

**TOTAL**  
INFORMATION  
1971 N°47

DLP 23-12-71 254982



L'ENVIRONNEMENT

# EDITORIAL

Je voudrais, avant de présenter ce numéro de TOTAL Information consacré à l'environnement, rendre hommage à M. Victor de Metz, qui pendant plus d'un quart de siècle a présidé aux destinées de la C.F.P.

Ce n'est pas aux lecteurs de notre revue que je dois apprendre ce qu'a été l'œuvre de M. de Metz. Ils ont suivi d'année en année, trimestre après trimestre, le développement d'une Compagnie, devenue le pivot d'un grand Groupe aux activités internationales intégrées. La croissance de ses ressources en pétrole brut, le nombre de navires battant son pavillon, de raffineries lui appartenant, de stations-service aux couleurs TOTAL, son rôle dans la vie internationale, témoignent de la sûreté et de la constance avec lesquelles M. de Metz a bâti un ensemble industriel qui fait honneur à notre pays.

C'est dire à quel point je me réjouis du renouvellement du mandat de M. de Metz au Conseil d'Administration: Président d'Honneur de notre Compagnie, il pourra continuer à nous faire profiter de son expérience et de ses avis autorisés.

La défense de l'environnement s'accompagne souvent de critiques assez vives dirigées à l'encontre des grandes industries parmi lesquelles les compagnies pétrolières. Pour sa part, le groupe TOTAL mesure pleinement le fait que chaque phase de ses activités, depuis l'exploration jusqu'au stade ultime de la distribution peut provoquer des nuisances susceptibles d'affecter l'équilibre de la nature.

Si de multiples réalisations ont déjà supprimé une grande partie des risques de pollution, comme l'expose l'article suivant, il reste beaucoup à faire pour l'avenir d'un monde où les unités industrielles deviendront plus importantes et sans doute plus concentrées et où la densité d'habitations et de circulation est appelée à croître.

Les anciennes installations cèdent la place à de nouvelles unités conçues pour minimiser les effluents polluants. La C.F.R. depuis plusieurs années, tant à la raffinerie de Normandie et de Provence que dans ses nouvelles réalisations, poursuit résolument ses efforts en ce sens.

Il faut que la recherche s'intensifie autour des produits que nous proposons au public afin que sans perdre de leur efficacité, ils ne puissent pas être cause de pollution.

Il faut que chacun dans le Groupe soit conscient de l'ensemble des problèmes posés par l'environnement et pratique une surveillance accrue, au stade de la fabrication et de l'exploitation, des risques de nuisance.

L'effort que nous avons fait et poursuivons pour intégrer certaines stations-service à l'architecture locale sera intensifié et étendu à d'autres installations comme les dépôts et les usines. La création d'îlots de verdure en bordure de ces bâtiments, outre l'aspect apaisant et esthétique qu'elle créera, épurera l'atmosphère tout en amortissant les bruits.

Par des réunions régulières des responsables du Groupe dans ses différentes activités, nous assurons d'une part la concertation des actions menées dans la lutte anti-pollution et d'autre part la poursuite efficace d'un travail soutenu. Mais nul n'est garant de sa propre vigilance et nous souhaitons qu'à l'avenir les responsables locaux viennent visiter nos installations pour se convaincre de la bonne application des mesures de protection que nous mettons en œuvre. C'est dans cet esprit que nous voulons entretenir de fréquents contacts avec la population avoisinant nos établissements.

Le groupe TOTAL est prêt à accepter toutes les contraintes utiles propres à préserver l'environnement. Mais il en est une dont le public doit être parfaitement averti: le coût de toutes ces opérations sera lourd. Il est nécessaire qu'interviennent d'abord et le plus rapidement possible des définitions scientifiques de normes. Pour être supportable économiquement, la protection de l'environnement doit être définie en relation avec les industriels par des organismes convenablement équipés. La charge des coûts ainsi correctement déterminés doit être répartie de façon équitable et chacun aura à en supporter le poids. Sans doute vaut-il mieux consentir ces sacrifices dans l'immédiat plutôt que demain remédier à une situation beaucoup plus critique qui mettrait en péril certains équilibres économiques. Enfin, préserver la nature, c'est sauver notre vie à tous et cela, bien sûr, n'a pas de prix.

René de LILLIAC  
Président-Directeur Général de la  
Compagnie Française des Pétroles et de la  
Compagnie Française de Raffinage

The background of the cover is a photograph showing a hazy, brownish sky, likely due to air pollution. In the foreground, there is a tall, metal lattice tower for high-voltage power lines. To the right, a large industrial building or factory is visible, with some lights on. The overall scene conveys a sense of environmental degradation and industrial activity.

# LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET LE CLIMAT

par F. DURAND-DASTÈS

La pollution atmosphérique est, dans une large mesure, un phénomène universel. Mais elle connaît des aggravations spectaculaires dans certaines régions et à certaines périodes. Il faut connaître cette répartition dans le temps et dans l'espace pour comprendre l'ampleur du problème posé et les remèdes possibles. Or, elle ne s'explique pas seulement par celle des sources de polluants sur laquelle on insiste souvent: en effet, l'atmosphère ne se comporte pas comme un milieu passif. La circulation de l'air, les précipitations jouent un rôle important dans la distribution des polluants. Le climat est donc un facteur fondamental de la pollution atmosphérique.

Mais il existe une influence réciproque. A côté de ses conséquences directes bien connues, notamment sur la santé des hommes, les végétaux et les matériaux, on doit tenir compte des changements notables que la pollution peut provoquer dans les caractères climatiques des régions où elle est importante. Il est même possible qu'elle puisse modifier certains équilibres à l'échelle mondiale et avoir ainsi des effets majeurs que l'on ne fait actuellement qu'entrevoir.

