

FACULTE DE MEDECINE DE MARSEILLE

EFFETS AIGUS DE
LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE
CHEZ DES ENFANTS
DU BASSIN DE GARDANNE

THESE

Présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Marseille

le 17 Décembre 1986

par CAVANNA Patrick

né le 7 Juin 1958 à Limoges

Jury composé de :

Président : Mr le Professeur CHARPIN

Assesseurs : Mr le Professeur BOUJIN

Mr le Professeur NICOLI

Mr le Professeur KLEISBAUER

- | | | |
|------|---------------------|---|
| 1967 | MM. les Professeurs | DADI -- <i>Italie.</i>
Cid DOS SANTOS -- <i>Portugal.</i> |
| 1974 | MM. les Professeurs | MAC ILWAIN -- <i>Grande-Bretagne.</i>
Thomas Adeoye LAMBO -- <i>Suisse</i> |
| 1975 | MM. les Professeurs | Orivar SWENSON -- <i>U.S.A.</i>
John WALTON -- <i>Grande-Bretagne</i> |
| 1976 | MM. les Professeurs | Paul FRANCHIMONT -- <i>Belgique.</i>
Z John BOWERS -- <i>U.S.A.</i> |
| 1977 | MM. les Professeurs | Carleton CJDUSEK (Prix Nobel) -- <i>U.S.A.</i>
Clarence GIBBS -- <i>U.S.A.</i>
John DACIE -- <i>Grande-Bretagne.</i> |
| 1978 | M. le Professeur | Félix HOUPHOUET-BOIGNY -- <i>Côte d'Ivoire</i> |
| 1980 | MM. les Professeurs | Alexander MARGULIS -- <i>U.S.A.</i>
Raymond D. ADAMS -- <i>U.S.A.</i> |
| 1981 | MM. les Professeurs | Henry RAPPAPORT -- <i>U.S.A.</i>
Mogens SCHOU -- <i>Danemark</i>
Marvin AMENT -- <i>U.S.A.</i>
Andrew HUXLEY -- <i>Grande-Bretagne.</i>
Sigwald REFSUM -- <i>Norvège.</i> |
| 1982 | M. le Professeur | William Hardy HENDREN -- <i>U.S.A.</i> |
| 1985 | MM. les Professeurs | Shaül MASSRY -- <i>U.S.A.</i>
KLINKMANN -- <i>R.D.A.</i> |

DOYENS HONORAIRES

M. GASTAUT Henri

M. ROUX Henry

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. APPAIX André
AUDIER Marius
BATTISTI Pierre
BERNARD René
BONNEAU Henri
BOUDOURESQUES Jacques
BRAHIC Jean
CLAUSTRE Pierre
DALMAS Henri
DESANTI Etienne
DERRIEN Yves
DE VERNEJOL Robert
DONNET Vincent
DOR Jacques
FARNARIER Georges
FRANCK Claude
GASCARD Émile
GASTAUT Henri
GRANJON Pierre
HADIDA Élie
IMBERT Raymond
JOUVE André

MM. JULLIEN Georges
LAFFARGUE Pierre
LAMY Jean
LAVAL Paul
LEGRE Jacques
MOUREN Pierre
ORSINI André
PAILLAS Jean
PAYAN Henri
PICARD Dominique
PLASSE Georges
RANQUE Jacques
RECORDIER Maurice
ROCHE Jean
ROUX Henry
SAUTET Jacques
SÉRAFINO Xavier
SERMENT Henri
SUITER Jean
TARANGER Jean
VAGUE Jean

PERSONNEL ENSEIGNANT

PROFESSEURS

(Classe exceptionnelle et 1ère classe)

MM.	ALDIGHERI	Epidémiologie, économie de la santé et prévention.
	AUBRESPY	Chirurgie infantile.
	BARDOT	Rééducation fonctionnelle.
	BÉRARD	Clinique ophtalmologique.
	BERNARD P.J.	Biophysique.
	BERNARD P.M.	Médecine interne.
	BOUTIN	Physiopathologie clinique des voies respiratoires.
	BOUYARD	Pharmacologie.
	BOYER	Endocrinologie.
	BREMOND	Oto-rhino-laryngologie.
	BRICOT	Clinique chirurgicale et séméiologique.
	BUREAU	Chirurgie plastique et réparatrice.
	CARCASSONNE M.	Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.
	CARCASSONNE Y.	Clinique des maladies du sang.
	CASANOVA	Clinique des maladies infectieuses.
	CHARPIN	Clinique pneumo-phthisiologique.
	CHEVROT	Electroradiologie.
	CLÉMENT R.	Carcinologie.
	CODACCIONI	Endocrinologie et métabolisme.
	COIGNET	Clinique médicale infantile.
	COMITI	Clinique chirurgicale.
	CORRIOL	Physiologie.
	COTTE	Histologie - Embryologie.
	DELBOY	Thérapeutique - Hydrologie - Climatologie.
	DEPIEDS	Immunologie.
	DEVIN	Clinique de chirurgie générale et des maladies vasculaires.
	DUCASSOU	Clinique urologique.
	FARISSE	Anatomie.
	FRANÇOIS	Anesthésie et réanimation.
	GAMBARELLI	Anatomie.
	GAUTHIER	Clinique d'hépto-gastro-entérologie.
	GERARD	Clinique cardiologique et cardiologie expérimentale.
	GIRAUD	Pédiatrie et génétique médicale.
	GRIMAUD	Médecine expérimentale.
	GUÉRINEL	Chirurgie générale.
	HOUEL	Clinique de chirurgie thoracique.
	HUGUET	Radiologie.
	IMBERT	Chirurgie générale et vasculaire.
	JEAN	Clinique de chirurgie générale.
Mme	JOUE	Radiologie clinique.
MM.	KHALIL	Clinique de neurologie.
	LACHARD	Clinique de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale.

LOUCHET	Pédiatrie.
LOUIS	Orthopédie et traumatologie.
LUCCIONI	Médecine interne.
MALMEJAC	Chirurgie thoracique et cardiaque.
MATHIAS	Médecine du travail.
MAZER	Physiologie.
MERCIER	Clinique chirurgicale C générale et vasculaire.
MICHOTÉY	Clinique chirurgicale A.
MIRANDA	Biochimie.
MONGES A.	Séméiologie médicale.
MONGIN	Clinique médicale B et gérontologie.
MONTIES	Chirurgie expérimentale.
NOIRCLERC	Chirurgie expérimentale.
PADOVANI	Radiologie.
PIANA	Gynécologie et obstétrique.
PECH	Clinique oto-rhino-laryngologique.
PENE	Clinique exotique.
PRIVAT	Clinique dermatologique.
QUILICI	Parasitologie.
RAMPAL	Urologie.
RAYBAUD CI	Pédiatrie.
REBOUD	Chirurgie thoracique.
ROCHAT	Biochimie.
ROLLAND	Chimie biologique.
ROUX	Biomathématique, statistique médicale et épidémiologique, informatique.
RUF	Gynécologie et obstétrique.
SALAMON	Neuroradiologie clinique et expérimentale.
SANKALE	Médecine interne.
SARACCO	Clinique ophtalmologique.
SARLES H.	Clinique des maladies de l'appareil digestif et de la nutrition.
SCOTTO	Psychiatrie d'adultes.
SEDAN	Neurochirurgie.
SEITE	Biologie cellulaire et tissulaire.
SERRADIMIGNI	Thérapeutique.
SERRATRICE	Clinique rhumatologique et des maladies neuro-musculaires.
SIMONIN	Clinique médicale.
SOULAYROL	Psychiatrie de l'enfant.
STAHL	Histologie et embryologie II.
TAMALET	Microbiologie.
TATOSSIAN	Clinique de psychiatrie et psychologie médicale.
TOGA	Anatomie pathologique.
TRIFAUD	Clinique chirurgie orthopédique et traumatologique.
VAGUE	Médecine interne et nutrition.
VIGOUROUX	Clinique neurochirurgicale.
VITRY	Histologie et cytopathologie.
ZWIRN	Physiologie.

PROFESSEURS

(2ème classe)

MM. ACQUAVIVA

ALI CHERIF

ALLIEZ

AQUARON

ARGEME

ARNAUD

ASSADOURIAN

AUBANIAN

BAILLE

BENICHO

BERGOIN

BERNARD D.

BIMAR

BISSET

BLANC

BONERANDI

BONGRAND

BONNOIT

BORY

BOURGEADE

BOUVENOT

BOUYALA

BRANCHEREAU

CANNONI

Mme CAPODANO

MM. CARTOUZOU

CHAMLIAN

CHARREL

CHOUX

CLEMENT J.P.

COMBALBERT

DE MICCO

DERLON

DI MARINO

DJIANE

DUFOUR H.

DUFOUR M.

ERNY

FIESCHI

FIGARELLA

MM. FUENTES

GABRIEL

GALINIER

GALLAIS

GAMERRE

GARCIN

GASTAUT A.

GASTAUT J.L.

GEROLAMI-SANTANDREA

GIUDICELLI

GOLA

GOUDARD

GOUIN

GRISOLI

GROULIER

HASSOUN

HEIM

HENRY

JAQUET

JUHAN C.

Mme JUHAN I.

MM. KAPHAN

KASBARIAN

KLEISBAUER

LAUGIER

LEBREUIL

LEVY

LUCIANI

MAGALON

MANELLI

MARCHAND

MARTIN

MATTEI

METGE

METRAS

MICHEL-BECHET

MILLET

MONFORT

MURISASCO

NICOLI

MM. OHRESSER

OLIVER

OLMER

OREHEK

PAPY

PAULIN

PELLET

PELLISSIER

PELOUX

PERRIMOND

PICAUD

PIGNOL

Mle PINSARD

MM. POGGI

POINSO

POITOUT

PONCET

QUILICHINI

RAYBAUD Ch.

RICHAUD

ROHNER

ROUX H.

RUFO

SAHEL

SALDUCCI

SAN MARCO

SARLES J.C.

SASTRE

Mme SAYAG

MM. SCHIANO

SERIAT-GAUTIER

SERMENT

SPITALIER

TOURNIGAND

UNAL

VANUXEM

VERVLOET

WEILLER

PROFESSEURS ASSOCIÉS

(1ère classe)

**MM. AIT KHALED
TISSOT**

PROFESSEURS ASSOCIÉS

(2ème classe)

**MM. BERGVALL
PIERRON (temps partiel)**

PROFESSEUR LIBRE

(2ème classe)

M. COURBIER

Fait à Marseille, le 1er mars 1986

Nous remercions avec respect Monsieur le Professeur CHARPIN, qui nous fait l'honneur d'être le Président du jury de cette thèse .

Nous adressons nos sentiments respectueux à Monsieur le Professeur BOUTIN , qui a eu l'amabilité de s'intéresser au sujet de cette thèse en siégeant à ce jury.

Nous sommes très reconnaissants à Monsieur le Professeur NICOLI , d'avoir bien voulu participer à notre jury , et le remercions de nous avoir fait découvrir l'écologie dans ses cours .

Nous faisons part de notre gratitude à Monsieur le Professeur KLEISBAUER , qui a élaboré les protocoles et dirigé l'enquête épidémiologique , et le remercions de sa présence dans le jury.

Nous remercions le Docteur Denis CHARPIN qui a assuré l'exploitation des résultats de l'enquête , et qui nous a guidé avec amabilité dans l'élaboration de ce travail .

Je remercie également les personnes qui ont eu la gentillesse de me donner tous les renseignements nécessaires à l'élaboration de ce travail :

Monsieur NADAL , Ingénieur divisionnaire à la D.R.I.R. et Administrateur d'AIRMARAIX , qui m'a fait part de son expérience avisée en matière de lutte contre la pollution , et qui a été un interlocuteur privilégié dans la réalisation de cette enquête .

Monsieur VALETTE , Responsable des Relations Extérieures à la station Météorologique Nationale d'AIX-EN-PROVENCE , Route de Gallice , qui m'a documenté avec beaucoup d'amabilité .

Je te remercie affectueusement , Françoise ,
pour le soutien que tu m'as apporté en étant à mes côtés tout au long de
ce travail . A notre fille , Aurélie .

A mon Père , à ma Mère , qui m'ont donné leur
affection et m'ont aidé pour ces études , ainsi qu'à toute ma famille .

A ma belle-famille qui m'a soutenu également
dans ce travail .

A tous ceux qui m'ont fait l'amitié de
m'entourer .

- TABLE DES MATIERES -

I - INTRODUCTION	P. 18
II - DONNEES GENERALES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	P. 21
A --- LA REVOLUTION INDUSTRIELLE	P. 21
B --- LES GRANDS EPISODES DE LA POLLUTION MONDIALE	P. 22
C --- LA PRISE DE CONSCIENCE DU PHENOMENE DE POLLUTION	P. 25
D --- LA BAISSSE DE LA POLLUTION	P. 26
1 ----- La pollution des Bouches-du-Rhône	P. 27
a - Le dioxyde de soufre	P. 27
b - Les poussières	P. 29
c - Les odeurs	P. 30
d - La pollution de l'eau	P. 31
e - Les déchets industriels	P. 31
2 ----- Les niveaux de la pollution atmosphérique locale	P. 32
3 ----- Les mesures de lutte contre la pollution	P. 35
a - La réglementation	P. 35
b - L'inspection des installations classées	P. 37
c - La surveillance des niveaux de pollution	P. 39
d - Les moyens de lutte contre la pollution	P. 40
III - LES PRINCIPAUX POLLUANTS ET LEURS EFFETS	P. 47
A --- LE DIOXYDE DE SOUFRE	P. 48
1 ----- Caractères physico-chimiques du SO ₂	P. 48
2 ----- Les sources d'émission	P. 48
3 ----- Les effets du SO ₂	P. 49
a - Les effets sur l'homme	P. 49
b - Les effets sur l'animal	P. 51
c - Les effets sur les végétaux	P. 51

---	B	---	<u>LES PARTICULES EN SUSPENSION</u>	P. 51
-----	1	-----	Nature	P. 51
-----	2	-----	Origine	P. 52
-----	3	-----	Effets sur l'homme	P. 52
-----	4	-----	Effets sur l'animal	P. 57
-----	5	-----	Effets sur les végétaux	P. 58
---	C	---	<u>LES OXYDES D'AZOTE</u>	P. 58
-----	1	-----	Caractères physico-chimiques	P. 58
-----	2	-----	Sources d'émission	P. 59
-----	3	-----	Les effets sur l'homme	P. 60
-----	4	-----	Les effets sur l'animal	P. 61
-----	5	-----	Les effets sur les végétaux	P. 61
IV - LE BASSIN DE GARDANNE				P. 62
---	A	---	<u>GEOGRAPHIE ET CLIMATOLOGIE LOCALES</u>	P. 63
-----	1	-----	La géographie du Bassin de Gardanne	P. 63
-----	2	-----	La climatologie locale	P. 65
	- a -		L'influence des conditions météorologiques générales	65
		**	Les vents	P. 66
		**	Les invasions thermiques	P. 67
		**	Les mouvements ascendants	P. 72
		**	La pression barométrique	P. 73
		**	Les précipitations	P. 74
		**	La transformation des polluants	P. 74
	- b -		Quelques aspects locaux de la climatologie	P. 75
---	B	---	<u>LES POSTES DE RELEVES METEO ET DE POLLUTION</u>	P. 77
-----	1	-----	L'Association AIRMARAIX	P. 77
-----	2	-----	Les éléments constitutifs du réseau	P. 80
---	C	---	<u>LA CENTRALE THERMIQUE</u>	P. 84
-----	1	-----	La production de charbon et d'électricité	P. 84
-----	2	-----	Les caractéristiques du charbon de Gardanne	P. 85
-----	3	-----	La Centrale thermique	P. 85
---	D	---	<u>LES AUTRES UNITES INDUSTRIELLES LOCALES</u>	P. 89
-----	1	-----	L'usine d'Alumine PECHINEY	P. 89
-----	2	-----	L'usine des Ciments LAFARGE	P. 89
-----	3	-----	L'usine RHONE-POULENC	P. 90
-----	4	-----	Les industries de l'Etang de Berre	P. 90
---	E	---	<u>CONCLUSIONS SUR LE BASSIN DE GARDANNE</u>	P. 90

