

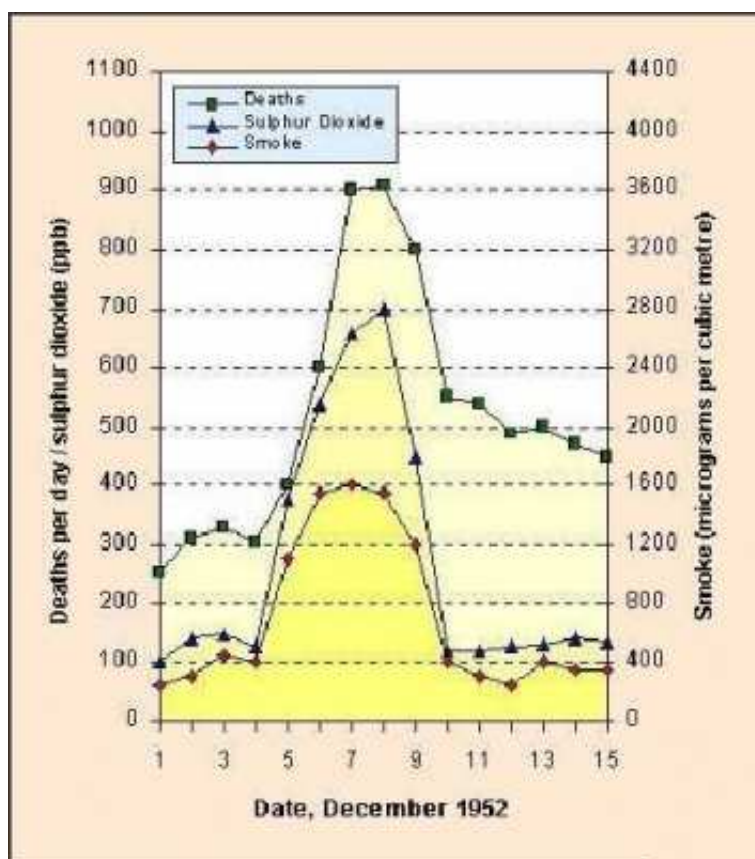
La pollution atmosphérique

Nos domaines d'activités en rapport avec la documentation

La dispersion des espèces est utilisée dans notre thématique d'impact environnemental.

Un peu d'histoire

Les prémisses de la surveillance de qualité de l'air font suite à un épisode de pollution qui a marqué ce siècle. En 1952, trois jours de pollution intense (le smog : un mélange de fumée et de brouillard) à Londres, ont provoqué des troubles respiratoires graves chez les personnes fragilisées, pouvant aller jusqu'à donner la mort à ces dernières (4000 morts, cf. figure 1). Plus récemment et d'une ampleur plus globale, la découverte du trou dans la couche d'ozone et des pluies acides, mais aussi la catastrophe de Tchernobyl ont montré l'importance de la qualité de l'air, des mesures anti-pollution et des études de dispersion des polluants dans l'atmosphère.



De nos jours, 40 associations de surveillance de l'air, missionnées par l'Etat, les collectivités locales, les industriels et les associations de protection de l'environnement, informent en permanence le public des concentrations de polluants mesurées, notamment via leurs sites Internet. Plus de 300 capteurs sont aujourd'hui présents sur le territoire national.

Bien que la pollution atmosphérique ne soit pas un phénomène nouveau, la surveillance et les mesures anti-pollution sont relativement récentes. En effet, les premières mesures de pollution de l'air sont apparues vers le milieu du siècle dernier. Pour Paris, par exemple, le premier réseau fut installé en 1956. Mais les mesures par secteurs d'activité (routes, usines, ...) n'apparaissent qu'à partir de 1972, et l'information au public que bien plus tard (en 1994). Quelques dates, rappelées ci-dessous, montre l'évolution du développement de l'étude de la qualité de l'air.

1956	:	installation du premier réseau de surveillance de la pollution urbaine par le Laboratoire d'Hygiène de la ville de Paris.
1972	:	mise en place du réseau de surveillance de la pollution automobile par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police.
1973	:	mise en service par EDF du premier réseau de surveillance automatisé permettant le contrôle de l'impact des centrales électriques d'Ile-de-France (25 stations).
1979	:	mise en place du réseau AIRPARIF intégrant en partie les réseaux existants et les complétant par de nouvelles stations multipolluants (75 stations).
1992-1995	:	naissance de l'indice de qualité de l'air qui deviendra par la suite l'indice " ATMO ".
1994	:	mise en place de l'ancienne procédure d'information et d'alerte du public.

