



La qualité de l'air dans la zone Fos-L'Etang de Berre

Air quality in the Fos-L'Etang de Berre zone

Pierre GAUSSENS (*)

RÉSUMÉ

Un colloque a été organisé le 19 janvier 1996 à Syracuse par le Consortium Industriel pour la Protection de l'Environnement (CIPA) et le Comité d'Etudes sur la Pollution Atmosphérique (CSIA) sur les problèmes de pollution dans les zones industrielles.

Parmi les exposés présentés, l'un d'eux était consacré à la zone Fos-L'Etang de Berre. Après une présentation de cette zone où s'imbriquent industries et agglomérations urbaines, un bref historique est fait de la manière dont ont été, de façon générale, abordés les problèmes de pollution. Puis, quelques indications sont données sur la mesure des polluants.

Après les poussières en suspension et l'acidité forte ou le dioxyde de soufre, l'on s'est intéressé aux oxydes d'azote, à l'oxyde de carbone, aux composés organiques volatils, aux hydrocarbures et à l'ozone.

Après une période initiale au cours de laquelle l'APPA a joué un rôle important, les réseaux de mesure ont été gérés par des associations regroupant les industriels, les collectivités territoriales, les services régionaux de l'Etat et les Associations de défense de l'environnement. Ce sont aujourd'hui, AIRFOBEP pour la zone Fos-Berre et AIRMARAIX pour la zone Aix-en-Provence - Marseille.

On rappelle ensuite les valeurs de référence pour la qualité de l'air (CEE ou OMS).

Pour la zone Fos-L'Etang de Berre, on montre comment a évolué la pollution par le dioxyde de soufre et comment se situent par rapport aux valeurs de référence les autres polluants.

Une étude particulière menée par AIRFOBEP sur les gênes olfactives est ensuite succinctement présentée.

L'importance des phénomènes mettant en jeu tant la chimie que la météorologie apparaît.

Pour bien comprendre, notamment les mécanismes d'apparition de l'ozone, il est nécessaire de faire appel à des mesures précises des polluants présents dans l'atmosphère mais aussi à des modèles mathématiques explicatifs et prédictifs.

Deux études sur ce sujet sont présentées qui conduisent à penser que les modèles mathématiques sont d'une grande utilité et raisonnablement fiables.

En conclusion, il est noté que si les pollutions industrielles classiques sont maintenant bien maîtrisées, la pollution urbaine, notamment celle induite par la circulation des automobiles mérite une grande attention, ainsi d'ailleurs que la pollution à l'intérieur des locaux.

Ce sont deux sujets sur lesquels l'APPA porte aujourd'hui tous ses efforts.

ABSTRACT

The Consortium Industriel pour la Protection de l'Environnement (CIPA) and the Comité d'Etudes sur la Pollution Atmosphérique (CISA) organized a conference on pollution problems in industrial areas on 19 January 1996 in Syracuse.

One of the papers presented was devoted to the Fos-L'Etang de Berre zone.

After presenting this zone consisting of overlapping industrial and urban centres, a brief historical account was given of how pollution problems were in general dealt with. Several indications were then provided about the measurement of pollutants.

After dust in suspension and strong acidity or sulphur dioxide, attention was focused on nitrogen oxides, carbon monoxide, volatile organic compounds, hydrocarbons and ozone.

Following an initial period during which the APPA played a major role, the measurement networks were managed by associations consisting of industrialists, urban centres, regional government agencies and associations for the defense of the environment. AIRFOBEP deals with the Fos-Berre zone and AIRMARAIX the Aix-en-Provence - Marseille zone.

The reference values (EEC or WHO) used to determine air quality were then called to mind.

The evolution of sulphur dioxide pollution was shown for the Fos-l'Etang de Berre zone as was the ratio of other pollutants with respect to the reference values.

A brief summary of a study, carried out by AIRFOBEP, on olfactory discomfort was presented.

The extent of the phenomena involving both chemistry and weather was demonstrated.

To fully understand the mechanisms involved in the appearance of ozone, it is necessary to rely on the exact measurement of pollutants found in the atmosphere as well as explanatory and predictive mathematical models.

Two studies on this subject were presented. They indicated that the mathematical models are of great use and are reasonably reliable.

By way of conclusion, it was noted that the standard industrial pollutants are now well controlled. However, a great deal of attention should be paid to urban pollution, in particular pollution resulting from automobile traffic, as well as the pollution inside premises.

The APPA is currently mobilizing all of its efforts in these two areas.

* Président de l'APPA.

1. Présentation de la zone

La zone industrielle de Fos-L'Etang de Berre, située sur la façade méditerranéenne de la France (fig. 1), s'est développée après la fin de la Seconde Guerre mondiale et, particulièrement, depuis 1970.

Elle a des caractéristiques géographiques, climatiques et écologiques qui en font, du point de vue de la pollution atmosphérique, un cas d'école.

Elle est située non loin de la très grande agglomération marseillaise et de quelques autres villes telles qu'Aix-en-Provence, Istres, Marignane, Mirmas ou Martigues et la côte, au sud de la zone industrielle, abrite un certain nombre de plages.

La région est ensoleillée, soumise à des régimes de vent particuliers : mistral qui descend la vallée du Rhône, vent d'Est venu du Golfe de Gênes, brise de terre le matin, brise de mer le soir.

La proximité de l'Etang de Berre, resté longtemps à l'état naturel, le voisinage de la Camargue ainsi que de la Provence touristique attirent l'attention des défenseurs de l'environnement.

C'est ainsi que les déversements d'eau douce et d'alluvions de la Durance, détournée pour alimenter l'usine hydroélectrique de Saint-Chamas, ont donné lieu à des réactions des populations riveraines, des pêcheurs notamment, et que des solutions aux problèmes soulevés ont dû être trouvées.

Il y a dans cette zone une imbrication entre des installations industrielles : quatre raffineries, une cimenterie, des usines métallurgiques ou chimiques, des ports pétroliers, un terminal méthanier, des aérodromes, l'un civil (Marignane), l'autre militaire (Istres), une centrale thermo-électrique au Ponteau ainsi qu'une autre à Gardanne plus à l'est et un réseau routier très dense avec des villes grandes ou petites mais très nombreuses et des plages autour de Carry-le-Rouet.

Il est bien évident que, dans ces conditions, des précautions devaient être prises en matière d'environnement et particulièrement de maîtrise de la pollution atmosphérique, non seulement celle d'origine industrielle mais aussi celle d'origine urbaine.

2. Maîtrise et compréhension de la pollution atmosphérique

Maîtriser la pollution atmosphérique implique évidemment des moyens pour la mesurer et l'édiction de dispositions réglementaires pour la réduire et la limiter.

Il faut, donc, connaître les composantes de la pollution, définir les quantités maximales des polluants qui peuvent être émises, vérifier le respect de ces limitations, définir les concentrations des polluants dans l'atmosphère qui ne mettent pas en

danger la santé de la population et respectent l'écosystème, mesurer ces concentrations en ayant à l'esprit que certaines quantités de polluants ne sont pas émises dans la zone sous surveillance, mais proviennent, apportées par le vent, d'autres régions.

Par ailleurs, il faut savoir que les polluants émis localement, ou importés, peuvent réagir entre eux chimiquement, spontanément ou sous l'influence du rayonnement solaire et donner lieu, ainsi, à l'apparition de polluants nouveaux. En disant cela, on pense évidemment à l'ozone.

Mesurer ne suffit donc pas : il faut essayer de comprendre.

Or les phénomènes que met en jeu la pollution atmosphérique, son évolution dans le temps et dans l'espace sont souvent d'une grande complexité.

Ils impliquent la physique des gaz et des aérosols, leur chimie, la mécanique des fluides, la météorologie...

Les dispositifs de mesure mis en place initialement, en vue de contrôler et maîtriser la pollution atmosphérique, s'avèrent presque toujours d'une grande utilité pour les études faites en vue d'en comprendre les mécanismes.

Cependant, assez souvent, ces dispositifs doivent être complétés. Les matériels de mesure mis en place à cette occasion peuvent contribuer, à leur tour, à affiner les méthodes de surveillance et, dans certains cas, à prévoir de façon plus précise l'évolution de la pollution.

Nous allons, au cours de cet exposé, suivre l'histoire de ces démarches successives. Nous rappellerons, tout d'abord, comment son apparue les préoccupations en matière de pollution atmosphérique et les dispositifs de mesure mis en place.

