

## **CHAPITRE III**

### **LES NORMES DU DROIT DE L'ENVIRONNEMENT**

Depuis sa première édition, en 1972, la JME est devenue l'un des principaux moyens utilisés par l'ONU pour sensibiliser le monde entier à l'environnement et inciter les pouvoirs publics à s'intéresser à la question et à prendre des mesures. Depuis sa première édition, en 1972, la JME est devenue l'un des principaux moyens utilisés par l'ONU pour sensibiliser le monde entier à l'environnement et inciter les pouvoirs publics à s'intéresser à la question et à prendre des mesures.

L'élaboration, par l'ISO, de la série ISO14000 compte parmi les résultats concrets de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), qui s'est tenue à Rio de Janeiro, en 1992: il s'agissait pour l'ISO de traduire ses engagements en actes pour servir l'objectif de développement durable débattu lors du premier Sommet de la Terre.

#### **I. Un outil normalisé au niveau international (ISO) :**

En substance, la série de normes ISO 14000 fournit un cadre aux organismes de toutes tailles, publics ou privés, dans les secteurs de la fabrication et des services, dans les économies industrialisées, en développement ou en transition, pour:

Réduire au minimum les effets dommageables de leurs activités sur l'environnement

Se conformer à la réglementation en matière d'environnement

Améliorer en permanence leur performance environnementale

Améliorer leur mode de fonctionnement en optimisant l'utilisation des ressources.

À la fin de l'année 2009, soit 13 ans après la publication de la première édition d'ISO 14001, qui expose les exigences relatives aux systèmes de management environnemental, la norme était mise en œuvre dans 159 pays et économies. Ses utilisateurs sont des organismes de toutes tailles, publics comme privés, dans les secteurs de la fabrication et des services, dans les économies industrialisées, en développement ou en transition.

En plus d'ISO 14001, la série ISO 14000 compte 22 autres normes, qui traitent de questions spécifiques, notamment l'analyse du cycle de vie, l'étiquetage environnemental et les gaz à effet de serre (GES).

Les normes ISO 14064:2006 et ISO 14065:2007 donnent un cadre approuvé sur le plan international pour mesurer les émissions de GES et vérifier les déclarations d'émissions de manière à ce qu'«une tonne de carbone soit toujours une tonne de carbone». Elles appuient des programmes de réduction des émissions de GES et d'échanges de droits d'émission. Accueillies favorablement par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, ces normes sont à présent mises en œuvre au quotidien par des utilisateurs aussi

variés que peuvent l'être un imprimeur de Nouvelle-Zélande, une entreprise de transport maritime norvégienne, une entreprise de construction indienne et un organisme espagnol qui n'est autre que le leader mondial de l'infrastructure de transport (voir les articles en ligne).

La famille ISO 14000 est la partie la plus visible des travaux de l'ISO pour l'environnement. L'ISO offre un vaste ensemble de méthodes normalisées d'échantillonnage, d'essai et d'analyse pour relever les défis spécifiques liés à l'environnement. Elle a élaboré plus de 650 Normes internationales pour la surveillance d'aspects comme la qualité de l'air, de l'eau et du sol, et les rayonnements nucléaires.

Ces normes représentent un moyen de donner aux entreprises et aux gouvernements des données scientifiquement valides permettant de mesurer les effets de l'activité économique sur l'environnement. Elles peuvent aussi être utilisées comme base technique pour les règlements relatifs à l'environnement. Parmi les travaux menés par l'ISO en lien avec les questions environnementales, figurent des normes relatives à la conception ou à la réhabilitation des bâtiments dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique.

## II. Les Substances

Les différentes substances ont des durées de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmement variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. Voici l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants :

Les **polluants primaires** sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission.

Substance	Polluants
CH <sub>4</sub>	année
CO	mois
SO <sub>2</sub>	jours à mois
Ozone	qq jours
COVNM	heures à jours
Aérosols 1-10 $\mu\text{m}$	minutes à jours
Aérosols $\leq 1\mu\text{m}$	jours à semaines

TAB 1 – Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère

Par exemple, le CO est un polluant primaire.

Les **polluants secondaires** sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV.

Il est possible de réaliser un inventaire d'émission pour les polluants primaires, mais pas pour les polluants secondaires.

