

INDÚSTRIA

ETUDES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DE LA VILLE DE LISBONNE (1)

ADOLFO GIL EJARQUE

MÁRIO DE QUINTANILHA

SACOR — Société Anonyme Concessionnaire du Raffinage des
Pétroles au Portugal
Lisbonne

1 — INTRODUCTION

Les premières études de la Sacor sur la pollution atmosphérique remontent à 1954, quand il parut opportun de déterminer la part afférente à sa raffinerie de pétrole dans l'accroissement de la pollution de la ville de Lisbonne (2).

Une section d'étude de la pollution et de météorologie fut alors créée et organisée à l'image des Laboratoire National d'Essais et Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, qui, en France, se consacrent à l'étude de la pollution.

Au début, ce groupe se préoccupa uniquement des problèmes de la pollution inhérente à la raffinerie, mais, par la suite, il s'intéressa à la pollution atmosphérique de la ville en général.

La présente communication se rapporte plus particulièrement aux plans d'études élaborés en ce sens. Toutefois, d'abord, nous rappellerons brièvement la situation géographique de la ville, son climat, ses industries, etc.

1.1 — SITUATION GÉOGRAPHIQUE, TOPOGRAPHIE ET CLIMAT

Lisbonne est implantée sur une zone très accidentée (petites vallées, collines et plaines) (3). Son climat est tempéré (température: minimum, + 2°C; maximum, + 37°C). Fin octobre, en hiver et au printemps les pluies sont abondantes; de juin à septembre

il ne pleut pratiquement pas, toutefois de faibles précipitations sont observables en mai et en septembre.

Le vent dominant est de nord-ouest (60 %), soufflant vers le fleuve, avec une vitesse moyenne de 18-19 km/h. D'octobre à mars soufflent fréquemment des vents de NE, de faible vitesse (10 km/h) (4).

1.2 — POPULATION ET INDUSTRIE

Sa population (environ 1 million d'habitants) se répartit sur une superficie de 100 km² (5).

La densité des industries sur l'aire urbaine est faible. Elles se situent le long de deux bandes contiguës aux installations portuaires (6). Du fait de conditions

(1) Communication présentée au XXVII Congrès Luso-Espanhol pour l'Avancement des Sciences — Bilbao, juillet 1964.

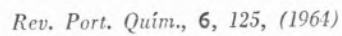
(2) La raffinerie créée en 1939 et développée en 1952-54 se situe sur la rive droite du Tage, à l'est de la ville.

(3) Voir les côtes de niveau mentionnées sur le plan en annexe.

(4) Serviço Meteorológico Nacional, Lisbonne.

(5) Comme la ville s'étend sur des vallées et des collines, il est clair que sa superficie est supérieure à celle mesurable sur le plan.

(6) Voir sur le plan en annexe les deux bandes marquées en hachuré.



économiques plus favorables et aussi grâce aux règlements officiels, la plus grande partie des industries s'est heureusement localisée en dehors de la ville (1).

1.3 — COMBUSTIBLES POUR USAGES DOMESTIQUES — POLLUTION

Du fait du climat tempéré, les combustibles utilisés pour le chauffage domestique se limitent à de faibles tonnages d'antracite et de gasoil, d'autant plus qu'il est également fait usage de kérosène, de gaz butane et d'électricité. Pour les autres usages domestiques, les combustibles préférés sont le kérosène, le gaz de ville et le gaz butane. Malgré la faible consommation de combustibles susceptibles de polluer l'atmosphère et la faible densité de répartition des industries au sein de la ville, on peut noter quelques fois à Lisbonne, à certaines époques de l'année, une pollution atmosphérique qui se manifeste par une réduction de la visibilité provoquée par l'accumulation à basse altitude d'aérosols de couleur marron, dans une atmosphère pesante, inconfortable et irritante pour les voies respiratoires et à l'odeur particulière.

1.4 — CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET DISPERSION DES POLLUANTS

Pendant une grande partie de l'année, les conditions météorologiques sont favorables à la dispersion des polluants, mais, fin octobre et en été, la capacité de diffusion diminue parfois considérablement pendant des périodes de durée appréciable, par suite de la stabilité atmosphérique, des vents faibles et de directions peu favorables. Durant ces périodes, les polluants s'accumulent sur la ville.

