

2. Les milieux entre protection et gestion

2.4 Les changements globaux

2.4.1 Climat

2.4.1.0 L'effet de serre

L'effet de serre, c'est la vie

Résumé

La compréhension des débats autour des changements climatiques, ainsi que la participation à la définition des politiques de réponse qu'ils appellent, supposent acquises un certain nombre de références communes sur le phénomène de l'effet de serre. Elles concernent en particulier le mécanisme de la formation du climat par l'articulation entre le rayonnement solaire et le cycle du carbone.

Mots clés : atmosphère, carbone, climat, gaz à effet de serre, ressources naturelles.

L'auteur

Michel Mousel a exercé ses activités professionnelles dans les domaines de l'administration économique et financière et dans celui de l'environnement – en dirigeant notamment la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (1997 – 2002) ; il a également assumé des responsabilités syndicales, politiques et associatives. Il a fondé l'association 4 D en 1993 et en est aujourd'hui Président.

Vive l'effet de serre, vive le monde vivant !

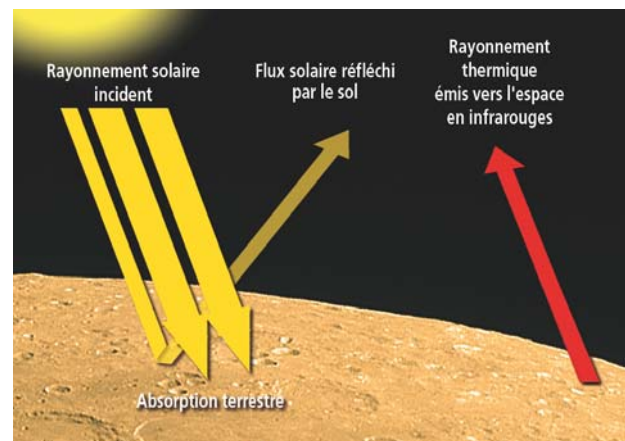
L'effet de serre est un phénomène naturel et nécessaire. Sa continuité et sa stabilité sont des conditions de la vie sur terre. Il ne pose de problème que lorsqu'il vient à se dérégler. Pour bien comprendre de quels dérèglements il peut être l'objet – et desquels il est l'objet aujourd'hui –, et la manière dont on peut y faire face, la connaissance des mécanismes essentiels de sa formation est indispensable. On rappelle ci-dessous qu'ils combinent, d'une part le rayonnement solaire, qui communique à la Terre l'énergie du soleil, et d'autre part le cycle du carbone dont dépend la composition chimique de l'atmosphère et donc la régulation de cet apport d'énergie.

LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Au départ, il y a le système constitué par le Soleil et son rayonnement, qui fournit la quasi-totalité de son énergie à la Terre, et dont la connaissance ont considérablement augmenté avec la puissance de calcul des ordinateurs et l'observation des satellites.

S'ils atteignaient directement la Terre (en particulier en l'absence d'atmosphère, comme c'est par exemple le cas pour la Lune), les rayons solaires seraient, soit absorbés par elle et leur énergie ainsi stockée, soit réfléchis vers l'espace notamment sous forme de rayons infrarouges vecteurs de chaleur, mais chaleur perdue au milieu du "vide sidéral". La même alternative rend Vénus torride et Mars glaciale. Pour

Sans atmosphère



ce qui la concerne, la Terre connaîtrait une température de l'ordre de -18 °C, peu favorable au type d'espèces vivantes qui l'occupent aujourd'hui.

Mais il n'en est pas ainsi depuis des milliards d'années. Avant de percuter notre planète, les rayons solaires rencontrent d'abord l'atmosphère qui l'enveloppe. Celle-ci les filtre (certains sont réfléchis, d'autres pas), les répartit à l'intérieur du spectre lumineux¹, les absorbe ou les projette sur la terre, ou les renvoie dans le vide. La terre les réfléchit sous forme de rayons infrarouges, mais ils sont cette fois-ci interceptés à leur tour dans l'atmosphère et redistribués de la même manière, et ainsi de suite : le processus se renou-

¹ Elle absorbe également les U.V. (via l'ozone stratosphérique) ce qui est également favorable à la vie sur terre, cf ci-dessous...

