

CYCLES BIOGEOCHIMIQUES

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un cycle biologique (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un cycle géochimique (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques :

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).

1. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (Fig.01).

Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore. **L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère.

Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages). Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Les 7/9 du volume total de ces précipitations retombent à la surface des océans et les 2/9 seulement sur les continents. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies :

- **Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.
- **L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.
- **La percolation** : phénomène de migration de l'eau à travers les sols (jusqu'à la nappe phréatique).

Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère.

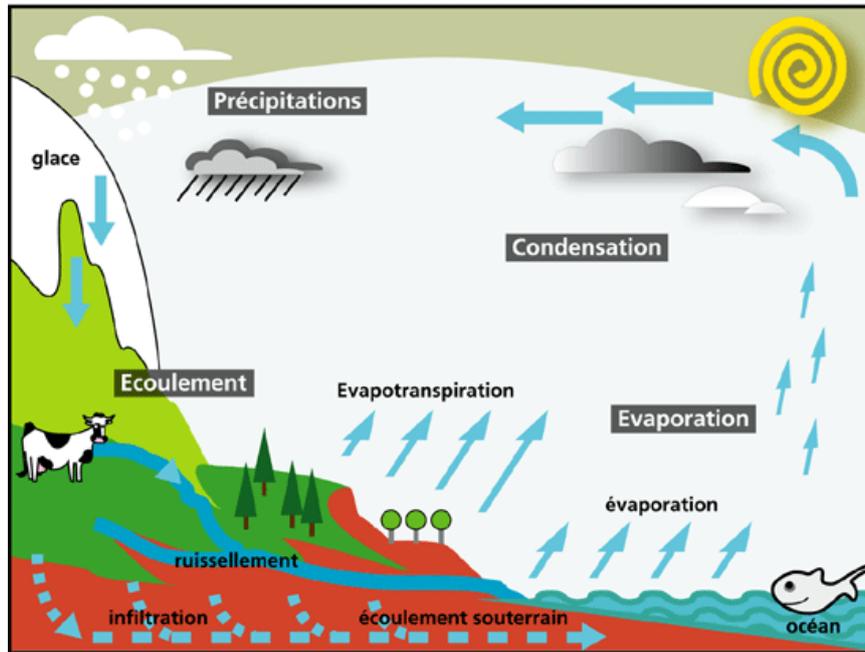


Fig. 1 Cycle de l'eau

Problématiques liées au cycle biogéochimique de l'eau

Le cycle de l'eau et le climat sont intimement lié, toute perturbation du climat aura des conséquences importantes sur le cycle de l'eau. Actuellement, avec le changement climatique, le cycle de l'eau est profondément bouleversé

- Fente des glaciers et augmentation du niveau des mers, avec pour conséquences la submersion de vastes espaces littoraux, abritant des mégapoles et la disparition des états insulaires, notamment dans l'océan pacifique
- Changement dans l'intensité et le lieu des précipitations, avec pour conséquences, la sécheresse dans certains endroits du globe et les inondations dans d'autres parties du globe
- La pollution grandissante des cours d'eau, des nappes aquifères et des réservoirs d'eau
- Autres.....

2. Le cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO₂ dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO₂. Le CO₂ est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique (Fig.02).

Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très

lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO₂.

Le CO₂ de l'air et celui dissous dans l'eau constituent la seule source de carbone inorganique à partir de laquelle s'élaborent toutes les substances biochimiques constituant la cellule vivante (grâce à l'assimilation chlorophyllienne).