2 — ETUDE DE LA POLLUTION

2.1 — PREMIER PLAN D'ETUDE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Ce plan fut établi avec, pour objectif principal, la caractérisation et la définition de la pollution éventuellement imputable à la raffinerie. Dans ce but un poste météorologique complet fut installé ainsi qu'un poste central (poste n° 1) pour la mesure de la pollution, à une distance de 700 m, un second poste à l'intérieur de la ville, à 4000 m de la tour de cracking (2); un réseau de panneaux vaselinés (procédé Dr. Diem) tout autour de la raffinerie pour la captation des particules sédimentaires et une petite

voiture pour opérer des prélèvements d'air en dehors de la raffinerie.

2.2 — SECOND PLAN D'ETUDE ET OBJECTIFS

Fin 1960 un second plan fut décidé dans le but d'amplifier les objectifs du premier et de définir le caractère prédominant et la forme de distribution de la pollution sur la ville de Lisbonne. Ce plan est actuellement en cours d'exécution.

Les études visent principalement la prospection et le dosage quantitatif des polluants, l'étude de leur variation dans le temps et l'influence des facteurs météorologiques sur cette variation. Mais des études sont également envisagées, en liaison avec des organismes officiels, sur l'association possible de la morbidité et la mortalité avec la pollution atmosphérique, ainsi que des effets de la toxicité de l'atmosphère sur les personnes appelées, de par leurs obligations professionnelles, à séjourner en permanence dans des zones à trafic automobile intense.

Pour compléter les objectifs du premier plan, le réseau de détection fut augmenté par l'implantation en ville de postes, de manière à entourer la raffinerie (3); également dans les faubourgs et à la périphérie de la cité (4), de manière à définir la pollution de la zone urbaine. D'autres postes furent installés en des zones caractéristiques (5) (résidentielles, industrielles, à grand trafic automobile, etc.). Une camionnette est en cours d'équipement pour être utilisée comme laboratoire mobile. (Voir équipement, etc. Tableaux I et II).

3 — RESEAU DE DETECTION

3.1 — TYPES DE POSTES ET LEURS EQUIPEMENTS

Les postes n'ont pas tous le même équipement. En dehors du poste central (6), existent cinq types différents dont les caractéristiques sont mentionnées au tableau I.

(1) Sur le plan en annexe les directions des concentrations industrielles en dehors de la ville sont signalées par des flèches.

(2) Actuellement poste n° 12. Voir plan en annexe.

(3) Postes n° 3, 4, 6 et 7.

(4) Poste n° 5 à Vila de Moscavide et poste n° 2 dans la périphérie de la ville (Collège Valsassina).

(5) Postes n° 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17.

(6) Poste n° 1.

Tableau I

EQUIPEMENT		ESSAIS EFFECTUES	FREQUENCE DES ESSAIS	TYPE D'ANALYSE
Reference	Apareillage			
a	Anémographe, Thermohygrographe, Psicomètre, Évaporimètre, Thermomètres à max. et min., Udographe, Pluviomètre, Baromètre, Barographe, Héliographe	Météorologiques	Journalière, hebdomadaire, mensuelle	
b	Sondes, Pitot, Trappes, Compteurs, etc.	Sondages de cheminées		Vol. gazeuses, poussières, composition de gaz, (SO_2 , CO_2 , oxy. de N, aldéhydes etc.)
c	Whostoff Bochum (H. Wösthoff. O.H.G. Bochum)	SO_2	Instantanée	SO_2 de l'air
d	S.F. (Soufre et fumées)	SO_2 et fumées	Journalière	SO_2 de l'air, fumées
e	Onera 80 (Le Controle de Chauffe — Paris)	CO	Instantanée	CO de l'air
f	Onera 80 (Le Controle de Chauffe — Paris)	CO_2	Instantanée	CO_2 de l'air
g	Lab. d'Hygiène de la Ville de Paris. (Appareil conçu par le:)	CO_2	Journalière	CO_2 de l'air
h	Teflon (Appareil conçu par le Lab. d'Hyg. de la Ville de Paris))	Poussières et goudrons	Mensuelle	Poussières et goudrons, cancérigènes
i	Owens (British Standard Deposit Gauge)	Poussières solubles et Goudrons	Mensuelle	Poussières + goudrons, mat. combustibles, cendres solubles, pH, SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+}
j	Panneau vaseliné dr. DIEM	Poussières sédimentaires	Hebdomadaire	Pondérale
l	Petit pluviomètre	Solutés		pH, SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-
m	Titri-log (Consolidated Eng. Corp. — U. S. A.)	SH_2 , SO_2 , RSH		SH_2 , SO_2 , RSH de l'air
n	Analyseur d'anhydride sulfureux (Evans Electro-selenium)	SO_2		Iodométrique
o	Staplex (The Staplex Co. — U. S. A.)	Poussières et goudrons		
p	RAC (Research Appliance Co.)	SH_2 , Fumées		
q	Sacs de Polyéthylène, Rylsan, Mylar, etc. (a)			
r	Train de filtration			Cations, Anions
s	Train de captation à flacons laveurs			NaCl, NO, NO_2 , oxyd. etc.