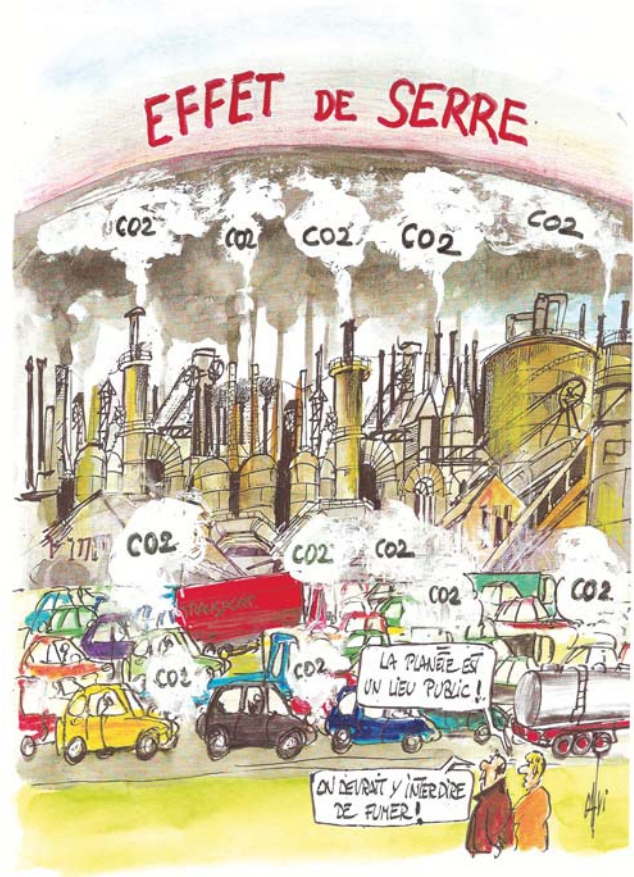
velle jusqu'à conserver une part significative de ces rayons dans l'environnement terrestre.

Qu'est-ce qui, dans l'atmosphère, joue ce rôle de "dispatching" ? Ce ne sont pas ses constituants majeurs, l'azote pour près des 4 cinquièmes et l'oxygène pour un cinquième, mais :

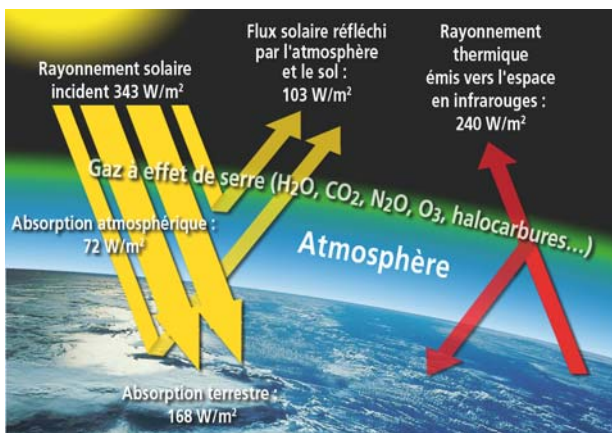
- d'abord l'eau sous forme principalement de vapeur d'eau, de nuages² : l'eau y contribue pour les 3/4, ce qui est évidemment considérable, mais cette présence naturelle dans l'atmosphère est d'une teneur assez invariable ; on retiendra donc seulement ici l'eau comme facteur de constance, et aussi comme accumulateur et répartiteur de chaleur à la surface de la terre.
- d'autre part les molécules de gaz émis de la terre selon des processus initialement naturels. *Mais ce sont ces dernières qui jouent aussi le rôle principal dans le piégeage du rayonnement infrarouge.* Et l'expérience montre que la quantité des gaz en question est susceptible de variation. Ils seront présentés ci-dessous au § 2.