V - L'ENQUÊTE EPIDEMIOLOGIQUE	P. 92
A --- INTRODUCTION	P. 92
1 ----- L'Equipe d'enquête	P. 92
2 ----- La répartition des communes selon leur degré de pollution	P. 93
B --- LES DIFFERENTS PROTOCOLES UTILISES (N°1 à N°6)	P. 98
1 ----- Les protocoles d'étude de la pollution chronique	P. 98
- a - Le protocole 4b	P. 98
- b - Le protocole 5	P. 102
- c - Le protocole 6	P. 105
CONCLUSIONS	P. 110
2 ----- Les protocoles d'étude de la pollution aigüe	P. 110
- a - Le protocole 1	P. 110
- b - Les protocoles 2 et 3	P. 123
- c - Le protocole 4a	P. 125
** MATERIEL : LES ENFANTS **	P. 125
----- Les villes d'origine	P. 125
----- Les écoles choisies	P. 126
----- Les caractéristiques des enfants	P. 126
----- Définition d'un groupe "sensible"	P. 127
** METHODES **	P. 127
----- Les questionnaires	P. 127
- Le questionnaire "type aigüe"	P. 127
- Le questionnaire "type chronique"	P. 128
----- Le CONTRÔLE	P. 128
----- La réalisation d'un test spirométrique pendant l'enquête	P. 131
----- Le réseau AIRMARAIX	P. 132
** RESULTATS DU PROTOCOLE P4a **	P. 134
** DISCUSSION **	P. 137
----- Le phénomène d'apprentissage	P. 140
----- Le choix du rapport VEMS/CVF	P. 140
----- La croissance pulmonaire des enfants	P. 142
----- La température et la pression atmosphérique	P. 144
----- Les données de la littérature	P. 145

VI - CONCLUSIONS

P. 148

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

P. 152

ILLUSTRATIONS

Illustration n° 1 : Principales industries des Bouches-du-Rhône _ P. 28

Illustration n° 2 : Variations des émissions de SO₂ en Tonnes par jour de 1972 à 1983 et variations des concentrations moyennes annuelles au sol en ug/m³, dans les Bouches-du-Rhône _____ P. 33

Illustration n° 3 : Evolution des rejets de SO₂ en Tonnes par années pour les centrales thermoélectriques de 1973 à 1986 _____ P. 34

Illustration n° 4 : Normes O.M.S. des concentrations de SO₂ et de particules en suspension, responsables d'effets sur la santé ____ P. 55

Illustration n° 5 : Normes C.E.E. des concentrations de SO₂ et de particules en suspension, applicables sur le Bassin de Gardanne_ P. 56

Illustration n° 6 : Situation géographique de Bassin de Gardanne_ P. 64

Illustration n° 7 : Schéma d'une inversion thermique _____ P. 68

Illustration n° 8 : Hauteur des cheminées d'usines et diffusion des polluants en cas d'inversion thermique _____ P. 71

Illustration n° 9 : Diffusion des polluants en fonction de la vitesse des vents _____ P. 69

Illustration n° 10 : Diffusion des polluants en fonction de l'altitude des inversions thermiques _____ P. 78/79

Illustration n° 11 : Le réseau AIRMARAIX _____ P. 82/83

Illustration n° 12 : Schémas de fonctionnement de la Centrale thermique de Gardanne _____ P. 88

Illustration n° 13 : (1) Tableau des teneurs en SO₂ du 1er Avril 1983 au 31 Mars 1984 _____ P. 95

(2) Courbe des fréquences de journées à teneurs moyennes journalières en SO₂ supérieures à 150 et à 100 ug/m³ ____ P. 96

Illustration n° 14 : Courbe des valeurs extrêmes journalières comparées aux valeurs moyennes mensuelles pendant l'hiver 1983-1984 _____ P. 97

Illustration n° 15 : Liste des écoles enquêtées _____ P. 111

Illustration n° 16 : (1) (2) Tableaux de prévalence des symptômes cliniques du protocole n° 1 au mois de Janvier 1984 _____ P. 114/115

Illustration n° 17 : Courbe de prévalence des symptômes cliniques du protocole n° 1 au mois de Janvier 1984 _____ P. 116

Illustration n° 18 : Courbe de prévalence des symptômes cliniques durant deux périodes de 15 jours , l'une très polluée , l'autre peu polluée du protocole n° 1 _____ P. 121

Illustration n° 19 : Le CONTROLAIR _____ P. 130

Illustration n° 20 : Planification du protocole n° 4a _____ P. 133

Illustration n° 21 : Le questionnaire type "aigü" _____ P. 129

Illustration n° 25 : Courbe de variations des valeurs du rapport VEMS/CVF en période de forte et de faible pollution _____ P. 135

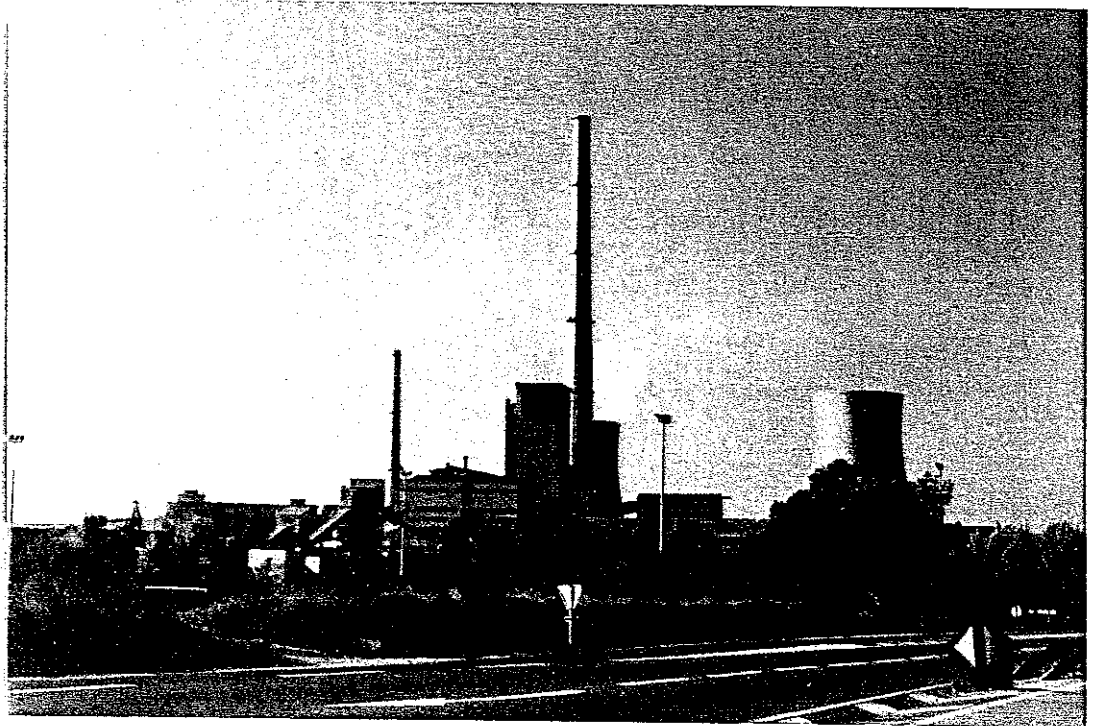
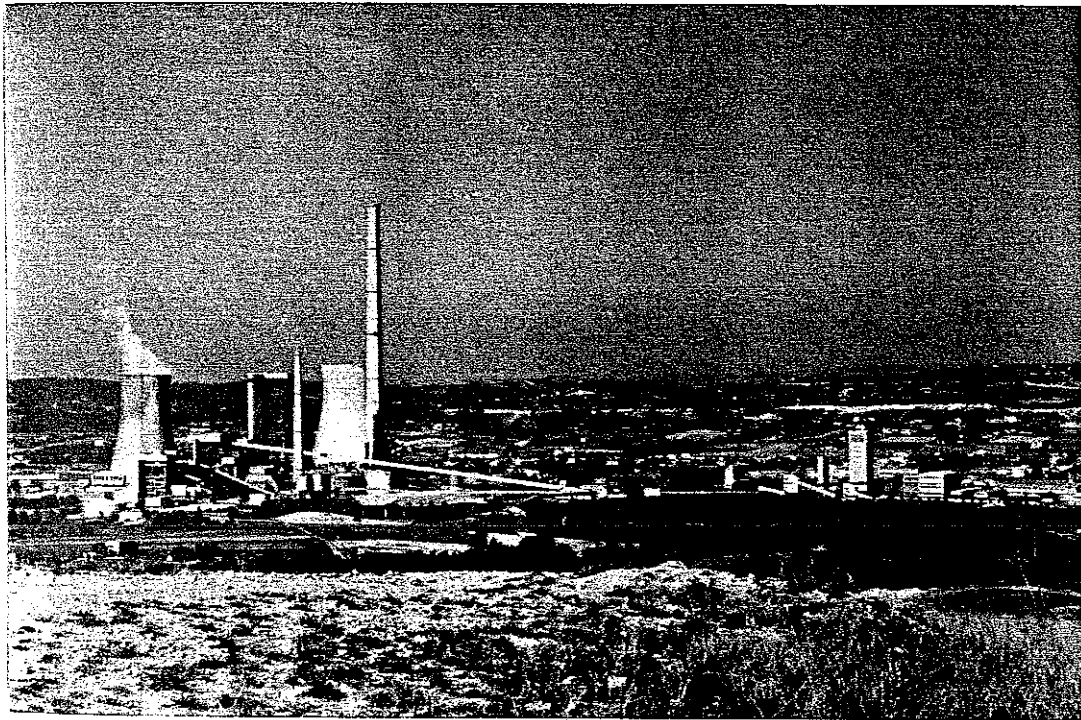
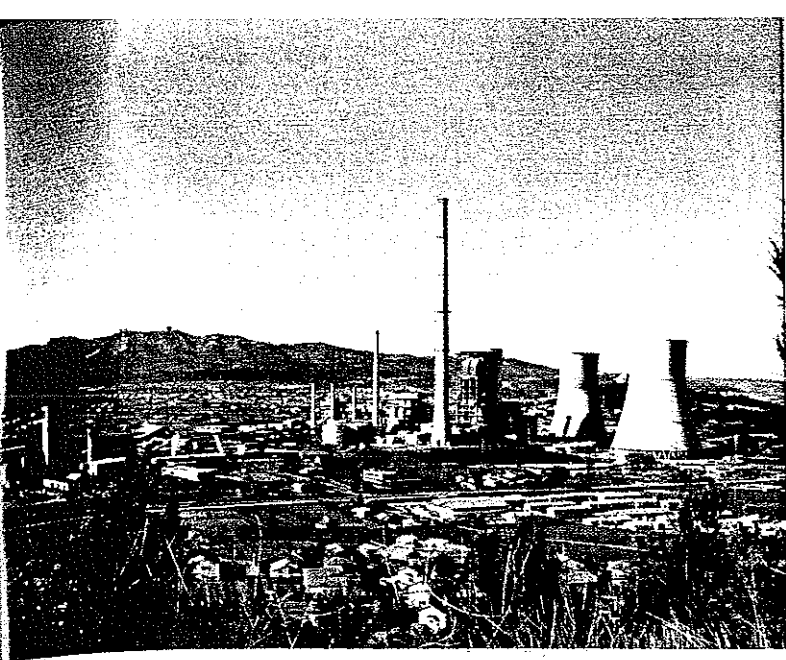
Illustration n° 26 : (a) Tableau des variations de VEMS et de CVF en fonction de 3 paramètres : Groupe normal ou sensible / 1er ou 2ème examen / Période polluée ou non polluée _____ P. 138

26(b) Courbe exprimant les variations du tableau (a) _____ P. 139

Illustration n° 27 : Expression mathématique du rapport VEMS/CVF_ P. 143

INTRODUCTION

La centrale
thermo-électrique
de Gardanne



I - INTRODUCTION -

L'homme d'aujourd'hui aspire à la qualité de la vie. L'environnement y contribue par l'air que nous respirons. La pollution de l'atmosphère n'est pas un phénomène nouveau, ayant débuté aux origines de l'homme. L'incinération des déchets et, depuis quelques décennies, la pollution chimique, ont apportés à l'air ambiant des toxiques qu'il nous appartient de contrôler, afin de sauvegarder notre santé.

L'O.M.S. a proposé une définition excellente, selon laquelle : " La santé est un état de complet bien-être physique, mental, social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité . "

Henri MOUREU dit : " Or l'air est l'aliment essentiel de l'être humain, qui en consomme quelques quinze kilos chaque jour, alors qu'il se contente d'environ deux kilos d'aliments solides et liquides . "... " Et si l'on peut demeurer durant bien des jours sans manger, au prix de quelques précautions simples, on ne peut rester plus de quelques minutes sans respirer. On s'étonne alors que l'on ait mis tant de temps à réaliser, qu'il était criminel de traiter l'atmosphère

>>>

qui nous entoure comme un égoût , alors que l'acte respiratoire constitue le phénomène physiologique le plus important de l'être vivant . " (1)

On peut essayer de comprendre comment l'homme en est arrivé au point actuel .

C'est ce souci pour la santé qui a suscité une enquête , sur la région de Gardanne , en rapport avec l'agrandissement de la Centrale thermique , fonctionnant au charbon . Sa capacité allait passer de 400 Mégawatts avec 3 unités de 50 MW (mises en service en 1954) et l'Unité IV de 250 MW (démarrée en 1967 ; arrêt prévu en 1992) à 850 Mw (Arrêt des 3 unités de 50 MW et mise en service de l'Unité V de 600 MW)

Nous allons étudier successivement :

- Les données générales sur la pollution atmosphérique
- Les principaux polluants et leurs effets .
- Le Bassin de Gardanne .
- L'enquête épidémiologique .
- Les conclusions .

>>>

II - DONNEES GENERALES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

--- A --- LA REVOLUTION INDUSTRIELLE .

Dans la deuxième moitié du XIX^e siècle , la découverte du pétrole par forage , en 1859 , par un certain DRAKE , en Pennsylvannie , vient accélérer l'essor industriel . C'est la ruée vers l'or noir . Les usines se multiplient , les automobiles aussi , et l'homme habite bientôt au coeur des métropoles , où la pierre et l'acier se mêlent aux fumées .

Le confort , si précieux dans notre monde métamorphosé , l'évolution et la multiplication des technologies , l'avènement de l'électricité dans les foyers , sont autant d'appels à la consommation des sources d'énergie (Pétrole , gaz , charbon)

Ainsi aux pollutions industrielles , vient s'ajouter la pollution par les centrales thermiques , productrices de courant électrique .

Les grands épisodes de la pollution mondiale viennent révéler aux hommes , les dangers qu'ils courent , dans une telle escalade .

