

# Option E

## Chimie de l'environnement

### La pollution de l'air

#### Polluants principaux

L'air est composé d'environ 78% d'azote, 21% d'oxygène, 1,0% d'argon, 0,03% de dioxyde de carbone et de traces d'autres gaz en plus de contenir jusqu'à 4% de vapeur d'eau. Un polluant de l'air est une substance qui n'est pas naturellement présente dans l'air ou qui y est normalement présente mais s'y retrouve en trop grande quantité. Les polluants primaires principaux sont le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les particules et les hydrocarbures. Les polluants secondaires sont les composés formés lorsque l'air réagit avec les polluants primaires.

Polluant	Source naturelle	Source humaine	Effet sur la santé
Monoxyde de carbone (CO)	Oxydation incomplète du méthane $\text{CH}_4 + 1\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$	Combustion incomplète des combustibles fossiles $\text{C}_8\text{H}_{18} + 8\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 8\text{CO} + 9\text{H}_2\text{O}$	Empêche l'hémoglobine de transporter l'oxygène
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) ex. : NO, NO <sub>2</sub>	Orage électrique et processus biologiques	À haute t° dans moteurs à combustion $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$	Irritant respiratoire menant à infections des voies respiratoires
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) (peut être oxydé dans l'air et devenir SO <sub>3</sub> )	Oxydation du H <sub>2</sub> S produit par les volcans et décomposition de matière organique(50%)	Combustion de charbon contenant du soufre et fusion de minéral sulfureux(50%) $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$	Irritant respiratoire menant à infections des voies respiratoires
Particules	Suie, cendres, poussières d'amiante, sable, fumée, pollen, bactéries et spores de champignons	Combustion de combustibles fossiles, surtout charbon et diesel.	Peut affecter le système respiratoire et causé des problèmes de poumons : emphysème, bronchite et cancer
Composés organiques volatils(COV) (C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> ou R-H)	Plantes (ex. : riz) émettent hydrocarbures insaturés	Essence et autres carburants non brûlés, solvants et produits dérivés du raffinage du pétrole	Certains, benzène, sont cancérigènes. Peuvent former des polluants secondaires toxiques <u>Peroxy-acyl-nitrates (PAN)</u>

## Méthodes de réduction des polluants

*Convertisseur catalytique* : (CO, NO<sub>x</sub>, R-H)

Les gaz d'échappement chaud passent au-dessus d'un catalyseur (platine, rhodium ou palladium), ce qui oxyde complètement le CO et les hydrocarbures et cela catalyse aussi la réaction entre le CO et le NO :  $2\text{CO}_{(g)} + 2\text{NO}_{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)} + \text{N}_{2(g)}$

*Moteurs à combustion douce* : (surtout pour NO<sub>x</sub>)

En ajustant le carburateur, le ratio air/essence peut être modifié. Le plus grand le ratio, plus complète est la combustion et moins de CO est émis. Malheureusement, cela produit des températures supérieures et donc plus de NO<sub>x</sub> est produit. Avec un plus faible ratio, ce sera l'inverse, plus de CO et moins de NO<sub>x</sub>. (18 : 1 serait le ratio le moins polluant)

*Réacteur thermique des gaz d'échappement* : (CO, R-H)

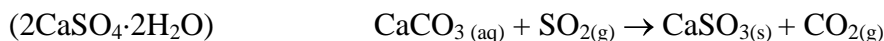
Les gaz d'échappement d'un moteur automobile sont remis en contact avec l'air et réagissent à cause des hautes températures. Le CO devient ainsi du CO<sub>2</sub>, et les hydrocarbures non brûlés sont complètement brûlés. Combiné à la méthode précédente et/ou la suivante on diminue 3 des polluants principaux.

*Recirculation des gaz d'échappement* : (surtout pour NO<sub>x</sub>)

Il n'y a pas de réactions entre N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> sauf à des températures élevées. Donc, on fait recirculer les gaz d'échappement moins chaud à travers le moteur ce qui diminuera la température interne et diminuera la production de NO<sub>x</sub>. De plus, l'air supplémentaire apporté au moteur augmente la proportion de combustion complète, donc moins de CO et de R-H.

*Épuration alcaline* : (SO<sub>2</sub>)

On peut enlever le SO<sub>2</sub> présents dans les échappements des usines qui utilise la combustion du charbon en envoyant de la bouillie de chaux, CaO et de calcaire, CaCO<sub>3</sub>. La boue d'épuration obtenue sert dans les sites d'enfouissement ou pour faire du gypse.



### Élimination des composés sulfurés contenus dans le charbon et le pétrole : (SO<sub>2</sub>)

Pour le pétrole, on souffle du H<sub>2(g)</sub> pendant le raffinement ce qui produit du H<sub>2S(g)</sub>, un gaz acide et facile à enlever.

Pour le charbon, on peut éliminer la plupart des sulfures de métal, on écrase le charbon et on met le tout dans l'eau. Les sulfures coulent au fond et le charbon «propre» reste à la surface, on peut donc le repêcher.

Ces 2 méthodes permettent d'enlever les sources de SO<sub>2</sub> avant la combustion qui le crée.

### Lits fluidisés à base de calcaire: (SO<sub>2</sub>)

Cette méthode fonctionne un peu sur le même principe que l'épuration alcaline. On ajoute du CaCO<sub>3</sub> en poudre lors de la combustion du charbon.

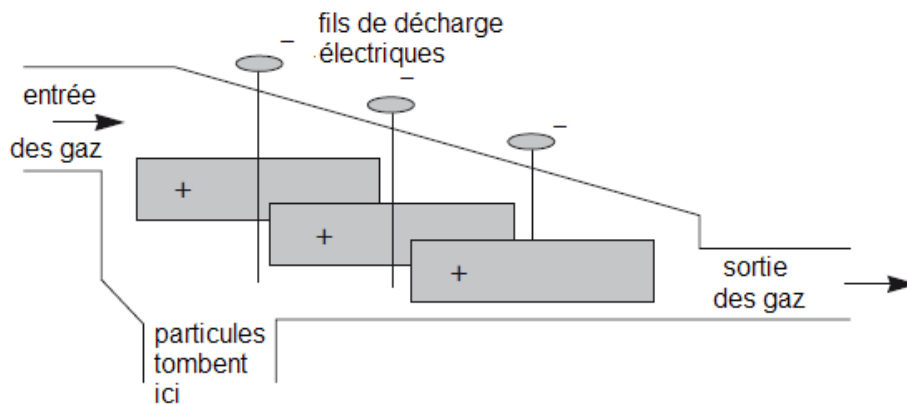
$\text{CaCO}_3 + \text{chaleur} \rightarrow \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ . Le CaO réagit ensuite avec le SO<sub>2</sub> pour former du CaSO<sub>3</sub> ou du CaSO<sub>4</sub> en présence d'oxygène.



Le sulfate de calcium, l'oxyde de calcium et le dioxyde de soufre sont arrosés créant ainsi le mélange, la bouillie, de l'épuration alcaline.

### La précipitation électrostatique : (particules)

L'air à traiter passe à travers un champ électrique qui confère aux particules une charge électrique. On utilise cette charge pour capter les particules sur des plaques dont le signe électrique est opposé. On secoue ensuite les plaques pour faire tomber les particules et l'air est ainsi «nettoyé».



## Les dépôts acides I

La pluie est naturellement acide (pH = 5,65) parce qu'elle renferme du CO<sub>2</sub> dissous (acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Pour qu'on considère la pluie comme une pluie acide, le pH doit être inférieur à 5,6. Ce sont les oxydes de soufre et d'azote présents dans l'atmosphère qui sont responsables des *dépôts acides*. (processus par lequel des particules, des gaz et des précipitations acides quittent l'atmosphère) Les dépôts humides, dus aux oxydes acides dissous et qui réagissent avec l'eau contenue dans l'air sont appelées *pluies acides* et inclus, brouillard, neige, rosée et la pluie. Les dépôts secs incluent les gaz et les particules acides.

*Oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>)* : Le dioxyde de soufre a comme source naturelle les volcans. Source humaine : combustion de combustible fossile contenant du soufre et «fonte» de minerai contenant du soufre.  $S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)}$  En présence de rayons UV, le SO<sub>2</sub> s'oxyde en SO<sub>3</sub>.  $SO_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)}$  Les 2 oxydes réagissent avec l'eau dans l'air pour former l'acide sulfurique ou sulfureux.