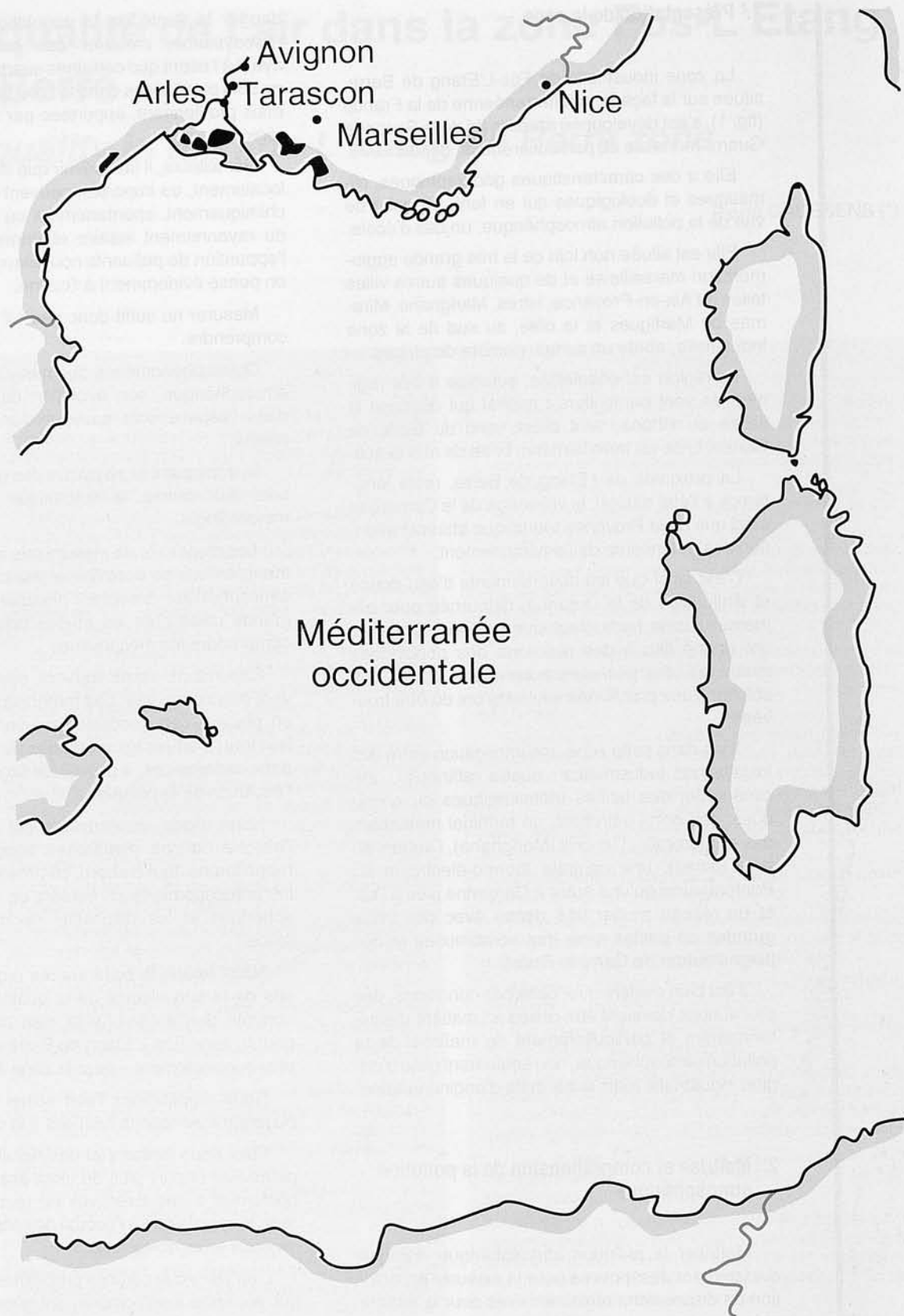
Nous ferons le point sur les organismes chargés de la surveillance de la qualité de l'air et du contrôle des émissions et cela particulièrement pour la zone Fos-L'Etang de Berre et aussi – mais plus succinctement – pour la zone Aix-Marseille.

Nous rappellerons l'état actuel des directives ou recommandations relatives à la qualité de l'air.

Puis, nous ferons état des résultats de l'action poursuivie depuis plus de vingt ans en vue de se conformer à ces directives ou recommandations avec le souci d'être à l'écoute des populations et de recueillir leurs doléances.

L'on verra que certains problèmes sont apparus qui, pour être bien compris, ont nécessité des études approfondies dont il sera donné quelques exemples.

L'on terminera en indiquant quelles orientations, en matière de maîtrise et de compréhension de la pollution atmosphérique, ces études suggèrent.



3. La qualité de l'air et sa mesure [1]

Les préoccupations en matière de qualité de l'air sont apparues lorsque des épisodes de pollution intense ont été reconnus comme étant manifestement à l'origine de troubles graves sur la santé et ce, d'autant plus que les pollutions étaient visibles.

On s'est donc intéressé aux fumées noires et irritantes dont on constatait qu'elles entraînaient des toux, des gênes respiratoires ou des irritations oculaires.

Il était facile de vérifier que ces fumées contenaient des poussières en suspension et des acides ou plus précisément des anhydrides.

Des appareils ont dès lors été mis au point qui permettaient de mesurer l'opacité des fumées noires (FN) ou les particules en suspension (PS) et l'acidité forte (AF) émises par les installations de combustion ou présentes dans l'atmosphère.

En fait, au travers de l'acidité forte, on mesurait essentiellement l'oxyde de soufre (SO_2).

Or, certains combustibles tels le gaz naturel, le propane ou le butane ne contiennent pas de soufre, mais leur combustion, comme toutes les combustions à haute température, engendre des oxydes d'azote (NO_x).

On a donc entrepris de mesurer séparément le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote en distinguant ensuite le dioxyde (NO_2) et le monoxyde (NO). Puis, les combustions étant presque toujours incomplètes, on s'est avisé, en pensant aux combustibles pétroliers mais aussi aux moteurs thermiques des véhicules automobiles, que des hydrocarbures pouvaient être émis, ainsi d'ailleurs que du monoxyde de carbone (CO) dont on connaît le danger.

On a donc mesuré les hydrocarbures totaux (HCT) et, parmi ceux-ci, plus spécialement les hydrocarbures non méthaniques (HCNM) qui interviennent dans le processus de formation de l'ozone (O_3) et bien entendu l'ozone lui-même dont les effets sur la santé sont bien connus.

Or, l'ozone n'est pratiquement jamais un polluant primaire, c'est-à-dire émis par telle ou telle source industrielle ou non. Sa formation résulte de réactions chimiques où interviennent les HCNM et d'autres composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote et la partie ultraviolette du rayonnement solaire (UV).

Les stations de mesures comportent aujourd'hui tout ou partie des appareils permettant de mesurer ces différents polluants, parfois le rayonnement solaire et certains paramètres météorologiques.

D'autres polluants sont éventuellement mesurés aussi dans certains cas où d'autres sources que les sources « traditionnelles » peuvent être mises en cause (fluor, chlore, métaux lourds...).

Ces stations sont en général installées à poste fixe mais l'utilisation de véhicules laboratoires se développe rapidement.

4. La gestion des mesures

Les stations de mesure sont généralement regroupées dans des réseaux [1] gérés depuis un poste central.

A l'origine de nombre de ces réseaux se trouvent des appareils mis en place par les Comités Régionaux de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA).

L'APPA, aujourd'hui, se préoccupe en matière de mesures, surtout des polluants non pris en compte par les réseaux. Ainsi, à Marseille, sont effectuées des mesures sur le plomb [2].