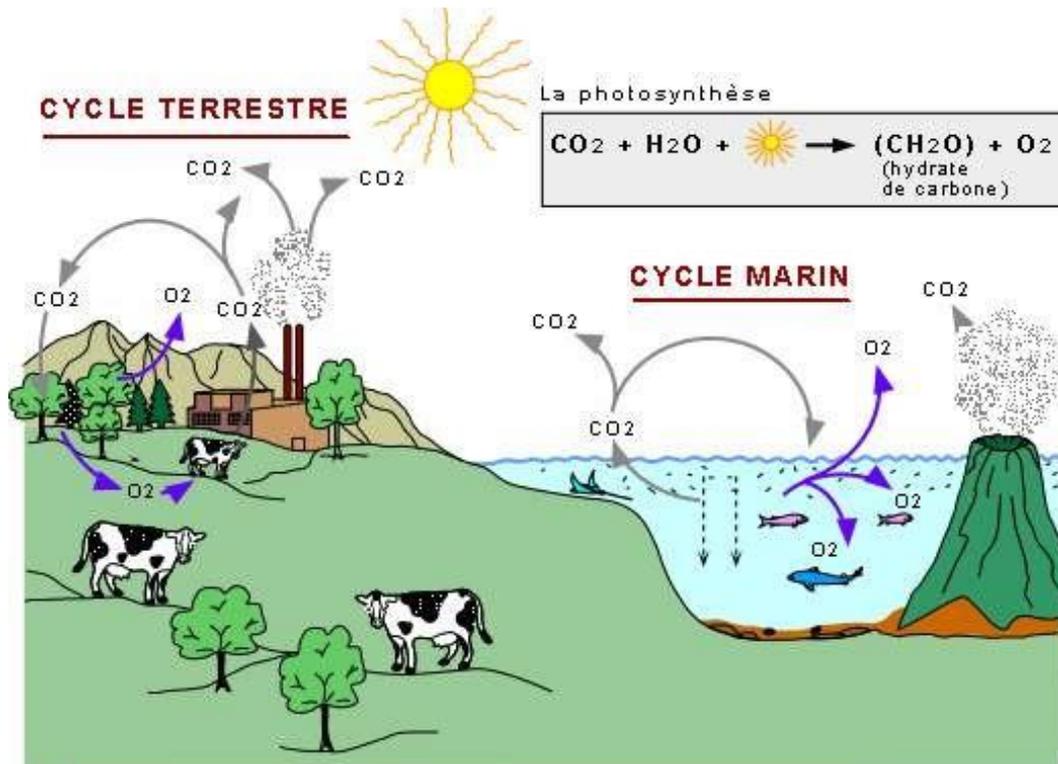
Au cours de la respiration des autotrophes, des hétérotrophes et de divers autres organismes, le gaz carbonique est dégagé parallèlement à la consommation d'oxygène.

Le dégagement de CO₂ a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (les acides humiques).

Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées et elles s'accumulent dans diverses formations sédimentaires. Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas actuellement de la formation de tourbe ou par le passé de la constitution de grands dépôts de houille, de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles.

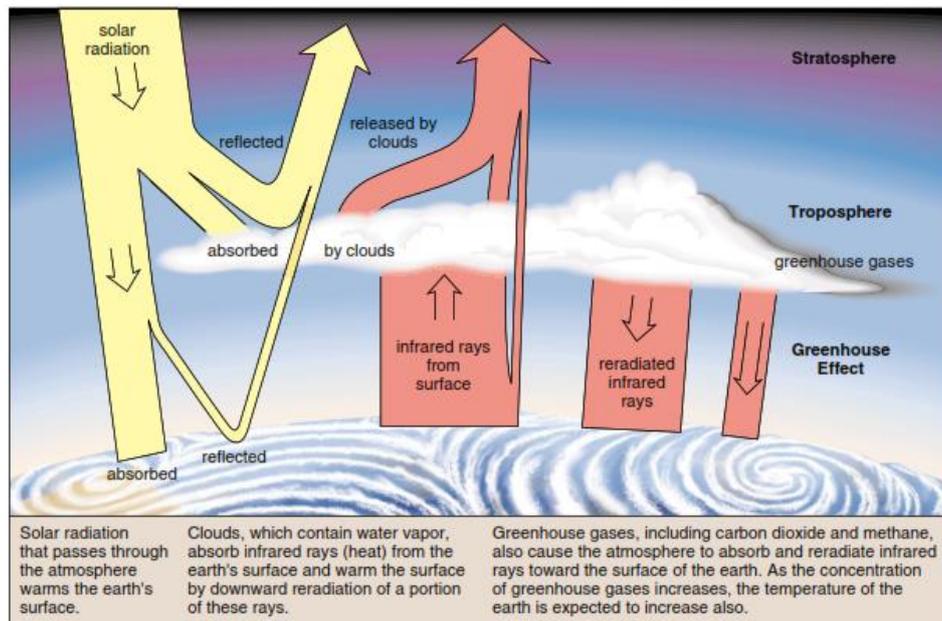
Cependant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre Terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO₂ présent dans l'atmosphère permet de piéger la chaleur du soleil qui rend la vie possible sur Terre. C'est ce qu'on appelle **l'effet de serre**. En augmentant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, l'équilibre de notre écosystème est perturbé. Le climat se réchauffe et cela peut avoir des conséquences graves sur la vie sur Terre : les calottes glaciaires pourraient fondre et augmenter le niveau des mers en certains points provoquant des inondations, augmentation des conditions climatiques extrêmes comme les tempêtes, les raz de marée, la sécheresse... etc.



