

E. C. HALLIDAY, M.Sc., Ph.D. *

HISTORIQUE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Introduction

L'homme a besoin pour vivre de respirer de l'oxygène dilué de gaz inertes. Il trouve dans l'atmosphère un mélange convenable d'oxygène et d'azote, mais suivant l'endroit de la surface du sol où il vit, il respire en outre, inévitablement, divers gaz, vapeurs et aérosols, de composition et de concentrations variables, dont les uns sont physiologiquement inertes et dont les autres provoquent des réactions allant de la gêne légère à l'intoxication grave.

Il est bien évident qu'aucune atmosphère réellement non polluée n'a jamais existé puisque la décomposition des matières végétales et des débris animaux, les incendies de forêts, etc. émettent des gaz et des particules solides depuis les origines du monde. Cependant, la pollution atmosphérique est devenue un problème d'intérêt général avec l'avènement de la technologie. Le premier progrès technique de l'homme a été l'utilisation du feu qui produit du gaz carbonique, de la fumée et des cendres; aussi, dès les premiers temps de la civilisation, l'atmosphère de toutes les agglomérations humaines a-t-elle dû être fortement polluée. Les récits concernant les villes médiévales d'Europe rapportent que l'air y était vicié par la fumée des feux de bois, à laquelle s'ajoutaient les odeurs provenant des activités domestiques, les exhalaisons fétides de certaines opérations comme le tannage, et celles des ordures pourrissant dans les rues, par suite des conditions primitives d'hygiène. Néanmoins, les habitants des villes ne semblent pas s'être préoccupés outre mesure de la qualité de l'air qu'ils respiraient.

L'avènement du charbon comme moyen de chauffage marque le début du mécontentement populaire, noté par les historiens, et l'on peut fixer au début du XIV^e siècle la date à laquelle la pollution atmosphérique est devenue un problème social. Mais l'historique scientifique et technique de

* Head, General Physics Division, National Physical Research Laboratory, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria (Afrique du Sud).

la pollution de l'air ne peut guère remonter au-delà de 1850, car auparavant, s'il était fortement question du désagrément causé par la fumée, les connaissances étaient réduites et la lutte contre les polluants ne faisait aucun progrès.

En parcourant les cent années qui ont suivi les premières tentatives de l'homme pour comprendre la nature de la pollution atmosphérique, on découvre l'intervention de deux processus. D'une part, le développement des techniques a fait apparaître de nouvelles formes de pollution dans l'atmosphère, d'autre part, les populations urbaines sont devenues plus intolérantes aux types de pollutions de l'air qu'elles doivent respirer. En même temps qu'augmentait cette aversion pour les polluants, l'intérêt que suscitait l'action de ces substances sur l'homme s'étendait à leurs effets sur la végétation et les animaux, sur les constructions, l'habillement, les œuvres d'art, etc. Bien que ces dernières considérations ne touchent pas immédiatement à la santé publique, l'étude de la pollution atmosphérique se doit de ne pas les omettre, car elles influent indirectement sur la santé morale de l'homme, sinon sur sa santé physique.

Il apparaît donc que la pollution atmosphérique résulte de la présence dans l'air, en association avec l'oxygène et l'azote, de substances à l'état gazeux ou particulaire, qui sont *a*) toxiques, *b*) irritantes et *c*) gênantes pour l'homme, soit directement, soit par suite de leurs effets nocifs sur les animaux, la végétation ou les biens.

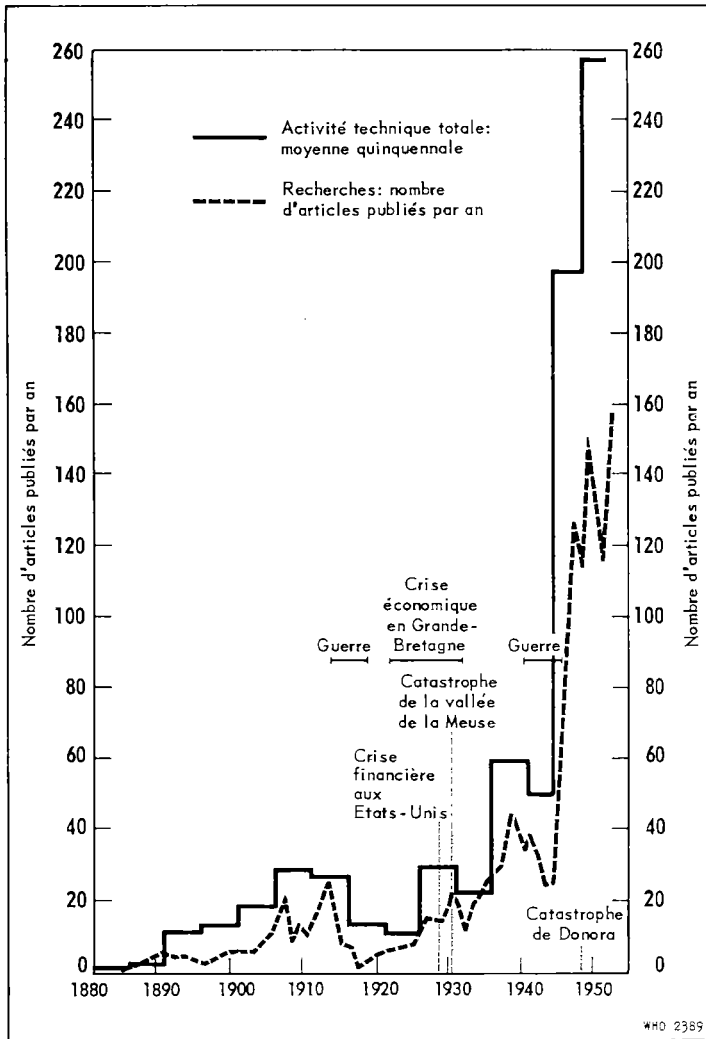
Le temps imparti à la préparation du présent aperçu historique n'a pas permis une étude très complète des nombreuses publications scientifiques et techniques qui ont jalonné le progrès dans l'étude et la réduction des polluants de l'air. L'auteur a principalement consulté: 1) une bibliographie préparée par le Bureau of Mines des Etats-Unis (Davenport & Morgis, 1954); 2) la bibliographie jointe à un article de Schwartz et al. (1955); 3) une bibliographie établie par la Fuel Research Station du Department of Scientific and Industrial Research (Grande-Bretagne, Department of Scientific and Industrial Research, 1956); 4) une monographie sur la pollution de l'air (Meetham, 1952); un ouvrage sur les fumées (Marsh, 1947); un recueil de textes sur la pollution atmosphérique (Malette, 1955) et un certain nombre de rapports communiqués par des services de santé publique ou des chargés de recherche éminents de France, de Hollande, d'Autriche, d'Italie, et d'Australie.

Estimant que des graphiques montrant le développement des activités dans le domaine de la pollution de l'air pourraient faciliter l'examen de notre sujet, nous avons utilisé la bibliographie du Bureau of Mines, bien que ce volume renseigne très imparfaitement sur les travaux effectués en Allemagne et en France, et qu'il omette de mentionner bon nombre d'articles publiés en Angleterre. De plus, cette bibliographie cite certaines publications à plusieurs reprises, chaque fois qu'elles traitent d'un sujet inclus dans

la classification adoptée par les compilateurs. Cependant il a semblé qu'elle offrait, somme toute, un ensemble de données suffisant pour construire des graphiques susceptibles de donner une image révélatrice de l'historique de la pollution de l'air.

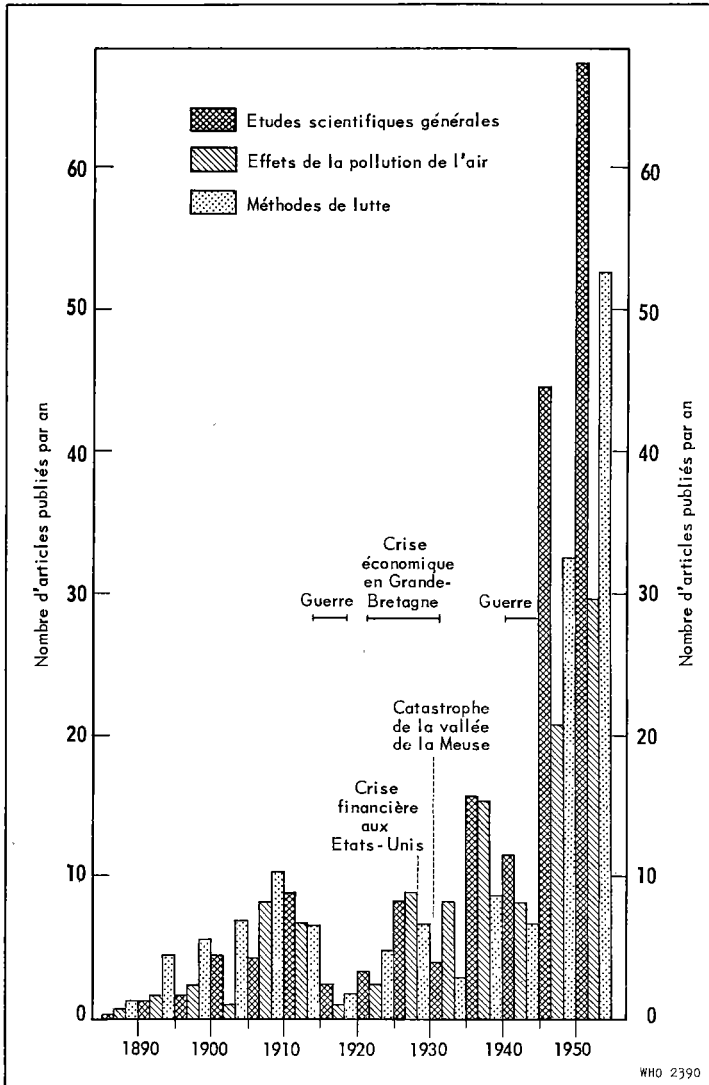
Le premier graphique (fig. 1) représente l'évolution de l'activité mondiale totale sous forme d'un histogramme par moyennes quinquennales. La

FIG. 1
PROGRESSION DE L'ACTIVITÉ TECHNIQUE TOTALE
ET DES RECHERCHES DANS LE DOMAINE DE LA POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE



courbe en surimpression (trait discontinu) indique le nombre de travaux de recherches effectivement publiés chaque année à la période correspondante. Le deuxième graphique (fig. 2) montre le développement de l'activité mon-

FIG. 2
ÉVOLUTION DE TROIS BRANCHES DE LA RECHERCHE
DANS LE DOMAINE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE



Les trois histogrammes indiquent des moyennes quinquennales. Bien que chaque rectangle n'occupe en abscisses qu'un intervalle d'environ un an, il représente en réalité toute la période quinquennale où il figure.

diale sous trois rubriques : nature et origine de la pollution, effets (pathogènes ou autres) de la pollution de l'air, méthodes de lutte. Ces graphiques révèlent que : *a*) depuis plus de soixante ans, l'activité scientifique et technique relative à la pollution de l'air s'est développée de façon continue; *b*) surtout médicale et technique avant 1900, cette activité de recherche fait actuellement de plus en plus appel à la physique et à la chimie, dont le rôle est devenu prépondérant; *c*) l'effort de recherche sur la pollution de l'air a davantage souffert des guerres et des crises économiques que les autres formes d'investigation scientifique. Ceci tend à prouver que la recherche sur la pollution de l'air avait un caractère marginal, qu'elle était en quelque sorte un « à-côté » des intérêts publics courants, et n'était pas encore mise au même rang que d'autres branches de l'hygiène publique (telles que celles qui s'occupent de la pollution des aliments et de la lutte contre les épidémies); et *d*) l'activité des études sur la pollution de l'air a augmenté ces dix dernières années à un rythme beaucoup plus rapide que pendant les cinquante années précédentes. Le profil des courbes indique que, vers 1945, a dû intervenir au minimum un facteur nouveau et important. Il n'est pas possible de prolonger les graphiques au-delà de 1952, car la liste des travaux publiés en 1953-1955 est incomplète. Le fichier qu'établit la Library of Congress des Etats-Unis étant loin d'être complet, les renseignements dont nous disposons ne peuvent pas indiquer l'état actuel de la situation. Cependant, l'impression qui se dégage à la lecture des différents journaux scientifiques est que, d'une manière générale, le rythme des publications et le nombre des travaux sont encore en progression.