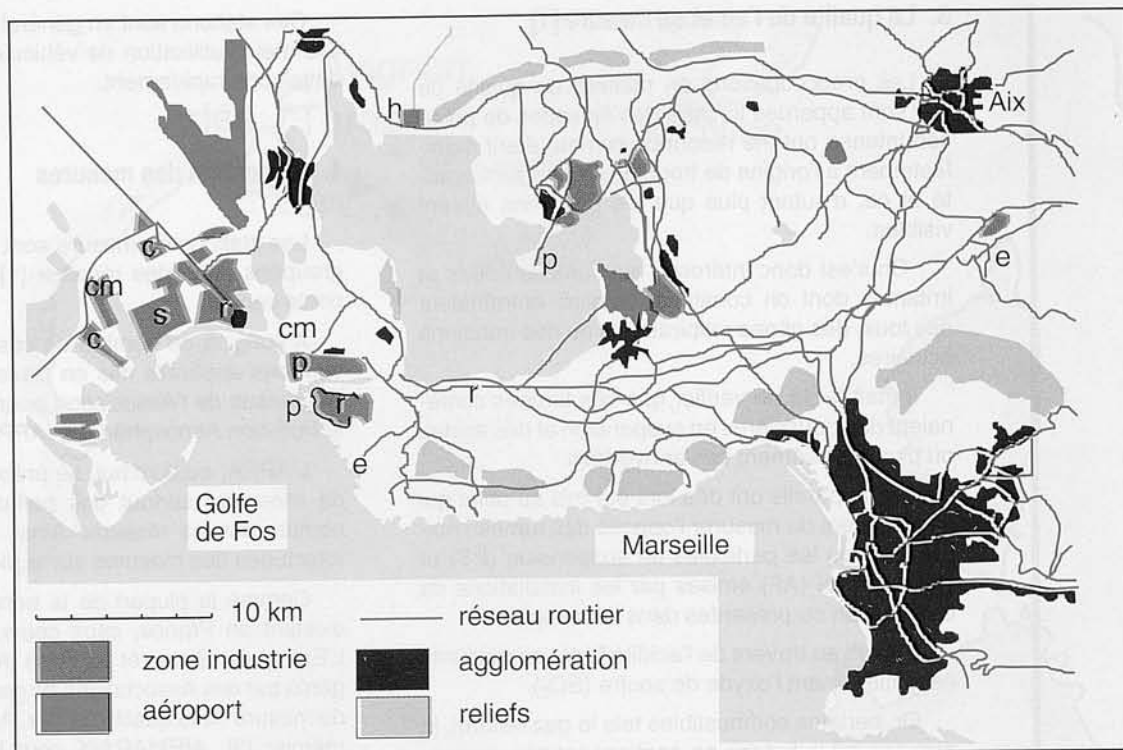
Comme la plupart de la trentaine de réseaux existant en France, ceux couvrant la zone Fos-L'Etang de Berre et la zone Aix-Marseille sont gérés par des Associations de gestion des réseaux de mesure de la qualité de l'air, AIRFOBEP pour le premier [3], AIRMARAIX pour le second (figure AIRFOBEP).

Adhérent à ces Associations : les collectivités territoriales, les industriels, les Services régionaux de l'Etat et des Associations de défense de l'environnement.

Parmi ces Associations figurent souvent les Comités Régionaux de l'APPA. Le Secrétaire Général de l'Association de Gestion est un représentant de l'Etat : le Directeur Régional de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE). Celui-ci possède, en outre un pouvoir de contrôle sur les pollutions émises par les industries d'une certaine importance. Il est en charge de faire respecter les normes fixant des limites à l'émission des polluants. Le DRIRE dispose aussi des procédures nécessaires pour faire réduire ou même cesser les émissions dans le cas de pollutions excessives : Système Temporaire d'Encadrement Réglementaire et Normatif des Emissions (STERNES).

Comme toutes les Associations de gestion, les missions d'AIRFOBEP (45 adhérents) sont les suivantes :

- gérer le réseau de stations ;
- exploiter les mesures, en particulier vérifier la conformité de la qualité de l'air aux directives européennes ;
- participer aux actions et études en vue d'améliorer la qualité de l'air ;
- diffuser des informations sur les niveaux de pollution auprès des élus, des médias et du public [3] ;
- gérer avec les services de l'Etat les épisodes de pollution justifiant une réduction des émissions industrielles polluantes.



e : centrale thermique ; h : usine hydraulique de Saint-Chamas ; r : raffinerie ; s : sidérurgie ; p : port pétrolier
c : chimie ; m : terminal méthanier ; cm : cimenterie

Figure 2

Le budget de fonctionnement de l'Association est financé à 25 % par les collectivités territoriales et à 75 % par les industriels, les cotisations de ces derniers étant prélevées sur la taxe parafiscale sur la pollution, qu'ils paient.

Outre AIRFOBEP et AIRMARAIX, il existe un Secrétariat Permanent pour les Problèmes de Pollution Industrielle (SPPPI) Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Le SPPPI comporte un groupe de Réflexion, d'Etude et de Suivi de la Pollution Industrielle de la Région de l'Etang de Berre (RESPIRE) créé en 1990 pour traiter des gênes respiratoires ou oculaires, d'odeurs du "type chlore", de la présence de teneurs élevées d'ozone et par conséquent de la pollution photochimique [4].

Dans la suite de cet exposé, on trouvera les résultats de quelques unes des études consacrées à la pollution photo-oxydante.

Quant aux odeurs, une étude gérée par AIRFOBEP a été menée en 1993-1994, les capteurs étant, si l'on peut s'exprimer ainsi, les nez des habitants de la région Fos-L'Etang de Berre et la manifestation de leur gêne se traduisant par des appels téléphoniques à des responsables de l'Association [7].

On peut noter aussi l'existence d'un Centre d'Information du Public sur les Risques Industriels et la Protection de l'Environnement (CYPRES) recevant des informations des réseaux AIRFOBEP

et AIRMARAIX ainsi que du réseau QUALIT'AIR 06 de Nice.

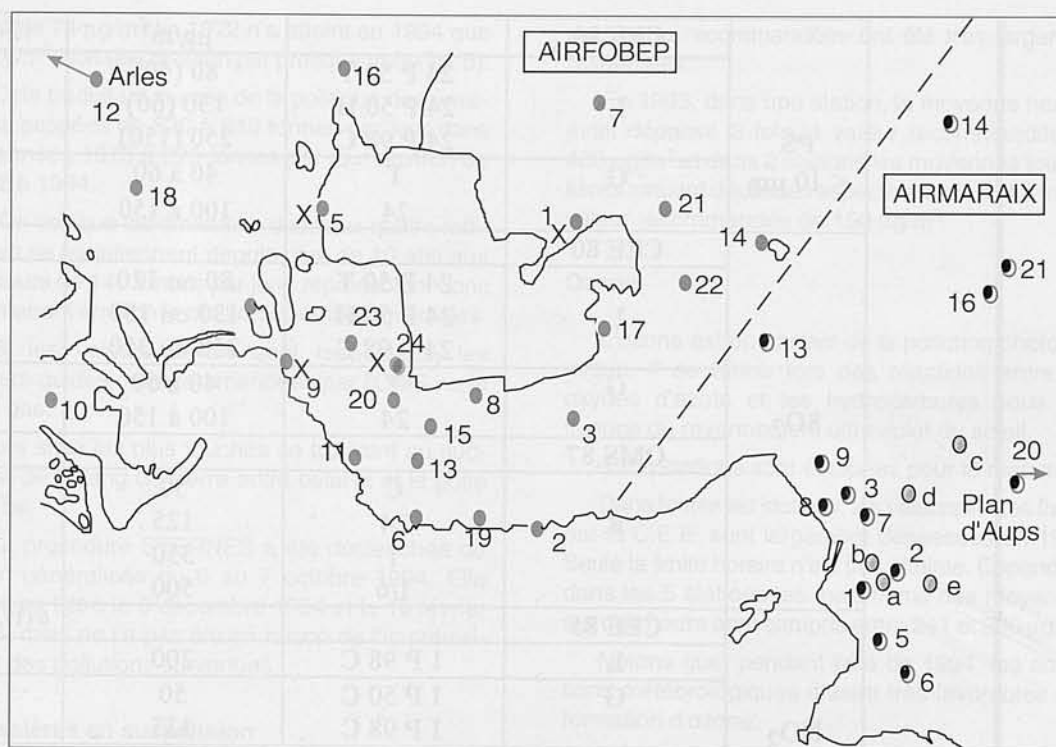
Enfin, signalons la structuration d'un dispositif de surveillance de la pollution automobile par la communauté intercommunale Marseille-Provence-Métropole en partenariat avec AIRFOBEP et AIRMARAIX.

Le réseau AIRFOBEP (fig. 3) dispose de 24 stations de mesure, automatisées depuis 1976 et contrôlées depuis un poste situé à Martigues (point 24). Le réseau AIRMARAIX dispose de 22 stations, dont seules 13 sont reportées sur la figure.

