

Energie Climat

Les énergies renouvelables comparées au piégeage et au stockage du carbone

Une étude, commandée par le gouvernement fédéral allemand, considère que le piégeage et le stockage du carbone émettent dix à quarante fois plus de gaz à effet de serre que les énergies renouvelables, comme le solaire et l'éolien, et qu'ils n'offrent aucune garantie contre la hausse du coût des combustibles fossiles, d'après le [Dr. Mae-Wan Ho](#)

Communiqué de presse d'ISIS en date du 11/07/2008

L'article original en anglais, intitulé [Renewables versus Carbon Capture and Storage](#) est accessible à partir de la base de données de l'ISIS et sur le site suivant prismwebcastnews.com/?p=3242

L'étude commandée par le gouvernement fédéral allemand et dirigée par des chercheurs du Centre Aérospatial Allemand à Stuttgart, traite de la comparaison du **piégeage et du stockage du carbone** par rapport aux technologies de certaines **énergies renouvelables**, en utilisant une **analyse du cycle de vie** et l'évaluation des coûts pour l'Allemagne [1].

Les résultats de cette étude montrent que, par kWh d'électricité produite, le piégeage et le stockage du carbone réduisent les **émissions de CO₂** de 72-90 pour cent et le total des émissions de **gaz à effet de serre** de 65-79 pour cent, en supposant que la technologie fonctionne comme prévu et que le CO₂ ne s'échappe pas du tout à partir des structures géologiques ; toute fuite de CO₂ compromettrait bien entendu le potentiel d'atténuation [du réchauffement planétaire] par le piégeage et le stockage du carbone. Toutefois, le montant net des émissions avec piégeage et stockage du carbone est encore 10 à 40 fois supérieur à la quantité d'émissions à partir des technologies des énergies renouvelables comme l'énergie solaire et l'éolien (voir figures 1 et 2).

[Abréviations utilisées dans les deux figures suivantes. Colonnes de gauche à droite : charbon pulvérisé, lignite pulvérisée, NGCC (en anglais) = CCGN ou cycle combiné au gaz naturel, seule ou avec charbon solide, éolien et solaire thermique.

CCS (en anglais) = PSC ou piégeage et stockage du CO₂. Oxy-fuel : voir sous Définitions et compléments *in fine*.

IGCC (en anglais) = centrale à cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI). Typiquement pour des combustibles solides

Symboles des diagrammes verticaux : fourniture en combustibles, centrales électriques, piégeage et liquéfaction du CO₂, transport et stockage du CO₂.]

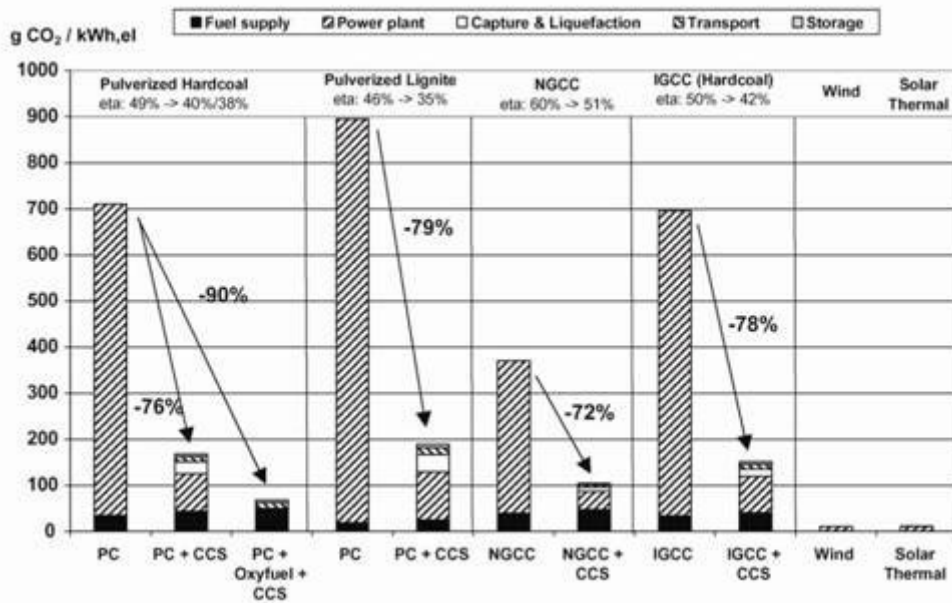


Figure 1. Émissions de CO₂ ou dioxyde de carbone à partir des centrales électriques au charbon et au gaz naturel, équipées ou non avec les techniques de piégeage et de stockage du carbone, en comparaison avec les énergies renouvelables, éolienne et solaire.

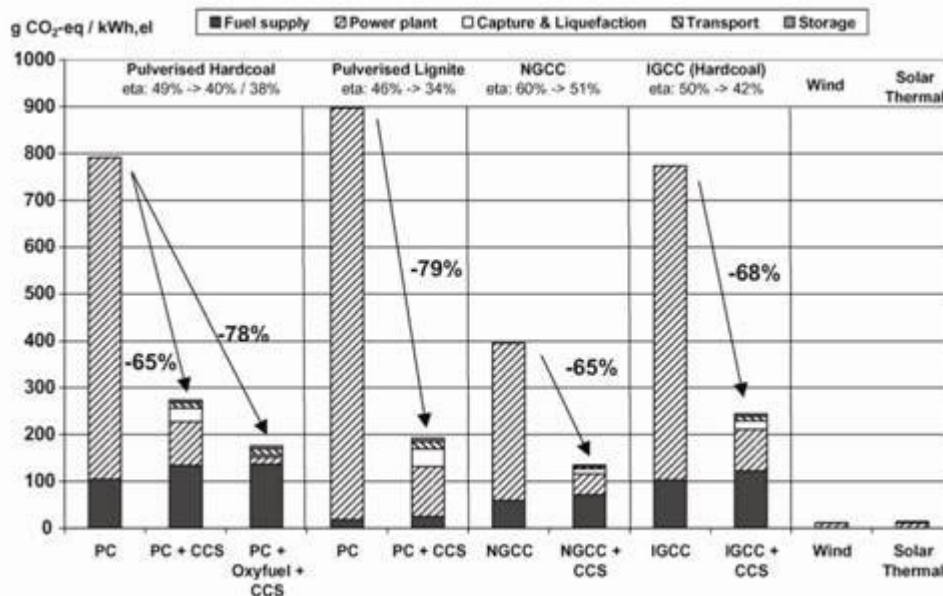


Figure 2. Emissions des gaz à effet de serre à partir des centrales électriques au charbon et au gaz naturel, équipées ou non avec les techniques de piégeage et de stockage du carbone, en comparaison avec les énergies renouvelables, éolienne et solaire

La différence entre les **émissions de CO₂** et les émissions de **gaz à effet de serre** provient du **méthane** qui est libéré lorsque le charbon est exploité et le méthane a un potentiel de réchauffement de la planète environ 20 fois celui du CO₂.

Si les entreprises prennent des mesures pour prévenir les rejets de méthane et le capturer

afin de l'utiliser dans la production combinée de chaleur et d'électricité, l'avantage acquis est l'équivalent à une installation de piégeage et de stockage du carbone pour les centrales électriques à la **lignite**.

En supposant que le piégeage et le stockage du carbone pourraient être installés d'ici à 2020 sur les nouvelles **centrales à cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI)**, ou *IGCC*, et sur les centrales à **gaz naturel à cycle combiné (CCGN)**, ou *NGCC*, les coûts de l'électricité produite seraient à peu près deux fois plus élevés que sans les opérations de piégeage et de stockage du carbone.

Bien que les sources d'énergie renouvelables soient actuellement plus coûteuses, les améliorations technologiques aboutiraient par exemple à un prix de l'électricité éolienne à partir de centrales offshore, à un prix qui serait la moitié du prix obtenus à partir des centrales fonctionnant avec des combustibles fossiles et équipées avec le piégeage et le stockage du carbone. L'avantage de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne, tient au fait qu'elles ne sont pas affectées par l'augmentation des prix des combustibles fossiles.

L'hypothèse selon laquelle la première centrale avec piégeage et du stockage du carbone, exploitée commercialement, sera opérationnelle d'ici à 2020, est incluse dans cette étude parce que l'Allemagne doit faire face au problème qui tient au fait qu'un grand nombre de ses centrales électriques à énergies fossiles auront atteint la fin de leur vie au cours des 15 prochaines années. Par ailleurs, la technologie de piégeage et de stockage du carbone devrait être disponible d'ici à 2020, pour qu'il y ait une chance quelconque de satisfaire à l'objectif de l'atténuation du réchauffement planétaire, par une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Malheureusement, le piégeage et le stockage du carbone doivent encore faire leur preuve et à prouver comme un 'paquet technologique' à mettre en oeuvre. Selon l'organisme **Conseil mondial des entreprises pour le développement durable**, ou en anglais *World Business Council for Sustainable Development*, l'échéance la plus proche pour le déploiement de ces technologies se situerait vers 2030, tandis que le **Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat** ne s'attend pas à ce que le piégeage et le stockage du carbone soient commercialement viables avant la deuxième moitié du présent siècle (voir [2] [Carbon Capture and Storage, A False Solution](#), *SiS* 39).

Lorsque d'autres effets sont pris en compte [1] les technologies du piégeage et du stockage du carbone augmentent les teneurs en **photo-oxydants** (qui endommagent l'ADN), provoquent l'**eutrophisation** (qui détruit la vie aquatique) et l'**acidification** du milieu naturel (qui endommage les arbres et les autres végétaux), ainsi que la toxicité pour l'homme, tous d'environ 40 pour cent.

Références bibliographiques

1. Viebahn P, Nitsch J, Fishedick M, Esken A, Schüwer D, Supersberger N, Zuberbühler U and Edenhofer O. Comparison of carbon capture and storage with renewable energy technologies regarding structural, economic, and ecological aspects in Germany. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2007 (article in press)

2. Ho MW. Carbon capture and storage, a false solution. [Science in Society 39](#)

The Institute of Science in Society, PO Box 51885, London NW2 9DH
telephone: [44 20 8452 2729] [44 20 7272 5636]

[Contact the Institute of Science in Society](#)

MATERIAL ON THIS SITE MAY NOT BE REPRODUCED IN ANY FORM WITHOUT EXPLICIT PERMISSION. FOR PERMISSION, PLEASE CONTACT enquiries@i-sis.org.uk

Définitions et compléments en français :

Pour faire un tour complet sur ce vaste et crucial sujet du réchauffement planétaire, du changement climatique et sur de nombreux aspects des problèmes posés par le tarissement des énergies fossiles et les solutions vraiment durables des énergies renouvelables, on ne peut pas faire l'économie d'une visite du site génial et incontournable de Jean-Marc Jancovici que l'on peut aborder à partir du site suivant :

<http://www.manicore.com/documentation/serre/>

Acidification : augmentation de l'acidité d'un sol, d'un cours d'eau ou de l'air en raison des activités humaines. Ce phénomène peut modifier les équilibres chimiques et biologiques et affecter gravement les écosystèmes. L'augmentation de l'acidité de l'air est principalement due aux émissions de SO₂, NO_x et HCl, lesquels, par oxydation, donnent les acides HNO₃ et H₂SO₄. Les pluies acides qui en résultent ont un PH voisin de 4 à 4,5.

Source : http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/acidification.php4

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'ammoniac (NH₃) émis principalement par les activités agricoles, et dans une moindre mesure par l'industrie.

Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides (pas d'effet tampon).

Quels sont les effets des pluies acides sur l'environnement ?

Outre l'action nocive de la pollution acide sur la santé qui est surtout observée pour les populations fragiles comme les enfants et les personnes âgées ou les personnes souffrant d'affections chroniques respiratoires (bronchites) et cardiaques, les différents compartiments de notre environnement peuvent être affectés par les pluies acides : eau, sol, matériaux et végétaux.

Effet sur les sols

Les pluies acides rendent certains sols acides. On le constate surtout dans les zones montagneuses où les sols sont pauvres comme dans le centre et le sud de l'Allemagne (Bavière) ou certains secteurs des Vosges; Cet effet se traduit par une perte d'éléments minéraux nutritifs pour les arbres et la végétation.

Les sols sableux sont les plus sensibles ; les pluies acides saturent le sol et l'environnement devient trop acide; les plantes et les animaux sont atteints. Sur les sols alcalins (comme le calcaire) l'acidité est en partie neutralisée et l'effet est réduit.

Effet sur l'eau

Les dégâts les plus spectaculaires imputés aux pluies acides sont probablement les dommages subis par les lacs. En Scandinavie et au Canada, peu en France, les pluies sont soupçonnées être à l'origine de leur acidification. Dans les Vosges, on observe une acidification de certains ruisseaux. Cette acidification est progressive. Lorsque le pH diminue, à partir de pH 5,5 mais jusqu'à des valeurs très basses de 4,5 dans certains cas, on observe une modification de la flore et de la faune aquatique avec une raréfaction puis une disparition des poissons les plus recherchés (salmonidés). Le début de l'acidification provoque un corps plus bleu et plus clair de l'eau dû à la déposition sur les fonds des décompositions de matière organique.

Tandis que le montant total de la matière vivante demeure en grande partie inchangé, la diversité des espèces diminue considérablement. Les joncs prospèrent dans les eaux douces acidifiées. La mousse 'Sphagnum Blanche' peut envahir les lacs et former un tapis vert épais sur le fond du lac à cause des eaux plus claires permettant à plus de lumière d'atteindre la mousse. Les animaux aux corps mous tels que les sangsues, les escargots et les écrevisses sont les premières victimes, souvent un des premiers signes du commencement de l'acidification.

Peu d'espèces d'insecte sont très résistantes à l'acidification et les espèces telles que les mouches disparaissent même avec une acidification modérée. Cependant, les espèces telle que les larves de libellule, le coléoptère et les vers de vase peuvent développer une population anormalement grande quand il n'y plus de concurrence. Le saumon, la truite et le gardon sont particulièrement en danger de l'acidification d'eau douce, le brochet et l'anguille étant relativement résistant.

L'acidification des eaux entraîne aussi une dissolution de certains métaux toxiques comme l'aluminium. Lorsque l'acidité de l'eau atteint un certain niveau les plantes et les animaux disparaissent. Seules quelques espèces particulièrement résistantes subsistent.

Les oiseaux peuvent être contaminés à leur tour en particulier lorsqu'ils absorbent les minéraux toxiques en se nourrissant de poissons contaminés. Même les mers sont touchées par les pluies acides comme le montre un rapport récent de la fondation pour la défense de l'environnement aux Etats Unis: les pluies acides nuisent à la faune marine sur la cote atlantique, et New York a déjà souffert de leur effet.

Effet sur les végétaux

De nombreuses forêts sont atteintes par le dépérissement forestier en Europe, en particulier en Allemagne, Autriche, Pologne, Roumanie.

La sensibilité des végétaux aux pluies acides est due à deux phénomènes distincts : il s'agit d'abord d'une perturbation de la photosynthèse à la suite de la décomposition de la chlorophylle. Les feuilles perdent peu à peu leur couleur verte pour prendre des teintes jaune, orangée ou rouge.

Ensuite, l'acidification du sol par les pluies acides modifie l'absorption des sels minéraux et provoque un jaunissement du feuillage qui accentue celui provoqué par une sécheresse. Leur écorce est atteinte et ils deviennent vulnérables aux insectes et aux maladies.

Les espèces les plus touchées sont les conifères et les résineux ; les aiguilles les plus anciennes sont les premières touchées, l'arbre perd peu à peu son feuillage. Si l'acidité persiste, les extrémités des branches sont aussi affectées et l'arbre meurt. C'est à ces caractères très particuliers que l'on reconnaît de loin l'existence de dégâts par pluies acides.

Le dépérissement forestier

Il s'agit d'un phénomène complexe, se traduisant par un affaiblissement général de la vigueur des arbres et des peuplements. Une définition restrictive du terme "dépérissement" serait : "un phénomène qui ne relève pas d'une évolution naturelle des forêts (lié au vieillissement notamment) ou du résultat (même inhabituel) d'un seul facteur naturel". L'usage veut que l'on qualifie de "dépérissement" tout phénomène inhabituel de vitalité des arbres, quelle que soit la cause. La détection univoque et la quantification du "dépérissement" se sont révélées particulièrement difficiles.

De nombreux dépérissements ont été décrits concernant diverses espèces depuis plus de deux siècles en Amérique du Nord et en Allemagne. Historiquement, les dépérissements forestiers étaient attribués aux

anomalies climatiques et aux erreurs sylvicoles. Depuis une vingtaine d'années, les hypothèses sont très orientées vers l'implication de la pollution atmosphérique : polluants gazeux, dépôts atmosphériques acides (acide sulfurique et acide nitrique), dépôts atmosphériques acidifiants (ammonium), stress oxydatif (photo-oxydants comme l'ozone). Aujourd'hui, les scientifiques s'accordent pour dire que les facteurs mis en cause dans ce dépérissement sont essentiellement climatiques et sylvicoles. La pollution n'apparaît pas comme un facteur déclenchant décisif.

C'est au début des années 1970 qu'ont lieu les premières études sur le dépérissement forestier dont les premiers témoins furent les Monts Métallifères (à la frontière de l'ex-Allemagne de l'Est et de l'ex-Tchécoslovaquie). En France, c'est au début des années 80 que débute l'observation du phénomène dans les Vosges au cours de l'été 1983, puis dans les Alpes et le Jura où les dommages semblaient plus diffus (réseau bleu d'observation). Au niveau européen, un réseau de surveillance a été mis en place. Il est constitué de sites d'observation disposés selon un maillage de 16km par 16 km.

Pendant de nombreuses années, les dégâts constatés ont concerné essentiellement les résineux. Aujourd'hui cela ne semble plus être le cas et les feuillus (chênes, hêtres...) sont également touchés. Les symptômes s'observent sur les arbres âgés, mais également sur les sujets jeunes.

Effet sur les animaux

La faune la plus touchée est la faune aquatique qui subit directement les effets de l'acidification des lacs et des cours d'eau (cf effet sur l'eau). Les animaux terrestres ne sont pas attaqués directement car ils ne trouvent pas leur nourriture directement dans le sol mais sont atteints en absorbant des poissons ou de l'herbe contaminée.

Effet sur les matériaux et les constructions urbaines

L'acidification des précipitations entraîne une érosion des surfaces métalliques (cuivre, zinc ...). En Tchécoslovaquie, l'érosion des voies de chemin de fer impose une limitation de la vitesse des trains.

Les pierres sont également atteintes. Elles sont attaquées par la pluie et le vent, mais la présence d'acide dans les pluies accroît considérablement leur effet corrosif. De plus des polluants riches en soufre peuvent se déposer puis se combiner à la pierre calcaire ou au grès et donner une substance friable facilement emportée par l'eau de pluie. On observe la formation d'une croûte en surface qui se décolle laissant apparaître la pierre qui part en poudre.