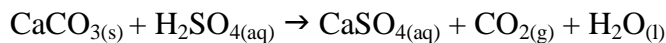
*Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)* : Les oxydes d'azote ont comme source naturelle : les orages électriques qui oxydent l'azote et la décomposition de matières par les bactéries. Source humaine : dans les moteurs à combustion interne et les moteurs à réaction.  $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)}$  Le NO se fait oxyder dans l'air.  $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$  Le dioxyde d'azote réagit ensuite avec l'eau dans l'air pour former de l'acide nitrique et nitreux :  $2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow HNO_{3(aq)} + HNO_{2(aq)}$  ou le dioxyde est directement oxydé par l'oxygène en présence d'eau pour former l'acide nitrique :  $4NO_{2(g)} + O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 4HNO_{3(aq)}$

### **Effets environnementaux de la pluie acide sur :**

*La végétation* : l'acidité accrue du sol élimine des nutriments importants comme le  $\text{Ca}^{2+}$ , le  $\text{Mg}^{2+}$  et le  $\text{K}^+$ . Une diminution de  $\text{Mg}^{2+}$  mène à une diminution de la chlorophylle et donc diminue la capacité de photosynthèse des plantes. Beaucoup d'arbres ont aussi été affectés par les pluies acides : croissance arrêtée, éclaircissement de la cime des arbres, jaunissement et perte des feuilles. La cause principale est l'aluminium libéré par les roches dans les eaux souterraines. L'ion  $\text{Al}^{3+}$  endommage les racines ce qui empêche les arbres de prendre assez d'eau et de nutriments pour survivre. Cela affecté particulièrement les arbres à sève brute sucrée, les érables à sucre.

*Lacs et rivières* : une augmentation des ions  $\text{Al}^{3+}$  peut aussi tuer les poissons. La vie aquatique est sensible à l'acidité. Avec un  $\text{pH} < 6$ , le nombre de poissons plus sensible à l'acidité comme le saumon et les menés diminue comme le nombre d'insectes larvaires et les algues. Les escargots ne peuvent survivre avec un  $\text{pH} < 5,2$  et beaucoup d'espèces d'animaux microscopiques meurent à un  $\text{pH} < 5$ . Avec un  $\text{pH} < 4$ , on considère le lac comme étant «mort». De plus, les nitrates présent dans la pluie acide peuvent causer l'eutrophisation (voir la section : l'oxygène dissous dans l'eau).

*Bâtiments* : les pierres calcaires (contenant du  $\text{CaCO}_3$ ), comme le marbre se font éroder par la pluie acide. Le carbonate de calcium réagit avec l'acide sulfurique pour former du sulfate de calcium qui se fait «laver» par la prochaine pluie se qui expose le marbre à d'autre corrosion. Il y a aussi des sels qui peuvent se former dans la pierre ce qui fait que la pierre craque et se désintègre.



*Humains* : les acides formés par les  $\text{NO}_x$  et les  $\text{SO}_x$  irrite les membranes des muqueuses et augmentent les risques de maladies respiratoires comme l'asthme, la bronchite et l'emphysème. Dans l'eau acide, il y a plus de chances que des ions poison comme le  $\text{Cu}^{2+}$  et le  $\text{Pb}^{2+}$  se détachent des tuyaux qui amènent l'eau potable. La présence d'ions  $\text{Al}^{3+}$  en grande quantité serait liée à la maladie d'Alzheimer.

### **Méthodes possibles pour combattre les pluies acides :**

1. Comme les pluies acides sont causées par des polluants primaires de l'air dissous dans l'eau, si on réduit la production de  $\text{NO}_x$  et de  $\text{SO}_x$ , on diminue la production de pluies acides.

2. Changer à des sources alternatives de production d'énergie (solaire, éolienne) et diminuer la quantité d'essence utilisée. (en prenant l'autobus par exemple)

3. L'oxyde de Calcium ( $\text{CaO}$ ) ou l'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) neutralise l'acidité, on a donc ajouté ces composés dans des lacs. En plus de contrer l'effet de l'acidité, ce procédé augmentait la quantité d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  (un nutriment) et précipitait l' $\text{Al}^{3+}$  un polluant. Ce procédé a fonctionné pour certains lacs seulement.

### **L'effet de serre**

L'effet de serre est en soi essentiel sur la terre. Cela permet de garder une température globale sans trop de variations et avec une température moyenne bonne pour les êtres vivants, autour de  $15^\circ\text{C}$ . L'effet de serre est causé par différents gaz. Le soleil émet des radiations sous forme de lumière visible et de rayons UV. Certains de ces rayons UV sont réfléchis dans l'espace (particules) et beaucoup sont absorbés dans l'atmosphère (ozone) avant d'atteindre la surface de la terre. L'énergie qui est réfléchie de la terre et qui revient vers l'espace est à une plus longue longueur d'ondes, les rayons infrarouges (IR). Cette énergie ne retourne pas toute dans l'espace à cause de la présence de gaz à effet de serre qui laissent passer les UV mais qui absorbent et retournent vers la surface de la terre les radiations IR. À cause de son abondance, la vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre. Les liaisons dans le  $\text{CO}_2$  absorbent à une différente longueur d'ondes que les liaisons dans l'eau. Donc même s'il ne constitue que 0,003% de l'atmosphère, il joue un rôle important pour le maintien d'une température globale tempérée. Comme suggéré précédemment, les 2 facteurs à considérer pour l'effet de serre est l'abondance d'un gaz et sa capacité à absorber les rayons IR.

Gaz	Source principale	capacité de retenir la chaleur comparée au CO <sub>2</sub> .	Contribution relative à l'augmentation du réchauffement global
H <sub>2</sub> O	Évaporation des lacs et océans	0,1	-
CO <sub>2</sub>	Combustion des combustibles fossiles et de la biomasse	1	50%
CH <sub>4</sub>	Décomposition anaérobie de la matière organique (l'agriculture intensive)	30	18%
N <sub>2</sub> O	Fertilisant artificiel et combustion de la biomasse	150	6%
O <sub>3</sub>	Polluant secondaire dans le smog	2000	12%
CFC	Réfrigérants, propulseur dans les aérosols, agent moussant, solvants	10 000 – 25 000	14%

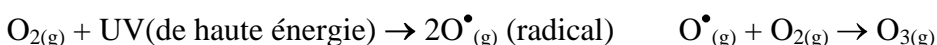
La plupart des gaz à effet de serre sont de source naturelle et causé par l'activité humaine. Par exemple, avec l'augmentation de la combustion des combustibles fossile, on a remarqué que la concentration de CO<sub>2</sub> a augmenté de 1 ppm (0,0001%) par année durant les 50 dernières années. Pendant ces années, la température globale a augmentée aussi. La température a augmenté de 1°C dans les 100 dernières années, même si certaines années la température a diminué avant de remonter. Ceci fût causé par les *particules* présentes dans l'air qui réfléchissaient les UV dans les années 40 et 60. Périodes où il y a eu augmentation significative d'activité volcanique. Même si la terre a déjà eu une température plus élevée qu'actuellement et aussi plus basse qu'aujourd'hui, la plupart des scientifiques s'entendent pour dire que le présent réchauffement global est causé par les humains. Les effets du réchauffement global sont complexes et pas tous sont d'accords. Cependant, les deux conséquences les plus probables sont :

1. les changements en agriculture et dans la biodistribution dus aux changements climatiques.
2. le niveau de la mer qui augmente à cause de la fonte des glaciers et de la dilatation naturelle causée par une augmentation de température.

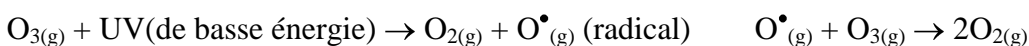
## La diminution de la couche d'ozone

La couche d'ozone est située dans la stratosphère entre 12 km et 50 km au-dessus du sol. L'ozone de la stratosphère est en équilibre avec l'oxygène quant à sa formation et sa décomposition par les rayons UV.  $3\text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{O}_{3(g)}$  Par sa capacité à absorber les rayons ultraviolets, l'ozone protège tout ce qui se trouve à la surface de la terre des rayons UV.

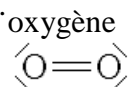
*Processus de formation d'ozone* : les liaisons de la molécule d' $\text{O}_2$  sont brisées par les UV et produisent des radicaux très réactifs. (substance ayant un électron qui n'est pas en paire) Ces radicaux réagissent ensuite avec d'autres  $\text{O}_2$  pour former  $\text{O}_3$ .