>>>

--- B --- LES GRANDS EPISODES DE LA POLLUTION MONDIALE . (3)

Des accidents historiques comportant morbidité et mortalité accrues , lors d'épisodes aigus de pollution atmosphérique , ont déjà été très parlants ,

Le plus anciennement répertorié concerne la vallée de la Meuse , en Belgique , en Décembre 1930. Des conditions météorologiques particulièrement défavorables , caractérisées par un brouillard très intense sévirent pendant plusieurs jours . Dans ce relief très encaissé , de plus à forte concentration industrielle , l'accumulation de la pollution , a provoqué au 3^e jour , l'apparition de troubles respiratoires (oppressions thoraciques , toux , expectorations , décompensation d'affections respiratoires chroniques) , de brûlures oculaires avec larmoiements , d'irritation de la gorge avec enrouement . Un taux de mortalité important a suivi cet épisode , touchant des individus affaiblis (personnes âgées , patients cardiaques , asthmatiques ...) , mais également le cheptel animal . Tout est rentré dans l'ordre brusquement lorsque , les conditions météorologiques étant modifiées , le brouillard a disparu . Les experts ont été alors unanimes pour conclure aux effets toxiques des oxydes de soufre (SO₂ , SO₃) , des vapeurs d'acide sulfurique , des oxydes d'azote .

>>>

En Octobre 1948 , à Donora , dans l'Est des Etats-Unis , en Pennsylvanie , de nombreux habitants ont souffert de symptômes semblables à la population belge , et une vingtaine de décès furent observés durant cinq journées de conditions climatiques défavorables . Les autorités compétentes ont identifié une phase de hautes pressions avec absence complète de vents et brouillard persistant . Cette région fortement industrialisée , et à proximité de la zone sidérurgique de Pittsburg , a connu là aussi une accumulation de polluants atmosphériques , principalement des oxydes de soufre .

A Londres , ville bien connue pour son brouillard , qualifié de : "Smog" , ou brouillard acide , a été enregistré , du 5 au 9 Décembre 1952 , une catastrophe naturelle due à l'accumulation de cette perturbation typique de la vallée de la Tamise . Une proportion inhabituelle de la population a présenté pendant quinze jours , des symptômes à type de rhinorrhée , maux de gorge , gêne respiratoire , oppression thoracique , avec par ailleurs des syndromes bronchitiques plus ou moins prononcés . Les décès au nombre de 4000 , furent très supérieurs à la moyenne des autres années . Les expertises de l'époque ont montré que la concentration de gaz sulfureux a été , pendant cette période , dix fois plus forte que la même période de l'année précédente .

A Poza Rica , au Mexique , survient la rupture d'une canalisation véhiculant du gaz naturel traité , le 24 Novembre 1950 Une

>>>

émission d'hydrogène sulfuré de très courte durée (vingt cinq minutes) a provoqué un cortège de symptômes analogues à ceux décrits dans les situations précédentes . Le brouillard qui a régné ce jour là , n'a pas permis à cette émission polluante de se diffuser dans l'atmosphère . Vingt-deux décès ont été enregistrés .

A Los Angelès, le "smog" , ou brouillard oxydant , ne provoque pas , lors de pics marqués , de surmortalité . Il reste intéressant à signaler , par l'originalité de son mode de production . Comme dans toutes les grandes villes , il y existe une atmosphère riche en oxydes d'azote , en hydrocarbures , issus de la concentration des gaz d'échappements par le trafic routier . Cette grande ville , adossée à un relief montagneux , possède un micro-climat , donnant une importance toute particulière à la photo-oxydation . Celle-ci va faire apparaître une substance très toxique , le nitrate de peracyle , dont un des effets retrouvé à Los Angelès , est une irritation des yeux et des bronches .

Beaucoup plus récemment , tout le monde a été marqué par la catastrophe qui a touché la ville de SEVESO . L'usine italienne a rejeté dans l'atmosphère un gaz devenu tristement célèbre , la dioxine .

>>>

--- C --- LA PRISE DE CONSCIENCE DU PHENOMENE DE LA POLLUTION .

Ainsi la prodigieuse poussée imprimée aux hommes par le progrès , lui révèle aussi qu'il doit considérer les répercussions des effets secondaires . A la pollution par les sources naturelles (Feux de forêts , volcans en éruption) , vient s'ajouter la pollution par les sources artificielles (Industries , foyers domestiques , grandes cheminées de combustion , gaz d'échappements des véhicules à moteur ...)

L'altération de la santé et le coût des soins , de même que les dépenses engendrées par la pollution (Dommages causés aux animaux , aux végétaux , dégradation et dépréciation des bâtiments ...) montrent à l'homme que pour des raisons économiques de plus en plus évidentes , il lui faut utiliser des sources d'énergie et des combustibles "propres"

Les raisons évoquées précédemment , ajoutées à des motifs économiques et politiques nationaux , on pourrait même dire occidentaux , ont conduit les gouvernements à acquérir une indépendance énergétique . L'option nucléaire a permis de se defaire partiellement de la dépendance , vis à vis des pays arabes producteurs de pétrole . C'est ainsi que les centrales nucléaires , développées par l'E.D.F. , fournissent aujourd'hui 65% de la production électrique du pays . Les 35% restants sont assurés par des unités plus conventionnelles , utilisées le plus

>>>

souvent , appoint , de fonctionnement différent selon les possibilités géographiques (usine marée-motrice de l'embouchure de la Rance en Bretagne , barrage fluvial , dont l'avantage est la non pollution) , ou géologiques locales (charbon lorrain , du Nord de la France , du Centre , et du Sud-Est avec le Gard , l'Hérault, le bassin de Gardanne)

Voilà donc présenté , le cadre de notre sujet . Il est intéressant de constater que le progrès a permis aussi de contrôler , stabiliser et réduire les émanations polluantes de l'atmosphère , pour ne citer qu'elles .

-- D --- LA BAISSSE DE LA POLLUTION .

Elle est effective aujourd'hui , grâce à des mesures administratives touchant les industries les plus polluantes .

>>>

----- 1 ----- La pollution des Bouches-du-Rhône. (2)

La pollution générale , dans le département des Bouches-du-Rhône , que l'on peut considérer comme industrialisé et urbanisé , concerne deux milieux naturels principaux , l'air et l'eau .

Il est intéressant de se reporter à la planche synoptique (Illustration n° 1)

La pollution de l'air est constituée essentiellement par le dioxyde de soufre (SO₂) , à un moindre degré les oxydes d'azote , les hydrocarbures et les poussières . On rencontre aussi des substances spécifiques , en concentrations beaucoup plus faible , des mercaptans , du fluor , du chlore ...

- a - Le dioxyde de soufre

Notre département est à l'origine de 6% des rejets industriels français, et occupe la 3^e place pour le SO₂ , après les départements du Nord et de la Seine-Maritime . la répartition géographique des émissions est la suivante:

Zone FOS-ETANG DE BERRE	60%
Zone de GARDANNE	25%
Zone de MARSEILLE	5%

**PRINCIPALES ENTREPRISES DE
NATURE INDUSTRIELLE**

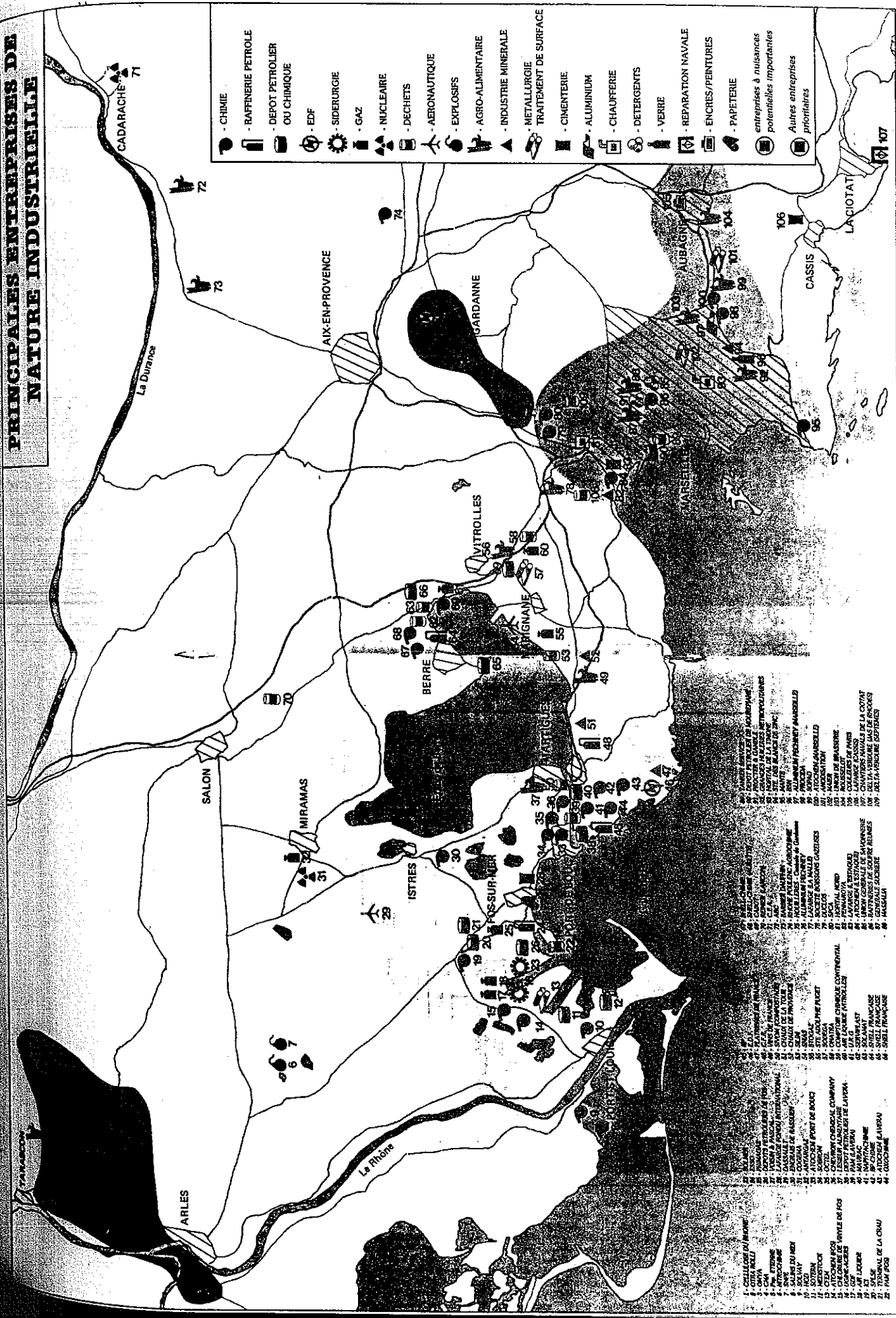


Illustration n° 1

>>>

Les sources prépondérantes sont :

PETROCHIMIE/CHIMIE	46%
CENTRALES THERMIQUES	
(Gardanne , Ponteau)	30%
SIDERURGIE	8%
CHAUFFERIES	
(Urbaines , indust.)	10%
CIMENTERIES	3%
DIVERS	3%

- b - Les poussières .

Geographiquement:

Zone de FOS-ETANG DE BERRE	47%
Zone de GARDANNE	32%
Zone de MARSEILLE	10%

Les unités polluantes sont à peu de chose près les mêmes que pour le SO₂:

T. S. V. P.

>>>

CENTRALES THERMIQUES	32%
SIDERURGIE	32%
PETROCHIMIE/CHIMIE	14%
CIMENTERIES	10%
CHAUFFERIES	9%
INCINERATION (Déchets)	3%
DIVERS	2%

Parmi elles figurent les chaufferies de l'Hopital Nord , équipée d'un dépoussiéreur et celle de l'Hopital de la Timone sur la zone de Marseille .

- c - Les odeurs .

Elles sont difficilement quantifiables , mais peuvent être appréciées qualitativement :

- Pétrole et pétrochimie sont à l'origine de la gêne la plus largement ressentie par les populations avoisinantes dans un rayon de plusieurs kilomètres .

- Les déchets qu'ils soient en l'état de décharges ou incinérés , sont au premier rang .

- La fabrication de pâte à papier de l'usine Cellulose du Rhône à Tarascon .

- Les usines agro-alimentaires

>>>

- d - La pollution de l'eau se présente sous trois formes

- la pollution oxydable : elle engendre lors de son élimination une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau , ceci au détriment des besoins des organismes vivants .

- la pollution par les matières en suspension (MESI) : elles sont nuisibles à la faune , la flore , la pénétration de la lumière , et peuvent se charger en pollutions toxiques .

- la pollution par les produits toxiques , notamment les métaux lourds , les phénols , les hydrocarbures , les pesticides ou les micropolluants les plus répandus , à savoir les composés de l'azote et du phosphore .

- e - La pollution par les déchets industriels .

Ils forment deux grandes catégories : les déchets banals (ordures ménagères) qui peuvent être éliminés en décharges classiques ou par incinération ; les déchets spéciaux qui représentent une certaine toxicité et doivent donc être traités dans des centres ou décharges spécialisés .

>>>

----- 2 ----- Les niveaux de la pollution atmosphérique locale . (2)

Les rejets de SO₂ dans l'atmosphère des Bouches-du-Rhône n'ont jamais dépassé la valeur limite de 800 tonnes par jour . Au cours des dernières années , les moyens mis en oeuvre , conjugués avec la baisse de l'activité économique , ont conduit à une très nette décroissance des rejets , qui sont de l'ordre de 290 tonnes /jour pour l'année 1983 soit environ 200 000 tonnes pour cette même année contre plus de 300 000 t en 1979 .

Cette diminution que l'on peut apprécier sur une période de 10 ans , en consultant l'illustration n°2 , résulte d'une diminution des émissions à la source , et d'une meilleure diffusion des polluants facilitée par l'adoption de hautes cheminées .

Les poussières ont été réduites . Les deux postes principaux d'émissions de poussières sont constitués par la centrale thermique de Gardanne et la sidérurgie . Il faut également signaler les installations de combustion des raffineries , de la petrochimie , de la chimie et des cimenteries . A Gardanne les mesures prises ont permis une baisse du rejet des poussières de l'ordre de 8000 tonnes/an , tout à fait sensible au niveau du département . Dans ces conditions après une baisse de 50% en 1982 et 1983 , les émissions vont encore diminuer de 70% en 1985 malgré une augmentation de production de 60% . (Illustration n° 3) .