Dans le cadre de l'étude menée pour Marseille-Provence-Métropole, les stations 17 d'AIRFOBEP, 6, 9 et 13 d'AIRMARAIX seront munies d'appareils de mesure complémentaires et 5 nouvelles stations seront installées (en noir cerclé sur la figure 3). Outre ces 5 stations, (a à e) seront utilisées les stations 2, 13 et 19 d'AIRFOBEP et les stations 1 à 3 et 5 à 9 d'AIRMARAIX.

Enfin, sont représentés les 4 points utilisés entre 1975 et 1977 lors d'une étude [2] sur les taux de plomb, de zinc et de cadmium effectuée dans plusieurs zones ou villes de France sous l'égide du Ministère de la Santé.

On constate donc que la zone Fos-L'Etang de Berre a fait l'objet, depuis plus de 20 ans, d'une surveillance particulièrement active.



Points de mesure de la zone Fos-L'Étang de Berre et Aix-en-Provence - Marseille
Measurement points of Fos-L'Étang de Berre and Aix-en-Provence - Marseille zones

X : mesure de Pb.
Pb. measurement

● : réseau AIRFOBEP
AIRMARAIX
AIRFOBEP network
AIRMARAIX

○ : réseau Marseille - Provence - Métropole
Marseille - Provence - Metropolis network

Figure 3.

V. Valeurs de référence pour la qualité de l'air

Les directives européennes et recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) spécifient toujours des moyennes sur une période de temps définie.

Les différentes périodes retenues sont 10 minutes, 1 heure, 8 heures, 24 heures, un hiver, une année civile ou tropique.

Elles se réfèrent à des moyennes sur ces périodes ou à des valeurs caractéristiques des histogrammes de ces moyennes sur un hiver (01-10/01-03), sur une durée civile (01-01/01-12) ou tropique (01-04 / 31-03) de ces moyennes.

Ces valeurs caractéristiques sont les médianes ou les valeurs ayant une probabilité de 0,98 de ne pas être dépassées. On les désigne par P50 et P98, précédées de la période sur laquelle sont calculées les moyennes et suivies de la période sur laquelle est construit l'histogramme.

Pour les moyennes, on aura, donc exprimé en heure : 1/6 (10 minutes), 1, 8, 24 et pour les périodes relatives aux histogrammes H (hiver), C (année civile), T (année tropique). Ainsi 24 P 50 H signifie : médiane sur l'hiver des moyennes journalières et 1 P 98 C, moyenne sur une heure à ne pas

dépasser plus de 2 p. cent de la durée en heure de l'année civile.

Sachant par ailleurs que la moyenne sur une année civile ou tropique ou un hiver est évidemment la moyenne des moyennes sur une période de temps élémentaire, C, T et H signifieront sans qu'il soit besoin de préciser davantage : moyenne sur une année civile ou tropique ou sur un hiver.

Dans ces conditions, il est possible de présenter de façon condensée les valeurs de référence : valeurs limites (L), valeurs guides (G) ou recommandations (R).

Les valeurs pour les poussières en suspension (PS), le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x) sont données sur la figure 4, ainsi que celles relatives à l'ozone et aux hydrocarbures.

5. Evolution de la pollution dans la zone Fos-Etang de Berre [6]

Dioxyde de soufre

Les 24 stations de la zone sont équipées pour mesurer le dioxyde de soufre.

Pour la zone prise dans sa globalité [5] la moyenne sur l'année de la teneur en SO_2 initiale-

PS < 10 µm	CEE 80		µg/m³	2 (15,20) *		
	L	24 P 50 T 24 P 50 H 24 P 98 C	80 (40) 130 (60) 250 (150)			
	G	T 24	40 à 60 100 à 150	2/2 2/2		
SO ₂	CEE 80			24		
	L	24 P 50 T 24 P 50 H 24 P 98 C	80 ou 120 130 ou 180 250 ou 350			
	G	T 24	40 à 60 100 à 150	22/24 8/24 **		
	OMS 87					
	R	C 24 1 1/6	50 125 350 500	1/24 6/24 24/24		
NO ₂	CEE 85			6 (17,19,20,21,22,23)		
	L	1 P 98 C	200			
	G	1 P 50 C 1 P 98 C	50 135			
	OMS 87					
	R	24 1	150 400	2/6 1/6		
O ₃	CEE 94		µg/m³	5 (19,21,22,23,24)		
	G	8 1 (info) 1 (alerte)	110 180 360	5/5 (90 à 108 j) *** 5/5 (10 à 32 j)		
	OMS 87					
	R	8 1	100 à 120 150 à 200	5/5		
	CEE 92					
		24	65	5/5 (171 à 202 j)		
HCT	PAS DE NORMES			3 (21,22,23)		
		C (µg/m³)		24 P 98 C		
			1993	1994	1993	1994
		21	1 400	1 432	1 730	1 850
		22		1 389	1 940	2 051
		23	1 060	1 440	1 940	2 467
METEOROLOGIE 13,14,17,18,23,24						

* Nombre de stations équipées ; par exemple 2 (15,20) signifie que les 2 stations 15 et 20 sont équipées de dispositifs de mesure des poussières.

** Nombre de stations où des dépassements des valeurs limites, guides ou recommandées sont dépassées : par exemple 8/24 signifie que la valeur guide pour 24 heures pour SO₂ est dépassée dans 8 stations sur 24 et 5/5 (90 à 108 j) signifie que la valeur guide pour 8 heures par O₃ est dépassée dans 5 stations sur 5 pendant 90 à 108 jours.

Figure 4.

ment de $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1972 n'a atteint en 1994 que $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit une division par presque trois (fig. 5).

Cela traduit un succès de la politique des émissions passées de 520 à 640 tonnes par jour dans les années 1970 à 270 tonnes par jour environ de 1992 à 1994.

On voit que les émissions dues aux quatre raffineries se maintiennent depuis plus de 10 ans aux alentours de 140 tonnes par jour, représentant donc maintenant environ la moitié des émissions totales.

Si les valeurs limites sont respectées, les valeurs guides ou recommandées par l'OMS ne le sont pas.

Les sites les plus touchés se trouvent au sud-ouest de l'Etang de Berre entre celui-ci et le golfe de Fos.

La procédure STERNES a été déclenchée de façon généralisée du 6 au 7 octobre 1994. Elle aurait pu l'être le 9 décembre 1994 et le 10 février 1995, mais ne l'a pas été en raison de l'imprévisibilité des pollutions survenues.

Poussières en suspension

Seules deux stations sont équipées pour les mesurer. En 1993 et 1994, les moyennes annuelles ont légèrement dépassé les valeurs guides. Les moyennes journalières ont aussi très légèrement dépassé les valeurs guides en 1993 pour les deux stations et pour une seule en 1994.

Dioxyde d'azote

Six stations sont équipées pour le mesurer. En 1994 dans toutes les stations les valeurs limites

guides ou recommandées ont été très largement respectées.

En 1993, dans une station, la moyenne horaire avait dépassé 3 fois la valeur recommandée de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et dans 2 stations les moyennes journalières avaient dépassé respectivement 2 et 3 fois la valeur recommandée de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ozone

L'ozone est un traceur de la pollution photochimique. Il se forme lors des réactions entre les oxydes d'azote et les hydrocarbures sous l'influence du rayonnement ultraviolet du soleil.

Cinq stations sont équipées pour le mesurer.

Dans toutes les stations, les valeurs limites fixées par la C.E.E. sont largement dépassées en 1994. Seule la limite horaire n'est pas atteinte. Cependant, dans les 5 stations les maximums des moyennes sur une heure sont compris entre 241 et $290 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Notons que, pendant l'été de 1994, les conditions météorologiques étaient très favorables à la formation d'ozone.

En 1993, le nombre de moyennes horaires hors limite rapporté au nombre de stations était 2,5 fois moindre.

Il n'en reste pas moins que la pollution par l'ozone est un problème d'une grande importance dans la zone Fos - l'Etang de Berre, ce qui explique le grand nombre d'études qui lui ont été consacrées.