## L'INFLUENCE DU TEMPS ET DU CLIMAT SUR LA POLLUTION

Il peut être commode de distinguer deux niveaux dans l'analyse. Le *temps* est un état d'atmosphère, instantané ou de courte durée. Certains temps sont plus que d'autres de nature à provoquer des pollutions importantes, et il faut savoir lesquels et pourquoi. Le *climat* d'un lieu peut être défini comme la succession habituelle des

types de temps au-dessus de ce lieu. Il est évident que les climats qui comportent le plus grand nombre de types de temps favorables à la pollution doivent faire l'objet d'une attention particulière. On dit volontiers qu'ils présentent un potentiel de pollution particulièrement important, et il serait souhaitable d'en tenir compte plus qu'on ne l'a fait jusqu'à présent dans bien des plans d'aménagement. Or cet aspect climatique du problème a parfois été négligé. Enfin, le relief, la végétation et la répartition des surfaces liquides modifient les effets climatiques de la pollution, qui doivent être envisagés à l'échelle du climat local ou du topoclimat (caractères climatiques liés à la topographie).

### Les influences des déplacements horizontaux de l'air

Aussitôt qu'ils sont émis, les polluants sont transportés par le vent, et leur répartition est profondément influencée par sa direction et sa vitesse. On a souvent beaucoup insisté sur le rôle de la première. Dans le cas d'une source de polluants bien circonscrite, en effet, le panache de fumée tend à se propager vers l'aval du courant aérien, en s'étalant et en prenant en gros la forme d'un cône. Il existe de nombreuses formules qui permettent de calculer la forme et la vitesse de progression de ce cône, en fonction de la hauteur de la source d'émission, de la rapidité du déplacement de l'air, du frottement du sol, etc. Mais la vitesse du vent a un rôle qui ne devrait pas être sous-estimé.

En effet, un vent rapide entraîne les polluants sur de grandes distances et tend à les disperser sur de grandes surfaces, si bien que des concentrations dangereuses se produisent plus difficilement. Ainsi, à Washington D.C. il existe une pollution importante par l'anhydride sulfureux. On a observé que sa concentration moyenne au-dessus de la ville est de 0,08 à 0,09 parties par million les jours où le vent correspond à un déplacement de plus de 200 km/jour. Par contre, pour un dépla-

cement des masses d'air de moins de 200 km/jour, la concentration moyenne monte à 0,14-0,18 parties par million, ce qui représente une augmentation très significative. D'une manière générale, le risque d'observer des concentrations dangereuses de polluants est d'autant plus fort que le vent est faible.

De plus, certaines circulations locales, comme les brises de mer, les effets de canalisation le long des vallées, qui sont très lourdes de conséquences, comme nous le verrons, se développent lorsque le vent général, résultant de la situation atmosphérique d'ensemble, est assez lent. Quand il atteint plus de 10 à 15 nœuds (18 à 25 km/h.), le vent dominant tend à effacer les circulations locales. Il devra être tenu le plus grand compte de celles-ci les jours de vent général faible, et dans les régions où ce vent général est souvent peu marqué.

L'importance des vents lents — ou des jours calmes — dans la pollution est de nature à faire réviser une idée assez généralement reçue, selon laquelle il suffirait de placer les sources de polluants sous le vent des habitations par rapport au vent dominant. En effet, il arrive souvent que celui-ci soit particulièrement rapide; quand il souffle, le niveau général de la pollution est assez bas. Par contre, des vents assez rares peuvent apparaître comme des vents lents à faible pouvoir de dispersion des polluants. Ainsi, à Londres, les vents les plus fréquents soufflent de secteur ouest, et l'on a souvent souligné que les implantations des industries à côté du port, donc à l'est des quartiers résidentiels, était une disposition heureuse. Malheureusement, les épisodes de pollution les plus graves se produisent avec des vents d'est à nord-est très faibles, qui rabattent vers la ville de grandes quantités de polluants qu'ils sont impuissants à disperser. On a même calculé que lors du très dangereux épisode de pollution de l'hiver 1952, la gravité de la pollution et sa distribution auraient été très peu modifiées, si la répartition des industries et des autres sources de gaz et de fumées avait été différente.

On sait d'autre part que la pollution de type moderne, la plus difficile à contrôler, est due de plus en plus à des sources dispersées, comme les moteurs d'automobiles. Aussi, le niveau général de la pollution est-il une considération de plus en plus importante, et il dépend davantage de la vitesse du vent que de sa direction. La structure verticale de l'atmosphère est aussi un facteur dont on doit tenir compte pour expliquer ce niveau général de pollution.

#### Les effets de la structure thermique verticale de l'atmosphère

La répartition des températures dans l'air selon la verticale influence les mouvements d'ascendance qui peuvent se produire. Dans certains cas, tout mouvement de bas en haut qui s'amorce pour une cause quelconque tend à s'amplifier et à se prolonger; toute particule d'air légèrement soulevée tend à continuer de monter pour atteindre des niveaux élevés. L'atmosphère est alors dite «instable». Par contre, il arrive que tout mouvement vertical soit immédiatement arrêté, donc que toute particule d'air légèrement soulevée revienne rapidement à son point de départ; on dit alors que l'atmosphère est «stable».

Dans les cas de stabilité, les polluants ne sont pas répartis dans une grande épaisseur, donc ils ne sont pas diffusés dans un volume d'air important, et leur concentration reste forte. Il en va tout autrement dans les cas d'instabilité, où particules et gaz sont entraînés en altitude et ne peuvent donc atteindre des taux de concentration importants à proximité du sol (cf. figure 1). Il est donc très important de comprendre les causes de la stabilité et de l'instabilité atmosphérique.