Définition

Qu'est-ce que la pollution

La pollution recouvre une multitude de mécanismes et d'actions dont les conséquences sont une dégradation de notre environnement. Il n'est, du fait, pas aisé de la définir. Selon une vieille définition de la Maison Blanche (datant de 1965) : " la pollution est une modification défavorable du milieu naturel, qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine ... ". Cette définition ne prend en compte que les émissions dues à l'action humaine et désigne la pollution comme l'effet des diverses substances déversées par l'homme et ses activités dans la biosphère. De nos jours, une définition prendrait en compte également les sources biogéniques (sources naturelles : comme les volcans, les incendies, les mers ... également sources d'émissions polluantes -bien que non contrôlables-). De plus, certaines substances émises sont inoffensives, c'est leur concentration importante, leur accumulation, ou les réactions chimiques qu'elles occasionnent avec d'autres espèces présentes dans l'atmosphère, qui les rendent polluantes. Les substances susceptibles d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et / ou l'environnement dans son ensemble, introduites directement ou indirectement dans l'air ambiant, sont donc qualifiées de polluants. L'ozone est l'un des polluants les plus connus, pourtant il n'est pas émis par l'homme. En effet, l'ozone fait partie des polluants secondaires, c'est à dire qu'il est créé par réactions chimiques entre d'autres espèces. Il existe des espèces polluantes émises directement (polluants primaires), comme les oxydes d'azote, ou les composées organiques volatils, le monoxyde de carbone ou encore le dioxyde de soufre, provenant principalement de rejets industriels telle que les transports et les usines (sources anthropiques en opposition aux sources biogéniques évoquées précédemment).

Il convient donc de se demander quelle est la composition normale de l'atmosphère. L'air ordinaire est un mélange de plusieurs gaz, dont les deux principaux sont l'oxygène (21 %) et l'azote (78 %). La quantité restante est constituée de gaz sous forme de trace (argon, néon, krypton, xénon, hélium, vapeur d'eau, gaz carbonique, ozone..). L'air ambiant tient également en suspension une multitude de poussières d'origines minérales et organiques. Les constituants de l'air atmosphérique peuvent se ranger en deux catégories :

- ceux qui ont un caractère permanent, soit par l'immuabilité de leur état physique (le néon), par la constance de leur concentration, tout au moins dans les basses couches (l'azote),
- et ceux qui n'apparaissent dans l'atmosphère qu'au cours d'un cycle durant lequel se modifie soit leur phase (la vapeur d'eau), soit leur nature chimique (l'ozone par action photochimique du rayonnement solaire sur l'oxygène).

On remarque que les polluants font donc partie d'un très petit pourcentage de l'atmosphère, mais ils peuvent avoir de grosses conséquences sur la santé ou les récoltes si leurs concentrations sont trop fortes.

La pollution au sein de l'atmosphère

Les substances présentes dans l'atmosphère sont multiples et de différentes natures. Il existe donc une multitude d'espèces chimiques polluantes, la plus connue et la plus étudiée est l'ozone. Il est à noter, tout de même, que si l'ozone est néfaste à basse altitude, l'ozone stratosphérique, située à 25 km d'altitude environ, exerce un effet bénéfique en tant que filtre des rayonnements solaires.

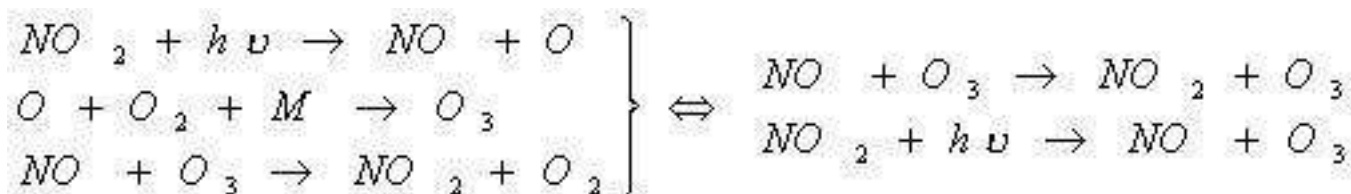
Comme nous l'avons évoqué, l'existence d'une espèce chimique n'est pas néfaste en soit, c'est son taux de concentration qui détermine son caractère polluant. Cependant, il n'y a pas que la chimie qui joue un rôle prépondérant. En effet, les données relatives à la source d'émission (température, hauteur, diamètre, débit ...), les critères météorologiques (pression, humidité, vitesse de vent ...), la topographie du domaine, l'absorption par les plantes interviennent sur les concentrations des polluants. Les concentrations des polluants primaires sont maximales à proximité des sources d'émission, puis tendent à diminuer au fur et à mesure que l'on s'éloigne de celles-ci, du fait de leur dilution dans l'air. Certains paramètres peuvent à la fois aider à disperser les polluants et dans des conditions particulières peuvent être la cause de leur stagnation. Par exemple, les polluants se dispersent d'autant plus qu'ils sont rejetés verticalement et en hauteur (le vent étant généralement plus fort en altitude). Cependant, le vent peut aussi être à l'origine d'un phénomène appelé la retombée de panache qui se produit par vent établi, modéré ou fort en toutes saisons : les polluants sont alors rabattus vers le sol.

