

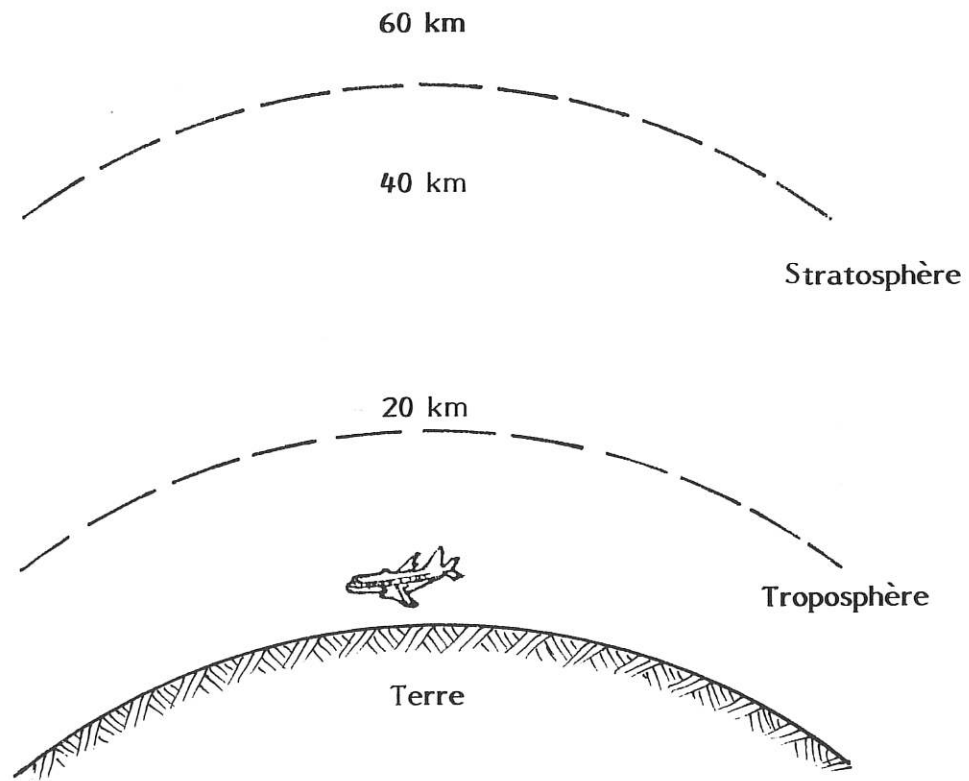
QU'EN EST-IL REELLEMENT DE LA COUCHE D'OZONE ?

Gérard Mégie

Mardi 16 mai 1989

C'est une conférence passionnante sur l'ozone que nous a présentée Gérard Mégie, directeur de recherche au C.N.R.S., et directeur du service d'aéronomie, mardi 16 mai 1989

L'atmosphère de la terre



La première frontière se situe à environ 20 km de la Terre. Elle sépare la région où nous vivons (troposphère), où l'atmosphère subit des mouvements et la stratosphère. Le premier moyen trouvé pour atteindre la stratosphère fut le ballon. Les problèmes d'ozone se posent entre 20 et 40 km de la terre.

