

MÉMO C

Gaz à effet de serre et aérosols au cœur du débat sur le changement climatique



PhotoLink

Le rayonnement solaire se trouve réfléchi vers l'espace par l'air, les nuages blancs, la surface terrestre, notamment les régions arctique et antarctique.

En 1824, Joseph Fourier pressent déjà que les gaz présents dans l'**atmosphère** terrestre contribuent au réchauffement planétaire. On doit ainsi à ce mathématicien la première ébauche de la théorie sur l'**effet de serre**. Néanmoins, il faudra attendre 1860 pour que le physicien irlandais John Tyndall désigne la **vapeur d'eau** et le **dioxyde de carbone (CO₂)** comme principaux responsables de ce phénomène atmosphérique et 1896 pour que le physico-chimiste suédois, Svante Arrhénius, lui donne la description que nous lui connaissons aujourd'hui.

L'effet de serre, un phénomène naturel

C'est du vocabulaire des jardiniers que le phénomène d'effet de serre tire son appellation – les serres étant ces espaces clos aux parois transparentes pour laisser passer et retenir le rayonnement solaire afin d'augmenter la température indispensable aux semis. Dans l'espace, l'essentiel du rayonnement solaire (60 % environ) traverse directement l'atmosphère, transparente malgré la présence de nuages, et vient réchauffer la surface du globe. Ensuite, 28 % de ce rayonnement se trouve réfléchi vers l'espace par l'air, les nuages blancs, la surface terrestre, notamment par ses

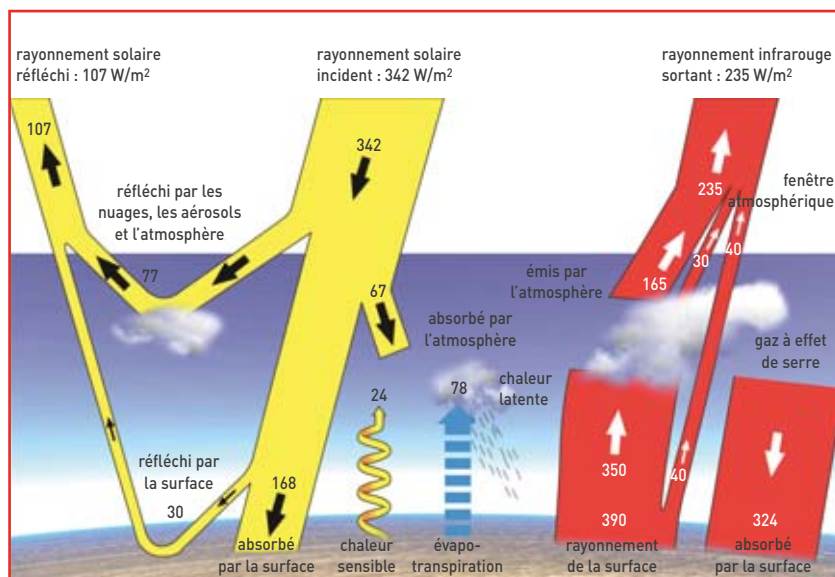


Figure 1. Flux d'énergie au sein du système climatique.

parties les plus blanches comme les régions arctique et antarctique. Ce phénomène porte un nom, il s'agit de l'**albédo**. Quant aux rayons n'ayant pas été réfléchis, environ 20 % d'entre eux seront absorbés par l'atmosphère et 51 % par la surface terrestre qu'ils contribuent à réchauffer. Cette chaleur, la **Terre** ne la conserve pas

entièrement. Elle en restitue une partie à l'atmosphère où la vapeur d'eau, différents gaz, dont le **gaz carbonique**, vont absorber ce rayonnement et former une barrière pour empêcher l'énergie de passer directement de la surface du globe vers l'espace avec deux conséquences. S'en suivra un net réchauffement de l'atmosphère et une

réémission du rayonnement, tous azimuts, et notamment une nouvelle fois vers la Terre (figure 1). Sans ce supplément de chaleur la température planétaire descendrait à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. C'est ce flux d'énergie au sein du système **climatique** que l'on nomme effet de serre. Il s'agit d'un mécanisme naturel et bien réglé puisque l'énergie reçue par la Terre de l'espace équivaut approximativement à celle émise par la Terre vers l'espace. Mais qu'un déséquilibre intervienne et la planète procède à un stockage ou à un déstockage d'énergie source d'un changement de température (figure 2).