Malheureusement, la pollution n'épargne pas les monuments historiques. Sur cette photographie, une tête sculptée érodée par l'acidité, rendue quasiment indiscernable, au château de Lincoln, dans le Lincolnshire (Angleterre). Le Parthénon à Athènes (autour duquel la circulation a été interdite), le Colisée à Rome et la plupart des monuments sont d'ores et déjà gravement endommagés par les pluies acides (au sens large, c'est-à-dire les précipitations humides et les dépôts secs).

Source : http://www.emissions-poitou-charentes.org/effet_pluies_acides.htm

Analyse du cycle de vie (aussi appelée « **écobilan** » ou ACV) se base sur la notion de **développement durable** en fournissant un moyen efficace et systématique pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé.

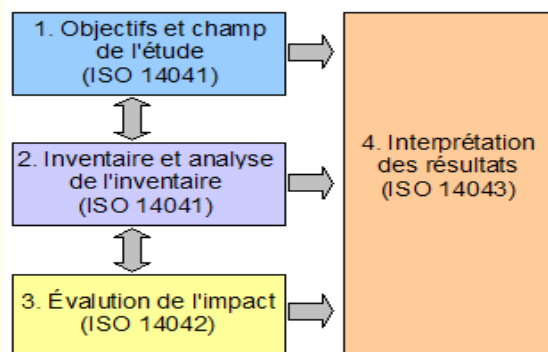
Le but fondamental, suivant la logique de pensée cycle de vie, est de réduire la pression d'un produit sur les ressources et l'**environnement** tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, incinération, recyclage, etc), cycle souvent qualifié de **berceau au tombeau** (« cradle to grave » en anglais). Un effet secondaire est qu'en limitant les besoins en ressources et en **énergie**, la chaîne de valeur du produit peut s'en trouver améliorée.

Cette méthode, apparue dans les années 70, commence à entrer dans les méthodes couramment utilisées en gestion de l'environnement, notamment depuis sa normalisation avec la série des normes ISO 14040 (dans la [série des normes ISO 14000](#) concernant la gestion de l'environnement).

L'analyse du cycle de vie est à la fois : une procédure, c'est-à-dire une suite d'étapes standardisées et un modèle de transformations mathématiques permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels.

Malgré le nom de cette méthode, il est important de comprendre que l'analyse du cycle de vie s'occupe d'étudier la fonction du produit. En effet, en n'étudiant que le produit en lui-même, il deviendrait difficile de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente comme la voiture et le transport en commun dont la fonction commune est de déplacer des personnes.

Méthodologie



Relations entre les différentes étapes du processus d'analyse du cycle de vie selon ISO 14040

L'analyse du cycle de vie est un processus itératif constitué de 4 étapes principales. Le processus est itératif car chaque étape peut amener à revoir les précédentes ; ainsi des difficultés dans l'obtention de données pour l'inventaire peuvent amener à revoir les objectifs et le champ d'étude.

La définition des objectifs et du champ de l'étude

Cette première partie se décompose en plusieurs sous-parties dont la structure est standardisée par la norme [ISO 14041](#).

Définition de l'objectif de l'étude

C'est le premier pas de l'étude. Il vise à définir pour qui (public cible, gouvernement, département d'une entreprise, etc.) et pourquoi l'étude est réalisée. Cet objectif doit refléter la raison qui pousse à cette analyse, par exemple, l'identification des principaux impacts d'un produit, l'amélioration d'un produit existant, le choix d'un produit par rapport à un autre, le choix d'une politique gouvernementale en matière d'environnement, l'établissement d'une planification stratégique, le développement de marketing, etc.

Dépendamment de ces objectifs, les choix réalisés au cours de l'étude pourront varier, de même qu'une partie du processus. Par exemple, une analyse du cycle de vie publiée publiquement doit se passer par une revue des pairs, ce qui n'est pas le cas pour une analyse utilisée à des fins internes.

La fonction joue un rôle central car c'est en la définissant correctement qu'il est possible de comparer des produits entre eux. Une bonne définition de la fonction permet également de définir correctement les frontières du système à l'étude. Exemple de fonction pouvant servir pour de la peinture : *protéger et colorer un mur*.

L'unité fonctionnelle représente une quantification de la fonction. C'est à partir de cette unité qu'il sera possible de comparer des scénarii a priori différents. Comme toute unité, elle se doit d'être précise, mesurable et additive.

Dans le cas de la fonction précédemment proposée, l'unité fonctionnelle peut être de *couvrir 1m² de mur pendant 20 ans*. La fonction et l'unité fonctionnelle ainsi définies sont suffisamment ouvertes pour comparer des peintures entre elles, mais aussi du papier mural dont la fonction est la même.

Paramètres clés

Les paramètres environnementaux clés sont des paramètres qui, pour un produit donné, vont influencer la capacité à rencontrer l'unité fonctionnelle définie. Typiquement entrent en jeu des questions de durée de vie, de nombre d'utilisations possibles, d'efficacité, etc. Pour une peinture, les paramètres clés peuvent être la durée de vie d'une couche de peinture et la quantité de peinture nécessaire pour couvrir adéquatement une surface.

Le flux de référence

Le flux de référence désigne la quantité du produit analysé et de consommables utilisés par ce produit nécessaires pour rencontrer les besoins de l'unité fonctionnelle.

Dans le cas de la protection d'un mur, le flux de référence pourrait être :

* Pour une peinture de bonne qualité (nécessite seulement 2 couches en 20 ans) : 5 kg

* Pour une peinture de moins bonne qualité (nécessite 3 couches en 20 ans) : 7 kg * Pour du papier peint mural (à changer une fois en 20 ans) : 2m² + 100 g de colle...

Les frontières du système

Une fois la fonction et ses attributs clairement définis, il convient de définir les limites du système qui sera étudié et qui permettra de rencontrer les besoins de la fonction.

Comme expliqué plus loin, le système à l'étude est généralement décomposé en processus élémentaires (extraction des matières premières, transport, 1^{re} transformation, etc.) Selon la théorie, chaque processus élémentaire fournissant un intrant pour le produit final devrait être pris en compte. Cependant, pour un système un minimum complexe, cela amène d'innombrables processus élémentaires, certains ayant une contribution quasi-nulle.

Par conséquent, il est généralement admis de définir des frontières pour le système au-delà desquelles la recherche d'information ne s'aventurera pas. Dans ce cas, il est nécessaire d'avoir des données suffisamment précises pour combler le manque. Ainsi, s'il n'est pas nécessaire de prendre en compte tous les processus élémentaires amenant à la production de l'électricité utilisée pour un procédé, il faut en revanche avoir accès à des données d'impact dites agrégées, qui vont quand même permettre de quantifier l'impact de la consommation d'électricité.

Un processus élémentaire dont les données préliminaires montrent que la contribution est infime peut être retiré selon des critères d'exclusion à définir.

Souvent, la définition des frontières sera itérative. En effet, dans un premier temps, il sera possible de construire un arbre des processus élémentaires et de spécifier, a priori, les processus inclus et exclus. Durant les phases suivantes, il sera souvent nécessaire de revenir sur les frontières pour inclure ou exclure des processus, soit parce que des données précises ne sont pas disponibles, soit parce qu'un processus doit être inclus car présentant un impact qu'il faut qualifier plus précisément.

Les étapes générales à considérer sont :

- L'acquisition des matières premières et les sources d'énergie
- Le transport et la distribution
- Les étapes de production

- L'utilisation du produit
- La gestion de la fin de vie (recyclage, destruction, entreposage, revalorisation, etc.)
- La production/vie/fin de vie des infrastructures nécessaires à toutes ces étapes

Il est à noter qu'il existe deux types d'analyses du cycle de vie, dites « d'attribution » et « de conséquence ». Ce dernier type a un effet sur la définition des frontières.

L'analyse de l'inventaire du cycle de vie

L'étape d'inventaire d'analyse du cycle de vie (ICV) consiste à inventorier tous les flux à l'intérieur et à l'extérieur du système à l'étude. Cette étape est normalisée et décrite par la norme [ISO 14041](#).

Deux types de flux sont identifiés dans le cadre d'une analyse du cycle de vie :

* Les flux économiques qui sont les flux de matière, énergie, services, etc. échangés entre les processus élémentaires et avec des systèmes extérieurs.

* Les flux élémentaires qui sont des flux échangés avec l'écosphère (matières premières, déchets remis dans l'environnement et émissions)

L'inventaire et son analyse se fait en 4 étapes :

1. Quantification de tous les flux économiques et élémentaires associés à chaque processus élémentaire : pour chaque étape du système, considéré comme une boîte noire, il faut quantifier tout ce qui entre et tout ce qui sort.
2. Mise à l'échelle des flux économiques et élémentaires : il faut mettre à l'échelle tous les flux identifiés en fonction du flux de référence. Ceci consiste à prendre le flux de référence (la quantité étudiée du produit final) et à remonter de processus élémentaire en processus élémentaire tous les flux élémentaires correspondants.
3. Quantification des émissions et extractions pour chaque processus élémentaire : le but de cette étape est de quantifier tous les éléments qui ont un impact environnemental à chaque étape
4. Agrégation des flux élémentaires : toutes les données pour une source d'impact sont agrégées pour calculer les impacts à l'étape suivante. Par exemple, toutes les émissions de CO₂ de tous les processus élémentaires sont additionnées en une seule valeur.

Evaluation des impacts du cycle de vie

L'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) est une étape importante de l'analyse du cycle de vie et vise à transformer un inventaire de flux en une série d'impacts clairement identifiables.

L'évaluation des impacts est standardisée par la norme [ISO 14042](#) qui stipule que cette étape peut servir pour

- Identifier et aider à classer les opportunités d'amélioration d'un système de produits,
- Caractériser la performance environnementale d'un système de produit,
- Comparer plusieurs systèmes de produits ayant la même fonction,
- Indiquer les points environnementaux nécessitant une action.

Tout comme le reste de l'analyse du cycle de vie, l'évaluation des impacts est fondée sur une unité fonctionnelle.

L'évaluation des impacts du cycle de vie prend comme données d'entrée l'analyse de l'inventaire du cycle de vie, c'est-à-dire une liste de flux entrants (les matières premières, matières transformées, énergies) et sortants (les rejets, déchets, émissions, etc.) agrégés sur l'ensemble du système de produit, à toutes ses étapes de vie.

Ces flux vont être agrégés dans des catégories d'impacts pour ensuite donner des indicateurs de catégorie. Ultimement, il est possible d'arriver à un score environnemental unique, bien que ceci implique une pondération entre les catégories d'impact.

Typologie des méthodes d'évaluation

Il existe plusieurs méthodes pour réaliser une telle évaluation, ces méthodes peuvent se séparer en deux catégories en fonction de leur positionnement sur le continuum de la chaîne des causes à effet.

Les méthodes orientées problèmes

La chaîne de cause à effet pour les problématiques environnementales est assez complexe. On peut généralement distinguer des effets primaires, découlant directement des activités étudiées, comme l'émission de CFC, et les effets secondaire, qui sont en fait les conséquences comme la déplétion de l'ozone stratosphérique, résultant en une augmentation des rayons UV touchant le sol, ce qui cause des problèmes de cataracte et de cancer.

Les méthodes orientés problèmes vont s'attacher à catégoriser les impacts de premier ordre, par exemple l'émission des CFC. Ces méthodes sont également connues sous le nom de méthode "mid-point".

Les méthodes connues sont :

- [EDIP](#) (Danemark)
- [IMPACT 2002+](#) (Suisse)
- [TRACI](#) (États-Unis)
- LUCAS (Canada, en cours de développement)

Les méthodes orientées dommages

Contrairement aux méthodes orientées problèmes, les méthodes orientées dommages vont s'attacher à regrouper les impacts en fonction des résultats, aussi loin que possible dans la chaîne de cause à effet. C'est pour cela que ces méthodes sont également qualifiées de "end-point".

Ces méthodes présentent l'avantage de montrer plus clairement l'impact. Ainsi au lieu de parler d'émissions de gaz de type SACO (comme les CFC), les catégories d'impact vont quantifier l'impact comme le dommage sur la santé humaine (cancers, cataractes, etc.).

Cependant, suivre la chaîne de causes à effet est assez difficile, notamment dans le domaine biologique : les durées sont importantes et la chaîne de causalité pas toujours clairement établie.

Par conséquent, les méthodes orientées problèmes sont souvent préférées, il est toujours possible de dériver les dommages finaux à partir des effets de premier ordre ainsi obtenus.

Exemple de méthode orientées dommages :

- [Eco-Indicator 99](#) (Pays-Bas)
- IMPACT 2002+

Lire la suite sur ce site : http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_du_cycle_de_vie

Centrale à cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI, ou IGCC en anglais) : c'est un type de centrale électrique utilisant des carburants solides tels que le **charbon**. Ces centrales se caractérisent par une opération de gazéification, qui convertit la matière première en un gaz combustible (*gaz de synthèse*) qui alimente une centrale électrique à *cycle combiné*

Principe de fonctionnement.

Le combustible est d'abord réduit en grains, puis injecté dans un gazéificateur, en présence d'*oxygène* et de vapeur d'eau. L'oxygène n'est pas assez abondant pour permettre une combustion complète. Plusieurs réactions ont lieu : combustion partielle (qui notamment donne du *monoxyde de carbone*), *pyrolyse* qui décompose les molécules du combustible, et réaction avec la vapeur d'eau qui produit du monoxyde de carbone et du dihydrogène.

L'oxygène est produit par une unité cryogénique de séparation de l'air. En sortie du gazéificateur, on obtient donc un gaz de synthèse composé notamment de CO, CO₂, H₂, H₂S. Ce gaz est refroidi puis traité, en particulier les poussières sont filtrées, et le soufre retiré par absorption chimique. Les cendres issues du gazéificateur sont elles aussi traitées, ce qui permet notamment de récupérer les métaux lourds.

Ensuite le gaz de synthèse traité est utilisé comme carburant de la centrale à cycle combinés elle-même : une ou plusieurs *turbines à gaz* dont les gaz d'échappement alimentent une chaudière connectée à une *turbine* à vapeur, laquelle récupère aussi de la chaleur issue du refroidissement du gazéificateur.

Bilan énergétique

Voici un exemple de bilan énergétique, celui de la centrale espagnole PIEMSA ¹, tous les chiffres étant ramenés à 100 pour l'énergie du combustible en entrée. Bien entendu, les chiffres exacts changent d'une centrale à l'autre. Cette centrale produit de l'hydrogène en plus de l'électricité, ce qui complique légèrement le bilan. Elle utilise comme combustible un résidu du raffinage du *pétrole*.

* Pouvoir calorifique du combustible en entrée : 100 (*pouvoir calorifique inférieur*).

* Pouvoir calorifique du gaz de synthèse brut : 83.7

* Pouvoir calorifique du syngaz traité envoyé dans les turbines à gaz : 74.4 en alimentation principale, 1 en post-combustion

* Pouvoir calorifique de l'hydrogène produit : 3.2

* Pouvoir calorifique des gaz résiduels du réacteur de production d'hydrogène (envoyés également aux turbines à gaz) : 1.5

* Production d'électricité des deux turbines à gaz : 29.2

* Production d'électricité de la turbine à vapeur : 17.2

* Rendement électrique brut : 46.4 %

Il faut cependant en déduire la consommation propre de la centrale.

* Consommation de l'unité de production d'oxygène : -5.7

* Divers : -1.7.

Ainsi, pour 100 [joules](#) de combustible, la centrale a une production nette de 39 joules d'électricité, et de 3 joules d'hydrogène, soit un rendement global de 42%.

Variantes et améliorations des techniques

Il existe au Japon une centrale de démonstration de 250 MW, à Iwaki, qui utilise une gazéification à air et non à oxygène. Ce choix permet d'éliminer l'unité de production d'oxygène, en contrepartie la présence d'[azote](#) augmente la taille du gazéificateur et dilue le gaz de synthèse, qui a donc un pouvoir calorifique bien moindre.

Selon la conception de la centrale, l'unité de séparation d'oxygène peut être indépendante ou connectée à la turbine à gaz (recevoir d'elle de l'air comprimé et lui restituer l'azote). Plusieurs améliorations sont prévues sur les centrales futures, l'objectif du *Department of energy* américain étant d'arriver à terme à un rendement net de 50% ².

Une première amélioration est l'utilisation d'une séparation d'oxygène basée sur des membranes de séparation des gaz et non sur la [distillation](#) cryogénique. Cette solution consomme moins d'énergie et pourrait selon le DoE améliorer le rendement de 2 points. Le nettoyage du gaz de synthèse chaud permettrait de conserver la chaleur du syngaz jusqu'au turbines et pourrait aussi légèrement améliorer le rendement.

Par ailleurs, toute amélioration portée aux centrales à cycle combiné (sur les turbines à gaz, les chaudières de récupération et les turbines à vapeur) peut également bénéficier à une centrale à gazéification intégrée. S'agissant de la dépollution, la capture du [mercure](#), seul polluant non encore traité, a été installée sur l'une des dernières centrales CCGI construite, à Kingsport (Tennessee). Les émissions de mercure sont réduite de 95 % ³.

Séquestration du CO₂

À terme, le principe de la centrale CCGI peut être adapté pour y intégrer la [séquestration du CO₂](#)⁴. Il s'agit d'ajouter avant la turbine à gaz un réacteur chimique convertissant le monoxyde de carbone en dihydrogène et dioxyde de carbone (réaction du [gaz à l'eau](#)) et un dispositif séparant le CO₂ (qui est expédié vers le site de séquestration) et le dihydrogène qui alimente la centrale à cycle combiné. Le rendement serait diminué de plusieurs points.

Avantages de ces centrales

**** Pour l'environnement***

Contrairement à une centrale au charbon classique, où les polluants comme le soufre sont capturés dans les gaz d'échappement de la chaudière, ici ils sont retirés en amont de la turbine à gaz. Cette dépollution *pre-combustion* est très efficace. De plus une turbine à gaz produit moins d'oxydes d'azotes qu'une chaudière. Ainsi, une centrale à gazéification intégrée a des niveaux d'émission de polluants locaux, tels que les SO₂, NO_x, ozone, mercure, microparticules et composés organiques peut être réduit à des niveaux plus bas que les meilleures centrales à chaudière ³, approchant le niveau d'une centrale au gaz naturel. En revanche, en l'absence de séquestration, les émissions de CO₂ restent identiques à celle de n'importe quelle autre centrale à charbon à rendement égal.

**** Concernant les carburants***

La polyvalence des gazéification et l'efficacité de l'extraction des polluants permet d'utiliser une grande variété de combustibles : [charbons](#) et [lignites](#) de différentes qualités, résidus du raffinage du pétrole ([coke de pétrole](#), [asphalte](#)...), [biomasse](#), etc.