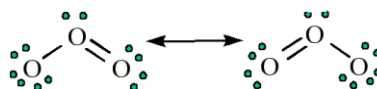
*Processus de formation d'oxygène* : les liaisons de la molécule d' $\text{O}_3$  sont brisées par les UV et produisent des radicaux. Ces radicaux réagissent ensuite avec d'autres  $\text{O}_3$  pour former  $\text{O}_2$ .



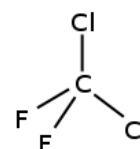
Les UV de basse énergie sont suffisants pour briser les liaisons de  $\text{O}_3$  (liaison d'une valeur entre la liaison simple et la liaison double) qui sont moins fortes que ceux de  $\text{O}_2$  (liaison double).



Structure de résonance de l'ozone



La couche d'ozone diminue depuis quelques années, particulièrement au dessus des pôles. Les «trous» dans la couche sont particulièrement grands à la fin de l'hiver-début du printemps. Les principaux responsables sont les CFC, chlorofluorocarbones, en particulier le  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  ou CFC-12, le fréon. Le fréon était utilisé comme réfrigérant, dans les aérosols, dans les solvants liquides, .... D'autres responsables, les  $\text{NO}_x$  qui sont des produits de la combustion interne de moteurs de voitures, de réacteurs d'avion, ...





Les **effets de la diminution de la couche d'ozone** sont dus à la plus grande quantité de rayons UV qui se rendent à la surface de la terre et qui a le potentiel d'endommager des molécules biologiques.

*Effets sur les humains* : augmentation des «coups de soleil», augmentation de l'apparition de cancer de la peau et augmentation de l'occurrence de cataractes causant la cécité. (rend aveugle)

*Effets sur la végétation* : plantes plus susceptibles aux maladies, nuit à la photosynthèse et la croissance

*Effets sur les écosystèmes marins* : tue le phytoplancton ce qui crée un manque de nourriture pour les autres...

*Effets sur la météo* : change les courants de convection stratosphérique, ce qui affectent la circulation des vents et des courants marins.

### **Produits pouvant être une alternative au CFC**

Depuis le protocole de Montréal en 1987, les CFC doivent cessés d'être utilisés graduellement. À cause de leur faible réactivité, les CFC vont demeurer dans l'atmosphère pendant au moins 80 ans. Les composés alternatifs doivent avoir des propriétés semblables à celles des CFC sans avoir une liaison qui sera brisée par les rayons UV pour former des radicaux. Les propriétés sont : peu réactif, peu toxique et plu inflammable en plus de ne pas avoir de liaison C-Cl provoquant des radicaux. De plus, ses composés ne devraient pas absorber les rayons infrarouges car ils agiraient ainsi comme gaz à effet de serre. Les remplaçants immédiat sont les HCFC, hydrochlorofluorocarbone comme le  $\text{CHF}_2\text{Cl}$ , qui eux se décompose avant d'aller dans l'atmosphère. On cherche activement d'autres alternatives, comme par exemple les HFC, hydrofluorocarbone comme le  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$  et les hydrocarbure comme le 2-méthylpropane,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , qui sont utilisés comme réfrigérant. Cependant ils sont inflammable et contribue à l'effet de serre.

## **L'oxygène dissous dans l'eau**

### **Importance de l'oxygène dans l'eau :**

À 1 atm et 20°C la solubilité maximale de l'oxygène est de 9 ppm (soit 0,009 g/L). Bien que ce n'est pas beaucoup, c'est d'une importance vitale pour la plupart des plantes et poissons qui en ont besoin pour respirer, donc vivre. Les poissons ont besoin de la plus haute concentration et les bactéries, la plus basse. Bien qu'un minimum de 3 ppm est requis pour qu'un poisson puisse survivre, pour assurer la biodiversité aquatique il faut un minimum de 6 ppm.

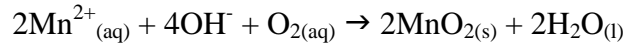
### **Demande biologique en oxygène DBO :**

La DBO est une mesure de la concentration d'O<sub>2</sub> dissous dans l'eau (en ppm) requise pour décomposer biologiquement la matière organique dans l'eau. C'est souvent mesuré sur une période de 5 jours. L'eau qui a une grande DBO et qui n'est pas en mesure de se réapprovisionner facilement en oxygène ne pourra préserver et maintenir la vie aquatique. Une rivière à courant rapide peut retrouver sa [O<sub>2</sub>] facilement parce que l'eau s'oxygène juste par l'action mécanique du courant. Pour les lacs, il n'y presque pas (ou pas du tout) de courant ce qui fait que l'oxygène n'est pas renouvelé facilement (ou pas du tout) L'eau pure a une DBO inférieure à 1 ppm, l'eau qui a une DBO supérieure à 5 ppm est considérée polluée.

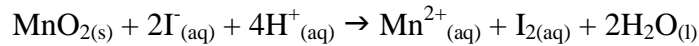
### **Mesure de la BDO**

On mesure la BDO d'un échantillon à l'aide de la méthode *Winkler*. Cette méthode consiste à saturer l'eau en oxygène pour connaître ainsi la concentration d'oxygène dissous. On mesure ensuite une quantité exacte de l'eau oxygénée et on laisse les microorganismes oxyder la matière organique pendant 5 jours à 20°C et dans le noir pour ne pas qu'il y ait de photosynthèse. À la fin des 5 jours, à l'aide de quelques réactions redox, on calcule la quantité (concentration) d'oxygène dissous et la différence entre les 2 mesures correspond à la quantité d'oxygène utilisée pour la décomposition de matières organiques (BDO)

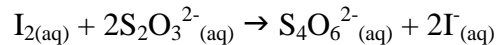
Donc, à la fin des 5 jours on ajoute un excès d'un sel de manganèse(II). Dans des conditions alcalines (base) les ions  $Mn^{2+}$  sont oxydés en oxyde de manganèse(IV) par l'oxygène restant.



On ajoute ensuite de l'iodure de potassium qu sera oxydé par l'oxyde de manganèse(IV) en solution acide pour former de l'iode.



L'iode obtenu est ensuite titré par une solution standard de thiosulfate de sodium.



En sachant le nombre de mole d'iode obtenu on peut calculer la nombre de mole d' $O_2$  dissous restant et ainsi sa concentration.

### **Eutrophisation :**

Les nitrates provenant des fermes animales intensives et l'usage excessif de fertilisants artificiels combinés avec les phosphates provenant de fertilisants artificiels et des détergents s'accumulent dans le lacs. Ils servent de matières nutritives assimilables par les algues et celles-ci prolifèrent (se multiplie rapidement). Ceci se passe aussi naturellement dans les écosystèmes dont les eaux se renouvellent lentement et en particulier dans les lacs profonds. Normalement, lorsque les plantes et les algues meurent, elles se décomposent de façon aérobie (avec suffisamment de  $O_2$ ) pour former de l'eau et du dioxyde de carbone. Cependant, si la croissance d'algues et autres plants aquatiques est excessive et que la quantité d'oxygène dissout dans l'eau n'est pas assez grande il y a décomposition anaérobie. Ceci forme des hydrures comme l'ammoniac ( $NH_3$ ), l'hydruire de soufre ( $H_2S$ ) et des phosphines qui, en plus de sentir mauvais, empoisonnent l'eau. Plusieurs espèces vont mourir, ce qui provoquera encore plus de décomposition anaérobie et le lac lui-même sera dépourvu de vie; ce processus s'appelle *l'eutrophisation*.

### Décomposition aérobie et anaérobie.

S'il y a suffisamment d'O<sub>2</sub>, les organismes décomposeurs font une décomposition aérobie. Les sous-produits sont alors des oxydes ou oxanions. S'il n'y a pas suffisamment d'O<sub>2</sub> la décomposition est dite anaérobie et les sous-produits sont sous forme réduite et sont souvent très malodorants et toxiques.

Élément	Produit de la décomposition aérobie	Produit de la décomposition anaérobie
Carbone	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Azote	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub> et amines
Hydrogène	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> O
Soufre	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> S
Phosphore	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	PH <sub>3</sub>

### Pollution thermique

Lorsque les industries rejettent de l'eau chaude dans les cours d'eau, c'est une forme de pollution aussi. Augmenter la température de l'eau, diminue la [O<sub>2</sub>] dans l'eau et augmente le métabolisme des poissons et autres organismes vivant présents, ce qui augmentent leur besoin en O<sub>2</sub>. Cela provoque donc un manque d'oxygène...