Le choix de la substance dépend généralement des objectifs de l'inventaire d'émission et/ou des impacts que l'on souhaite étudier. L'inventaire peut être fait en masse de substance, ou en indicateurs. Dans ce dernier cas, la masse de substance a été convertie en fonction de son potentiel d'effet. Par exemple, une quantité de CH<sub>4</sub> peut être ramené à une quantité

d'équivalent CO<sub>2</sub>, moyennant un facteur de conversion exprimant la nuisance relative d'un kg de CH<sub>4</sub> par rapport à celle d'un kg de CO<sub>2</sub>. La notion d'indicateur permet ainsi d'additionner des substances diverses pour en étudier plus facilement l'impact. Les substances faisant l'objet de surveillance, notamment via la réalisation régulière d'inventaires d'émission sont très nombreuses. Une liste des substances les plus couramment évoquées dans les problèmes de pollution atmosphérique est proposée dans ce qui suit. Cette liste n'est pas exhaustive et évolue régulièrement en fonction des connaissances scientifiques liées à la pollution atmosphérique et à ses effets. La liste des polluants est donnée par famille : la notion de famille recouvre soit des caractéristiques physico-chimiques précises (COV, PM..), soit elle correspond à une réglementation particulière, ou encore elles sont parfois regroupées en fonction de leur effet.

## II. Les différents types de polluants

### 2.1 Les polluants réglementés

7 polluants sont actuellement réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air.

- le dioxyde de soufre : SO<sub>2</sub>
- le monoxyde de carbone : CO
- le dioxyde d'azote : NO<sub>2</sub>
- l'ozone : O<sub>3</sub>
- les particules (PM<sub>10</sub>)
- le benzène : C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>
- le plomb : Pb

Prochainement, d'autres substances vont s'ajouter à la liste :

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques : 6 (HAP)
- le cadmium : Cd
- l'arsenic : As
- le nickel : Ni
- le mercure : Hg

### 2.2 Les composés organiques

#### Les composés organiques volatiles – COV

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence.

Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH<sub>4</sub>) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques).

#### Les grandes familles de composés organiques volatiles

Parmi les composés organiques volatiles, on peut distinguer différentes familles de COV :

- les **alcane**s (saturés, abondants, par exemple propane)

- les **alcènes** (liaison doubles, très réactifs)
  - les **diènes** et les **terpènes** (multiples doubles liaisons)
  - les **aromatiques mono ou polycycliques** (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...)
  - les **composés oxygénés** (aldéhydes, cétones, esters, alcool ...).
- les **aromatiques mono ou polycycliques** (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...). Parmi les aromatiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques **HAP** constituent un groupe particulier en raison de leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques (cancérogènes) et ils font l'objet d'une surveillance particulière du fait de leur dangerosité : ces composés sont très nombreux et les plus courants sont : fluoranthène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(a)- pyrène, benzo(ghi)perylène, indeno (1,2,3- cd) pyrène (liste des 6 HAP prioritaires définie par l'U.E. et l'O.M.S.). On considère également souvent : naphthalène, acenaphtylène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo- (a)anthracène, chrysène, dibenzo(ah) anthracène (ajouté aux 6 prioritaires), ils forment la liste des 16 HAP formée par l'EPA. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été déclarés des substances toxiques car ils répondent aux critères de persistance, de bioaccumulation et de toxicité définis par divers organismes internationaux. Les HAP proviennent de sources naturelles et anthropiques. Il s'agit d'un groupe de 100 substances chimiques différentes qui sont produites pendant la combustion incomplète de charbon, de pétrole et de gaz, de bois, de déchets et d'autres substances organiques. On les trouve généralement sous forme de nombreux composés mélangés, dans des matériaux comme la suie. Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie. Dans l'air ambiant, 25 % des HAP adhèrent à des particules et 75% se présentent sous forme gazeuse, à l'exception des substances provenant des alumineries où le ratio est de 50-50. Les HAP sont aussi généralement concentrés près de sources ponctuelles spécifiques et leurs concentrations semblent diminuer rapidement à mesure qu'ils s'éloignent de leur source.