**** Multiproduction de ces centrales***

Le gaz de synthèse est une matière première pétrochimique. Il est ainsi possible d'associer à la production d'électricité différents produits auxiliaires, tels que l'hydrogène, le [méthanol](#), l'[éthylène](#). Ces produits sont généralement fabriqués à partir de gaz naturel.

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_combin%C3%A9_%C3%A0_gaz%C3%A9ification_int%C3%A9gr%C3%A9e

Cycle combiné au gaz naturel : une centrale à cycle combiné représente le nec plus ultra technologique en matière de production d'électricité à partir de ressources fossiles. Avec, à la clé, une efficacité énergétique nettement améliorée.

*** Une production d'électricité en deux étapes**

La centrale à cycle combiné utilise le gaz naturel comme combustible dans un système de production en deux étapes. Une première turbine et un premier alternateur sont mis en mouvement suite à la combustion de gaz naturel. La chaleur des gaz d'échappement de la première turbine est récupérée pour produire de la vapeur qui actionne une seconde turbine et un second alternateur.

Transformer l'eau en vapeur

On peut toutefois en récupérer une bonne partie en ajoutant une deuxième étape au procédé. Les gaz d'échappement sont en effet suffisamment chauds (leur température est d'environ 500°C), pour transformer de l'eau en vapeur. Celle-ci sert à actionner une seconde turbine, appelée turbine à vapeur qui, à son tour, produit du courant électrique. La «combinaison» de ces deux cycles augmente le rendement de la centrale qui se situe aux alentours de 58 %.

Conçue sur ce principe et alimentée au gaz naturel, la future centrale de Chavalon, d'une puissance de quelque 400 MW, devrait produire chaque année 2,2 milliards de kilowattheures (2,2 TWh) d'électricité, contre 1,65 TWh pour l'ancienne usine. Un tiers de plus pour un tiers de combustible en moins.

Source : http://www.eos.ch/home/energie/projets/chavalon/eos-energie-projets-chavalon-centrale_a_cycle_combine.htm

Conseil mondial des affaires (ou des entreprises) pour le développement durable (en anglais *WBCSD* ou *World Business Council for Sustainable Development*). Le WBCSD est un groupement de 175 entreprises internationales œuvrant pour le développement durable par la croissance économique, l'équilibre écologique et le progrès social. Le programme de renforcement des capacités du conseil aide les membres à mettre en œuvre des politiques et des pratiques de développement durable. Il fait accroître ainsi la valeur du capital humain.

Site Internet : [Conseil mondial des affaires pour le développement durable \(WBCSD\)](#)

Émissions de CO₂ ou rejets de CO₂ : les rejets de CO₂ ([dioxyde de carbone](#)) (Wikipedia) sont une partie du problème du [pic pétrolier](#) (Océocène). En effet, la combustion (chimiquement parlant : le carbone s'allie à l'oxygène de l'air pour former du dioxyde de carbone, en dégageant de l'énergie) des ressources fossiles produit du dioxyde de carbone.

Le pétrole, le gaz et le charbon sont les principaux créateurs de dioxyde de carbone, mais contrairement aux idées reçues, le nucléaire produit aussi des rejets de CO₂ - certes moindre, principalement dans la production et le retraitement du combustible.

L'ampleur de la bavure

Vu les quantités d'énergie fossile consommées, il n'est pas surprenant que les quantités de CO₂ produites soient considérables (voir "Quelques chiffres" ci-dessous)...Il s'avère pourtant que ces rejets de carbone (cf [Gaz à Effet de Serre ou GES](#) (Wikipedia)) dans l'atmosphère ne soient pas complètement neutres, puisqu'ils sont désormais désignés comme la principale cause du [Le problème du réchauffement climatique](#). (Oligocène)

La rapide émergence économique de pays comme la [Chine](#) ou l'[Inde](#) nous rapproche plus vite que prévu (jadis) des pics de production (donc de consommation) des énergies fossiles. Cela augmente donc mécaniquement d'autant les rejets de CO₂.

Quelques lueurs d'espoir

Cet état de chose a fait prendre conscience à nos dirigeants de la nécessité d'oeuvrer pour limiter ces rejets. De cette idée est né [le protocole de Kyoto](#) (Wikipedia). Malheureusement cette initiative heureuse n'a pas reçu l'acceptation du gouvernement fédéral US (voir Wikipedia). Ce qui le rend d'autant plus fragile lorsque l'on sait que les premiers producteurs de GES (toutes catégories confondues) sont les USA...

Les USA ont pris la tête d'une coalition de pays hétéroclites pour essayer d'imposer leurs vues sur la question, alors qu'aux USA même certains états (républicains de surcroît !) se sont rassemblés pour réduire les effets de serre : [voluntary markets](#) (evomarkets.com)

Le protocole de Kyoto a été largement critiqué de tous côtés. Par les uns pour ne pas aller assez loin. Par les autres pour imposer des contraintes inacceptables. Bref c'est déjà un miracle s'il a vu le jour et qu'il ait été ratifié par 141 pays représentant 65% de la population mondiale et un rejet de 62% de CO₂. Enfin les trois mécanismes du protocole du mécanisme de développement propre (MDP) qui ont été ont été mis en place.:

- permis d'émission et le Plan National d'Affectation des Quotas correspondant
- mise en œuvre conjointe (MOC)
- mécanisme de développement propre (MDP)

Voir les liens:

* [Mise en oeuvre du protocole de Kyoto](#) (gouv.fr)

* [Plan National d'Affectation des Quotas](#) (gouv.fr)

D'autres idées comme les [pièges à carbone](#) (Wikipedia) ou la reforestation sont régulièrement évoquées pour diminuer l'effet des rejets de CO₂. Ces idées sont cependant largement critiquées et sont très loin de faire l'unanimité.

- [La culture en semis directs sous couverts végétaux](#) (cirad.fr) semble en revanche un moyen assez prometteur de séquestrer une grande partie du carbone atmosphérique en excès, de par les quantités de carbone potentiellement séquestrables, le coût extrêmement faible de cette méthode, et les capacités de mise en oeuvre très rapides et à grande échelle. Par ailleurs d'un point de vue agronomique ces techniques permettent une économie de carburants, d'eau et d'engrais de synthèse par rapport aux méthodes classiques, et permettent d'augmenter la fertilité des sols.

Quelques chiffres

- le CO₂ anthropique est responsable de 55% de l'effet de serre dû aux activités humaines

- Rejets annuels mondiaux de CO₂ dans l'atmosphère: **23 Mrd de Tonnes** - une tonne de CO₂ occupe un volume de 545 m³

- Actuellement la concentration de Co₂ dans l'atmosphère est de l'ordre de **380 ppm** (partie par million) (manicore.com). Alors qu'en 1750 on se situait plutôt aux alentours de **280 ppm**.

- Augmentation moyenne annuelle de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère: **1,5 ppm**.

- Réchauffement climatique: **0,11 °C par an**

- Fixations et rejets de carbone: [Forum Oléocène](#)

1. Bilan net de fixation du CO₂ de la biosphère terrestre (80% de biomasse par les forêts) : 1.5 GT C/an 2. Bilan net de fixation du CO₂ par les océans : 2 GT C/an 3. Bilan net de déstockage du CO₂ par la combustion fossile : 5.5 GT C/an 4. Bilan net de déstockage du CO₂ par la déforestation : 1.4 GT C/an

- Un lien sur les rejets de Co₂ de l'agriculture, des voitures et d'autres moyens de locomotion (l'avion) plein de chiffres: [Un tpe sur le Co2](#) (environnement actif.free.fr). La conclusion est nettement plus contestable. Même si les consommations et les rejets de Co₂ de l'aviation sont assez faibles dans l'absolu, le problème est essentiellement la distance parcourue (qui multiplie d'une façon démente les rejets) et les voitures vides (1,2 passagers en moyenne: une catastrophe!)

Une étude de cas (sur [Forum Oléocène](#)): quels sont les rejets de CO₂ émis par le chauffage ? Voici donc les résultats (jusqu'à nouvel ordre) finaux : "un radiateur électrique d'un kilowatt génère chaque heure 180 grammes de gaz carbonique dans l'atmosphère (**180 g/kWh**), l'équivalent de ce que crache une grosse berline pendant un kilomètre. C'est bien évidemment moins que le chauffage au gaz (**230 g de CO₂/kWh**), au fioul (**300 g/kWh**) ou au charbon (**395 g/kWh**)"

Le CO₂ issu de la combustion du [bois de chauffage](#) (Oléocène) est considéré de contribution nulle car il a été précédemment extrait de l'air pendant la croissance de l'arbre. ... Et l'avenir dans tout ça ? Hum. Il apparaît un peu sombre bien sûr. Les rejets se poursuivent à des volumes titanesques (voir chiffre...) et peu de lumières dans le tunnel... Néanmoins quelques idées se font jour:

* *Les pièges à carbone*

- voir l'article de wikipédia sur le [stockage géologique du CO₂](#)

- Selon le [BRGM](#), il serait possible de stocker plusieurs milliards de tonnes de CO₂ rien que dans le Bassin Parisien (mais à quel coût ?)

- [Séquestration du Co₂, ça marche vraiment ?](#) (Forum oléocène)

* **Les taxations** pour augmenter (artificiellement, mais continuellement) le prix des carburants et réduire la consommation: Jancovici en est un des principal argumentateur dans son livre "le plein s'il vous plait": (largement commenté sur Oléocène)

- [Le plein s'il vous plait](#) (Forum Oléocène)

* **La généralisation des bourses de Co₂**: (ce sont les anglais qui mènent la danse):

- [Tradable Energy Quotas](#) (teqs.net)

- [BBC: Personal carbon quotas considered](#) (bbc.co.uk)

- [Haut & Fort. Réchauffement climatique](http://hautetfort.com) (hautetfort.com)

Source : http://wiki.oleocene.org/index.php/Les_rejets_de_Co2

Centrale thermique fonctionnant au charbon en Allemagne.

Les **rejets de dioxyde de carbone** ont deux origines, naturelle, et anthropique, la seconde étant en régulière et en forte croissance depuis quelques décennies (Voir [IPCC](#)). Le taux actuel moyen de l'air oscille autour de 0,038% avec quelques variations jour-nuit, saisonnières ppm (pour partie anthropique) et des pics de pollution ¹. Les rejets annuels anthropiques augmentent chaque année: en 1990, 7 [Gt](#)/an de carbone sont émis ; pour 2000-2006, 10 [Gt](#)/an de carbone sont émis (37% de plus)².

La combustion d'1 kg de [fuel](#) ou d'[essence](#) génère 3,14 kg de [CO₂](#)³.

Émissions de CO₂

Types d'émission - On distingue :

* [Les émissions anthropiques](#) ; ce sont les chauffages, véhicules, unités d'incinération et différents types de combustion ou fermentation. Les moteurs et unités de combustion normaux émettent des effluents gazeux (cheminées, pots d'échappement, réacteurs d'avions..) contenant en moyenne 20 % de CO₂, lequel se dilue rapidement dans l'air, sauf dans certaines zones confinées (garage..). Ce CO₂ pourrait par ailleurs agir sur la santé et l'environnement en [synergie](#) avec d'autres polluants ; NO_x et certaines micro et nanoparticules notamment). A ceci il faut ajouter l'expiration de plus de six milliards d'habitants, qui correspond en fait à un très faible pourcentage du total).

* [Les émissions naturelles](#), qui sont d'origine [volcanique](#), ou liée aux [incendies](#) de forêts, ou plus largement à la [respiration](#) animale et végétale et à celle des organismes du sol (fonge, bactéries, protozoaires..). Ce CO₂ représente la plus grande part, et il ne pose normalement pas de problème majeur de [toxicité](#), hormis dans quelques cas très particuliers (accumulation de poche de CO₂ dans des creux, par exemple lors d'émissions brutales, d'origine géologique, de CO₂ issus d'un dégazage brutal de gaz piégé sous les sédiments de fonds de lacs africains ; dans ce cas des centaines de milliers d'animaux et des centaines d'humains peuvent mourir asphyxiés dans les vallées périphériques)

Selon un rapport de la [SNCF](#) présenté en septembre 2007, les émissions de CO₂ en France, dont les transports sont responsables, sont dus à 52 % aux automobiles, à 25,2 % aux poids lourds, à 2,7 % aux avions et à 0,5 % aux trains. Sa présidente, [Anne-Marie Idrac](#), propose de faire financer les réseaux ferrés par de nouvelles taxes sur les autoroutes non-payantes et les voies rapides (10 cts d'euros au kilomètre), une augmentation de 25 % des péages des autoroutes pour le franchissement des Pyrénées et des Alpes, et par l'instauration d'une taxe européenne sur le [kérosène](#) utilisé par les avions.

Toxicologie, écotoxicologie

Outre le fait que les émissions de CO₂ s'accompagnent généralement d'émissions de suies, de fumées, de métaux lourds, et d'autres polluants ayant des effets sur la plupart des organismes vivants, les [nanoparticules](#) ont des effets encore très mal étudiés, mais qui semblent pouvoir être non négligeables.

Chez l'animal à sang chaud : Le CO₂, à la différence du monoxyde de carbone, n'est pas un toxique à faible dose, mais il tue par asphyxie à partir d'un certain seuil et d'une certaine durée d'exposition. Ses propriétés chimiques le rendent capable de rapidement traverser de nombreux types de membranes biologiques (il est

environ 20 fois plus soluble dans les liquides biologiques de l'organisme humain que l'oxygène). C'est pourquoi il produit de rapides effets sur le [système nerveux central](#) ;

Chez l'homme, le CO₂ est un toxique pour l'Homme à des doses relativement faibles et pour des temps d'exposition de quelques minutes seulement^{4,5,6}. 1000 ppm (0,1%) est la valeur maximale admise pour le dimensionnement des systèmes de conditionnement de l'air, à l'intérieur des bâtiments et maisons d'habitation.

- à partir de 0,1 %, (1000 [ppm](#)), le CO₂ devient un des facteur d'asthme ou du syndrome des bâtiments.

- Au dessus de 0,5% (5000 ppm), la valeur maximale d'exposition professionnelle retenue dans la plupart des pays, et la valeur maximale admise pour le dimensionnement des appareillages d'air conditionné dans les avions sont dépassées.

- trois fois ce taux (1,5%, ou 15000 ppm) est la valeur maximale d'exposition professionnelle sur une durée maximale de 10 minutes.

- Au delà de 4% de CO₂ dans l'air (40000 ppm) le seuil des effets irréversibles sur la santé est atteint (c'est le seuil qui justifie une évacuation immédiate de locaux). A partir de 10% et d'une exposition dépassant 10 minutes, sans une action médicale de réanimation, c'est la mort.

Notre système respiratoire et circulatoire est très sensible au CO₂ : Une augmentation minime de la concentration en CO₂ de l'air inspiré accélère quasi-immédiatement le débit respiratoire qui est normalement de 7 litres/minute (sous 0,03% de CO₂ dans l'air inspiré), et qui passe à 26 litres/minutes (pour 5% de CO₂ dans l'air inspiré).

Chez le végétal : à faible dose, le CO₂ favorise dans un premier temps la croissance, mais des expériences en serre, et dans un environnement naturel enrichi en CO₂ ont montré que ceci n'était valable que jusqu'à un certain seuil, au delà duquel la croissance restait stable ou au contraire diminuait. Ce seuil varie selon les espèces végétales considérées. On ignore de même si cet effet est durable ; Après quelques années, des phénomènes d'acidification environnementale pourraient éventuellement agir en sens inverse..

Les écologues et les spécialistes de la chimie de l'atmosphère ont confirmé dans les [années 1990](#) que l'excès de [dioxyde de carbone](#) (CO₂) était une forme de [pollution](#). Le CO₂ répond à deux définitions officielles du polluant (altéragène chimique⁷) et du polluant de l'air (substance introduite directement ou indirectement par l'homme dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement dans son ensemble ⁸).

Le CO₂ est un [gaz à effet de serre](#), qui augmente l'[effet de serre](#) et donc agit dans le processus de [réchauffement climatique](#). Il contribue aux phénomènes de [pluies acides](#) et d'[Acidification de l'océan](#).

Sources anthropiques et effet de serre

Les moyens de transport utilisant des hydrocarbures (voitures, camions, avions, fret, navires) forment une source importante ⁹ d'émission de CO₂. Les feux de forêt en sont la principale source naturelle.

De fait l'effet des activités humaines sur le réchauffement climatique général de notre planète commence à être bien connu grâce à de nombreuses études, mais son impact sur l'acidification des milieux marins l'est beaucoup moins car cela ne fait que quelques années que les chercheurs s'y intéressent.

Selon le [New York Times](#), « La Chine va supplanter les États-Unis en tant que premier émetteur de CO₂ d'ici à 2009 »¹⁰, notamment à cause de la multiplication des centrales électriques fonctionnant avec du charbon. Cependant elle est aussi le pays le plus peuplé du monde et son taux d'émission de CO₂ par habitant est loin derrière celui des États-Unis, du Canada, de l'Australie, du Pays-Bas ainsi que de la Russie et de l'Allemagne.

Conséquences des rejets dans le milieu marin

L'ensemble des océans absorberait un tiers des émissions humaines de CO₂. Sont ainsi passés dans le milieu marin 9 milliards de tonnes de CO₂ en 2004, et depuis le début de l'ère industrielle, un total de 120 milliards de tonnes de CO₂ issues de la combustion des carburants fossiles.