Les différents polluants et leur importance historique

La fumée est le premier polluant qui ait attiré l'attention publique, et son historique remonte au XIII^e siècle. La cause immédiate d'une production de fumée assez abondante pour être préjudiciable a été, en Europe, l'épuisement des réserves de bois de chauffage et leur remplacement par le charbon. L'accroissement démographique et les progrès de l'industrie ont provoqué une telle augmentation des besoins en combustible que les régions forestières ont été rapidement dégarnies. Les très nombreux articles écrits sur ce sujet (Davenport & Morgis, 1954) signalent les conditions régnant à Londres dès 1300, époque à laquelle un édit royal vint interdire l'emploi du charbon dans cette ville; depuis lors, et avant les mesures prises assez récemment, les collectivités n'ont pas cessé de souffrir de la fumée et de la suie.

Le gaz sulfureux est le deuxième polluant à présenter des inconvénients pour la population, car il est produit par la combustion du charbon en même temps que la fumée. Toutefois, pendant près de trois cents ans, son rôle en tant que polluant atmosphérique n'a pas été reconnu, faute de connaissances

chimiques. On savait seulement que la fumée avait une odeur déplaisante et irritait la gorge et les muqueuses nasales. Dès 1600, cependant, il était bien connu que le soufre contenu dans le charbon était responsable de ces désagréments; aussi s'efforçait-on de mettre au point des méthodes de cokéfaction pour débarrasser la houille d'une partie de son soufre et de ses composants volatils.

Le gaz sulfureux, à des concentrations bien supérieures à celles que provoque la combustion du charbon, pollue maintenant l'atmosphère partout où s'est développée l'industrie métallurgique, car le nombre des minerais sulfurés est si grand qu'une proportion extrêmement élevée des procédés de préparation des métaux produisent d'énormes quantités de ce gaz.

Quant au rôle de l'acide chlorhydrique comme polluant atmosphérique, il n'est apparu qu'après 1800, lorsque l'industrie chimique s'est développée. La préparation du carbonate de soude à partir du sel commun dégageait en effet d'importantes quantités de cet acide, causant des dégâts étendus aux biens et à la végétation.

L'industrie chimique a été également responsable de l'apparition de polluants tels que l'hydrogène sulfuré provenant de la distillation des goudrons, le peroxyde d'azote issu de la préparation de l'acide sulfurique par la méthode des chambres de plomb, l'acide fluorhydrique résultant de la fabrication des superphosphates (et plus tard de la préparation de l'aluminium); de son côté, l'industrie métallurgique répandait les vapeurs toxiques ou pestilentielles d'éléments comme le plomb, l'arsenic, le zinc et le cuivre. Tout récemment, l'application du béryllium à de nombreux usages industriels a fait naître un nouveau danger: la présence dans l'air de ce corps finement divisé; il est vraisemblable que, si des dispositions ne sont pas prises pour réglementer les procédés de fabrication, de nouvelles techniques industrielles apporteront chacune leurs propres types de polluants, auxquels seront d'abord exposés les ouvriers de l'industrie et qui intensifieront la pollution atmosphérique des villes.

Un fait à retenir se dégage de toutes ces considérations: la pollution atmosphérique urbaine fait suite à la pollution de l'air dans les usines, de sorte que la lutte scientifique contre les polluants atmosphériques est une branche annexe de l'hygiène industrielle. En théorie, les méthodes de mesure sont semblables, mais il n'en va pas de même en pratique, car l'hygiéniste de l'industrie travaille en atmosphère semi-close, où les concentrations sont plus élevées et les mesures un peu plus faciles que dans la rue; une série de prélèvements opérés en quelques minutes suffisent, en général, à le renseigner sur l'état des choses à l'intérieur d'une usine, tandis que les prélèvements dans la rue doivent à l'ordinaire être répétés pendant des mois, et souvent des années, pour élucider le processus de pollution en cause. Ainsi, les nouvelles formes de pollution rencontrées à Los Angeles depuis 1945 ne sont toujours pas entièrement expliquées, bien que les recherches se poursuivent.

depuis près de dix ans, pratiquement sans interruption. Il ne nous est pas possible de parler de ces polluants dans le présent exposé, car leur nature n'est pas encore entièrement définie, mais il est évident qu'ils appartiennent à un type de contaminants qui semble devoir jouer bientôt un rôle de plus en plus important dans l'atmosphère des villes.

Historique de la fumée et du gaz sulfureux

Jusqu'en 1940 environ, l'expression « pollution de l'air » désignait pour la plupart des gens la fumée et le gaz sulfureux. L'examen des bibliographies générales sur la pollution atmosphérique (Davenport & Morgis 1954; Grande-Bretagne, Department of Scientific and Industrial Research, 1956; Schwartz et al., 1955) révèle que presque toutes les publications scientifiques et techniques rédigées avant cette date traitent de la fumée, de son mode de production, de ses effets, des méthodes à utiliser pour déterminer le débit des cheminées d'usine, et des moyens techniques à adopter pour diminuer l'émission de fumée par les foyers industriels et réduire la teneur de l'air en gaz sulfureux au voisinage des raffineries et des fonderies. Le problème de la fumée et du gaz sulfureux l'emportait alors, et de très loin, sur celui des diverses autres formes de pollution.

La bibliographie du Bureau of Mines n'enregistre que la publication de trente articles sur la nature, la composition et les effets de la pollution de l'air dans la période 1860-1890. Tous traitent des effets de la combustion; ils passent tous sous silence les moyens techniques utilisables pour déterminer la nature et l'intensité de cette pollution. En contrepartie, près de quatre-vingts articles répertoriés sont consacrés à la suppression de la pollution de l'air grâce à de nouvelles méthodes de chauffe et à l'emploi de combustibles sans fumée. Tout ceci montre à quel point le problème était abordé avec un esprit et des méthodes peu scientifiques.

Pour les dix années suivantes, la bibliographie mentionne trente-trois articles sur la composition et les effets de la pollution et quatre-vingt-huit sur les méthodes de lutte; rien ne figure encore sur les moyens techniques qui permettraient de déterminer la concentration des polluants. Presque toute cette littérature traite de la fumée et du gaz sulfureux, bien que, nous l'avons déjà noté, la production d'autres polluants, acide chlorhydrique et hydrogène sulfuré par exemple, ait déjà considérablement augmenté à la suite du développement de l'industrie chimique. Cependant, comme la fumée était un fléau touchant sensiblement toutes les populations urbaines des Etats-Unis d'Amérique, de Grande-Bretagne et d'autres pays d'Europe, ce problème retenait presque à lui seul l'intérêt des techniciens. Dès 1880, un article du *Journal of the Royal Society of Arts* (Carpenter, 1880) soulignait que la combustion du charbon à basse température dans les foyers domestiques et semi-industriels était la cause principale de fumée. En 1897, le

Journal of the Franklin Institute, analysant avec concision le mécanisme de la combustion du charbon, indiquait qu'à basse température, celle-ci produisait de la fumée en abondance. En 1899, à Londres, un conférencier (Beilby, 1899) faisait des observations sur les mêmes facteurs: il incriminait la surcharge en combustible, l'insuffisance de tirage et la combustion à basse température. Discutant de la nécessité des chargeurs mécaniques et des combustibles sans fumée, il montrait que la fumée provenait d'un usage abusif d'appareils de combustion. Ainsi, au début du siècle, presque toutes nos connaissances actuelles sur les causes de la fumée et son élimination avaient été énoncées, mais presque rien n'avait été fait pour réduire l'atmosphère enfumée des villes.

La raison de cette incapacité à tirer profit de la connaissance des faits a été très clairement exposée dans un journal anglais du bâtiment (*Builder* (Lond.) 1899). L'auteur y fait remarquer que: *a*) la fumée étant le sous-produit d'activités qui accaparent l'attention et le soutien de tous les intérêts financiers du pays, en tant que génératrices de marchandises et de bénéfices, l'empressement à prendre en considération leur rôle dans la production de la fumée est faible; *b*) les dommages causés par la fumée, bien qu'ils soient très importants d'un bout à l'autre du pays, ne sont pas évidents aux yeux du producteur de fumée (leur dispersion l'empêche de voir l'intérêt véritable d'une réduction de la fumée); et *c*) les dommages causés par la fumée étant imputables à une multitude de petits producteurs, il est difficile d'établir une relation évidente de cause à effet.

Cette analyse de la situation reste valable aujourd'hui. La réduction des fumées dans l'atmosphère dépend de la limitation de leur production. Or, agir sur un très grand nombre de sources est très insuffisant quand les possesseurs des dites sources ne voient pas clairement la nécessité d'une action dirigée contre elles particulièrement, même s'ils sont au total parfaitement convaincus des conséquences fâcheuses d'une atmosphère enfumée.

L'histoire de la lutte contre la fumée dans des villes américaines comme Saint Louis, Pittsburgh et Cincinnati montre que, même lorsqu'une très grande partie de l'opinion est acquise à la nécessité de réduire la fumée, le public continue de s'opposer activement aux moyens techniques dont l'adoption s'impose, chacun prenant une attitude qui consiste à rejeter sur d'autres la responsabilité. La citation suivante est extraite d'un article de caractère historique écrit par R.R. Tucker (1945), ancien Smoke Commissioner de la ville de Saint-Louis:

En 1925, le problème a été abordé sous un angle nouveau . . . il s'agissait d'initier le grand public aux avantages de la suppression des fumées. Un personnel compétent a été mis en place . . . Une école sur « l'art du chauffage » a été ouverte au centre de la ville; les habitants y pouvaient apprendre à utiliser correctement les types d'appareils à combustion courants à Saint-Louis. Pendant cette période, les enquêtes ont révélé une réduction sensible de la quantité de fumée libérée dans l'atmosphère. Mais *ce résultat n'était pas tangible pour le citoyen moyen*. Aussi, au fur et à mesure que la campagne diminuait d'intensité,

l'intérêt a-t-il décliné et les habitants de Saint-Louis sont-ils revenus à leurs habitudes de négligence en matière de chauffage.