Solubilité de l'oxygène à différentes températures		
Température /°C	Solubilité de O <sub>2</sub> en eau douce / ppm	Solubilité de O <sub>2</sub> en eau de mer / ppm
0	14,71	11,71
10	11,42	9,28
20	9,14	7,50
30	7,50	6,21

## Le traitement des eaux

L'eau est très abondante sur la terre, 72% de la surface est couverte d'eau par des océans à une profondeur moyenne de 4 km. Cependant, près de 97% de l'eau est salée. Le reste, l'eau douce, consiste en 2,1% dans les glaciers, 0,6 % dans les rivières et 0,6% en eau souterraine. Donc environ 1% de l'eau est facilement accessible en eau douce. Il existe présentement, en eau douce renouvelable, 7000 m<sup>3</sup> par personne, c'était 16 000 m<sup>3</sup> dans les années 50. Cette quantité serait plus que suffisante si elle était distribuée également partout sur la planète. Malheureusement ce n'est pas le cas et plusieurs pays sont aux prises avec un manque d'eau. L'utilisation principale de l'eau douce dépend des pays. Pour les pays industrialisés, c'est l'industrie qui est l'utilisation principale de l'eau, suivi de l'agriculture. Dans les pays moins industrialisés, c'est l'inverse. L'utilisation domestique de l'eau représente moins de 10% de l'utilisation.

### Pollution primaire :

*Métaux lourds* : les principaux métaux lourds qui polluent l'eau sont le cadmium, le mercure et le plomb. D'autres : Cr, Ni, Cu et Zn

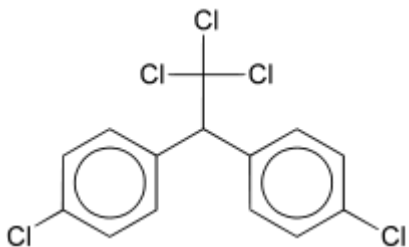
*Cadmium*: Fait partie de l'eau usée des mines de zinc, piles rechargeables, plaquage de métal, pigment orange de peintures

*Mercur*e : Piles, utilisé dans le traitement des graines pour tuer les moisissures

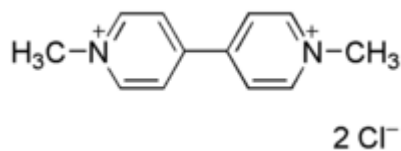
*Plomb*: Se trouve dans certaines peintures et dans l'essence sous forme de plomb tétraéthyle, tuyaux d'eau, batterie d'auto

*Pesticides* : Cela inclut les insecticides comme le DDT, les herbicides (paraquat) et les fongicides (tueurs de moisissures).

DDT

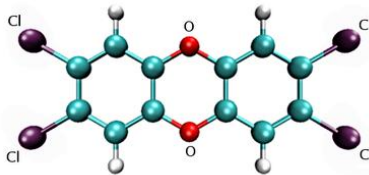


Paraquat



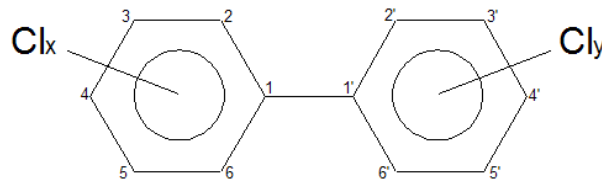
*Dioxines* : formées par des composés organochlorés ne sont pas incinérés à des assez hautes températures. C'est très persistant dans l'environnement et extrêmement toxique car cela s'accumule dans le gras et les cellules du foie. Cela cause des malformations du fœtus. C'était un des herbicides présents dans l'Agent Orange utilisé pendant la guerre du Vietnam.

Dioxine



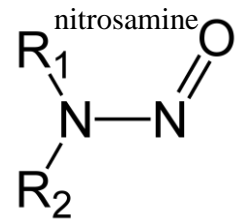
*Biphényles polychlorés(BPC)* : Contient de 2 à 10 Cl accroché à un biphényl. Stables chimiquement et ont une résistance électrique élevée et sont donc utilisés dans les transformateurs électriques. Comme la dioxine, ils sont persistants dans l'environnement et s'accumulent dans les tissus adipeux. Ils affectent la capacité de se reproduire, diminuent la capacité d'apprendre chez les enfants et sont probablement cancérogènes.

BPC (chaque nos peut être remplacé par un Cl)



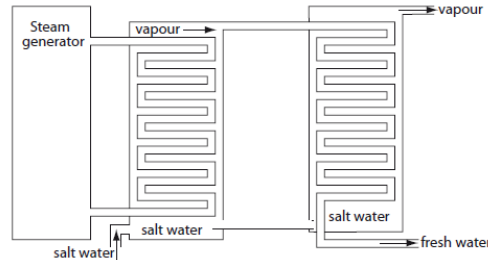
*Nitrates* : vient dans nos eaux par les engrais utilisés dans l'agriculture industrielle et par les pluies acides. Parce que les nitrates sont tous solubles, ils ne sont pas faciles à enlever lors du traitement des eaux et ont donc tendance à s'accumuler. Le maximum de nitrates permmissible dans l'eau potable a été fixé à  $50 \text{ mg dm}^{-3}$  par l'Organisation Mondiale de la Santé. À une plus haute concentration, cela cause le syndrome du bébé bleu, car les nitrates deviennent des ions nitrites qui oxydent le fer de l'hémoglobine qui ne peut plus «attacher» l'oxygène ce qui crée un manque d'oxygène.

Chez les adultes, la conversion va une couche plus loin pour passer des nitrites aux nitrosamines qui seraient cancérogènes.

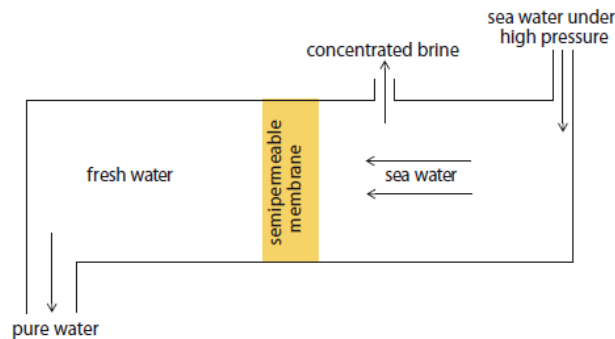


## Méthodes d'obtention d'eau douce à partir de l'eau salée :

*Distillation* : Surtout fait dans les pays chauds. Processus : l'eau salée est chauffée dans différents serpentins (tuyaux en S) pour ensuite passer à travers un compartiment à basse pression, ce qui fait bouillir l'eau instantanément. La vapeur d'eau est condensée en entrant en contact avec les tuyaux qui amènent l'eau salée froide. L'énergie libérée ainsi permet d'aider à réchauffer l'eau...



*Osmose inverse* : On applique une pression du côté de l'eau salée d'une membrane semi-perméable faite d'éthanoate de cellulose pour que l'eau traverse et que le sel soit bloqué par la membrane. La difficulté est d'avoir une membrane qui supporte de fortes pressions.



## Traitement de l'eau potable

Pour être considérée bonne à boire (potable) l'eau ne doit pas comporter d'agents pathogènes (qui causent des maladies), ne pas avoir de goût, d'odeur ou de couleur désagréables, ne pas avoir des substances nocives dissous dans l'eau (ex. : ion métalliques lourds : Pb, Hg, ...) On doit donc détruire les bactéries nocives avec de puissants agents oxydants avant de considérer l'eau potable. Les oxydants sont habituellement le chlore ou l'ozone.