En n'offrant plus seulement une couverture minérale la planète elle-même intensifie ces interactions. Au total, celles-ci retiennent donc beaucoup plus de chaleur, jusqu'à concurrence d'un différentiel de 33 °C : c'est ainsi que la température moyenne de la Terre, au lieu des -18 °C ci-dessus mentionnés, atteint + 15 °C. L'eau est presque partout et presque toujours liquide. *La vie est possible.*

Ce qui vient d'être décrit a été nommé dans le langage devenu courant, "effet de serre" en raison de l'analogie évidente avec



Avec atmosphère



Source : d'après GIEC

ce qui se passe dans le cas d'une pièce vitrée exposée au soleil (jardin d'hiver). Notre espèce lui doit en particulier son existence. C'est pourquoi il convient de toujours éviter l'expression trop courante de "lutte contre l'effet de serre", qui est un non-sens sauf goût marqué pour le suicide).

Bien entendu ce mécanisme ne protège pas complètement contre les variations naturelles du rayonnement solaire : celles-ci, de même que des modifications de la position de la Terre sur son orbite et de la distance entre le soleil et la Terre ont engendré des variations climatiques qui se renouvelleront (cf article "La dérive du climat, une crise écologique", N°27).

² Les nuages "tamisent" aussi le rayonnement solaire, et le solde des deux effets de sens opposés reste à mieux connaître.

L'impact des volcans sur l'effet de serre

La planète Terre n'est pas un "astre mort" : la "Terre solide" (lithosphère) est en mouvement, et dissipe vers la surface (dans l'atmosphère) de l'énergie (c'est l'énergie géothermique) et de la matière (notamment par le volcanisme). Ainsi, les enveloppes solides de la Terre émettent-elles des gaz, soit de manière "passive" (émissions de CO₂ des roches, à travers les sols), soit de manière "active" (par les éruptions volcaniques). Les mécanismes déterminant l'impact des éruptions volcaniques sur l'effet de serre est bien connu : les particules solides ou gazeuses réfléchissent ou absorbent la lumière (elles peuvent "assombrir" l'atmosphère) et servent de noyau de condensation (pour former des nuages). L'effet global est une réduction de l'effet de serre, dont la durée peut atteindre plusieurs années en cas d'éruptions stratosphériques.

De fait, les éruptions volcaniques majeures ont eu des effets notables sur le climat : l'éruption du Laki en Islande en 1783 (plus de 20 millions de tonnes de soufre et autant de CO₂ ont été émises) a entraîné un refroidissement du climat en Europe et est cité parmi les causes indirectes de la révolution française. De même l'éruption du Tambora (Indonésie) en 1815 a eu pour conséquence une absence d'été en 1816. Plus près de nous, les éruptions du Agung (1963), Fuego (1974), El Chichon (1982) et Pinatubo (1991) ont entraîné des refroidissements de plusieurs dixièmes de degrés mesurés sur une période de quelques années à la suite de chacune de ces éruptions.

Jacques Varet

QUELS SONT CES GAZ CONTENUS DANS L'ATMOSPHÈRE

En plus de la vapeur d'eau sous ses diverses formes, on en compte quatre qui existent à l'état naturel, et ont été également produits par l'humanité presque depuis ses origines (on dit en ce cas que leur origine est "anthropique") : le dioxyde de carbone ou gaz carbonique, le méthane, l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote et l'ozone ; et un ensemble de gaz essentiellement liés à des activités industrielles (donc strictement d'origine anthropique) qui appartiennent à la famille des "halocarbures" composés de carbone ou d'hydrocarbures d'une part, et d'un ou deux de trois gaz (chlore, fluor, brome), d'autre part. Le tableau ci-dessous en présente une description synthétique (et simplifiée) eu égard à leur origine, leur durée de vie et leur pouvoir de réchauffement.