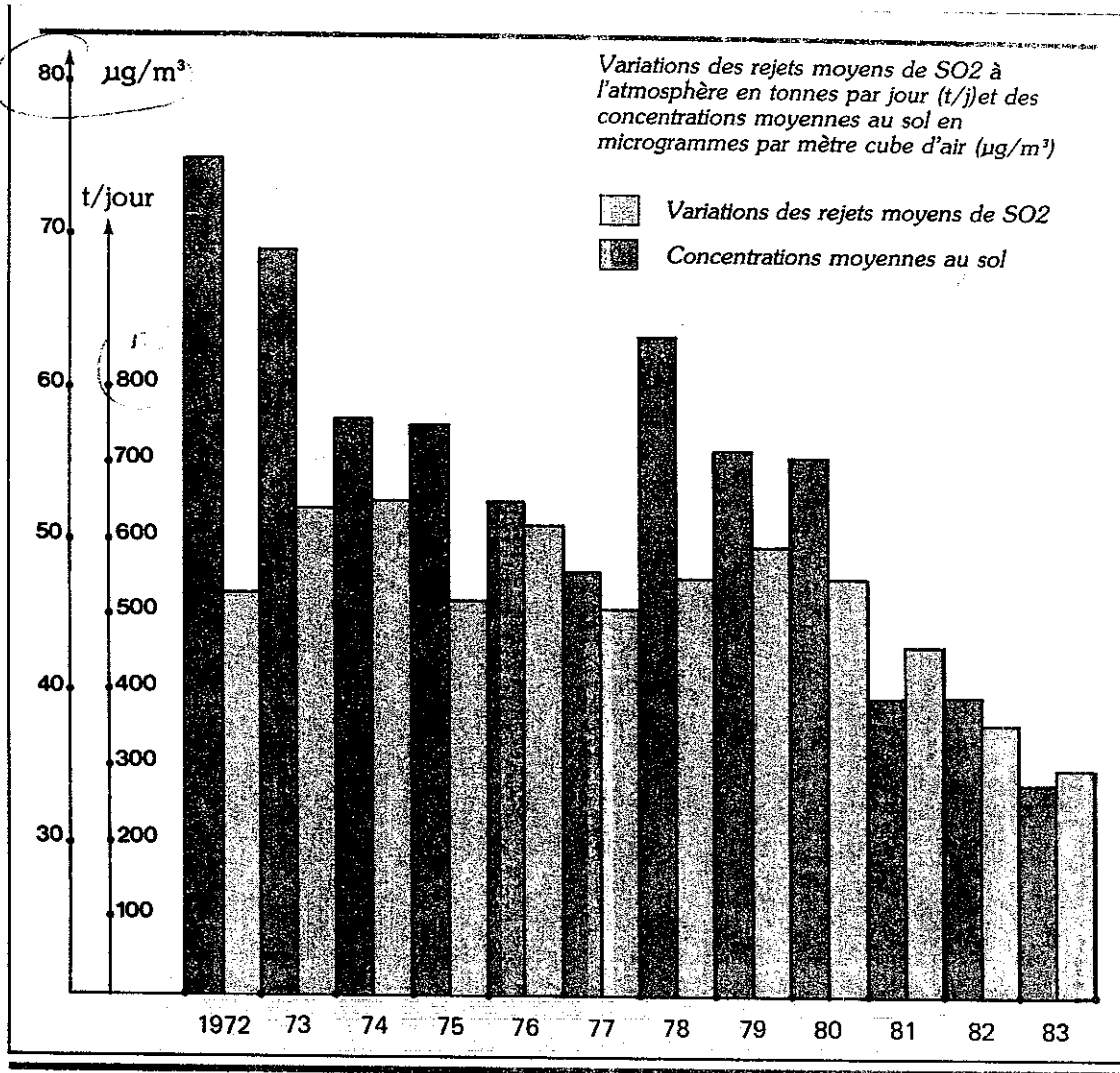
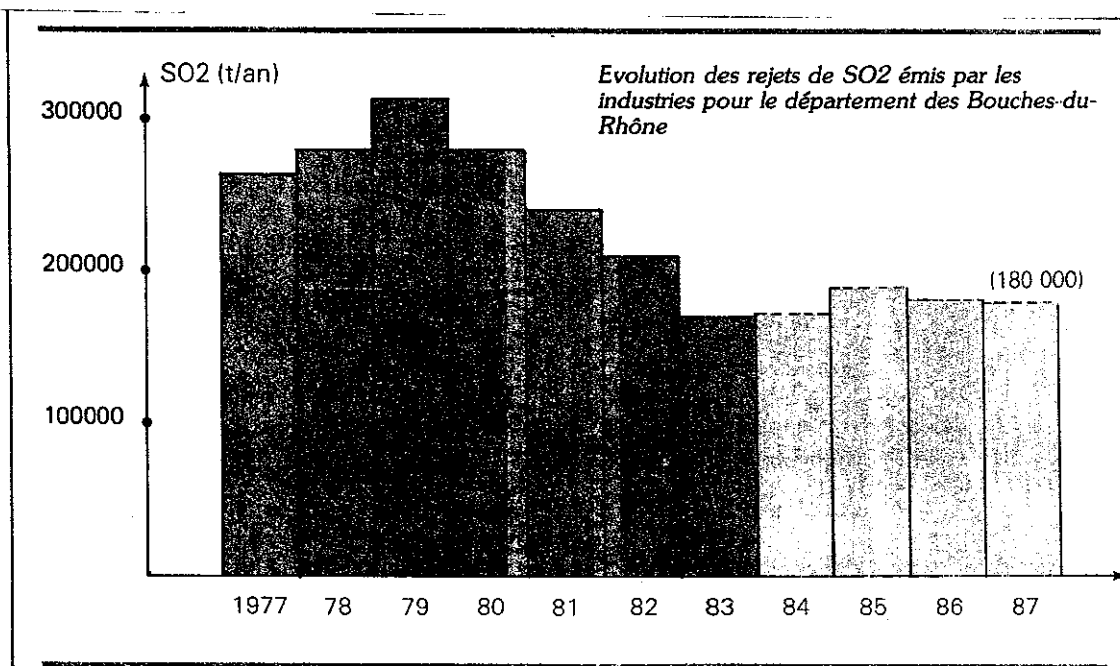
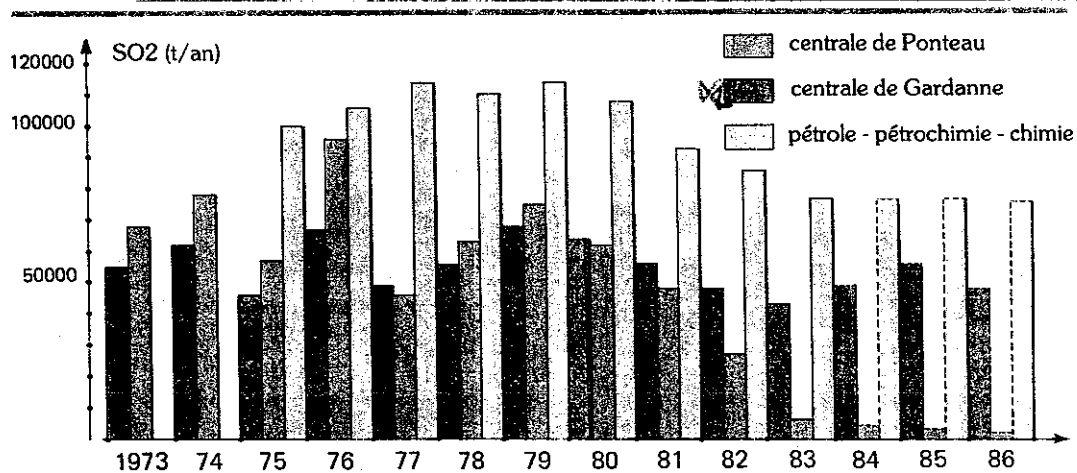


Illustration n° 2



Illustration

n° 3



Evolution des rejets de SO₂ pour les centrales thermoélectriques ainsi que pour les branches professionnelles du pétrole et de la chimie.

>>>

Les odeurs ont été également réduites , par récupération des mercaptans dans les raffineries et la pétrochimie , par modification du procédé de fabrication dans les huileries (Lesieur) , par traitement sur charbon actif des gaz malodorants et récupération du maximum de ces émissions dans le domaine des usines chimiques (Shell-Chimie à Berre , Atochem à Fos , Chevron Chemical Company à Martigues) .

----- 3 ----- Les mesures de lutte contre la pollution . (2,3)

- a- La Réglementation .

Elle a pour objet de lutter contre les différentes sources de pollution .

D'une façon générale tous les polluants atmosphériques sont visés . En outre , en France en particulier , des zones dites de " protection spéciale " , ont été créées dans les régions très menacées . Trois lois fondamentales régissent les industries .

** La loi du 10 Mars 1948 , relative à l'utilisation de l'énergie .

Elle oblige les unités thermiques à consulter obligatoirement l'autorité administrative , avant tout équipement ou reconstruction .

>>>

** La loi-cadre du 2 Août 1961 est relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs . Un texte promulgué mérite sa citation : le décret du 13 Mai 1974 relatif au contrôle des émissions atmosphériques et à certaines utilisations de l'énergie thermique . Il définit les zones dites de " protection spéciale " (cf. illustration n° 3) .

** La loi du 19 Juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement . Elle définit les installations classées comme " usines , ateliers , dépôts , chantiers , carrières , ... , qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients pour l'individu , l'agriculture et le patrimoine " . Les installations sont soumises à autorisation ou à déclaration suivant la gravité des dangers ou des inconvénients , que peut présenter leur exploitation . C'est le Commissaire de la République qui est responsable de l'application de cette loi .

** Le décret du 21 Septembre 1977 définit la procédure d'autorisation . Sont soumises à autorisation préfectorale , les installations qui présentent les dangers les plus graves . Sont soumises à déclaration , celles qui , moins dangereuses , doivent néanmoins respecter les prescriptions générales édictées par le Préfet . L'autorisation résulte d'une enquête publique et d'une étude d'impact (Nature et effets de l'installation sur son environnement) .

>>>

En cas de non respect des conditions imposées à l'exploitant , des sanctions pénales (contraventions) sont appliquées , ainsi que des sanctions administratives (suspension d'activité , consignation entre les mains d'un comptable public des sommes correspondant aux travaux à réaliser , ou exécution d'office de ces travaux d'assainissement de l'exploitation).

- b - L'inspection des installations classées .

** Une autorité compétente : La D.R.I.R. .

La Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche , est un service extérieur du Ministère de l'Industrie , dont la mission est de favoriser le développement de l'industrie tout en préservant la sécurité des personnes et des biens . Elle est rattachée aussi au Ministère de l'Environnement . L'inspection est assurée par 25 ingénieurs et techniciens , dans notre département . L'effectif global de ce service régional s'élève à 200 personnes , et son siège est à Marseille , au 307 Rue Paradis , 13008 .

** La D.R.I.R. et son rôle sur le terrain .

Dans le cadre d'une installation nouvelle , la D.R.I.R. donne son avis au Préfet , en indiquant les prescriptions particulières

>>>

nécessaires pour réduire les nuisances . Cet avis est pris après consultation du dossier de demande d'autorisation et de l'étude d'impact . L'autorisation finale est transmise à l'exploitant assortie des dispositions anti-nuisances possibles , les plus modernes .

Des contrôles périodiques ont lieu dans les usines , avec vérification des émissions polluantes , et du respect des prescriptions de l'autorisation d'exploitation .

Une auto-surveillance dont l'Inspecteur reçoit un résultat chaque mois , est assurée par les plus grosses exploitations concernant le SO₂ et les poussières . Ces données peuvent être vérifiées dans un second temps par la D.R.I.R. .

**** Les zones de protection spéciale .**

L'inspecteur des installations classées peut décider , d'interdire ou de baisser la combustion de fuel à teneur normale en soufre , en période hivernale , dans certaines zones appelées " zones de protection spéciales" . Seuls des combustibles très peu soufrés peuvent être employés , tels le fuel à basse teneur en soufre , ou à très basse teneur en soufre . Il existe quatre zones de " P.S " , en France , dont une dans les Bouches-du-Rhône : la ville de Marseille

>>>

**** Les alertes .**

L'inspecteur des installations classées peut déclencher une " alerte " , si de très mauvaises conditions météorologiques de diffusion des polluants sont prévues , car il peut y avoir un pic dangereux de pollution . L'alerte est déclenchée , si possible avant l'élévation des taux de nuisances . Les industries contaminantes doivent alors réduire massivement leurs émissions , soit en utilisant un combustible moins polluant (exemple des fuels) , soit en réduisant la marche de leur exploitation . Vu le coût industriel d'une telle mesure , elle ne sera prise qu'en cas de situation grave (cf. les grands épisodes de la pollution mondiale) .

Le Bassin de Gardanne , où les conditions de diffusion sont parfois mauvaises , est protégé par un système d'alerte . Ainsi la Centrale thermique et les autres industries polluantes locales sont concernées par ces mesures .

- c - La surveillance des niveaux de pollution .

Elle est assurée par un réseau de capteurs météorologiques et chimiques très performants , dont la description est détaillée dans un paragraphe ultérieur.

>>>

- d - Les moyens de lutte contre la pollution .

Les industriels doivent utiliser les technologies modernes anti-pollution lors de la construction de nouvelles unités , ou lors de la modernisation de structures existantes .

L'Agence pour la Qualité de l'Air , organisme public , favorise le développement et la démonstration de ces techniques .

Les mesures suivantes constituent un résumé de ce qui se fait actuellement .

**** Le choix des combustibles .**

Les combustibles gazeux ne sont pas polluants . Leur utilisation est donc développée .

Les combustibles solides doivent être sélectionnés ou traités , afin que leur utilisation engendre le moins de dommages atmosphériques possibles .

Le charbon est ainsi réparti , en fonction de sa qualité , en utilisant celui dont la qualité est très bonne (calibrés maigres , agglomérés spéciaux du type " défumés ") , avec une faible teneur en soufre et en poussières , dans les zones les plus polluées . L'usage de qualités médiocres , est réservé aux régions rurales ou urbaines à faible

>>>

densité de population et d'industries (lignite , agglomérés de qualité courante du type des boulets ordinaires) .

Les teneurs en soufre du charbon français sont assez basses de l'ordre de 1% , comparées aux Etats Unis où elles sont de 5% environ . Le charbon de Gardanne est quant à lui très soufré (3,80% soit 9,45 g/thermie) , par rapport au charbon lorrain (1,2 g/thermie) , au charbon des Cevennes (0,8 g/thermie) , et à d'autres combustibles tels que le fuel (fuel normal : 4 g/th. , fuel à basse teneur en soufre : 2 g/th. , fuel à très basse teneur en soufre : 1 g/th.) .

Le coke , est un combustible très intéressant , qui issu d'un traitement préliminaire du charbon en vase clos , est débarrassé de la plupart des résidus soufrés et des fumées . Il était à la base de la production du gaz de ville , mais depuis le développement des ressources en gaz naturel , le coke domestique n'est quasiment plus utilisé.

Les combustibles liquides doivent obéir à la loi de la répartition géographique , en fonction de leur teneur en soufre , comme cela été évoqué précédemment pour le charbon (exemple des différentes qualités de fuels) . L'essence carburant présente des dangers par les oxydes de carbone et d'azote issus de sa combustion . Des modifications dans le fonctionnement des moteurs peuvent les diminuer .

>>>

**** Le réglage des combustions .**

Un système de combustion bien réglé est plus économique pour son utilisateur , et également moins polluant . Si ce principe est bien suivi par les grandes industries pour des raisons de budget d'entreprise , il l'est moins pour des installations moyennes , et petites telles les chauffages centraux d'immeubles . Des mesures administratives existent qui vont dans le sens d'un progrès , par des conseils promulgués . Elles sont parfois répressives , dépendant du Laboratoire Central de la Préfecture de Police .

**** Le développement du chauffage urbain .**

Les unités centralisées de chauffage urbain sont équipées de façon à être plus rentables et moins polluantes (procédés de dépoussiérage) . Les foyers domestiques émettent des fumées en tous lieux des villes et non dépoussiérées .

Le principe est le même pour l'incinération des ordures ménagères . On doit limiter les foyers individuels incontrôlables au profit d'unités d'incinération centralisées et dépoussiérées à 98% , comme c'est le cas pour l'usine d'Issy-les-Moulineaux .

>>>

**** La captation des aérosols .**

Lorsque la mise en oeuvre d'un procédé industriel se traduit par des émissions de particules solides ou liquides , en quantités jugées trop importantes , il convient de capter les aérosols formés , pour les éliminer ensuite . Cette fonction est assurée par des "dépoussiéreurs " .

Leurs principes de fonctionnement sont les suivants :

- Les chambres de sédimentation .
- Les séparateurs à inertie .
- Les filtres .
- Les laveurs .
- Les précipitateurs électrostatiques .

**** La désulfuration des combustibles liquides et des effluents gazeux .**

La combustion des fuels lourds correspond à une émission en France de l'ordre de 1.200.000 tonnes de SO₂ par an , soit 40% de l'émission totale . Les fuels domestiques et le gas-oil ont une part bien moindre dans la pollution soufrée , par leur faible teneur en SO₂ (0,9%)

La désulfuration des fuels légers et du gas-oil est contrôlée par de bonnes techniques . Celle des fuels lourds n'est pas résolue totalement .