#### Les mécanismes engendrant la stabilité ou l'instabilité

Le degré de stabilité dépend de rapports entre deux taux de refroidissement de l'air, qu'il nous faut définir rapidement.

*Le taux observé.* On sait que, en règle générale, l'air se refroidit avec l'altitude.

C'est là une conséquence de deux facteurs: d'une part, l'atmosphère reçoit sa chaleur non directement de la radiation solaire d'onde courte qu'elle ne peut absorber, mais des radiations d'ondes longues émises par la surface du sol, (elle-même échauffée par la radiation solaire). En d'autres termes, la source de chaleur de l'atmosphère se trouve en bas. D'autre part, la diminution de la pression et de la densité avec l'altitude entraîne une baisse corrélative de la température.

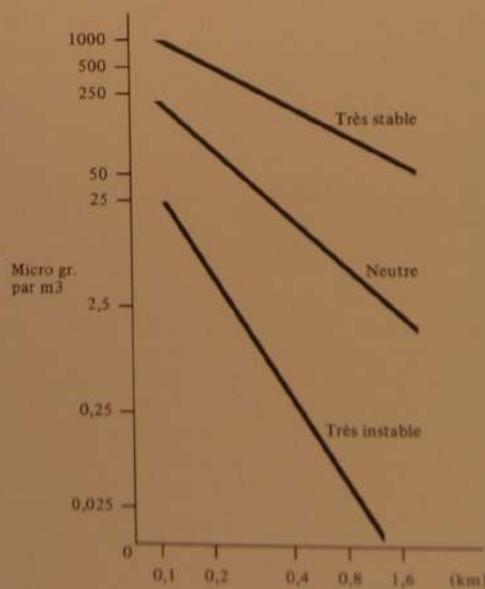


Figure 1. Décroissance du taux de pollution (ordonnée) avec la distance à la source (abscisse), selon le degré de stabilité de l'atmosphère. D'après Crowe. Echelle bi-logarithmique.

On voit que la concentration des polluants est nettement moins forte dans l'atmosphère instable, et que l'écart augmente quand on s'éloigne de la source, puisque les polluants sont répartis dans une couche d'air plus épaisse.

Cependant la diminution de température avec l'altitude, dont le taux s'appelle le gradient thermique vertical, varie d'un jour à l'autre, en fonction de facteurs multiples et complexes. Par exemple, dans le cas où une pellicule d'air fortement chauffée parce

qu'elle stationne sur un plateau calcaire par une belle journée d'été est surmontée par une masse d'air froid arrivant du nord, on a un gradient fort. Par contre, sur une surface marine avec arrivée d'air relativement chaud en altitude, le faible échauffement de surface et l'air chaud d'altitude produisent un gradient assez faible. Il arrive même qu'à certains niveaux il se produise une augmentation de température avec l'altitude; on dit alors qu'on a affaire à une inversion de température.

Il est donc nécessaire pour connaître le taux réel de décroissance, de faire des mesures, qui sont obtenues en général avec des ballons-sondes. Le résultat de ces mesures peut être représenté sur un diagramme où les altitudes figurent en ordonnée et les températures en abscisse. La figure 3 montre un diagramme de ce type; les courbes en pointillé I, II, III et IV représentent des gradients observés. On voit que le gradient est fort pour la courbe I, beaucoup plus faible pour la courbe III. Il y a une inversion de température dans le cas représenté par la courbe IV.

*Le taux adiabatique.* A la différence du précédent, c'est un taux qui concerne chaque particule d'air, et qui obéit à une loi physique simple. On sait qu'un gaz se refroidit lorsqu'il est détendu, et s'échauffe s'il est comprimé. Ce changement s'opère sans échange thermique, par un processus qui est dit adiabatique, (terme qui signifie précisément «sans échange»). Or dans l'atmosphère, toute ascendance de l'air se traduit par une baisse de pression, donc de température. Elle se fait selon un taux fixe, qui est d'environ  $1^\circ$  par 100 m. On peut représenter sur un diagramme comme ceux des figures 1 et 2 ces refroidissements adiabatiques.

#### La confrontation du taux réel et du taux adiabatique

Elle peut être faite en superposant sur le même graphique la courbe représentant le taux réel et le taux adiabatique (figure 3). Toute particule d'air à  $10^\circ$  au sol sera refroidie en se soulevant selon un taux

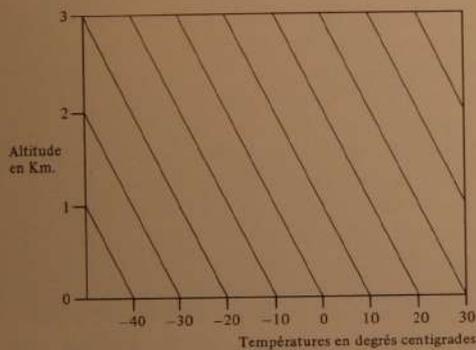


Figure 2. Les lignes obliques indiquent la décroissance de la température avec l'altitude par effet adiabatique dans de l'air non saturé.

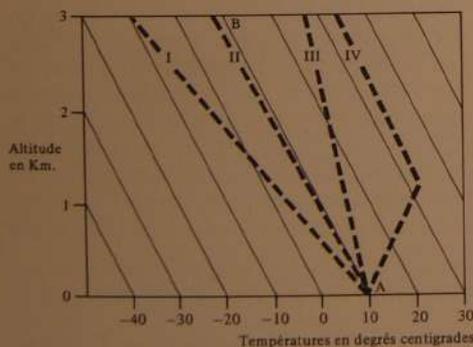


Figure 3. Rapport entre la décroissance adiabatique des températures (lignes continues) et cas de décroissance observée (lignes tiretées). Voir commentaire dans le texte.

A-B Adiabatique passant par le point  $10^{\circ}$  à la surface du sol.