En ce qui concerne les prescriptions de 1939 relatives à la fumée, le même auteur écrit : « Certains ont résisté à l'application du règlement ; des imprimés ont même été distribués dans un rayon de trois kilomètres autour de l'habitation du Commissioner insinuant que celui-ci était malhonnête et faisait preuve de favoritisme pour des questions d'argent. »

Pendant la période 1890-1914, un certain nombre d'études ont été faites sur le problème que posait la fumée dans différentes villes. En 1910, une enquête effectuée à Chicago de façon systématique a été conclue par la publication d'un rapport imprimé de quelque cinq cents pages : presque tous les problèmes qui sont à l'étude de nos jours concernant la fumée, la suie et les cendres y étaient examinés et faisaient l'objet de comptes rendus. D'autres villes ont été soumises à enquête : Saint-Louis en 1907 (*League Amer. Munic. Bull.* 1907) et Pittsburgh en 1912 (Pittsburgh University, 1912). Des dosages de la fumée, du gaz sulfureux et des retombées de suie et de cendres ont été entrepris à grande échelle en Grande-Bretagne en 1912 (*Sci. Amer.* 1914a) et ont été poursuivis pendant plus de quarante ans, le nombre des stations de contrôle augmentant régulièrement. (Il est intéressant de noter au passage que la méthode anglaise de dosage du gaz sulfureux par le « bioxyde de plomb » remonte peut-être à un article de Witz, sur la fumée de Paris, paru en 1885, proposant de juger le degré de pollution de l'atmosphère par celui de l'action du gaz sulfureux sur le bioxyde de plomb d'un enduit.)

En dépit de ces travaux et des nombreuses ordonnances entrées en vigueur à Cincinnati, Montréal, Chicago, Saint-Louis, Pittsburgh et ailleurs malgré l'adoption d'une législation spéciale en Allemagne (Schwartz et al., 1955, p. 542) et en Italie (Mallette, 1955, p. 253), la question de la fumée ne semble pas avoir évolué, car en 1930 elle continuait d'agiter l'opinion dans les villes. Il apparaissait alors que les remarques publiées dans le journal *Builder* (1899), et souvent reprises depuis, étaient exactes. En outre, comme les petits consommateurs de charbon ne disposaient pas de méthode vraiment efficace pour éviter la production de fumée par leurs modestes appareils à combustion, et comme la législation et les poursuites restaient presque sans effet, il était évident que la seule façon d'agir à la source était de fournir un combustible ne pouvant pratiquement pas émettre de fumée. En conséquence, des villes comme Saint-Louis et Pittsburgh interdirent la vente de houille grasse renfermant plus de 20 % de produits volatils. Elles fournirent d'autres combustibles sans fumée comme l'anthracite, ou obtinrent par traitement de tels combustibles (le « Disco » de Pittsburgh). A la même époque, l'apparition sur le marché de mazout et de gaz naturel comme combustibles de chauffage dans de nombreuses villes américaines, à un prix comparable à celui du charbon, déclencha un véritable engouement pour ces combustibles, modifiant ainsi de façon spectaculaire l'état de la pollution dans la plupart des grandes villes des Etats-Unis d'Amérique.

La Grande-Bretagne se trouvait dans une situation tout à fait différente, car elle ne pouvait pas se procurer de gaz naturel et devait importer le mazout de l'étranger, en le payant en devises; les seuls produits de remplacement disponibles étaient le gaz de houille, le coke et le combustible solide sans fumée. A ce moment survinrent la crise économique puis la guerre qui empêchèrent la Grande-Bretagne de prendre des dispositions appropriées. Il est bien certain que le plan mis en œuvre en 1912 pour évaluer la pollution avait pour objet de préparer un programme d'action contre les fumées. La guerre de 1914-1918 a interrompu la première de ces opérations et, en 1925, la situation économique était telle que personne n'avait le courage de préconiser des mesures qui ne promettaient pas de bénéfices substantiels dans l'immédiat. Puis vinrent des rumeurs de guerre et finalement la guerre elle-même. Il fallut attendre 1946 pour que le pays puisse reprendre l'examen de la situation. Il était alors évident que les prix du charbon étant élevés et les réserves houillères de la Grande-Bretagne réduites, toute économie de ce combustible, réalisable par une campagne anti-fumée, serait précieuse même abstraction faite des avantages résultant par ailleurs d'une réduction des fumées. Cet état d'esprit permettait d'envisager une action nationale et ce fut la promulgation du Clean Air Act, qui en est actuellement aux premiers stades d'application. Cette loi repose sur le principe admis déjà par les promoteurs de la lutte anti-fumée dans les villes américaines: seul un emploi rationnel du combustible peut conduire à l'élimination des fumées. La loi prévoit donc un vaste plan national: *a)* équiper toutes les maisons neuves et, par étapes, toutes les maisons anciennes, d'appareils à combustible sans fumée (gaz, coke ou charbon maigre à faible teneur en matières volatiles); et *b)* obtenir dans tout le pays une meilleure utilisation du charbon pour la production de gaz, de coke, de combustible solide sans fumée (par diverses méthodes adaptées aux différents produits bruts) et de sous-produits tels que le benzol, les matières premières destinées à l'industrie pharmaceutique et chimique, les matériaux d'asphaltage et le goudron d'alimentation des grandes chaudières. Il sera extrêmement intéressant de suivre la mise en œuvre de ce plan.

Il n'est peut-être pas inutile d'examiner rapidement les raisons qui ont amené les Américains à pratiquer un contrôle urbain et les Anglais un contrôle national. Dans les deux cas, la solution réside dans la rationalisation de l'approvisionnement en combustible. Aux Etats-Unis, des processus non planifiés comme la mise au point d'un système d'approvisionnement en gaz naturel et de brûleurs à mazout pour le chauffage domestique, à un prix qui concurrence celui du charbon, ont amené les chefs de ménage et autres usagers à adopter un type de combustible propre à réduire l'émission de fumée. En outre, les Etats-Unis d'Amérique constituent une fédération qui couvre de très vastes territoires et qui bénéficie d'une économie en expansion et de recettes fiscales abondantes; aidées par la législation nationale, qui leur confère les pouvoirs nécessaires, les villes rencontrent des conditions

favorables pour exercer leur contrôle sur les émissions de fumée. En Grande-Bretagne, le problème de l'approvisionnement en combustible était difficile à résoudre et, de plus, lorsque l'opinion publique en vint à s'opposer vigoureusement à la pollution de l'air, la situation économique était devenue stationnaire, laissant aux villes une marge de crédits trop faible pour risquer des opérations autonomes. C'est pourquoi, bien qu'aux termes du Clean Air Act, les villes et les autorités locales soient chargées de la mise en application de nombreuses dispositions de la loi, c'est le gouvernement central qui a lancé la campagne anti-fumée. Il était seul à pouvoir organiser l'étude du problème des combustibles et orienter le pays vers un approvisionnement rationnel et économique en combustibles sans fumée.

Il ne faut pas oublier le rôle joué dans les deux pays par les associations pour la suppression de la fumée, car il s'agissait de modifier les habitudes de la nation, et seule une propagande intense et intelligente pouvait amener les citoyens à coopérer aux programmes conçus par l'Administration.

Bien qu'il ne soit pas d'un grand intérêt de retracer l'essor et le déclin de différentes associations pour la suppression de la fumée aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, il faut cependant mentionner les deux organismes principaux, l'Air Pollution Control Association des Etats-Unis, qui a célébré récemment son cinquantième anniversaire, et la National Smoke Abatement Society de Grande-Bretagne, dont le journal, *Smokeless Air*, a récemment fait paraître son centième numéro. Par des réunions publiques, des brochures de propagande, des appels au public, aux industriels, au gouvernement et par d'autres activités, ces associations ont souligné sans relâche la nécessité de prendre au sérieux la pollution atmosphérique et d'éviter qu'elle ne devienne un élément permanent de la vie urbaine.

Nous n'avons pas parlé jusqu'ici du gaz sulfureux associé à la fumée, car, s'il est difficile d'éviter l'émission de fumée, il est pratiquement impossible d'éviter le dégagement de ce gaz lors de la combustion du charbon. Le lavage ne permettant d'éliminer qu'une fraction du soufre que contient le charbon (1 à 4 %), en séparant les pyrites denses du charbon plus léger, le reste entraînera la formation de gaz sulfureux lors de la combustion. Si la teneur en gaz sulfureux des gaz évacués était forte, l'extraction chimique du soufre serait éventuellement possible, mais les volumes de gaz à traiter sont trop importants pour que le problème soit pratiquement soluble. Deux grandes centrales électriques de Londres ont mis en place un dispositif d'épuration des gaz évacués, malgré le coût extrêmement élevé de l'installation (Meetham, 1952, p. 239, Pearson, Nonhebel & Ulander, 1936); mais nulle part ailleurs dans le monde, les industries utilisant le charbon en quantités importantes n'ont pu résoudre le problème de la récupération du soufre. Les grandes industries produisent peu de fumée, mais beaucoup de gaz sulfureux, d'où leurs difficultés. En revanche, les petits consommateurs de charbon émettent beaucoup plus de fumée et beaucoup moins de gaz

sulfureux; pour eux le problème, qui est de réaliser une combustion efficace, est bien plus facile à résoudre.

Fumée et gaz sulfureux en Europe

L'historique de la pollution par la fumée et par la suie, en Europe, ressemble assez à celui qui a été observé en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, à quelques variantes près dues aux conditions locales. En Allemagne, aux Pays-Bas et en Autriche, l'emploi domestique du combustible dans de nombreuses villes est le suivant: le gaz sert à la cuisine et au chauffage de l'eau, le coke est réservé au chauffage des pièces au moyen de calorifères. Les appareils domestiques engendrent peu de pollution, et ce sont les industries dont il convient surtout de se préoccuper. Néanmoins, des dosages effectués à Berlin en 1954 (Heller, 1954) ont montré une proportion relativement importante de fumée d'origine domestique. A la fin du XIX^e siècle, des dommages importants ont été causés aux forêts d'Allemagne par le gaz sulfureux des fonderies; même de nos jours, la vallée de la Ruhr fortement industrialisée continue d'être une zone de forte pollution par des fumées d'origine industrielle et domestique. Mais, en général on peut dire que les conditions qui régnaient en Allemagne, aux Pays-Bas et en Autriche étaient meilleures qu'en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis. Un auteur a déclaré que cette situation résultait moins du souci causé par la pollution de l'air que du besoin de tirer le meilleur parti possible du combustible disponible. Néanmoins Hahr, en 1928, écrit que les responsables de la santé publique devraient s'intéresser davantage à la lutte contre les fumées et les vapeurs et, en 1943, Koritnig parle de la nécessité d'enquêter sur la nature des dommages causés à la végétation par les gaz perdus.