### Les sources de COV (composés organiques volatiles) :

Les sources de COV sont très nombreuses, les émissions sont dues à certains procédés industriels impliquant la mise en œuvre de solvants (chimie de base et chimie fine, parachimie, dégraissage des métaux, application de peinture, imprimerie, colles et adhésifs, caoutchouc, etc...), ou n'impliquant pas de solvants (raffinage du pétrole, utilisation de CFC, production de boissons alcoolisées, de pain, etc.). L'utilisation de combustibles dans des foyers contribue un peu aux émissions mais sans aucune comparaison avec les proportions indiquées pour SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>. On retrouve au premier rang des émetteurs les transports (surtout automobiles). On notera également que la biomasse est fortement émettrice (forêts), sans oublier non plus les émissions liées aux produits domestiques (peinture, produits d'entretien, parfums et cosmétiques, journaux, tabac, etc.).

Voici quelques exemples de COV associés à des sources courantes (sources intérieures). Cette liste reflète la diversité des sources et des substances regroupées sous la dénomination COV :

**Benzène** : Carburants, fumée de cigarette, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration.

**Styrène** : Matières plastiques, matériaux isolants, automobile, fumée de cigarette.

**Toluène** : Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé, vapeurs d'essence.

Les sources potentielles de rejets des HAP sont :

- la combustion de déchets de bois et d'écorces par les chaudières industrielles ;
- les chaudières industrielles au gaz, au charbon, au pétrole et aux déchets pétroliers ;
- les centrales électriques, les fours électriques à arc ;
- le reformage catalytique pétrolier ;
- la fabrication de bardeaux d'asphalte, les usines de préparation d'enrobé à chaud ;
- les fonderies de métaux ferreux, les fours à coke, les usines de pâtes et papiers, les alumineries ;
- la production de noir de carbone ;
- la préservation du bois ;
- les incinérateurs.

Les HAP sont naturellement présents dans le pétrole brut et ils le demeurent dans les produits raffinés. Mais ils sont également rejetés par des sources naturelles : les feux de forêt, qui libèrent près de 2 000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle de HAP. Cependant, ces rejets étant généralement très éloignés dans le temps et dans l'espace, ils n'entraînent pas de risque d'exposition continue. Le dépôt atmosphérique provenant de sources à l'extérieur des pays constitue une autre voie d'entrée significative.

### 2.3 Les métaux lourds :

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).

Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

- **Mercure** : le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution transfrontière.
- **Plomb** : Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Depuis l'interdiction du plomb dans les carburants (en 2000, pour la France), les rejets de plomb ont considérablement chuté et les concentrations en plomb sont considérées maintenant comme étant à des niveaux acceptables. L'ingestion de plomb déclenche le saturnisme.
- **Cadmium** : il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux. Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments

pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

## 2.4 Les particules

Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie : Particules en suspension (TSP) : masse totale de particules.

PM10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10  $\mu\text{m}$ .

PM2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5  $\mu\text{m}$ .

PM1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1  $\mu\text{m}$ .

Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1  $\mu\text{m}$ .

Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03  $\mu\text{m}$ .

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques.

## 2.5 Les Chlorofluorocarbones

Les chlorofluorocarbones ou les CFC (également connus sous le nom de Fréons) sont non toxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les 5 CFC principaux incluent le CFC-11 (trichlorofluorométhane - CFC13), CFC-12 (dichlorodifluorométhane - CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), CFC-113 (trichlorotrifluoroéthane - C<sub>2</sub>F<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>), CFC-114 (dichlorotétrafluoroéthane - C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>), et CFC-115 (chloropentafluoroéthane - C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>Cl).

Les CFC sont largement répandus comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage dans la production de mousse (par exemple extincteurs), et comme propulseurs en aérosols. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années. A l'heure actuelle, les CFC ne constituent plus un problème majeur de la pollution atmosphérique (voir ci-après).

## III Les effets des différentes substances

Les impacts de la pollution conditionnent la plupart du temps le choix des substances retenues dans un inventaire. L'échelle géographique pertinente pour analyser les phénomènes de pollution de l'air va du très local (par exemple odeurs, effets des particules, du benzène, ... sur la santé) à l'échelle mondiale (par exemple effet de serre, couche d'ozone), en passant par des phénomènes régionaux ou continentaux (pluies acides ou pollution photochimique). On classe souvent les effets en fonction de l'échelle qui les concerne.