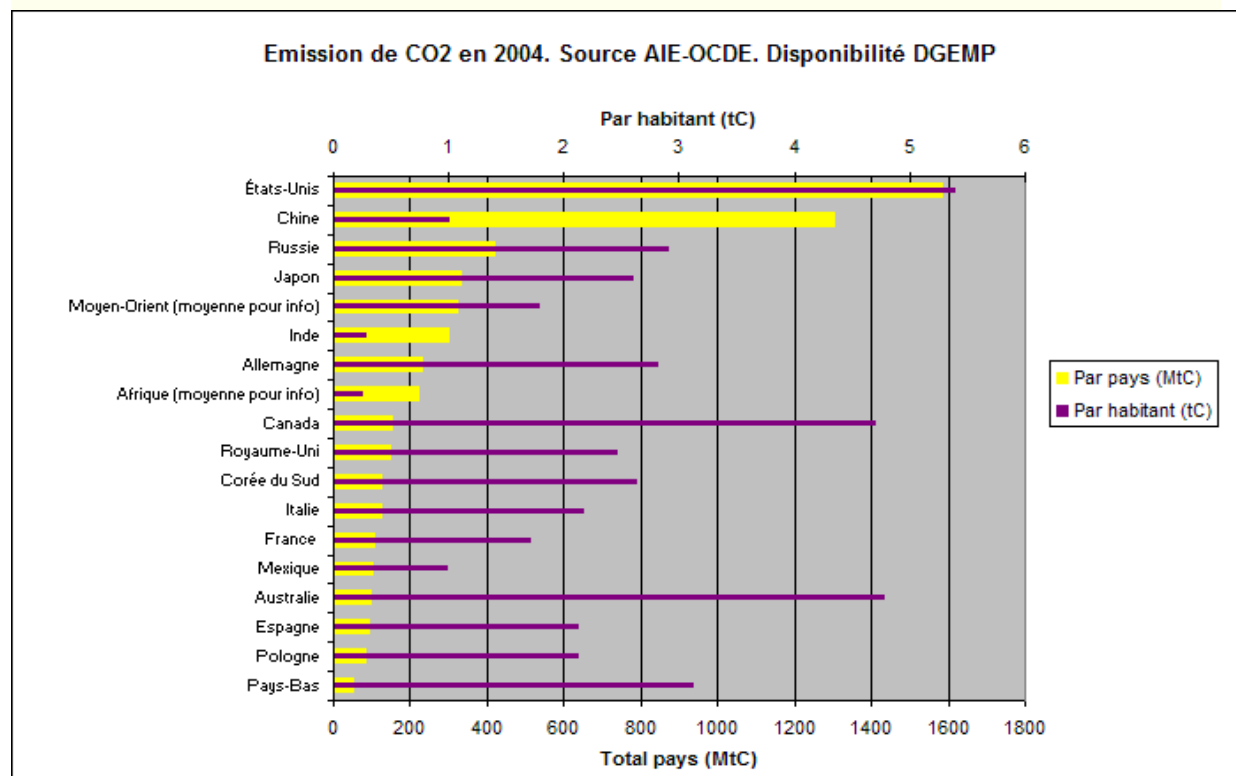
L'apport massif de CO₂ dans les océans entraîne une diminution du pH des eaux les rendant plus acides, diminuant la concentration en carbonate, et affectant l'écosystème marin car c'est l'un des composants essentiels dans la fabrication du [carbonate de calcium](#) utilisé par les [crustacés](#) et les [mollusques](#) pour fabriquer leur [exosquelette](#) calcaire. Cette diminution pourrait selon divers spécialistes varier de 5 à 50% d'ici la fin du [XXI^e siècle](#).

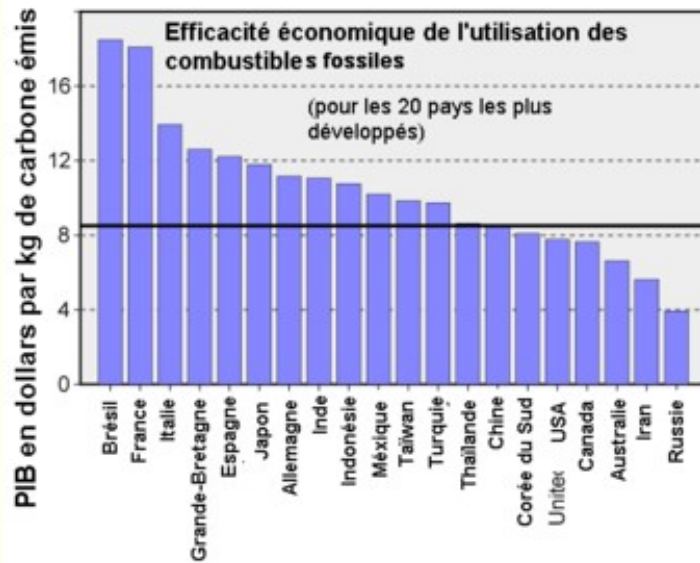
Le [pH](#) moyen est passé de 8,2 unités au début de l'ère industrielle à 8,1 unités aujourd'hui ce qui correspond sur une [échelle logarithmique](#) à une hausse de l'acidité de 26%. Une diminution supplémentaire de 0,5 unité correspondrait à un doublement de l'acidité.

L'acidification des mers a un effet immédiat sur diverses espèces. Pour les coraux, c'est le blanchiment lié à une diminution de la [calcification](#), mais c'est aussi dans l'océan Atlantique Nord l'explosion des [cocolithophores](#) sous l'effet de la lumière au printemps du fait d'une pression plus élevée en CO₂. Plus grave, l'acidification a un effet plus important en eaux froides que dans les mers chaudes; dans la situation la plus pessimiste, d'ici la fin du siècle la calcification pourrait devenir impossible dans l'[océan Austral](#) et sur les côtes de l'[Antarctique](#), rendant impossible la fabrication de l'[aragonite](#), une forme de calcaire que l'on trouve dans la coquille des [ptéropodes](#), or ceux-ci constituent la base de l'alimentation du [zooplancton](#), lui-même base de l'alimentation de nombreux poissons et mammifères marins.

Une des conséquences du [réchauffement climatique](#) pourrait être l'arrêt (ou le ralentissement) de la circulation des océans. Si les courants océaniques s'arrêtent, les couches d'eau superficielles vont se saturer en CO₂ et ne vont plus en capter comme aujourd'hui. Pire : la quantité de CO₂ que peut absorber un litre d'eau diminue à mesure que l'eau se réchauffe. Ainsi, du CO₂ pourrait être relâché si les océans ne circulent plus comme aujourd'hui. Cependant, l'hypothèse d'un arrêt de certains courants marins est considérée comme "très improbable" dans le rapport 2007 des experts du [GIEC](#)

Rejets de CO₂ par pays





États-Unis

Plusieurs facteurs expliquent l'importance des rejets de CO₂ des États-Unis :

- * Le pays est immense : troisième pays du monde par la superficie, les États-Unis sont grands comme le continent européen. Cela entraîne une consommation d'énergie importante par les transports. Les transports quotidiens de passager se fondent sur l'automobile ; le train est réservé aux marchandises. L'étalement urbain entraîne également une surconsommation de carburant.
- * Le pays est très peuplé (le troisième du monde derrière la Chine et l'Inde) et dispose d'un haut niveau de vie.
- * Des climats difficiles : en hiver, le nord-est connaît une baisse importante des températures ; en été, c'est la canicule qui touche cette région. Les déserts de l'ouest sont relativement peuplés (agglomérations de Phoenix, Las Vegas, ...). Les Américains utilisent la climatisation qui accroît la dépense d'énergie. Que l'hiver soit moins rigoureux, et la production de gaz à effet de serre diminue comme on a pu le constater pour l'hiver 2006 : selon l'[Agence d'information sur l'énergie](#), les rejets de CO₂ américains ont chuté de 1,3% en 2006¹¹.
- * La première puissance économique du monde : le pays produit près d'un quart de toutes les richesses de la planète.

Chine

Le développement industriel et urbain rapide de la Chine provoque une augmentation de la pollution atmosphérique, en particulier dans les grandes agglomérations du pays. La Chine devrait devenir le plus gros émetteur de dioxyde de carbone d'ici à 2007-2009^{12,13,14}.

Les émissions de dioxyde de carbone devraient passer de 5,6 milliards de tonnes en 2006 à 6,02 cette année, ce qui représente environ 22 % du total mondial¹⁵.

* Cette augmentation est aussi liée au fait que c'est le pays le plus peuplé au monde (environ 1 350 000 000 d'habitants, soit quatre fois plus que les États-Unis d'Amérique). Elle devrait être aussi le premier exportateur mondial d'ici 2010. La Chine est parfois considérée comme "l'usine du monde".

* Son niveau de vie s'améliore de plus en plus à une vitesse supérieure à celle des États-Unis et des autres pays du monde.

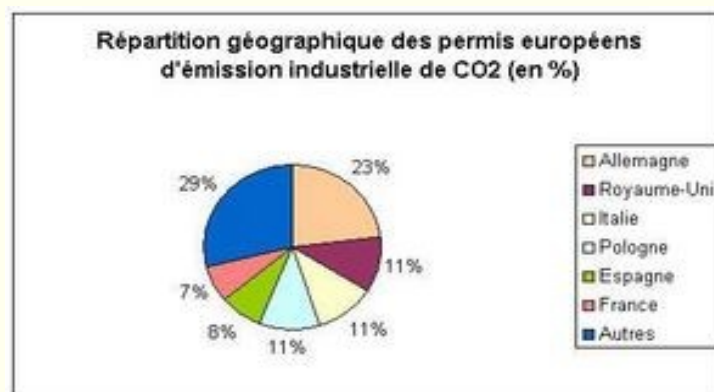
La Chine est aussi un pays en voie de développement. Elle estime (parmi d'autres pays) que ce sont les pays développés qui doivent agir en priorité car ils ont une responsabilité historique sur l'augmentation actuelle des concentrations de gaz à effet de serre (voir [Protocole de Kyōto](#))

Surveillance des émissions

Plusieurs pays (USA notamment) surveillent leur taux de CO₂. C'est rarement le cas en Europe. Le taux de CO₂, comme celui du dioxygène ne sont pas mesurés par les réseaux d'alerte et de mesure, dont les capteurs sont par ailleurs généralement placés en hauteur pour échapper au vandalisme. En France, la [loi sur l'air de 1996](#) n'a pas prévu la surveillance des niveaux de dioxyde de carbone. Quelques mesures ponctuelles sont faites (Paris, Bordeaux et Arcachon où des pics importants de pollution par le CO₂ ont été mesurés en 2004) (source : voir liens externes).

Protocole de Kyōto

En [1999](#), le [Protocole de Kyōto](#) aujourd'hui signé par une majorité de pays a établi un calendrier de réduction des émissions de ce gaz.



Depuis le [24 juin 2005](#), la France s'est, à la suite d'autres pays, dotée d'une place d'échanges de permis d'émission de gaz à effet de serre.

Neutralité carbone

Le [21 février 2008](#), cinq pays — [Costa Rica](#), [Islande](#), [Monaco](#), [Norvège](#) et [Nouvelle-Zélande](#) — se sont engagés à orienter leur économie vers une [neutralité carbone](#) en réduisant fortement leurs rejets de CO₂.¹⁶ Le Costa Rica est à l'origine de cette initiative, reprise par le [Programme des Nations unies pour l'environnement](#). Les pays signataires s'engagent à devenir « climatiquement neutre » d'ici [2021](#).

Émission de CO₂ par les véhicules

Le transport occupe une place importante dans la part des émissions de CO₂. Aussi, en France, l'état a mis en place plusieurs mesure afin de pousser l'achat de véhicules propres. Déjà, dès 1998, la formule de calcul de la puissance fiscale d'un véhicule avait été modifiée afin de prendre en compte les émissions de CO₂. Actuellement, une surtaxe CO₂ sur les véhicules d'occasion et un bonus/malus écologique à l'achat de véhicules neufs sont en place.

Surtaxe CO₂ pour les véhicules polluants

Cette taxe s'applique à tous les véhicules particuliers (genre VP) mis en circulation depuis le 1er juin 2004. Début 2008, il convient de noter que l'éco-pastille se substitue à la taxe CO₂ à l'immatriculation (qui reste toutefois en vigueur pour les véhicules d'occasion).

Pour les voitures particulières faisant l'objet d'une réception communautaire, c'est-à-dire des véhicules homologués suivant une procédure notifiée dans la Directive Européenne 70/156/CEE, le propriétaire du véhicule devra s'acquitter d'une majoration de 2€ par gramme de CO₂ rejeté si son véhicule émet entre 200 et 250grs de CO₂ par kilomètre et de 4€ par gramme au-delà.

Bonus/Malus écologique CO₂ en France

Cette mesure vise à encourager l'achat de véhicules émettant moins de CO₂. Elle se base sur la nouvelle étiquette énergie classifiant les véhicules suivant leurs émissions de CO₂/Km. En clair, les voitures consommant la moins, étiquetées A et B (moins de 120 g/km) auraient un "bonus". Les voitures étiquetées C (121 à 140 g/km) seraient "neutres" (ni bonus, ni malus). Ainsi, à partir du 1er janvier 2008, l'achat d'une voiture neuve trop gourmande en carburant entraînera une taxe de 200 à 2.600 euros selon le niveau de CO₂ émis. Il est à noter que les seuils choisis ont été relevés ainsi le bonus est recevable jusqu'à 130 g/km et le malus n'arrive qu'à partir de 160 g/km. A l'inverse, les acheteurs de voitures peu polluantes bénéficieront d'un bonus allant de 200 à 1.000 euros qui pourra être cumulé avec une "prime à la casse" de 300 euros.

Étiquette énergie instituée en France

La France s'est dotée début mai 2006 du système de l'étiquette énergie pour classer les véhicules neufs à la vente selon leurs émissions de CO₂. L'objectif est d'orienter prioritairement les consommateurs vers les véhicules les moins polluants et de supprimer progressivement, faute de demande, les véhicules les plus émetteurs. Cette mesure est donc complémentaire à la taxe sur les émissions de CO₂. Source :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Rejets_de_CO2

Energie renouvelable : c'est une [énergie](#) renouvelée ou régénérée naturellement, indéfiniment, et inépuisable, à l'échelle temporelle de notre civilisation (milliards d'années) : Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels, réguliers ou constants, provoqués par les [astres](#), elles viennent :

* Principalement du [Soleil](#) : [Rayonnement](#), [cycle d'évaporation](#), [vents](#), [photosynthèse](#),...

* De la chaleur interne de la [Terre](#) (provenant elle-même principalement de la [radioactivité](#) d'[éléments](#) abondants tel que l'[uranium](#), le [thorium](#) et le [potassium](#)) : La [géothermie](#) (issu du [gradient géothermique](#))

* De la rotation propre de la Terre par rapport au système [Terre-Lune](#), c'est à dire l'énergie des [marées](#).

Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Ainsi, le [bois](#) est-il une énergie renouvelable tant qu'on abat moins d'arbres qu'il n'en pousse, et que la forêt continue à jouer ses fonctions écologiques vitales. Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition.

Les énergies renouvelables de type [bois](#), solaire, [hydroélectricité](#), éolien,... sont toutes issues de l'énergie solaire. Seules la [géothermie](#) et les [marées](#) échappent à cette règle. Hormis l'[énergie marémotrice](#) provenant des forces d'attractions combinées du Soleil et de la Lune, toutes les énergies renouvelables et non renouvelables ont donc pour origine directe ou indirecte l'[énergie nucléaire](#) naturelle, provenant : soit du soleil, (due à la [fusion nucléaire](#) de l'[hydrogène](#)), soit de la Terre, (due à la [désintégration](#) naturelle des roches de la [croûte terrestre](#)).

Le [pétrole](#), le [gaz naturel](#) et le [charbon](#) ne sont pas des énergies renouvelables car il faudra des millions d'années pour reconstituer les stocks d'énergie fossile que l'on consomme actuellement. De même, l'énergie nucléaire actuelle, issue de la fission des atomes d'[uranium](#), ne peut pas être considérée comme une énergie renouvelable, la réserve d'uranium disponible sur Terre étant limitée. Seuls les réacteurs à fusion, [en projet](#), utilisant des [isotopes](#) de l'hydrogène présents dans l'eau des océans de façon quasi illimité à l'échelle humaine, seraient des moyens de productions d'énergie ne présentant pas de problème de renouvellements. Encore serait-elle très [polluante](#) en raison de la quantité de neutrons rapides qu'elle engendre dans la plupart des cas de figure (voir cependant [Z machine](#)).

Lire la suite sur le site Wikipédia : http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable

Une documentation très complète sur les **énergies renouvelables** est accessible sur le site de la Fondation Nicolas Hulot : http://www.fnh.org/francais/doc/en_ligne/energie/intro.htm

Eutrophisation : phénomène observé dans la nature et qui est du à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issues de l'activité humaine.

Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulés par un apport substantiel en certains nutriments, notamment en azote d'origine atmosphérique (NOX et NH₃), le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'ils se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matière organique biodégradable. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau. Or en l'absence d'une circulation suffisante des eaux, les bactéries finissent par épuiser l'oxygène des couches d'eaux profondes. Elles ne peuvent plus dégrader toute la matière organique morte et celle-ci s'accumule dans les sédiments. L'eutrophisation conduit à une diminution de la biodiversité floristique et faunistique et peut mener à terme à la mort de l'écosystème aquatique. Source : <http://www.emissions-poitou-charentes.org/acidification.htm>

L'**eutrophisation** d'un milieu [aquatique](#), tel que [cours d'eau](#) ou [mares](#), désigne originellement sa richesse en [éléments nutritifs](#), sans connotation négative. À partir des [années 1970](#), le terme a été employé pour qualifier la dégradation des grands lacs comme le [lac d'Annecy](#), le [lac du Bourget](#) ou le [lac Léman](#) par excès de [nutriments](#). Il a aujourd'hui un sens proche de [dystrophie](#) et vient souvent comme qualificatif de sens négatif pour des milieux aquatiques d'[eau douce](#) ou [marins](#). Un milieu aquatique pauvre en éléments nutritifs est dit [oligotrophe](#) ; dans le cas intermédiaire, on qualifie le milieu de [mésotrophe](#). Étant donné que les facteurs naturels produisent des milieux plus ou moins chargés en nutriments en dehors de toute intervention humaine, l'état d'eutrophisation d'un milieu aquatique doit être apprécié en fonction de sa nature et ne peut pas se baser sur des indicateurs absolus.

L'eutrophisation est aussi une des étapes du processus naturel qui transforme lentement les [lacs](#) peu profonds en [marais](#), puis en [prairie](#) ou en [mégaphorbiaies](#) et finalement en [forêt](#). Le comblement d'une mare ou d'un marais est très accéléré par la présence de nutriments artificiels, par la proximité d'arbres (Cf. feuilles mortes), mais aussi par l'absence de [faune](#) se nourrissant dans l'eau tout en exportant les nutriments (Ex : [amphibiens](#), [canards](#) ou [élan](#) mangeant des [algues](#), des [invertébrés](#), et des plantes aquatiques, par dizaines de Kg par jour dans le cas de l'élan). L'atterrissement d'une petite mare en sous-bois peut se faire en quelques décennies, alors que les lacs naturels se comblent eux en dizaines de milliers voire en millions d'années.

Les causes de l'eutrophisation

Le lac Valencia (Venezuela) recueille des effluents agricoles, industriels et urbains. Les blooms alguaux sont détectables par satellite.

L'eutrophisation est l'expression du déséquilibre qui résulte d'un apport excessif de [nutriments](#) : [azote](#) (des nitrates par exemple), [carbone](#) (carbonates, hydrogénocarbonates, matières organiques...) et [phosphore](#) notamment. Le phosphore étant généralement le facteur limitant dans les milieux aquatiques naturels ([loi de Liebig](#)), ce sont ses composés, en particulier les [phosphates](#) ([orthophosphates](#), [polyphosphates](#)) qui permettent l'emballement du processus. Ce milieu déséquilibré, *dystrophe*, devient alors *hypertrophe*.