En 1850, le dioxyde de carbone atmosphérique était d'environ 280 ppm et aujourd'hui il est d'environ 350 ppm. Cette augmentation est en grande partie due à la combustion de combustibles fossiles et à la destruction des forêts pour faire place à des terres agricoles et des pâturages.

On assiste également à l'émission d'autres gaz dus aux activités humaines. Au total, les gaz suivants devraient contribuer de manière significative au réchauffement de la planète

Gas	Form
Carbon dioxide (CO ₂)	Combustible fossile et combustion du bois
Nitrous oxide (N ₂ O)	Utilisation d'engrais et déchets animaux
Methane (CH ₄)	Biogaz (décomposition bactérienne, en particulier dans les intestins des animaux, dans les sédiments et dans les rizières inondées)



3. Le cycle de l'azote

Le principal réservoir de l'azote est l'atmosphère qui en renferme 79% en poids. La formation de nitrates par voie inorganique s'effectue sans cesse dans l'atmosphère par suite des décharges-électriques lors des orages. Mais, elle ne joue qu'un rôle secondaire par rapport à celui des micro-organismes nitrifiants. Ces derniers sont surtout représentés par des bactéries, soit libres (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhodospirillum*), soit symbiotiques (*Rhizobium*). Dans le milieu aquatique ce sont surtout les algues cyanophycées (algues bleues) qui sont fixatrices de l'azote gazeux.

L'azote nitrique ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en ammoniacque, grâce à une enzyme spécifique, la nitrateréductase. Ensuite, l'ammoniacque est transformée en azote aminé puis en protéines. Les protéines et autres formes de l'azote organique contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bioréducteurs (bactéries Et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet azote organique qui est ensuite transformé en ammoniacque, c'est l'ammonification.

Une partie de cet azote ammoniacal peut être absorbé directement par les végétaux, mais il peut être aussi utilisé par des bactéries nitrifiantes (les *Nitrosomonas*) pour produire leur énergie métabolique. Celles-ci transforment l'ammoniacque NH_4^+ en nitrite, NO_2 , c'est la nitritation, puis les *Nitrobacter* le transforment en NO_3 , c'est la nitratisation. -L'ion nitrate NO_3^- est alors absorbé par les végétaux.

L'azote retourne constamment à l'air sous l'action des bactéries dénitrifiantes (*Pseudomonas*) qui sont capables de décomposer l'ion NO_3^- en N_2 qui se volatilise et retourne à l'air ; mais le rôle de ces bactéries est heureusement peu important.

Une partie non négligeable des nitrates peut être lessivée par les eaux de ruissellement et entraînée en mer. L'azote peut alors être immobilisé par incorporation aux sédiments profonds. Cependant, il est en grande partie repris par les organismes du phytoplancton et il entre dans une chaîne alimentaire aboutissant à des oiseaux qui le ramènent, par leurs déjections, au milieu terrestre sous la forme de guano.

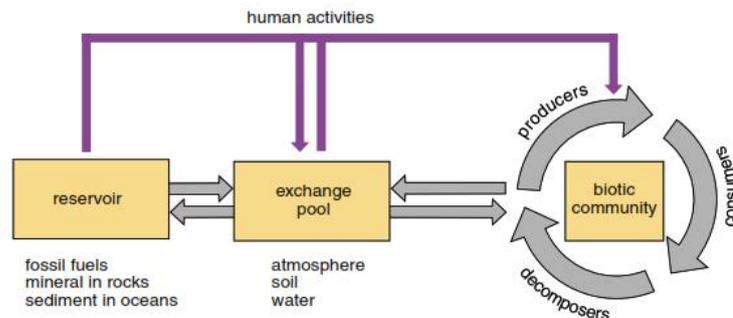


Figure 36.7 Model for chemical cycling.

Nutrients cycle between these components of ecosystems: Reservoirs such as fossil fuels, minerals in rocks, and sediments in oceans are normally relatively unavailable sources, but pools such as those in the atmosphere, soil, and water are available sources of chemicals for the biotic community. Human activities remove chemicals from reservoirs and pools and make them available to the biotic community, and the result can be pollution.

