

EFFET DE SERRE ET CLIMAT

1. INTRODUCTION.

Le grand défi énergétique que devra relever l'humanité pour assurer un développement durable au cours de ce siècle, doit prendre en compte trois obligations :

- Maîtriser la demande en énergie d'une population de plus en plus nombreuse et dont la croissance du niveau de vie signifie, dans un premier temps, un accroissement de consommation de matières et d'énergie.
- Maîtriser l'appel aux sources fossiles d'énergie dont les réserves ne peuvent que diminuer.
- Maîtriser l'impact climatique que peuvent induire les émissions de Gaz à Effet de Serre (G.E.S.) dont l'augmentation est due en partie aux activités humaines.

2. UN RAPPEL D'EVIDENCES.

Un corps exposé aux rayons du soleil s'échauffe et émet (restitue) de la chaleur autour de lui. C'est le principe du chauffe-eau solaire. Pour parler plus savamment, ce phénomène provient de la transformation des rayons lumineux, absorbés dans ce corps, en chaleur qui se manifeste par l'émission de rayons principalement non visibles (infrarouges). La loi d'évidence est qu'un corps chauffé doit libérer dans des conditions définies autant d'énergie qu'il en reçoit, sous peine de voir sa température augmenter. En fait, le bilan de cet échange détermine la température d'équilibre du corps considéré.

La terre reçoit en moyenne, en provenance du soleil, un rayonnement lui apportant environ 240 watts par mètre carré. Sans atmosphère la terre renverrait dans l'espace une quantité d'énergie qui ferait que la température de notre planète ne devrait pas, en moyenne, dépasser -18°C . Heureusement nous bénéficions d'une ambiance plus chaleureuse qui atteint en moyenne $+15^{\circ}\text{C}$. L'explication de cet écart de $+33^{\circ}\text{C}$ réside dans le phénomène de l'effet de serre.

3. L'EFFET DE SERRE.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui existe depuis toujours en présence d'atmosphère. Il a évolué avec la composition de l'atmosphère depuis les origines de la terre, il est responsable de la vie telle que nous la connaissons et dont nous faisons partie.

Comme tout phénomène naturel, l'effet de serre est simple dans son principe et compliqué dans son mécanisme, soumis à de nombreux facteurs.

Le rayonnement solaire direct, peu absorbé par l'atmosphère terrestre, chauffe la surface du sol. Ce dernier renvoie, comme il a été dit, un rayonnement vers l'espace. Ce rayonnement est peu absorbé par l'azote et l'oxygène, composants principaux de l'atmosphère. Par contre, il n'en est pas de même pour certains composants dits secondaires de la couche gazeuse de notre planète. La vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, l'oxyde nitreux, l'ozone ont un pouvoir d'absorption important pour le rayonnement évacuant la chaleur émise par la terre. A ces gaz présents dans les cycles naturels s'ajoutent des gaz synthétisés industriellement. Cette couverture de gaz à fort pouvoir absorbant joue le même rôle que celui d'un toit de serre en s'opposant à la déperdition de la totalité de la chaleur reçue du soleil.

Toujours présent, ce phénomène a évolué depuis les premiers temps de notre planète. Lors de la formation de la terre, l'atmosphère était principalement composée de gaz carbonique, d'azote et de vapeur d'eau. Bien que le rayonnement solaire ait été plus faible que de nos jours, l'important effet de serre exercé par cette atmosphère a permis d'assurer une température favorable à l'apparition de la vie. Ainsi ont pu apparaître les premières plantes unicellulaires, résultant de la photosynthèse, qui ont été de fait les premiers pollueurs de l'atmosphère en générant de l'oxygène aux dépens du gaz carbonique. La diminution de l'effet de serre qui en est résulté a heureusement été compensée par un accroissement du rayonnement solaire. Dans le système solaire, deux planètes proches de la terre présentent des effets de serre totalement différents. La planète Mars a une atmosphère très ténue ($p=0,006\text{ atm}$), sa température est très proche de ce qu'elle serait sans atmosphère ($+4^{\circ}\text{C}$). Sur la planète Vénus dont l'atmosphère est très dense ($p=90\text{ atm}$) et composée principalement de CO_2 , le réchauffement dû à l'effet de serre est de 442°C .