I Gradient fort = instabilité

II Gradient moyen = neutralité

III Gradient faible = stabilité

IV Inversion à partir du sol = forte stabilité dans les basses couches.

représenté par la ligne adiabatique passant par le point d'ordonnée 0 et d'abscisse 10; ligne AB sur la figure 3. Supposons que l'état de l'atmosphère soit tel que la mesure des températures ait produit des résultats représentés par la courbe I. On voit que de l'air soulevé de 0 à 1 km atteint adiabaticquement la température de  $0^{\circ}$  C. La courbe I

montre qu'à 1 km l'air ambiant est à une température de  $-6^{\circ}$ . Donc, l'air soulevé est plus chaud que l'air ambiant, et il continuera à monter, car étant plus chaud, il est moins dense. Ainsi, tout mouvement vers le haut tendra à se prolonger et à s'amplifier dans une atmosphère où la structure verticale des températures est du type de celle représentée par la courbe I. Il y a instabilité. Par contre, on peut vérifier que si l'atmosphère est dans un état thermique décrit par la courbe III, toute particule soulevée et se refroidissant selon AB sera constamment plus froide, donc plus dense que l'air ambiant, et elle tendra donc à revenir vers le sol: aucun mouvement vertical ne pourra se prolonger et l'atmosphère sera stable. Il est évident que cette stabilité sera encore plus forte si la température augmente avec l'altitude (cas d'une inversion, courbe IV de la figure 3 et figure 4). Si le gradient adiabatique et le gradient observé sont voisins, comme c'est le cas avec la courbe II de la figure 3, on dira que l'air est en équilibre neutre. On peut conclure de tout ceci qu'une masse d'air est d'autant plus stable que son gradient vertical de température est faible, d'autant plus instable que ce gradient est plus fort. La stabilité est particulièrement nette dans le cas d'une inversion de température. Nous avons supposé dans tout ce qui précède que l'air est non saturé, et qu'il ne se produit pas de condensation. C'est assez souvent le cas dans les couches inférieures de l'atmosphère; mais on peut tout de même signaler que de l'air saturé est, toutes choses égales par ailleurs, plus instable que de l'air non saturé, car le taux de refroidissement adiabatique est alors plus faible.

#### Les causes de l'apparition des atmosphères très stables

Une forte stabilité résulte de tout ce qui diminue le gradient thermique vertical, c'est-à-dire de tout ce qui peut refroidir l'air à la base, et/ou de tout ce qui peut le réchauffer dans les couches supérieures. Par exemple, par temps calme en hiver, l'air se refroidit considérablement au contact

du sol, surtout la nuit. Une inversion de température proche de la surface peut se développer. Cette inversion peut disparaître ou du moins s'affaiblir pendant la journée. Le relief vient souvent accentuer cet effet, avec les accumulations d'air froid dans les creux. On sait par exemple qu'il est assez fréquent en hiver de trouver des températures plus basses à Clermond-Ferrand qu'au sommet du Puy-de-Dôme.

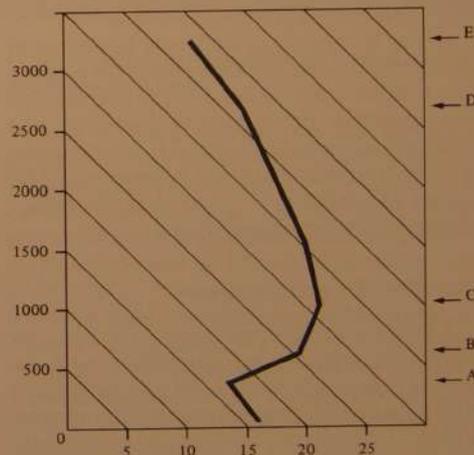


Figure 4. Sondage de température près de la côte californienne. Une inversion est visible entre 500 et 1000 m. (du niveau A au niveau C). Elle est due à la subsidence de l'air dans la cellule anticyclonique subtropicale.

Remarquer que l'inversion n'est pas présente dès la surface, comme c'est le cas pour la courbe IV de la figure 3.

L'atmosphère est stable du sol au niveau A, très stable dans l'inversion, stable encore de C à D, en équilibre neutre de D à E.

Le potentiel de pollution dans une masse d'air de ce type est donc fort. D'où la pollution très marquée dans des villes comme Los Angeles ou San Francisco.

Les stabilités importantes peuvent aussi être liées à la circulation atmosphérique. Ainsi, une masse d'air assez chaude, arrivant par exemple d'un océan sur un continent en hiver se refroidit à la base, et une inversion se développe. De même, l'arrivée d'une masse d'air chaud en altitude peut créer

une atmosphère stable. Il s'agit ci-dessus de cas de mouvements horizontaux. Les mouvements verticaux peuvent aussi jouer un rôle: ainsi, dans les zones de hautes pressions («anticyclones»), il y a souvent en altitude une colonne d'air descendant (on dit aussi «subsident»). Cet air subsident s'échauffe par effet adiabatique, si bien qu'à la base de la colonne descendante, il existe un air chaud, plus chaud que celui qui se trouve en-dessous de lui, et là encore, une inversion se développe (figure 4).

Tous les grands épisodes de pollution se sont produits dans des atmosphères stables. On a calculé dans l'est des Etats-Unis que les masses d'air stables connaissent une concentration de polluants 7 fois supérieure à celle observée dans les masses instables ou en état neutre. Il s'agit là d'un phénomène de première importance.