### 3.1 Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence (+ 33 C environ).

Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de

traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ), du méthane ( $\text{CH}_4$ ) et du protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ). C'est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sont naturellement très faibles que les émissions dues aux activités humaines sont en mesure de les modifier sensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l'effet de serre, et par suite, des modifications possibles du climat.

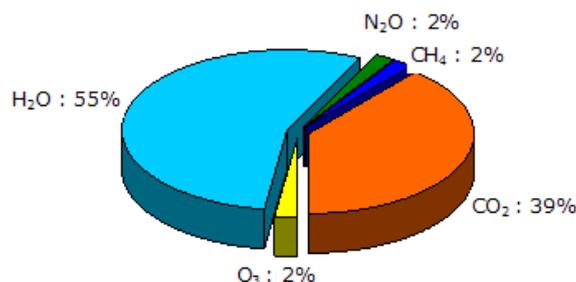
Bien que la vapeur d'eau constitue le plus important gaz à effet de serre, les activités humaines n'influent pas de façon sensible sur sa concentration atmosphérique, qui est naturellement très variable. En revanche, des études ont montré que les concentrations en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , et  $\text{N}_2\text{O}$  ont augmenté fortement par rapport à leurs niveaux de l'ère préindustrielle. L'homme, par ailleurs, a introduit de nouveaux gaz à effet de serre très puissants dans l'atmosphère : les chlorofluorocarbones (CFC) également responsables de la destruction de la couche d'ozone. Enfin, on sait désormais que l'ozone troposphérique, formé à partir des émissions d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et de Composés Organiques Volatils (COV) joue également un rôle important.

Les principales substances émises considérées pour leur impact sur l'effet de serre sont donc :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFC (dont spéciation selon 8 composés), PFC (dont spéciation selon 5 composés),  $\text{SF}_6$ .

Pour permettre de comparer entre eux les effets des différents gaz, les experts utilisent le "Potentiel de Réchauffement Global" (PRG) qui est le rapport du forçage radiatif d'un gaz à celui du  $\text{CO}_2$ . Par construction, le PRG du  $\text{CO}_2$  est donc 1. Le PRG du  $\text{CH}_4$  est évalué à 21, celui du  $\text{N}_2\text{O}$  à 320, ceux de certains gaz du groupe des CFC dépassent 5 000... Bien que le  $\text{CO}_2$  soit le moins puissant des gaz à effet de serre, sa contribution se révèle toutefois la plus forte, du fait de l'ampleur des émissions. En effectuant la somme des émissions de gaz à effet de serre, pondérée par leur PRG, on obtient une évaluation de l'impact global des activités humaines sur l'effet de serre, exprimé en unité  $\text{CO}_2$ -eq. Le forçage radiatif est l'unité permettant d'estimer l'ampleur du mécanisme susceptible de conduire à un changement climatique. Il représente la perturbation du bilan énergétique du système sol-atmosphère.

La pondération par le PRG permet de prendre en compte le temps de résidence dans l'atmosphère ainsi que la capacité d'absorption des différents gaz. Les coefficients de conversion dépendent du temps d'intégration pris en compte pour évaluer le changement climatique. En général, on évalue le calcul se fait à 100 ans. Les PRG (Tonnes équivalents  $\text{CO}_2$ ) de ces différents gaz tels que définis par le GIEC sont ceux de 1995 selon les décisions prises à ce jour par la Conférence des Parties :

Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère



### Les changements climatiques :

Le réchauffement est dû aux émissions de gaz à effet de serre dans la basse atmosphère (jusqu'à 12 km d'altitude) d'une façon directe ( $CO_2$ , vapeur d'eau) ou indirecte à cause de l'ozone ( $O_3$ ) troposphérique formée à partir du  $NO_x$  et des COV émis en altitude. Les gaz à effet de serre, rejetés par l'homme, et localisés dans les hautes couches de la troposphère, font que la terre garde une grande partie du rayonnement solaire, d'où une participation au réchauffement de la planète.