Dérèglement artificiel d'un phénomène naturel

La plupart des **gaz à effet de serre** existent à l'état naturel. C'est notamment le cas de la vapeur d'eau, produite par l'évaporation s'effectuant tout au long du cycle de l'eau. Elle entre pour environ 0,4 % dans la composition de l'atmosphère terrestre (avec 0,1 % en Sibérie mais 5 % dans les zones maritimes équatoriales) et se trouve responsable d'approximativement 60 % de l'effet de serre naturel et le CO_2 d'environ 35 %. Si la plupart des gaz à effet de serre s'avèrent d'origine naturelle, en revanche, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montrait, dès 1995, que la progression de leurs émissions découlait d'activités à caractère anthropique. En effet, une croissance démographique sans précédent (la population planétaire est passée de 1,7 milliard à 6 milliards de personnes en 100 ans) doublée par les activités générées par la révolution industrielle, a entraîné un accroissement de la production et de la consommation s'accompagnant forcément de rejets et de pollutions à fort impact sur l'environnement. L'augmentation de la teneur des gaz à effet de serre dans l'atmosphère due à ces rejets figure désormais comme la principale cause du dérèglement contemporain des échanges d'énergie entre la planète et l'espace.

Parmi les gaz contribuant notablement à l'augmentation de l'effet de serre se trouvent :

Le dioxyde de carbone, ou gaz carbonique (CO_2)

Sa concentration dans l'atmosphère a progressé de 31 % entre 1750 et 2006, passant de 280 **ppm** à 381 ppm, et s'accroît au rythme de 0,4 % par an soit une augmentation annuelle moyenne de 1,5 ppm. Les dernières années indiquent une accélération de l'augmentation de CO_2 avec un taux de croissance de 1,9 ppm par an depuis 2000.

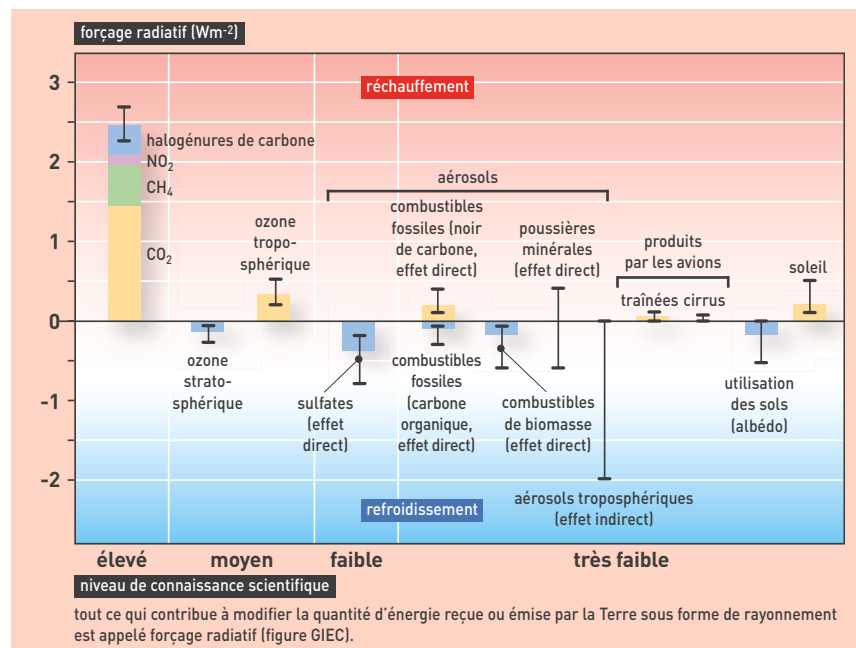


Figure 2. Modifications du **forçage radiatif** entre 1750 et 2000.