Hydrocarbures totaux

Les sources en sont multiples : évaporation des stockages, échappement des véhicules automobi-

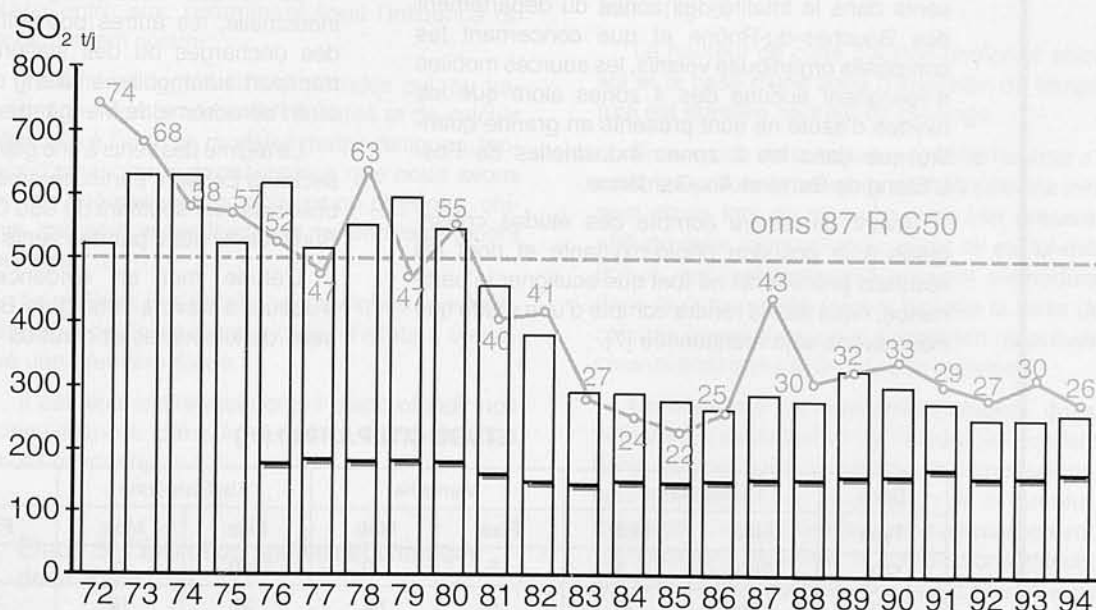


Figure 5.
Evolution de la teneur de l'air en SO_2 et des émissions dans la zone Fos-L'Etang de Berre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ et t/j).
Evolution of the SO_2 content of air and emissions in the Fos-L'Etang de Berre zone.

les, remplissage des réservoirs. On ne peut négliger, non plus, les émissions d'origine domestique, agricole ou naturelle.

Il n'existe pas de normes de qualité de l'air relatives aux hydrocarbures. Aussi, à titre indicatif, a-t-on fait figurer dans le tableau de la figure 4 les moyennes annuelles C et les percentiles 24 P 98 C exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les 3 stations équipées pour mesurer ces hydrocarbures.

Ces valeurs sont données pour les années 1993 et 1994.

Météorologie

Nous connaissons l'importance des conditions météorologiques dans les processus de formation de l'ozone et plus généralement dans le développement des pollutions.

Six stations sont équipées pour mesurer la vitesse la direction du vent, la température, la pression et l'hygrométrie.

Afin de situer la pollution dans la zone Fos-L'Etang de Berre dans le contexte plus large de la pollution dans les régions adjacentes, nous donnerons les résultats quantitatifs d'une étude [4] menée en 1990 par le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) à la demande du groupe de travail RESPIRE dont nous avons déjà parlé.

Ces résultats sont présentés sur la figure 6. Les quantités de polluants émis sont réparties entre émetteurs fixes et émetteurs mobiles (véhicules automobiles).

Il apparaît que les composés organiques volatils (COV) incluant certains hydrocarbures et les oxydes d'azote, précurseurs de l'ozone sont présents dans la totalité des zones du département des Bouches-du-Rhône et que concernant les composés organiques volatils, les sources mobiles n'épargnent aucune des 4 zones alors que les oxydes d'azote ne sont présents en grande quantité que dans les 2 zones industrielles de Fos-L'Etang de Berre et Aix-Gardanne.

Avant de rendre compte des études consacrées à la pollution photo-oxydante et dont les résultats précédents ne font que souligner la pertinence, nous allons rendre compte d'une étude que nous avons déjà mentionnée [7].

7. Etude des gênes olfactives dans la zone Fos-L'Etang de Berre

AIRFOBEP avait organisé un dispositif mettant en œuvre les réactions de la population aux gênes olfactives chroniques que celle-ci ressentait et qui se traduisaient pas des appels téléphoniques.

On n'a pas cherché à établir de lien entre ces gênes et la pollution mesurée. Entre le 1^{er} juin 1993 et le 31 mai 1994, 367 appels ont été reçus dont 320 signalaient effectivement des odeurs nauséabondes associées parfois à des irritations ou des nausées.

La figure 7 montre l'incidence des différentes sources de pollution sur les 17 secteurs géographiques entre lesquels était répartie la zone sous surveillance : les épisodes de gêne ont été individualisés.

Le nombre des épisodes ayant affecté un secteur donné décroît de 19 pour le secteur 13 à 4 pour le secteur 17, la moyenne de l'ensemble des secteurs étant de 10,64.

La répartition entre les différentes sortes de gêne est la suivante :

- odeurs : 68 % ;
- odeurs et irritations associées : 21 % ;
- dépôts de poussières : 7 % ;
- autres : 4 %.

Les secteurs Est (1 à 8) sont légèrement plus affectés que les secteurs Sud Ouest (9 à 17 sauf 12), le secteur Nord Ouest (12) l'étant très peu.

62 % des épisodes se situent entre le mois de mai et le mois d'août, 23 % entre le mois de novembre et le mois de février.

85 % des odeurs signalées sont d'origine industrielle, les autres pouvant être attribuées à des décharges ou des stations d'épuration, au transport automobile, à l'étang de Berre lui-même ou à l'aérodrome de Marignane.

Le régime des vents à une grande importance : les secteurs Est sont particulièrement affectés par les brises de mer soufflant du Sud Ouest, les secteurs Sud Ouest l'étant par des vents du Nord Ouest.

L'étude met en évidence des transports d'odeurs à travers l'étang de Berre sur une vingtaine de kilomètres et d'autres à plus grande dis-

ETUDE CITEPA 1990 (t/j)

Sites	Fos-Berre		Marseille		Aix-Gardanne		Autres	
	Fixe	Mob.	Fixe	Mob.	Fixe	Mob.	Fixe	Mob.
SO ₂	280	3	15	3	119	1	0	
NO _x	59	25	5	34	25	15	0	28
COV	50	26	1	39	2	17	0	30

Figure 6.

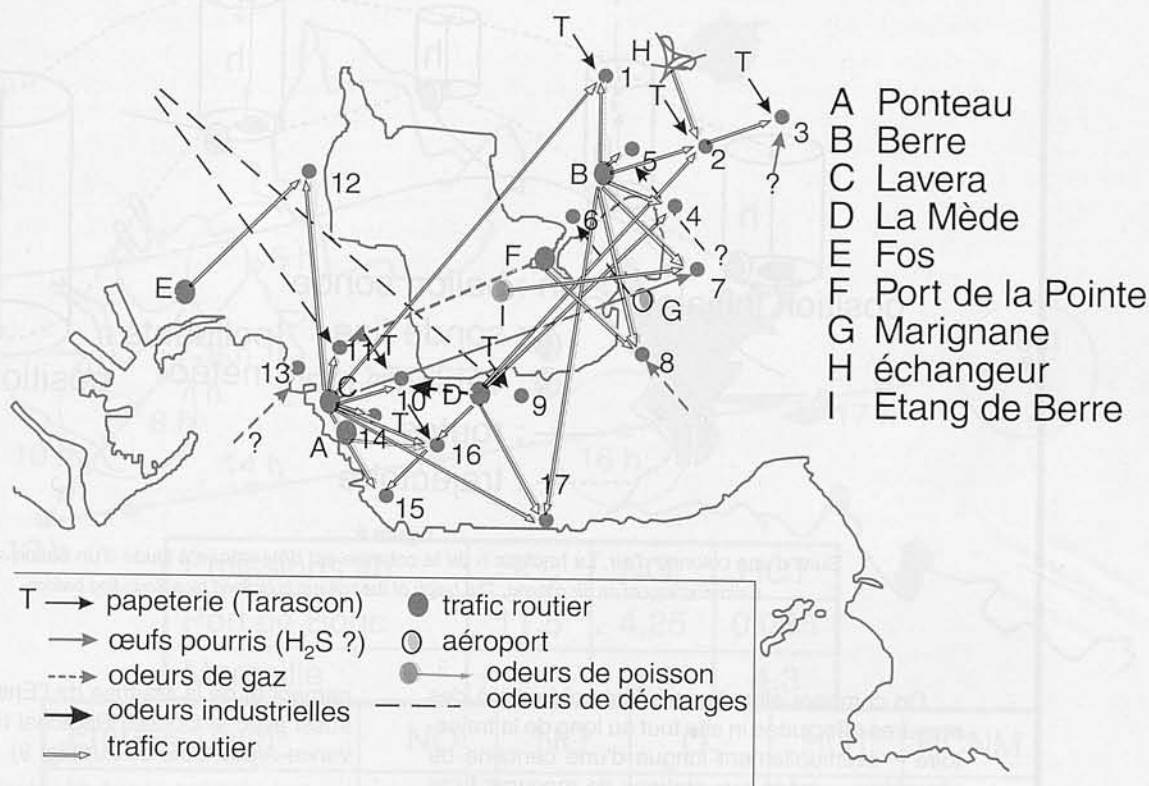


Figure 7.

tance, depuis Tarascon situé à 50 à 60 kilomètres (odeurs de papeterie).