### 3.2 Destruction de la couche d'ozone : échelle mondiale

La Couche d'ozone localisée dans la stratosphère filtre à l'extérieur les rayonnements dans la partie ultra-violette (UV) du spectre qui est préjudiciable aux cellules. Sans ozone, la vie sur Terre ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui. La découverte d'un trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique et son association avec les CFC synthétiques a amené le monde à agir pour protéger la couche d'ozone (protocole de Montréal en 1979). La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFC sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement. Les émissions de CFC représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique. Les autres substances responsables de la réduction de la couche d'ozone sont le tétrachlorure de carbone, le méthyle chloroforme, les halons (produits extincteurs), le bromure de méthyle, les HCFC (potentiels d'amoinissement de la couche très inférieur aux CFC). C'est seulement à partir de la période 2000-2005 (protocole de Montréal respecté) que l'on voit dans la stratosphère une diminution des produits responsables de la destruction de l'ozone. La diminution de la couche d'ozone devrait donc se poursuivre encore quelques années : d'après les modèles, le déficit d'ozone sous nos latitudes serait alors de 10 % environ et ne pourrait pas être comblé avant une cinquantaine d'années. Cette restauration de la couche d'ozone pourrait être retardée ou menacée si quelques pays, notamment les grands pays en développement (Chine, Inde, Brésil...), ne respectaient pas totalement les accords internationaux de limitation des produits chimiques incriminés. Néanmoins, la destruction de la couche d'ozone, compte tenu de la réduction des émissions de CFC, n'apparaît plus comme un problème environnemental prioritaire à l'heure actuelle

### 3.3 Acidification, eutrophisation et photochimie : échelle régionale/continentale

#### 3.4 L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un apport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradables. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau.

#### 3.5 Les pluies acides

"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (qui fait que le pH "naturel" d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6).

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles. Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides (pas d'effet tampon). Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrant des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres.

Au cours des années 1970-1980 de nombreux massifs forestiers ont été touchés par des troubles et des dépérissements anormaux en Europe. En France, jusqu'à 25% des arbres pouvaient être considérés comme endommagés à des degrés divers dans certaines régions, notamment dans les Vosges. Il est admis que les retombées acides ont contribué à ces dommages, souvent en combinaison avec des facteurs de stress naturels (sécheresses, insectes pathogènes,...), et parfois de manière prédominante dans les régions d'Europe centrale particulièrement polluées en dioxyde de soufre. Les pluies acides ont perdu de l'importance, du moins dans nos régions, en raison des fortes réductions des rejets de SO<sub>2</sub> mises en œuvre à partir des années 1980. Certains bassins versants en Europe présentent toutefois une sensibilité élevée aux dépôts acides (cas en France des Ardennes, des Landes, du Massif Central,...). Ceci incite à la vigilance sur l'évolution future des rejets liés aux combustibles fossiles ou à l'intensification de certaines pratiques agricoles (émissions d'ammoniac).

### 3.6 Les pics d'ozone

Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) réagissent dans la troposphère, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former des polluants photochimiques. Le principal polluant photochimique est l'ozone. Sa présence s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes telles que des aldéhydes, des composés organiques nitrés, de l'acide nitrique, de l'eau oxygénée. Cette pollution s'observe surtout en été dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations, et concourt à l'accroissement de la pollution de fond par l'ozone (en hausse d'environ 1% par an sur l'ensemble de l'hémisphère nord).

L'ozone et les polluants photochimiques sont également des espèces phyto-toxiques. L'ozone peut perturber la photosynthèse, altérer la résistance des végétaux, diminuer leur productivité, provoquer des lésions visibles (le tabac Bel W3 est parfois utilisé comme bio-indicateur d'ozone).

L'ozone contribue également avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols, etc...) aux troubles forestiers observés en Europe et en Amérique du Nord. La pollution par l'ozone demeure préoccupante et chaque année, en période estivale, diverses régions subissent des situations de pointes de pollution photochimique au cours desquels des seuils jugés nocifs peuvent être atteints, voire dépassés,

tant vis à vis de la santé de l'homme que des végétaux. De telles situations peuvent s'observer de 1 à 2 jours par semaine en été, notamment dans les régions très ensoleillées. La pollution à l'ozone (pics d'ozone) est liée à un excès d'ozone dans les couches basses de l'atmosphère. Cet excès est nuisible pour la santé des organismes vivants. Ce problème est à distinguer du trou dans la couche d'ozone qui correspond à un manque d'ozone dans les couches stratosphériques pour faire barrière aux rayonnements solaires.