Scenarii propices aux épisodes de pollution

La pollution photochimique

La pollution photochimique correspond aux polluants formés par le biais du rayonnement solaire à partir des espèces chimiques présentes dans l'atmosphère. Comme les paramètres météorologiques varient en fonction des saisons, les phénomènes de photochimie sont plus spécifiques à une période de

l'année. On rencontre d'avantage ce type de pollution en été et tout particulièrement les jours chauds et ensoleillés, avec un vent faible. L'ozone est l'un de ces polluants. Il met en jeu les oxydes d'azotes grâce au cycle de Chapman :



Mais l'ozone est aussi produit grâce à d'autres réactions chimiques faisant intervenir les Composés Organiques Volatils (COV), qui jouent le rôle de précurseurs. De plus, si le vent est faible, l'ozone créé stagne au-dessus des sources d'émission, ce qui conduit à un pic de pollution. On remarque sur le graphique du cycle de formation de l'ozone (cf. Figure 1) que le maximum est atteint en fin d'après-midi. L'évolution des concentrations d'ozone se déroule essentiellement en deux phases qui dépendent de l'éclairement solaire. Durant la première phase de 6h à 16h environ, le soleil réchauffe progressivement le sol créant des structures turbulentes qui dispersent les oxydes d'azote. De plus, la dégradation des COV engendre des radicaux tel que HO2 qui favorisent par la suite le cycle de formation $\text{NO} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{OH}$, ainsi la destruction de l'ozone par $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ est moins sollicitée. Ce phénomène crée donc une hausse de l'ozone durant cette période. Ensuite, pendant la baisse de l'éclairement solaire et la nuit, l'ozone se retrouve consommé par les radicaux et n'est plus produit.

A l'inverse, les concentrations de NO et NO2 sont fortes aux environs de 6H, diminuent dans l'après midi puis augmentent pendant la nuit. La stabilité thermique matinale bloquant les espèces en basse atmosphère, crée de fortes concentrations de polluants dans la matinée. Puis le réchauffement du sol engendre de la turbulence permettant de disperser les polluants, ce qui fait baisser les concentrations. Ces dernières remontent ensuite en soirée pour les mêmes raisons : les structures convectives disparaissent, la couche limite atmosphérique diminue et bloque à nouveau les espèces. (cf. Figure 1)

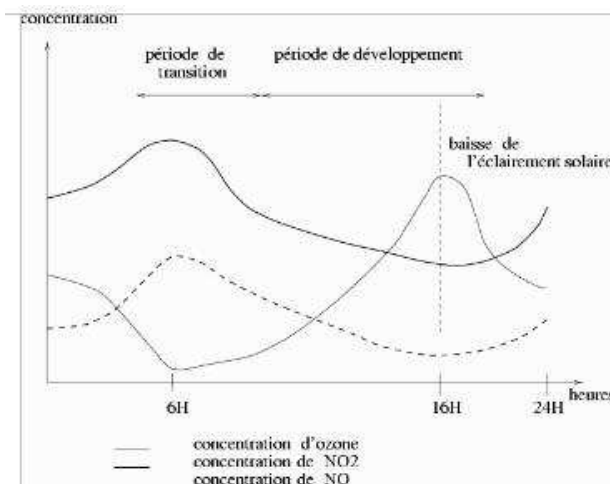


Figure 1: Evolution des concentrations au sein de la journée

Le fait que l'ozone soit consommé par le monoxyde d'azote (cf. Equation de Chapman) explique sa faible concentration au sein des agglomérations, là où les émissions de NO sont fortes. Par contre, en aval de celle-ci, sous son panache d'émission, le monoxyde d'azote n'est plus émis en grande quantité. L'ozone n'est donc plus consommé par celui-ci, mais il reste créé par les autres espèces. Il en résulte une forte concentration d'ozone (donc une pollution photochimique) dans ces zones (cf. Figure 2).

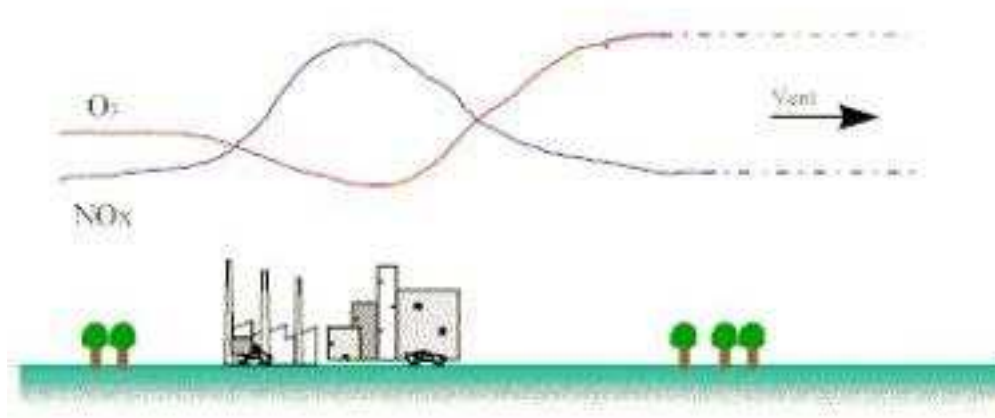


Figure 2: Evolution de la concentration d'ozone et des oxydes d'azote sous l'influence des villes