Quant à la situation juridique, des textes ont été promulgués en Allemagne (1820 et 1909) et en Autriche (1811), autorisant toute personne qui a subi par l'action des gaz d'évacuation des dommages sur elle-même, son cheptel ou ses biens, à réclamer des indemnités. Aussi les industries ont-elles dû surveiller les effluents qu'elles émettent pour ne pas s'exposer à d'importantes demandes en dommages-intérêts. Les associations d'industriels, comme la Vereinigung der Grosskesselbesitzer, discutent au cours de leurs réunions des exposés techniques sur la prévention des émissions de fumée; par ailleurs, les publications spécialisées contiennent de nombreux articles sur les méthodes d'évaluation des dégâts subis par les plantes et des dommages matériels. Les lois ne prévoient toutefois pas les dégâts provoqués par les effluents provenant des cheminées domestiques, mais on observe à l'heure actuelle en Allemagne une tendance à l'adoption d'une législation régissant l'émission de fumées et de vapeurs par les foyers domestiques et les véhicules. La situation en France est sensiblement analogue. La législation adoptée en 1932 (Schwartz et al., 1955, p. 540) définit les marges

admissibles en matière de production de fumée et de vapeurs; son application est laissée aux autorités locales. La pollution provoquée par les foyers domestiques n'est pas contrôlée, mais l'emploi du charbon n'est pas aussi généralisé en France qu'en Grande-Bretagne, de sorte que la situation n'est pas, dans l'ensemble, aussi grave. Cependant, des mesures de la fumée et de la teneur de l'air en gaz sulfureux, effectuées à Paris entre 1950 et 1956 ont montré que Paris est parfois aussi enfumé que Londres. En 1954, le gouvernement a chargé une commission d'étudier les dangers que fait courir au pays l'émission de polluants dans l'air (Raymond, 1956).

En Italie l'industrialisation des villes est relativement récente, et aujourd'hui encore presque toute la région méridionale est agricole. Un article technique (Malette, 1955, p. 252) expose que les conditions météorologiques qui règnent en Italie empêchent les fortes accumulations de polluants que connaissent certaines parties du monde, mais il énumère des désordres physiologiques attribuables aux polluants, ce qui tend à prouver que les conditions qui produisent des concentrations dangereuses de ces agents sont fréquentes.

La loi italienne sur la pollution de l'air, qui date de 1912, ne vise que les effluents industriels; elle donne à penser que l'opinion publique italienne ne s'oriente que lentement vers une attitude d'opposition à l'égard des polluants atmosphériques.

Examen général des polluants les plus spécifiques

Les sources de pollution de l'air par les produits de combustion sont presque toujours très nombreuses et très dispersées. Ce type de pollution est donc diffus, la concentration en polluant ne variant en général que peu d'un point à l'autre d'une agglomération. La pollution de l'air, provoquée par l'émission de polluants spécifiques — SO_2 par les fonderies, HCl et NO_2 par l'industrie chimique, HF par les usines d'aluminium, les fabriques d'engrais et quelques fonderies, H_2S par les cornues à gaz, les vapeurs d'arsenic, de plomb et de zinc par certains procédés de métallurgie — présente la caractéristique suivante: ces sources, situées à l'intérieur ou à proximité de la ville, sont généralement en nombre restreint et la zone touchée autour de chaque source est relativement de faible étendue. Par conséquent, la nature désagréable et la toxicité de l'effluent se manifestent dans une zone limitée; les réclamations sont alors peu nombreuses, car la source de l'effluent est assez facile à découvrir quand l'effluent a été identifié par les techniques mises au point en matière d'hygiène industrielle et qui sont maintenant utilisées pour contrôler la pollution de l'air dans les villes. Le problème posé par ces polluants n'est donc pas aussi complexe que celui des produits de combustion; il donne lieu à moins de commentaires.

Jusqu'en 1930, 90 % environ des articles mentionnés dans la bibliographie du Bureau of Mines traitent des produits de la combustion, 10 % seulement de polluants spécifiques. Après 1945, 45 % sont consacrés aux produits de combustion, 20 % aux aérosols et 22 % aux gaz d'origine chimique, toxiques et nocifs. L'intérêt scientifique et technique plus marqué correspond en partie à une activité plus intense des associations urbaines pour la suppression de la pollution, qui ont inclus les industries chimiques dans leur programme d'action normal poursuivi à travers tous les Etats-Unis. A l'origine, ces associations ont toutes été fondées pour s'occuper des produits de combustion, mais dès que leurs activités ont été rationalisées, elles ont pris conscience des pollutions localisées produites par les industries chimiques et métallurgiques et les ont englobées dans leur action.

Aux Etats-Unis, l'administration a réglé la question des polluants en demandant à chaque ville de prendre ses propres ordonnances et de spécifier les concentrations en polluants (variables pour chaque type) tolérées à l'émission. Certains Etats ont établi une législation de base qui fournit aux villes des principes directeurs, tandis que d'autres ont examiné les projets présentés par les villes désireuses d'être habilitées à agir contre la pollution selon les circonstances et ils en ont approuvé ou modifié les termes (Smoke Prevention Association of America, 1922).

En Europe continentale, le schéma général d'action a été d'établir une législation nationale spécifiant les marges de concentration admissibles pour différents polluants, le soin d'appliquer la loi étant laissé aux municipalités. Il est intéressant de signaler qu'en Italie, dès 1912, l'Etat est intervenu pour définir tout un groupe d'industries dangereuses et leur interdire de s'implanter au voisinage d'une agglomération à moins d'une distance fixée. Ce sont évidemment les habitants de la campagne qui ont dû subir les effets de la pollution de l'air par les effluents librement émis; de plus, peu à peu, certaines de ces industries ont été englobées dans les agglomérations par suite de l'extension des villes, et les prescriptions légales sont devenues inopérantes.

En Grande-Bretagne, le problème a été abordé différemment lorsque l'industrie chimique a commencé à se développer, dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Les vapeurs fortement acides émises par les nouvelles usines étaient très désagréables et dangereuses dans un vaste périmètre. La première réaction des autorités gouvernementales fut d'interdire entièrement le fonctionnement des usines. Mais l'importance commerciale des activités industrielles pour l'économie du pays dut bientôt être reconnue et, aux termes de l'« Alkali, etc. Works Regulation Act », promulgué en 1863, puis amendé en 1878, 1881 et les années suivantes, toutes ces usines furent placées sous le contrôle d'un inspectorat institué par le Gouvernement et relevant de lui.

Les inspecteurs avaient pour mission de vérifier que toutes les opérations effectuées le soient avec le rendement maximal connu dans l'industrie chimique. A deux exceptions près, aucun cahier des charges n'était imposé par

la loi concernant la tolérance maximale d'effluent pour une cheminée d'usine donnée. Les inspecteurs jouaient plutôt le rôle de conseillers et d'experts-conseils auprès des industries relevant de leur contrôle. Ils veillaient à ce que toute nouvelle découverte faite par une usine pour réduire les effluents soit immédiatement communiquée aux établissements similaires et mise en application. Cette méthode de contrôle ne prend pas directement la santé comme critère; elle s'appuie sur des notions de « rendement chimique ». C'est pourquoi ceux que l'on appelle les « Alkali Inspectors » possèdent une expérience considérable de l'industrie chimique, plutôt que de l'hygiène industrielle ou de la technique sanitaire. Quoiqu'il en soit, ce système de contrôle a réduit indiscutablement la quantité d'effluents dégagés par les cheminées des usines de produits chimiques. De plus, ce mode d'action a favorisé le développement d'un certain nombre d'utilisations nouvelles pour les polluants récupérés à partir des effluents industriels; les déchets sont ainsi devenus des sous-produits commercialisables.

Il est à noter que, si aux Etats-Unis l'organisation des mesures préventives contre l'émission des effluents chimiques a été due, à l'origine, aux services d'hygiène publique, les services de contrôle de nombreuses villes américaines fonctionnent actuellement, à peu de chose près, de la même façon que le corps britannique des Alkali Inspectors. Il est prouvé en effet que si l'inspecteur ne considérait l'usine que du point de vue de l'hygiène, il se contenterait de vérifier les effluents qui s'en échappent, et que s'il n'était pas qualifié en chimie industrielle, il ne pourrait pas critiquer les procédés utilisés par l'usine coupable, ni aider l'industriel, soit par des conseils sur la technique à employer pour diminuer l'effluent, soit éventuellement par des indications sur la méthode susceptible de transformer les déchets en sous-produits qui seraient une source de revenu.

« Los Angeles » : un nouveau type de pollution

En 1943, Los Angeles a subi pour la première fois un nouveau type de pollution, qui a valu à la ville d'être connue dans le monde entier pour son brouillard chargé de fumée (smog). Aujourd'hui, on estime que des polluants semblables se retrouvent dans presque toutes les grandes villes: Los Angeles a toutefois été la première à subir des concentrations élevées de ce nouveau polluant, du fait de deux facteurs plus importants que dans la plupart des autres grandes agglomérations du monde: la ventilation naturelle (à l'échelle météorologique) y est faible et, si la ville n'utilise pas de charbon, elle consomme énormément d'essence. En conséquence, la teneur atmosphérique en gaz sulfureux est très faible, mais la stagnation de l'air au-dessus de la ville est telle que d'autres polluants, qui, à ce que l'on sait aujourd'hui proviennent de l'essence, finissent par atteindre des concentrations très fortes.