(a) L'air capté est analysé à la raffinerie sur les contenants: CO_2 , CO, SO_2 , Cl, oxydes d'azote, aldéhydes, carbures d'hydrogène, etc.

NOTA — Accessoires, quelques types de postes ont en commun un petit pluviomètre, un panneau Dr. DIEM ou les deux à la fois.

Tableau I (cont.)

EQUIPEMENT	METHODE ANALYTIQUE	Type de Postes/Equipement						OBSERVATIONS
		Central	A	B	C	D	E	
a		+						
b	A.P.I.	+						
c	Conductimétrie	+						
d	Volumétrie et pondérale	+	+	+	+			Transf. en H_2SO_4 et titration à $B_4O_7Na_4$ Reflectométrie et pesée
e	Infra-rouge	+						
f	Infra-rouge	+						
g	Volumétrie	+	+	+				Réaction à l'eau de baryte
h	Pondérale, chromatographie, spectrométrie ultra-violets	+	+					Cancérigènes
i	Pondérale et volumétrie	+	+			+		Analyse par voie hu- mide
j		+	+					
l	Volumétrie	+	+					Anal. voie humide journalière les jours de pluie
m	Oxyd. par Br						+	
n	Colorimétrie						+	
o	Filtration						+	
p	Filtration						+	Reflectométrie et pe- sée
q	Polarographique, cromato- graphique, spectrographi- que ionisation flamme						+	
r	Colorimétrie						+	Filtration sur papier
s	Colorimétrie, spectrogra- fique						+	

Tableau II

Type de poste	N° des postes	Types de zones				
		Industrielle	Résidentielle			Parc
			Pure	Grand trafic	Industrielle	
Central	1	1	3	7	10	9
A	12		4	8	17	2
B	5, 10, 14, 17		5	13		
C	2, 3, 6, 7, 13, 15		6	14		
D	4, 8, 9, 11, 16		11	15		
E	Lab. mobile		12, 16			

Ainsi le poste central possède tous les types d'appareils que l'on rencontre dans les autres postes, ainsi que des appareils électroniques d'enregistrement continu du SO_2 (Whostoff-Bochum), de CO_2 et CO (ONERA 80) (1).

La raison de la création de types variés de postes fut principalement d'ordre économique (construction d'abris, équipement, manutention, transports, personnel). La sélection de leurs équipements fut faite de façon à permettre: le dosage de polluants dans la phase de dispersion et de suspension, dans celle de sédimentation ou de retombée au sol et en même temps l'exécution d'un travail de routine facile et à moindres frais.

Les données météorologiques proviennent du poste météorologique de la SACOR (installé dans la raffinerie) ainsi que du Service Météorologique National. Quant au poste mobile, l'appareillage qu'il possède et les polluants qu'il dose sont décrits au tableau I.

3.2 — CHOIX DU MATERIEL, ENREGISTREMENT ET RECHERCHE DE DONNEES

Les différents postes sont visités journalièrement, hebdomadairement ou mensuellement, par des équipes de personnel du service qui procède au remplacement des appareils, des solutions, etc., ainsi qu'au transport au laboratoire de la raffinerie en fin d'examen des prélèvements et analyses.