### Les effets des précipitations

Lorsque des précipitations ont lieu, les polluants, surtout les particules, sont en général entraînés vers le sol. Ils peuvent y avoir des conséquences dangereuses, surtout lorsqu'il s'agit de polluants atomiques; mais la pollution de l'air diminue brutalement. Tout le monde a pu remarquer les améliorations rapides de la visibilité après une forte pluie d'orage. Elle est due à la chute des poussières. Ce phénomène a fait l'objet de mesures très révélatrices. Ainsi, à Bordeaux, le mois de juillet 1964 a été très sec (14 mm de précipitations). La pollution par les particules a été en moyenne assez forte: 10,5 micro-grammes par mètre cube. Par contre, en septembre de la même année, il est tombé 50 mm de pluie, et les poussières n'ont plus représenté en moyenne que 3 micro-grammes par mètre cube.

### Les convergences de facteurs

Nous avons jusqu'à présent envisagé les facteurs de la pollution isolément. Mais il existe fréquemment des situations où tous ces facteurs convergent. En particulier, toutes les causes de pollution se trouvent réunies lorsqu'un anticyclone vigoureux

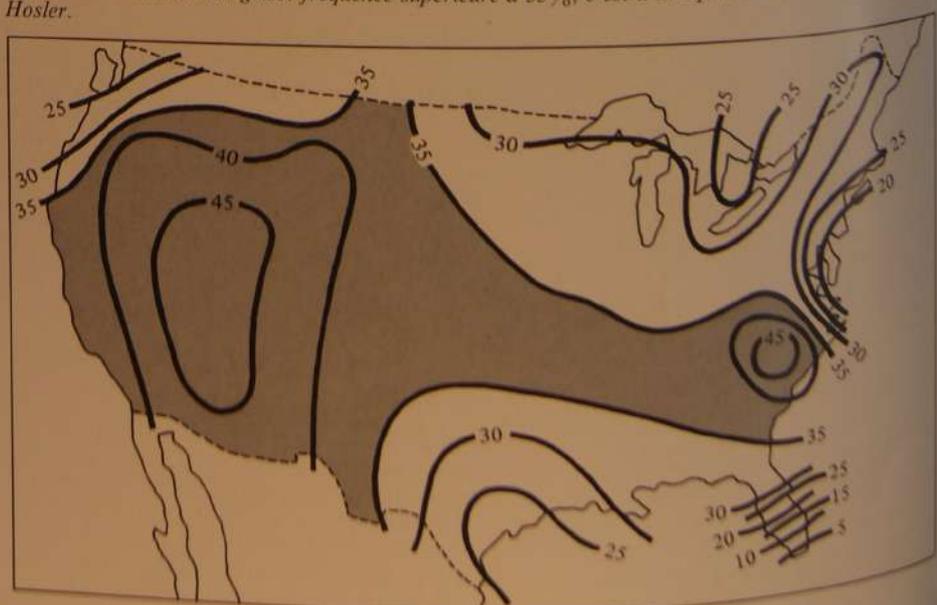
surmonte une région, surtout en hiver: à l'intérieur d'un anticyclone, les vents sont en général faibles car la pression atmosphérique varie lentement. Dans cet air stagnant, les refroidissements nocturnes à la base sont marqués, et il se développe des inversions de températures proches de la surface. D'autre part, il y a souvent dans les anticyclones des courants descendants, et il se développe des inversions hautes, comme celle qui est visible sur la figure 4. Enfin, il pleut rarement sous les anticyclones et l'atmosphère ne peut être nettoyée par les précipitations. Les temps anticycloniques sont donc des temps pollués par excellence, si ce ne sont pas les seuls.

### Les climats à fort potentiel de pollution

Le climat est, nous l'avons dit, défini comme une série de types de temps. Si, dans cet ensemble, les temps favorables à la pollution sont particulièrement nombreux, on dit que le potentiel de pollution est important. Bien des études se sont

attachées surtout aux aspects instantanés de la pollution. Le potentiel a surtout été étudié dans des cas isolés, avant l'installation d'une usine. Cependant, des essais de cartographie systématique ont été faits. La figure 5 représente la fréquence des inversions de surface aux Etats-Unis, qui donne une idée partielle du danger de pollution. On voit que ces inversions ont lieu pendant plus du tiers des jours sur une grande partie du territoire. Elles connaissent des fréquences maximales dans les bassins intra-montagnards de l'ouest, et au sud-est des Appalaches. La côte californienne attire l'attention, non parce que les épisodes d'inversion y atteignent des valeurs records mais parce qu'il s'agit de la seule région très urbanisée et industrialisée où les inversions sont présentes plus d'un jour sur trois. Les villes de San Francisco et surtout de Los Angeles sont parmi les plus polluées du monde. Pour des raisons historiques, la plus grande zone urbaine et industrielle des Etats-Unis est installée au nord-est du pays, dans une région dotée d'un potentiel

Figure 5. Fréquence des inversions thermiques en surface aux Etats-Unis. Courbes d'égale fréquence en %. Année entière. En gris: fréquence supérieure à 35%, c'est-à-dire plus de 1 jour sur trois. D'après Hosler.





de pollution assez faible, ce qui n'est d'ailleurs que l'effet d'un hasard heureux, car la localisation de l'industrie n'a pas été décidée en fonction du danger de pollution. A l'échelle mondiale, le potentiel de pollution est fort surtout dans les régions dominées par les anticyclones: anticyclones

subtropicaux des latitudes situées entre le 20° et le 30° degré, anticyclones froids de l'hiver dans l'intérieur des continents aux latitudes moyennes. Par contre, le potentiel est plus faible dans les régions dominées par les circulations perturbées d'ouest, comme l'Europe occidentale.