Los Angeles est devenue une zone très industrialisée pendant la dernière guerre mondiale, et sa population a augmenté très rapidement. Vers 1944, les habitants ont observé l'apparition intermittente d'un état particulier de l'atmosphère qui persistait parfois plusieurs jours: la visibilité était notablement diminuée par une légère brume bleutée, et de nombreuses personnes souffraient d'irritation de la gorge, d'hydrorrhée nasale ou oculaire, et de céphalées plus ou moins violentes. Les experts des services de lutte contre la pollution de l'air dans les villes de la côte est des Etats-Unis vinrent étudier la question et incriminèrent le gaz sulfureux, qui peut provoquer certains des symptômes observés, mais habituellement pas tous. Comme une série de mesures pour réduire l'émission de ce gaz par les différentes industries, et notamment par les raffineries de pétrole, n'entraînait pas la diminution espérée du « smog », il fut décidé d'entreprendre de nouvelles recherches. Elles devaient montrer que les vapeurs d'essence (hydrocarbures), combinées peut-être au peroxyde d'azote ou à quelque autre agent présent dans l'air, et soumises à l'énergie solaire, donnaient un composé organique qui n'a pas encore été bien défini mais serait un oxydant puissant. Or, une substance, préparée expérimentalement à partir d'hydrocarbures et de peroxyde d'azote par irradiation à l'ultraviolet, présentait les propriétés lacrymogènes du smog de Los Angeles. Le service de lutte contre le smog se mit alors en devoir d'empêcher l'émission de vapeurs d'essence des réservoirs de stockage des raffineries. Cette mesure demeurant sans effet, le problème fut remis à l'étude. On s'aperçut alors que les très nombreux véhicules à moteur de Los Angeles (deux millions et demi) consommaient chaque jour vingt millions de litres d'essence et libéraient dans l'atmosphère plus de mille tonnes d'hydrocarbures par suite du mauvais rendement des carburateurs. Cela signifie que l'ancien problème réapparaît sous une forme moderne — à savoir, que la principale source de pollution est toujours le très grand nombre de consommateurs domestiques de combustible qui est aujourd'hui l'essence. De même que dans le cas de la combustion domestique du charbon à Saint-Louis et Pittsburgh, le remède ne peut se trouver dans une législation qui interdirait aux automobilistes de produire des hydrocarbures effluents. Il doit être recherché dans un progrès d'ordre technique permettant au moteur d'une voiture de brûler le carburant avec un rendement voisin de l'unité. Telle est la situation actuelle à Los Angeles qui, par sa brève histoire de dix années de recherches sur la pollution de l'air, a amené les experts de la pollution atmosphérique de toutes les grandes villes du monde à reconsidérer leur point de vue sur l'avenir. Si les hydrocarbures contenus dans les gaz d'échappement des voitures créent un grave problème à Los Angeles, la même situation peut se reproduire ailleurs dès que le nombre des voitures, qui est en augmentation constante dans toutes les villes, sera suffisant. Les articles scientifiques sur le smog de Los Angeles sont très nombreux, mais la plupart d'entre eux sont heureusement réunis dans les comptes rendus des conférences qui ont eu

lieu sur la situation à Los Angeles (California State Department of Public Health, 1955; *National air pollution symposia* 1949, 1952, 1955; Stanford Research Institute, 1954).

Historique de l'analyse scientifique de la pollution de l'air

Ce chapitre sera un bref rappel des aspects scientifiques que présente l'étude de la pollution atmosphérique; il laissera presque totalement de côté les progrès d'ordre technique et pratique réalisés dans l'élimination des effluents au moyen de filtres et de séparateurs de différents modèles. Bien que ces dernières réalisations soient intéressantes et très importantes, elles s'appliquent à des éléments bien définis, alors que la tâche essentielle en ce qui concerne la pollution de l'air a été précisément de découvrir d'abord la nature des polluants, puis leur origine. L'évolution de ces recherches est parallèle à celle de l'hygiène industrielle, car très souvent les découvertes faites par les laboratoires d'hygiène industrielle en vue de préserver la santé des travailleurs trouvaient une application dans les investigations en cours sur la pollution de l'air, visant à améliorer les conditions d'existence des citadins.

1890-1905

Les graphiques des figures 1 et 2 mettent en évidence une augmentation constante du nombre des travaux publiés chaque année sur la pollution de l'air pendant cette période. La plupart d'entre eux sont consacrés aux méthodes de lutte contre les sources de fumée (fig. 2). L'examen de ces publications révèle que dans leur ensemble elles visent à supprimer la fumée en recourant au « bon sens » qui caractérise à cette époque (1890) la technique à laquelle la Grande-Bretagne doit des réalisations vraiment étonnantes dans l'industrie textile, les chemins de fer et la mécanisation en général, œuvres d'hommes sans formation scientifique, mais remarquablement doués de sens commun et de persévérance. Pendant cette période, l'expression « brûler sa fumée » est courante parmi les ingénieurs, les administrateurs et le grand public, alors que beaucoup de ceux qui l'emploient ignorent sa véritable signification. En fait, la plupart des systèmes imaginés reposent sur la conviction que la fumée portée à température convenable « brûle ». Cette conviction subsiste, bien que le rapport de la London Smoke Prevention Exhibition de 1883 (Frankland, 1883) ait, dans sa partie consacrée à la chimie, analysé à fond la nature de la combustion et montré que celle-ci exige non seulement une température élevée, mais aussi un apport suffisant d'oxygène. Mais, les ingénieurs n'ayant pas en général de contact étroit avec les chimistes, on note un net déphasage entre l'analyse approfondie du mécanisme chimique de la combustion et le début d'application rationnelle

des connaissances théoriques à la conception d'appareils assurant une combustion presque totale.

Dans la période antérieure à 1900, parurent cependant plusieurs publications remarquables. Nous en retiendrons cinq travaux sur les dégâts causés aux plantes par le gaz sulfureux, et notamment (Watson, 1899) celui de chercheurs de Kew (près de Londres) qui découvrirent la possibilité d'éviter les dégâts aux plantes en retardant volontairement leur croissance (mise au repos) pendant la durée d'exposition à la fumée — moyen récemment redécouvert en Californie. Un autre article (Ost & Wehmer, 1899) indique que les taches brunes ou rouges observées sur les feuilles des plantes sont constituées de cellules vidées de leur substance et remplies d'air, phénomène qui a été récemment mis en évidence par exposition de plantes au smog de Los Angeles (Bobrov, 1952).

A cette époque également ont paru l'article original de Ringelmann (1898) décrivant une échelle de détermination de l'opacité des fumées, et le premier article exposant une méthode basée sur l'absorption de la lumière pour doser les fines particules de polluants (Fritzsche, 1898). En 1885, Witz avance que l'augmentation de la teneur de l'air de Paris en gaz sulfureux expliquerait la diminution de la teneur en ozone pendant une période considérée de dix années (cette hypothèse a été reprise à Los Angeles où l'absence de gaz sulfureux est peut-être à l'origine des concentrations élevées en ozone et autres oxydants, qui ont été observées). En outre, deux communications décrivent la technique d'obtention des dépôts de fumée sur un papier en rotation, technique qui semble annoncer le principe du séparateur thermique (*Stationary Engr.*, 1892; Thomson, 1892).

Au cours de cette période, malgré l'abondance des activités non scientifiques — comme l'atteste notamment un projet selon lequel le brouillard aurait été aspiré au moyen de tuyaux disposés dans les rues et rejeté par de grandes cheminées (un projet tout aussi farfelu a vu le jour à Los Angeles en 1945) — de nombreux principes fondamentaux relatifs à l'origine, à la nature et à la dispersion des polluants de l'air ont été énoncés avec plus ou moins de précision.

1905-1915

Pendant cette période, l'attention portée aux effets de la pollution de l'air croît fortement et les graphiques montrent que les activités de recherche l'emportent de beaucoup sur les activités techniques. L'intérêt médical s'attache alors en grande partie aux aspects cliniques et épidémiologiques. Aussi, et c'était à prévoir, certains articles se contredisent-ils, car les opinions fondées sur de simples impressions cliniques ne peuvent être solides. L'opinion médicale admet en général que la fumée, le gaz sulfureux et les autres polluants ont des effets indésirables, mais elle n'est pas unanime quant au caractère nécessairement toxique de la pollution générale des villes. Un

mémoire (*Sci. Amer.*, 1914b) affirme cependant que le cancer est plus fréquent là où l'on utilise du charbon. C'est également à cette époque que des enquêtes sont menées dans la plupart des villes américaines, en vue de rassembler les données préliminaires à l'établissement d'un plan de lutte contre les fumées, tandis que dans les villes anglaises est entreprise une série d'études sur l'état enfumé de l'atmosphère.

En Allemagne, l'activité est surtout orientée vers *a)* l'évaluation des dégâts causés à la végétation par le gaz sulfureux, aux fins de mise en application des lois relatives aux dommages causés par les effluents, et *b)* l'étude de la dispersion des gaz à la sortie des cheminées d'usines. Cependant l'énoncé des titres des publications semble indiquer que ce travail reste en grande partie au stade de la recherche industrielle; il n'atteint pas celui de la recherche fondamentale. Les conséquences de la pollution de l'air pour la santé ne paraissent guère avoir retenu l'attention en Europe.

1915-1925

Les travaux sur la pollution de l'air se ralentissent considérablement pendant la guerre et la période de réadaptation qui a suivi. Presque rien n'est publié sur ce sujet, et les rares articles sur les méthodes de détermination de la pollution, tous d'origine américaine, sont pour la plupart des compilations.

Sous le rapport des méthodes de contrôle, peu de faits intéressants, mais trois points sont à noter: *a)* les ingénieurs ont fort bien compris que la prévention de l'émission de fumée par les chaudières à vapeur dépend essentiellement d'une meilleure conception du foyer et non de l'addition d'un « brûleur de fumée » lorsque le foyer fonctionne mal (Buell, 1923); *b)* il est fait de plus en plus mention des combustibles pulvérisés et des cendres volantes qu'ils produisent; et *c)* en 1915 est publié le rapport de la Selby Smelter Commission (Holmes, Franklin & Gould, 1915). Cette dernière date est importante, car c'est celle de l'un des premiers cas d'aide scientifique à une compagnie dont les effluents constituaient un danger sérieux pour l'entourage. Cette aide conduit à la récupération du soufre comme sous-produit, et à l'installation d'instruments enregistreurs continus permettant un contrôle permanent de la concentration du gaz sulfureux dans l'air au voisinage de la fonderie. Selby possède également la cheminée la plus haute du monde (200 m environ), résultat des recherches concernant l'influence de la hauteur des cheminées sur la réduction de la pollution.

1926-1935

L'événement le plus dramatique de cette période est la catastrophe de la vallée de la Meuse, où plus de soixante personnes périrent par suite de la pollution de l'air (Firket, 1931; Haldane, 1931; Van Leeuwen, 1931). Dans

le monde entier, c'est le signal de recherches plus actives. Des ouvrages français font leur apparition dans les bibliographies et les dangers de la pollution de l'air sont l'objet de discussions à la Chambre des Députés. Les publications françaises de cette époque s'intéressent vivement à ce qui a été fait jusque-là en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis; en revanche, elles ne mentionnent pratiquement pas d'auteurs français pour les années précédentes — à l'exception de Bordas (Bordas, 1926; de Boissezon, 1927), qui a travaillé en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis et en Allemagne — ce qui montre qu'avant cette époque, presque rien n'avait été fait en France dans ce domaine.

La bibliographie allemande (Schwartz et al., 1955) enregistre pour cette période dix articles sur les effets de la pollution de l'air, dont cinq sont consacrés aux répercussions sur la santé humaine, alors que, pour la période antérieure à 1925, presque tous les articles cités traitaient des effets sur la végétation.

Ainsi les savants des milieux médicaux qui étaient en vedette dans les années antérieures à 1890, mais dont les spéculations relatives aux dommages spécifiques provoqués par la pollution de l'air reposaient alors davantage sur des hypothèses que sur des connaissances effectives, pouvaient à nouveau orienter l'intérêt vers un sujet qui requérait des recherches tant physiologiques que cliniques, conduites très activement.