	Chlore, Cl <sub>2</sub>	Ozone, O <sub>3</sub>
Action	$\text{Cl}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightarrow \text{HCl}_{(\text{aq})} + \text{HClO}_{(\text{aq})}$ L'acide hypochloreux oxyde les bactéries $\text{HClO}_{(\text{aq})} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HCl}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	O <sub>3</sub> oxyde directement les bactéries $\text{O}_{3(\text{aq})} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_{2(\text{g})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$
avantages	Pas cher, efficace plus longtemps	Plus efficace, sans goût
Désavantages	Peut former des composés organiques chlorés comme CHCl <sub>3</sub> , un cancérigène	Plus cher, efficacité plus courte

### Traitement des eaux usées

Malheureusement ils existent encore des gens, industries, villes, ... qui rejettent leurs eaux usées directement dans les cours d'eau. Cependant, on rejette aussi l'eau de façon responsable pour s'en défaire ou pour la réutiliser. Une façon de le faire est l'utilisation d'une fosse sceptique. Cela fonctionne en 2 parties. La première, la fosse elle-même, est l'étape de filtration des déchets solides et du début de la décomposition de la matière organique. La 2<sup>e</sup> étape est le champ d'épuration où l'eau est filtrée naturellement par le sol jusqu'à son retour dans les nappes d'eau souterraine. Habituellement en ville, l'eau est traitée par une station d'épuration qui reçoit l'eau à travers le système d'égout.

Le traitement des eaux se fait en 2 ou 3 étapes.

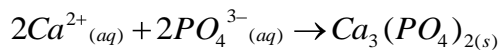
*Étape 1(stade primaire)* : On filtre les déchets solides à l'aide d'une grille pour enlever les assez gros objets (branche, vêtements, papier emballage de bonbons, ...). Ensuite l'eau passe dans le désableur (grit chamber), une «chambre» qui permet de laisser tomber au fond le sable et autres solides plus lourds. L'eau passe ensuite au réservoir à sédimentation. On y ajoute à cet endroit un mélange d'hydroxyde de calcium et de sulfate d'aluminium. Ce mélange produit de l'hydroxyde d'aluminium qui précipitera entraînant ainsi les particules solides en suspension dans l'eau, ce procédé se nomme la floculation.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_{3(\text{aq})} + 3\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{aq})} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})} + 3\text{CaSO}_{4(\text{aq})}$

On ramasse aussi les graisses qui se retrouvent à la surface avec un genre de filet, comme lorsqu'on ramasse la crème du lait de vache.



*Étape 2(stade secondaire) : À cette étape on se débarrasse de la majorité des déchets organiques (déchets demandeurs d'O<sub>2</sub>) en aérant l'eau avec de l'O<sub>2</sub> pur dans un réservoir et en faisant passer l'eau à travers une boue active, boue avec des bactéries décomposeurs aérobie et ensuite l'eau passe à travers un autre réservoir à sédimentation dans on récupère pour réutiliser la boue active. Ensuite l'eau s'en va se faire désinfectée au Cl<sub>2</sub> ou à l'ozone pour la rendre potable, ou elle va à un stade tertiaire si disponible et si nécessaire.*

De plus en plus les usines de traitement d'eau comporte une 3<sup>e</sup> étape (*traitement tertiaire*) qui est spécifiquement faite pour enlever les ions de métaux lourds, nitrates et phosphates ainsi que les restants de déchets organiques. On enlève les ions métalliques lourds et les phosphates par précipitation. Le sulfate d'aluminium ou l'oxyde de calcium précipite les phosphates.  $Al^{3+}_{(aq)} + PO_4^{3-}_{(aq)} \rightarrow AlPO_{4(s)}$



Les ions métalliques lourds sont précipités en hydroxydes insolubles ou en sels alcalins ou en sulfure.  $Ex_1 Cr^{3+}_{(aq)} + 3OH^{-}_{(aq)} \rightarrow Cr(OH)_{3(s)}$   $Ex_2 Cd^{2+}_{(aq)} + H_2S_{(g)} \rightarrow CdS_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)}$

Les restants de matière organique sont éliminés par un lit de carbone activé sur lequel l'eau passe. Les carbones sont chauffés périodiquement pour oxyder la matière organique en CO<sub>2</sub> et eau et ainsi libérer le carbone pour «attraper» d'autres matières organiques. Pour les nitrates, on ne peut les précipiter, souvent on fait passer l'eau à travers un réservoir d'eau contenant des algues qui utiliseront les nitrates comme nutriments.

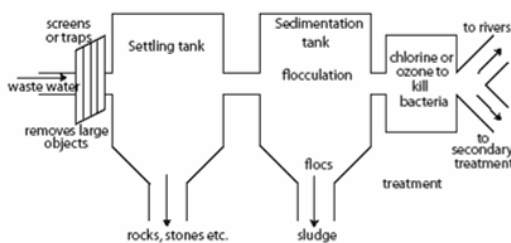


Figure 1618 Primary sewage treatment

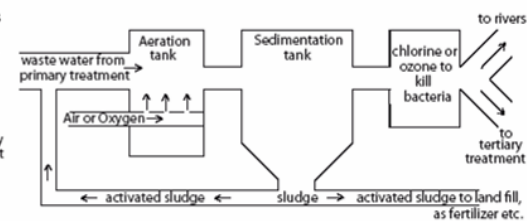


Figure 1619 Secondary sewage treatment

## Le sol

### Dégradation des sols

La composition du sol varie considérablement d'un endroit à un autre mais essentiellement, c'est un mélange complexe de matières inorganiques et organiques, y compris des organismes vivants. Quand la qualité du sol a été affectée au point où la production agricole diminue, cela constitue la *dégradation des sols*.

*Salinisation* : elle résulte d'une irrigation constante des sols. Les eaux d'irrigation contiennent des sels qui se déposent après l'évaporation de l'eau. Dans les sols mal drainés, les sels ne sont pas entraînés et commencent à s'accumuler dans la couche arable. Les plantes ne peuvent pas pousser dans un sol trop salin.

*Épuisement des nutriments* : l'agriculture rompt le cycle normal des nutriments dans le réseau trophique du sol lors des récoltes. Cela élimine tous les nutriments et les minéraux que les cultures ont absorbés pendant leur croissance. Les pratiques agricoles visant l'amélioration de l'épuisement des nutriments peuvent contribuer à polluer davantage l'environnement.

*Pollution des sols* : elle est la conséquence de l'utilisation de produits chimiques tels que les pesticides et les engrais. Ces substances chimiques peuvent perturber le réseau trophique du sol, réduire la biodiversité et, en bout de ligne, épuiser le sol. Ces produits chimiques s'écoulent sur le sol vers les eaux de surface et traversent le sol pour polluer les eaux souterraines.

### Matières organiques des sols (MOS)

Quoique les plantes en santé nécessitent des éléments essentiels comme le phosphore, l'azote, le soufre et le potassium, le sol se dégrade rapidement si on utilise que des fertilisants artificiels comme le sulfate d'ammonium. C'est bien connu que les excréments d'animaux et du compost bien décomposé fait de matière organique fournissent des nutriments au sol. Le terme matières organiques des sols (MOS) est en général utilisé pour représenter les constituants organiques dans les sols, incluant les tissus végétaux et animaux intacts, leurs produits de décomposition partielle et la biomasse terrestre.

Elles comprennent :

- des matières organiques identifiables, à masse moléculaire élevée (polysaccharides et protéines, par exemple) ;
- des substances plus simples (sucres, acides amines et autres petites molécules, ...) ;
- des substances humiques.(humus)

De façon générale, les fonctions des MOS peuvent être classées en deux groupes.

- Biologiques : elles fournissent une source de nutriments (P, N, S) et contribuent ainsi à la résilience du système sol-plante.
- Physiques : elles améliorent la stabilité structurale, influencent le pouvoir de rétention d'eau et modifient les propriétés thermiques des sols.

### **Polluants organiques communs des sols**

Polluant	Source
Hydrocarbures de pétrole et autres COV y compris les composés organiques semi-volatils (COSV)	Transport, solvants et processus industriel
Produits agrochimiques	Pesticides, herbicides et fongicides
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Combustion incomplète du charbon, du pétrole, de l'essence, du bois, des vidanges
Biphényles polychlorés (BPC)	Utilisés comme réfrigérant et comme isolant dans l'équipement électrique comme les transformateurs et les générateurs.
Composés organostanniques	Bactéricides et fongicides utilisés dans le papier, le bois, le textile et la peinture antisalissure

## Les déchets

### Méthodes d'élimination des déchets

Par le passé, pour les pays «riches» les déchets étaient simplement jetés dans l'eau, brûlés ou enfouis dans des sites. Pour les pays pauvres, on recyclait par nécessité.

L'incinération et l'enfouissement des déchets existent encore mais la pression de recycler est de plus en plus grande pour les individus, les compagnies et les gouvernements.