Les principales substances mises en relation avec les problèmes d'acidification, eutrophisation et photochimie sont : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, COVNM (dont spéciation plus de 200 composés), CO. Les substances chimiques sont parfois converties en unités telles que indicateurs acide équivalent (Aeq) ou le potentiel de création d'ozone photochimique (PCOP)

### 3.7 Effets sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO<sub>2</sub>) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments.

### 3.8 Effets sur les écosystèmes : forêt, réserve d'eau douce

Les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Le dépérissement soudain constaté surtout depuis 1980 semble relever de causes tout à fait inhabituelles. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. Des recherches en laboratoires ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes : sols de mauvaise qualité, sécheresses anormales, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. Mais à proximité de certains sites générateurs de pollution (site industriel, grosses infrastructures routières), on observe également des baisses de rendements des terres agricoles. En outre, on peut parfois observer localement une contamination des sols où s'accumulent des métaux, comme le plomb en bordure de route.

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. Outre le problème d'eutrophisation, la baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium, toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants.

Les métaux lourds contaminent également à la fois les sols et les réserves d'eau douces. Leur accumulation dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination de la chaîne alimentaire. Ce type de pollution s'observe au niveau local (proximité de certains sites), mais aussi à l'échelle régionale et continentale, notamment pour certains métaux comme le mercure.

### 3.9 Effets sur la santé

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO<sub>2</sub>, Poussières, NO<sub>2</sub>, Pb, O<sub>3</sub>) imposées par des directives européennes tiennent compte des effets sur la santé de certaines substances. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants. Certains effets sont associés à des **seuils**, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la

substance n'est pas dangereuse. Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non dénué de conséquences). Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les **effets à court terme** liés à des concentrations élevées. Des études sont également menées pour évaluer les conséquences à long terme d'une exposition à un niveau de pollution plus faible. Pour déterminer les seuils (Information, alerte, protection de la santé...), on se base sur des études toxicologiques et épidémiologiques. La **toxicologie** vise à étudier par une analyse phréologique ce qui fait qu'une substance est bien tolérée et l'autre non, à découvrir à partir de quelle dose une molécule deviendra dangereuse. L'**épidémiologie** consiste à analyser statiquement les relations entre une exposition et des effets.

Ci-dessous, les effets des polluants les plus courants sont présentés :

- **Particules** : plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important. Elles ont une double action liée aux particules proprement dites et aux polluants qu'elles transportent (métaux, hydrocarbures, dioxyde de soufre, etc.). Elles irritent le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës.
- **SO<sub>2</sub>** : le SO<sub>2</sub> entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.
- **NO-NO<sub>2</sub>** : NO<sub>2</sub> est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO) NO<sub>2</sub> pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.
- **COV** : certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent des irritations des yeux. Les aldéhydes sont de puissants irritants des muqueuses. Certains COV tels que le benzène, sont cancérigènes.
- **CO** : CO se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe-eau.
- **Ozone** : L'ozone est un oxydant puissant. C'est un irritant des yeux, de la gorge et des bronches. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.

#### IV. Les différents types d'émetteurs

Les inventaires d'émissions posent le problème de l'exhaustivité. L'exhaustivité du recensement des émetteurs de polluants en est un aspect. Bien souvent, les inventaires recensent les émetteurs qui contribuent le plus significativement aux émissions d'une substance donnée. L'importance des contributions est bien souvent jugée a priori, sur la base de connaissances scientifiques parfois parcellaires. En fonction des besoins, des moyens sont investis pour combler les lacunes de cette connaissance. Identifier correctement les émetteurs est une étape importante de l'élaboration de l'inventaire. Mais l'identification des émetteurs correspond également à d'autres préoccupations plus politiques : connaître la contribution des différents secteurs permet de mettre en place des politiques de réductions des émissions plus efficaces car mieux ciblées. Cette connaissance est également la base des taxations en cas de dépassement de plafonds réglementaire (par exemple, permis d'émettre du CO<sub>2</sub>).

## 4.1 Les types d'émetteurs

Parmi tous les émetteurs potentiels de polluants, on a tendance à distinguer différentes catégories d'émetteurs :

### 4.1.1 Les sources non-anthropiques ou naturelles

Il s'agit des sources induisant des rejets de substances polluantes mais qui ne sont pas liées à l'activité humaine. Parmi ces sources, on peut également distinguer les sources biogéniques (liées à la présence d'organismes vivants) des autres sources.