4. ETAT DES LIEUX.

Les gaz à effet de serre ont des origines et des importances différentes. La contribution à l'effet de serre total de ces divers gaz dépend de leur abondance et surtout de leur efficacité spécifique. Cette dernière est la résultante de leur pouvoir absorbant spécifique et de leur durée d'existence dans l'atmosphère. Les valeurs des gaz à effet de serre retenues par le protocole de Kyoto en 1997 sont respectivement : 66% pour la vapeur d'eau, 18% pour le gaz carbonique, 7% pour le méthane, 2% pour l'oxyde nitreux et 5% pour l'ensemble des autres gaz.

4.1. LA VAPEUR D'EAU (H₂O).

Le cas de la vapeur d'eau est particulier car sa concentration s'adapte rapidement à la température.

La vapeur d'eau rejetée naturellement (volcans – transpiration végétale ou animale – évaporation océanique) ou artificiellement (industrie) se condense rapidement sans avoir eu le temps de modifier durablement la température. Inversement si la température augmente pour une raison quelconque, la concentration de la vapeur d'eau croît également et amplifie l'augmentation de température. Mais la formation de nuages augmente également la réflexion de la lumière solaire incidente ; elle contribue ainsi à une réduction du rayonnement atteignant le sol et donc à une diminution de la température. Le résultat de ces phénomènes antagonistes est particulièrement difficile à appréhender.

4.2. LE GAZ CARBONIQUE (CO₂).

La photosynthèse, élément important du cycle naturel du carbone, comporte une phase d'absorption du gaz carbonique par les végétaux et à travers eux contribue à la construction de tous les êtres vivants qui en effectuent donc le stockage. Inversement presque tous les êtres vivants du règne animal utilisent l'oxygène et rejettent du gaz carbonique dans leur processus vital. Enfin la décomposition des êtres vivants après leur mort produit aussi du gaz carbonique. Le carbone, constituant de ce gaz, est stocké dans deux grands réservoirs : le sol ou lithosphère (surtout sous forme de carbonates) et les océans ou hydrosphère. L'évolution du dépôt dans la lithosphère, 10 millions de milliards de tonnes de carbone, s'effectue au rythme géologique. Le contenu des océans, 40 mille milliards de tonnes, évolue beaucoup plus rapidement et, de ce fait, joue un rôle plus important dans la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère.

A ces mouvements naturels s'ajoutent les émissions dues aux activités humaines en fort accroissement depuis plus d'un siècle. Actuellement celles-ci sont évaluées annuellement à environ 30 milliards de tonnes de gaz carbonique, principalement issues de l'utilisation des combustibles fossiles. Cet ajout qui peut sembler faible par rapport aux masses stockées contribue cependant à modifier l'équilibre naturel en augmentant la charge atmosphérique évaluée actuellement à 750 milliards de tonnes de gaz carbonique.

4.3. LE METHANE (CH₄).

Le méthane est produit par la décomposition de la matière organique composant la matière vivante. Les émissions naturelles de méthane sont environ de 200 millions de tonnes par an (dont 30 millions dus aux termites). Les émissions dues à l'homme (anthropique) sont plus importantes. L'utilisation de combustibles fossiles est à l'origine de l'injection dans l'atmosphère de 100 millions de tonnes annuelles (fuites de gaz, grisou), 100 millions de tonnes proviennent de l'élevage des ruminants, 80 millions de tonnes sont émises par les rizières, 40 millions de tonnes sont générées par la décomposition de la biomasse et environ 60 millions de tonnes par les décharges d'ordures ménagères.

4.4. L'OXYDE NITREUX (N₂O).

L'oxyde nitreux est le plus stable des oxydes d'azote. Vingt millions de tonnes sont produites chaque année naturellement par les bactéries du sol qui fixent incomplètement l'azote des nitrates. L'utilisation des engrais azotés par l'agriculture accroît de cinq millions de tonnes cette production. Les émissions des moteurs thermiques contribuent également pour cinq millions de tonnes à la charge atmosphérique chaque année.

4.5. L'OZONE (O₃).

L'ozone atmosphérique (d'origine différente de celle de l'ozone stratosphérique) résulte de réactions photochimiques complexes entre produits de combustion soit de la biomasse, soit de combustibles fossiles. Son émission est essentiellement due aux activités humaines mais ce gaz a une très courte vie dans l'atmosphère.