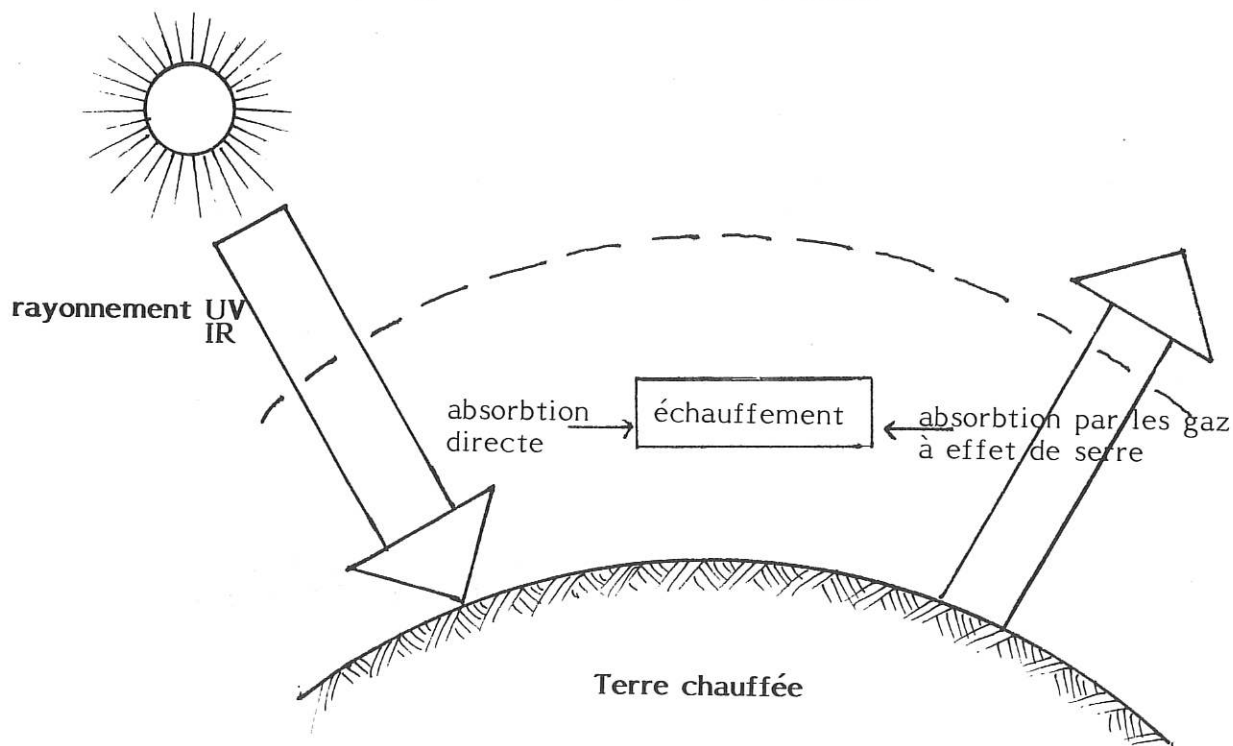
Composition de l'atmosphère :

L'atmosphère est composée de 78 % d'azote (N_2) moléculaire, de 20 % d'oxygène moléculaire (O_2) et de 1 % d'argon. A ces constituants dits majoritaires viennent s'ajouter un grand nombre d'autres constituants à l'état de traces en constituants minoritaires (ozone, gaz carbonique, méthane...). L'équilibre atmosphérique est régi par ces constituants minoritaires.

La vie sur la Terre est fonction de la présence d'une source d'énergie : le soleil. Dans la traversée de l'atmosphère, une partie du rayonnement moléculaire est absorbée par l'oxygène. L'ozone lui, absorbe le rayonnement solaire ultraviolet dangereux pour les organismes vivants. Une fois filtré, le rayonnement solaire atteint la Terre qui est chauffée.

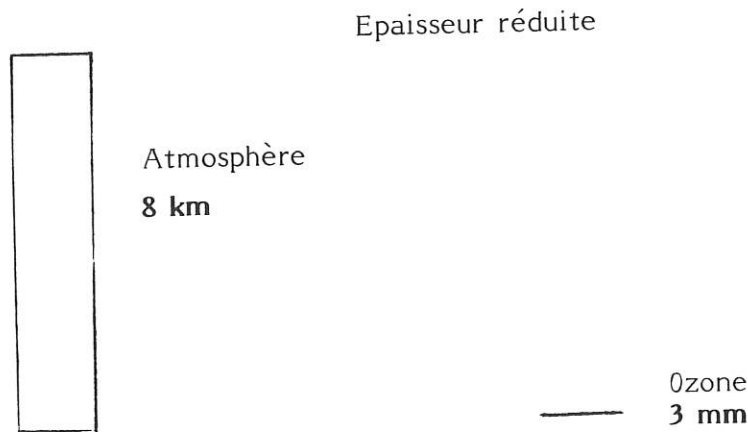
Une fois la Terre chauffée par le rayonnement solaire, elle émet un rayonnement infrarouge. Une partie de ce rayonnement est renvoyé vers le sol à cause de certains gaz de l'atmosphère (gaz carbonique, méthane, ozone...). S'il n'y avait pas d'atmosphère, donc pas d'effet de serre, la température moyenne de la Terre devrait être de -18°C . Elle est en fait de $+15^\circ\text{C}$. La Terre serait couverte de glace.