LE CYCLE DU CARBONE

La stabilité de la composition gazeuse de l'atmosphère suppose que le renouvellement des gaz soit assuré, pour simplifier, à l'identique, en particulier en ce qui concerne le carbone. Le niveau de celui-ci est maintenu comme solde des échanges entre le monde vivant (biosphère), les stocks fossiles et les masses océaniques d'une part, et l'atmosphère d'autre part, entre lesquels s'établit un mouvement d'aller et retour :

- *A l'aller*, du carbone transite naturellement entre la terre et l'atmosphère sous forme de CO₂ (émis par la respiration des animaux et des plantes) ou de CH₄ (décomposition de matières organiques, fermentations digestives). Dans ce cas, le cycle du carbone se boucle si la biomasse est renouvelée (par exemple, les arbres replantés).

L'homme déstocke les substances organiques accumulées dans la croûte terrestre au cours des temps géologiques. Le carbone hier fossile et passif des couches profondes est le même que celui aujourd'hui gazeux et actif de la couche atmosphérique ; l'épuisement de l'un et la surabondance de l'autre ne sont que les deux faces de ce transfert.

La combustion produit principalement du CO₂ mais l'extraction, le transport, la distribution des combustibles participent également à l'émission de méthane. De plus, la réaction chimique liée à la fabrication des ciments libère aussi du CO₂ indépendamment de la combustion nécessaire à ce processus.

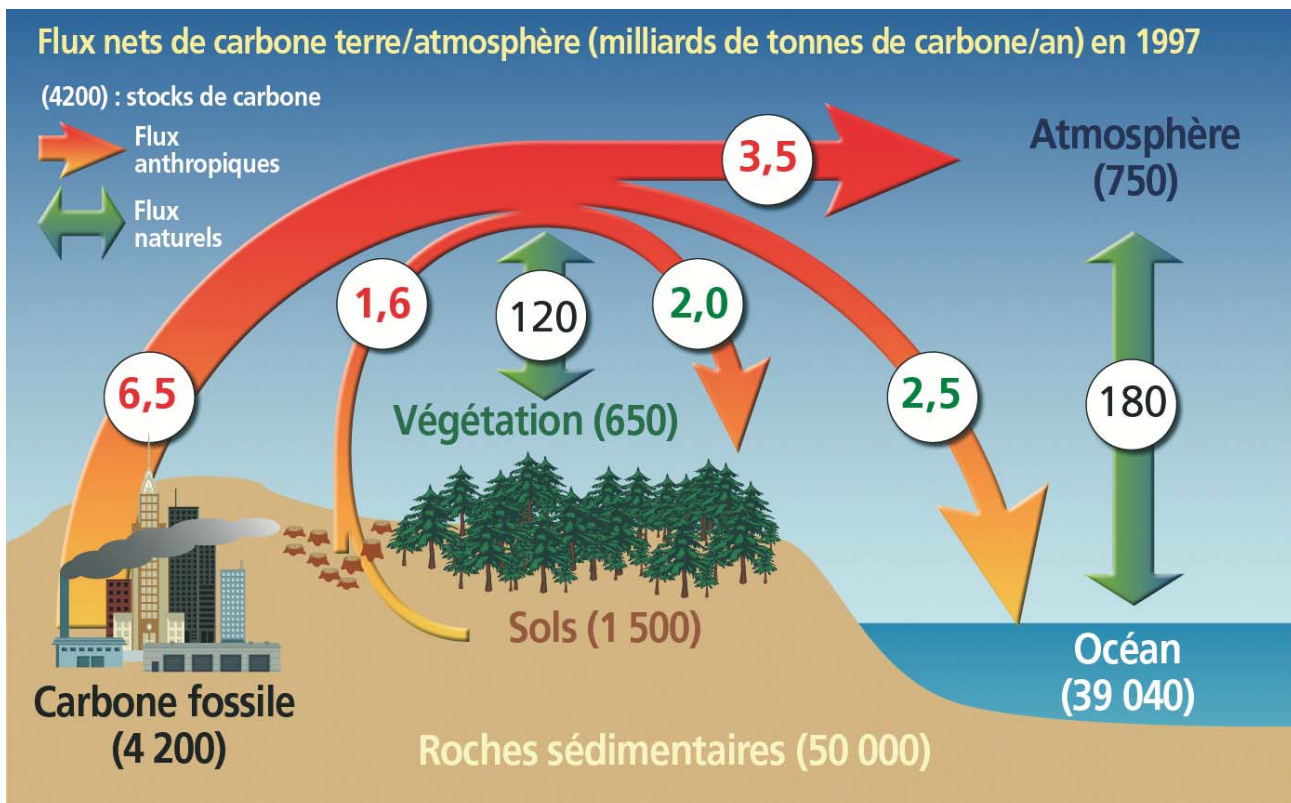
- *Au retour*, la Terre absorbe du carbone de l'atmosphère principalement sous forme de CO₂ : ce sont d'une part les végétaux (phénomène de la photosynthèse), qui en absorbent beaucoup plus qu'ils n'en rejettent, et stockent le carbone que l'on retrouve en quantité notamment dans le bois des arbres (à l'inverse la déforestation et toute réduction du couvert végétal diminuent l'absorption de carbone et le déstockent si le bois est brûlé ou

PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE

		Prg à 100 ans	Durée moyenne (ans)	Origine naturelle	Origine anthropique
Gaz carbonique	CO ₂	1	125	"Cycle du carbone"	Combustion fossiles et biomasse
Méthane	CH ₄	21	12	Décomposition/fermentation	Industrie de gaz / agriculture
Protoxyde d'azote	N ₂ O	310	150	Combustion matières organiques	Engrais
Ozone	O ₃	Stratosphérique		Rencontre U.V.<-> Oxygène	Gaz qui l'appauvrissent
		Troposphérique			Moteurs, automobiles
CFC, fréons	CFxCl _y	4 000-14 000			Climatisation, propulseurs
Halons/div. halocarbures		5-10 000			
Hydrochlorofluorocarbures	(HCFC)	100-3 000			Variante transitoire des CFC
HFC (Hydrofluorocarbures)	HFxCl _y	200-20 000			Substituts aux CFC et HCFC
PFC (Perfluorocarbures)	CxF(...)	6 000-12 000			Aluminium, uranium, semi conducteurs
Hexafluorure de soufre	SF ₆	23 900	50 000		Isolant électrique, réfrigérant

Commentaires :

- Prg = pouvoir de réchauffement global, instrument de comparaison de la capacité de chacun des gaz à absorber et renvoyer le rayonnement infrarouge vers la terre, capacité cumulée sur une période (ici, 100 ans). Par convention, cet indicateur est fixé à 1 pour le CO₂, gaz le plus abondant. Il faut tenir compte aussi, pour apprécier l'importance d'un gaz, de sa durée de vie : ainsi l'hexachlorure de soufre, très rare, est-il quasi inusable...
- L'ozone obéit, quant à sa formation et ses conséquences sur le climat, à des systèmes d'une extrême complexité, aux résultats contrastés selon qu'il est dans la troposphère (couche inférieure de l'atmosphère), où il se comporte plutôt en accélérateur de la chaleur produite par les autres gaz, ou dans la stratosphère (couche supérieure) où il joue un rôle plutôt stabilisateur (en filtrant les rayons U-V par exemple, lesquels sont dangereux pour la vie mais aussi pour le stockage du carbone en milieu marin), d'où l'importance accordée au problème suivant.
- La capacité d'action de l'ozone est limitée enfin par les "halocarbures" dont les plus agressifs à son égard – les CFC – sont éliminés pour cette raison par le Protocole de Montréal (1987/89) et remplacés par d'autres dépourvus de chlore mais toujours carbonés (HFC, PFC sur le tableau). Or les halocarbures sont également des gaz à effet de serre, y compris ceux qui ont été admis comme substituts aux substances appauvrissant la couche d'ozone, avec des pouvoirs de réchauffement très élevés. On voit la complexité du rôle que jouent désormais ces gaz qui n'existaient pas avant le XX^e siècle.
- Il faut mentionner également une autre famille de gaz, les aérosols dont les effets contradictoires sont moins bien connus : ainsi les aérosols sulfatés qui existent à l'état naturel. Leur émission la plus spectaculaire est celle des volcans (voir encadré page précédente), dont les éruptions contenant à l'origine du dioxyde de soufre SO₂ peuvent entraîner un refroidissement ; les suies résultant de processus de combustion ont au contraire un effet de réchauffement.