Le CO_2 est responsable d'environ 39 % de l'élévation de la température moyenne de la Terre et de 60 % de l'accroissement de l'effet de serre total au cours du dernier siècle. Ces résultats inquiétants s'expliquent par l'incapacité de la **photosynthèse** et des océans à compenser, désormais, les rejets imputables aux activités humaines.

Le méthane (CH_4)

Responsable de 1 % de l'élévation de la température terrestre et de 20 % de l'accroissement de l'effet de serre total, sa concentration atmosphérique est passée de 750 **ppb** en 1750 à 1745 ppb en 1998, soit une augmentation de 150 %. Si environ la moitié des émissions de méthane provient du milieu naturel (les marécages, estuaires par exemple), l'autre moitié découle d'activités humaines (culture en rizières, décharges à l'air libre, digestion des animaux et des humains, extraction des combustibles fossiles...).

L'oxyde nitreux (N_2O)

D'origine naturelle (sols et océans) ou anthropique (engrais azotés, combustion de la **biomasse**, élevage, industrie...), il contribue à augmenter de 17 % l'effet de serre. Sa concentration dans l'atmosphère est passée de 270 ppb en 1750 à 314 ppb en 1998.

L'ozone (O_3)

Produit pour l'essentiel au-dessus de l'équateur, l'ozone diffuse vers les pôles où il s'accumule en proportion variée selon les sai-

sons (les concentrations minimales se situant à la fin de l'hiver) ou les moments de la journée (nuit/jour). Dans l'atmosphère, on retrouve l'ozone à deux niveaux :

- d'abord, dans la **stratosphère** où il forme autour de la Terre une couche protectrice qui filtre une partie des **rayons ultraviolets** émis par le Soleil et ainsi protège la vie sur terre, aussi bien celle des hommes que celle des micro-organismes ou du phytoplancton marin. Cette couche protectrice se trouve aujourd'hui menacée de pollution par les émissions de chlorofluorocarbone (CFC), un gaz très nocif présent dans les pesticides, les cosmétiques, les **aérosols**... à l'origine du "trou" dans la couche d'ozone. En 1998, la production mondiale de CFC s'établissait à 800 000 tonnes, soit une centaine de grammes par habitants. Le "trou" dans la couche d'ozone découle de réactions complexes des rayons ultraviolets sur les CFC ayant pour résultat la formation de **chlore** qui catalyse la destruction de l'ozone avec formation d'oxygène. À titre indicatif, la taille du "trou" dans la couche d'ozone peut atteindre la superficie de l'Amérique du Nord et une profondeur égale à l'altitude de l'Everest;
- ensuite, on trouve l'ozone dans la **troposphère**, c'est-à-dire dans un air proche du sol, et donc respiré par les êtres vivants. Au-delà de certaines concentrations, ce gaz joue le rôle d'un polluant dangereux. Dans les grandes agglomérations, l'ozone provient de la réaction entre des **oxydes d'azote** émis

Suite page 68

MÉMO C

Suite de la page 67



© 1999 EyeWire, Inc.

Les activités générées par la révolution industrielle ont entraîné un accroissement de la production s'accompagnant de rejets et de pollutions à fort impact sur l'environnement.

par les gaz d'échappement des véhicules automobiles ou les **hydrocarbures** imbrûlés avec l'oxygène de l'air. Si les conditions **météorologiques** s'y prêtent (c'est le cas dans les situations **anticycloniques**), l'évacuation de l'ozone se trouve freinée, entraînant des pathologies respiratoires chez les personnes fragiles, d'où les dispositifs de surveillance de l'air.