Ce processus a comme principales origines :

- - des **épandages agricoles** excessivement riches en [engrais](#) (azote et phosphore)
- - des **rejets industriels ou urbains** riches en nitrates, ammonium, [matière organique](#) non traitée, la présence de [polyphosphates](#) dans les [lessives](#) font de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zones océaniques, pouvant provoquer l'extension de [zones mortes](#)), ou le développement d'algues

toxiques, telles *Dynophysis*, sur les littoraux, par exemple en Bretagne (France). Algues toxiques étant principalement dues au rejet du lisier provenant des élevages de porc, très nombreux en Bretagne.

Dans l'acception courante, l'eutrophisation est donc souvent synonyme de [pollution](#), bien que cette dernière puisse revêtir bien d'autres aspects : contamination biologique ([bactéries](#), [parasites](#)...), chimique ([pesticides](#), [métaux](#), [solvants](#)...) ou physique ([chaleur](#), [radionucléides](#)...).

La [pêche](#) en milieux fermés ou cours d'eau très lents (canal...) est une cause d'eutrophisation lorsque les réempoissonnements sont excessifs et que des boules d'amorce sont jetées dans des étangs fermés, canaux ou cours d'eau à courant lent. Une étude récente a montré que la [pêche en mer](#) est aussi à l'origine d'un impact important sur le [cycle marin de l'azote](#).

Faibles doses d'azote et biodiversité

Une étude¹ longue (sur 20 ans) a montré que les engrais azotés agricole ont aussi un impact négatif sur la [biodiversité](#) quand il ne sont utilisés qu'en faible quantité.

Pour cela les chercheurs ont comparé la biodiversité de parcelles agricoles fertilisées avec de faibles doses d'azote, à d'autres non fertilisées servant de témoin, et ceci durant 20 ans. Le nombre d'espèces végétales des parcelles ayant reçu de faibles doses d'azote a chuté de 17 % par rapport au parcelles-témoin. Cet effet semble toutefois réversible, puisque sur les parcelles où l'apport d'azote a été interrompu après 10 ans, un redressement significatif du nombre d'espèces a été observé.

Les milieux touchés par l'eutrophisation

En grande quantité, *Spirodela polyrhiza* et *Lemna minor* sont des indicateurs d'eutrophisation.

L'eutrophisation peut atteindre les eaux douces, saumâtres et salées, le milieu marin comme les milieux continentaux, les eaux profondes comme les eaux superficielles, et en particulier :

- Les eaux dormantes ([mares](#) riches en feuilles mortes ou collectant des eaux usées, des eaux polluées par des [engrais](#), [étangs](#), [lacs](#), [lagunes](#)..)
- Les cours d'eau ayant un débit faible ou qui accueillent des effluents trop riches ou en trop grandes quantités issus par exemple, d'exploitations agricoles, humaines ou industrielles ;
- Les [estuaires](#), [golfs](#), [baies](#) et autres étendues semi-fermées sont particulièrement touchés, car situés en aval des bassins versants. Ainsi l'ONU alertait en 2003 dans son rapport [GEO 3](#) sur le fait qu'en 1998, plus de 60 % des estuaires et baies des États-Unis étaient « *modérément ou gravement dégradés par la contamination causée par les éléments nutritifs* », en particulier à cause des apports d'azote principalement². Une centaine de [zones mortes](#) sont apparues en mer, en aval des estuaires. La plus grande mesure plus de 20 000 Km², en aval du [Mississipi](#).

Le processus d'eutrophisation

L'eutrophisation peut se décomposer en quelques étapes :

1. des nutriments, notamment les [phosphates](#) et les [nitrates](#) issus de l'agriculture, sont déversés en grande quantité dans le milieu aquatique ;
2. les eaux ainsi enrichies permettent la multiplication rapide des végétaux aquatiques, en particulier la prolifération d'[algues](#), ([efflorescence algale](#), ou *bloom*) ;
3. le stock d'[oxygène](#) étant très limité dans l'eau (environ 30 fois moins que dans le même volume d'air), celui-ci est rapidement épuisé lors des périodes pendant lesquelles la [respiration](#) des organismes et la décomposition des matières produites excède la production par photosynthèse et les échanges possibles avec l'oxygène atmosphérique.

Le développement éventuel de plantes flottantes — telles les [lentilles d'eau](#) (*Lemna sp.*), empêche le passage de la lumière donc la photosynthèse dans les couches d'eau inférieures, et gêne également les échanges avec l'atmosphère ;

1. le milieu devient alors facilement [hypoxique](#) puis [anoxique](#), favorable à l'apparition de composés [réducteurs](#) et de gaz délétères ([thiols](#), [méthane](#)) ;
2. il peut en résulter la mort d'organismes aquatiques [aérobies](#) — insectes, crustacés, poissons, mais aussi végétaux —, dont la décomposition, consommatrice d'oxygène, amplifie le déséquilibre.

Les effets de l'eutrophisation

Les eaux lentes polluées par les nitrates sont propices au développement des lentilles

Par forte chaleur un voile d'algues et de bactéries peut couvrir l'eau stagnante et piéger les bulles de gaz. Ce type de bloom ne dure généralement pas plus de deux semaines.

L'algue *Kalodinium micrum* peut couvrir la totalité de la surface de l'eau et bloquer la pénétration de la lumière (Canning River, Australie).

Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la [biodiversité](#) et de la qualité de l'eau en tant que ressource. Elle a des effets négatifs sur le tourisme (avec souvent comme conséquences visibles la perte de transparence, développement d'odeurs et [envasement](#)), qui sont des indices de problèmes :

- augmentation du volume d'algue ;
- augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux ;
- dégradation des qualités organoleptiques de l'eau (aspect, couleur, odeur, saveur) ;
- envasement plus rapide, et apparition de vase putride, sombre et malodorante.
- développement de phytoplancton toxique ;
- développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV qui ont un pouvoir désinfectant.
- diminution de l'indice biotique ;
- diminution de la biodiversité (animale et végétale) ;
- diminution du rendement de la pêche (quoique l'effet puisse être contraire) ;

Parfois les algues peuvent boucher les prises d'eau, les filtres, entraver le fonctionnement d'écluses voire du moteur de petits bateaux pour les [algues filamenteuses](#)

Le cas des grands lacs

Dans les années [1950](#) à [1970](#), les grands lacs étaient devenus les déversoirs naturels d'égouts des villes environnantes. Riche en azote et phosphore, l'urine des habitants suffisait à fortement dégrader la qualité du milieu aquatique. À cela s'ajoutaient d'autres pollutions comme celles des nombreux engins à moteur de l'époque, très polluants, qui pouvaient contaminer les eaux par le lessivage de leurs fumées et leurs rejets d'huile.

Le remède

L'eutrophisation est un révélateur témoignant de la limite des capacités épuratrice des milieux aquatiques. Des moyens de lutte sont nécessaires et existent :

- diminuer l'utilisation de polluants eutrophisants dès l'amont du bassin versant ;

- diminuer l'utilisation de pesticides et leur arrivée dans les cours d'eau où, en tuant de nombreux organismes, ceux-ci peuvent contribuer à l'eutrophisation ;
- utiliser rationnellement les engrais en agriculture (analyser la valeur agronomique des sols et privilégier les engrais naturels) ;
- aménager des bassins versants reconstituant des réseaux de bocage, talus, haies, et bandes enherbées, suffisants en taille et cohérents avec le relief et la pédologie ; le ruissellement des eaux pluviales peut favoriser l'entraînement de nutriments comme le phosphore qui seront mieux retenus si les capacités d'infiltration du sol sont restaurées ;
- remplacer les phosphates des lessives par des agents anti-calcaires sans impact sur l'environnement, tels les zéolites ;
- mieux éliminer l'azote et le phosphore dans des stations d'épuration (qui peuvent être équipées de procédés de dénitrification et de déphosphatation).

Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Eutrophisation>

Gaz à effet de serre ou **GES** : ce sont des gaz qui contribuent par leurs propriétés physiques à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est à l'origine du réchauffement climatique.

Les principaux gaz à effet de serre non-artificiels sont :

- la vapeur d'eau (H_2O),
- le dioxyde de carbone (CO_2),
- le méthane (CH_4),
- le protoxyde d'azote (N_2O) et
- l'ozone (O_3).

Les gaz à effet de serre industriels incluent des gaz fluorés comme :

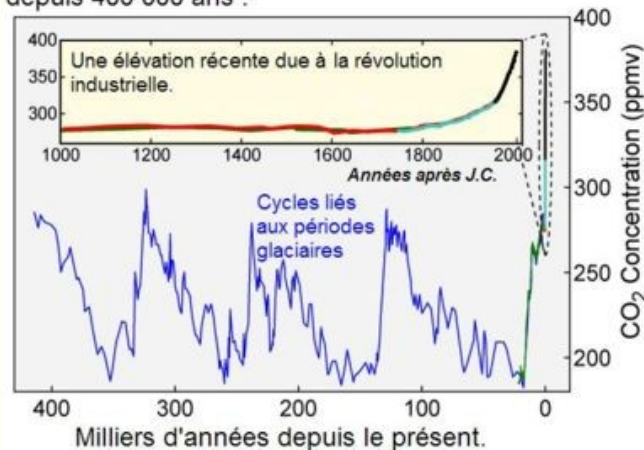
- les chlorofluorocarbures (CFC) et HCFC-22 comme le fréon,
- le perfluorométhane (CF_4)
- l'hexafluorure de soufre (SF_6).

La vapeur d'eau est à l'origine de 55% de l'effet de serre.

Le gaz carbonique additionnel libéré par les activités humaines est responsable de 55% de l'accroissement de l'effet de serre¹.

Le mécanisme de l'effet de serre

Les variations de concentrations en CO_2 atmosphérique depuis 400 000 ans .



Evolution du CO₂ depuis 400 000 ans

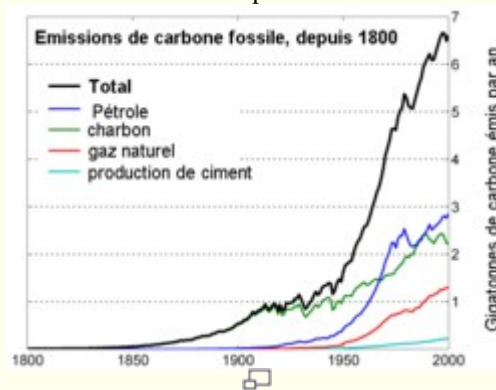
Sous l'effet des GES, l'atmosphère terrestre se comporte comme la vitre d'une serre, laissant entrer une large part du rayonnement [solaire](#), mais retenant le [rayonnement infrarouge](#) réémis.

La transparence de l'atmosphère (dans le visible) permet au rayonnement solaire d'atteindre le sol. L'énergie ainsi apportée s'y transforme en chaleur. Comme tout corps chaud, la surface de la terre a tendance à rayonner une partie de sa chaleur vers les corps plus froids qui l'environnent. Mais les GES et les [nuages](#) sont opaques aux rayons infrarouges émis par la terre. En absorbant ces rayonnements, ils emprisonnent l'[énergie thermique](#) près de la surface du globe, où elle réchauffe l'atmosphère basse.

L'effet de serre, principalement dû à la vapeur d'eau (0,3% en volume, 55% de l'effet de serre) et aux nuages (27% de l'effet de serre), porte la température moyenne à la surface de la terre de -18°C (ce qu'elle serait en son absence) à +15°C.

Émissions dûes aux activités humaines

Les [centrales thermiques](#) à flamme causent une bonne part des émissions de GES (Ici à [Porcheville](#), Yvelines)



Les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmentent depuis le [XIX^e siècle](#), et avec une vitesse de plus en plus forte. Le phénomène est principalement dû aux activités humaines, comme :

- l'utilisation massive de [combustibles fossiles](#) : en quelques dizaines d'années, on a rejeté dans l'atmosphère des quantités considérables de [dioxyde de carbone](#) provenant de [carbone](#) longuement accumulé dans le sous-sol depuis l'[ère primaire](#). L'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère qui en résulte, est le principal facteur de [réchauffement climatique](#). Les combustibles fossiles sont :
 - le [charbon](#)
 - les produits [pétroliers](#)
 - le [gaz naturel](#)
- la [déforestation](#) : une forêt mature est un réservoir important de carbone. La disparition de surfaces toujours plus grandes de forêt au profit de cultures ou de pâturages (emmagasinant une quantité moindre de matière organique), a pour effet d'augmenter les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. En effet, la pousse de jeunes arbres ne peut plus absorber autant de carbone qu'en génère la dégradation des arbres morts.
- l'utilisation des [CFC](#) dans les systèmes de [réfrigération](#) et de [climatisation](#) (réglementée par le [Protocole de Montréal](#)) conduit aussi à des rejets préoccupants, notamment du fait de durées de vie dans l'atmosphère particulièrement longues.
- le [protoxyde d'azote](#) et le [méthane](#) sont également pris en compte dans les accords internationaux, mais pas l'[ozone](#). L'[ozone stratosphérique](#) joue un rôle essentiel de protection contre les rayonnements [ultraviolets](#). Son impact sur le réchauffement climatique est mineur par rapport à son importance en tant que filtre.
- les rejets de [méthane](#), naturels², et non [naturels](#) : les animaux (principalement les [ruminants](#) et les [termites](#)), les surfaces inondées ([estuaires](#), [marais](#), [rizières](#)) produisent du méthane naturel en lieu et place du CO₂ (donc sans carbone ajouté). On peut imputer à l'augmentation du cheptel de bovidés³ comme aux [décharges](#),

une augmentation des émissions de méthane. Or ce gaz, même s'il se dégrade assez rapidement en CO₂, présente un [forçage radiatif](#) supérieur (et donc un [potentiel de réchauffement global](#) accru). Inversement, quand le méthane produit peut être valorisé, il constitue un combustible propre et renouvelable.

Le [Protocole de Kyōto](#) se donne comme objectif de stabiliser puis réduire les émissions de GES afin de limiter le [réchauffement climatique](#).

Concentrations atmosphériques en volume, durée de séjour et potentiel de réchauffement des principaux gaz à effet de serre⁴

gaz à effet de serre	formule	concentration préindustrielle	concentration actuelle	durée de séjour (ans)	PRG à 100 ans
vapeur d' eau	H ₂ O	3‰	3‰	< 1	s.o.
dioxyde de carbone	CO ₂	278 ppm	384 ppm ⁵	200 (variable)	1
méthane	CH ₄	0,7 ppm	1,7 ppm	12 ± 3	23
protoxyde d'azote	N ₂ O	0,275 ppm	0,311 ppm	120	310
dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCl ₂ F ₂	0	0,503 ppb	102	6 200 - 7 100
chlorodifluorométhane (HCFC-22)	CHClF ₂	0	0,105 ppb	12,1	1 300 - 1 400
tétrafluorure de carbone ⁶	CF ₄	0	0,070 ppb	50 000	6 500
hexafluorure de soufre	SF ₆	0	0,032 ppb	3 200	23 900

Le potentiel de réchauffement global

Chaque GES a un effet différent sur le réchauffement global. Par exemple un kilo de méthane a un impact sur l'effet de serre 23 fois plus fort qu'un kilo de CO₂. Alors pour comparer les émissions de chaque gaz, en fonction de leur impact sur les changements climatiques on préfère utiliser une unité commune : l'équivalent CO₂ ou l'équivalent carbone; plutôt que de mesurer les émissions de chaque gaz.

L'équivalent CO₂ est aussi appelé [potentiel de réchauffement global](#) (PRG). Il vaut 1 pour le dioxyde de carbone qui sert de référence. Le potentiel de réchauffement global d'un gaz est le facteur par lequel il faut multiplier sa masse pour obtenir une masse de CO₂ qui produirait un impact équivalent sur l'effet de serre. Par exemple, le méthane a un PRG de 23, ce qui signifie qu'il a un pouvoir de réchauffement 23 fois supérieur au [dioxyde de carbone](#).

Pour l'**équivalent carbone**, on part du fait qu'un kg de CO₂ contient 0,2727 kg de carbone. L'émission d'un kg de CO₂ vaut donc 0,2727 kg d'équivalent carbone. Pour les autres gaz, l'équivalent carbone vaut : $\text{équivalent carbone} = \text{PRG} \times 0,2727$

On peut noter que la combustion d'une tonne de carbone correspond bien à l'émission d'une tonne équivalent carbone de CO₂.

Cette unité de mesure est très utile pour déterminer les émissions produites par une entreprise, par exemple. On peut ainsi réaliser un bilan global qui prend en compte les émissions directes ([combustions](#), consommation d'énergie, [transports](#)) et indirectes (fabrication et transport des produits sous-traités).

Durée de séjour

Les gaz à effet de serre, une fois dans l'atmosphère, ne s'éliminent que progressivement. Cela signifie aussi que même si on arrêta complètement d'émettre des gaz à effet de serre, les gaz déjà émis continueraient d'agir pendant encore plusieurs siècles. Ils peuvent en être extraits de plusieurs manières :

- par un phénomène naturel (la [pluie](#) et la condensation retirent la vapeur d'eau de l'atmosphère) ;
- par une réaction chimique intervenant dans l'atmosphère (le méthane, par exemple, réagit avec les radicaux [hydroxyle](#) naturellement présents dans l'atmosphère pour créer du CO₂) ;
- par une réaction chimique intervenant à l'interface entre l'atmosphère et la surface du globe (le CO₂ est réduit par [photosynthèse](#) par les végétaux ou est dissout dans les [océans](#) pour former des ions [bicarbonate](#) et [carbonate](#) (le CO₂ est chimiquement stable dans l'atmosphère) ;
- par des rayonnements : par exemple, les [rayonnements électromagnétiques](#) émis par le Soleil et les [rayonnements cosmiques](#) « brisent » les molécules dans les couches supérieures de l'atmosphère. Une partie des [halocarbures](#) disparaissent de cette manière (ils sont généralement chimiquement inertes, donc stables lorsque introduits et mélangés dans l'atmosphère).

Hormis la vapeur d'eau, qui est évacuée en quelques jours, les gaz à effet de serre mettent très longtemps à s'éliminer de l'atmosphère. Étant donné la complexité du système atmosphérique, il est difficile de préciser la durée exacte de leur séjour¹⁰. Voici toutefois quelques estimations de leur [durée de séjour](#), c'est-à-dire le temps nécessaire pour que leur concentration diminue de moitié.