Source : BRGM et GIEC

3,5 milliards de tonnes de carbone de trop ! Les émissions mondiales de CO₂ liées aux activités humaines atteignent 30 milliards de tonnes (Gt) par an, ce qui correspond à 8,1 Gt de carbone : 6,5 Gt (soit 80 %) proviennent de la combustion d'énergies fossiles et 1,6 Gt (20 %) de la déforestation et des pratiques agricoles. Ces émissions anthropiques ne sont qu'à moitié résorbées par les puits de carbone : 2,5 Gt par les océans et 2 Gt par la végétation. Et donc, chaque année, 3,5 Gt de carbone viennent s'accumuler dans l'atmosphère et perturber le climat.

putréfié) ; d'autre part les océans, par le phénomène de photosynthèse appliqué au phytoplancton ou d'autres végétaux qui concourent également à la dissolution du CO₂ dans l'eau ou à la sédimentation du carbone.

L'article sur *La dérive du climat, crise écologique* (N°27) traite de ces risques, et le suivant de leur maîtrise.

Michel Mousel

L'équilibre ainsi décrit du cycle du carbone ne se réalise pas simplement par égalisation des flux quantitatifs dans le court terme : les temps du cycle diffèrent selon ses composants, certains comme on l'a vu peuvent être très longs ; l'architecture du cycle est en outre d'autant plus complexe que des interactions existent entre les éléments qui en assurent le bouclage (par exemple le rapport entre les végétaux, les radiations et le carbone : ainsi un réchauffement de l'atmosphère induit-il une intensification de l'activité de photosynthèse). On est en présence d'un système qui a mis des millions d'années à converger. *Des facteurs exogènes de déséquilibre peuvent le conduire à la divergence, momentanée ou durable.*

Les conclusions de nos deux approches de l'effet de serre – celle par le système radiatif, et celle par le cycle du carbone – se rejoignent ainsi pour nous confirmer que *non, l'histoire n'est pas finie : l'humanité n'est à l'abri, ni de risques dérèglements naturels qu'elle maîtrise mal, ni de sa capacité à constituer un risque pour elle-même, dont on peut se demander parfoi si elle le maîtrise mieux.*

Pour en savoir plus

- Gérard Megie, *Ozone, l'équilibre rompu*, Presses du CNRS, 1989.

GIEC

- Michel Petit, *Qu'est-ce que l'effet de serre*, Vuibert 2003.
- Sylvestre Huet, *CLIMAX* (Cité des Sciences et de l'Industrie, 2003).
- Sylvie Joussaume, *Le Climat : d'hier à demain*, CNRS, 2000.
- Didier Hauglustaine, Jean Jouzel, Hervé Le Treut, *Climat : chronique d'un bouleversement annoncé*, éditions Le Pommier, Cité des Sciences et de l'Industrie, 2004.

Lire également dans l'encyclopédie

- ❖ Michel Mousel, *La dérive du climat, crise écologique* (N°27).
- ❖ Pierre Radanne, *Les leçons de Bali* (N°56).

Ce document est strictement réservé aux souscripteurs de l'encyclopédie du développement durable. Toute reproduction ou citation devra mentionner 4D - l'encyclopédie du développement durable.

Les éditions des Récollets
c/o association 4D - 150, rue du Faubourg Saint-Martin - 75010 Paris
Tél. : 01 44 64 74 94 - dd.recollets@association4d.org
Directeur de la publication : Jean-Pierre Piéchaud