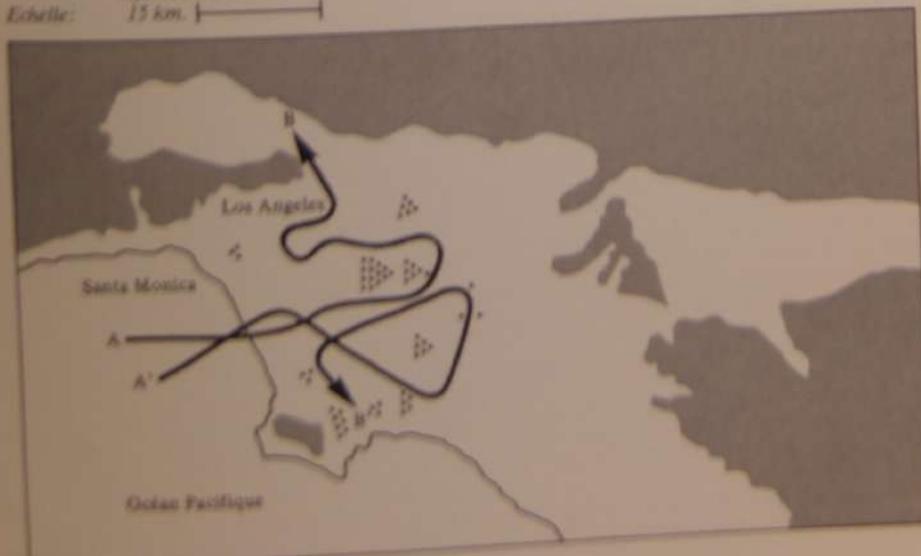
#### L'aggravation du potentiel de pollution par des facteurs locaux

Des facteurs locaux peuvent modifier profondément les effets du climat général. Ils sont multiples et variés, et chaque site est un cas d'espèce. On ne peut donc retenir ici que quelques cas à titre d'exemple.

Le relief joue un rôle dans la mesure où il facilite la canalisation des vents, et où les creux sont favorables aux accumulations d'air froid, donc aux inversions. Ceci est d'autant plus regrettable que les vallées, à cause des facilités de circulation qu'elles offrent, ont attiré villes et industries, qui ont été implantées à une époque où le danger de pollution était faible et ignoré.

Des circulations locales viennent aussi jouer leur rôle. Le cas de Los Angeles est particulièrement flagrant. La ville est souvent surmontée par un anticyclone (de la famille des anticyclones subtropicaux maritimes), dans lequel l'air est très stable; stabilité encore renforcée par la présence d'eaux côtières assez froides, qui refroidissent l'air à la base. Mais la ville est située dans une cuvette où l'air frais descendu des montagnes voisines s'accumule souvent. Enfin, nouvelle circonstance malheureuse, un système de brise de mer et de terre vient encore compliquer le problème, comme le montre la figure 6. En fin de journée, la brise souffle de la mer vers la terre, puis se renverse pendant la nuit: d'où un va-et-vient des masses d'air au-dessus de la ville. On a calculé des trajectoires de ces masses d'air, et deux d'entre elles ont été représentées sur cette figure. On voit que l'air passe et repasse au-dessus des zones d'émission des

Figure 6. Le rôle des brises dans la pollution à Los Angeles.  
 Régions d'altitude supérieure à 300 m.  
 Principales sources de polluants concentrées (il existe aussi une importante pollution diffuse due aux moteurs d'automobiles).  
 Trajectoires de l'air parti de A et A' l'après-midi et arrivé en B et B' le lendemain matin, après entraînement par la brise de mer puis par la brise de terre.  
 Concentrations observées en B et B', de l'ordre de 30 parties par 100 millions, pour les seuls hydrocarbures.  
 Echelle: 15 km.



fumées, et maintient celles-ci au-dessus de l'immense agglomération. Il n'est donc pas surprenant que la ville soit une des plus polluées du monde, et qu'elle ait été le point de départ de bien des campagnes pour la protection de l'environnement.

Ainsi, facteurs locaux et généraux se combinent pour créer des potentiels de pollution très variés selon les régions du monde et les sites. Des études approfondies de ce potentiel devraient venir compléter les recherches techniques qui sont généralement faites sur les sources existantes de pollution. Des études sérieuses pourraient jouer un rôle important dans les politiques d'aménagement concerté; faites à temps, elles doivent permettre d'éviter bien des situations inconfortables aux habitants, et d'économiser les sommes considérables qu'il faut dépenser pour pallier les inconvénients de la pollution.

## LES MODIFICATIONS DU CLIMAT PAR LA POLLUTION

*Profondément influencée par le cadre climatique, la pollution atmosphérique peut à son tour modifier les climats. Ses effets se font sentir à des échelles très différentes, depuis celle des grands équilibres mondiaux, jusqu'à celle des climats locaux des villes.*

### **L'augmentation globale de la quantité de gaz carbonique et ses conséquences**

Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, l'homme brûle en quantité chaque jour croissante des combustibles fossiles, charbons et hydrocarbures. Cette opération aboutit à la libération de quantités énormes de gaz

carbonique qui avaient été fixées au cours des temps géologiques lors de la photosynthèse opérée par des arbres (cas de la houille) ou des micro-organismes (cas du pétrole). La quantité globale de gaz carbonique présente dans l'atmosphère augmente donc de façon sensible. Selon certains calculs, cette augmentation aurait été d'environ 15% depuis 150 ans, ce qui n'est pas négligeable. Et cette teneur va sans doute continuer à croître: en effet, si la consommation de charbon et de pétrole garde le même rythme dans les années à venir, la concentration de gaz carbonique pourrait atteindre 400 parties par million vers 2010, alors qu'elle est actuellement d'environ 330 ppm (contre 290 au début du XIX<sup>e</sup> siècle). Et ceci compte tenu de la fixation du carbone par la végétation actuelle.