Durée de séjour des principaux gaz à effet de serre⁴

gaz à effet de serre	formule	durée de séjour (ans)	PRG à 100 ans
vapeur d' eau	H ₂ O	< 1	s.o.
dioxyde de carbone	CO ₂	200 (variable)	1
méthane	CH ₄	12 ± 3	23
protoxyde d'azote	N ₂ O	120	310
dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCl ₂ F ₂	102	6 200 - 7 100
chlorodifluorométhane (HCFC-22)	CHClF ₂	12,1	1 300 - 1 400
tétrafluorure de carbone ¹¹	CF ₄	50 000	6 500
hexafluorure de soufre	SF ₆	3 200	23 900

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Gaz_%C3%A0_effet_de_serre





Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat ou **GIEC**, en français : c'est une organisation créée en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (**OMM**) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (**PNUE**) ; le rôle du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) est " *d'évaluer l'information scientifique, technique et socio-économique pertinente pour comprendre le risque du changement climatique d'origine humaine.*"

Les publications du GIEC sont préparées par trois groupes de travail (GT I, II et III), composés d'une centaine de scientifiques de diverses nationalités. Ces publications sont généralement reconnues comme réunissant le *consensus scientifique* le plus large sur le changement climatique.

Le Troisième Rapport d'Evaluation complet (TAR) du GIEC, publié en 2001, est disponible dans son intégralité en anglais sur

 http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/index.htm.

Certains résumés sont disponibles en français:

- le "**Rapport de Synthèse**": 9 questions-réponses à l'intention des décideurs :
 <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf>
- les "**Résumés à l'intention des Décideurs**" (source des Questions 1 à 6 du dossier de GreenFacts):
 - "Les éléments scientifiques" (GT I) :
 <http://www.ipcc.ch/pub/un/giecg1.pdf>
 - "Conséquences, Adaptation et Vulnérabilité" (GT II) :
 <http://www.ipcc.ch/pub/un/giecg2.pdf>
 - "Mesures d'atténuation" (GT III) :
 <http://www.ipcc.ch/pub/un/giecg3.pdf>

Source : <http://www.greenfacts.org/fr/dossiers/changement-climatique/liens/giec.htm>

Lignite : c'est une roche sédimentaire composée de restes fossiles de plantes , intermédiaire entre la tourbe et la houille. Le lignite est un charbon composé de 50 à 60 % de carbone. Le lignite est utilisé pour le chauffage et pour produire de l'électricité. Le lignite à l'état naturel contient un grand pourcentage d'eau (50%). Il est broyé et séché de façon à réduire la teneur en eau à environ 11%.

La Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du lignite séché se situe aux alentours de 20.000 kJ/kg, ce qui fait qu'il est considéré comme un carburant peu rentable (le PCI de la houille se situe aux alentours de 29.000 kJ/kg). Sa forte teneur en eau résiduelle et le PCI faible rendent le transport du lignite rapidement onéreux, son utilisation restant confinée aux alentours immédiats des exploitations.

Impact environnemental

Les mines à ciel ouvert consomment de l'espace (25 000 ha en Rhénanie, dont 2/3 ont été remis en culture, mais sur un sol bouleversé). Les mines nécessitent d'importants pompages (650 m3 d'eau à évacuer par tonne de lignite dans certaines mines allemandes), lesquels sont responsable d'un important cône de rabattement qui assèche les alentours et prive la population des nappes phréatiques¹). Une mine allemande doit presque entièrement détruire vers 2020 4000 ha d'une forêt d'importance européenne, déjà citée il y a 1000 ans (la "forêt de Hambach")².

Brûler du lignite implique d'importants rejets de CO₂, gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le lignite étant par ailleurs riche en sulfure, il cause de fortes pollutions acides responsables de pluies acides et exacerbant la mobilité et la toxicité des métaux lourds également injectés dans l'atmosphère.

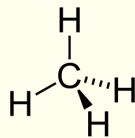
Provenances des lignites

L'Allemagne serait le premier producteur mondial (20% dont environ 90 % est brûlé pour produire de l'électricité, assurant près de 30 % de la consommation électrique allemande. Les autres grands pays producteurs sont les États-Unis (10%) et l'Australie (8%).

En Allemagne, le groupe RWE-RHEINBRAUN, filiale du holding RWE, en extrait environ 100 millions de tonnes/an dans trois mines à ciel ouvert dans le [Nordrhein-Westfalen](#) (entre [Cologne](#), [Aix-la-Chapelle](#) et [Mönchengladbach](#)). Ces mines sont celles de Hambach I, Inden I et II et [Garzweiler I](#), qu'il est prévu d'exploiter jusque vers 2050, malgré leur contribution à l'émission de gaz à effet de serre. Les pelleteuses descendent jusqu'à 450 mètres de profondeur dans des excavations de plusieurs kilomètres de large. Les engins avancent en creusant d'un côté et en comblant de l'autre, ce qui explique que la mine se déplace dans le pays.

En [Australie](#), l'Etat du Victoria disposerait de 38 milliards de tonnes de lignite extractibles (estimation de 2002), alors que la production annuelle est de 65 millions de tonnes provenant à 98% de la vallée La Trobe (à l'Est de [Melbourne](#))³. Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Lignite>

Méthane : est un [hydrocarbure](#) de la famille des [alcanes](#). De [formule brute](#) CH₄, la [molécule](#) de méthane est constituée d'un [atome](#) de [carbone](#) (C) et quatre atomes d'[hydrogène](#) (H). Elle est désignée par le code R50 dans la [liste des gaz fluorés et frigorigènes](#).



C'est un des principaux [gaz à effet de serre](#). Le méthane est le composant principal du [gaz naturel](#). C'est le principal constituant du [biogaz](#) issu de la [fermentation](#) de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'[oxygène](#). Il est fabriqué par des [bactéries méthanogènes](#) qui vivent dans des milieux anaérobiques c'est-à-dire sans oxygène.

Le méthane est ainsi le seul hydrocarbure classique qui peut être obtenu rapidement et facilement grâce à un processus biologique naturel. Nous utilisons principalement du gaz naturel et donc du méthane fossile, mais l'utilisation du méthane renouvelable, aussi appelé [biogaz](#), est en développement : Suède, Allemagne, Danemark, Viet-Nam, Cambodge, Chine, Inde...

Le méthane se dégage naturellement des zones humides peu oxygénées comme les [marais](#) et les terres inondées. Il se forme aussi dans l'estomac des mammifères. Ce gaz est d'ailleurs présent en faible quantité dans les flatulences humaines ¹.

Des quantités importantes de méthane sont piégées sous forme d'[hydrates de méthane](#) ([clathrates](#)) au fond des océans ; leur exploitation est envisagée (2007). Pour en savoir plus, se reporter au site suivant : <http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thane>

Oxy-fuel : technologie utilisée dans les **brûleurs à oxygène**. Selon une documentation Siemens, la technologie **oxy-fuel** joue un rôle important dans la production de fonte spéciale, pour une plus grande efficacité de la combustion, une diminution des coûts et un rehaussement des normes écologiques. Nos brûleurs oxy-fuel vous permettent d'augmenter le taux de fusion de vos fours rotatifs, ce qui ouvre la voie à une plus grande productivité et un déroulement plus rapide du processus. Mais les brûleurs oxy-fuel offrent également des avantages sur le plan écologique : les besoins en combustibles sont réduits de 60 %, le volume des gaz rejetés diminue jusqu'à 85 % et le bruit passe en deçà des 80 dBA.

Les avantages d'un brûleur oxy-fuel

- - impact moindre sur l'environnement
- - chargement flexible par input
- - fusion plus rentable
- - output flexible de la qualité de fusion

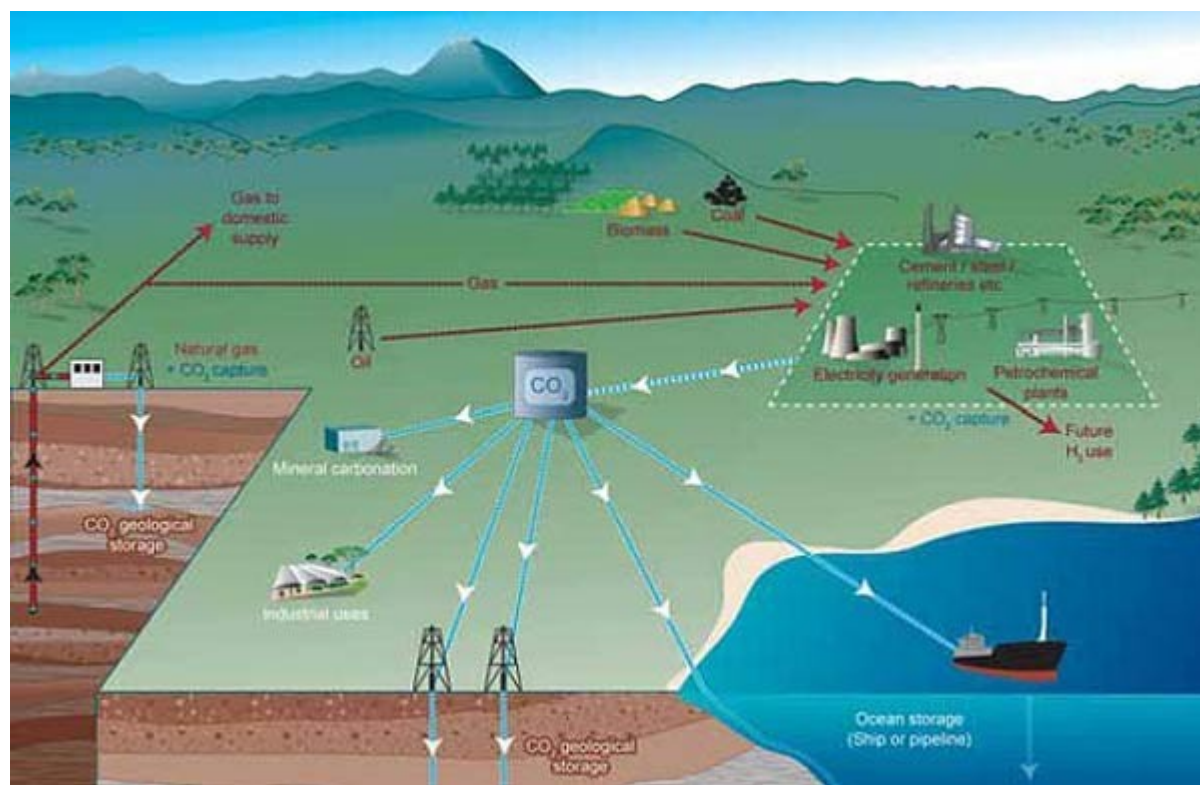
Source : <http://www.lindegasbenelux.com/International/Web/LG/NL/like|gnlfr.nsf/DocByAlias/Oxyfuel>

Piégeage (ou captage) et stockage (ou séquestration) du CO₂, en anglais CCS = *Carbon Capture and Storage* — Consensus Scientifique d'après GreenFacts

Contexte - Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz à effet de serre majeur qui contribue au réchauffement de la planète. Au cours des deux derniers siècles, sa concentration dans l'atmosphère a fortement augmenté, essentiellement en raison des activités humaines comme l'utilisation de combustibles fossiles. L'une des options pour réduire les émissions de CO₂ est de le stocker sous terre. Cette technique s'appelle le piégeage et le stockage du dioxyde de carbone (PSC).

Comment cela fonctionne-t-il ? Est-ce vraiment une option pour lutter contre le changement climatique ?

1.1 Qu'est-ce que le piégeage et le stockage du CO₂ et quelles pourraient en être les applications ?



[Différents systèmes de piégeage et de stockage du carbone \[en\]](#)

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un [gaz à effet de serre](#) présent naturellement dans l'[atmosphère](#). Les activités humaines entraînent une augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, contribuant ainsi au réchauffement de la planète. Du CO₂ est émis chaque fois que du carburant brûle - que ce soit dans de grandes centrales électriques, des moteurs de voiture, ou des systèmes de chauffage. D'autres processus industriels peuvent également rejeter du CO₂, par exemple lorsque l'on extrait ou traite des ressources, ou que l'on brûle des forêts.

Le piégeage et le stockage du dioxyde de carbone (PSC) est l'une des techniques qui pourrait être employée pour réduire les émissions de CO₂ liées aux activités humaines. Elle pourrait s'appliquer aux émissions produites par les centrales électriques ou les installations industrielles de grande envergure.

Son processus comprend trois étapes principales:

1. piéger le CO₂ à sa source en le séparant des autres gaz produits lors d'un procédé industriel.
2. transporter le CO₂ ainsi piégé (en général sous forme comprimée) vers un espace de stockage approprié.
3. stocker le CO₂ hors de l'[atmosphère](#) pour une longue période, par exemple dans des couches géologiques souterraines, dans les profondeurs des océans ou dans certains [composés](#) minéraux.

Certaines des techniques requises pour mener à bien ce processus sont à un stade plus avancé que d'autres. Dès le milieu de l'année 2005, trois projets commerciaux de stockage de CO₂ piégé dans des formations géologiques souterraines avaient déjà été mis en place dans le cadre de projets d'extraction ou de traitement du pétrole et du gaz.

1.2 Quel rôle pourrait jouer le piégeage et le stockage du CO₂ dans la lutte contre le changement climatique?

La plupart des [scénarios](#) évaluant la consommation d'énergie à l'échelle mondiale prévoient une augmentation importante des émissions de CO₂ tout au long de ce siècle si l'on ne prend pas de mesures particulières pour atténuer les changements climatiques. Ils estiment également que les [combustibles fossiles](#) continueront d'être la principale source d'énergie primaire au moins jusqu'au milieu de ce siècle.

Par conséquent, les techniques permettant de piéger et de stocker le CO₂ produit pourraient, combinées à d'autres options technologiques, contribuer à la lutte contre le [changement climatique](#).

Toutefois, aucune option technologique ne permettra à elle seule d'obtenir les réductions d'émissions nécessaires pour que les concentrations de [gaz à effet de serre](#) dans l'[atmosphère](#) se stabilisent à un niveau qui prévienne toute interférence dangereuse avec le système climatique.

Les autres options technologiques permettant de stabiliser les concentrations de [gaz à effet de serre](#) dans l'[atmosphère](#) consistent notamment à:


- restreindre la demande en énergie en améliorant l'efficacité énergétique;
- adopter des combustibles à moindre teneur en carbone (remplacer le charbon par le gaz naturel, par exemple),
- recourir davantage aux sources d'énergie renouvelables et/ou à l'énergie nucléaire (chacune n'émettant en fin de compte que peu de CO₂, voire pas du tout);
- valoriser les [puits naturels de carbone](#) (tels que les forêts), et réduire les [gaz à effet de serre](#) autres que le CO₂ (comme le [méthane](#)).

Le piégeage et le stockage du CO₂ serait envisageable dans les pays développés qui doivent réduire leurs émissions de CO₂ et qui présentent d'importantes sources de CO₂ susceptible d'être piégé, ont accès à des sites de stockage, et possèdent une certaine expérience en matière d'exploitation pétrolière ou gazière. Mais il existe de nombreux obstacles à l'application de cette technique dans les pays en voie de développement. Par conséquent, un des enjeux majeurs conditionnant l'adoption de la technique de piégeage et de stockage du CO₂ au niveau mondial consisterait à créer des conditions propices à sa diffusion dans les pays en voie de développement.

2. Quelles sources de CO₂ conviennent au piégeage et au stockage?

2.1 Le dioxyde de carbone pourrait être piégé à sa source dans les centrales électriques ou les installations industrielles qui produisent de grandes quantités de dioxyde de carbone. La technologie n'est pas encore suffisamment développée en ce qui concerne le piégeage du [CO₂](#) provenant de sources de petite taille ou mobiles, comme les systèmes de chauffage domestique ou les voitures. [Plus...](#)

Quelles sont les caractéristiques des sources d'émission auxquelles convient cette technique?

La centrale au charbon de Gibson, un bon exemple d'importante source stationnaire d'émissions de CO₂
Source: John Blair, valleywatch.net 


[Répartition mondiale des principales sources de CO₂ \[en\]](#)


[Sites de stockage potentiels \[en\]](#) 


Plusieurs facteurs déterminent si le piégeage du dioxyde de carbone est une option viable pour une source d'émission donnée:

- le volume de la source d'émission,
- le fait qu'elle soit stationnaire ou mobile,
- la distance la séparant des sites de stockage potentiels, et
- la concentration de ses émissions de CO₂

Le CO₂ pourrait être piégé à partir de sources d'émission stationnaires importantes, telles que les centrales électriques ou les installations industrielles. Si ces installations se trouvent à proximité de sites de stockage potentiels, par exemple des formations géologiques appropriées, elles ont des chances d'être parmi les premières à se voir dotées de la technologie du piégeage et du stockage du CO₂ (PSC). A ce stade-ci, les sources mobiles ou de petite taille dans les ménages, les commerces ou les moyens de transport ne sont pas prises en compte parce que la technique de piégeage et de stockage ne peut leur être appliquée.

En 2000, près de 60% des émissions de CO₂ dues à l'utilisation de [combustibles fossiles](#) ont été produites par des sources d'émissions stationnaires importantes, telles que centrales électriques, industries d'extraction pétrolière et gazière ou industries de transformation (voir [tableau RT.2 \[en\]](#)  pour plus de détails).

Quatre grands foyers d'émissions provenant de ces sources stationnaires sont: l'Est des Etats-Unis et le Midwest, le Nord-ouest de l'Europe, la côte est de la Chine et le sous-continent indien (voir [figure RT.2a \[en\]](#) .

Les installations de conversion de la [biomasse](#) à grande échelle, par exemple pour la production de [bioéthanol](#), génèrent également des émissions à haute teneur en CO₂. Même si ces installations sont beaucoup plus petites et moins répandues, la technique de piégeage et de stockage du CO₂ pourrait également leur être appliquée. De nombreuses sources d'émission stationnaires se trouvent juste au-dessus, ou à une distance raisonnable (moins de 300 km) de zones ayant un potentiel de stockage géologique (voir [figures RT 2a/2b \[en\]](#) ). [Plus en anglais...](#)

2.2 Une part importante du CO₂ généré par les centrales électriques fonctionnant aux [combustibles fossiles](#) pourrait potentiellement être piégé. En 2050, la quantité piégée pourrait représenter 21% à 45% de tout le CO₂ émis par les activités humaines.*

Dans quelle mesure pourrait-on piéger les futures émissions de CO₂?

D'après les différents [scénarios](#) d'émissions, le potentiel de piégeage du CO₂ est estimé à 9-12% des émissions mondiales de CO₂ en 2020, et à 21-45% en 2050. En outre, d'ici quelques décennies, les **vecteurs d'énergie** qui n'émettent pas de carbone quand on les emploie, tels que l'électricité ou l'hydrogène, pourraient commencer à remplacer les [combustibles fossiles](#) utilisés actuellement par les petites sources d'émissions disséminées que sont les bâtiments résidentiels ou commerciaux et le secteur des transports.