Notons que de tels transports donnent suffisamment de temps à des polluants primaires pour réagir entre eux, notamment sous l'influence du rayonnement solaire.

Tout ceci suggère l'utilité d'études qui, au travers d'une combinaison de mesures et de calculs effectués à l'aide de modèles mathématiques, tentent d'améliorer la connaissance que nous avons de ces phénomènes complexes où physique, chimie, mécanique des fluides et météorologie jouent leur rôle.

La maîtrise des pollutions classiques : poussières, dioxyde de soufre et oxydes d'azote a constitué une première étape.

Il est nécessaire maintenant d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la pollution photo-oxydante.

8. Etude de l'évolution spatiale et chimique de masses d'air

Les deux études dont il va être rendu compte [9, 11] comme d'autres études du même type [10, 12] se fondent sur une même méthodologie.

On suit la trajectoire et l'évolution chimique d'une colonne d'air, en principe cylindrique, dont la base a une surface suffisante pour recouvrir une zone d'émission de polluants, industrielle ou urbaine (fig. 8)

La hauteur de cette colonne comprise entre le sol et la base d'une zone d'inversion de température est appelée hauteur de mélange.

Si au cours de la trajectoire, cette hauteur s'accroît, les polluants présents dans la colonne initiale sont dilués lors du mélange avec l'air présent en altitude mais, bien entendu, si cet air est lui-même pollué, les polluants qu'il contient s'introduisent dans la colonne. De même, lorsque la base de la colonne passe sur un site d'émission de polluants, ceux-ci sont incorporés dans la colonne.

Connaissant les polluants présents dans la colonne à l'instant initial de l'étude, les concentrations des polluant en altitude, les immissions en cours de trajectoire, la variation de la hauteur de mélange, l'ensoleillement et particulièrement le rayonnement ultraviolet et les réactions chimiques possibles entre les polluants, il est possible grâce à un modèle mathématique de calculer l'évolution de la composition chimique de la colonne au cours de la trajectoire qu'elle suit sous l'influence des vents.

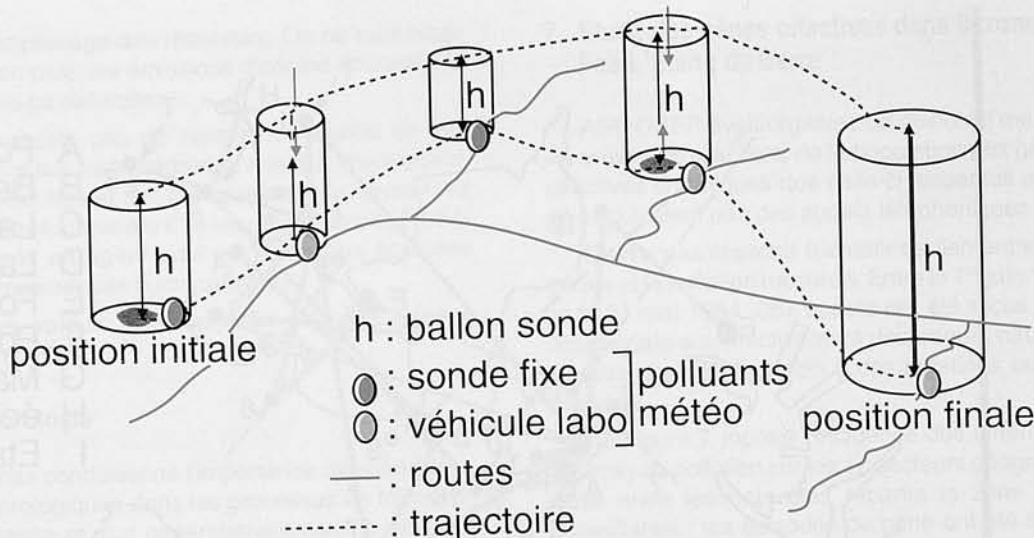


Figure 8.

Suivi d'une colonne d'air. La hauteur h de la colonne est déterminée à l'aide d'un ballon sonde.
Following way of an air column. The height of the column is defined by a Sounding balloon.

On compare alors les résultats obtenus à des mesures effectuées in situ tout au long de la trajectoire – éventuellement longue d'une centaine de kilomètres – grâce aux stations de mesures fixes situées sur la trajectoire ou à des véhicules laboratoires positionnés en fonction de l'avancement de la colonne.

Nous ne décrivons pas les méthodes de mesure qui font appel à des techniques ou des moyens sans cesse perfectionnés : radio sondages par exemple ou utilisation d'avions spécialement équipés.

Grâce aux comparaisons effectuées entre les résultats des calculs et les mesures il est possible d'apprécier la fiabilité des modèles et de les perfectionner.

En effet, comme il est quasiment impossible de prendre en compte la totalité des polluants, particulièrement des très nombreux composés organiques volatils ou hydrocarbures non méthaniques, des choix doivent être opérés et l'on en retient seulement un certain nombre que l'on pense représentatifs de familles chimiques. De même, un choix doit être fait entre toutes les réactions chimiques ou photochimiques possibles.

Suivi de la pollution par l'ozone dans la région Fos-L'Etang de Berre en juin 1983 [9]

Le modèle utilisé était le modèle EKMA-CBM III (Carbon Bond) développé par l'Agence américaine de l'environnement (EPA).

L'étude a été faite a posteriori en utilisant des données recueillies pendant une campagne organisée du 1^{er} au 16 juin 1983 par la CEE en coopération avec l'agence pour la Qualité de l'Air (AQA) intégrée depuis au sein de l'Agence de l'Environ-

nement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et aussi avec le Conseil Régional de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur (fig. 9).

Le jour qui s'est avéré le plus favorable a été le 9 juin 1983. La colonne d'air qui a été suivie avait comme point initial, à 5 h 00, la zone de Port-de-Bouc - Lavéra et avait un diamètre de 10 kilomètres. Les débits des polluants émis dans cette zone à 5 h 00 ont été estimés à 11,5 t/h de SO_2 , 4,25 t/h de NO_x et 85 kg/h d'hydrocarbures.

Les concentrations de polluants mesurées étaient de 6,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO , 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO_2 , 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour O_3 et de 2300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les hydrocarbures totaux (HCT) dont 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les hydrocarbures non méthaniques (HCNM).

Notons que la valeur de 2 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est de l'ordre de grandeur des teneurs relevées en 1993-1994 autour de l'étang de Berre (fig. 4).