4.6. LES HALOCARBURES

Les halocarbures, les plus connus étant les chlorofluorocarbones (CFC) sont des gaz de synthèse industrielle. Ils ont été utilisés comme fluides propulseurs (bombes d'aérosols) ou réfrigérants et pour la fabrication de mousses. Tenus pour responsables de la destruction de la couche d'ozone stratosphérique (trou d'ozone), protégeant la terre du rayonnement ultraviolet, leur concentration devrait se stabiliser ou décroître si les clauses du

Protocole de Montréal (1987) sont respectées. Il faut cependant noter que leurs substituts sont également des gaz à effet de serre.

4.7. L'HEXAFLUORURE DE SOUFRE (SF₆)

Est utilisé comme isolant dans les installations à haute tension. Il est présent actuellement dans l'atmosphère en quantité négligeable. Son augmentation est très importante (8% par an), son efficacité est extrêmement importante, l'effet de serre produit par une molécule de SF₆ est équivalent à celui de 22200 molécules de CO₂ et sa durée de vie dans l'atmosphère est estimée à 3200 ans

5. LE CLIMAT.

Au cours des derniers millions d'années, des ères glaciaires ont régulièrement alterné avec des périodes de réchauffement. L'explication de cette évolution cyclique se trouve dans la combinaison des variations de l'activité solaire, du mouvement orbital de la terre et de l'inclinaison de son axe.

Des moyens d'investigation très élaborés sont à la disposition des climatologues. Ils ont en particulier permis de reconstituer l'évolution du climat depuis 400.000 ans à partir des carottes prélevées dans la calotte glaciaire de l'antarctique.

La température qui a régné durant une période de temps est déterminée à partir du rapport isotopique oxygène 18/oxygène 16 de la glace formée à partir de la neige dont la chute a été associée à un phénomène d'évaporation de l'océan. Plus léger, l'oxygène 16 est naturellement plus abondant dans la vapeur d'eau que dans l'eau liquide. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la température est basse. Inversement, la teneur relative en oxygène 18 croît avec la température.

Les concentrations en CO₂ et CH₄ des périodes correspondantes sont mesurées dans les bulles microscopiques incluses dans ces mêmes échantillons. Les résultats les plus récents montrent que l'accroissement des concentrations du gaz carbonique et du méthane a suivi l'augmentation de la température avec environ 800 ans de retard. Dans le passé, c'est donc la température qui a causé l'accroissement de la concentration de ces gaz à effet de serre par un dégazage de l'océan et par l'accélération du métabolisme de la biomasse. Cette augmentation de la concentration des G.E.S. a ensuite réagi positivement sur la température et a contribué pour 40% à son accroissement final.

Il est cependant apparu lors d'analyses effectuées sur des carottes de glace, prélevées au Groenland, l'existence de brèves et importantes fluctuations de température allant à l'encontre de la tendance générale et particulièrement visibles durant les périodes de réchauffement. Ces diverses observations montrent la complexité du phénomène.

L'étude du passé a conduit les spécialistes à tenter une projection dans l'avenir

La mesure de la concentration des principaux gaz à effet de serre depuis plus de deux siècles, a montré une augmentation rapide. Cette augmentation s'est accélérée depuis une centaine d'années à partir de la révolution industrielle de la fin du XIX^{ème} siècle.

Durant cette dernière période, la teneur en gaz carbonique est passée de 280 à 360 parties par million (ppm), une valeur jamais atteinte depuis 150000 ans.

Les concentrations des autres gaz à effet de serre ont augmenté encore plus vite.

Les températures moyennes sur la terre pendant cette même période ont globalement évolué d'une manière similaire. La tentation est donc grande d'affirmer une relation de cause à effet entre ces deux phénomènes. Cependant, cette conclusion fait toujours l'objet d'un débat. Une partie de l'augmentation observée des températures serait due à une croissance de l'activité solaire qui correspond à la sortie du petit âge glaciaire qui marqua le règne de Louis XIV (le Roi Soleil !). De plus, la stabilisation de la température entre 1940 et 1970 semble également aller à l'encontre de ce que laisserait prévoir l'évolution des concentrations des gaz à effet de serre qui ont continué à augmenter. Encore que pour cette période il a été avancé que cette pause dans la courbe de croissance des températures serait due à la période de guerre. Cette anomalie aurait été provoquée, lors des conflits, par le rejet dans l'atmosphère de poussières et de gaz ("volcanisme humain") s'opposant à la pénétration du rayonnement solaire.

