l'amélioration de l'efficacité énergétique est, par conséquent, souvent plus important dans les pays en développement. Les premiers résultats de plus de 300 études dans 24 pays Non-Annexe I montrent que la mise à niveau de l'efficacité énergétique et le passage à faible teneur en carbone des combustibles pour l'alimentation tient le plus grand potentiel de ces économies.

Cependant, les prix de l'énergie bas et subventionnés dans de nombreux pays en développement signifie que le marché n'a pas encouragé l'utilisation de technologies efficaces, alors que, de même, des nombreuses technologies commerciales pour améliorer l'efficacité énergétique n'ont pas été facilement disponibles dans ces pays.

### *L'APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE*

Le secteur de l'approvisionnement énergétique est responsable de près d'un quart des émissions totales de GES. Il comprend les industries impliquées dans l'extraction de l'énergie primaire, celles qui transforment l'approvisionnement en énergie à partir de combustibles primaires en combustibles secondaires, et celles qui sont impliquées dans le transport de l'énergie.

Il comprend les secteurs modernes, tels que la production d'électricité, le raffinage du pétrole, la production d'éthanol, l'exploitation minière du charbon et la production de pétrole, ainsi que les secteurs traditionnels tels que la production de charbon de bois.

**Les mesures d'atténuation dans le secteur de l'approvisionnement en énergie comprennent :**

- l'efficacité de l'usine augmente; le passage à faible teneur en carbone des combustibles;
- réduction des pertes de la transmission et de la distribution de l'électricité et des carburants et
- l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables comme le solaire, l'hydroélectricité, l'océan, le vent,
- la biomasse et l'énergie géothermique.

**Les instruments de marché comprennent**

- les taxes de GES et d'énergie,
- le plafonnement et l'échange de systèmes et des subventions aux énergies renouvelables.
- Les mesures réglementaires consistent en précisant l'utilisation de combustibles sobre en carbone,
- La performance et des normes d'émissions.

**Les mesures hybrides comprennent**

- les permis négociables d'émissions et des normes portefeuille d'énergies renouvelables.

- La recherche, le développement et les activités de démonstration sont également indispensables à l'établissement d'un secteur à faible intensité de carbone d'approvisionnement en énergie.

***LE TRANSPORT***

En 2004, le transport était responsable de 13 pour cent des émissions totales de GES, le pétrole fournit actuellement 95 pour cent des besoins totaux en énergie dans ce secteur.

Le transport routier représente 74 pour cent de la consommation énergétique des transports et des véhicules utilitaires légers représentent à elles seules environ 50 pour cent de tous les transports routiers.

Le transport aérien est le deuxième plus grand émetteur et est responsable d'environ 12 pour cent de la consommation actuelle d'énergie dans le secteur des transports.

Les émissions provenant du transport routier sont le résultat de nombreux facteurs, tels que:

- Activité : la quantité de fonctions de transport entrepris;
- Structure : la scission entre les différentes parts modales (routier, ferroviaire, aérien, aquatique);
- Intensité : l'efficacité avec laquelle l'énergie est utilisée pour compléter les trajets, droits de voyage;
- Carburant : les types de combustibles utilisés pour le transport de puissance.

La croissance de la consommation d'énergie dans le secteur des transports et sa dépendance du pétrole continue est déterminée par les tendances à long terme de la motorisation croissante des systèmes de transport mondiaux et par une demande sans cesse croissante de la mobilité. La croissance des émissions de GES dans le secteur des transports est plus rapide que dans tout autre. En outre, les émissions dues aux transports dans les pays en développement augmentent plus rapidement que dans d'autres régions du monde.