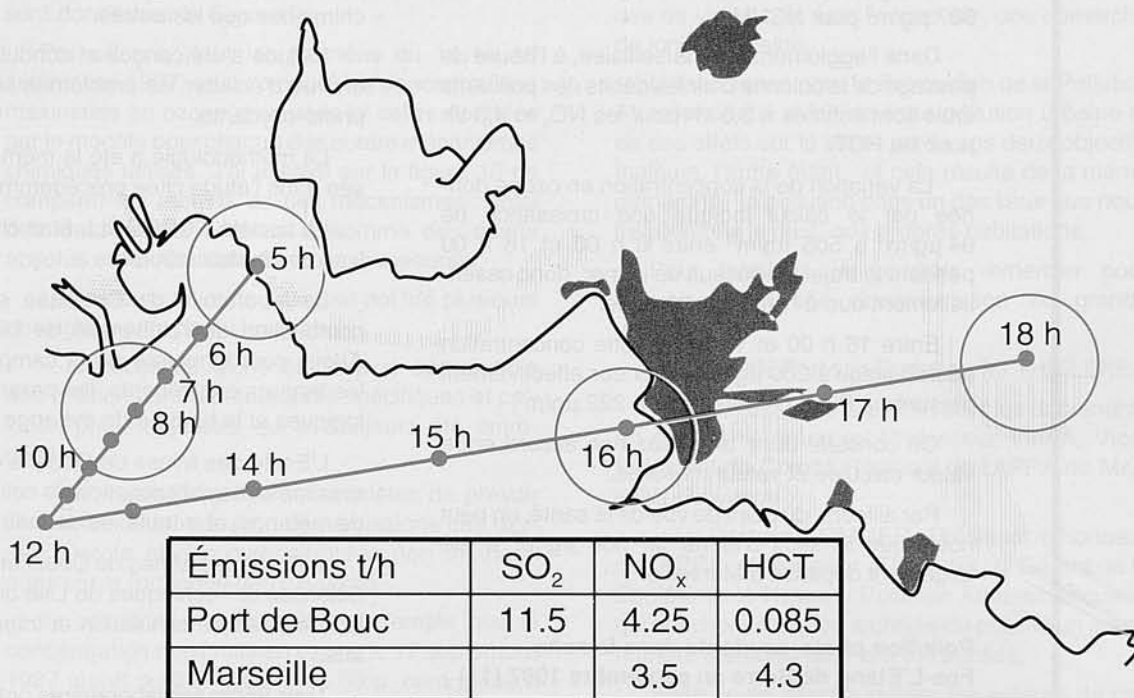
De 5 h 00 à 12 h 00, la colonne d'air s'est déplacée vers le Sud Ouest de 25 kilomètres environ, puis en direction Est Nord Est passant sur l'agglomération marseillaise entre 16 h 00 et 16 h 30 avant d'atteindre le Plan d'Aups à 18 h 00 après un nouveau trajet de l'ordre de 75 kilomètres.

Entre 5 h 00 et 8 h 00, on admet qu'il n'y a pas d'évolution chimique dans la colonne et que les concentrations en polluants mesurées à 5 h 00 sont encore valables.

A 8 h 00, l'action du rayonnement ultraviolet commence, la hauteur de mélange étant estimée à 63 mètres.

A 16 h 35, la hauteur de mélange est estimée à 626 mètres.

Les concentrations de polluants en altitude sont estimées pendant toute la durée de l'étude égales



Entrées µg/m³	NO ₂	NO	O ₃	HCT	HCNM
Colonne à 8 h	15	6.2	94	2300	900
Air en altitude	34		146		907

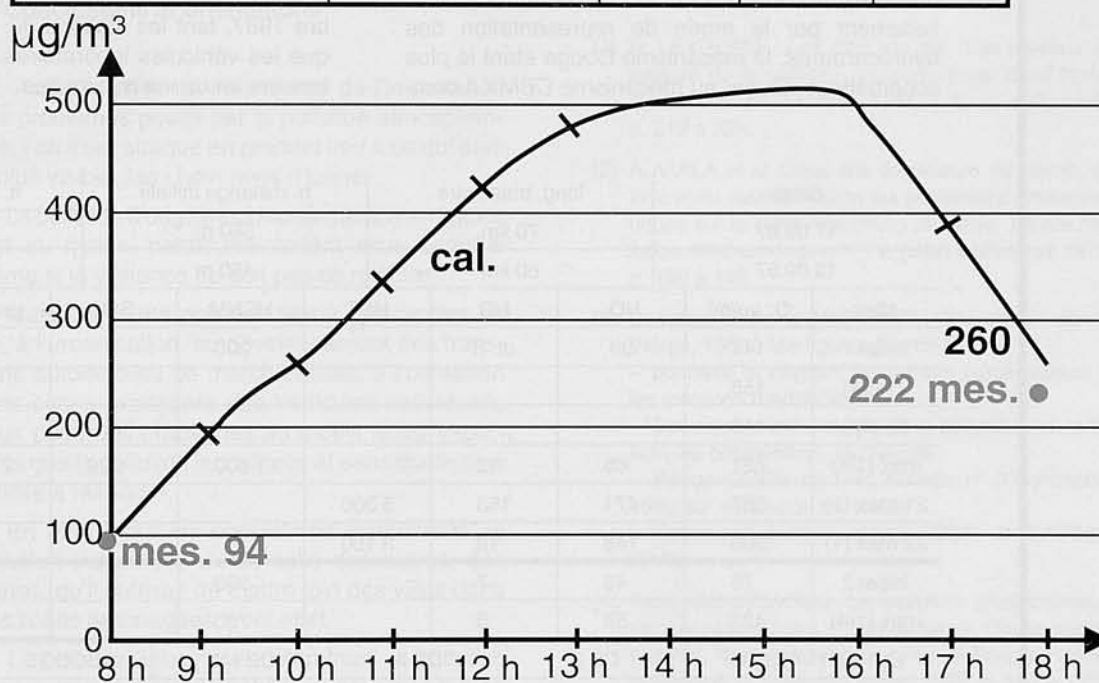


Figure 9.
Suivi d'une colonne d'air : mesures effectuées le 9 juin 1983.
Following of an air column : mesures taken on June, 9 1983.

à 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO_x , 146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour O_3 et 907 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour HCNM.

Dans l'agglomération marseillaise, à l'heure de passage de la colonne d'air les débits des polluants émis sont estimés à 3,5 t/h pour les NO_x et 4,3 t/h pour les HCT.

La variation de la concentration en ozone donnée par le calcul indique une croissance de 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 505 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 6 h 00 et 16 h 00 pendant le trajet au-dessus de la mer, donc essentiellement due à l'effet photolytique.

Entre 16 h 00 et 18 h 00, cette concentration décroît jusqu'à 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la teneur effectivement mesurée à Plan d'Aups étant de 222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

On constate donc un assez bon accord entre valeur calculée et valeur mesurée.

Par ailleurs, du point de vue de la santé, on peut noter que le seuil d'alerte de 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été largement dépassé à Marseille.

Pollution photo-oxydante dans la zone Fos-L'Etang de Berre en septembre 1987 [11]

Le modèle utilisé était aussi le modèle EKMA, mais quatre mécanismes chimiques différents ont été utilisés dont trois (CB3, CB4, CBMX) étaient de la même famille « Carbon Bond » que précédemment, le quatrième étant le mécanisme Dodge. Les mécanismes Dodge, CB3 et CB4 diffèrent essentiellement par le mode de représentation des hydrocarbures, le mécanisme Dodge étant le plus schématique. Quant au mécanisme CBMX il com-

porte deux fois plus de réactions et d'espèces chimiques que les autres.

L'étude a été conçue et conduite spécialement en vue d'éclairer les problèmes liés à la pollution photo-oxydante.

La méthodologie a été la même que celle utilisée dans l'étude citée précédemment.

La société EUROPOLL était chargée de l'analyse des hydrocarbures.

Le laboratoire de Cinétique et Chimie de la combustion de l'Université de Lille - Flandres - Artois, coordonnateur de la campagne a mesuré les teneurs en polluants, les paramètres météorologiques et la hauteur de mélange.

L'Ecole des Mines de Douai a effectué les mêmes mesures, à l'exception de celles de la hauteur de mélange, et a traité les données.

L'Ecole des Mines de Douai et l'Université des Sciences et Techniques de Lille ont mis en œuvre les modèles de simulation et interprété les résultats.

Trois véhicules laboratoires ont été mis en œuvre pendant la campagne de mesures qui s'est déroulée du 9 au 25 septembre 1987. Cette période favorable a été caractérisée par un fort ensoleillement, une absence de mistral et une bonne alternance des brises de terre et de mer.