Le travail sur les méthodes de mesure des polluants est illustré par le rapport du British Department of Scientific and Industrial Research qui indique qu'une relation directe a été établie entre la teneur en produits solides du panache de fumée d'une cheminée et la densité optique de ce panache, mesurée à l'échelle de Ringelmann ou autrement. C'est un progrès considérable, car il donne aux techniques graphiques de mesure une autorité supplémentaire qui était bien nécessaire. Aux Etats-Unis, un article de Drinker & Hazard (1934) décrit un appareil pour mesurer la poussière: il se compose d'un ruban transparent, mobile, qui reçoit la poussière soufflée par une buse et donne un enregistrement continu. L'immense travail que nécessite la lecture d'un tel ruban est sans doute la raison principale pour laquelle cet instrument n'a guère été employé. Aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, des instruments sont mis au point pour mesurer la fumée à l'intérieur des cheminées de chaudière et faciliter ainsi le contrôle de la chauffe. Dans ces deux pays et en Allemagne, l'attention commence à être sollicitée par les dangers des gaz d'échappement des moteurs à combustion interne (Florentin, 1928; Sayers et al., 1929). A cette époque, l'accent est mis sur l'oxyde de carbone, car il est prouvé que la teneur de l'air en CO dans les rues des grandes villes approche souvent le seuil de nocivité. En outre, deux articles soulignent que la pollution de l'air augmente beaucoup les dangers de la navigation aérienne (Aldworth 1930; Connolly, 1934). Ce point est important, et il est étonnant que les techniciens de l'aéronautique mondiale n'aient pas fait plus pour appeler l'attention sur cet aspect de la pollution de l'air.

Cette période de dix ans a bien commencé pour la recherche aux Etats-Unis, mais en Grande-Bretagne et dans les autres pays d'Europe l'activité a été freinée par le chômage. La crise économique de 1928 aux Etats-Unis a contrarié les recherches, et il est probable que l'accident de la vallée de la Meuse aurait suscité un intérêt beaucoup plus grand si les conditions économiques avaient été plus favorables.

1936-1945

Au début de la période 1936-1945, on note un accroissement notable des activités de recherche et des applications techniques. L'intérêt se porte sur le caractère dangereux des cendres aéroportées qui proviennent des chaudières à vapeur; les tourbillons de poussière du centre des Etats-Unis (*dust bowl*) font naître un intérêt considérable pour les risques que font courir à la santé publique les poussières, notamment celles de silice. Le US Public Health Service mène une série d'enquêtes à travers le pays pour évaluer la pollution de l'air des villes et commence une étude sur la teneur de l'air en fumée, suie et gaz sulfureux au-dessus de quatorze villes américaines (Ives et al., 1936). En écho à la catastrophe de la vallée de la Meuse (survenue six ans auparavant) quatre articles au moins discutent les causes possibles des décès; certains auteurs mettent en cause le gaz sulfureux, d'autres des fluorures.

Une monographie sur l'intoxication par le fluor (Roholm, 1937) indique les opérations industrielles qui engendrent des effluents fluorés et décrit leurs dangers pour la végétation, les animaux et l'homme. En 1937, paraissent deux articles, dont l'un français, sur la production d'aldéhydes par les moteurs à combustion interne (Maillard, 1937; Pardoe, 1937): la teneur en aldéhyde des gaz d'échappement est quarante fois plus élevée pendant la décélération (admission fermée) que pendant l'accélération ou la marche normale. L'année suivante, quatre nouveaux articles sont consacrés au même sujet (Grunder & Rich, 1938; Maurin & Kling, 1938; Pardoe 1938; Roberts, 1938); l'un d'eux émet l'hypothèse que des effluents semblables pourraient être produits par les chaudières à mazout quand l'admission d'air est excessive et la combustion incomplète. Ainsi, dès cette date, ont été rassemblés des renseignements qui, dix ans plus tard, auraient dû être précieux pour les chercheurs de Los Angeles. A cette époque (1937), le Department of Scientific and Industrial Research signale que l'atmosphère de nombreuses villes de Grande-Bretagne a été notablement moins enfumée pendant la crise économique, mais la guerre qui a suivi a considérablement aggravé la situation sous ce rapport. Un article japonais décrit une méthode permettant de mesurer au moyen d'une cellule photo-électrique la densité optique de papiers-filtres renfermant des particules de polluants atmosphériques (Kashiwai, 1938). Hormis l'emploi assez nouveau d'une cellule photo-électrique, il n'y avait pas là d'innovation technique à proprement parler et

il ne semble pas que la publication japonaise ait fait sensiblement progresser les méthodes scientifiques. Au Canada, les recherches sur les émissions massives de gaz sulfureux par les cheminées des fonderies Trail ont commencé en 1929 (ces fonderies ayant causé des dégâts très importants sur le territoire voisin, aux Etats-Unis), mais le rapport préliminaire n'a été présenté par la commission internationale qu'en 1937 et ce n'est qu'en 1941 qu'une décision finale a été prise (Dean & Swain, 1944). Cette étude scientifique de la pollution industrielle a fait date, car c'est la première fois que des méthodes de lutte météorologique ont été spécifiquement appliquées à des polluants industriels, les responsables acceptant d'interrompre certaines opérations, chaque fois que les météorologistes établis au voisinage des fonderies faisaient savoir que les conditions atmosphériques étaient favorables à la formation de couches d'air qui entraîneraient une fumigation de la vallée au sud des cheminées de la fonderie.

L'année 1942 est marquée par la publication d'un article intéressant sur les effets toxiques des polluants (Easton, 1942); l'auteur suggère que la présence de deux polluants, tous deux à une teneur inférieure à leur concentration maximale admissible, peut provoquer des effets toxiques par sommation des effets. Ce n'est pas la première mention d'une synergie des polluants de l'air, mais certainement une des premières.

En dépit de la guerre totale, la Grande-Bretagne a tenu en 1943 une conférence pour envisager les exigences en air pur que poserait plus tard la reconstruction des villes anglaises (National Smoke Abatement Society, 1943). L'année 1944 a vu croître l'intérêt porté aux facteurs météorologiques qui influent sur la concentration de la pollution (Fletcher & Smith, 1944); il a été proposé que les statistiques du US Weather Bureau soient utilisées par les services de contrôle des villes américaines (Flechter, 1945). En 1945, le Air Pollution Control Office de Los Angeles, qui travaillait depuis 1942 à éliminer le smog, publie un article sur les diverses sources de gaz sulfureux, alors considéré comme la cause principale d'une irritation des yeux (Swartout & Deutch, 1945). A la même époque, le rapport sur la série d'enquêtes faites en Grande-Bretagne à Leicester est publié avec un retard dû à la guerre; il appelle l'attention sur le rôle important joué par les remous d'air qui dispersent les polluants dans l'atmosphère des villes (Grande-Bretagne, Department of Scientific and Industrial Research, 1945).

Les renseignements dont nous disposons sur l'Allemagne montrent que, dans le même temps, l'intérêt augmente considérablement et se traduit par la publication de vingt-huit articles au moins qui contribuent à la connaissance de questions comme: la dispersion des poussières émises par les cheminées (Löbner, 1937a), les facteurs météorologiques qui agissent sur la dispersion des polluants (Lettau & Schwerdtfeger, 1937; Roetschke, 1937), les dosages de la teneur en gaz sulfureux (Müller, 1941, Schepp & Frömme, 1938), l'oxyde de carbone (Bayer, 1938; Wirth & Muntsch, 1940), et les concentrations en poussière de l'atmosphère (Löbner, 1937b).

Nous sommes peu renseignés sur les recherches françaises: à noter seulement deux articles sur les aldéhydes dans les gaz d'échappement des moteurs à combustion interne, un article sur la fumée à Paris, indiquant que 90 % du charbon brûlé dans cette ville l'est dans des foyers domestiques (Kling, 1938), et quelques controverses médicales sur la catastrophe de la vallée de la Meuse.

1946-1957

Pendant cette période, les recherches s'intensifient très rapidement, comme l'indique le nombre des articles publiés et la variété des sujets étudiés. Aussitôt la guerre finie, on assiste à un brusque déploiement d'activité; mais pendant quelques années le rythme de parution des articles scientifiques et techniques semble se maintenir à 150 par an. Leur nombre est beaucoup trop considérable pour qu'il soit possible de faire un compte rendu général, et il faut se limiter aux publications les plus intéressantes.

La catastrophe de Donora, en 1948, est un événement historique qui stimule davantage la recherche que l'épisode de la vallée de la Meuse; en outre, elle fait naître un intérêt scientifique pour la pollution de l'air en Afrique du Sud, en Australie et dans d'autres pays jeunes, dont le développement atteint le stade où les populations urbaines risquent d'être exposées aux dangers de la pollution. Elle stimule également quantité de recherches physiologiques et épidémiologiques sur la nature des réactions de l'organisme humain aux polluants de l'air; des travaux sur ce sujet sont en cours dans plusieurs universités et instituts d'Amérique et dans de nombreux laboratoires du Canada, de Grande-Bretagne et d'Europe continentale. Les dix dernières années ont vu apparaître plusieurs instruments destinés à doser les polluants: la sonde à fumée de l'American Iron and Steel Institute; la sonde à air Gast et la sonde Hi-vol; l'automètre Thomas pour polluants gazeux; le titrilog, réactif de Salzman utilisé dans un colorimètre enregistreur modifié pour le dosage du peroxyde d'azote; l'enregistreur infrarouge d'oxyde de carbone; le spectromètre de masse pour l'analyse des hydrocarbures, la technique de fissuration du caoutchouc pour la mesure de l'ozone et le colorimètre pour doser les oxydants. Du reste, un chapitre doit être réservé aux travaux de cette période.

L'ère moderne des études et des mesures de réduction de la pollution atmosphérique

On peut fixer à 1945 le début de l'ère moderne des études sur la pollution de l'air. Tout d'abord, c'est l'année qui a vu augmenter si rapidement l'activité générale que le nombre des publications de 1947 est quadruple de celui de 1944. Ensuite, le smog de Los Angeles, qui avait attiré l'attention

pour la première fois vers 1940, a atteint en 1945 des proportions graves et le Control Office, institué en 1945, a été réorganisé en County Control afin de parer à une situation devenue critique. Enfin, la catastrophe de Donora, survenue en 1948, a suscité une activité intense du Public Health Service des Etats-Unis et convaincu un grand nombre de savants américains que — même s'il est impossible de prouver que des polluants, comme le gaz sulfureux, à faible concentration endommagent l'organisme humain — il est au moins avéré que, dans certaines circonstances, la pollution de l'air d'une ville s'accompagne d'une mortalité suffisamment élevée pour inquiéter les responsables de la santé publique. En 1952, la catastrophe de Londres allait confirmer ce fait, mais dès avant cette date le cours des recherches sur la pollution de l'air avait changé aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et en Europe. Celles-ci sont plus intenses, les crédits accordés pour les études et les plans de défense des villes sont considérablement accrus et la conviction est acquise que, de nos jours, les polluants de l'air ne comprennent plus uniquement la fumée, le gaz sulfureux, les cendres et les gaz chimiquement connus qui sont des effluents industriels, mais aussi certaines substances dont on n'avait jamais soupçonné l'existence jusqu'alors dans l'atmosphère normale d'une ville (et qui effectivement ne s'y trouvaient peut-être pas avant 1900). Ces substances, décelées pour la première fois à Los Angeles, existeraient à de faibles concentrations dans toutes les villes modernes; un effort concerté pour découvrir quelles sont ces substances caractérise, à l'heure actuelle, la recherche sur la pollution de l'air, car il sera difficile, sinon impossible, de les éliminer sans les avoir identifiées. On a également compris, vers 1946, que la pollution de l'air intéresse une zone tout entière, et non pas seulement une ville. C'est pourquoi aux Etats-Unis les techniques de défense contre les polluants ont commencé à passer de l'échelon de la ville à celui du comté, et les édificateurs du programme anglais ont estimé qu'une législation nationale était la seule façon de faire face à la situation.