C'est donc dans ce contexte difficile que le Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat (G.I.E.C.) a mis au point des modèles climatiques complexes pour tenter de prévoir les évolutions futures. Un bon accord a pu être obtenu entre les calculs et les observations en associant les conséquences des variations naturelles (activité solaire – éruption volcanique en particulier) et des émissions dues aux activités humaines (anthropiques).

Depuis le début du 20^{ème} siècle, la température moyenne a cru de 1 °C environ. La contribution anthropique est estimée, d'après ce calcul, à environ 0,6°.

L'injection par les activités de l'homme de gaz à effet de serre, s'ajoutant aux phénomènes naturels, a pour résultat actuellement une charge de l'atmosphère de 750 milliards de tonnes de gaz carbonique ; quantité qui dépasse largement le pouvoir d'absorption de la biosphère et de l'océan. Si cette croissance de la charge en carbone de l'atmosphère est responsable de l'augmentation de la température moyenne de 0,6 à 1°C constatée, la poursuite de ces rejets au rythme actuel conduirait au cours du 21^e siècle à un stock atmosphérique de 1250 milliards de tonnes et à une teneur de 600 ppm. La température moyenne devrait alors enregistrer une augmentation comprise entre 1,8 et 3°C par rapport à la situation actuelle.

Malheureusement, les projections établies, prenant en compte l'augmentation de la population, l'accroissement individuel de la consommation en énergie associée à celui du niveau de vie, même corrigé par l'amélioration de l'efficacité énergétique, conduisent à une situation plus préoccupante. Les scénarios prévoient un doublement de la consommation énergétique entre les années 2000 et 2050. Une politique mondiale très volontariste pourrait réduire ce facteur d'accroissement à 1,5. Le stock total de carbone atmosphérique atteindrait cependant 1600 milliards de tonnes et la teneur 770 ppm. La conséquence serait alors une augmentation des températures moyennes entre 1,8 et 6°C. Les modèles climatiques ne peuvent pas actuellement prendre en compte des évolutions non linéaires qui pourraient accélérer ou ralentir le réchauffement (rejet de CO₂ par la biomasse et l'océan – relâchement de CH₄ par le dégel des sols de Sibérie et du Canada – modification de la circulation des courants océaniques).

6. CONSEQUENCES POSSIBLES DE L'EVOLUTION CLIMATIQUE

Les spécialistes envisagent que, suivant son importance, l'établissement d'une température moyenne plus élevée aurait des conséquences très diverses sur les paramètres de fonctionnement de la planète.

Deux phénomènes marins majeurs pourraient subir des modifications considérables.

- « EL NIÑO » est un renversement des courants de l'Océan Pacifique, qui se produit tous les 2 à 8 ans de manière aléatoire. Ses conséquences sont majeures : inondations sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, cyclones en Polynésie, sécheresse en Asie du Sud-Est, au Brésil et dans les grandes plaines américaines. Les climatologues ont encore des difficultés à prévoir le déclenchement de ce phénomène et son intensité. Le réchauffement pourrait amplifier ses conséquences.

- Le « GULF STREAM », ce courant marin, transporte l'eau chaude des Caraïbes jusqu'au large de la Norvège. Il apporte ainsi à l'Europe occidentale un supplément d'environ 10°C, lui assurant des hivers cléments. Le Gulf Stream est actionné par les eaux plus denses car plus salées venant du Sud, qui s'enfoncent sous l'Océan en atteignant la partie nord de l'Europe et retournent vers le Sud. Cette pompe, ainsi amorcée, assure la circulation des eaux refroidies vers le Sud puis à nouveau leur remontée vers le Nord après réchauffement aux Caraïbes. Une élévation des températures atmosphériques provoquant de fortes précipitations aux hautes latitudes diluerait les eaux montantes plus salées et pourraient désamorcer cette pompe. L'Europe occidentale aurait alors à subir des hivers aussi rigoureux que ceux du Québec.