Pour les deux journées du 17 et du 19 septembre 1987, tant les stations du réseau AIRFOBEP que les véhicules laboratoires ont enregistré des teneurs en ozone maximales.

dates		long. trajectoire		h. mélange initiale		h. mélange finale		
17.09.87		70 km		360 m		560 m		
19.09.87		80 km		450 m		770 m		
sites	O ₃ µg/m³	NO _x	NO	HCT	HCNM	SO ₂	µw/cm²	T °C
initial 1	147	39	dt. 8		300			
21 (24)	155							
22 (24)	113							
max (1/4)	621	66	12		1 800	929	2 212	24,6
21 max (1)	367	471	153	5 300				
22 max (1)	300	148	18	3 100				
initial 2	76	43	7		390			
max (1/4)	422	58	5		700	1 245	2 388	23,6
O ₃ max (1/4) µg/m²		CB 3		CB 4		DODGE		mesures
16.09.1987		500 (4)		321 (2)		437 (3)		319 (1)
17.09.1987		628 (1)		542 (3)		632 (2)		317 (4)
18.09.1987		439 (3)		376 (1)		494 (4)		382 (2)
19.09.1987		414 (1)		317 (4)		437 (2)		332 (3)
comparaison modèles		261 (9)		188 (10)		264 (11)		402 (10)
								10

Figure 10.

Les résultats essentiels pour ces deux journées sont donnés sur la figure 10.

Par ailleurs, pour les journées du 16 au 19 septembre 1987, on a comparé les concentrations maximales en ozone mesurées et celles données par le modèle pour chacun des quatre mécanismes chimiques utilisés. J'ai essayé sur la figure 10 de comparer les mérites de ces mécanismes : total des classements obtenus et somme des écarts absolus entre résultats des calculs mesures.

Les auteurs de cette étude en ont tiré plusieurs enseignements parmi lesquels :

- la nécessité d'une étude plus approfondie des relations entre précurseurs spécifiques et pollution photo-oxydante qui a d'ailleurs été entreprise ;
- la possibilité grâce aux modèles de prévoir l'influence de la réduction des émissions des oxydes d'azote et des hydrocarbures non méthaniques sur la formation des oxydants.

Ils ont ainsi montré à titre d'exemple que la concentration maximale en ozone le 17 septembre 1987 aurait pu être réduite de 50 p. cent grâce à une réduction du même ordre de grandeur des concentrations initiales en hydrocarbures non méthaniques, une réduction des oxydes d'azote n'ayant pratiquement que très peu ou pas d'effet.

9. Conclusions et orientations

Après la prise de conscience de l'importance des problèmes posés par la pollution atmosphérique, l'on s'est attaqué en premier lieu à ce qui était le plus visible, les cheminées d'usine.

La pollution d'origine industrielle dans nos régions tout au moins, paraît maintenant sous contrôle même si la vigilance ne doit pas se relâcher.

Mais une autre pollution liée à nos modes de vie, à l'urbanisation, au développement des transports automobiles de marchandises, à l'utilisation sans cesse croissante des véhicules individuels, nous pose des problèmes au moins aussi importants que la pollution industrielle et sans doute plus difficile à résoudre.

En effet, pour les populations concernées, la pollution industrielle c'était celle des autres, des usines, qu'il suffisait de mettre loin des villes dans des zones aménagées à cet effet.

La pollution urbaine et notamment la pollution par les transports automobiles, c'est nous qui en sommes directement responsables.

Il faut donc non seulement bien comprendre ce qu'est cette pollution, ce qui la produit, comment elle se répand, mais encore faire les efforts nécessaires pour qu'à son tour, nous la maîtrisons.

Les progrès techniques certes contribueront à cette maîtrise mais cela ne suffira sans doute pas

et il faudra peut-être que nous adaptions nos modes de vie et cela sera à coup sûr, une démarche de longue haleine.

L'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique a fait de cette pollution urbaine et de ses effets sur la santé un de ses deux objectifs majeurs, l'autre étant - et cela résulte de la même démarche - la pollution dans un des lieux que nous fréquentons le plus, nos propres habitations.

Pour terminer, je voudrais remercier pour m'avoir fourni une documentation de grande valeur :

- AIRFOBEP et son Directeur M. THIELEKE,
- AIRMARAIX et le SPPI dont les documents on été réunis grâce au Professeur VIALA, Vice-Président du Comité Régional de l'APPA de Marseille-Provence ;
- le Docteur SOMMER, Président d'honneur de l'APPA, et Monsieur JOURNIEUX, Gérant de la Société de la Revue « Pollution Atmosphérique », qui ont choisi dans les archives de celle-ci un grand nombre d'articles qui y ont été publiés.

Enfin, je ne saurais oublier les auteurs de ces articles qui m'ont beaucoup appris et sans le savoir desquels je n'aurais pu construire cet exposé.

Références

- [1] R. LEYGONIE, J.-R. DELANDRE. Les réseaux de mesure de la pollution atmosphérique dans l'environnement en France. TSM, *L'Eau*, avril 1989, p. 219 à 229.
- [2] A. VIALA *et al.* Deux ans de mesure du plomb, du zinc et du cadmium dans les poussières atmosphériques sur la zone Fos-Etang de Berre. *Revue Pollution Atmosphérique*, n° 79, juillet/septembre 1978, p. 196 à 198.
- [3] Documentation d'AIRFOBEP (24, route de la Vierge, 13500 Martigues, France)
 - pochette et dépliant présentant l'organisation et les missions d'AIRFOBEP,
 - Documents techniques sur la pollution : sa diffusion, sa composition, sa mesure,
 - Revue Qualité de l'Air, Bulletin n° 33 d'octobre 1995 sur le dioxyde de soufre,
 - Document conjoint d'AIRFOBEP et d'AIRMARAIX.
- [4] René BOUSCAREN. La pollution photochimique dans la région Fos-L'Etang de Berre. Observations, analyse, recommandations. *Revue Pollution Atmosphérique*, octobre/décembre, 1992, p. 112 à 127.
- [5] Document du SPPI. Séance plénière de la Commission Air du 23 juin 1995.
- [6] AIRFOBEP. Bilan synthétique de la Qualité de l'Air, Année civile 1994 - année tropique 1994-1995.
- [7] AIRFOBEP. Exploitation des appels de la population de la zone Fos-L'Etang de Berre signalant des gênes olfactives, 1^{er} juin 1993-31 mai 1994.

- [8] La qualité de l'air à Marseille, une ville aux accents particuliers.
- [9] J.-C. DECHAUX *et al.* Tentative d'application d'un modèle lagrangien à la pollution atmosphérique par l'ozone dans la région Fos-Berre lors de la campagne européenne de juin 1983. *Revue Pollution Atmosphérique*, avril-juin 1987, p. 111 à 116.
- [10] J.-C. DECHAUX *et al.* Pollution photo-oxydante et modélisation lagrangienne - Campagne de mesures dans le Nord - Pas-de-Calais. *Revue Pollution Atmosphérique*, juillet/septembre 1990, p. 279 à 291.
- [11] J.-C. DECHAUX *et al.* Pollution photo-oxydante et modélisation lagrangienne - Validation du modèle EMMA au cours d'un épisode de smog photo-chimique mis en évidence lors de la campagne de mesures dans le bassin Fos-Berre 1987. *Revue Pollution Atmosphérique*, juillet/septembre 1992, p. 50 à 65.
- [12] J.-C. DECHAUX *et al.* Etude sur modèle de l'influence de l'heure d'été sur la pollution photo-oxydante. *Revue Pollution Atmosphérique* octobre/décembre 1986, p. 248 à 256.

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

is the publication of the French Association for Air Pollution Prevention (APPA) and the only French journal dedicated to air pollution. The papers of all the principal researches in the field are published in its pages.

Wishing to interest readers who do not speak French, titles, summaries and captions of tables and figures will now also be published in English. Results of air quality research contracts managed by the Ministry of Environment will also be published in English.

The journal is available to specialists from other countries to release the results of their work to the French speaking community. Authors should send their papers, drafted either in English or in French, to the Managing Editor, who will submit them to the Editorial Committee. If selected, they will be published in French and English. The journal will take care of translation.

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

QUARTERLY REVIEW

EDITOR - ADMINISTRATION - ADVERTISING
58, RUE DU ROCHER F. - 75008 PARIS
Tél. (1) 42 93 62 07 - 42 93 69 30
Fax (1) 42 93 41 99

SUBSCRIPTION FORM

NAME : _____

ADDRESS : _____

wishes to take out a one year subscription to POLLUTION ATMOSPHERIQUE.

Attached is a cheque for F. : _____ (Payment in French Francs only).

Date _____

Subscription 1996 (4 issues) = 680 F.F. Signature _____

For the Union European Enterprises, please to indicate your VAT number.