En somme, de 1945 à 1953 environ, tout le problème de la pollution de l'air a été reconsidéré; depuis cette dernière date, toutes les disciplines scientifiques ont été sollicitées à la fois pour attaquer un problème qui met en cause, on le voit aujourd'hui, des réactions extrêmement complexes de chimie organique et un grand nombre de réactions physiologiques provoquées par les sous-produits chimiques.

Il est apparu que de nombreux domaines sont à explorer, et les travaux progressent très activement sur les points suivants:

- 1) mise au point des instruments pour l'enregistrement continu des nombreux paramètres à étudier (ozone, aldéhydes, oxydes d'azote, composés oxygénés du soufre et du carbone, hydrocarbures, etc.);

- 2) études sur la composition chimique de l'atmosphère des grandes villes afin de déterminer quels sont les composés gazeux communs à toutes les villes, ou du moins à beaucoup d'entre elles, et ceux qui sont particuliers à

certaines agglomérations. Le spectromètre de masse et le spectromètre infrarouge sont alors les instruments les plus utiles, l'un complétant l'autre;

3) essais en vue d'élucider les réactions chimiques complexes qui produiraient le type de polluant rencontré dans le smog lacrymogène de Los Angeles. Ce problème est abordé par la double voie de la synthèse — qui consiste à préparer des composés et à étudier leurs effets biologiques — et de l'analyse, qui essaie d'isoler un composant de l'air normal possédant des effets biologiques spécifiques;

4) étude toxicologique, sur l'animal, de divers produits, et notamment de l'ozone; enquête sur une population donnée en essayant de mettre en corrélation les symptômes généraux parmi elle et l'augmentation ou la diminution de la teneur de l'air en divers agents. Dans ce cas, les spécialistes de l'hygiène industrielle coopèrent plus étroitement qu'auparavant avec les experts de la pollution de l'air, car il est bien évident que les études sur cette pollution sont une branche de l'hygiène industrielle;

5) études météorologiques visant à élucider les déplacements de l'air au-dessus d'une ville jusqu'à quelques centaines de mètres de hauteur, ainsi que le mécanisme de dispersion des polluants et le type de mesure susceptible de fournir les meilleures indications possibles sur la vitesse de dispersion au moment de la mesure;

6) étude des troubles apportés dans la végétation par les pollutions atmosphériques, à la fois pour en découvrir les processus et pour être à même d'utiliser des plantes déterminées comme réactifs de détection et de mesure du degré de pollution;

7) mise au point de méthodes permettant de contrôler les effluents de l'industrie et de tous les procédés générateurs d'effluents, y compris le chauffage domestique au charbon et la combustion de l'essence dans les automobiles.

La conférence technique sur la pollution de l'air, réunie à Washington par le Gouvernement américain en 1950 (McCabe, 1952) fut la première tentative de mobilisation des effectifs scientifiques aux Etats-Unis. Les conférences nationales organisées en Californie par le Stanford Research Institute en liaison avec le California Institute of Technology, l'University of California, l'University of Southern California, l'Air Pollution Control Association et l'Air Pollution Foundation (*National air Pollution symposia*, 1949, 1952, 1955) avaient le même objectif.

L'acte le plus important a été la résolution prise par le Gouvernement fédéral des Etats-Unis de voter un crédit annuel de cinq millions de dollars pour l'avancement de la recherche sur la pollution de l'air et d'établir par décision administrative une section de recherches sur la pollution de l'air au Robert Taft Sanitary Engineering Center de Cincinnati. Il en est résulté une nette augmentation de la recherche aux Etats-Unis, et le Robert Taft Center

a fait office de bureau central pour les projets de recherche et la mise en commun des résultats. Les autorités britanniques ont réclamé avec insistance cette mise en commun des efforts et des résultats car, comme tous les chercheurs dans ce domaine, elles ont compris que l'apparition et la découverte des éléments complexes de la pollution de l'air traduisent précisément la naissance dans la société d'un facteur nouveau qui résulte des progrès techniques de l'humanité. En raison de sa faible étendue et de sa forte densité de population, la Grande-Bretagne a depuis très longtemps fort bien systématisé la recherche, de sorte que la décision d'établir des relations étroites avec les chercheurs américains s'inscrit tout naturellement dans son programme.

Un autre sujet d'étude a été envisagé à l'occasion de cette réévaluation du problème, à savoir la dispersion de la radioactivité consécutive à l'explosion d'armes nucléaires. Pour l'instant, cette question constitue une branche spécialisée de la recherche sur la pollution de l'air, qui dépend des services d'organisation de l'énergie atomique de chaque pays; mais le développement de l'énergie nucléaire à des fins industrielles conduira fatalement à confier les problèmes que posent la dispersion, la surveillance et l'élimination des effluents radioactifs à des savants qui s'occupent de la pollution de l'air en général. Il n'est donc pas étonnant que se multiplient les publications relatives à ces aspects de la pollution de l'air, et que la coordination des recherches dans ce domaine accorde le plus grand intérêt aux polluants radioactifs.

Les références qui suivent donnent une idée des travaux actuellement en cours dans ces différentes directions: Beckman & Co., 1955; Billings, Small & Silverman, 1955; Bobrov, 1955; Cadle & Magill, 1951; Cleeves, 1953; Eichfelder, 1955; Eisenbud et al., 1949; Gucker, Pickard & O'Konski, 1947; Haagen-Smit, 1952; Hewson, 1951; Hueper, 1954; LaBelle et al., 1955; Littman, 1956; McCabe, 1956; Magill et al., 1950; Noble, 1955; Patton & Lewis, 1955; Shepherd et al., 1951; Sherlock & Stalker, 1941; Sinclair & LaMer, 1949; Sutton, 1949; Sutton 1950; Tebbens, Thomas & Mukai, 1956; Thomas & Ivie, 1946.

Observations sur l'histoire de la pollution atmosphérique

A la fin de cet aperçu historique sur la pollution de l'air, il semble intéressant de formuler quelques remarques concernant les facteurs dont cette étude semble avoir mis en relief l'importance.

1) Tout d'abord, la pollution de l'air est une question relativement simple à première vue, mais dont l'étude révèle la complexité. Si nous savons déjà que les polluants appartenant à la catégorie des oxydants, et liés à ce que l'on peut appeler « l'économie des hydrocarbures », sont de nature extrêmement complexe, nous commençons également à soupçonner que les pol-

luants réducteurs — englobés généralement sous le terme de « gaz sulfureux » — sont aussi très complexes, ce qui expliquerait peut-être que des concentrations considérées comme absolument inoffensives aient eu des répercussions extrêmement fâcheuses sur la santé.

2) Cette complexité a pour résultat que, s'il est assez facile d'obtenir des renseignements d'ordre général sur la pollution de l'air (les chercheurs anglais ont obtenu des renseignements précieux avec des appareils qui ne coûtaient pas plus de £40, soit US \$112), l'étape suivante vers une connaissance intime du phénomène suppose des investissements financiers sans commune mesure avec la quantité de renseignements obtenus.

3) Ces deux constatations conduisent naturellement à remarquer que la plupart des projets de recherche mis sur pied depuis soixante ans n'ont pas donné de résultats concluants *a)* parce que les programmes d'expérimentation étaient insuffisants, ou *b)* parce que les moyens mis en œuvre étaient trop limités, faute de crédits.

4) L'historique de la pollution de l'air fait apparaître une excessive répétition des mêmes expériences, découvertes et observations. Il met en évidence un gaspillage d'efforts considérable, du point de vue de la recherche, bien que le fait n'ait pas nécessairement le même sens du point de vue social. Il est indiscutable que les retentissements de la pollution de l'air sur la santé générale, sur le bien-être, et tout simplement les dépenses n'ont jamais semblé évidents à la collectivité depuis soixante ans, malgré les efforts des associations de défense. C'est pourquoi la publication continue d'articles scientifiques qui donnaient une idée générale des problèmes posés par la pollution de l'air, a rendu un service indéniable en incitant le public à s'occuper du problème, à concevoir la possibilité de le résoudre et à fournir les fonds nécessaires. Malgré cette pensée consolatrice, il faut reconnaître que la mise en commun des crédits et des chercheurs aurait pu bien souvent conduire à des projets expérimentaux dont les résultats eussent été conclusifs; et des expériences ne subsiste qu'un aperçu torturant de ce que l'on aurait peut-être trouvé si certaines choses avaient été mieux faites.

5) Ensuite, il apparaît absolument nécessaire que les chercheurs travaillant sur un même sujet dans des villes différentes, sans parler de ceux qui travaillent dans des pays différents, possèdent des bases communes de référence. Il est arrivé que différents tests aient été appliqués à un même facteur, et qu'il ait été impossible de comparer les travaux de divers groupes de chercheurs; les unités, les techniques n'étant pas les mêmes, l'application de facteurs de conversion était impraticable. Dans ces conditions, les résultats obtenus dans une région ne permettraient aucun progrès ailleurs. Tous ceux qui ont étudié le sujet ont fait cette remarque, et tout le monde est disposé à mettre en commun les résultats, de la façon la plus simple possible.

A ce propos, le rapport de l'Air Pollution Planning Seminar, qui s'est tenu à Cincinnati en décembre 1956, mérite d'être cité. La plupart des faits

évoqués précédemment ont été traités à ce Séminaire et ce rapport de 176 pages est très intéressant et encourageant. (US Department of Health, Education, and Welfare, 1956).

6) Il est impensable à l'heure actuelle qu'un pays dont l'économie n'est pas uniquement agricole puisse se désintéresser de la pollution de l'air. La pollution atmosphérique des villes à faible population et de faible développement industriel reste réduite, mais il n'y a aucune raison de penser que cette situation se maintiendra à l'avenir. La pollution devra, au contraire, être de plus en plus surveillée au fur et à mesure du développement industriel. Aucun pays ne peut facilement se passer d'un personnel spécialisé dans la lutte contre la pollution de l'air.