Les résultats obtenus et ceux qui découlent de l'étude des graphiques sont ensuite groupés statistiquement de manière à permettre: l'exploitation et l'étude des données, les calculs et études mathématico-statistiques, ainsi que la réalisation des graphiques correspondants.

4 — AMPLITUDE DU PLAN ET SON INTERET

La réalisation intégrale de ce plan représente sans aucune doute une contribution notable de la part d'une entreprise privée à la résolution d'un problème d'actualité et d'intérêt économique-social. Il ne représente pas, évidemment, une solution idéale et il y aurait intérêt à le développer encore.

Si l'on considère qu'une tasse Owens (2) représente la moyenne des précipitations sur une aire circulaire de 230 m de rayon, 16 ha, et qu'un appareil S. F. couvre une zone circulaire de 500 m de rayon, 78,5 ha, on remarque facilement que la densité des postes est faible.

Toutefois le réseau en place et le laboratoire mobile contribueront d'une manière considérable à la résolution du problème de la pollution atmosphérique de Lisbonne, et nous pouvons, d'ores et déjà, affirmer que, grâce aux travaux effectués jusqu'à ce jour, il apparaît déjà possible d'éclaircir des problèmes d'importance, comme nous le verrons par la suite.

5 — VARIATION DU TAUX DE SEDIMENTATION DES POUSSIÈRES

Parmi les substances émises dans l'atmosphère sous forme de particules, beaucoup retombent au sol. Pour évaluer cette pollution, différentes techniques étaient utilisables. Nous avons adopté celle des panneaux vaselinés du Dr. Diem (3), les plaçant à des distances variées et suivant diverses directions.

(1) H. WÖSTOFF. O. H. G. Bochum — *Allemagne et le Contrôle de Chauffe*, Paris (ONERAS 80).

(2) British Standard Deposit Gauge.

(3) Procédé Dr. Diem

L'étude que nous présentons se réfère à une année et correspond à 1776 déterminations; l'étude définitive se rapporte à 5 ans.

Les courbes de sédimentations de chaque emplacement indiquent une variation identique, qui, minimum d'octobre à avril (1^{re} période), devient importante de mai à septembre (2^e période) (fig. 1).

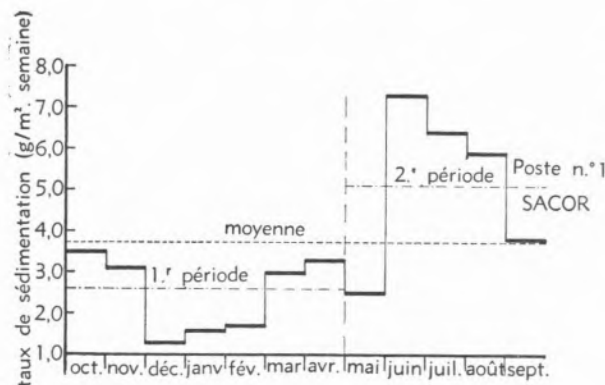


Fig. 1 — Variation mensuelle des poussières sédimentaires.

La courbe de la variation du taux de sédimentation en fonction de la distance pour l'ensemble des résultats (courbe de tendance) correspond à une parabole:

$y = 0,567 + 1,099x - 0,077x^2$, dans laquelle $y = \text{g/m}^2/\text{semaine}$ (taux de sédimentation) et $x = \text{distance horizontale}$ (fig. 2), ce qui représente, d'une manière satisfaisante, les résultats observés. La courbe présente un maximum aux environs de 712 m, auquel correspond un taux de sédimentation de 4,58 g/m²/semaine. A partir de 1200 m on tend vers le taux moyen (1,97 g/m²/semaine) des deux références. Comme les références sont à des distances suffisamment grandes pour n'être pas influencées par cette pollution (1), on en conclut que le taux moyen de 1,97 doit être considéré comme représentatif de la pollution naturelle des particules sédimentaires. En conséquence, il convient de déduire ce taux des résultats correspondants de la courbe pour définir la part imputable à la pollution industrielle.

Ainsi, nous obtenons pour le maximum $4,58 - 1,97 = 2,61$ g/m²/semaine et pour la moyenne totale de 3,4 g/m²/semaine, nous obtenons $3,4 - 1,97 = 1,43$ g/m²/semaine.