>>>

L'élimination du SO₂ des gaz de combustion , utilise de nombreux procédés . La nouvelle unité de la centrale thermique de Gardanne utilise un procédé de captation du SO₂ au moment de sa formation dans le foyer , par injection d'un réactif , chaux ou calcaire . Le taux de captation naturelle du SO₂ , par le calcaire contenu dans les cendres du charbon , qui est d'environ 35% , passe à 60% .

Avec un tel rendement , la teneur moyenne en soufre rejeté dans l'atmosphère , diminue de 6 g/th. à 3,8 g/th.

L'usine d'Alumine Pechiney de Gardanne , utilise un procédé de lavage basique des fumées .

Un autre procédé consiste en une baisse de la température de combustion en lit fluidisé froid . Les composés soufrés du charbon , se dissocient moins et se retrouvent piégés dans les cendres

**** Les cheminées de grande hauteur .**

Elles permettent une meilleure diffusion des effluents gazeux des installations thermiques de très grande puissance . L'arrêté du 20 Juin 1975 , détermine le mode de calcul des hauteurs de cheminées , compte tenu de certains facteurs (teneur du combustible en soufre , quantité de combustible consommé par heure , vitesse de sortie des gaz ...)

Dans ce domaine encore , la centrale de Gardanne est performante , par sa nouvelle unité équipée d'une cheminée de 300 mètres.

>>>

**** Les gaz d'échappement des véhicules automobiles .**

Il concerne les moteurs à essence dont il faudra diminuer le taux d'oxydes de carbone , et d'imbrûlés , ainsi que les moteurs "diesel" , qui produisent des fumées noires .

Dans le cas des premiers , il faut déjà un réglage très précis du taux de carburation , couplé à celui de l'avance à l'allumage . Les Américains , très exigeants , ont adopté un système d'injection d'air au niveau des soupapes d'échappement ; là , le monoxyde de carbone et les imbrûlés , portés au contact d'oxygène à haute température , terminent leur combustion . Ils utilisent aussi des catalyseurs de post-combustion . On a parlé aussi d'essence sans plomb , anti-détonnant , qui est un poison des catalyseurs . La tendance actuelle est d'adopter des catalyseurs dits " multi-fonctionnels " , qui agissent sur les taux de monoxyde de carbone , d'hydrocarbures imbrûlés et d'oxydes d'azote simultanément .

Les moteurs à gas-oil peuvent produire beaucoup moins de fumées noires , par un réglage minutieux des injecteurs de carburant . Là encore la solution des catalyseurs de post-combustion peut être évoquée notamment pour les gros véhicules utilitaires (3) .

>>>

Depuis une vingtaine d'années que les efforts de dépollution sont exercés , les effets se font très nettement sentir . Le tableau synthétique suivant , réalisé par la D.R.I.R. , nous le montre :

SO2 : Stabilisation des rejets .

1982 : 205 000 Tonnes/an

1983 : 167 000 Tonnes/an

1986 : 180 000 Tonnes/an

POUSSIERES : Diminution des rejets de l'ordre de 40% , compte tenu de la marche des centrales thermiques

1983 : 15 000 Tonnes/an

1986 : 9 000 Tonnes/an

ODEURS : Les raffineries et la pétrochimie nécessiteraient une restructuration , mais les mesures appliquées dans cette branche industrielle , et les consignes d'exploitation détaillées mises en place dans les autres secteurs , doivent permettre de limiter les odeurs .

LES PRINCIPAUX POLLUANTS
ET LEURS EFFETS

>>>

III - LES PRINCIPAUX POLLUANTS ET LEURS EFFETS AIGUS - (1, 1', 4)

Les agents polluants atmosphériques sont multiples et peuvent être énumérés comme suit :

On peut les considérer selon leur aspect physique :

- Les gaz : Cl_2 , H_2S , CO_2 , CO , NO_2 , SO_2 ...
- Les aérosols : particules < 1 micron .
- Les déchets solides : fumées noires , poussières.

Ils appartiennent à différentes classes chimiques :

- Les corps soufrés (SO_2 , SO_3 , H_2S)
- Les corps azotés (NO_2 , NH_3 , acide nitrique)
- Les composés carbonés (CO , CO_2)
- Les oxydants (ozone , nitrate de peracyle)
- Les corps halogénés (chlorés , fluorés)
- Les métaux (Plomb , Cuivre , Manganèse)
- Les substances radioactives en faible quantités

Ces polluants peuvent avoir des effets toxiques , irritants, voire cancérigènes , et faire le lit d'infections .

>>>

Ils vont être le plus nuisibles chez les sujets vulnérables (personnes âgées , insuffisants respiratoires , insuffisants cardiaques , personnes à état général déficient)

- A - LE DIOXYDE DE SOUFRE .

----- 1 ----- Caractères physico-chimiques du SO₂ .

Le SO₂ est un gaz incolore et d'odeur piquante et irritante à des taux supérieurs à 1000 microgrammes / m³ (= 1 mg / m³) . Il réagit avec l'eau en suspension pour former des particules d'acide sulfurique . Il peut réagir aussi avec d'autres polluants aériens pour se transformer en SO₃ , sulfates d'ammonium , sulfates de magnésium (Bord de mer) .

----- 2 ----- Les sources d'émission de SO₂ .

Les sources naturelles productrices de ce gaz et de H₂S , sont les volcans , les bactéries anaérobies du sol , des marécages , des marais côtiers . La quantité de SO₂ émise par cette voie naturelle est à peu près égale aux sources industrielles , mais celles-ci par leur concentrations sont beaucoup plus nuisibles .

>>>

----- 3 ----- Les effets du SO₂ .

- a - Les effets sur l'homme .

**** Intoxication aiguë .**

Elle résulte de l'inhalation de SO₂ à une forte concentration et ses effets sont d'autant plus rapides que cette teneur est importante .

Une exposition massive (> 100 mg/m³) est responsable d'un oedème lésionnel aigu du poumon rapidement mortel .

Une concentration de quelques dizaines de milligrammes provoque rapidement une irritation des muqueuses respiratoires (rhinite , trachéite , bronchite) et oculaires (conjonctivite) , qui devient insupportable en une dizaine de minutes .

La concentration de quelques milligrammes / m³ provoque une augmentation de la résistance des voies aériennes chez le sujet normal , et une irritation respiratoire chez des sujets plus sensibles .

En atmosphère libre , des taux élevés ne sont pas retrouvés , sauf accident , et l'échelle de mesure est le microgramme / m³ . A Gardanne les pointes de pollution mesurées sur des durées très courtes de un quart d'heure , atteignent 1500 microgr./m³ , soit 1,5 mg/m³ .

>>>

**** Intoxication chronique en médecine du travail**

Une exposition professionnelle à des taux de l'ordre de 3 mg/m³ augmente l'incidence de la rhino-pharyngite et de la bronchite chronique avec diminution du volume expiratoire maximum par seconde (V.E.M.S.) ,

A des taux inférieurs à 2,5 mg/m³ , aucun effet n'est constaté au niveau respiratoire . Cela pourrait s'expliquer par une absorption complète du SO₂ au niveau des voies aériennes supérieures , avec symptomatologie O.R.L. exclusive .

Une étude a été réalisée à Gardanne dans ce domaine (se reporter au paragraphe sur l'enquête épidémiologique) .

**** Intoxication chronique par la pollution atmosphérique**

Les taux observés sont plus faibles qu'en milieu professionnel . Exprimés en moyennes journalières , ils sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes , mais les effets ressentis tiennent à une action synergique avec les particules solides en suspension .

Les effets en sont une irritation des voies respiratoires , qui favorise l'apparition de la bronchite chronique .

>>>

- b - Les effets sur l'animal

Les animaux présentent des signes d'atteinte broncho-pulmonaire en cas de pic de pollution . Il n'a pas été recensé d'atteinte chronique pour des expositions à des taux inférieurs à 2,5 mg/m³ .

- c - Les effets sur les végétaux .

Le SO₂ exerce , sous la forme des "pluies acides" , un grand nombre d'effets écotoxicologiques visibles (chute des feuilles et des aiguilles , mort de certains végétaux en cas d'exposition prolongée) , ou non visibles (par empoisonnement du métabolisme : surtout des conifères , et des légumineuses .)

- B - LES PARTICULES EN SUSPENSION .

----- 1 ----- Nature .

Les particules en suspension sont constituées par du carbone , des composés bitumeux (hydrocarbures , usure des pneumatiques et des

>>>

revêtements de routes) , de la vapeur d'eau , des produits solubles (chlorures , nitrates , sulfates) , des cendres insolubles parmi lesquelles des métaux (plomb , fer) .

----- 2 ----- Origine .

Les sources naturelles sont nombreuses (incendies de forêts , pollen , poussières de terre et de sable) .

Les sources locales à Gardanne sont représentées par les unités industrielles (Centrale thermique , Aluminium Pechiney , Cimenteries Lafarge) , les poussières de charbon et de bauxite , les foyers domestiques en hiver .

----- 3 ----- Effets sur l'homme .

Leur taille conditionne leurs répercussions sur la santé :

>>>

On distingue

- Les poussières ou particules sédimentables dont le diamètre est compris entre 10 et 100 micromètres qui sédimentent spontanément au sol .

- Les particules en suspension de moins de 5 microns , qui forment un aérosol et ne tombent sur le sol qu'à la faveur de précipitations .

- Les particules de 10 microns sont retenues par les voies aériennes supérieures

- Entre 5 et 10 microns elles atteignent les bronches et bronchioles , mais sont rejetées par le système muco-ciliaire .

- Entre 1 et 5 microns elles sont dangereuses par leur tropisme alvéolaire .

On connaît surtout les effets synergiques de ces poussières avec le dioxyde de soufre , responsables d'irritation des voies respiratoires, et favorisant l'installation d'une bronchite chronique .

Elles sont le support particulaire des brouillards acides , siège de la transformation de SO_2 en acide sulfurique , grâce à la présence de vapeurs d'eau et d'agents oxydants .

>>>

Dans les grandes villes les suies noires , liées à la circulation automobile , sont le support d'hydrocarbures cancérigènes tels que le benzopyrène .

Leur importance est telle , que l'Organisation Mondiale de la Santé a établi des tableaux sur les seuils de concentrations couplées de SO₂ et de poussières , susceptibles de provoquer des troubles sur la santé humaine (Cf. illustration n° 4) .

A partir de ces chiffres la Communauté Economique Européenne , a établi des normes à ne pas dépasser . La qualité de l'air doit répondre aux conditions suivantes (Cf. illustration n° 5) .

La médiane des moyennes journalières est la valeur en dessous de laquelle se trouvent 50% de ces moyennes .

Le percentile 98 des moyennes journalières est la valeur en dessous de laquelle se trouvent 98% de ces moyennes .

>>>

<u>NORMES</u> <u>O.M.S.</u>	Concentrations de SO₂ et de particules .	Durée d'exposition	Effets
	500 ug/m³ SO₂ 500 ug/m³ PART. (moyennes/jour)	quelques jours consécutifs	Augmentation de la mortalité et de la morbidité des sujets à risques car- diaque ou pulmonaire.
	250 ug/m³ SO₂ 250 ug/m³ PART.	"	Exacerbation des symptômes de sujets bronchiteux chroniques Altération temporaire de la fonction respirat. de sujets "sensibles".
	<250 ug/m³ SO₂ <250 ug/m³ PART.	24 heures	"
	100 ug/m³ SO₂ 100 ug/m³ PART.	1 année	Infections + graves des voies resp. inf. et baisse des débits resp. maxima d'enfants

(Illustration n° 4)

>>>

POLLUTION ATMOSPHERIQUE / NORMES C. E. E. / BASSIN DE GARDANNE

(Illustration n° 5)

1 - Médiane hivernale des moyennes journalières

SO₂ _____ < ou = 180 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 60 ug/m³
ou
SO₂ _____ < ou = 130 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 130 ug/m³

2 - Médiane annuelle des moyennes journalières

SO₂ _____ < ou = 120 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 40 ug/m³
ou
SO₂ _____ < ou = 80 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 80 ug/m³

3 - Percentile 98 annuel des moyennes journalières

SO₂ _____ < ou = 350 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 150 ug/m³
ou
SO₂ _____ < ou = 250 ug/m³
et PARTICULES _____ < ou = 250 ug/m³

Les dépassements ne doivent pas avoir lieu sur plus de 3 jours consécutifs , et pas plus de 7 journées par an .

>>>

Trois aspects essentiels de ces normes européennes doivent être soulignés :

- Les valeurs limites fixées pour le SO₂ (médiane et percentile 98) , sont minorées en cas de dépassement d'un certain seuil par les particules , ce qui provient du caractère synergique de l'action de ces polluants .

- Des valeurs limites sont fixées pour la médiane des taux mesurés entre le 1er Octobre et le 31 Mars afin de réduire le nombre de journées trop polluées durant cette période hivernale . En effet la médiane annuelle ne peut rendre compte à elle seule du caractère saisonnier des épisodes de pollution .

- La fixation d'un percentile 98 maximal annuel , a pour but de limiter les pointes de pollution responsables d'effets aigus , à une période maximale de 7 jours par an . Là , le dépassement des normes européennes est autorisé au dessus des chiffres donnés dans le tableau , c'est à dire 350 ug/m³ de SO₂ pour un taux de poussières de 150 ug/m³ , et 250 ug/m³ de SO₂ pour un taux de poussières de 250 ug/m³.

----- 4 ----- Les effets sur l'animal .

Ils sont , comme pour l'homme , ressentis au niveau de l'appareil respiratoire . Les herbivores subissent en plus une contamination par les particules sédimentées sur les végétaux , qu'ils ingèrent ensuite . Par

>>>

exemple les poussières chargées de fluorure provoquent chez le bétail une maladie grave la " fluorose " ou " darmous " , qui atteint les os et les dents et peut aboutir à la mort .

----- 5 ----- Les effets sur les végétaux .

Les poussières accumulées forment écran aux rayons lumineux et , par conséquent , diminuent l'assimilation chlorophyllienne .

Les conifères sont très sensibles aux particules de fluor , qui les détruit spécifiquement .

- C - LES OXYDES D'AZOTE .

----- 1 ----- Caractères physiques et chimiques .

Le monoxyde d'azote NO , est un gaz plus lourd que l'air , incolore et presque inodore . Il est environ 5 fois moins toxique que le NO2 .

Le dioxyde d'azote NO2 , se trouve à basse température sous forme de dimère N2O4 liquide , et à haute température sous forme de monomère gazeux NO2 . A température ordinaire , c'est un gaz rougeâtre , plus lourd que l'air correspondant à un mélange moléculaire stable entre NO2 et N2O4 .

>>>

Le NO et le NO₂ sont toujours présents ensemble sous la forme du mélange appelé vapeur nitreuse (NO + NO₂) .

En présence d'eau , ou d'agents basiques (ions OH⁻) , il se forme des nitrites et nitrates (HNO₂ , HNO₃) .

----- 2 ----- Les sources d'émission .

Paradoxalement , les sources naturelles sont dix fois plus importantes que les sources industrielles . Mais étant donné que les premières sont distribuées sur la totalité de la surface terrestre , les concentrations qui en résultent sont pratiquement négligeables

Ces sources naturelles sont : les éclairs , les éruptions volcaniques , les métabolismes bactériens et les activités humaines .

Les sources non naturelles sont essentiellement :

- les moteurs automobiles (essence , diesel)
- les foyers de production thermique

Dans la région de Gardanne où le trafic routier est faible le problème de la pollution par les oxydes d'azote reste très négligeable , relativement au SO₂ et aux poussières .

>>>

----- 3 ----- Les effets sur l'homme .

- a - Intoxication aiguë .