Encore mieux que le recyclage, la réutilisation ! (du verre, du plastique, ... )

Méthode	Avantages	Désavantages
Site d'enfouissement	Méthode efficace de gérer un grand volume de déchet. Le sol «rempli» peut ensuite être utilisé pour y bâtir des édifices ou autres utilités communautaires	Les résidents près du site peuvent s'opposer au projet Ça prend du temps pour que le sol «rempli» se stabilise et il faut contrôler le CH <sub>4</sub> qui est dégagé par le site.
Déversement ouvert	Pratique et peu dispendieux	Cause de la pollution de l'air et de l'eau souterraine. Risque pour la santé : attire certains rongeurs et insectes Pas beau à voir
Déversement dans l'océan	Source de nutriments, pratique et peu dispendieux	Danger pour les animaux marins, pollue l'océan
Incinération	Diminue le volume, requiert peu d'espace, produit des résidus stable et sans odeur, peut être utilisé comme source d'énergie	Coût élevé à construire et opérer, peut produire des polluants (comme les dioxines) si combustion inefficace, requiert beaucoup d'énergie
Recyclage	Aide à maintenir un environnement durable	Coûteux, difficile de séparer les différents matériaux...

## **Recyclage**

Le recyclage est donc maintenant monnaie courante de part le monde. Chaque communauté a ses propres spécialités quant au recyclage, mais la plupart des endroits ont ces 4 éléments de base recyclés...

*Métaux* : Principalement l'aluminium et l'acier. Les métaux sont séparés, puis fondus et soit réutilisé directement ou ajouté à l'étape de purification des métaux formés à partir du minerai. C'est particulièrement important pour l'aluminium qui nécessite beaucoup d'énergie pour être produit à partir du minerai.

*Papier* : Séparés dans les différents sortes de papier. «nettoyés» pour enlever l'encre ... transformer en pâte pour fabriquer différents type de papier comme le papier journal et le papier hygiénique. Nécessite de l'énergie pour le transport et le compostage serait aussi efficace.

*Verre* : Séparé par couleur, lavé, concassé puis fondu et reformé à l'aide de moules en nouveaux produits. Le verre ne se dégrade pas dans le processus de recyclage, il peut donc être recyclé plusieurs fois.

*Plastique* : Après avoir été séparés, les plastiques (polymères) sont dégradés en monomères par pyrolyse, hydrogénation, gazéification et par «craquage» thermique, puis polymériser à nouveau. Recycler produit moins de polluants et utilise moins d'énergie que de produire des nouveaux plastiques à partir du pétrole. Cependant, séparé les plastiques peut être problématique.

## **Déchets nucléaires**

Il y a différents types de déchets nucléaires. Il y a des radio-isotopes provenant des laboratoires de recherche ou des hôpitaux. Mais il y a aussi les tiges usées des centrales nucléaires et les matériaux qui ont été en contact avec du matériel radioactif et qui en sont donc contaminés. On divise essentiellement les déchets nucléaires en deux types : déchets de *haut niveau* et de *bas niveau*. Les déchets de bas niveau comprennent les gants de caoutchoucs, les serviettes de papier et autres vêtements protecteurs utilisés dans des endroits où on manipule ou utilise des matériaux radioactifs. Le niveau d'activité radioactive est faible (ou bas) et la demi-vie des radio-isotopes est courte. Pour les déchets de haut niveau, ils ont un niveau élevé (ou haut) d'activité radioactive et la demi-vie des radio-isotopes est plus longue ce qui fait que ces déchets demeurent actifs pour

une longue période de temps. La plupart des déchets radioactifs de haut niveau proviennent des tiges usées des centrales nucléaires ou de la réutilisation des éléments radioactifs (combustible).

### **Stockage et élimination des déchets nucléaires**

*Déchets de bas niveau* : Il y a différentes méthodes d'utiliser pour se débarrasser de ces déchets. Quoique plusieurs gouvernements ont banni cette pratique, certains déversent directement leurs déchets dans la mer ou l'océan où ils deviennent dilués. Comme la «décomposition» de ces déchets produit de la chaleur, c'est mieux de les entreposés dans des gros réservoirs d'eau froide pendant qu'ils perdent de leur activité. Ensuite on les filtre à travers une résine échangeur d'ion, ce qui capte le césium et le strontium (les 2 éléments responsables de la plupart de la radioactivité) avant de les rejeter à la mer. Une autre méthode est de les entreposer dans des contenant d'acier dans des voûtes de ciment.

*Déchets de haut niveau* : Lors de la réutilisation du carburant utilisé, environ 96% de l'uranium est récupéré pour réutilisation. Environ 1% est du plutonium qui est un bob carburant. Les 3% restant sont des déchets liquides de haut niveau. Une méthode de traitement est la vitrification. Les déchets liquides sont séchés dans une fournaise et ensuite mis dans une cuve pour être mélangés avec d'autres matériaux servant à faire du verre (vitre). Le mélange fondu est ensuite versé dans des tubes d'acier inoxydable pour se solidifier. On s'assure que l'air circule bien pour garder les tubes frais. À cause de la haute activité et de la longue demi-vie, certains déchets vont demeurer radioactifs pour des centaines et même des milliers d'années. Le problème est de réussir à les entreposer pour une si longue période de temps. Présentement, la meilleure solution est de les enterrer profondément dans des endroits éloignés et géologiquement stables comme des mines inutilisées ou dans le granit. Il y a quand même une inquiétude qu'il y ait une fuite dans les contenants et que les déchets se retrouvent dans les nappes d'eau souterraine et ensuite dans l'eau potable...

## Niveau supérieur

### Diminution de la couche d'ozone II

*Dissociation de O<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>* : On a mentionné plutôt que l'ozone absorbait beaucoup de rayons UV. On a vu aussi que selon l'énergie du rayon UV c'est les liaisons de O<sub>2</sub> ou de O<sub>3</sub> qui seront brisés. L'enthalpie de liaison moyenne de O=O est de 496 kJ mol<sup>-1</sup> selon le recueil de données. Pour UNE liaison cela représente 8,235 X 10<sup>-19</sup> J. La longueur d'onde qui correspond à cette énergie peut être calculée à partir de la formule suivante :

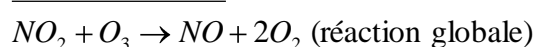
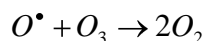
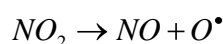
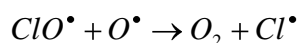
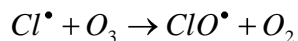
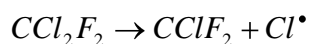
$$\lambda = \frac{hc}{E} \text{ où } \lambda = \text{longueur d'onde, } c = \text{vitesse de la lumière et } h = \text{constante de Planck,}$$

$$\text{donc : } \lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} (J \cdot s) 2,998 \times 10^8 (m \cdot s^{-1})}{8,235 \times 10^{-19} (J)} = 241 \text{ nm}$$
 Cette longueur est dans la

région de haute énergie des rayons UV. Les liaisons dans O<sub>3</sub> sont de l'ordre 1,5, c'est-à-dire de résonances hybrides. Une autre façon de voir la liaison c'est avec le concept d'électrons  $\pi$  délocalisés. Sachant que la longueur d'onde des rayons UV qui brise les liaisons de O<sub>3</sub> est de 330 nm, on peut faire le travail inverse et trouver que l'enthalpie de liaison est de 362 kJ mol<sup>-1</sup> pour les liaisons de O<sub>3</sub>, soit entre 146 kJ mol<sup>-1</sup> (liaison simple O-O) et 496 kJ mol<sup>-1</sup> (liaison double O=O)

Catalyse de la déplétion de l'ozone par les CFC et les NO<sub>x</sub> :

*Les CFC sont mauvais pour la couche d'ozone car ils agissent comme catalyseur de la destruction de l'ozone.* Les rayons UV brise les liens C-Cl (plus faible que C-F) causant ainsi des radicaux Cl<sup>•</sup> qui vont défaire les molécules d'ozone et produire d'autres radicaux Cl<sup>•</sup> qui déferont d'autres molécules d'ozone, ... On estime qu'une molécule de CFC (par exemple, C Cl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) catalyse la destruction de 100 000 molécules d'ozone. La preuve qui soutient ce mécanisme est l'augmentation de la concentration de monoxyde de chlore dans la stratosphère là où il y a une diminution de la concentration d'ozone, particulièrement au dessus des pôles. Les oxydes d'azote catalysent aussi la destruction de l'ozone par la création de radicaux O<sup>•</sup> qui défait les molécules d'ozone.