Donc tout l'équilibre : filtrage des UV, renvoi d'une partie du rayonnement pour maintenir la température de la Terre à une valeur qui permet le développement de la vie, est lié à la présence dans l'atmosphère de la Terre, de gaz extrêmement peu abondants.



Quantité d'ozone :

Si on prenait tout l'ozone qui est au-dessus de nous et si on le ramenait à la pression atmosphérique, on obtiendrait une couche de 3 mm d'épaisseur contre 8 km pour l'atmosphère. D'où la fragilité de cette couche.



Suivant l'endroit où l'on se trouve à la surface de la Terre, il n'y a pas la même épaisseur d'ozone au-dessus de notre tête, à cause des mouvements de l'atmosphère.

D'où vient l'ozone ?

C'est en 1840 que Schoënbren à Bâle introduisait pour la première fois le mot "ozone" pour caractériser une espèce chimique se formant dans diverses réactions et possédant une odeur très caractéristique que l'on retrouve lorsqu'on déclenche des étincelles électriques dans l'air sec. Au cours du demi-siècle qui suivit, la nature chimique de l'ozone était précisée notamment par De La Rive à Genève et Houzeau à Rouen. Les premières observations systématiques de la teneur en ozone dans l'air furent introduites en 1877 par Lévy à l'observatoire du Parc de Montsouris à Paris, et allaient constituer la première base de données climatologiques sur l'ozone mettant notamment en évidence un maximum de concentration au sol en été et un minimum en hiver.

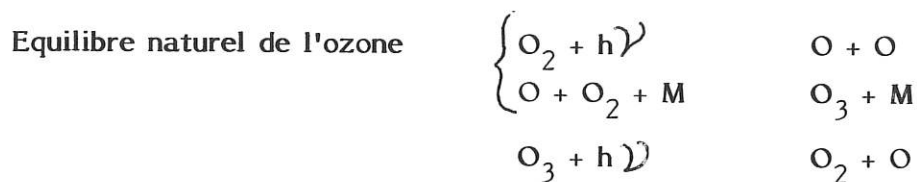
L'ozone (O_3) de la stratosphère se crée par réaction photochimique *. Dans un premier temps, les rayons ultraviolets du Soleil dissocient les molécules d'oxygène (O_2) de l'air. Une molécule d'ozone se forme quand un atome d'oxygène dissocié se combine à une molécule entière d'oxygène.

* - Photochimique : transformation de la matière sous l'influence du spectre compris entre l'ultraviolet extrême et le début de l'infrarouge.



Donc l'ozone est formé naturellement dans la haute atmosphère grâce au rayonnement solaire, donc à une énergie que l'homme ne sait pas contrôler.

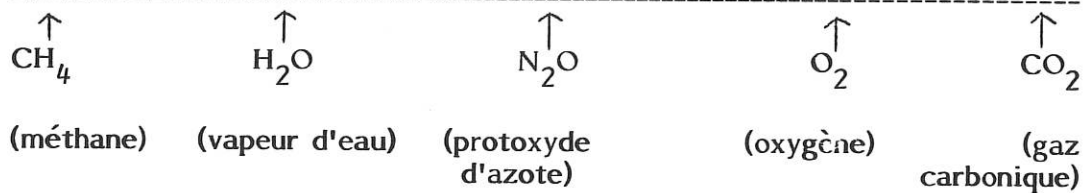
Les molécules d'ozone ainsi formées sont continuellement attaquées par des gaz d'origine naturelle à l'état de traces, en provenance de la Terre : les composés à base d'azote, émis par les bactéries du sol ou lorsque l'on brûle des combustibles fossiles, le méthane dégagé par la fermentation de la matière organique etc. Mais régénérée par le rayonnement solaire, la couche d'ozone se maintient à l'équilibre.