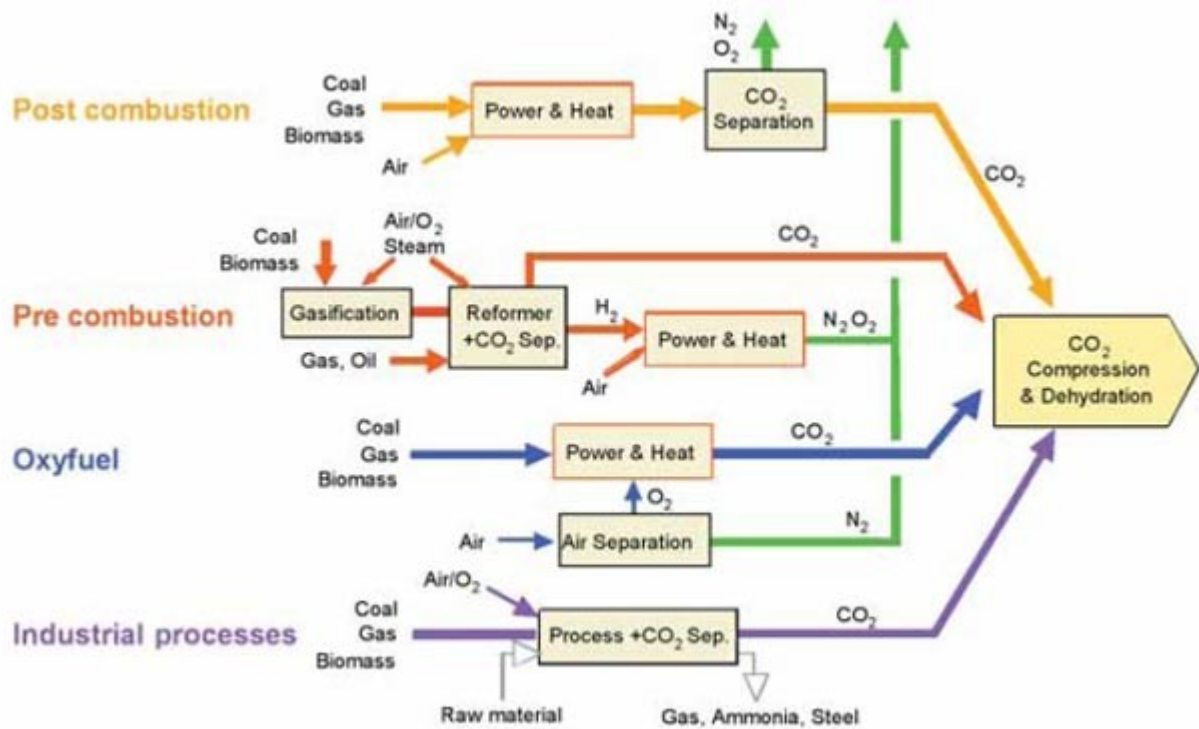
On pourrait produire ces vecteurs d'énergie à partir de [combustibles fossiles](#) et/ou de [biomasse](#) dans de grandes usines centralisées qui deviendraient des sources importantes d'émissions de CO₂ où celui-ci pourrait être piégé.

De telles applications permettraient de réduire les émissions disséminées de CO₂ générées par les transports et les systèmes de fourniture d'énergie non centralisés tout en accroissant le potentiel d'utilisation de la technique de piégeage et de stockage du dioxyde de carbone (PSC). [Plus en anglais...](#)

3. Comment le CO₂ peut-il être piégé?

- 3.1 Quelles sont les techniques de piégeage disponibles à l'heure actuelle?
- [3.2](#) Quels sont les coûts du piégeage du CO₂ ?

3.1 Quelles sont les techniques de piégeage disponibles à l'heure actuelle?



[Processus de piégeage du CO₂ \[en\]](#)

Pour piéger le dioxyde de carbone (CO₂), il faut d'abord le séparer des autres gaz émis lors de la combustion ou du traitement. Il doit ensuite être purifié et comprimé pour faciliter son transport et son stockage. Chacun des trois systèmes suivants permet de piéger le dioxyde de carbone résultant de la combustion, et en particulier celui produit par le secteur de l'électricité:

Système	Statut	Quantité nette de CO ₂ "évitée"
Postcombustion	Utilisé commercialement depuis des décennies pour d'autres applications apparentées.	80-90%
Précombustion	Au stade de la démonstration	90%

Dans un système de **postcombustion**, les gaz résultant de la combustion du carburant dans l'air ([gaz de combustion](#)) ne contiennent qu'une infime quantité de CO₂. On piège celui-ci en injectant ces gaz de combustion dans un liquide qui absorbe uniquement le CO₂ (par exemple un solvant organique comprimé ou refroidi). On peut ensuite libérer le CO₂ presque pur de ce liquide, le plus souvent en le chauffant ou en diminuant la pression. On utilise déjà à grande échelle des processus de séparation similaires pour éliminer le CO₂ du gaz naturel.

Dans un système de **précombustion**, on transforme tout d'abord le combustible primaire en gaz en le chauffant au moyen de vapeur et d'air ou d'oxygène. De cette conversion résulte un gaz contenant principalement de l'hydrogène et du CO₂, que l'on peut facilement séparer l'un de l'autre. L'hydrogène peut ensuite être utilisé pour produire de la chaleur ou de l'énergie.

La **combustion de gaz oxygéné** utilise de l'oxygène pur pour brûler le combustible au lieu d'utiliser de l'air qui ne contient que 20% d'oxygène et de l'azote en grande quantité. Cette combustion produit un mélange gazeux composé essentiellement de [vapeur d'eau](#) et de CO₂. La vapeur d'eau peut ensuite être facilement extraite du CO₂ par refroidissement et compression du flux gazeux. Toutefois, il faut au préalable séparer l'oxygène de l'air quand on a recours à ce processus, ce qui est assez complexe.

Plusieurs procédés industriels utilisent déjà des systèmes de piégeage similaires, par exemple la production d'[urée](#) ou d'hydrogène et la [gazéification du charbon](#). [Plus en anglais...](#)

3.2 Quels sont les coûts du piégeage du CO₂ ?

[Piégeage du CO₂ et énergie requise \[en\]](#) 

Les systèmes de piégeage réduisent les émissions de CO₂ des centrales à combustible d'environ 80 à 90%. Ces chiffres tiennent compte du fait que les systèmes de piégeage exigent une consommation d'énergie supplémentaire (voir figure RT.11).

Pour les nouvelles centrales à [combustibles fossiles](#), le piégeage du CO₂ peut faire augmenter le coût de la **production d'électricité** de 35 à 85% en fonction des différentes options au niveau de la conception des installations, de leur fonctionnement et de leur financement. Cela équivaut à un coût compris entre 0,01 et 0,03 dollars US par [kWh](#) d'électricité produite.

	Coûts en dollars US/kWh
Nouvelles centrales à combustibles fossiles sans piégeage	0.03 – 0.06
Nouvelles centrales à combustibles fossiles avec piégeage	0.04 – 0.09
Piégeage uniquement	0.01 – 0.03

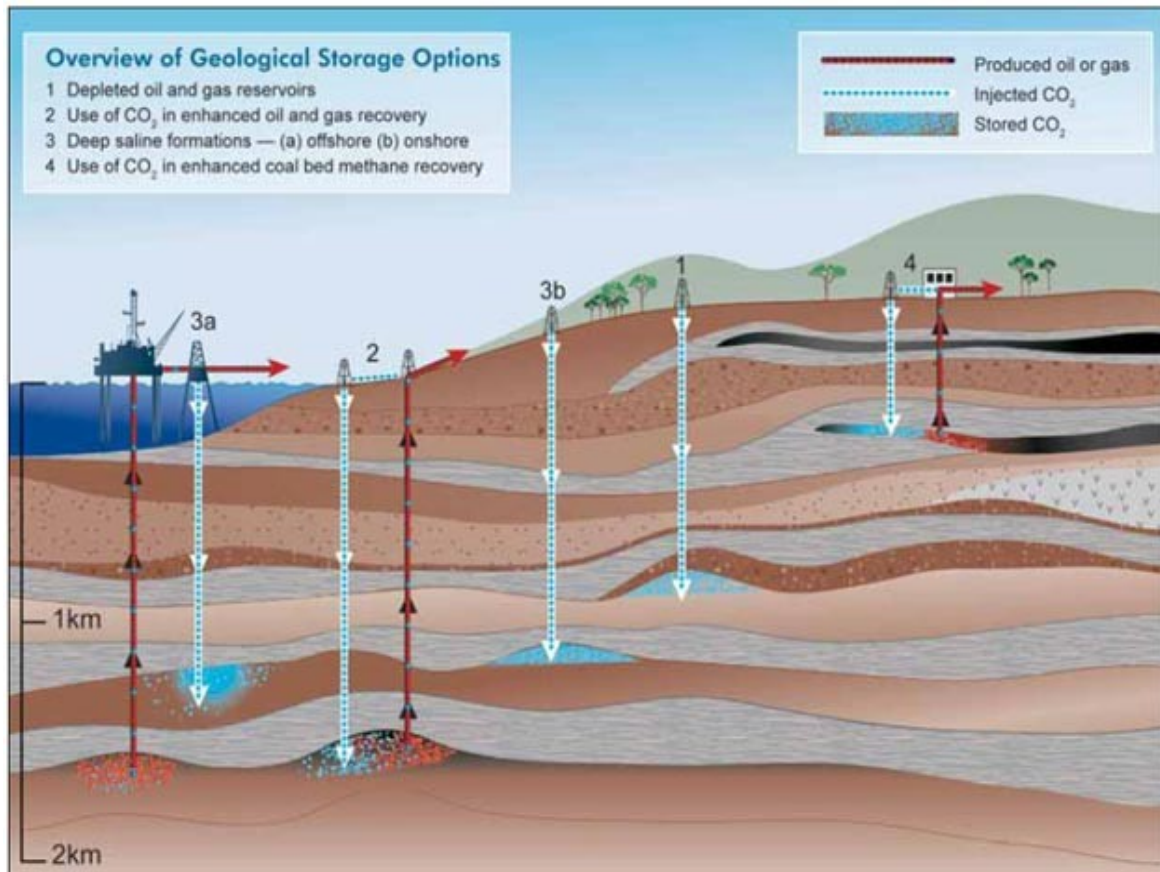
On peut également exprimer les coûts du piégeage en dollars US par tonne nette de CO₂ piégé. Ce coût unitaire varie considérablement en fonction des différents types de centrales à combustible et des procédés industriels. Le coût unitaire du piégeage est généralement moindre lorsqu'un flux de CO₂ relativement pur est produit, par exemple lors du traitement du gaz naturel, de la production d'hydrogène, ou de la production d'ammoniac. [Plus en anglais...](#)

4. Comment le CO₂ piégé peut-il être transporté ?

4.1 A moins que la source ne soit située directement au-dessus du site de stockage, le CO₂ doit être transporté. Pour ce type de transport, on utilise aux États-Unis des gazoducs depuis les années 1970. On peut également transporter le CO₂ sous forme liquide dans des bateaux du même type que ceux qui transportent du [gaz de pétrole liquéfié](#) (GPL). [Plus...](#)

4.2 Pour transporter du CO_2 tant par gazoduc que par voie maritime, les coûts dépendent de la distance et de la quantité transportée. Dans le cas des gazoducs, les coûts sont plus élevés lorsqu'il faut traverser des plans d'eau, des zones densément peuplées ou des montagnes. [Plus...](#)

5. Comment le CO_2 peut-il être stocké sous terre ?



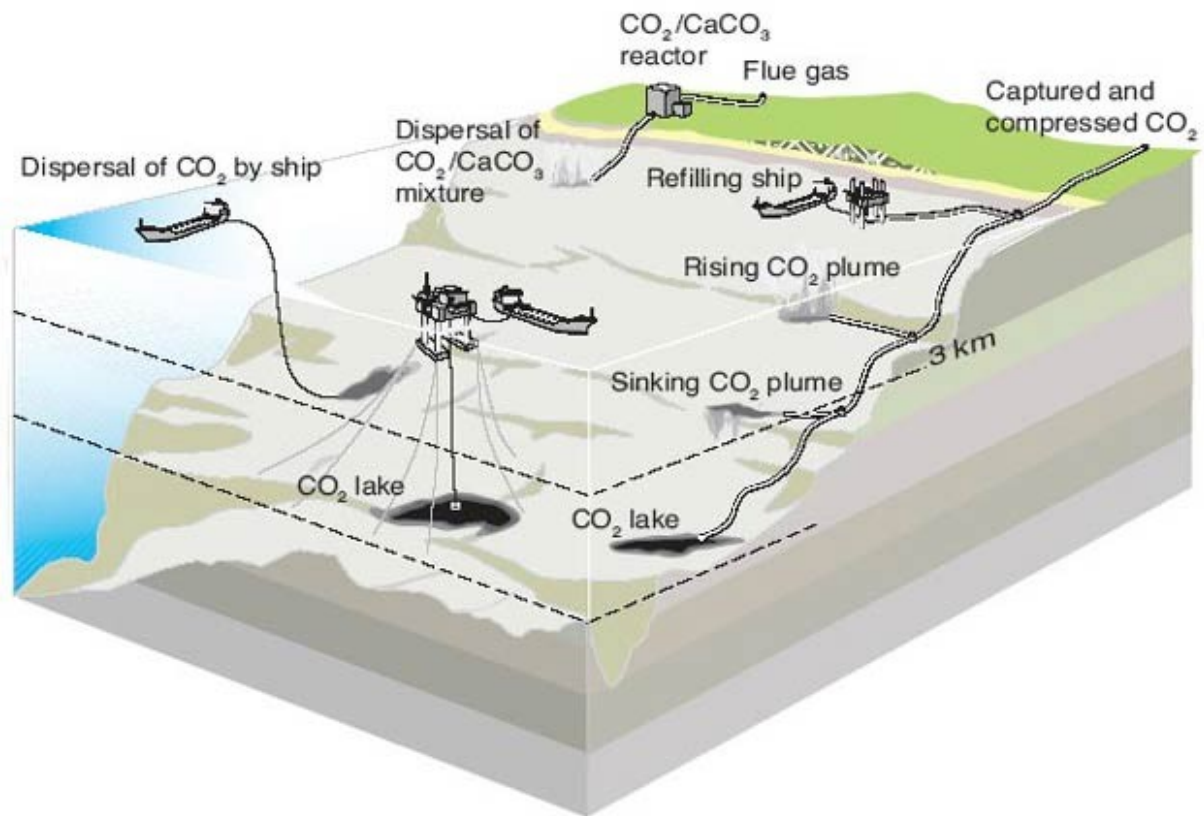
[Aperçu des options de stockage géologique \[en\]](#)

5.1 Le CO_2 comprimé peut être injecté dans des formations rocheuses poreuses sous la surface de la Terre en faisant appel à une série de méthodes déjà utilisées par l'industrie du gaz et du pétrole.

Les trois principaux lieux de stockage géologique sont les gisements de pétrole et de gaz naturel, les [formations salines profondes](#) et les gisements de charbon inexploités. Le CO_2 peut par exemple être emprisonné sous une couche de roche qui fait office de couvercle hermétique, ou dans les espaces poreux à l'intérieur de la roche. Il peut également être piégé chimiquement lorsqu'il se dissout dans l'eau et qu'il réagit avec les roches environnantes. Le risque de fuite à partir de ces réservoirs est assez faible. [Plus...](#)

5.2 Le stockage de CO_2 dans les formations géologiques est l'option de stockage la moins coûteuse et la plus acceptable d'un point de vue environnemental. [Plus...](#)

6. Le CO_2 pourrait-il être stocké dans les océans?



[Aperçu des principes de stockage dans les océans \[en\]](#) 

6.1 Les océans peuvent emmagasiner du [CO₂](#) car il est soluble dans l'eau. Quand la concentration de CO₂ dans l'[atmosphère](#) augmente, les océans en absorbent davantage. Le CO₂ piégé pourrait potentiellement être injecté directement dans les océans et la majeure partie y resterait pendant des siècles. [Plus...](#)

6.2 Injecter du [CO₂](#) peut cependant nuire aux organismes marins situés à proximité du point d'injection. De plus, on s'attend à ce que l'injection de grandes quantités porte progressivement atteinte à l'océan tout entier. [Plus...](#)

Note de l'éditeur : En raison de ses conséquences environnementales, le stockage du CO₂ dans les océans n'est généralement plus considéré comme une option acceptable.

7. Comment le CO₂ peut-il être stocké dans d'autres matériaux?

7.1 Grâce à un procédé appelé [carbonatation minérale](#), le [CO₂](#) peut être converti à l'**état solide** suite à des réactions chimiques avec certains minéraux disponibles à l'état naturel dans l'environnement. Il peut ainsi être stocké de façon pratiquement permanente. Lorsque ce processus se produit naturellement, il est très lent. Ces réactions chimiques peuvent être accélérées et utilisées par l'industrie pour stocker artificiellement du CO₂ dans des minéraux. Cependant, en raison des larges quantités de minéraux à extraire et d'énergie nécessaire, cette option de stockage est plus coûteuse. [Plus...](#)

7.2 Il est techniquement possible pour les **industries** fabriquant des produits tels que des engrais de faire usage du [CO₂](#) piégé. L'impact global sur les émissions de CO₂ serait néanmoins très faible, parce que, après peu de temps, la plupart de ces produits libèrent à nouveau dans l'[atmosphère](#) le CO₂ qu'ils contiennent. [Plus...](#)

8. Quel est coût des différentes options de piégeage et de stockage du CO₂ ?

La centrale électrique Esbjerg au Danemark, un site de piégeage du CO₂
Source: DONG Energy

8.1 Même si de grandes incertitudes persistent, on s'attend à ce que la technique du piégeage et du stockage du carbone augmente le coût de production de l'électricité de 20% à 50% environ.

Dans un système complètement intégré comprenant le piégeage du [CO₂](#), son transport, son stockage et la surveillance du site, ce sont le piégeage et la compression du CO₂ qui constitueraient les étapes les plus coûteuses. On estime que le stockage géologique est moins cher que le stockage océanique, la technologie la plus onéreuse étant la [carbonatation minérale](#). Les coûts totaux dépendront à la fois des choix technologiques et d'autres facteurs, comme les lieux de captage et de stockage, ou le prix des combustibles et de l'électricité. La technique du piégeage et du stockage du CO₂ généré par certains procédés industriels, comme la production d'hydrogène, peut être moins coûteuse que pour les centrales électriques. [Plus...](#)

9. Comment les réductions d'émissions pourraient-elles être quantifiées ?

Des méthodes doivent encore être mises au point pour estimer les quantités de [gaz à effet de serre](#) non émises ou extraites de l'[atmosphère](#) grâce au piégeage et au stockage du [CO₂](#) et pour comptabiliser ces quantités. Alors qu'une tonne de CO₂ stockée de façon permanente est aussi avantageuse qu'une tonne de CO₂ non émise, une tonne de CO₂ stockée de manière temporaire l'est beaucoup moins.