C'est un gaz très irritant pour les muqueuses respiratoires et les yeux . Lors d'expositions accidentelles professionnelles , à des taux de l'ordre de 80 mg/m³ , le gaz provoque une anesthésie olfactive et sa détection étant alors impossible , le sujet contaminé ne note qu'une irritation légère des muqueuses respiratoires . Il survient ensuite une phase de rémission asymptomatique de quelques heures . Apparaît brutalement un oedème aigu du poumon qui associé aux effets méthémoglobinisants des nitrates et nitrites , induits dans le sang du sujet , est mortel en 24 à 48 heures .

- b - Intoxication chronique .

En milieu professionnel , des taux d'exposition de 3 mg/m³ de vapeurs nitreuses favorisent le développement d'un emphysème , ainsi que d'infections pulmonaires , par affaiblissement des systèmes immunitaires de défense .

En milieu extérieur , les taux varient de quelques dizaines à quelques centaines de microgrammes/mètre-cube . L'irritation persistante de l'appareil respiratoire qui se produit , favorise l'installation d'une bronchite chronique .

Chacun de nous se trouve exposé quotidiennement à ce polluant , aux heures de pointe du trafic urbain .

----- 4 ----- Effets sur l'animal .

Il sont équivalents à ceux observés chez l'homme .

----- 5 ----- Effets sur les végétaux .

A des teneurs très élevées , de l'ordre de quelques mg/m³ , on peut voir une nécrose de la surface des feuilles . Aux taux atmosphériques habituels on ne connaît pas bien le retentissement sur les plantes .

- D - AUTRES POLLUANTS .

Leurs teneurs négligeables sur les lieux de l'enquête , ne nient pas des interactions possibles avec les polluants précédents , mais place leur étude au second plan (Hydrocarbures , oxydes de carbone , ozone ...) .

LE BASSIN
DE GARDANNE

Le bassin de Gardanne présente des caractéristiques sur les plans géographique , climatologique , et pollution qui vont être documentées dans les paragraphes suivants .

- A - GEOGRAPHIE ET CLIMATOLOGIE LOCALES

----- 1 ----- La géographie du Bassin de Gardanne

La centrale E.D.F est implantée , avec d'autres industries , dans la vallée de l'Arc dont l'orientation principale se fait dans un axe Est-Ouest , limitée au Nord-Ouest par la chaîne d'Eguilles , au Nord-Est par les Montagnes de la Sainte-Victoire et du Cengle (point culminant à 1011 mètres) , au Sud par la Chaîne de l'Etoile (779 m.) , la Montagne du Régagnas (715 m.) et le Massif de la Sainte-Baume (1147m.)

L'illustration n°6 permet de mieux visualiser la topographie des lieux .

Le site de Gardanne-Meyreuil se trouve à une altitude de 210 mètres , et comporte une population de 17 000 personnes dans un rayon de 5 km autour de la Centrale .

La zone de 10 km. de rayon autour de la Centrale englobe 18 communes et correspond à une population de 160 000 personnes environ .

Il s'agit de : Aix-En-Provence , Beaurecueil , Belcodène , Bouc-Bel-Air , Cabriès , Cadolive , Châteauneuf-le-Rouge , Fuveau , Gardanne , Greasque

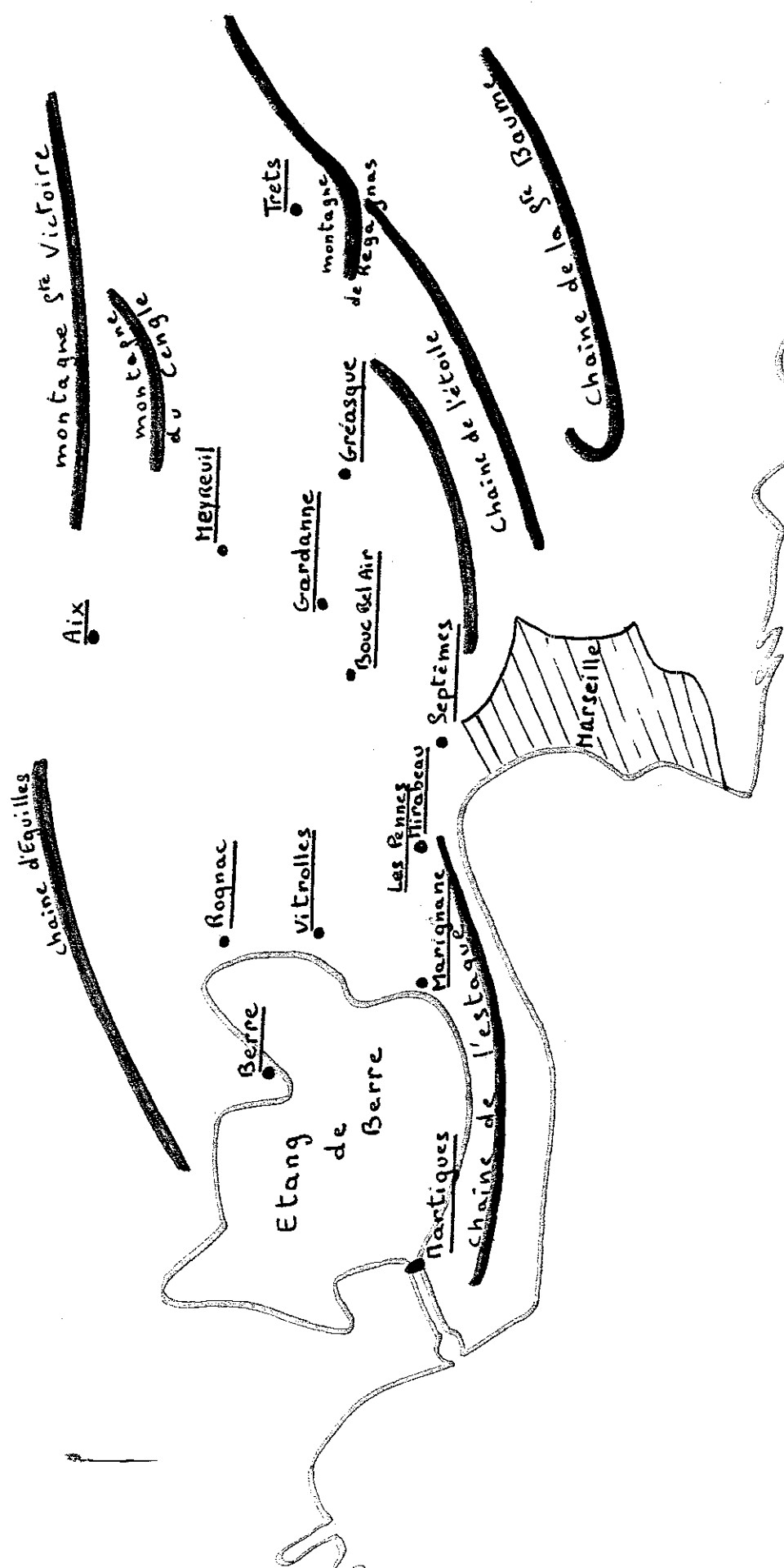


Illustration n°6

Meyreuil , Mimet , Rousset , Saint-Antonin , Saint-Marc-Jaumegarde ,
Saint-Savournin , Simiane-Collongue , Le Tholonet

Les grandes villes environnantes sont Aix-En-Provence à 7 km.
au Nord-Ouest , Marseille à 18 km. au Sud-Ouest et l'Etang de Berre se
situe à 20 km. à l'Ouest .

----- 2 ----- La climatologie locale . (10)

- a - L'influence des conditions météorologiques .

Les effets sur la santé des polluants aériens , résultent de
l'équilibre existant entre les émissions , dont la quantité peut être
contrôlée par l'homme , et les conditions météorologiques , aléatoires et
non contrôlables . Ces dernières pourront favoriser l'accumulation des
polluants , leur dispersion , leur transformation .

La concentration des polluants est ainsi influencée par
différents paramètres naturels :

- Les vents
- Les inversions de température
- Les mouvements ascendants
- La pression barométrique
- les précipitations

**** Les vents**

- Les vents faibles (1 à 3 mètres/sec.) , intermédiaires (4 à 6 m/sec.) et les brises côtières .

Il s'agit des régimes de fin de Mistral , fin de Tramontane , et fin de régimes dits "perturbés" de Sud-Sud-Est , et des brises côtières .

Les brises côtières se caractérisent par l'alternance de brise de mer et de brise de terre , très défavorables à la diffusion des polluants ; elles prédominent en saison chaude , de Mai à Septembre .

Ces régimes de vents prédominent en Automne et en Hiver , avec un maximum pour les vents faibles en Septembre/Octobre , et un maximum pour les Grands Calmes en Décembre .

Un vent faible soufflant sur une grande ville ou dans l'axe d'une vallée (comme à Gardanne) , se charge progressivement en intégrant les polluants émis le long de son passage . Les concentrations en fin de course sont alors plus élevées qu'en l'absence de vent .

L'absence de vent lors des périodes de grands calmes , contribue à augmenter la concentration des polluants . Leur dispersion est faible mais existe par phénomène d'ascendance (panache de fumées vertical) .

- Les vents forts (>6 mètres/seconde) .

- Le Mistral et la Tramontane , d'origine Nord-Ouest , de fréquence maximale au Printemps et en Été .

- Les vents d'Est et de Sud-Est , qui accompagnent les perturbations atmosphériques génératrices de précipitations , qui prédominent pendant la saison humide (Novembre à Avril) .

Ils sont un très bon facteur de diffusion , la pollution aérienne étant alors quasiment nulle dans le secteur situé en dehors du cône très étroit des panaches de fumées . Ce panache enregistre par contre des taux élevés de polluants ; on parle de pollution directionnelle (Illustration n°9)

** Les inversions de températures .

En règle générale lorsque l'on s'élève en altitude on observe une baisse régulière de la température (courbe 1) . Il peut arriver qu'à partir d'une certaine altitude le gradient s'inverse et devienne positif ; l'air se réchauffe alors au fur et à mesure que l'on s'élève , et si l'on continue à monter le gradient retrouve une valeur négative . L'ensemble est donc constitué par une couche d'air plus ou moins épaisse , suspendue à un altitude variable , dont la face inférieure a une température plus basse que la face supérieure . Cette " tranche " d'atmosphère est dite couche d'inversion de température . (courbe 2-Illustration n°7)

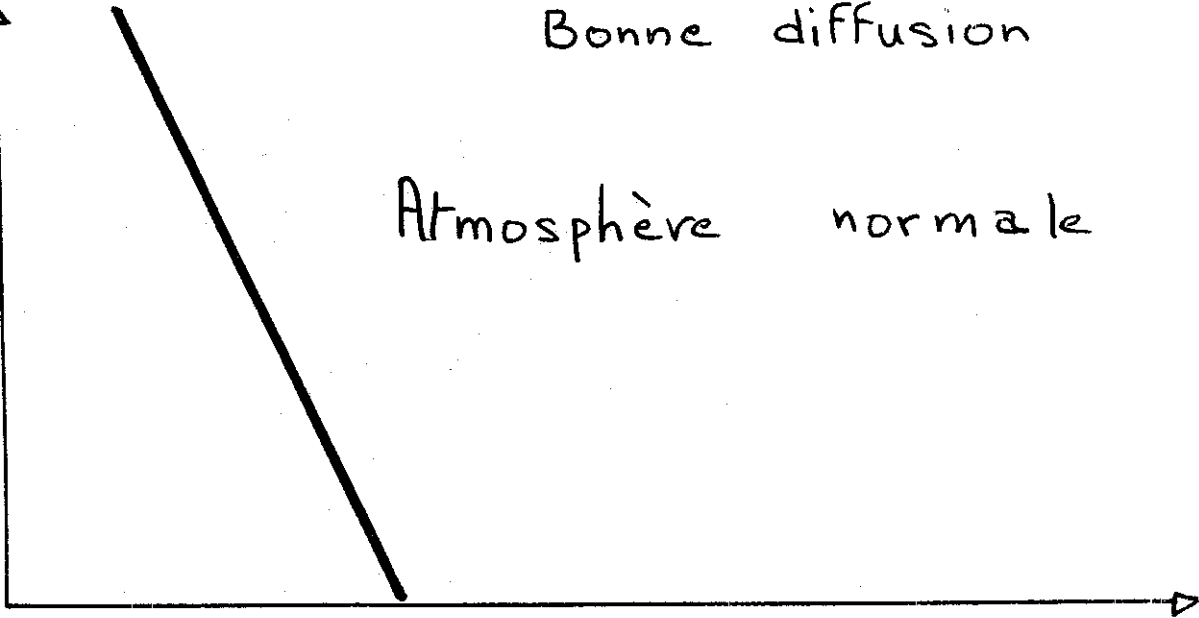
Illustration n° 7

(1)

Altitude

La température baisse
avec l'altitude
Bonne diffusion

Atmosphère normale

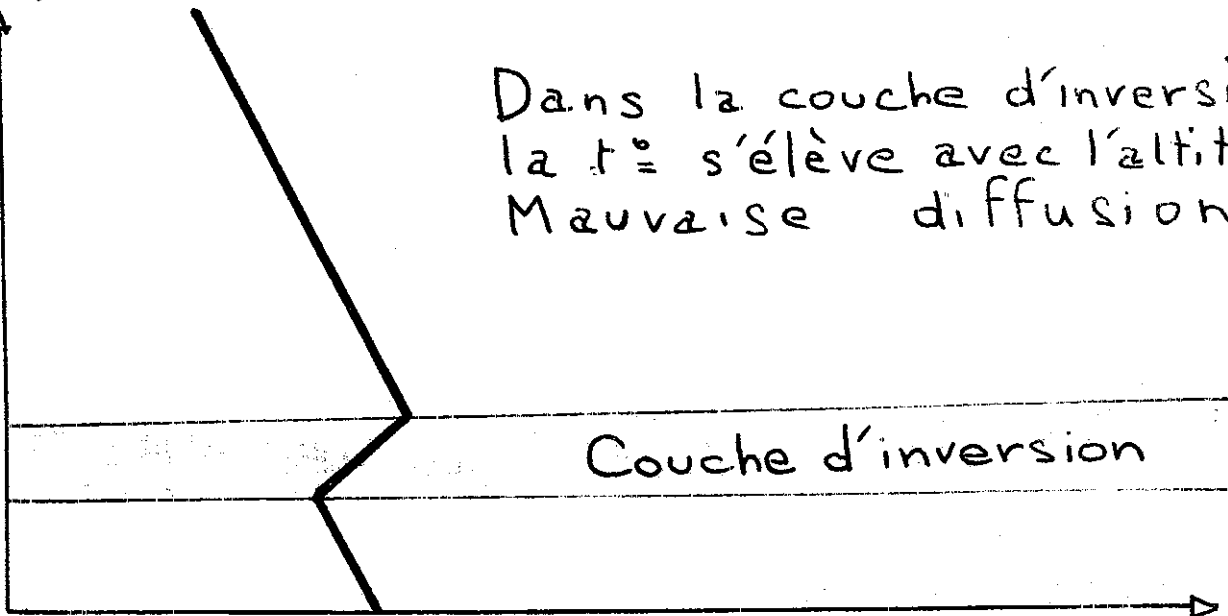


Température

Altitude

Dans la couche d'inversion
la t° s'élève avec l'altitude
Mauvaise diffusion

Couche d'inversion



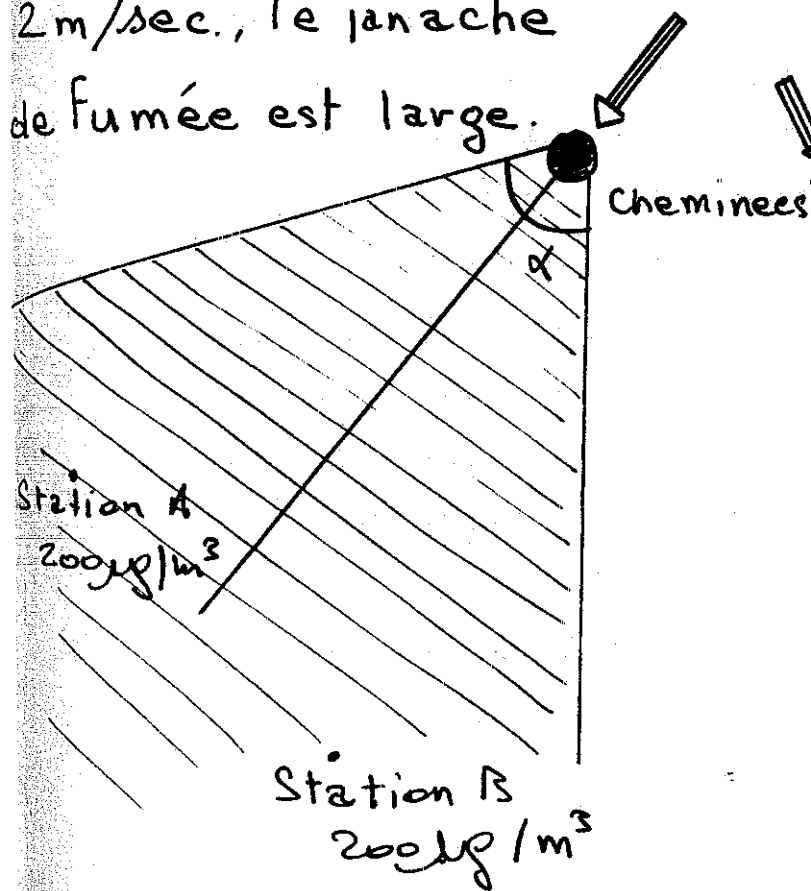
Température

(2)