4. Le cycle du soufre

Les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et de sulfure d'hydrogène (H_2S) provenant des volcans et des fumerolles (vents de gaz chauds) sont les seuls flux naturels non biologiques importants de soufre. Ces émissions libèrent, en moyenne, entre 10 et 20 % du flux naturel total de soufre dans l'atmosphère, mais elles varient considérablement dans le temps et l'espace. Les grandes éruptions volcaniques répandent de grandes quantités de soufre sur de vastes zones, mais ce sont des événements rares. Les organismes terrestres et marins émettent également des composés du soufre. Certaines algues marines produisent de grandes quantités de sulfure de diméthyle (CH_3SCH_3), qui représente environ la moitié de la composante biotique du cycle du soufre. Le soufre est apparemment toujours suffisamment abondant pour répondre aux besoins des organismes vivants. Le soufre joue un rôle important dans le climat mondial. Même si l'air est humide, les nuages ne se forment pas facilement s'il n'y a pas de petites particules autour desquelles l'eau peut se condenser. Le sulfure de diméthyle est le principal composant de ces particules. Par conséquent, l'augmentation ou la diminution des niveaux de soufre dans l'atmosphère peut modifier la couverture nuageuse et donc le climat. L'homme a modifié le cycle du soufre, ainsi que le cycle de l'azote, en brûlant des combustibles fossiles. Les précipitations acides, c'est-à-dire les pluies ou les neiges dont le pH est abaissé par la présence d'acide sulfurique (H_2SO_4), constituent un effet régional important de ces modifications. et l'acide nitrique (HNO_3), provenant en grande partie de la combustion de combustibles fossiles. Ces acides pénètrent dans l'atmosphère et peuvent parcourir des centaines de kilomètres avant de se déposer sur Terre sous forme de précipitations ou de particules sèches.

Les précipitations acides caractérisent désormais tous les grands pays industriels et sont particulièrement répandues dans l'est de l'Amérique du Nord et en Europe. Le pH normal des précipitations en Nouvelle-Angleterre est d'environ 5,6, mais les précipitations y ont maintenant un pH moyen de 4,4, et il y a des tempêtes occasionnelles avec un pH de précipitation aussi bas que 3,0. Les précipitations dont le pH est d'environ 3,5 ou moins causent des dommages directs aux feuilles des plantes et réduisent les taux de photosynthèse. L'acidification des lacs de la région des Adirondacks, dans l'État de New York, a réduit la richesse des espèces de poissons en provoquant l'extinction d'espèces sensibles à l'acidité. Heureusement, grâce à la mise en place d'un système réglementaire souple dans le cadre des modifications apportées en 1990 au Clean Air Act, les précipitations dans la majeure partie de l'est des États-Unis sont moins acides aujourd'hui qu'elles ne l'étaient il y a 18 ans, principalement en raison de la réduction des émissions de soufre.

Des écologistes canadiens ont étudié les effets des précipitations acides sur de petits lacs en ajoutant suffisamment de H₂SO₄ à deux lacs pour réduire leur pH d'environ 6,6 à 5,2. Dans les deux lacs, les bactéries nitrifiantes n'ont pas réussi à s'adapter à ces conditions modérément acides.

En conséquence, le cycle de l'azote était bloqué et l'ammonium s'accumulait dans l'eau. Lorsque les écologistes ont cessé d'ajouter de l'acide à l'un des lacs, son pH est remonté à 5,4 et la nitrification a repris après environ 1 an, le pH du lac est revenu à sa valeur initiale. Ces expériences montrent que les lacs sont très sensibles à l'acidification, mais que le pH peut revenir rapidement à des valeurs normales car l'eau des lacs est échangée à un rythme rapide.