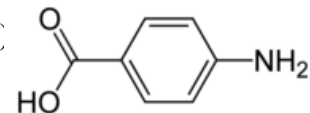


*La couche d'ozone est particulièrement «trouée» au dessus des pôles* parce qu'en hiver, la stratosphère y devient très froide. À ces basses températures la vapeur d'eau gèle et forme des cristaux de glace. Les cristaux contiennent aussi des petites quantités de molécules de HCl et de ClONO<sub>2</sub>. On croit que ces molécules sont en réaction catalysée à la surface des cristaux pour produire de l'acide hypochloreux(HClO) et du chlore(Cl<sub>2</sub>). Avec l'arrivée du printemps et un différent angle d'arrivée pour les rayons UV, ces derniers brisent les liaisons avec le Chlore pour produire des radicaux Cl• ce qui catalyse la destruction de l'ozone ... Les plus gros «trous» se produisent donc au début printemps car à mesure que le temps se réchauffe les cristaux de glace fondent et les molécules se dispersent sans faire de réactions. L'équilibre de O<sub>2</sub>-O<sub>3</sub> fait que la concentration d'ozone augmente graduellement jusqu'à la prochaine attaque de radicaux ...

*Protection solaire :*

Comme on a vu plus tôt, les rayons UV peuvent être nocifs pour l'humain. Les UV à longue longueur d'onde causent des rougeurs de la peau ou «coups de soleil», mais les courtes longueurs d'onde brisent des liens à l'intérieur du corps. Cela peut briser les liaisons formant des protéines ce qui fait que la peau ride, mais aussi les UV brisent des liens dans l'ADN provoquant ainsi des cancers. La protection solaire peut aider à prévenir ces problèmes. L'atmosphère (l'ozone) est une protection naturelle contre les UV car elle les absorbe, mais la protection diminue ... Le verre est une bonne protection aussi, on ne peut attraper de coups de soleil à travers le verre. La mélanine est une autre protection naturelle de notre peau. C'est un pigment brun de la peau dont la concentration est augmentée par l'exposition au soleil. Les produits achetés pour se protéger contiennent habituellement une substance qui peut absorber des rayons UV d'une certaine longueur d'onde. Ces substances contiennent des liaisons (doubles conjuguées) de résonances (comme dans l'anneau de benzène) avec des liaisons π dont les électrons sont excités par les rayons UV. Une de ces substances très utilisées est

l'acide 4-aminobenzoïque ou acide para-aminobenzoïque(PABA). Certains préfèrent utiliser des substances qui bloquent



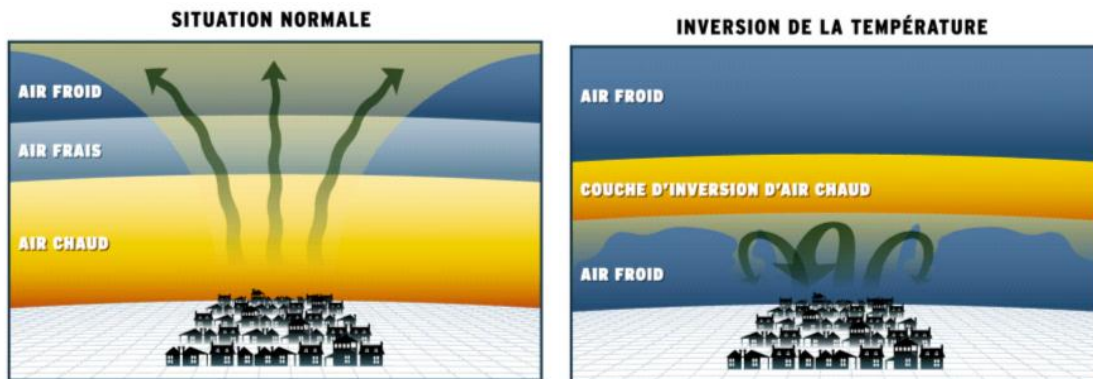
(réfléchissent) les rayons UV car la PABA crée des réactions allergiques. Ces substances contiennent des pigments blancs comme l'oxyde de zinc ou l'oxyde de titane(IV) qui forme une barrière aux rayons UV en les réfléchissant et en les diffusant.



## Le brouillard photochimique (SMOG)

### Conditions de formation du smog

Le smog est un mélange épais et poison de brouillard, de fumée et de polluants atmosphériques. Le smog se retrouve surtout au-dessus des régions urbaines mais il peut se propager dans les régions rurales. Il prend un aspect de brume d'un jaune brunâtre (photochimique) ou d'un gris blanchâtre. (de Londres ou réducteur) Les conditions qui favorisent le smog, outre la région urbaine, le manque de vent et si la ville est en forme de cuve ou cuvette, c'est-à-dire que la ville que les terres sont plus hauts, tout autour de la ville. Ces 2 facteurs contribuent à la diminution du déplacement d'air. Le smog a plus de chance de se produire lorsqu'il y a une *inversion de température*. Normalement, la température diminue avec l'altitude. L'air chaud monte et amène avec lui les polluants et est remplacé par de l'air propre et frais. Cependant, il arrive parfois que les conditions météorologiques causent la création d'une couche d'air chaud prise entre 2 couches d'air froid. Les polluants ainsi pris au piège ne peuvent plus monter et si ces conditions persistent, il y a smog et la quantité de polluants dans l'air chaud près du sol peut augmenter jusqu'à des niveaux dangereux pour la santé.



### Le brouillard photochimique

Le smog de Londres des années 50 était un *smog réducteur* dû principalement à la combustion du pétrole et du charbon. Cela produisait du dioxyde de soufre mélangé à de la suie (particules solides riches en carbone), des envols (particules solides en suspension entraînés par un courant gazeux comprenant des poussières de charbon et des cendres volantes) et de la matière organique partiellement oxydée. Ce type de smog est maintenant peu commun. La plupart des smogs des grandes villes d'aujourd'hui, comme Los Angeles, sont des *smogs photochimiques*.

Les polluants primaires sont les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) provenant des moteurs à combustion et sont responsables de la brume jaune brunâtre. Ces polluants primaires, sous l'effet de la lumière du soleil conduisent à la formation de composés oxydants et sont donc éventuellement la cause d'une mauvaise visibilité, d'une irritation des yeux ou de dommages aux matériaux et à la végétation lorsqu'ils sont à des concentrations suffisantes. Comme les polluants spécifiques du smog photochimique viennent d'une réaction avec des polluants de l'air, on les qualifie de *polluants secondaires*.

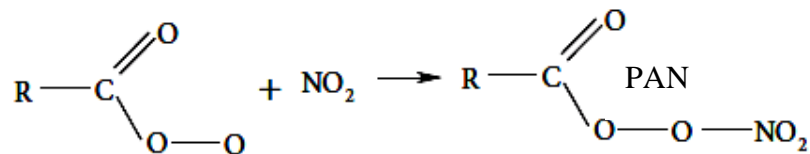
### Formation des polluants secondaires

Durant l'heure de pointe tôt le matin, il y a une accumulation d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote provenant des voitures. À mesure que le soleil se lève, le dioxyde d'azote absorbe la lumière du soleil et se décompose pour former un radical.

$\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{O}\cdot(\text{g})$  Ces radicaux oxygène réagissent avec l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) pour former de l'ozone et avec l'eau pour former des radicaux hydroxyles. Ces oxydants peuvent réagir avec une variété de molécules comme par exemple, les oxydes d'azote qui forment de l'acide nitrique et les VOC qui forment des peroxydes ( $\text{RO-OR}$ ), des aldéhydes ( $\text{R-CHO}$ ) et des cétones ( $\text{R-COR}$ ). Les peroxydes sont très réactifs et les aldéhydes et cétones réduisent la visibilité car il se condense pour former des aérosols.



La terminaison de la réaction en chaîne peut se produire lorsque le radical peroxyde réagit avec le dioxyde d'azote pour produire des peroxyacylnitrates (PAN). Ces composés sont des irritants pour les yeux et sont toxiques pour les plantes.