méthane - oxyde nitreux → HOx, NOx

Cycles
catalytiques
de destruction

12 km



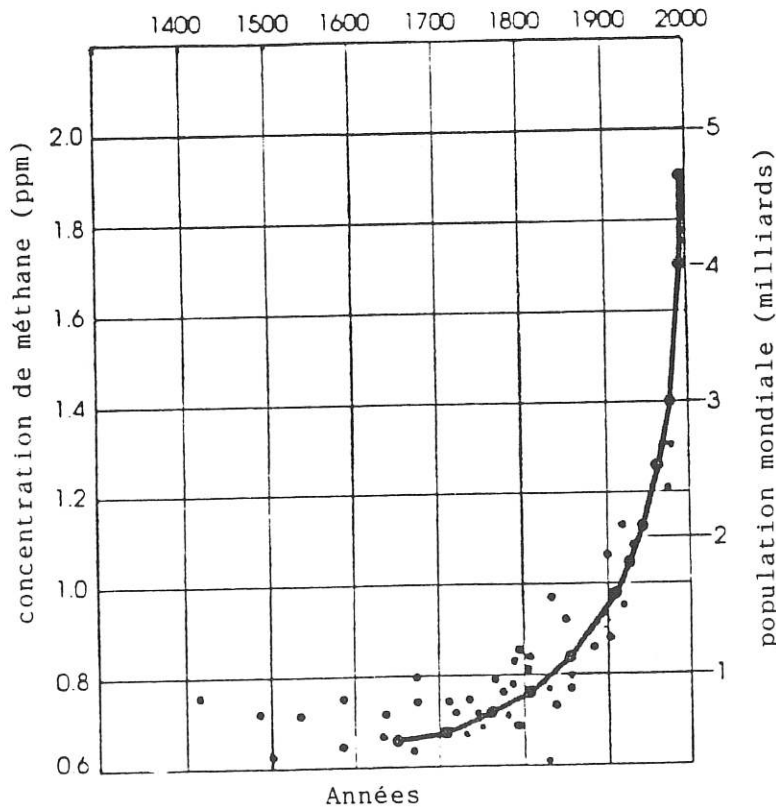
Les activités humaines peuvent-elles perturber cet équilibre ?

Depuis 50 ans, l'homme change la concentration d'un certain nombre de constituants dans l'atmosphère.

Gaz carbonique - La concentration totale de gaz carbonique (CO_2) moyenne dans la société pré-industrielle était 280 millionième (ppm) (0,28 millième) de la concentration totale. Aujourd'hui on est à 350 millionième (augmentation de 25 %).

Méthane - En ce qui concerne le méthane, la concentration relative de méthane est constante (0,7 ppm) jusqu'en l'an 1700 puis croît ensuite quasi exponentiellement au cours des 300 dernières années. Cette augmentation est ainsi remarquablement corrélée avec celle de la population humaine ce qui semble indiquer qu'elle est directement liée aux activités de l'homme, principalement agricoles (rizières, combustion de la biomasse).

- Evolution de la concentration de méthane dans l'atmosphère au cours des trois derniers siècles (UNEP, 1986)



Ces deux exemples montrent que la composition chimique de la basse atmosphère change complètement et vite.

L'homme, de plus, a mis dans l'atmosphère des constituants qui n'existaient pas. Ce sont tous les composés chlorés (CFC : chlorofluocarbones). Ce sont eux qui détruisent la couche d'ozone. Ces constituants qui présentent l'avantage d'être chimiquement très stables au niveau du sol sont utilisés pour plusieurs types d'applications industrielles : agent réfrigérant, solvant, fabrication de mousses synthétiques, fluide porteur dans les bombes aérosols.