Le phénomène d'inversion de température

Habituellement, la température de l'air diminue avec l'altitude. L'air pollué près du sol est plus chaud et moins dense que les couches d'air supérieur. Il remonte alors sous l'action de la poussée d'Archimède. Les polluants se dispersent ainsi verticalement. Cependant, il peut se produire un phénomène appelé inversion de température qui consiste à piéger une masse d'air froid sous une masse d'air plus chaud. Il se crée dans deux situations (Figure 3). Le cas stable, pour lequel il y a une inversion de température (cf. figure 3-a) qui est un phénomène contribuant à une augmentation de la pollution au niveau du sol. Il se produit plutôt l'hiver, par de belles journées peu ventées qui suivent une nuit claire et froide. Le sol s'est refroidi de façon importante pendant la nuit, la masse d'air qui se trouve près du sol (plus froid et plus lourd) ne peut alors s'élever et se disperser dans l'atmosphère. La température, à quelques centaines de mètres d'altitude, est alors supérieure à celle mesurée au niveau du sol, les polluants se trouvent bloqués sous un " couvercle " d'air chaud, appelé couche d'inversion. Le phénomène d'inversion peut durer de quelques heures à plusieurs jours. Pour la deuxième situation appelée cas instable (cf. Figure 3-b), la température de l'air diminue avec l'altitude jusqu'à une certaine hauteur, puis augmente avec l'altitude dans les couches supérieures. Nous rappelons qu'en altitude il existe en permanence une couche d'inversion qui se situe donc au-dessus de la couche instable quand elle existe.

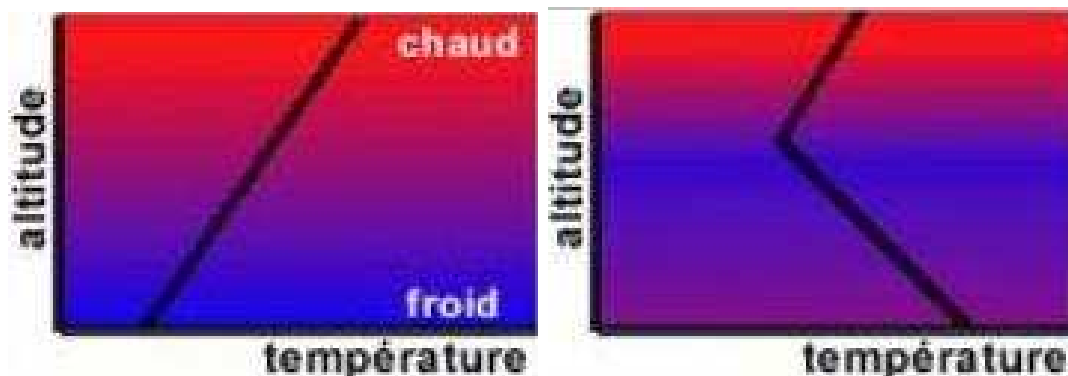


Figure 3: Cas d'inversion de température (a) stable (b) instable

La Figure 4 présente les conséquences sur les panaches de cheminées pour les deux types d'inversion précédents. Dans un cas d'inversion voici ce qui se passe sur les panaches de cheminée. Les polluants sont piégés à basse altitude. Dans le premier cas un couvercle de pollution se forme et bloque les polluants émis à plus basse altitude. Dans le deuxième cas, la cheminée se trouve sous la couche d'inversion de température, alors la fumée qui s'en échappe est freinée par la couche d'air chaud et stable en altitude, et se rabat vers le sol. Dans une telle situation, l'air de la couche inférieure a tôt fait de se charger de polluants.