En observant qu'à partir de 1200 m le taux est égal à celui de la pollution naturelle, cette pollution industrielle n'atteint pas de centres d'habitations, étant

donné qu'il n'en existe pas dans ces limites autour de cette zone industrielle.

6 — CYCLE ANNUEL DE LA POLLUTION

Lors d'une communication à un congrès à Paris (2) il nous a été donné de révéler l'existence d'une va-

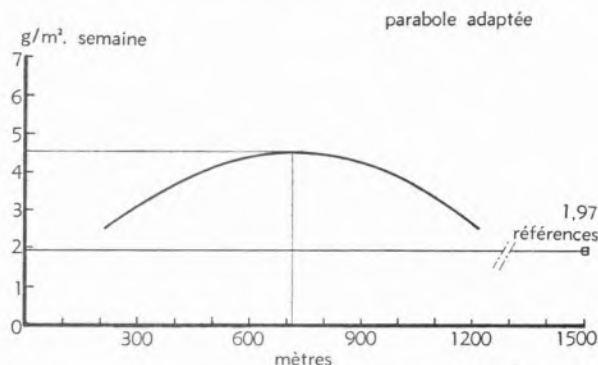


Fig. 2 — Moyenne des poussières au sol (g.m⁻², semaine⁻¹).

riation annuelle de la pollution (3) inverse de celle qui s'observe à Paris (fig. 3), Londres, ainsi que dans d'autres villes d'Europe.

Tandis que dans ces villes la pollution moyenne est maximum pour les mois d'octobre à avril et minimum les autres mois; à Lisbonne, au contraire, on observe que la pollution est minimum de novembre (4) à avril et maximum de mai à septembre, ainsi qu'il apparaît sur le graphique (fig. 3-A et B). En fait, cette différence se traduit, tant pour le CO₂ que pour SO₂, par une augmentation de 49,6 % dans l'air pollué de la période estivale. Les tests statistiques indiquent une corrélation linéaire significativement positive entre CO₂ et SO₂ (5).

La pollution exprimée par les équations de régression, $y - 0,0042 = 0,00093(x - 333,7)$ et $x - 333,7 = 81,31(y - 0,0042)$, où x représente la mesure de CO₂ et y la mesure de SO₂, permet (dans les limites respec-

(1) Poste n° 12, en ville, à 4400 m, et Quinta do Seco, à Oeiras, en pleine campagne, à 17 692 m.

(2) Premier Congrès National pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique, Contribution à l'étude de la Pollution Atmosphérique de la ville de Lisbonne, par Mr. Mário de Quintanilha.

(3) Observé au poste n° 1 — Sacor — Lisbonne.

(4) Les travaux ont commencé au mois de novembre 1958.

(5) Coefficient de corrélation. Analyse de la variance. Niveaux de signification.

tives) de calculer une valeur approchée d'une des grandeurs en fonction d'une valeur déterminée de l'autre. Par conséquent, les variations mesurées de CO_2 et SO_2 sont de ce fait également représentatives de la pollution.

D'un autre côté, les tests statistiques de la différence entre les moyennes ⁽¹⁾ et l'analyse des va-

intensités respectives, la hauteur de base de ces inversions et leur durée (fig. 4). Par le moyen de l'analyse statistique on a pu donc conclure que le taux de SO_2 augmentait d'une manière significative en présence des inversions lorsque celles-ci se situaient au niveau du sol.