Les méthodes actuellement disponibles pour comptabiliser les émissions nationales de [gaz à effet de serre](#) peuvent être adaptées pour prendre en compte les systèmes de piégeage et de stockage de [CO₂](#). Certaines questions doivent encore être abordées par le biais de processus politiques aux niveaux national et international. [Plus...](#)

10. Conclusion: l'avenir du piégeage et du stockage du CO₂

- 10.1 Quelles sont les lacunes au niveau des connaissances?
- [10.2](#) Dans quelle mesure le PSC pourrait-il contribuer à l'atténuation du changement climatique?

10.1 Quelles sont les lacunes au niveau des connaissances?

La technique du piégeage et du stockage du CO₂ est techniquement possible et pourrait jouer un rôle important dans les efforts de réduction des émissions de [gaz à effet de serre](#) au cours de ce siècle. Bien que certains aspects de cette technique aient déjà fait leurs preuves, il conviendrait d'acquérir davantage de connaissances et d'expérience et de réduire les incertitudes liées à certains aspects spécifiques du piégeage et du stockage du CO₂ afin de permettre son déploiement à grande échelle.

Tout d'abord, il est nécessaire de parfaire davantage cette technique. Si chacune des composantes de la technique du piégeage et du stockage du CO₂ est déjà bien développée, il faut encore les intégrer toutes au sein de projets à grande échelle dans le secteur électrique. Ces projets permettraient de démontrer si cette technique fonctionne à grande échelle, et par conséquent d'acquérir de nouvelles connaissances et de l'expérience. Des études supplémentaires sont requises afin d'analyser et de réduire les coûts, et pour évaluer la capacité de stockage potentielle des sites géologiques appropriés. Pour ce qui est des autres formes de stockage, des expériences pilotes en matière de [carbonatation minérale](#) sont nécessaires si l'on veut réduire les coûts et les besoins nets en énergie. En outre, il est également essentiel de réaliser des études sur l'impact écologique du CO₂ dans les profondeurs de l'océan.

Il convient également de développer davantage le cadre légal et réglementaire adéquat qui doit inclure des méthodes agréées permettant l'estimation et la notification des quantités de CO₂ évitées grâce au piégeage et au stockage du CO₂ ainsi que les quantités qui pourraient être libérées à long terme. Les responsabilités sur le long terme du stockage géologique et les contraintes légales éventuelles relatives au stockage en milieu marin doivent également être prises en compte.

Parmi les autres questions qu'il reste à résoudre figurent la question du potentiel de transfert et de diffusion des techniques de piégeage et de stockage du CO₂, les possibilités pour les pays en développement de les exploiter, l'application de ces technologies aux sources de CO₂ provenant de la [biomasse](#), ainsi que les interactions potentielles entre les investissements dans le piégeage et le stockage du CO₂ et les autres solutions d'atténuation. [Plus en anglais](#)

10.2 Dans quelle mesure le PSC pourrait-il contribuer à l'atténuation du changement climatique?

Si les lacunes au niveau des connaissances sont comblées et si diverses conditions sont remplies, les systèmes de piégeage et de stockage du CO₂ pourraient être déployés à grande échelle d'ici quelques décennies, pour autant que des politiques explicites limitant fortement les émissions de [gaz à effet de serre](#) dans l'[atmosphère](#) soient mises en place.

La question des mesures incitatives reste un point d'une importance particulièrement cruciale. Si un «prix du carbone» est fixé pour chaque unité d'émission de [gaz à effet de serre](#), cela pourrait inciter à investir dans des procédés qui émettent moins de gaz à effet de serre. Les systèmes de piégeage et de stockage du CO₂ ne sont susceptibles d'être largement adoptés par le secteur de la production d'électricité - où le potentiel est de loin le plus grand - que quand le prix de l'émission d'une tonne de CO₂ dépasse les 25-30 dollars US (au taux de 2002) pour toute la durée du projet. Seules des décisions politiques visant à limiter les émissions de CO₂ permettront de fixer un prix sur les émissions de CO₂. Les systèmes de piégeage et de stockage du CO₂ seraient compétitifs face à d'autres options à grande échelle en matière d'atténuation, comme les technologies liées à l'énergie nucléaire et aux énergies renouvelables.

Dans le cadre d'un ensemble d'actions visant à atténuer le [changement climatique](#), la technique du piégeage et du stockage du CO₂ pourrait réduire de 30% ou plus les coûts relatifs à la stabilisation de la concentration des [gaz à effet de serre](#) dans l'[atmosphère](#). La plupart des [scénarios](#) visant à atteindre cette stabilisation au moindre coût estiment que la quantité de CO₂ qui pourrait être stockée sous terre et dans les océans au cours de ce siècle se situe entre 220 et 2200 Gt CO₂. Pour y parvenir, il faudrait mettre en place au cours de ce siècle plusieurs centaines de systèmes de piégeage et de stockage du CO₂ de par le monde, voire des milliers, chacun piégeant environ 1 à 5 Mt CO₂ par an. Il faudrait que ces systèmes soient construits en grand nombre dans la première moitié de ce siècle, même si la majorité d'entre eux seront construits au cours de la seconde moitié. En l'absence de mesures limitant les émissions de CO₂, les techniques de piégeage et de stockage du carbone n'auraient que des opportunités limitées de se répandre et atteindraient au maximum un potentiel de stockage d'environ 360 Mt CO₂ par an. Il est peu probable que ces opportunités puissent à elles seules contribuer de manière significative à l'atténuation du changement climatique, à moins qu'elles ne s'étendent au secteur de l'électricité

Pour ce qui est des fuites sur le long terme depuis les sites de stockage, il faut fixer un plafond à la quantité de pertes que l'on peut tolérer si l'on en vient à accepter le piégeage et le stockage du CO₂ comme mesure d'atténuation du [changement climatique](#). Si la part de CO₂ stockée que l'on parvient à retenir est de l'ordre de 90-99 % sur 100 ans ou de 60-95% sur 500 ans, ces stockages non permanents pourraient toujours constituer une option valable d'atténuation du changement climatique.

L'ensemble des textes publiés suggère que la technique du piégeage et du stockage du CO₂ pourrait constituer une composante importante de la vaste gamme de politiques et de technologies qui seront nécessaires si l'on veut aborder avec succès et au moindre coût le [changement climatique](#). [Plus en anglais...](#)

[Copyright](#) © GreenFacts ASBL/VZW 2001–2008. Source : <http://www.greenfacts.org/fr/piegeage-stockage-co2/#10>

Une étude très complète intitulée **LA SEQUESTRATION DU CO₂**, émanant d'une équipe de recherche de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2004-2005, est accessible sur le site suivant :

http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0405/sequestration_co2.doc

Photo-oxydants. Synonymes : Agents d'oxydation photochimique ou Oxydants photo-chimiques.: ce sont des composés chimiques qui acceptent des électrons dans une réaction d'oxydation-réduction. La réaction est

induite ou accélérée par l'exposition au rayonnement électromagnétique dans le spectre de la lumière visible ou ultraviolette.

La **pollution photochimique** (ou **pollution photo-oxydante**) est un ensemble de phénomènes complexes qui conduisent à la [formation d'ozone](#) et d'autres composés oxydants (aldéhydes, composés organiques nitrés, acide nitrique,...) à partir de polluants primaires ou précurseurs : oxydes d'azote (NOX) et composés organiques volatils (COV) et d'énergie apportée par le rayonnement Ultra Violet (UV) solaire. Le CO participe également à la formation de l'ozone troposphérique. Ces phénomènes ont lieu dans les couches d'air proches du sol et dans la troposphère libre. Cette pollution s'observe surtout en été dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations.

Cas de l'ozone troposphérique

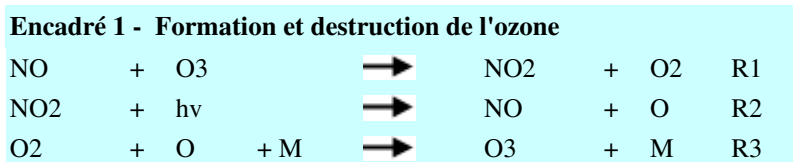
L'ozone est un constituant naturel qui se trouve à la fois dans les couches élevées de l'atmosphère (la stratosphère) et les couches plus basses (la troposphère). Dans la stratosphère, l'ozone (O₃) et l'oxygène (O₂) font partie d'un cycle naturel de formation et de décomposition qui est régi par l'énergie solaire. La majeure partie de l'ozone stratosphérique est concentrée dans une bande située au milieu de la stratosphère : c'est ce qu'on appelle communément la « couche d'ozone ». La couche d'ozone joue un rôle essentiel pour la vie sur Terre, car elle la protège des effets nocifs du rayonnement ultraviolet du Soleil.

À l'inverse, l'ozone troposphérique est un polluant. Les sources d'ozone troposphérique sont :

1. l'apport direct en provenance de la stratosphère (source mineure); et
2. la formation dans la troposphère (source importante). Les réactions chimiques menant à la formation de l'ozone dans la troposphère sont également régies par l'énergie du soleil; on dit donc que l'ozone est un **polluant photochimique**. Dans la troposphère, l'ozone est le produit d'une série de réactions complexes mettant en jeu des oxydes d'azote (NO_x = NO + NO₂) et des composés organiques volatils (COV). Ces polluants primaires, connus sous le nom de gaz précurseurs, sont produits au cours de la combustion de combustibles fossiles; ils sont associés principalement aux industries et aux transports. Certains NO_x et COV peut provenir de sources biologiques, en particulier l'été, lorsque les émissions de la végétation et du sol sont maximales. La proportion d'ozone troposphérique provenant de sources humaine ou naturelle est pratiquement nulle. C'est pourquoi l'ozone est considéré comme un **polluant secondaire**, car il se forme dans l'atmosphère à partir de précurseurs chimiques.

Bien que le processus de formation de l'ozone soit complexe, les principaux éléments en sont bien connus et peuvent être résumés comme suit. L'oxyde nitrique (NO) émis dans l'atmosphère réagit rapidement avec l'ozone (O₃) pour former du dioxyde d'azote (NO₂, encadré 1, réaction R1). Le NO₂ absorbe efficacement l'énergie du rayonnement solaire pour se dissocier en atomes d'oxygène (O) et en NO (R2).

Ces atomes d'oxygène réagissent rapidement à leur tour avec l'oxygène moléculaire (O₂) pour reformer de l'ozone (R3; M représente une troisième molécule, comme l'oxygène moléculaire ou l'azote moléculaire [N₂], qui absorbe l'énergie excédentaire libérée au cours de cette réaction, stabilisant ainsi la molécule d'ozone nouvellement formée).



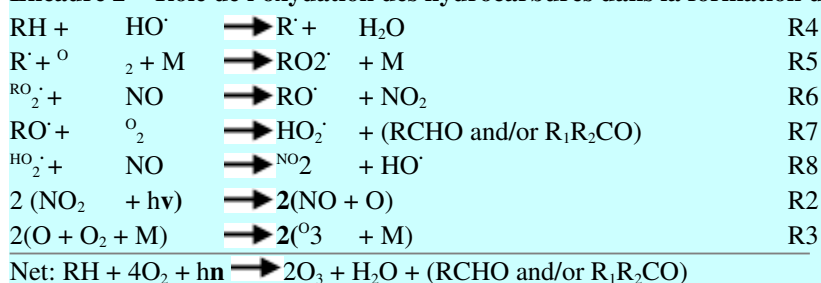
Les réactions R1 à R3 (encadré 1) décrivent l'état d'équilibre photochimique qui s'établit entre l'O₃, le NO et le NO₂. Autrement dit, s'il n'y avait aucun autre gaz dans l'atmosphère, il y aurait équilibre : la quantité d'ozone dépendrait du rapport entre le NO₂ et le NO dans l'atmosphère et de l'intensité du rayonnement solaire. Cependant, les concentrations d'ozone mesurées dans la troposphère sont nettement plus élevées que celles auxquelles on pourrait s'attendre dans des conditions d'équilibre. Ces observations révèlent l'existence de

réactions chimiques plus complexes et qu'en fait, l'atmosphère contient toujours des espèces chimiques susceptibles d'interférer avec le schéma réactionnel illustré dans l'encadré 1.

Dans une atmosphère polluée, les hydrocarbures présents en phase gazeuse (appelés RH dans l'encadré 2, mais aussi connus sous le nom de COV) et les NO_x participent à la formation de l'ozone. Pour comprendre comment se forme l'ozone, il faut se souvenir que, s'il existe d'autres réactions que R1 produisant du NO₂ sans détruire de molécule d'ozone, et qu'elles sont suivies des réactions R2 et R3 donnant naissance à une autre molécule d'ozone, on a alors un mécanisme menant à une hausse des concentrations d'ozone. Et c'est en fait ce qui se passe dans une atmosphère polluée.

Dans certaines conditions où des radicaux hydroxyles (HO[•]) sont formés par réaction photochimique, les hydrocarbures (RH) sont dégradés en radicaux peroxy (HO₂[•] et RO₂[•]), qui réagissent avec le NO pour produire du NO₂. (Encadré 2, R4 à R8). Le résultat net de cette série de réactions est la formation de deux molécules d'ozone par molécule d'hydrocarbure dégradée. Dans les faits, les réactions en jeu sont beaucoup plus complexes que celles de l'encadré 2, et certaines produisent également des molécules d'ozone. De nombreux travaux ont été entrepris pour permettre d'estimer le rendement global d'ozone par molécule d'hydrocarbure utilisée, mais il s'agit d'un exercice complexe; de plus, le rendement réactionnel varie selon le type d'hydrocarbure en cause.

Encadré 2 - Rôle de l'oxydation des hydrocarbures dans la formation de l'ozone



L'ozone est éliminé de l'atmosphère par divers processus, notamment par des réactions chimiques en phases gazeuse ou liquide, et le dépôt au sol. En atmosphère polluée, la réaction R2 cesse pendant la nuit, car elle exige l'énergie du rayonnement solaire. Par conséquent, R1 prédomine durant la nuit, et tout l'ozone peut être éliminé s'il est en présence de quantités suffisantes de NO, ce qui est souvent le cas dans les régions urbaines. Ce processus est appelé élimination par les NO_x.

Dans les régions rurales, les concentrations de NO sont généralement trop faibles pour éliminer l'ozone d'une manière appréciable. L'élimination par les NO_x peut également survenir pendant le jour, lorsque les concentrations de NO sont élevées et celles de COV sont relativement faibles (p. ex. à l'heure de pointe matinale [fortes émissions de NO], lorsque la température est encore basse [faible volatilité des COV]). Par conséquent, les concentrations d'ozone observées durant le jour sont fonction des abondances relatives des différents polluants dans l'atmosphère, qui, à leur tour, déterminent lesquelles des multiples réactions chimiques possibles régiront la chimie de l'ozone à un moment donné

L'ozone et les polluants photochimiques sont des espèces phyto-toxiques. L'ozone peut perturber la photosynthèse, altérer la résistance des végétaux, diminuer leur productivité, provoquer des lésions visibles. L'ozone contribue également avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols, etc...) aux troubles forestiers observés en Europe et en Amérique du Nord. L'ozone étant également un gaz à effet de serre, il peut contribuer aux modifications climatiques.

Suite aux épisodes de pollution à l'ozone de l'été 2003 qui ont touché toute la région Poitou-Charentes, ATMO Poitou-Charentes en collaboration avec l'Observatoire Régional de l'Environnement de Poitou-Charentes ont mis en ligne un Système de Surveillance Régional de l'Ozone. SYRSO a pour objectif d'informer toute la population sur la situation du jour et celle pour les jours suivant. SYRSO propose une carte de vigilance qui informe sur un risque d'épisode de pollution à l'ozone. SYRSO est accessible sur www.ozone-poitou-charentes.org.

Source : <http://www.emissions-poitou-charentes.org/ozone.htm>

Parmi les **photo-oxydants**, le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azotes (NO_x) sont les principaux polluants en cause dans la formation des **pluies acides**. Ils s'oxydent dans l'air en sulfates (SO₄²⁻) et en nitrates (NO₃⁻) dans le cas où l'atmosphère est sèche, ainsi qu'en acide sulfurique (H₂SO₄) et en acide nitrique (HNO₃) dans le cas où l'atmosphère est humide. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission. Voir à **Acidification** ci-dessus

Mesure de l'exposition individuelle aux photo-oxydants atmosphériques et recherche de marqueurs biologiques = Assesment of individual exposure to atmospheric photooxydants and isolation of biological markers

Le dioxyde d'azote (NO₂) et l'azote (O₃) sont des molécules présentant un caractère oxydatif actif, susceptibles de former des radicaux libres dans l'organisme et donc impliquées dans des processus pathologiques. Face à ce stress oxydatif, la protection naturelle des organismes est constituée de divers composés à action antioxydante.

Ces composés, piègent l'oxygène singulet et les radicaux libres. Cette thèse a pour objectif d'évaluer l'exposition personnelle à la pollution photooxydante dans la zone urbaine de Montpellier et de mettre en évidence d'éventuels marqueurs de cette pollution et de leur effet santé. Spécifiquement, le but de l'étude a été de déterminer les effets potentiels de ces polluants atmosphériques sur les taux d'antioxydants sanguins. Un protocole prend en compte différents paramètres susceptibles d'intervenir dans le niveau d'exposition et dans le taux d'antioxydants plasmatiques : facteurs environnementaux et individuels. Les mesures micro-environnementales et d'exposition personnelle ont reposé sur la mise en oeuvre d'échantillonneurs passifs et la mise au point de leur dosage.

Pour valider les échantillonneurs passifs des comparaisons ont été réalisées avec les analyseurs du réseau de surveillance de la qualité de l'air, et, pour évaluer l'influence des facteurs environnementaux sur l'exposition personnelle, des campagnes de mesure ont été conduites dans différents secteurs de Montpellier. Les mesures d'exposition individuelle et d'antioxydants ont été réalisées dans trois échantillons de population : une population urbaine (107 sujets), une population exposée professionnellement (47 chauffeurs d'autobus) et une population périurbaine (58 chercheurs).

Nos résultats montrent une diminution du taux de β-carotène pour la population urbaine la plus exposée au NO₂, cependant ce résultat repose sur un nombre limité de sujets et n'est pas retrouvé de façon significative chez les conducteurs d'autobus plus fortement exposés. Par contre, O₃ induit une diminution des taux de certains caroténoïdes et de la glutathion et une augmentation de la glutathion peroxydase dans les populations où il a été mesuré. Enfin, cette étude indique le rôle que peut jouer l'apport nutritionnel dans la protection contre le stress oxydatif induit par les photooxydants. Extrait du site : cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=183103

Traduction, définitions et compléments en français:

Jacques Hallard, Ing. CNAM, consultant indépendant.

Relecture et corrections : Christiane Hallard-Lauffenburger, professeur des écoles honoraire

Adresse : 19 Chemin du Malpas 13940 Mollégès France

Courriel : jacques.hallard921@orange.fr

Fichier : Energie Climat Renewables *versus* Carbon Capture and Storage ISIS French.3