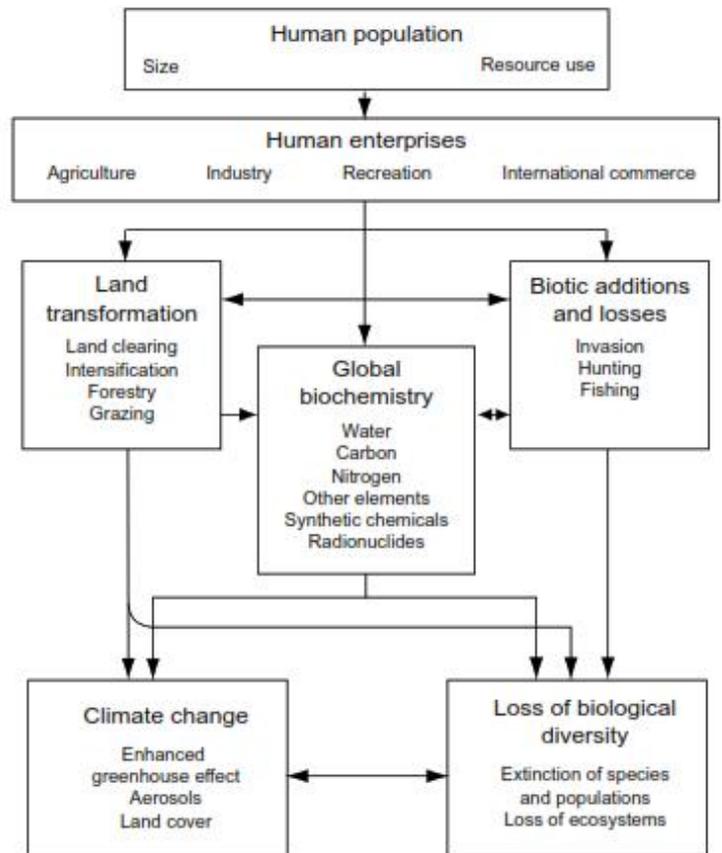
5. Interactions entre les cycles biogéochimiques

Il apparaît que les cycles biogéochimiques interagissent fortement et qu'ils sont considérablement modifiés par les activités humaines. L'acidité des précipitations, par exemple, est le résultat des influences combinées de SO₂, NO₃⁻, et NH₃. Le nitrate est un oxydant puissant. En oxydant le fer, le NO₃⁻ influence le cycle du fer et de l'arsenic dans les lacs, augmentant la mobilité de l'arsenic, un élément toxique d'une importance considérable dans le monde.

Les altérations humaines de plusieurs cycles biogéochimiques mondiaux réchauffent également le climat de la Terre. L'un des résultats de ce réchauffement global est l'augmentation des épidémies de nombreuses maladies. Le froid hivernal tue généralement les agents pathogènes, éliminant parfois jusqu'à 99 % d'une population d'agents pathogènes. Si le réchauffement climatique réduit ce goulot d'étranglement de la population, certaines maladies deviendront plus courantes. Par exemple, la dengue s'étend maintenant à des latitudes plus élevées où elle était auparavant absente. Le rapport d'évaluation de 1990 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans lequel les États-Unis et le Canada investissent depuis 1972, n'accorde que peu d'attention aux risques pour la santé humaine. En revanche, le rapport d'évaluation de 1996 du GIEC a examiné en détail les effets potentiels du changement climatique sur la santé humaine. Notre société mondiale de plus en plus interconnectée permet aux organismes pathogènes de se déplacer rapidement dans le monde, comme dans le cas du virus du SRAS, qui a été transporté par des personnes infectées de la Chine au Canada en quelques jours. La

combinaison de la mobilité humaine et du réchauffement climatique pose de sérieux défis à la santé humaine dans le monde entier.

FIGURE 1.5. Direct and indirect effects of human activities on Earth's ecosystems. (Redrawn with permission from *Science*, Vol. 277 © 1997 American Association for the Advancement of Science; Vitousek et al. 1997c.)



L'atmosphère actuelle est très différente de l'atmosphère naturelle qui existait avant la révolution industrielle (vers 1760).

Si l'atmosphère naturelle est considérée comme "propre", cela signifie que l'on ne peut trouver de l'air pur nulle part dans l'atmosphère actuelle. La composition chimique de l'atmosphère préindustrielle (c'est-à-dire avant les années 181

Table 1. Atmospheric Chemical Compositions².

Gas	Symbol	Percent by volume (Current Atmosphere)	ppm (Natural Atmosphere)	ppm (Current Atmosphere)
Nitrogen	N ₂	78.1		
Oxygen	O ₂	20.9		
Argon	Ar	0.92		
Neon	Ne		18.2	
Helium	He		5.2	
Krypton	Kr		1.14	
Xenon	Xe		0.09	
Carbon dioxide	CO ₂		280.0	370.0 ³
Methane	CH ₄		0.750	1.77 ⁴
Nitrous oxide	N ₂ O		0.270	0.318 ⁵
Water Vapor	H ₂ O	Variable (0.004 to 4)		