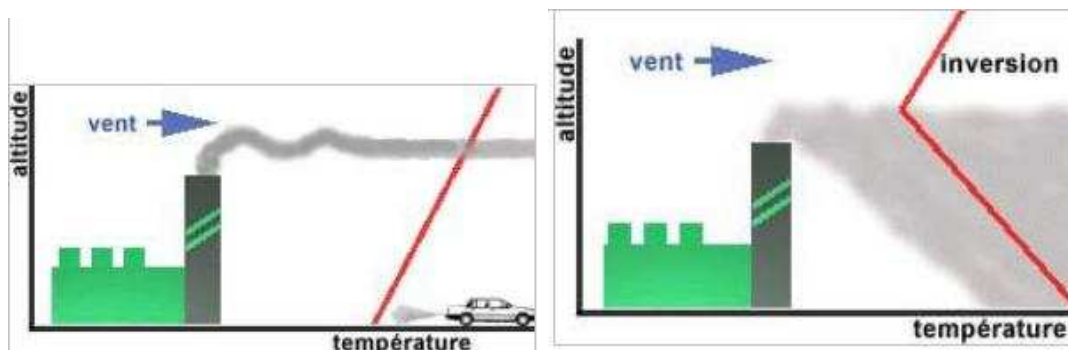
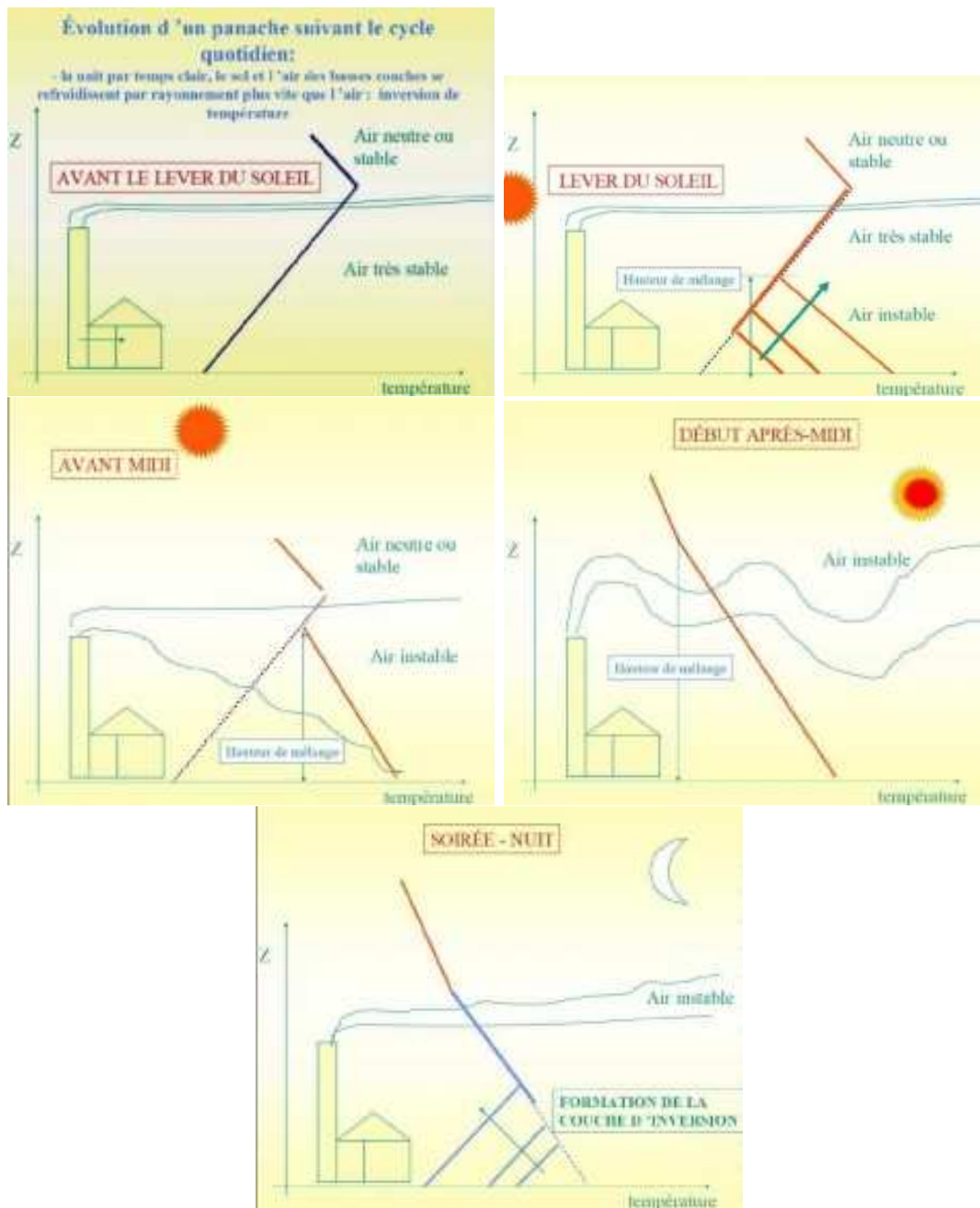


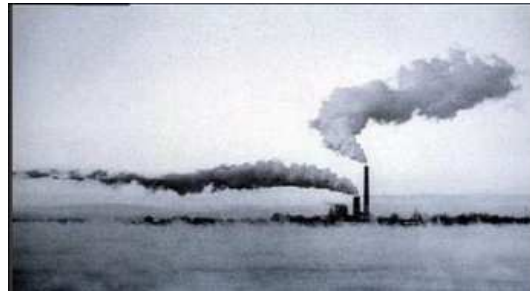
Figure 4: Conséquence d'une inversion de température

L'inversion de température est un phénomène naturel qui habituellement n'engendre pas de conséquences néfastes. Cependant, si une inversion se produit dans une grande ville polluée, elle provoque une augmentation rapide de la concentration des polluants au niveau du sol et occasionne des pointes de pollution sur de larges zones géographiques appelées épisode de pollution généralisée. C'est précisément ce qui s'est passé à Londres en 1952.

Evolution d'un panache de cheminée au cours de la journée



L'évolution de la CLA et de la stabilité montre l'importance de la hauteur de la cheminée, en effet, au même moment de la journée, deux cheminées de hauteur différentes peuvent avoir une dispersion du panache complètement différentes.