## L'eau et le sol

### Précipitation de métaux lourds

Même les sels «insoluble» sont quand même un peu solubles dans l'eau. Pour un sel

formé d'un métal (M) et d'un non-métal (X) :  $\text{MX(s)} \rightleftharpoons \text{M}^+(\text{aq}) + \text{X}^-(\text{aq})$

L'expression de l'équilibre sera  $K_{\text{ps}} = [\text{M}^+(\text{aq})] \times [\text{X}^-(\text{aq})]$ ,  $K_{\text{ps}}$  est la constante d'équilibre connue sous le nom de constante du produit de solubilité. NB :  $\text{MX(s)}$  n'apparaît pas dans l'expression car un solide n'a pas de concentration ...

Plusieurs sulfures de métaux ont un produit de solubilité ( $K_{\text{ps}}$ ) très bas. Une méthode efficace pour précipiter des ions métalliques lourds est donc de bouillonner (faire passer un gaz dans l'eau) du sulfure d'hydrogène dans l'eau polluée. À l'aide du produit de solubilité, on peut calculer la quantité d'ions métalliques restant dans l'eau après précipitation. Par exemple,  $K_{\text{ps}}$  du sulfure de plomb,  $\text{PbS}$ , est de  $1,30 \times 10^{-28}$ .

$\text{PbS(s)} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}^{2-}(\text{aq})$

$K_{\text{ps}} = [\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] [\text{S}^{2-}(\text{aq})]$  mais  $[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = [\text{S}^{2-}(\text{aq})]$  ; donc ...

$K_{\text{ps}} = [\text{Pb}^{2+}(\text{aq})]^2 = 1,30 \times 10^{-28}$  et  $[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = \sqrt{1,30 \times 10^{-28}} = \underline{1,14 \times 10^{-14} \text{ mol dm}^{-3}}$

La concentration d'ions plombure dans la solution aqueuse est  $1,14 \times 10^{-14} \text{ mol dm}^{-3}$ . La masse molaire du plomb est de  $207,19 \text{ g mol}^{-1}$ . La masse d'ions plombure dissous dans un litre d'eau est  $207,19 \text{ g mol}^{-1} \times 1,14 \times 10^{-14} \text{ mol} = 2,36 \times 10^{-12} \text{ g}$ . On peut donc voir que la précipitation par le sulfure est très efficace. Même si cette quantité est petite, on peut la réduire encore plus en ajoutant encore plus d'ions sulfure pour que la concentration d'ions plombure ne soit plus la même que la concentration d'ions sulfure. Ceci se nomme l'effet d'ion commun. Si la concentration d'ions sulfure se retrouve à être de  $1,00 \text{ mol dm}^{-3}$ , ...

$K_{\text{ps}} = [\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] [\text{S}^{2-}(\text{aq})] \rightarrow 1,30 \times 10^{-28} = [\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] \times 1,00 \text{ mol dm}^{-3}$ , donc

$[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = 1,30 \times 10^{-28} \text{ mol dm}^{-3}$  et la masse d'ion plombure restant est  $2,69 \times 10^{-26} \text{ g}$ .

On peut précipiter par cette technique plusieurs métaux lourds ou même les phosphates en  $\text{AlPO}_3$  et faire les mêmes calculs en utilisant le  $K_{\text{ps}}$  de  $\text{AlPO}_3 = 1,40 \times 10^{-21}$ . Pour plusieurs métaux, les calculs sont un peu compliqués car ils forment des sels non binaires,

c'est-à-dire que le rapport molaire du cation et de l'anion n'est pas de 1 à 1. Par exemple, les ions nickel des eaux usées peuvent être précipités en ajoutant des ions hydroxyde.

$\text{Ni(OH)}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$  Le  $K_{\text{ps}}$  de l'hydroxyde nickel(II) est de  $6,50 \times 10^{-13}$ .

$K_{\text{ps}} = [\text{Ni}^{2+}(\text{aq})] [\text{OH}^-(\text{aq})]^2$ ; comme il se produit 2x plus de  $\text{OH}^-$  que de  $\text{Ni}^{2+}$

$[\text{OH}^-(\text{aq})] = 2[\text{Ni}^{2+}(\text{aq})]$ ;  $K_{\text{ps}} = 6,50 \times 10^{-13} = [\text{Ni}^{2+}(\text{aq})] (2[\text{Ni}^{2+}(\text{aq})])^2 = 4[\text{Ni}^{2+}(\text{aq})]^3$

$[\text{Ni}^{2+}(\text{aq})] = \sqrt[3]{\frac{6,50 \times 10^{-13}}{4}} = 1,18 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$ . Comme la masse molaire du nickel est

de  $58,71 \text{ g mol}^{-1}$ , la masse d'ions nickel présents dans un litre d'eau est  $6,93 \times 10^{-5} \text{ g}$ . On peut réduire encore plus cette quantité avec l'effet d'ion commun. Il faut cependant faire attention de ne pas former d'ions complexes solubles. Par exemple, l'hydroxyde de zinc se redissout en excès ions hydroxyde pour former  $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}(\text{aq})$ .

### Capacité d'échange cationique

La matière organique du sol et les particules d'argile ont une charge négative ; ils attirent et se lient aux ions positifs. (cations) Ces ions sont classés soit en ions basiques :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  ou en ions acides :  $\text{H}^+$  et  $\text{Al}^{3+}$ . La quantité de cations que le sol peut contenir se nomme *capacité d'échange cationique*, *CEC*. La plus grande la CEC, le plus de cations peut être contenus dans le sol. Ces cations sont échangés avec d'autres cations comme  $\text{H}^+$  aux racines des plantes fournissant ainsi des nutriments aux plantes. Lorsque l'on analyse le sol, on peut obtenir le rapport de la concentration totale de cations basique par rapport aux cations acides. Le plus acide est le sol (le plus bas est le pH), le plus haut est le pourcentage de cations acides. Le pH du sol est important car les ions acides comme le  $\text{Al}^{3+}$  sont dommageables pour les plantes. C'est un des problèmes causés par les pluies acides car cela augmente la quantité d'ions aluminium ce qui diminue le pH. Au dessus de  $\text{pH} = 5$ , les ions  $\text{Al}^{3+}$  sont pratiquement tous précipités par le sol car le sol a une capacité de tampon. Il est quand même parfois nécessaire d'ajouter de l'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) ou l'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) pour faire monter le pH et augmenter la concentration de cations basiques retenus par l'argile et la matière organique du sol. (MOS) En plus de se lier aux cations nutriments requis par les plantes, la MOS peut se lier aussi aux composés organiques et inorganiques du sol ce qui aide à réduire l'impact négatif des contaminants comme les pesticides, ions métalliques lourds et autres polluants.

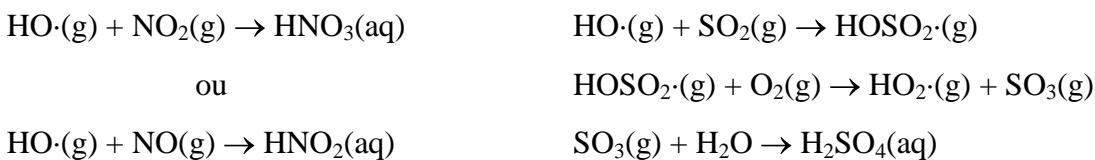
## Les dépôts acides II

### Le mécanisme des dépôts acides

Les deux polluants primaires causant les dépôts acides sont le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote. Dans l'atmosphère, ils sont convertis en acide par un mécanisme de radicaux libres impliquant le radical libre hydroxyle OH·. Ces radicaux libres sont formés soit par réaction avec la vapeur d'eau avec l'ozone ou par la réaction de la vapeur d'eau avec les radicaux libres oxygène formés lors de la décomposition de l'ozone.



Les radicaux libres hydroxyle réagissent directement avec le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote en présence d'eau pour donner les acides en solution.



### Le rôle de l'ammoniac dans les dépôts acides

L'atmosphère contient des traces d'ammoniac. L'ammoniac peut aussi se retrouver dans le sol à cause de certaines bactéries appelées rhizobium. On retrouve ces bactéries dans les racines des plantes légumineuses comme les pois, les fèves, le soya et les trèfles.

L'ammoniac dans l'atmosphère peut arriver un peu à neutraliser les acides et former ainsi du sulfate d'ammonium,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  et du nitrate d'ammonium,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Ces sels d'ammonium, qui sont le produit d'une base faible et d'un acide fort, sont donc un peu acides. Lorsque ces sels pénètrent le sol où qu'ils sont «séparés» par précipitation de l'anion, l'ion ammonium entre dans le sol et peut causer l'acidification et la nitrification du sol.