Définir la "pollution atmosphérique" n'est pas simple. On pourrait prétendre que la pollution de l'air a commencé lorsque l'homme a commencé à brûler des combustibles. En d'autres termes, toutes les émissions de l'homme (anthropiques) dans l'air peuvent être qualifiées de pollution atmosphérique, car elles modifient la composition chimique de l'atmosphère naturelle. L'augmentation des concentrations mondiales des gaz à effet de serre CO, CH, et NO (indiqués dans le tableau 1), peut être qualifiée d'air de pollution atmosphérique en utilisant cette approche, même si les concentrations ne se sont pas avérées être toxiques pour l'homme et l'écosystème. On peut affiner cette approche et ne considérer les émissions anthropiques de substances chimiques nocives comme de la pollution atmosphérique. Cependant, cette approche raffinée présente quelques inconvénients. Tout d'abord, il faut définir ce que signifie "nocif". "Nocif" peut signifier un effet négatif sur la santé des êtres vivants des êtres vivants, un effet néfaste sur les structures anthropiques ou naturelles non vivantes, ou encore une réduction de la visibilité de l'air. De même, un produit chimique qui ne provoque aucun effet nocif à court terme peut s'accumuler dans l'atmosphère et créer un effet nocif à long terme.

POLLUTION DE L'AIR

Les substances émises dans l'atmosphère proviennent de sources naturelles (volcans, feux de forêt, érosion, etc.) ou anthropiques (sources fixes telles que les industries, le chauffage urbain individuel et collectif, et sources mobiles tels les transports, etc.). Lors de pointes de pollution, certaines conditions météorologiques anticycloniques caractérisées par des vents faibles et des inversions de température favorisent les épisodes de pollution et sont défavorables à la dispersion atmosphérique des polluants. Ceux-ci forment alors une chape « nuageuse » s'immobilisant et stagnant au-dessus des zones habitées. Ces conditions sont sanitaires défavorables car elles entraînent un contact prolongé de l'organisme, et notamment des voies respiratoires, avec un mélange complexe de substances nocives. Suite à ces événements, et notamment ceux substances nocives. Suite à ces événements, et notamment ceux décrits au paragraphe précédent, de nombreuses études épidémiologiques ont été conduites qui ont montré des corrélations statistiques entre des indicateurs de pollution atmosphérique représentatifs d'une source d'émission (SO₂, NO_x, fumées noires, particules PM₁₀, composés organiques volatils [COV], monoxyde de carbone (CO), ozone (O₃), métaux, et prochainement les hydrocarbures aromatiques polycycliques [HAP] ainsi qu'une liste plus étoffée de métaux) et des indicateurs sanitaires (mortalité, morbidité). Or, si les effets sanitaires de ces substances, considérées individuellement, sont maintenant relativement bien étudiés (exacerbation des crises d'asthme, hospitalisation pour bronchopneumopathie chronique obstructive [BPCO], augmentation du nombre de personnes allergiques, induction de certains cancers, incidence accrue des maladies cardiopulmonaires, etc.), de grandes incertitudes demeurent quant aux effets de ces substances présentes ensemble dans un mélange. Leurs effets sont-ils synergiques ? Antagonistes ? Des études expérimentales ont tenté de répondre à ces questions et les interactions entre quelques indicateurs de la pollution atmosphérique sont maintenant établies. Depuis 50 ans la croissance économique des pays industrialisés s'est accompagnée d'un accroissement démographique et d'une augmentation de l'espérance de vie sans précédent. Les conséquences directes en sont une explosion de la demande énergétique (Fig. 3) et une croissance constante du parc automobile, deux secteurs fortement émetteurs de polluants atmosphériques. Cette situation a conduit à un accroissement constant des émissions de polluants, jusqu'aux années 1990 avec la pollution dite acidoparticulaire. Depuis une quinzaine d'années, les réglementations européennes, puis nationales, sur la qualité des combustibles et des carburants, sur les émissions des véhicules automobiles, ainsi que sur les émissions des activités industrielles et des installations de combustion, les progrès techniques et la modernisation des et installations ont permis de diminuer de manière très importante les rejets dans l'air d'un grand nombre de polluants

- 73 % pour les émissions totales de SO₂ ;
- 30 % pour les émissions totales de NO_x ;
- 28 % pour les composés organiques volatils non méthaniques [COVNM] ;
- 33 % pour le NH₃ ; chauffage

- 90 % pour le plomb (généralisation de l'essence sans plomb)

LA POLLUTION DU SOL

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère).