Dans chacune de ces utilisations ils sont conduits, à plus ou moins long terme, à être rejetés dans la basse atmosphère où, compte-tenu de leur inertie chimique et de leur non solubilité dans l'eau, ils vont diffuser lentement vers la stratosphère pour y être photodissociés par le rayonnement solaire et libérer ainsi une quantité supplémentaire de chlore actif. Ils vont donc augmenter l'efficacité des cycles catalytiques de destruction de l'ozone et mettre ainsi en péril l'équilibre actuel de l'environnement.

Ils sont également susceptibles d'absorber le rayonnement infrarouge et partant d'augmenter l'effet de serre.

Donc, toutes les activités humaines changent complètement la composition de l'atmosphère. On se trouve face à un problème de pollution à l'échelle du globe.

L'augmentation de tous ces gaz a pour effet de détruire la couche d'ozone et réchauffer la surface de la Terre.

Historique :

Les premières inquiétudes des scientifiques datent des années 1970. A cette époque, on envisage de développer une flotte d'avions supersoniques comme le Concorde, mais les écologistes américains craignent que les gaz d'échappement détruisent l'ozone (ce qui est faux). Jusqu'en 1985, aucune preuve expérimentale irréfutable n'avait pu être apportée d'une diminution de la couche d'ozone.

La situation a très largement changé au cours des trois dernières années avec la publication de plusieurs rapports mettant en évidence, d'une part, une diminution limitée à quelques pour cent, de l'ozone à l'échelle globale, d'autre part, une diminution plus dramatique de près de 50 % au printemps, de l'ozone au-dessus du Continent Antarctique, là où sont absentes les activités industrielles et agricoles.

Notre atmosphère est donc bien en train de perdre son ozone.

Le trou dans la couche d'ozone s'agrandit chaque année. La couche du gaz protecteur diminue de moitié vers le mois d'octobre sur environ 3 millions de Km². Le reste du temps, la couche est néanmoins amputée de 10 % de son volume par rapport au début des années 80.

Dans la stratosphère moyenne – à environ 20 km d'altitude – il n'y a même plus d'ozone du tout pendant deux mois. Pour comprendre, il a fallu aller voir. En 1987-88, les Américains ont pu aller voler à 20 km d'altitude grâce aux ER-2, la version d'exploration du fameux U2, appareil d'espionnage spécialisé dans la reconnaissance à haute altitude et à longue portée, et qui n'emporte que le pilote. On a pu ainsi étudier, in situ, dans des conditions d'ailleurs fort périlleuses, l'état physicochimique de la basse stratosphère, jusqu'à 21 km, au coeur même de la région où se joue l'histoire de l'ozone.

C'est la première fois qu'on utilisait à grande échelle des avions et des équipages humains pour ce genre d'investigations de la stratosphère, qui surtout étaient réalisées par des instruments au sol, ou à partir de ballons sondes et de satellites. Ces mesures ont permis de mettre directement en cause les constituants chlorés dans ce phénomène de réduction de l'ozone et d'établir pour la première fois de façon non ambiguë un lien entre l'activité humaine et une modification de la haute atmosphère.

Les gouvernements et les industriels ont réagi. Dès 1978, les Etats-Unis interdisaient l'emploi des CFC dans les bombes aérosol. Mais surtout en septembre 1987, une trentaine d'Etats signaient à Montréal un protocole par lequel ils s'engageaient à réduire de moitié leur production de CFC d'ici à 1999. Mais cela ne suffit pas du tout, car le chlore va se stabiliser à un niveau égal au double de celui actuel qui est déjà 10 fois le niveau pré-industriel. Il n'y a pas d'autre solution que de supprimer totalement la production des constituants chlorés. Mais cela n'est pas simple car il n'existe pas toujours de produits de substitution.