En résumé, l'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre peut se comparer à celle provoquée par la pose d'un double vitrage dans une serre : si les apports de rayonnements solaires demeurent constants à l'intérieur de la serre, la température s'élève forcément. Bien sûr, tous ces gaz ne possèdent pas le même pouvoir de réchauffement. Ainsi, l'effet d'un kilogramme de méthane sur l'effet de serre s'avère 23 fois supérieur à celui d'un kilogramme de CO_2 . L'écart se calcule au moyen du **Potentiel de réchauffement global (PRG)** auquel le dioxyde de carbone sert de référence (le PRG est le facteur par lequel il faut multiplier la masse d'un gaz pour obtenir une masse de CO_2 produisant un impact équivalent sur l'effet de serre). La durée de vie des gaz à effet de serre dans l'atmosphère varie également : de 12 ans pour le méthane à 100 ans pour le dioxyde de carbone. Parmi les activités anthropiques responsables des concentrations de gaz à effet de serre figurent notamment l'utilisation massive de combustibles fossiles (charbon, produits pétroliers, gaz naturel), la déforestation réalisée au profit des cultures

et des pâturages qui ne peuvent absorber autant de carbone qu'une forêt mature, les rejets croissants de chlorofluorocarbures...

Le cas particulier des aérosols

Il s'agit de fines particules en suspension dans l'atmosphère. D'origine naturelle, elles proviennent de l'océan (sels de mer produits par l'évaporation des embruns, **sulfates** issus de l'**oxydation** de composés soufrés émis par le plancton...) ou des continents (érosion éolienne, suies issues des feux de forêt ou de savane, poussières et sulfates volcaniques...). Facilement transportables par les courants aériens, les

aérosols peuvent se retrouver à de grande distance de leur lieu de production – c'est le cas de particules de sable saharien venues recouvrir des voitures en Europe. Ils peuvent même atteindre la stratosphère, comme ce fut le cas après l'éruption du Pinatubo (Indonésie), où des poussières volcaniques ont séjourné près de trois ans, provoquant une chute de la température planétaire d'un demi-degré pendant deux ans. Mais l'homme, par ses activités, contribue aussi à générer des aérosols. Transports, déboisements, constructions, industrie, agriculture engendrent des poussières. Néanmoins, l'essentiel de la production des aérosols anthropiques provient de l'utilisation des combustibles fossiles et de la biomasse. Leur combustion, en produisant du **gaz sulfureux (SO_2)**, se trouve donc à l'origine des retombées acides et des aérosols de sulfates.

Les effets de ces aérosols agissent à l'opposé de ceux des gaz à effet de serre en arrêtant une partie de l'énergie solaire arrivant sur Terre. S'y ajoutent les incidences indirectes des aérosols sur le **climat**. Ainsi, peuvent-ils servir de noyaux de condensation de la vapeur d'eau dans la formation des nuages avec, à la clef, une concentration qui influera sur la taille des gouttes conditionnant le temps de résidence dans les nuages. Il arrive aussi que, absorbant le rayonnement tellurique, les aérosols échauffent localement l'atmosphère modifiant sa stabilité verticale ou que, par des réactions chimiques complexes, ils influencent la concentration



C. Sherburne/PhotoLink

Les aérosols, fines particules en suspension dans l'atmosphère, proviennent notamment de l'océan, des feux de forêts ou de savane mais aussi des éruptions volcaniques.

de composés à effet de serre. Parfois encore agissent-ils sur la photosynthèse constituant un apport de nutriments essentiels pour le phytoplancton en océan ouvert ou pour la forêt amazonienne.

Les incidences du dérèglement

Selon les **modèles** élaborés par les **climatologues**, la température moyenne de la planète devrait augmenter de 2 °C, au cours du prochain siècle, dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ce réchauffement climatique ne demeurera pas sans incidences pour la planète puisque les études des **paléoclimatologues** démontrent que, dans le passé, une variation de seulement quelques degrés a suffi pour modifier profondément la physionomie terrestre.