Les différentes formes de panaches :

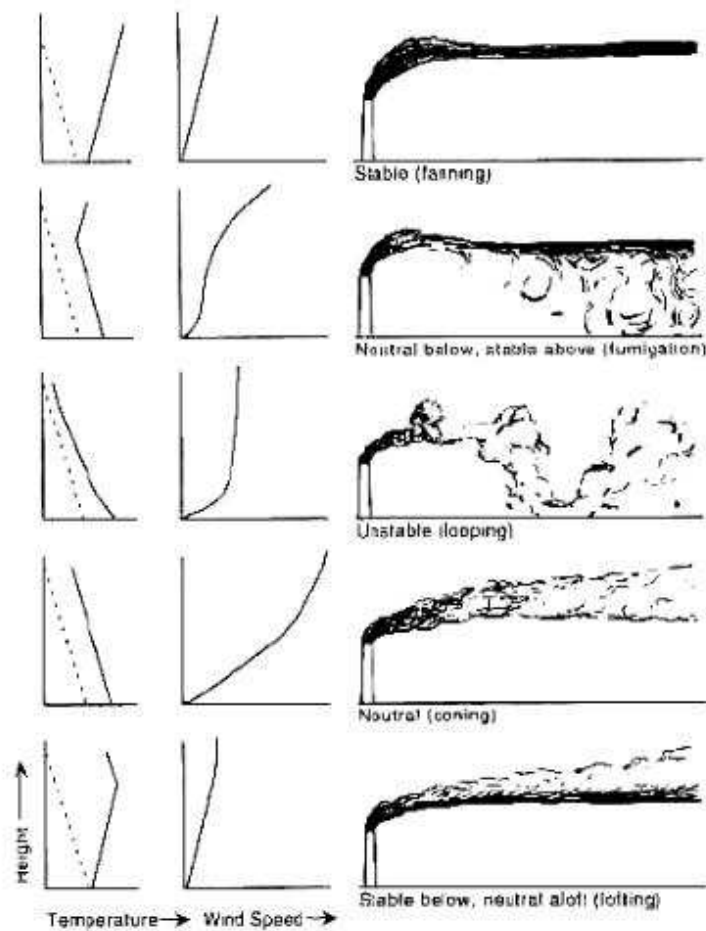


Figure 3.16 Schematic depictions of instantaneous plume patterns in the vertical and the corresponding wind speed and temperature profiles (modified after Slade, 1968).

les différentes échelles

Les échelles de temps et d'espace qui caractérisent le phénomène de dispersion des polluants sont multiples. Le temps de vie d'un polluant dépend essentiellement de la rapidité de la chimie. Or, les vitesses de réaction sont très variables d'une réaction à une autre. Nous consacrons cette partie aux échelles spatiales qui peuvent être regroupées en trois catégories : les échelles locales, régionales ou globales.

La pollution à l'échelle locale : la pollution de proximité

Cette pollution est celle qui existe à proximité des sources (industries, chauffage, trafic). C'est par exemple la pollution urbaine. Elle affecte la santé des populations par son action directe et à court terme, mais exerce également une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies. Outre les problèmes de santé, la pollution de proximité peut procurer une gêne olfactive importante et participer à la dégradation du patrimoine bâti par corrosion et salissure. C'est cette pollution locale qui, la première, a fait l'objet d'un suivi aux abords des grands sites industriels.

La pollution à l'échelle régionale

Elle caractérise des pollutions que l'on observe dans des zones situées à quelques dizaines, voire à plusieurs centaines de kilomètres des sources de pollution. Deux phénomènes sont regroupés sous ce terme, la pollution photochimique (abordée précédemment) et les pluies acides. Les oxydes d'azote et le soufre par combinaison avec la pluie créent des acides nitrique et sulfurique qui attaquent la végétation.

La pollution planétaire

Il s'agit de la diminution de la couche d'ozone stratosphérique (cf . Figure 5) et de l'effet de serre (cf. figure 6).

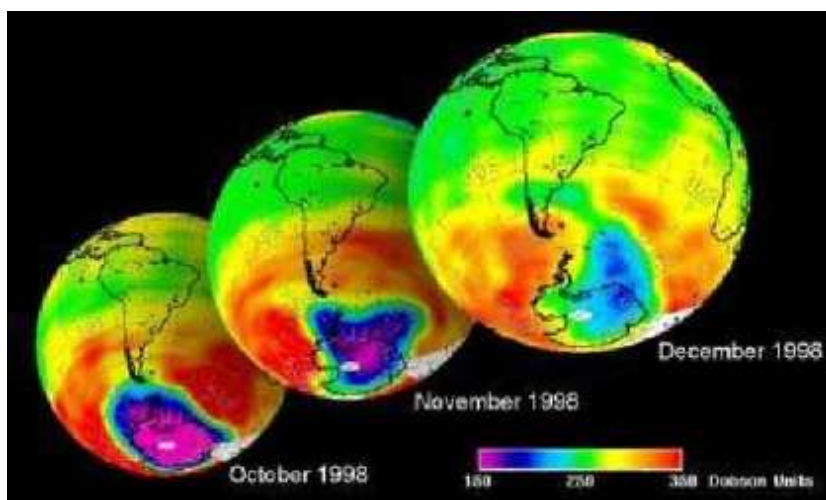


Figure 5: Le trou dans la couche d'ozone

Des mesures par satellites ont montrées que la diminution de la couche d'ozone était plus marquée au dessus des pôles et était fortement accentuée à la sortie de l'hiver. Un trou dans la couche d'ozone apparaît au dessus des pôles.