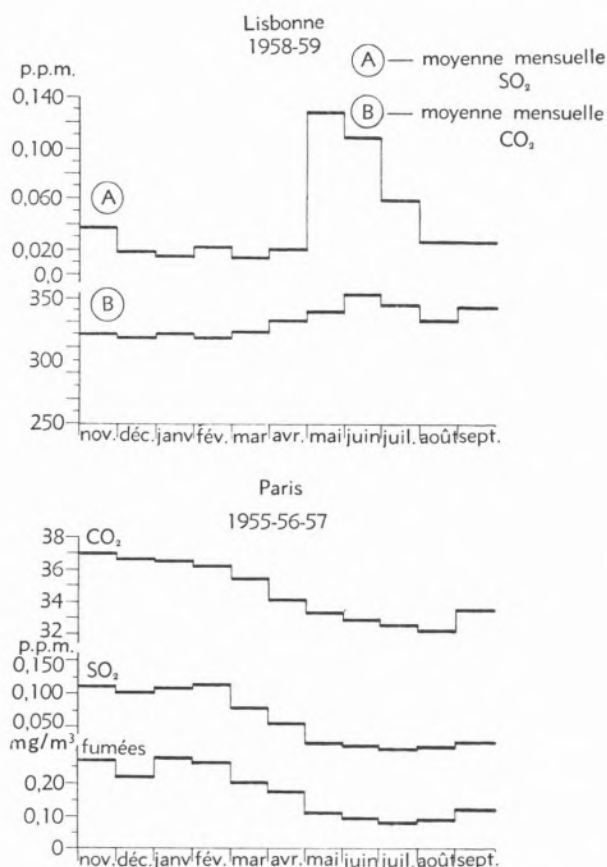


Fig. 3 — Graphiques comparatifs de la pollution annuelle à Lisbonne et à Paris. Pollution moyenne mensuelle à Lisbonne, de novembre 1958 à septembre 1959 et valeurs moyennes de la pollution à Paris pour les trois années de novembre 1955 à septembre 1957. Les valeurs données pour les moyennes mensuelles de SO_2 ont été déterminées avec l'appareil S.F., à Lisbonne et à Paris.

riances ⁽²⁾ des deux périodes ont montré qu'elle était largement significative, et, après cette vérification et celle de la corrélation positive entre les deux polluants, il apparut indispensable de rechercher les facteurs qui pourraient conditionner la pollution, en ce sens.

Nous sommes arrivés à la conclusion que les causes principales en étaient les inversions thermiques, leurs

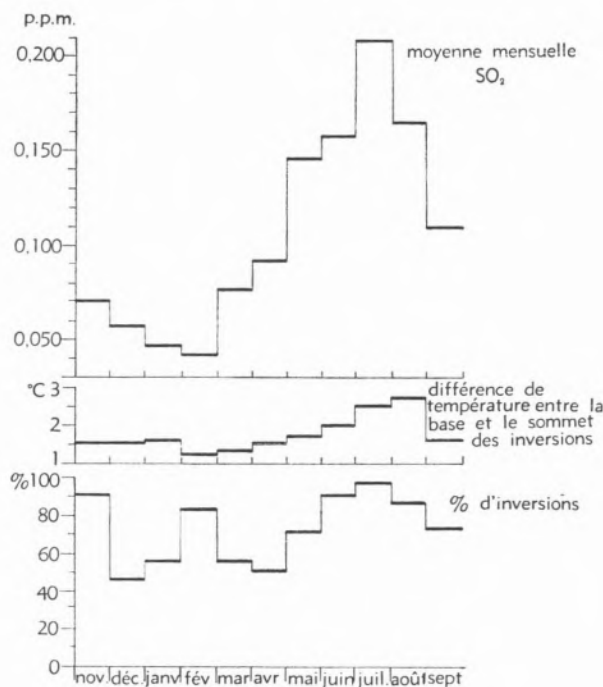


Fig. 4 — Variation annuelle de la pollution et influence des inversions thermiques, au poste SACOR (novembre 1958 à septembre 1959).

En résumé, la pollution moyenne mensuelle variait parallèlement avec le nombre et l'intensité des inversions et, d'une manière générale, aux pourcentages et aux gradients thermiques les plus élevés correspondaient des mois de pollution sulfureuse maximum. Cette conclusion toutefois ne se réfère qu'à la pollution observée au poste de la raffinerie pour l'année 1958-59.

Pour pouvoir en déduire que cette variation est caractéristique de la région et qu'il ne s'agit pas d'un cas particulier, il était nécessaire de prouver que le

$$^{(1)} t = \frac{d}{\sigma_d}, \text{ com } d = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \text{ e } \sigma_d = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

$$^{(2)} F \text{ test: } F = \frac{S_1}{S_2}$$

phénomène pouvait être également constaté en tous les points de la ville et qu'il se répétait les autres années.