***LE TRANSPORT - MESURES D'ATTENUATION***

Les mesures d'atténuation dans le secteur des transports comprennent des activités pour plus d'efficacité énergétique, tels que des changements dans la conception du véhicule et du moteur (hybrides par exemple), et les sources alternatives de carburant à faible teneur en carbone tels que les biocarburants et le gaz naturel comprimé (GNC). Une stratégie d'atténuation globale dans ce secteur peut également inclure l'expansion des infrastructures de transport public. Des technologies de transports publics comme les autobus et les trains peuvent généralement fonctionner avec des émissions beaucoup plus basses par passager et par km que les voitures ou les avions.
L'amélioration de l'aménagement du territoire (peuplements denses au lieu de l'étalement urbain) est également une option d'atténuation des risques à plus long terme.

***A Berlin, un vélo cargo pour remplacer une voiture : plusieurs berlinois optent pour un geste écologique en utilisant un vélo cargo non électrique comme moyen de transport***

### *LE TRANSPORT - POLITIQUES DE L'ATTENUATION*

Les politiques gouvernementales peuvent inclure une combinaison de programmes marchands, et des mesures réglementaires. Cela inclut une augmentation des taxes sur les carburants, les incitations aux systèmes de transport de masse, et les incitations fiscales et des subventions pour les carburants de remplacement et pour les véhicules alternatifs.
Les instruments réglementaires incluent des normes d'économie de carburant, les mandats sur la conception des véhicules ou les carburants alternatifs, et l'investissement direct par les gouvernements dans l'amélioration des infrastructures, la recherche et le développement.

### *L'INDUSTRIE*

La croissance des émissions de CO2 liées à l'énergie provenant du secteur industriel était de 6,0 Gt de CO2 en 1971 à 9,9 Gt de CO2 en 2004. L'industrie est responsable de près de 20 pour cent des émissions totales de GES.

Depuis 1980, la demande d'énergie industrielle a stagné dans les pays industrialisés, mais continue de croître rapidement dans de nombreux pays en développement, en particulier en Asie.

Bien qu'il y ait un potentiel important pour améliorer l'efficacité énergétique dans toutes les industries, les plus grandes possibilités d'économies sont dans les industries à forte intensité énergétique. Fer et acier, produits chimiques, le raffinage du pétrole, des pâtes et papiers, et le ciment - représentent environ 45 pour cent de la consommation d'énergie industrielle mondiale. Les achats d'énergie représentent une telle fraction importante des coûts de

production dans ces industries que les nouvelles technologies pour la production de matériaux de base ont été plus économes en énergie que les technologies qu'elles remplacent, une tendance qui va probablement se poursuivre.

### *L'INDUSTRIE - MESURES D'ATTENUATION*

Les mesures d'atténuation dans le secteur industriel comprennent les changements de processus pour réduire directement les émissions de CO2, la conception de produits efficaces quant aux matériels, des matériaux de substitution et des produits et le recyclage des matériaux. Dans les industries légères, des options d'atténuation pour réduire les émissions de GES incluent l'éclairage efficace, moteurs à haut rendement et des systèmes d'entraînement, les contrôles de processus, et les économies d'énergie dans le chauffage des locaux.

### *INDUSTRIE-POLITIQUES POUR L'ATTENUATION*

L’introduction de nouvelles réglementations est la méthode la plus directe de l'évolution des comportements industriels. Parmi les options les plus viables pour influencer l'utilisation de l'industrie de l'énergie sont des normes d'efficacité des équipements, des rapports et en ciblant des exigences et la réglementation des services publics pour encourager à la fois la mise en œuvre des programmes de gestion de la demande et l'achat de l'électricité produite par cogénération.

En excluant les sous-équipements standards du marché, les normes d'efficacité des équipements peuvent avoir un impact important dans un court laps de temps. Elles peuvent aussi aider à baisser le prix du matériel plus efficace en augmentant la taille des marchés. Sur la base des systèmes politiques de plafonnement et d'échange et des programmes de compensation, ces normes se sont également avérées efficaces dans le contrôle et l'atténuation des émissions et ont, dans le même temps, favorisé l'innovation et l'investissement dans les nouvelles technologies.