Conséquences climatiques et biologiques d'une modification de la couche d'ozone :

L'augmentation des chlorofluocarbones et autres constituants sources et les variations attendues dans la stratosphère sont responsables pour environ 30 à 50 % d'une augmentation de la température moyenne de surface de l'ordre de 2 à 3° C. Plusieurs effets peuvent alors résulter d'une telle variation climatique : l'élévation du niveau des mers, la modification des écosystèmes, la distribution géographique des zones de production agricole, des ressources en eau, la santé.

L'augmentation du niveau des mers proviendrait de différentes sources (expansion thermique des océans, fonte des glaciers continentaux, des calottes polaires) et aurait une valeur moyenne comprise entre 0,5 et 3 m. On aboutirait ainsi à l'inondation des marges continentales, à une érosion accrue des régions côtières. Certaines études indiqueraient ainsi qu'une élévation de 100 à 200 cm du niveau des mers, de 50 à 80 % des zones de marais côtiers, entraîneraient la disparition d'un grand nombre de plages et d'îles. Les zones des deltas fluviaux seraient particulièrement menacées : le delta du Mississippi, déjà menacé par les phénomènes de subsidence (sédiment, dépôt), disparaîtrait plus rapidement et le même phénomène impliquerait, à titre d'exemple, le déplacement de 16 à 20 % de la population de l'Egypte (delta du Nil) et 10 à 20 % de celle du Bangladesh.

Les écosystèmes végétaux seraient très certainement modifiés si la température de surface augmentait. Les variations climatiques influent évidemment sur la **distribution géographique des cultures**. Des températures plus élevées affecteraient directement la production du blé et du maïs. Le choc hydrique (sécheresse) associé serait dommageable pour le maïs, le soja et le blé pendant la floraison...

CONCLUSION -

La mise en place de la convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone et l'adoption en septembre 1987 d'un protocole sur la réduction des émissions des chlorofluocarbones et halons montrent que les gouvernements s'intéressent aux problèmes et qu'une prise de conscience quant à son importance a lieu au niveau international. Un événement récent comme la diminution de la quantité intégrée d'ozone au-dessus du Continent Antarctique, même si aucun lien de cause à effet avec les activités humaines n'a encore été établi, contribue également par son impact (presse écrite, télévision) à "populariser" les problèmes d'environnement à l'échelle globale. La difficulté essentielle tient au fait que d'une part, les conséquences exactes d'une réduction de la couche d'ozone et d'une augmentation de certains gaz traces sont presque impossibles à quantifier avec précision, et que d'autre part, tout délai dans la mise en oeuvre de mesures de protection peut s'avérer dommageable à terme.

Le problème ne se restreint pas aux seuls chlorofluocarbones mais à l'ensemble des activités humaines, industrielles et agricoles qui contribuent à la modification des équilibres de notre environnement. Nous constatons donc aujourd'hui que l'exploitation des ressources naturelles (tels que fossiles, biomasse...) et la création par l'homme de produits de synthèse (composés chlorés, engrais...) peut conduire, du fait de leur transfert massif dans l'atmosphère – composante de l'environnement terrestre dont le temps de réponse se chiffrent en décennies, est très court – **à une modification brutale des conditions de vie sur la Terre à l'échéance de moins d'un siècle.**

Consciente de l'importance de l'enjeu, la communauté scientifique internationale, par l'intermédiaire du Conseil International des Unions Scientifiques, a proposé de mettre en place un grand programme international qui, au cours de la prochaine décennie (1990-2000), s'efforcera d'améliorer nos connaissances sur l'ensemble des couplages entre les grandes composantes de l'environnement terrestre (océan-atmosphère-biosphère) et de mettre en évidence les effets des activités humaines.

Mais le problème doit être posé dès aujourd'hui sur le plan politique, car la voie est étroite entre une absence d'action qui s'appuierait sur les incertitudes restantes dans notre compréhension des processus mis en jeu, et une réaction trop brutale qui pourrait elle-même menacer les équilibres économiques et politiques de la planète.