7) Enfin, il est nettement prouvé que pour lutter efficacement contre la pollution de l'air il ne suffit pas de confier les opérations nécessaires aux organisations de santé publique, qu'il s'agisse d'une ville, d'un Etat ou d'un pays. Les exigences sont multiples et complexes. Elles réclament l'intervention d'une équipe de spécialistes; médecins, physiciens, chimistes et techniciens sont indispensables à l'exécution d'un travail efficace.

Des efforts méthodiques sont attendus de tous les pays du monde. Leur importance est subordonnée au niveau du développement social. Il est essentiel qu'ils soient coordonnés, afin que tout progrès réalisé sur un front facilite le travail sur tous les autres fronts. Les signes d'une évolution dans ce sens, méritant qu'on lui consacre beaucoup de temps et de réflexion pour obtenir qu'elle soit mondiale, sont évidents.

BIBLIOGRAPHIE

- Aldworth, R. (1930) *Hazards in airports due to smoke*. In: *Proceedings of the Smoke Prevention Association of America ; 24th Annual Convention*, Pittsburgh, p. 8
- Bayer, F. (1938) *Gasanalyse*, Stuttgart, p. 127
- Beckman & Co. (1955) *Chem. Week*, **77**, 70
- Beilby, G. (1899) *J. Soc. chem. Ind. (Lond.)*, **18**, 643
- Billings, C. E., Small, W. D., & Silverman, L. (1955) *J. Air Poll. Contr. Ass. Amer.*, **5**, 159
- Bobrov, R. (1952) *The anatomical effects of air pollution on plants*. In: *Proceedings of the second national air pollution symposium*, Los Angeles (Stanford Research Institute), p. 129
- Bobrov, R. (1955) *Amer. J. Bot.*, **42**, 467
- Boissezon, P. de (1927) *Ann. Hyg. publ. (Paris)*, **5**, 1
- Bordas, F. (1926) *Ann. Hyg. publ. (Paris)*, **4**, 701
- Buell, D. C. (1923) *Making friends*. In: *Proceedings of the Smoke Prevention Association of America ; 17th Annual Convention*, Pittsburgh, p. 44
- Builder (Lond.)*, 1899, **77**, 143
- Cadle, R. D. & Magill, P. L. (1951) *A.M.A. Arch. Industr. Hyg.*, **4**, 74
- California State Department of Public Health (1955) *Clean air for California*, San Francisco
- Carpenter, A. (1880) *J. roy. Soc. Arts*, **29**, 48
- Cleeves, J. C. (1953) *J. Inst. Fuel*, **25**, 323

- Connolly, J. I. (1934) *Amer. J. publ. Hlth*, **24**, 260
- Davenport, S. J. & Morgis, G. G. (1954) *U.S. Bur. Mines Bull.*, No. 537
- Dean, R. S. & Swain, R. E. (1944) *U.S. Bur. Mines Bull.*, No. 453, p. 304
- Drinker, P. & Hazard, G. W. (1934) *J. industr. Hyg.*, **16**, 192
- Easton, W. H. (1942) *Industr. Med. Surg.*, **11**, 466
- Eichfelder, K. (1955) *Erzbergbau u. Metallhüttenwesen*, **8**, 111
- Eisenbud, M. et al. (1949) *J. industr. Hyg.*, **31**, 282
- Firket, M. (1931) *Bull. Acad. roy. Méd. Belg.*, **11**, 683
- Fletcher, R. D. (1945) *Meteorology and smoke abatement*. In: *Proceedings of the Smoke Prevention Association of America ; 39th Annual Conference*, Pittsburgh, p. 31
- Fletcher, R. D. & Smith, D. E. (1944) *Meteorological factors affecting smoke pollution*. In: *Proceedings of the Smoke Prevention Association of America ; 38th Annual Conference*, Pittsburgh, p. 123
- Florentin, D. (1928) *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, **185**, 1538
- Frankland, E. (1883) *Nature (Lond.)*, **27**, 407
- Fritzsche, P. (1898) *Z. anal. Chem.*, **37**, 82
- Great Britain, Department of Scientific and Industrial Research (1945) *Atmospheric pollution in Leicester ; a scientific study*, London
- Great Britain, Department of Scientific and Industrial Research (1956) *Fuel Research Pamphlet (s)*, London (NL 110, NL 113, NL 118 - Polycopié)
- Grunder, L. J. & Rich, P. C. (1938) *Motor coach gassing ; report*, Los Angeles, Los Angeles Railway Corporation and Richfield Oil Corporation
- Gucker, F. T., Pickard, H. B. & O'Konski, C. T. (1947) *J. Amer. Chem. Soc.*, **69**, 429
- Haagen-Smit, A. J. (1952) *Industr. Engng. Chem.*, **44**, 1342
- Hahr, H. (1928) *Gesundheitsing.*, **51**, 497
- Haldane, J. S. (1931) *Brit. med. J.*, **1**, 366
- Heller, W. A. (1954) *Gesundheitsing.*, **75**, Heft 23-24
- Hewson, E. W. (1951) *Meteorol. Monthly*, **1**, 5
- Holmes, J. A., Franklin, E. C. & Gould, R. A. (1915) *U.S. Bur. Mines Bull.*, No. 98, p. 528
- Hueper, W. C. (1954) *Industr. Med. Surg.*, **23**, 463
- Ives, J. E. et al. (1936) *Publ. Hlth Bull. (Wash.)*, No. 224
- J. Franklin Inst.*, 1897, **143**, 393
- Kashiwai, T. (1938) *J. med. Ass. Formosa*, **37**, 1753
- Kling, A. (1938) *Rev. Hyg. Méd. prév.*, **60**, 444
- Koritnig, O. T. (1943) *Chem. Zbl.*, **1**, 1625
- LaBelle, C. et al. (1955) *A.M.A. Arch. industr. Hlth*, **11**, 297
- League Amer. Munic. Bull.*, 1907, **7**, 7
- Leeuwen, W. S. van (1931) *Münch. med. Wschr.*, **78**, 49
- Lettau, H. & Schwerdtfeger, W. (1937) *Meteorol. Z.*, **53**, 44
- Littman, F. E. (1956) *J. Air Poll. Contr. Ass. Amer.*, **6**, 171
- Löbner, A. (1937a) *Veröff. geophys. Inst. Univ. Lpz.*, **11**, Heft 4
- Löbner, A. (1937b) *Gesundheitsing.*, **60**, 97
- McCabe, L. C., ed. (1952) *Air pollution. Proceedings of the United States Technical Conference on...*, New York
- McCabe, L. C. (1956) *Industr. Engng Chem.*, **48**, 96A
- Magill, P. L., Rolston, M., MacLeod, J. A. & Cadle, R. D. (1950) *Analyt. Chem.*, **22**, 1174
- Maillard, A. (1937) *Congr. mond. Pétrole*, **3**, 557
- Mallette, F., ed. (1955) *Problems and control of air pollution*, New York
- Marsh, A. (1947) *Smoke ; the problem of coal and the atmosphere*, London
- Maurin, G. & Kling, A. (1938) *Rev. Petrol*, No. 768, p. 49
- Meetham, A. R. (1952) *Atmospheric pollution*, London
- Müller, P. M. (1941) *Angew. Chem.*, **54**, 537
- National air pollution symposia*, 1949, 1952, 1955, Los Angeles (Stanford Research Institute)

- National Smoke Abatement Society (1943) *Measures for smoke prevention in relation to plans for postwar reconstruction*. In: *Proceedings of London Conference*, London
- Noble, W. (1955) *Agric. & Food Chem.*, **3**, 330
- Ost, H. & Wehmer, C. (1899) *Chem. Ind.*, **22**, 233
- Pardoe, E. S. (1937) *Bus Transp.*, **16**, 480
- Pardoe, E. S. (1938) *Exhaust gas odours*, Chicago (Report No. 101-1 of a Subcommittee of the American Transport Association, Bus Division)
- Patton, H. W. & Lewis, J. S. (1955) *Analyt. Chem.*, **27**, 1054
- Pearson, J. L., Nonhebel, G. & Ulander, P. (1936) *Fuel Economist*, **12**, 84, 108
- Pittsburgh University (1912) *Dept industr. Res. Bull.*, **1**, 16
- Raymond, V. (1956) *Rapport du Président de la Commission interministérielle de la Pollution atmosphérique*, Paris
- Ringelmann, M. (1898) *Rev. techn.*, **19**, 268
- Roberts, E. G. (1938) *Power Plant (Engng)*, **42**, 111
- Roetschke, M. (1937) *Veröff. geophys. Inst. Univ. Lpz.*, **11**, Heft 1
- Roholm, K. (1937) *Fluorine intoxication*, London
- Sayers, R. R. et al. (1929) *Publ. Hlth Bull. (Wash.)*, No. 186
- Schepp, R. & Frömme (1938) *Papier-Fabrikant*, **36**, 178
- Schwartz, K. et al. (1955) *Mitt. Verein Grosskesselbesitzer*, **34-35**, 459
- Sci. Amer.*, 1914a, **110**, 43
- Sci. Amer.*, 1914b, **110**, 233
- Shepherd, M., Rock, S. M., Howard, R. & Storms, J. (1951) *Analyt. Chem.*, **23**, 1431
- Sherlock, H. & Stalker, E. A. (1941) *Univ. Mich. Engng Res. Bull.*, No. 29
- Sinclair, D. & LaMer, V. K. (1949) *Chem. Rev.*, **44**, 245
- Smoke Prevention Association of America (1922) *Thirty-three city ordinances adopted before 1922*. In: *Manual of smoke and boiler ordinances*, Pittsburgh, p. 96
- Stanford Research Institute (1954) *The smog problem in Los Angeles County*, Los Angeles
- Stationary Engr*, 1892, **11**, 94
- Sutton, O. G. (1949) *Atmospheric turbulence*, London
- Sutton, O. G. (1950) *J. Meteorol.*, **7**, 307
- Swartout, H. O. & Deutch, I. A. (1945) *The smog problem*, Los Angeles, Los Angeles Air Pollution Control Office
- Tebbens, B. D., Thomas, J. F. & Mukai, M. (1956) *A.M.A. Arch. industr. Hlth*, **14**, 413
- Thomas, M. D. & Ivie, J. O. (1946) *Industr. Engng Chem.*, **18**, 383
- Thomson, W. (1892) *J. Soc. chem. Ind. (Lond.)*, **11**, 12
- Tucker, R. R. (1945) *Heat. Pip. & Air Condit.*, **17**, No. 9, p. 463
- United States Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service (1956) *Proceedings of the Air Pollution Research Planning Seminar*, Washington
- Watson, W. (1899) *The effects of fog on plants grown in the houses at Kew*. In: *Transactions of the Seventh International Congress of Hygiene and Demography*, London, Eyre & Spottiswoode, Vol. 5, p. 21
- Wirth, M. & Muntsch, O. (1940) *Die Gefahren der Luft und ihre Bekämpfung*, Berlin
- Witz, M. (1885) *C. R. Acad. Sci. (Paris)*, **100**, 1385