Ce sont la plupart du temps les activités humaines qui sont à l'origine des pollutions des sols :

- Les installations industrielles peuvent, dans le cas d'une fuite, d'un accident, ou encore dans l'abandon d'une usine, provoquer une pollution du site.

- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.

- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols : gestion des décharges et des stations d'épuration, utilisation de produits phytosanitaires par les services des espaces verts, gestion de jardins partagés, etc.

Des événements géographiquement éloignés peuvent également produire des pollutions de sols, qu'il s'agisse d'événements naturels (les retombées des cendres d'un volcan suite à une forte éruption par exemple), ou technologiques (retombées radioactives suite à un essai nucléaire ou une catastrophe, comme lors de l'accident de Tchernobyl).

. Les conséquences possibles sur la santé :

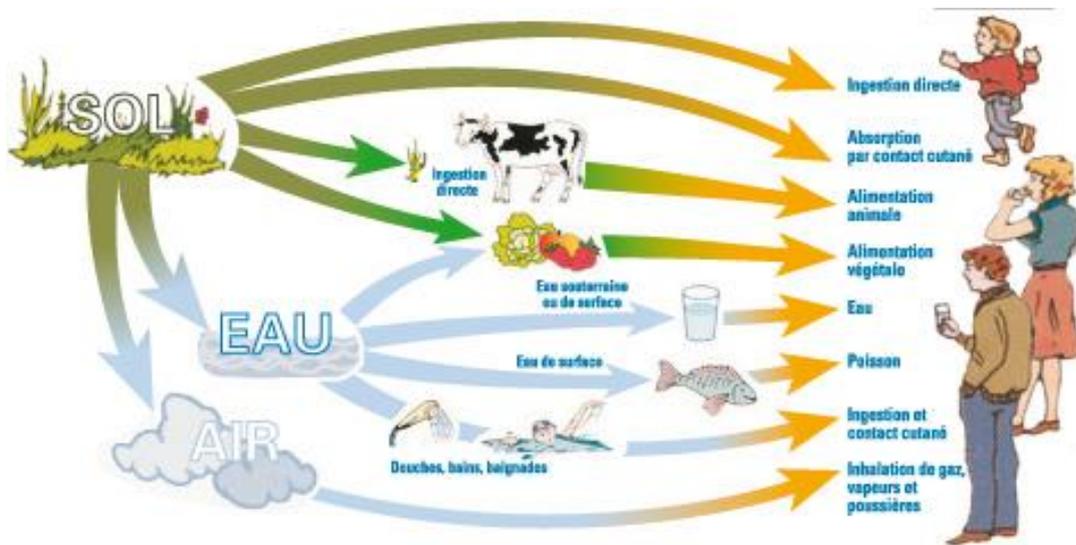
L'évaluation des polluants présents dans le sol peut être réalisée par des mesures physiques ou chimiques (calcul de la concentration de polluants comme le mercure, le cuivre, le plomb, etc.), ou bien par observation des indicateurs biologiques : biodiversité végétale et animale, etc.

En effet, ces polluants peuvent se retrouver dans l'air (poussières) et dans l'eau, où ils deviennent dangereux car potentiellement absorbés par les êtres vivants et donc avoir un impact sur leur santé :

- Certains métaux lourds et métalloïdes sont connus pour leur pouvoir neurotoxique ou cancérigène par ingestion et/ou inhalation.

- Certains hydrocarbures, en particulier le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont reconnus pour leur effet CMR (cancérigène, mutagène, reprotoxique). En 2003, les HAP ont été rajoutés aux produits visés par la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants : ils ont été classés comme produits très préoccupants pour la santé.

- Beaucoup de solvants halogénés ou leurs produits de dégradation sont reconnus comme substances très toxiques, toxiques et nocives, parfois cancérogènes (par exemple le trichloroéthylène ou le chlorure de vinyle). Ils peuvent causer divers troubles, notamment neurologiques aigus et chroniques, cutané muqueux, hépatorénaux, cardio-respiratoires et digestifs.



POLLUTION DE L'EAU

La pollution de l'eau est causée par la décharge d'énergie ou de matières qui dégradent la qualité de l'eau pour les humains, la faune et la flore. La pollution affecte les sources d'eau intérieures comme les lacs, les rivières et les eaux souterraines, ainsi que les eaux maritimes côtières. Elle est causée par la croissance démographique et l'industrialisation ; les forts taux de pollution sont observés, où la population est concentrée et où la plupart des activités des secteurs agricole et industriel ont lieu. Les régions éloignées et moins peuplées ne sont toutefois pas à l'abri de la pollution causée par des industries primaires.