Illustration n° 9

1. Par VENT FAIBLE

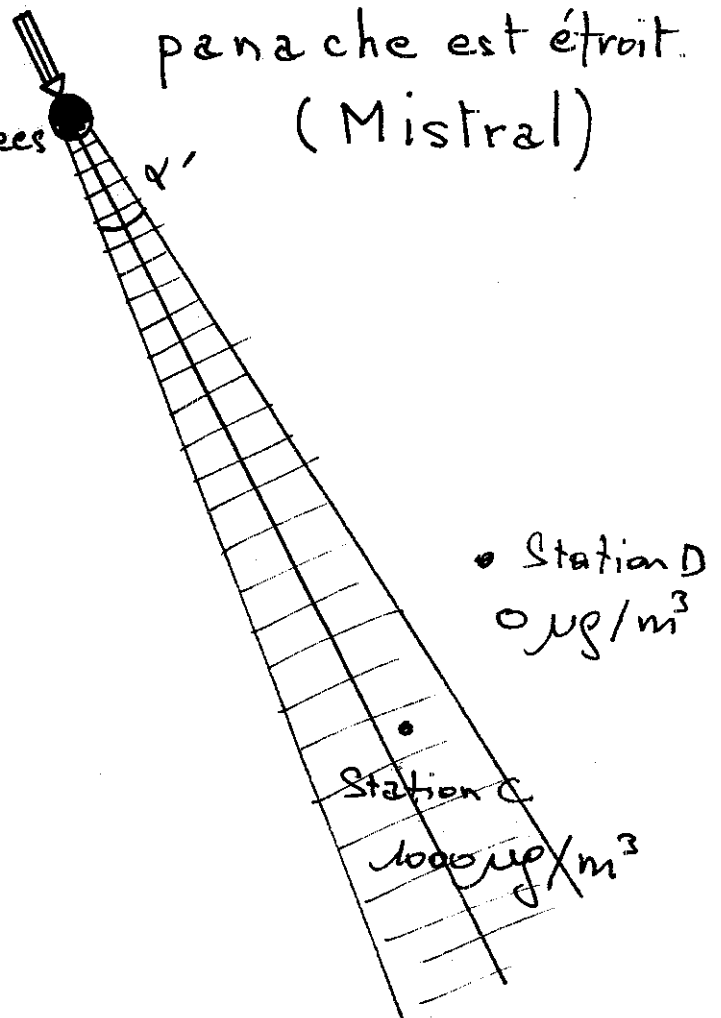
2 m/sec., le panache de fumée est large.



MAUVAISE DIFFUSION

2. Par VENT FORT

$> 6 \text{ m/sec.}$, le panache est étroit. (Mistral)



BONNE DIFFUSION
MAIS FORTES
POLLUTIONS
DIRECTIONNELLES

Cette nappe d'air peut se constituer la nuit , le sol se refroidissant ainsi que la couche d'atmosphère , à son contact . Elle se dissipe le matin avec le rayonnement solaire , sauf si le réchauffement est insuffisant (temps couvert , dépression atmosphérique) , de même par régime aérologique de vents très faibles ou absents (Grands Calmes), et dans ces cas cette situation d'inversion se prolonge , un , voire plusieurs jours .

Le calcul de la hauteur des cheminées est important pour permettre aux émissions de fumées de passer au dessus du bouclier thermique , constitué par la couche d'inversion (Illustration n°8) .

La ville de Los Angelès , qui par ses conditions géographiques connaît 200 jours d'inversion par an . Un air frais océanique (Pacifique) à l'Ouest recouvre la ville , tandis qu'à l'Est un haut plateau désertique et à très forte insolation , crée une masse d'air chaud à quelques centaines de mètres d'altitude .

La dispersion de ces inversions est assurée par le rayonnement solaire et par les mouvements de l'atmosphère :

- Les vents tout d'abord , circulant entre les zones de basses pressions (dépressions) et les zones de hautes pressions (anticyclones) .

La vitesse minimale nécessaire est de 2 mètres/seconde et si cette dynamique horizontale des couches atmosphériques basses nettoie le site industriel elle est capable d'engendrer des pics de pollution importants mais transitoires des zones situées sous le vent .

Inversion Thermique

Percage du
bouclier thermique
= DIFFUSION

NON DIFFUSION

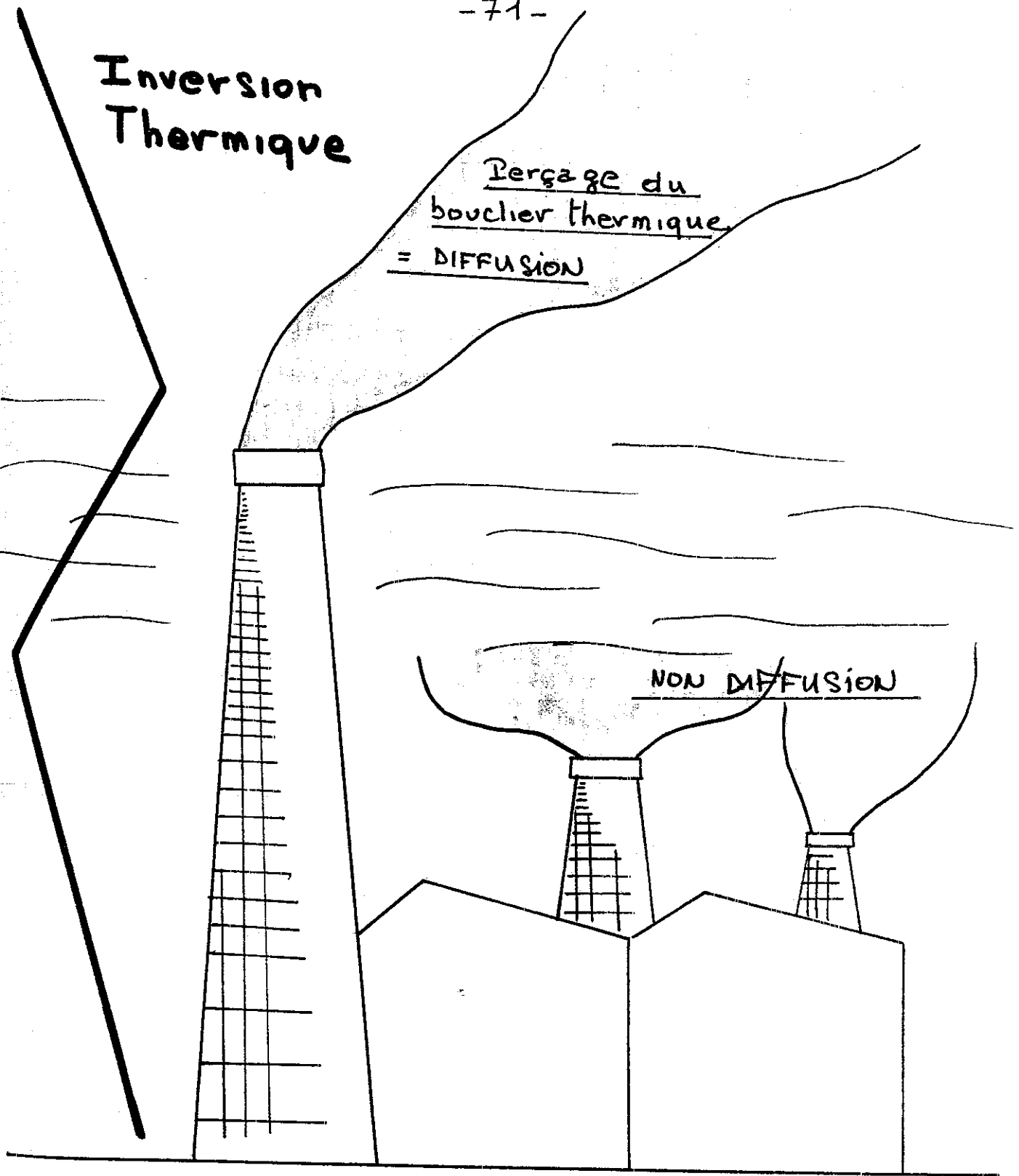


Illustration n° 8

- Les turbulences provoquées par la présence du relief , bien connues des pilotes d'avions . En effet il va modifier la direction d'une masse d'air , ou la canaliser dans une vallée . Des études statistiques permettent de connaître la Rose des Vents Dominants d'une agglomération et de faire la prévision topographique de l'implantation d'une unité à fort potentiel polluant telle qu'une centrale thermique .

- Les situations de bord de mer , comme les lacs favorisent les régimes de brises alternantes de mer et de terre , facteur de non diffusion .

Sur le littoral méditerranéen la fréquence des inversions prédomine la nuit (50 à 70%) , et d'Octobre à Décembre . Les inversions diurnes sont donc moins fréquentes et se situent de Novembre à Janvier ; elles correspondent le plus souvent à une inversion nocturne persistante de jour , et dans ce cas sont responsables des épisodes de pollution les plus critiques .

** Les mouvements ascendants .

Une masse d'air importante qui se déplace ainsi , se détend adiabatiquement (c'est à dire se transforme sans échange de chaleur avec l'extérieur) et se refroidit . Il en résulte la condensation sous forme

d'un nuage , de la vapeur d'eau qui s'est trouvée en sursaturation à partir d'une certaine température . Cet effet peut s'accompagner de pluie si les micro-gouttes de l'aérosol formant le nuage , grossissent suffisamment .

Ce même phénomène survenant en zone polluée , les polluants se trouvent ainsi ascensionnés et dispersés .

En cas de forte pollution par des particules , celles-ci , au moment où cesse la sursaturation , peuvent jouer le rôle de noyaux de condensation et contribuer à la formation du nuage voire à la chute de la pluie . Ce phénomène se produit facilement au dessus des villes car elles représentent un îlot de chaleur favorable à l'ascendance des masses d'air et des polluants .

** La pression barométrique .

Elle n'agit pas directement sur la structure de la basse atmosphère , et donc sur la diffusion des polluants . Par contre elle caractérise bien certains types de temps , différents entre la saison d'été et la saison d'hiver . Dans notre région les variations de pression sont beaucoup plus importantes l'hiver que l'été :

- En Hiver on constate la rencontre fréquente d'anticyclones stables et de dépressions très marquées .

- En Eté les anticyclones sont moins marqués , les dépressions moins creusées et plus rares .

Les situations de forte pollution dans notre région , sont les épisodes hivernaux , dûs à une très grande stabilité des basses couches de l'atmosphère , par inversions thermiques prolongées . Ces phénomènes s'établissent l'hiver par situation anticyclonique , avec une pression barométrique élevée , une vitesse de vent faible (< 3m./seconde) et une hygrométrie basse . Ils correspondent aussi à de forts écarts entre températures maximales et minimales .

A Gardanne , un système de sondage météorologique très sophistiqué , le SODAR , met en évidence , dès leur formation ces situations dangereuses . Le siège de la D.R.I.R. à Marseille contrôle ces données et peut agir sur les industries locales pour éviter un pic de pollution .

**** Les précipitations .**

La pluie par son rôle de lavage, débarasse l'air de ses impuretés mais contribue à la pollution des milieux naturels terrestres et aquatiques (phénomène des pluies acides) .

**** La transformation des polluants .**

En présence de brouillard et de grosses quantités de SO_2 , il se produit une transformation de SO_2 en SO_3 en acide sulfurique : c'est le "smog" acide (Londres) .

En présence d'un fort ensoleillement , d'émissions abondantes de polluants automobiles (NO_2) , et d'une couche d'inversion thermique, il

se produit une série de réactions photochimiques responsables de la formation de corps chimiques très oxydants : c'est le "smog" oxydant comme à Los Angeles .

- b - Quelques aspects locaux de la climatologie .

La Direction Régionale Sud-Est de la Météorologie a effectué une étude précise des vents sur le littoral méditerranéen , en 1980 , sur 18 ans de recul .

Il est apparu en conclusion que :

----- La période hivernale (Novembre à Janvier), caractérisée par une fréquence élevée de vents faibles et de cas d'inversions thermiques diurnes à basse altitude est une période défavorable à la diffusion atmosphérique des polluants .

----- La période de Février à Avril avec une fréquence élevée de vents forts , donne de bonnes conditions de diffusion , et représente une saison plus favorable .

----- La saison chaude de Mai à Septembre est caractérisée par la fréquence de régimes de brises côtières , qui donnent à la

climatologie méditerranéenne son originalité dans le domaine de la pollution de l'air , point de départ d'importants pics polluants enregistrés notamment dans la zone Fos-Etang de Berre . Ces pics de courte durée sont plus fréquents dans le cas de brises typiques d'Ouest et de Sud-Ouest .

----- Etude des inversions thermiques sur Gardanne .

La campagne de mesures aérologiques réalisée à Gardanne-Meyreuil pour le compte des Houillères de Provence en Novembre/Décembre 1980 , a permis de déterminer la structure verticale de l'atmosphère , par situation d'inversion de température (Seuls quelques journées de vent fort de Nord-Ouest n'ont pas présenté de couches d'inversion) .

La plupart des inversions de plus de 90 mètres d'épaisseur observées ont eu une base inférieure à 1200 mètres d'altitude (donc à moins de 990 m. au dessus du sol) , et une épaisseur de 100 à 300 m.

Cette étude a permis de déterminer les caractéristiques de 3 types de situations d'inversion vis à vis de la cheminée de 300 m prévue pour la nouvelle unité baptisée " V " de 600 MW de la Centrale thermique :

----- 1 - Les situations où l'on observe une percée franche de la couche (80% des cas) sont caractérisées par :

- Base de l'inversion située entre 590 et 740 m. d'altitude , soit 80 à 230 m. au-dessus de la cheminée .
- Epaisseur de l'inversion comprise entre 100 et 250 m.
- Vent faible à modéré . (Illustration n° 10a)

----- 2 - Inversement les situations donnant lieu au phénomène de " trapping " ont une base située entre 830 et 920 m d'altitude , soit 320 à 410 m. au-dessus de la cheminée

Les polluants pouvant se disperser , avec ceux émis par des sources plus basses, dans une couche de 600 m. d'épaisseur , ces situations ne devraient amener des concentrations importantes au sol qu'en cas de persistance du phénomène . (Illustration n° 10b)

----- 3 - Entre ces deux situations extrêmes on trouve le cas intermédiaire où le panache reste piégé dans la couche d'inversion et donc diffuse relativement peu . Pour ces situations on trouve des inversions épaisses de plusieurs centaines de mètres situées entre 500 et 1000 m. d'altitude . C'est dans cette situation que l'on peut observer des pointes de pollution importantes (Illustration n° 10c).