7 — CYCLE ANNUEL DE LA POLLUTION EN VILLE

La réalisation du 2^e plan d'études permit la prospection des résultats obtenus dans les postes déjà installés en ville et, par l'examen des courbes annuelles de pollution sulfureuse de 1961-62-63, il se vérifia que partout la variation se révélait identique à celle du poste SACOR et que les facteurs influents étaient précisément les mêmes. La fig. 5 présente la variation de la pollution sulfureuse de tous les postes, de l'intensité et du pourcentage des inversions relatives à 1961-62-63.

La moyenne de la pollution sulfureuse d'octobre à avril fut de 0,0099 p. p. m. et celle de mai à septembre de 0,0152 p. p. m., ce qui représente une augmentation du taux de SO_2 de 54,3 %. L'intensité moyenne des inversions, respectivement pour chaque période, fut de 2,5 et 3,2, avec une différence de 0,7, représentant un augmentation de 28 % pour la période de mai à septembre. Cette analyse sommaire et l'étude des graphiques nous permet d'affirmer d'ores et déjà que la pollution sulfureuse pour la zone de Lisbonne, aussi bien que pour le poste de la raffinerie, est plus élevée en période estivale qu'en hiver et qu'elle varie parallèlement au nombre et à l'intensité des inversions. On remarquera quelques exceptions, principalement au mois de mai, dont nous nous préoccuons de rechercher les raisons, compte tenu du fait qu'en ce mois et quelques autres à partir de 1962 l'air de Lisbonne présentait fréquemment des réactions alcalines, ce qui n'est pas habituel.

L'étude déjà entreprise de l'influence, jour après jour, des inversions thermiques sur la pollution atmosphérique de Lisbonne, ainsi que celle de sa confirmation mathématico-statistique, nous apportera la preuve définitive de l'existence en Europe d'une ville avec

un cycle annuel de pollution différent de toutes les autres cités et que les conditions météorologiques de la région, qui conditionnent la variation de la pollution, sont, en quelques points, assez semblables à celles qui sont constatées à Los Angeles.

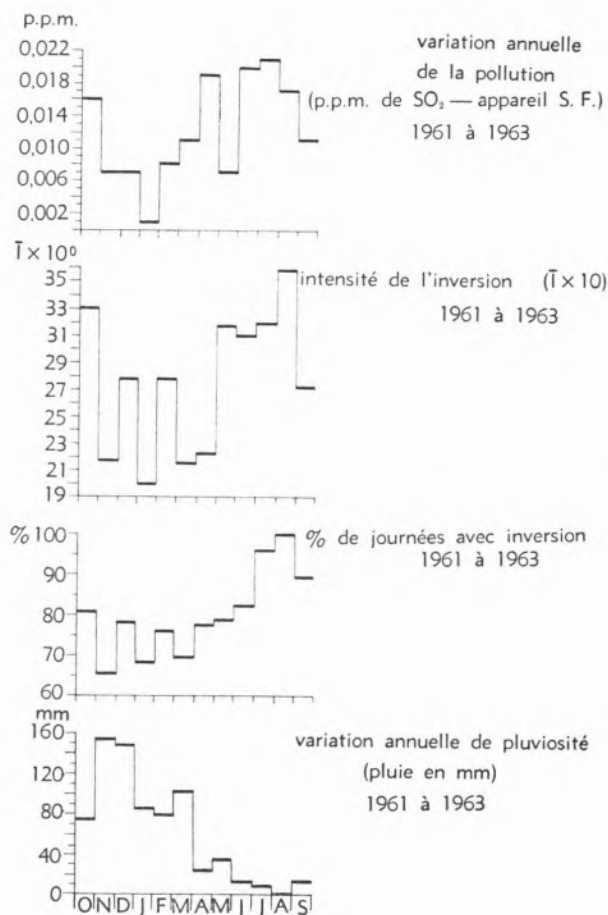


Fig. 5 — Variation annuelle de la pollution sulfureuse en fonction de l'intensité d'inversion, pourcentage des inversions et précipitation à Lisbonne (1961-62-63).

Cette constatation présente, outre son intérêt purement scientifique, un intérêt pratique qui découle de la connaissance des potentialités futures de la pollution dans une évolution de ses facteurs déterminants.