Types de polluants

La pollution de l'eau est classée selon la nature des substances déchargées, la source dont elles proviennent et les cours d'eau dans lesquels elles sont rejetées. L'intensité de la pollution est mesurée par la concentration de polluants dans l'eau et par leurs effets sur son utilisation. Il existe six catégories de polluants : les pathogènes, la demande biochimique en oxygène, les nutriments, les matières toxiques, l'acidification et la chaleur.

Pathogènes

Le pathogène est un virus, une bactérie ou un protozoaire responsable d'une maladie. Il se développe normalement lorsque des eaux usées provenant des humains ou du bétail sont mal traitées et déchargées. Plus il y a de pathogènes dans l'eau, plus les risques sont élevés pour la santé des gens et des animaux qui utilisent cette eau pour boire ou se laver.

Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO) est causée par des déchets organiques qui se décomposent et qui, par conséquent, privent l'eau de son oxygène. Les usines de pâtes et papiers et les eaux usées des municipalités et du secteur de l'agriculture sont des sources majeures de déchets organiques. Si le taux d'oxygène dissout chute près de zéro, les poissons et les autres animaux aquatiques meurent. Qui plus est, la décomposition anaérobie (c'est-à-dire qu'elle se produit sans oxygène) génère des gaz nocifs comme le sulfure d'hydrogène, qui peut être toxique pour la faune et la flore.

Nutriments

Les nutriments, en particulier le phosphore et l'azote, supplémentent les eaux et accélèrent le vieillissement des lacs et des cours d'eau, un procédé connu sous le nom **d'eutrophisation**. L'accroissement des plantes et des algues qui en résulte peut dégrader l'eau pour ses autres utilisations, comme la consommation et les activités récréatives. D'importantes quantités d'algues et de phytomasse peuvent aussi causer la chute des taux d'oxygène lorsqu'ils se décomposent. Ultimement, une grave eutrophisation peut ruiner l'habitat aquatique de la faune et de la flore. Les principales sources de nutriments au Canada proviennent des régions rurales et municipales et du mauvais traitement des eaux usées.

Matières toxiques

Les matières toxiques dans l'eau potable affectent la santé des gens et les organismes aquatiques qui vivent dans les sources d'eau touchées. Les produits toxiques (matières toxiques produites par les activités humaines) incluent les métaux (par exemple, le mercure et le plomb), le pétrole, et autres hydrocarbures, organochlorés (DDT, BPC), hydrocarbures aromatiques polycycliques (par exemple, le benzopyrène) et phtalates (par exemple, le dibutyl phtalate). Ils proviennent de multiples sources et sont souvent le résultat de l'utilisation de grandes quantités de produits chimiques utilisées dans les industries et dans les régions urbaines. Parfois, le mélange de matières toxiques peut être dangereux même si leurs concentrations individuelles sont inférieures aux niveaux qui pourraient représenter un risque. Les polluants associés aux déversements de pétrole sont toxiques : ils peuvent aussi nuire aux organismes aquatiques et causer la mort d'oiseaux en détruisant les propriétés imperméables de leur plumage.

Acidification

L'acidification, en particulier celle des lacs et des rivières, est causée par le ruissellement des précipitations (de pluie et de neige) de dioxyde de soufre et d'oxydes

d'azote émis par les industries et les automobiles. Elle a aussi lieu lorsque des déchets de roche liés à l'extraction du charbon et de métaux, contenant des minéraux sulfurés sont exposés à l'atmosphère. Les bactéries utilisent ainsi les sulfures comme source d'énergie, et produisent de l'acidité comme déchet de leur métabolisme.

Chaleur

La décharge de chaleur industrielle résiduelle dans l'eau peut causer une hausse de la température de l'eau que beaucoup d'espèces aquatiques ne tolèrent pas. La chaleur contribue aussi à la baisse des concentrations d'oxygène en accélérant le procédé de décomposition des matières organiques. Les décharges sont souvent reliées à des centrales électriques ou nucléaires alimentées au charbon et parfois à certaines grandes usines. Les centrales électriques, de leur côté, peuvent emprunter de l'eau d'un bassin à proximité, l'utiliser pour le refroidissement et retourner l'eau chaude dans le même bassin d'eau.