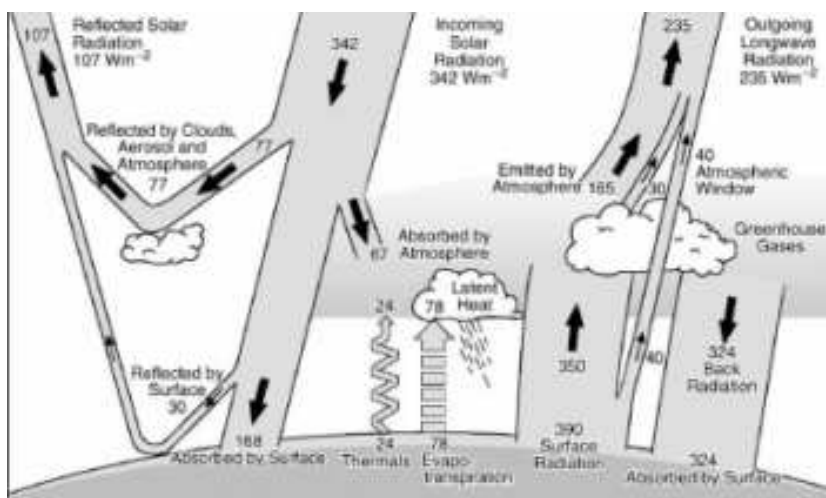


Figure 6: Principe de l'effet de serre (cours IUP de Rouen de M.Cabot)

Les rejets dus aux activités humaines tendent à diminuer l'épaisseur la couche d'ozone stratosphérique, qui est nécessaire, à l'inverse de l'ozone de basse altitude (Figure 7). En effet, la couche d'ozone filtre une grande part du rayonnement solaire ultraviolet, ce dernier peut engendrer une augmentation du risque de développer des pathologies telles que des cancers de la peau.

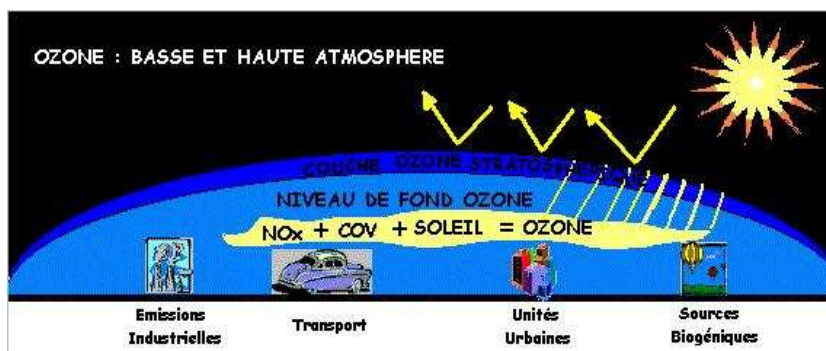


Figure 7: Ozone stratosphérique et l'ozone à basse altitude

Tout comme l'ozone, l'effet de serre est indispensable à l'équilibre biologique terrestre. Il consiste en un réchauffement de l'atmosphère par des molécules qui ont la propriété de piéger les radiations à grande longueur d'onde émises par la surface du globe. Sans ce phénomène, la température de l'air serait inférieure de 30C à sa valeur moyenne actuelle qui est de 15C. Or, aujourd'hui, l'effet de serre augmente à cause des émissions anthropiques de certains gaz dit "à effet de serre", comme N₂O, CO₂, CH₄, ou CO, ce qui conduit à un déséquilibre climatique.

La réglementation

Effets sur la santé et seuils d'alerte

La pollution à toutes ses échelles a un impact sur la santé et l'environnement, c'est pourquoi des directives nationales et européennes fixent des seuils d'alerte. L'indice national ATMO, par exemple, prend en compte quatre polluants, dont trois primaires : le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules en suspension, et un secondaire : l'ozone.

En présence d'humidité, le dioxyde de soufre forme de l'acide sulfurique (provenant essentiellement de combustion) qui contribue au phénomène des pluies acides et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions. C'est un gaz irritant. Le mélange acido-particulaire peut, selon les concentrations des différents polluants, déclencher des effets bronchospastiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire), altérer la fonction respiratoire chez l'enfant.

Le dioxyde d'azote intervient essentiellement dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère. Il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut, pour des concentrations de 200 g/m^3 , entraîner une gêne respiratoire et une hyper-réactivité bronchique chez l'asthmatique et, chez les enfants, augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.

Les particules les plus fines peuvent transporter des composés toxiques dans les voies respiratoires inférieures (sulfates, métaux lourds, hydrocarbures, ...). A des concentrations relativement basses, elles peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires ou en altérer la fonction. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérogènes.