### *L'AGRICULTURE*

Les zones agricoles (par exemple les terres cultivées, prairies gérées et les cultures permanentes, y compris l'agro-foresterie et les cultures bioénergétiques) occupent environ 40 à 50 pour cent de la surface terrestre de la terre. En 2005, l'agriculture représentait 10 à 12 pour cent du total des émissions anthropiques mondiales de GES.

***L'application d'engrais pour les activités agricoles contribue significativement aux émissions de GES***

### *AGRICULTURE - DE L'ATTENUATION ET SÉQUESTRATION*

Les mesures d'atténuation dans le secteur agricole comprennent l'amélioration de la riziculture et l'élevage afin de minimiser les émissions de CH4, diminuant l'utilisation d'engrais artificiel pour minimiser les émissions de N2O et améliorer des méthodes culturales.

Les politiques dans le secteur agricole peuvent inclure des mécanismes de marché tels que des programmes de compensation et de conservation, ainsi que des mesures réglementaires sous la forme de mesures incitatives et de taxes.

### *LA FORESTERIE*

Les émissions liées aux forêts représentaient environ 17 pour cent des émissions mondiales de GES en 2005. Des centaines de millions de ménages dépendent des biens et services fournis par les forêts et il est donc particulièrement important d'évaluer les activités dans le secteur forestier qui visent à atténuer le changement climatique dans le contexte plus large du développement durable et de l'impact sur la communauté

***Les forêts - centre des efforts d'atténuation de nombreux pays africains***

### *FORÊTS – MESURES D'ATTENUATION ET DE SÉQUESTRATION*

Les mesures d'atténuation comprennent le reboisement, la protection des forêts existantes et la substitution de bois combustibles avec d'autres combustibles.

Dans certaines situations, où la production du bois de chauffage n'est pas durable du tout, la substitution des bois combustibles des ménages avec des combustibles fossiles pourrait, paradoxalement, constituer une option d'atténuation.

### *FORÊTS - LES POLITIQUES DE L'ATTENUATION ET SÉQUESTRATION*

Les politiques pour la protection des forêts et le reboisement doivent couvrir un large éventail de domaines et devrait inclure la clarification et la sécurisation foncière pour les petits agriculteurs, l'utilisation de programmes d'incitation tels que la rémunération pour les services de conservation, les mécanismes de marché tels que les programmes de compensation pour les projets de séquestration, et le respect des interdictions de l'exploitation forestière dans les zones protégées.

### *LES DÉCHETS*

Les déchets de la consommation contribuent à moins de 5 pour cent des émissions mondiales de GES, avec un total d'environ 1,3 gigatonnes d'équivalent CO2 en 2005. La gestion des déchets affecte la libération de GES par le biais :

- Les émissions de méthane au cours de la décomposition anaérobie de la matière organique des déchets solides et des eaux usées;
- La réduction de la consommation de combustibles fossiles en utilisant la récupération d'énergie provenant de la combustion des déchets;
- La réduction de la consommation d'énergie et des rejets de gaz de process dans les industries extractives et manufacturières, à la suite de recyclage.
- La séquestration du carbone dans les forêts, causée par une diminution de la demande de papier vierge.

## LES DÉCHETS - MESURES D'ATTENUATION

Les mesures d'atténuation dans le secteur des déchets comprennent la réduction de la source grâce à la prévention des déchets, le recyclage, le compostage, les déchets à l'énergie d'incinération et de CH4, la capture des sites d'enfouissement et des eaux usées.

## LES DÉCHETS - LES POLITIQUES D'ATTENUATION

Les Politiques pour la minimisation des déchets et la réduction des émissions de GES comprennent les taxes sur l'élimination des déchets solides (frais de sac), les incitations du marché (par exemple des compensations) pour la gestion améliorée des déchets et la récupération de CH4, et les normes réglementaires pour l'élimination des déchets et de gestion des eaux usées (par exemple la capture obligatoire des gaz d'enfouissement).

***Les déchets de la consommation contribuent à moins de 5 pour cent des émissions mondiales de GES***