Parmi les principales conséquences du réchauffement de la planète, il faudra notamment compter sur une élévation du niveau des mers que les hypothèses moyennes évaluent à 50 cm pour le prochain centenaire. Due à la fonte d'une partie des glaces polaires et au réchauffement des océans, la perte terrestre pourrait atteindre 6 % aux Pays-Bas et 17 % au Bangladesh, menaçant ainsi près de 92 millions de personnes vivant sur les zones côtières. En France, des espaces comme le delta du Rhône en seraient sûrement affectés. À côté de ce changement dans les paysages s'ajoute une sérieuse menace de disette, notamment en Asie du Sud, de l'Est et du Sud-Est, ainsi que dans les régions tropicales d'Amérique latine. Avec des vagues de chaleur plus intenses et plus longues les risques liés à la santé des populations se développeront avec un accroissement prévisible des pathologies cardio-vasculaires ou une transmission accélérée de maladies comme le paludisme, la fièvre jaune, les encéphalites. Quant aux modifications climatiques, les experts penchent pour une forte augmentation des fréquences et de la durée des crues et des sécheresses. Par exemple, en France, en cas d'augmentation de 2 °C de la température moyenne, les précipitations d'hiver progresseraient de 20 % et celles d'été diminueraient de 15 %. La modification des courants marins devrait également jouer un rôle majeur. Ainsi, un ralentissement du *Gulf Stream* dans la zone Nord de l'océan Atlantique pourrait entraîner un fort refroidissement de la température en Europe occidentale alors que la température s'élèverait dans le reste du globe.



Digital Vision Ltd.

Parmi les principales conséquences du réchauffement planétaire, il faudra compter sur une élévation du niveau des mers (estimé à 50 cm) due à la fonte d'une partie des glaces polaires et au réchauffement des océans.

L'action internationale de prévention du changement climatique

L'évolution du climat et de l'environnement global a suscité une réaction internationale et l'organisation de plusieurs conférences. En 1992, la **Convention de Rio de Janeiro**, signée dans le cadre des Nations unies par 183 États et l'Union européenne, a défini une série d'objectifs visant à "stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique" (article 2). En parallèle, cette convention demandait aux pays développés d'adopter des politiques et des mesures pour ramener, individuellement ou conjointement, à leur niveau de 1990, leurs émissions de gaz carboniques et autres gaz à effet de serre.

Mais, en 1997, les États estimeront que les engagements pris à Rio de Janeiro ne s'avéraient pas adéquats. Réunis cette fois à Kyoto, ils décident, non plus de s'engager sur une stabilisation des émissions, mais plutôt sur des objectifs quantifiés et des calendriers de réduction d'émission de gaz à effet de serre : moins 10 % d'ici 2012 soit, pour les pays riches, une réduction de 5,2 % de leurs émissions. Ce résultat a été rendu possible grâce à l'attitude positive de l'Union européenne et à sa volonté d'aboutir à des résultats significatifs. Néanmoins, il s'agit là d'un pourcentage encore bien faible au regard des 25 % d'augmentation des rejets enregistrés depuis 1999, d'autant que les États-Unis n'ont pas ratifié le **protocole de Kyoto** et que des pays en voie de dévelop-

pement, comme la Chine ou l'Inde, augmentent leurs rejets polluants. Depuis, une autre **conférence** s'est tenue à **Buenos Aires** en 1998. Elle a permis de préciser les règles et des lignes directrices ainsi que les dispositions générales prévues par le protocole de Kyoto : mécanismes d'échange, sanctions, élaboration de meilleures pratiques... En parallèle, une **Conférence des parties (COP)** se tient chaque année sur le climat. Celle de 2009 sera organisée à Copenhague. Il s'agit d'une étape importante visant à atteindre un accord mondial sur la réduction du CO₂ pour 2012, date d'expiration du Protocole de Kyoto.

L'exception française

En s'établissant à 1,7 tonne de carbone par an et par habitant, en 1995, la France figure comme l'un des pays développés qui participent le moins à l'effet de serre. Ce résultat tient d'abord à la politique d'économie d'énergie mise en place après le premier choc pétrolier ainsi qu'à l'utilisation du nucléaire pour la production d'électricité. Elle tient également à l'adoption d'un programme national de prévention du changement de climat. Ce programme a prévu une série de mesures tendant à réduire les émissions de gaz carbonique, de méthane et de **protoxyde d'azote** dans des secteurs comme le bâtiment (renforcement de la réglementation thermique), l'industrie (incitations fiscales aux économies d'énergie), transport (disposition pour réduire la consommation énergétique des véhicules).