L'ozone résulte, comme nous l'avons vu précédemment, de la transformation photochimique de certains polluants dans l'atmosphère (NO_x et COV) en présence de rayonnement ultra-violet solaire. C'est l'un des principaux polluants de la pollution dite " photo-oxydante ". Ce gaz contribue également indirectement à l'effet de serre. L'ozone est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque, dès une exposition prolongée à des concentrations de 150 à 200 g/m^3 , de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques. Les effets sont majorés par l'exercice physique et sont variables selon les individus. En modifiant le processus de photosynthèse des plantes, l'ozone engendre une baisse des rendements agricoles (Heck et al. 1982, et, à plus forte concentration, la croissance des végétaux est limitée, des nécroses brunes et blanchâtres apparaissent sur les feuilles des plantes (Coe et al. 1995).

Seuils et réglementation

La Loi n 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) définit les seuils d'alerte. Ces seuils correspondent à des niveaux d'urgence, c'est à dire, à des concentrations de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà desquels une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou un risque de dégradation de l'environnement. C'est pourquoi passé ses seuils, des mesures d'urgence doivent être prises.

Le déclenchement de la procédure d'urgence comprend deux niveaux réglementaires :

- Un niveau " d'information et de recommandation " qui regroupe des actions d'information de la population et de diffusion de recommandations sanitaires destinées aux catégories de la population particulièrement sensibles, et de recommandations relatives à l'utilisation des sources mobiles de polluants, concourant, à l'élévation de la concentration de la substance polluante considérée.
- Un niveau " d'alerte " qui regroupe, outre les actions prévues au niveau d'information, des mesures de restriction ou de suspension des activités concourant aux pointes de pollution de la substance considérée, y compris, le cas échéant, de restriction de la circulation des véhicules, laquelle implique la gratuité des transports collectifs.

Ces niveaux interviennent pour les concentrations suivantes :

	niveau d'information et de recommandation (g/m ³ en moyenne horaire)	niveau d'alerte (g/m ³ en moyenne horaire)
Dioxyde d'azote (NO ₂)	200	400
Dioxyde de soufre (SO ₂)	300	600
Ozone (O ₃)	180	360

Figure 8: Seuils d'alerte de qualité de l'air

Pour de nombreux autres polluants de seuils existent également, nous les listons à la suite. Tous ces tableaux sont issues de scours de M Cabot à l'IUT de Rouen.

Les NO_x

En Haute Normandie ces seuils sont régis par l'arrêté préfectoral du 23 juin 1999.

Seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles	Seuil d'alerte
200 g.m ⁻³ en moyenne horaire	400 g.m ⁻³ en moyenne horaire

Valeur limite 2005 pour la protection de la santé humaine*	Valeur limite 2005 pour la protection de la végétation
250 g.m ⁻³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an 50 g.m ⁻³ en moyenne annuelle	30 g.m ⁻³ en moyenne annuelle

* Ces valeurs évoluent chaque année pour atteindre en 2010, 200 g.m^{-3} en moyenne horaire et 40 g.m^{-3} en moyenne annuelle qui l'objectif qualité.

les COV

Les COV comprennent notamment Aldéhydes, Cétones et Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM) tels que Benzène, Toluène, Xylène (les BTX). Seul le Benzène fait l'objet d'une réglementation :

Objectif qualité	Valeur limite 2005 pour la protection de la santé humaine*
2 g.m^{-3} en moyenne annuelle	10 g.m^{-3} en moyenne annuelle

* Ces valeurs évoluent chaque année pour atteindre en 2010, 5 g.m^{-3} en moyenne annuelle.

Le plomb

Valeur limite réglementaire	Objectif qualité
$0,5 \text{ g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle	$0,25 \text{ g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle

Les particules

	Valeurs cibles du contenu total de la fraction PM10 (réglementaire)
Arsenic	6 ng.m^{-3} en moyenne annuelle
Cadmium	5 ng.m^{-3} en moyenne annuelle
Nickel	20 ng.m^{-3} en moyenne annuelle

Objectif qualité	Valeurs limites pour la protection de la santé humaine (réglementaire)
30 g.m^{-3} en moyenne annuelle	50 g.m^{-3} en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an 40 g.m^{-3} en moyenne annuelle

les composés soufrés

En Haute Normandie ces seuils sont régis par l'arrêté préfectoral du 3 août 2004.

Seuil d'information et de recommandation aux personnes sensibles	Seuil d'alerte
300 $g.m^{-3}$ en moyenne horaire	500 $g.m^{-3}$ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives

Valeur limite 2005 pour la protection de la santé humaine	Valeur limite 2005 pour la protection de la végétation
350 $g.m^{-3}$ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par an 125 $g.m^{-3}$ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	20 $g.m^{-3}$ en moyenne annuelle 20 $g.m^{-3}$ en moyenne du 1 octobre au 31 mars

Objectif qualité	50 $g.m^{-3}$ en moyenne annuelle
------------------	-----------------------------------

le monoxyde de carbone

Valeur limite réglementaire	10 $mg.m^{-3}$ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
-----------------------------	--