L'éruption volcanique (dégagement très important de produits souffrés) est un exemple de source naturelle, de même que la production d'embruns marins (particules). Pour les sources biogéniques, il n'est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l'élevage d'animaux).

### 4.1.2 Les sources anthropiques

Ces sources sont le fait de l'activité humaine. Cependant, la frontière entre les sources anthropiques et naturelles n'est pas toujours bien délimitée. Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les **sources fixes**, émises par des installations ne se déplaçant pas, des **sources mobiles** liées aux transports.

Une autre notion est également importante pour la caractérisation des sources et de leur distribution géographique : c'est la notion de **source ponctuelle**, qui caractérise plutôt les grands sites industriels (points sources) : elles sont étudiées en conjonction avec des données concernant leur localisation, leur capacité, leur activité... Les sources ponctuelles définies par Corinair (voir ci-dessous) sont : les usines de production ayant une capacité thermique supérieure à 300 MW, les raffineries, les fabriques d'acide sulfurique, d'acide nitrique, les unités de production de fer ou d'acier supérieures à 3 Mt/an, les usines de pâtes à papier de capacité supérieure à 1000 kt/an, les usines de peinture de voitures ayant une production supérieure à 100000 veh/an, les aéroports de plus de 100000 LTO<sub>1</sub>anding Take Off : cycle normalisé de tests des moteurs d'avions cycles /an, toutes les usines émettant plus de 1000 t/an de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou COV et celles émettant au moins 300000 t/an de CO<sub>2</sub>. Elles peuvent être opposées aux *sources diffuses*, qui correspondent à de petits émetteurs très distribués dans l'espace (*area sources*). Ces sources ne peuvent être décrites que sur la base de surfaces importantes et sont très difficiles à caractériser à un niveau local. Enfin, on parle parfois de **sources linéiques** (*lines sources*) : ces sources concernent essentiellement le transport (routier, fluvial...). Là, les émissions sont déterminées le long d'un axe. Par exemple, une grande installation de chauffage urbain desservant un petit quartier sera plutôt répertorié en tant que source ponctuelle, alors que l'ensemble des chaudières individuelles servant au chauffage des logements constitue plutôt un exemple de source diffuse.

## 4.2 La nomenclature CORINAIR :

La nomenclature Corinair permet de classer les émetteurs en fonction de 11 catégories. Cette nomenclature a été baptisée SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution). Elle contient près de 400 items mais les 11 catégories principales sont les suivantes :

### 1. Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie :

production d'électricité, chauffage urbain, raffinage du pétrole, transformation de combustibles minéraux solides, mines de charbon, extraction de gaz/pétrole, stations de compression.

**2. Combustion hors industrie** : commerce et institutionnel, résidentiel, agriculture, sylviculture

et aquaculture 3. Combustion dans l'industrie manufacturière : chaudières, turbine, moteurs fixes, fours, procédés énergétiques

**4. Procédés de production** : procédés de l'industrie pétrolière, de la sidérurgie, des houillères, de l'industrie des métaux non ferreux, de l'industrie de chimie organique, inorganique, de l'industrie du bois, de l'alimentation, du papier, de la boisson..

**5. Extraction et distribution de combustibles fossiles/ énergie géothermique** : mines, stockage de carburant, extraction, déchargement, distribution de combustibles...

**6. Utilisation de solvants et autres produits** : application de peinture, dégraissage et nettoyage à sec, fabrication de produits chimiques, anesthésie et produits de nettoyage.

**7. Transports routiers** : voitures, véhicules utilitaires légers, poids-lourds, motocycles et motocyclettes, évaporation d'essence, pneus, freins...

**8. Autres sources mobiles et machines** : activités militaires, ferroviaires, navigation fluviale, trafic aérien, engins spéciaux pour l'agriculture, la sylviculture, l'industrie, les loisirs ...

**9. Traitements et élimination des déchets** : incinération, décharges, crémation, traitements des eaux usées, épandages ...

**10. Agriculture et sylviculture** : culture avec engrais, sans engrais, écobuage, fermentation entérique, déjections animales, utilisation de pesticides ...

**11. Autres sources et puits** : forêts naturelles de feuillus, de conifères, feux de forêts, prairies, zones humides, eaux, animaux, volcans, foudres, forêts exploitées...