Cette augmentation de la teneur est assez préoccupante, non que l'asphyxie pure et simple des êtres vivants soit proche, car les teneurs restent faibles. Le problème est ailleurs: en effet, le gaz carbonique joue un grand rôle dans l'équilibre thermique de l'atmosphère, car il agit sur l'absorption de la radiation. On sait que la radiation solaire d'onde courte traverse l'air en ne subissant qu'une absorption faible. Par contre, l'air est assez opaque aux radiations d'onde longue émises par le globe, lui-même échauffé par la radiation solaire. Or, la teneur en gaz carbonique est une des causes de cette opacité. Un air plus riche en gaz carbonique absorbe donc davantage de radiations, et s'échauffe davantage. Il est donc possible qu'une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère soit à craindre. Les ordres de grandeur calculés sont évidemment faibles (de 1 à 1,5° centigrade), mais pourraient avoir des effets importants. La circulation atmosphérique pourrait s'en trouver modifiée, et il n'est pas impossible, selon certains, d'envisager une fonte au moins partielle des calottes glaciaires des pôles, dont résulterait à coup sûr une montée sensible du niveau marin. Ses conséquences catastrophiques sont faciles à imaginer...

Il s'agit là de perspectives à long terme, dont la prévision est incertaine. D'ores et

déjà, la pollution atmosphérique a provoqué une modification sensible des climats urbains.

### **Part de la pollution dans la modification des climats urbains**

Nos villes sont profondément marquées par la pollution. Nous laisserons évidemment de côté les effets directs des polluants sur les bâtiments, les matériaux... et les appareils respiratoires, qui font l'objet d'abondantes études. Mais les effets indirects de la pollution sur les éléments du climat, précipitations, températures, ensoleillement sont déjà très nets, s'ils sont moins importants.

Les polluants, notamment les particules en suspension, jouent surtout sur la radiation et les mécanismes de la condensation.

### **Les modifications de la radiation**

Le jour, la présence de poussières et de fumée réduit quelque peu l'arrivée de radiation solaire dans les villes. Mais l'effet sur les températures est peu important; il est nettement dominé par celui de la présence des bâtiments, qui absorbent activement la radiation; si bien que même le jour les villes sont plus chaudes que leur environnement rural, cela malgré la pollution et non à cause d'elle. Plus grave est le filtrage des rayons ultraviolets par le nuage de poussières et fumées. La réduction est importante. Dans une petite ville industrielle du Royaume-Uni, Leicester, on a calculé que la quantité de rayons ultraviolets n'atteint pas le tiers de celle qui est reçue dans les campagnes voisines.

Les effets nocturnes des polluants sont plus notables. En effet, ils contribuent à rendre l'atmosphère opaque aux radiations d'onde longue émises par les sols et bâtiments échauffés pendant le jour. Ces rayonnements sont utilisés pour échauffer l'air près du sol, au lieu de se perdre dans l'espace, comme cela se produirait si le ciel était clair. Aussi, les villes sont-elles beaucoup plus chaudes la nuit que les régions rurales proches, et c'est là entre autres un effet de la pollution. Les ordres de grandeur de ces différences thermiques les rendent tout à fait

fumées, et maintient celles-ci au-dessus de l'immense agglomération. Il n'est donc pas surprenant que la ville soit une des plus polluées du monde, et qu'elle ait été le point de départ de bien des campagnes pour la protection de l'environnement.

Ainsi, facteurs locaux et généraux se combinent pour créer des potentiels de pollution très variés selon les régions du monde et les sites. Des études approfondies de ce potentiel devraient venir compléter les recherches techniques qui sont généralement faites sur les sources existantes de pollution. Des études sérieuses pourraient jouer un rôle important dans les politiques d'aménagement concerté; faites à temps, elles doivent permettre d'éviter bien des situations inconfortables aux habitants, et d'économiser les sommes considérables qu'il faut dépenser pour pallier les inconvénients de la pollution.

## LES MODIFICATIONS DU CLIMAT PAR LA POLLUTION

Profondément influencée par le cadre climatique, la pollution atmosphérique peut à son tour modifier les climats. Ses effets se font sentir à des échelles très différentes, depuis celle des grands équilibres mondiaux, jusqu'à celle des climats locaux des villes.

### L'augmentation globale de la quantité de gaz carbonique et ses conséquences

Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, l'homme brûle en quantité chaque jour croissante des combustibles fossiles, charbons et hydrocarbures. Cette opération aboutit à la libération de quantités énormes de gaz

carbonique qui avaient été fixées au cours des temps géologiques lors de la photosynthèse opérée par des arbres (cas de la houille) ou des micro-organismes (cas du pétrole). La quantité globale de gaz carbonique présente dans l'atmosphère augmente donc de façon sensible. Selon certains calculs, cette augmentation aurait été d'environ 15% depuis 150 ans, ce qui n'est pas négligeable. Et cette teneur va sans doute continuer à croître: en effet, si la consommation de charbon et de pétrole garde le même rythme dans les années à venir, la concentration de gaz carbonique pourrait atteindre 400 parties par million vers 2010, alors qu'elle est actuellement d'environ 330 ppm (contre 290 au début du XIX<sup>e</sup> siècle). Et ceci compte tenu de la fixation du carbone par la végétation actuelle.

Cette augmentation de la teneur est assez préoccupante, non que l'asphyxie pure et simple des êtres vivants soit proche, car les teneurs restent faibles. Le problème est ailleurs: en effet, le gaz carbonique joue un grand rôle dans l'équilibre thermique de l'atmosphère, car il agit sur l'absorption de la radiation. On sait que la radiation solaire d'onde courte traverse l'air en ne subissant qu'une absorption faible. Par contre, l'air est assez opaque aux radiations d'onde longue émises par le globe, lui-même échauffé par la radiation solaire. Or, la teneur en gaz carbonique est une des causes de cette opacité. Un air plus riche en gaz carbonique absorbe donc davantage de radiations, et s'échauffe davantage. Il est donc possible qu'une augmentation de la température moyenne de l'atmosphère soit à craindre. Les ordres de grandeur calculés sont évidemment faibles (de 1 à 1,5° centigrade), mais pourraient avoir des effets importants. La circulation atmosphérique pourrait s'en trouver modifiée, et il n'est pas impossible, selon certains, d'envisager une fonte au moins partielle des calottes glaciaires des pôles, dont résulterait à coup sûr une montée sensible du niveau marin. Ses conséquences catastrophiques sont faciles à imaginer...