En dehors de ces phénomènes majeurs les climatologues, ont établi un catalogue des changements possibles sinon probables pour les diverses régions du monde :

- Arctique et Antarctique : la fonte des glaces et la dilatation des eaux conduisent à une élévation du niveau des mers de 9 à 88 centimètres avec des conséquences évidentes pour les basses terres.
- Amérique du Nord : en Floride les cyclones sont plus fréquents. Au centre, la sécheresse s'intensifie. Les zones désertiques s'étendent. La production agricole des grandes plaines est affectée.
- Amérique du Sud : Cyclone tropicaux, tempêtes et inondations sont plus fréquents. Une baisse des ressources agricoles est à redouter ainsi qu'une pénurie en eau liée à la disparition des glaciers andins.
- Afrique : La sécheresse s'amplifie. Le désert gagne sur la savane. Les ressources en eau baissent, menaçant une agriculture déjà précaire. Les neiges du Kilimandjaro pourraient disparaître d'ici 2020.
- Sibérie : Avec le dégel du permafrost (sol constamment gelé), les zones végétales remontent de 150 à 500 kilomètres vers le Nord.
- Asie du Sud-est : l'augmentation de la sécheresse et des cyclones, associée à une submersion des terres basses (Bangladesh), risque de provoquer une recrudescence de maladies infectieuses et des migrations de populations.
- Europe : Au nord, les pluies plus abondantes sont favorables à l'agriculture mais des inondations sont à redouter. Au sud, les vagues de sécheresse sont plus fréquentes, menaçant les ressources d'eau potable.
-

7. REACTIONS MONDIALES.

Le pire n'est jamais sur. Cependant la communauté internationale s'est émue de cette menace bien identifiée depuis environ un quart de siècle. Entre de nombreuses manifestations de cet intérêt pour la sécurité du Globe, il faut citer la déclaration finale de la Conférence de Toronto (1987), organisée dans le sillage du rapport BRUNTLAND : « **L'Humanité se livre sans frein à une expérience inconsciente qui touche l'ensemble du globe et dont les conséquences définitives ne le céderaient en rien à celles d'une guerre nucléaire mondiale. L'atmosphère terrestre change à une vitesse sans précédent en raison des polluants de nature anthropique, du gaspillage des combustibles fossiles et de l'effet de l'augmentation rapide de la population dans plusieurs régions. Ces changements représentent une grande menace pour la sécurité internationale et ont déjà des conséquences néfastes dans de nombreuses parties du globe.** »

Cette conférence fut suivie par une impressionnante série de réunions internationales sur l'environnement global (Rio de Janeiro, Kyoto, La Haye, Johannesburg etc.). Si cette activité diplomatique a donné naissance à des conventions, protocoles ou autres textes, elle n'a pas profondément modifié les pratiques de la plupart des pays.

Le seul espoir de ralentir ou de ne pas amplifier le processus de modification climatique redouté réside dans la maîtrise de la demande en énergie et dans la décarbonisation des modes de production de celle-ci.

8. CONCLUSION.

L'effet de serre est une réalité scientifique indiscutable et connue depuis longtemps. Le lien entre le réchauffement de l'atmosphère terrestre et les activités humaines, si de nombreuses observations semblent le confirmer, est encore discuté. Les effets sur le climat et leur ampleur sont encore le sujet de débats très vifs, souvent pollués par des options lobbyistes et politiques.

L'application du principe de précaution est la seule attitude responsable vis-à-vis d'une situation recelant à la fois des risques immenses et des incertitudes importantes. Cela signifie, à la fois, la poursuite d'un progrès technique associé à des actions de recherche, de surveillance de l'évolution climatique et de maîtrise des demandes d'énergie, seuls gages d'un développement durable. Dans l'immédiat la seule orientation possible - et désagréable pour ses contempteurs, qui sont les mêmes que ceux qui s'affolent devant le risque climatique - est l'appel aussi massif que possible à l'énergie nucléaire pour la production d'électricité, complété par le développement des énergies renouvelables (hydraulique, éolienne, solaire) et la recherche concernant de nouveaux modes de production d'énergie (réacteurs de 4^e génération – fusion) et de modes d'utilisation (hydrogène -séquestration du carbone).