Il s'agit là de perspectives à long terme, dont la prévision est incertaine. D'ores et

déjà, la pollution atmosphérique a provoqué une modification sensible des climats urbains.

### Part de la pollution dans la modification des climats urbains

Nos villes sont profondément marquées par la pollution. Nous laisserons évidemment de côté les effets directs des polluants sur les bâtiments, les matériaux... et les appareils respiratoires, qui font l'objet d'abondantes études. Mais les effets indirects de la pollution sur les éléments du climat, précipitations, températures, ensoleillement sont déjà très nets, s'ils sont moins importants.

Les polluants, notamment les particules en suspension, jouent surtout sur la radiation et les mécanismes de la condensation.

### Les modifications de la radiation

Le jour, la présence de poussières et de fumée réduit quelque peu l'arrivée de radiation solaire dans les villes. Mais l'effet sur les températures est peu important: il est nettement dominé par celui de la présence des bâtiments, qui absorbent activement la radiation; si bien que même le jour les villes sont plus chaudes que leur environnement rural, cela malgré la pollution et non à cause d'elle. Plus grave est le filtrage des rayons ultraviolets par le nuage de poussières et fumées. La réduction est importante. Dans une petite ville industrielle du Royaume-Uni, Leicester, on a calculé que la quantité de rayons ultraviolets n'atteint pas le tiers de celle qui est reçue dans les campagnes voisines.

Les effets nocturnes des polluants sont plus notables. En effet, ils contribuent à rendre l'atmosphère opaque aux radiations d'onde longue émises par les sols et bâtiments échauffés pendant le jour. Ces rayonnements sont utilisés pour échauffer l'air près du sol, au lieu de se perdre dans l'espace, comme cela se produirait si le ciel était clair. Aussi, les villes sont-elles beaucoup plus chaudes la nuit que les régions rurales proches, et c'est là entre autres un effet de la pollution. Les ordres de grandeur de ces différences thermiques les rendent tout à fait

sensibles. Ainsi à Paris, la moyenne des températures nocturnes à la Tour St-Jacques est supérieure de 2,6° à ce qu'elle est au Bourget. A Tokyo, une étude portant sur 188 observations a relevé 53 fois des différences de température entre centre et banlieue supérieure à 4° C. Il existe bien un «îlot de chaleur» urbain qui est marqué surtout la nuit, et naturellement, par les types de temps où la circulation de l'air est lente. Cet effet peut avoir des conséquences désagréables par les nuits d'été, surtout dans les régions où cette saison est chaude et humide. On a constaté à Tokyo, par exemple, que la température nocturne dans les zones urbaines est de 30° C, contre 27° C dans les zones rurales.

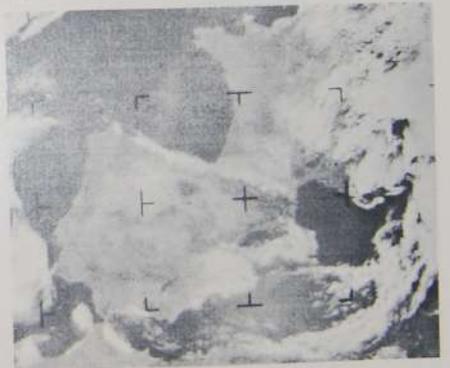
#### Les modifications des condensations

Elles sont assez spectaculaires. On sait que la condensation de gouttelettes d'eau se produit plus facilement autour de particules hygroscopiques, qui jouent le rôle de «noyaux de condensation». Beaucoup de particules polluantes solides peuvent constituer des noyaux de condensation, si bien que celle-ci est plus rapide dans les villes que dans l'air pur, toutes choses égales par ailleurs.

Ceci provoque d'abord une augmentation — légère — des précipitations, qui porte surtout en hiver. Mais surtout, les brouillards sont toujours plus fréquents dans les villes que dans les régions voisines, il s'agit là d'un inconvénient majeur des climats urbains, lié à la pollution atmosphérique. La ville de Prague avait entre 1800 et 1880 environ 80 jours de brouillard par an; vers 1930, l'augmentation de la taille de la ville et l'activité industrielle avait fait passer ce nombre à plus de 150. Ces brouillards plus fréquents diminuent l'ensoleillement; les gouttelettes d'eau autour de leur noyau de condensation constituent des aérosols dangereux, qui expliquent largement que le coryza soit une maladie nationale de l'Angleterre urbanisée et industrialisée. Enfin, le trafic aérien est souvent

gêné par les brouillards qui couvrent les grandes agglomérations et leurs environs, et l'on sait quel est le coût de l'immobilisation d'un avion moderne.

La recherche sur les rapports entre climats et pollution doit permettre de mieux saisir les coûts qu'elle fait peser sur les collectivités; elle peut aussi servir à suggérer des solutions d'urbanisme, de planification industrielle, souvent moins chères que le traitement systématique des sources de polluants — et sans doute plus efficaces dans bien des cas.



Photographie prise par satellite. Un anticyclone s'étend sur l'Espagne et la France y maintenant le beau temps tandis que le Nord et l'Est surtout sont affectés par des dépressions. Ci-dessous la carte des températures et des pressions pour le même jour constitue l'évaluation quantitative de cette photographie.