- B - LES POSTES DE RELEVES METEOROLOGIQUES ET DE POLLUTION .

----- 1 ----- L'association AIRMARAIX . (2')

Notre région et notamment Gardanne sont placés sous la surveillance technique de la D.R.I.R. , comme cela a été exposé dans les généralités . Ce représentant régional du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie a conçu un réseau moderne d'analyses et de centralisation des données .

Illustration n°10

Figure 1: Percée franche de l'inversion

(a)

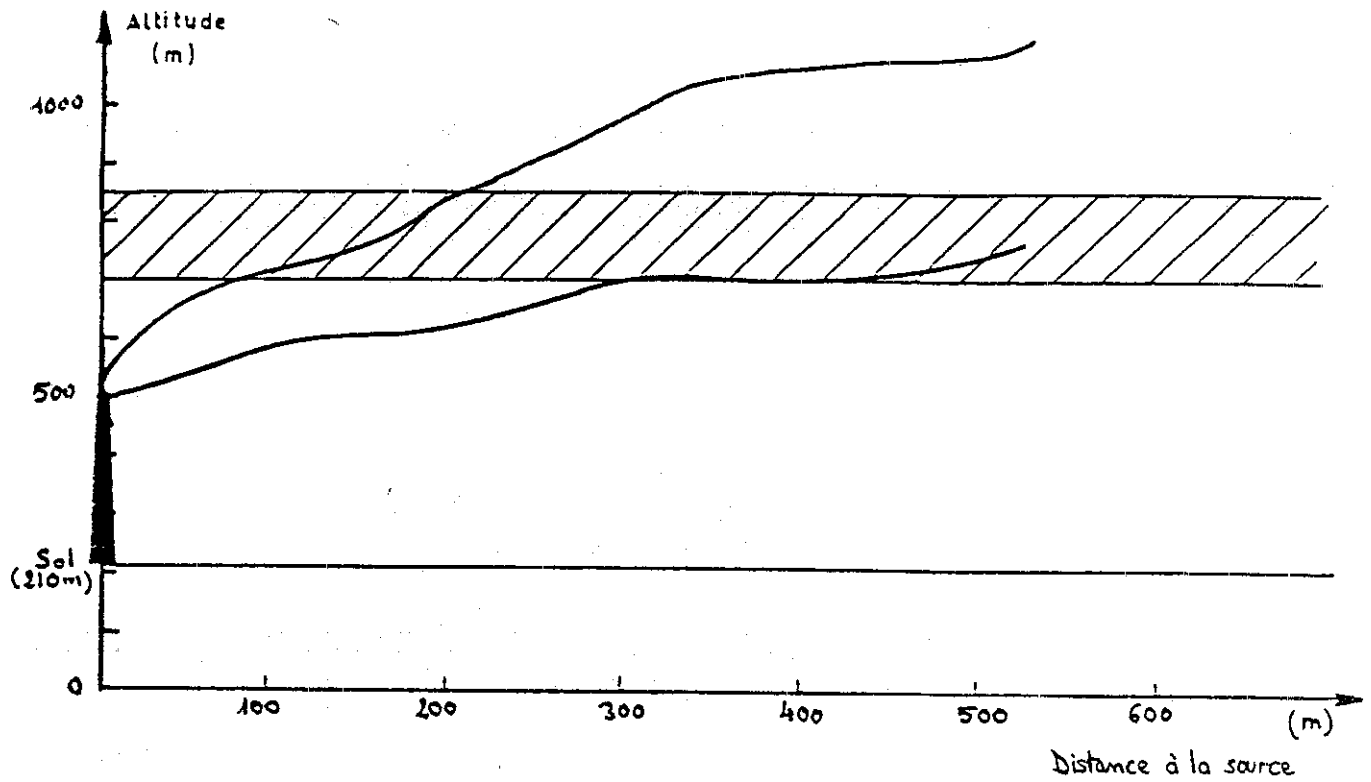


Figure 2: Phénomène de "trapping"

(b)

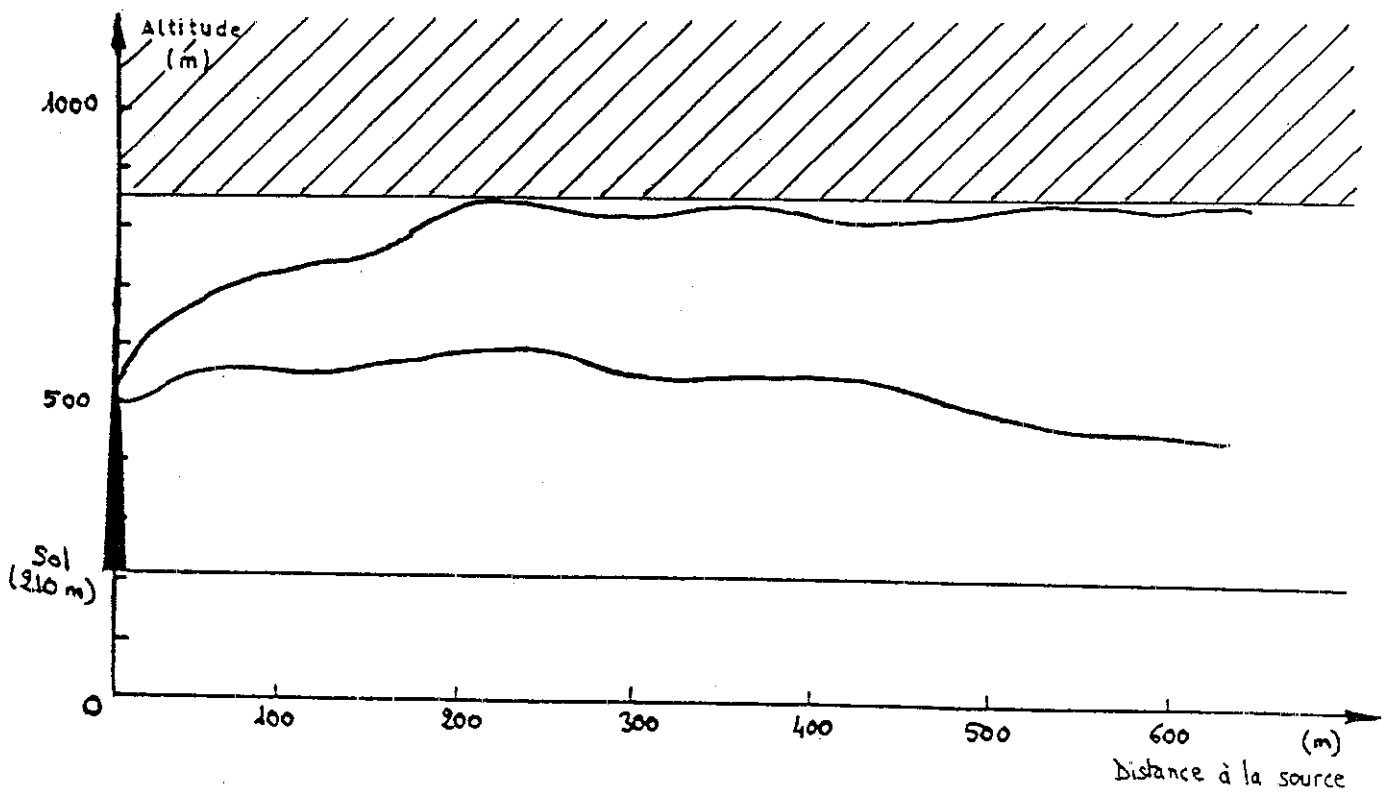
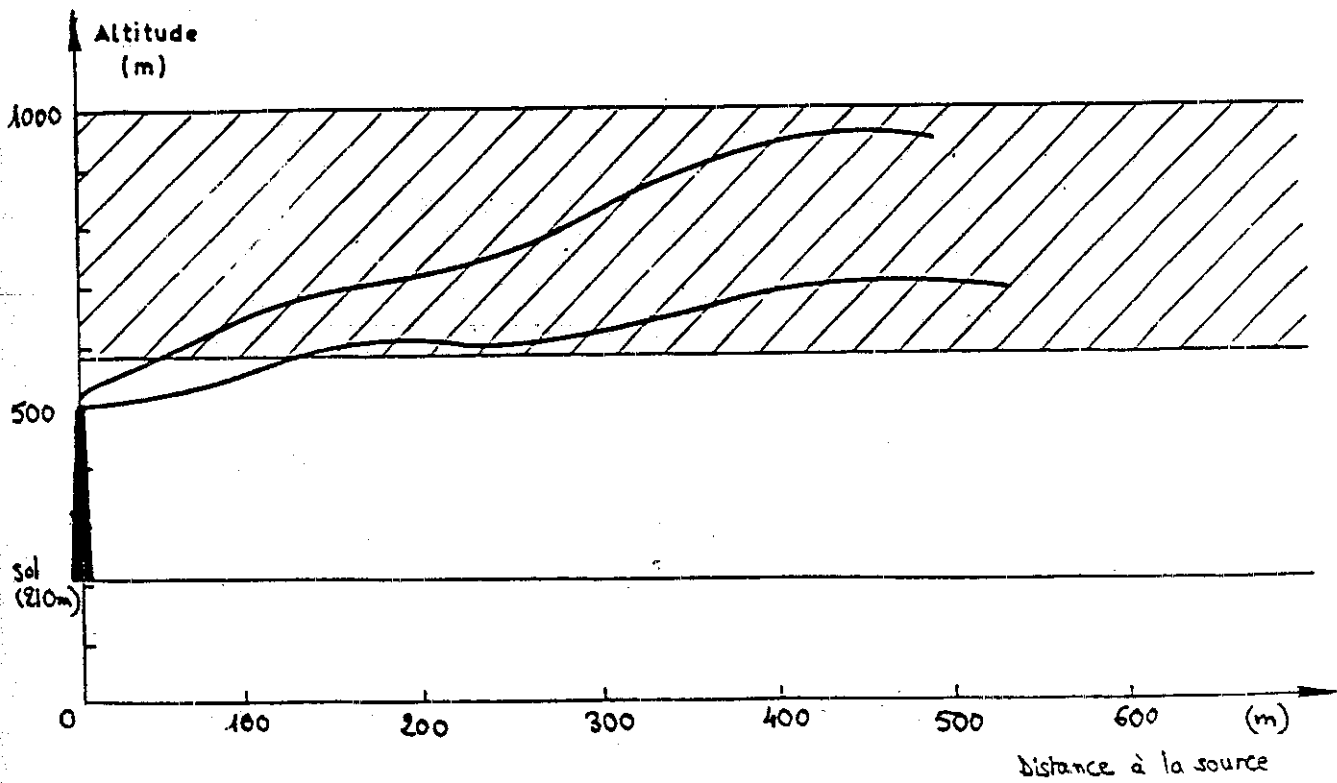


Illustration n° 10 c

(C)

Piégeage du panache dans la couche d'inversion :

Figure 3



La gestion de ce réseau est confiée à une association sans but lucratif , fondée le 15 Décembre 1981 , sous la dénomination d'AIRMARAIX qui contrôle le secteur Marseille/Aix , et l'Etang de Berre par l'intermédiaire du réseau AIRFOBEP .

AIRMARAIX a été notre correspondant direct et privilégié , lors de l'enquête épidémiologique , alertant le secrétariat du Pr KLEISBAUER lors de conditions atmosphériques de pics de pollution ou de pollution directionnelle . Après cet appel l'enquête était réalisée auprès des écoliers de façon à voir les effets immédiats cliniques et spirométriques.

----- 2 ----- Les éléments constitutifs du réseau

Toutes les données sont centralisées à Marseille , 307 Rue Paradis , 13008 , où sont assurés l'acquisition , la visualisation , le stockage et le traitement des informations , ainsi que la possibilité d'alerter les unités industrielles polluantes , afin qu'elles ralentissent leur marche voire stoppent .

Le poste central est relié aux stations réparties sur les sites à surveiller , munies d'analyseurs mesurant la concentration en polluants de l'air , et de capteurs mesurant les grandeurs météorologiques .

Les liaisons entre le siège d'AIRMARAIX et les sites sont assurées par un dispositif de télétransmission permanent de lignes téléphoniques spécialisées .

La scrutation des stations s'effectue automatiquement toutes les quinze minutes à l'initiative de l'ordinateur du poste central . Les mesures sont stockées sur disque , traitées et éditées soit automatiquement , soit à la demande .

Le réseau se compose de 28 stations dont 13 sont implantées en différents points de Marseille , 6 dans les villes périphériques , et 7 stations du réseau de surveillance des Houillères de Provence (Illustration n° 11)

- Bouc-Bel-Air
- Gardanne
- Rousset
- Luynes
- Greasque
- Plan d'Aups
- Biver

Toutes les stations ne possèdent pas le même équipement, le facteur commun restant le SO₂ , et chaque station s'adaptant aux polluants habituels locaux . La plus performante , à Gardanne , est équipée d'un SODAR-FLUXMETRE , appareil très sophistiqué permettant une étude plus fine des couches atmosphériques et pouvant ainsi assurer une meilleure prévention des inversions thermiques :

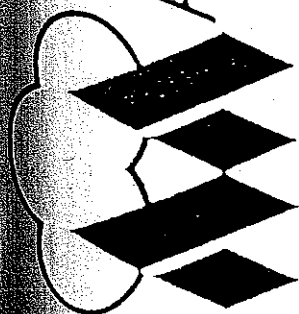
Le SODAR : il accède à la mesure en altitude du vent tridimensionnel (vitesse et direction horizontale , vitesse verticale) par trois antennes paraboloides au sol .

LISTE DES STATIONS DU RESEAU DE MESURE
DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE D'AI-MAR-IX

APPELLATION	N°	ADRESSES	CAPTEURS
PARADIS	1	307, RUE PARADIS - 13008 MARSEILLE	SO ₂ - NO ₂ - NO - O ₃ - HCT - HCM - CO - FN -
TIMONE	2	HOPITAL DE LA TIMONE - BD J. MOULIN (ANCIENNE CONCIERGERIE) MARSEILLE	SO ₂ - NO ₂ - NO - HCT - HCM - FN -
PLOMBIERES	4	STE NOBILIA - 26, BD DE PLOMBIERES - 13004 MARSEILLE	SO ₂ - NO ₂ - NO - HCT - HCM - CO - FN -
HAUT PERIER	5	RESERVOIR DE GRATTE SEVELLE - 13 MARSEILLE	METEO -
RABATAU	6	POSTE E.D.F. - 93, BD RABATAU - 13008 MARSEILLE	SO ₂ - NO ₂ - NO - HCT - HCM - CO - FN -
ST MARCEL	7	STE "ST MARCEL FERROVITAIRE" - 25, BD DE ST MARCEL - 13011 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
MAZARGUES	8	POSTE E.D.F. - AVENUE DESAUTEU - 13009 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
NATIONAL	10	CAVE E.D.F. - 9, BD NATIONAL - 13003 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
ST LAZARE	11	MAISON "POUR TOUS" KLEBER-DESAIX-16, RUE DESAIX - 13003 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
LE CANET	12	G.D.F. - 5, RUE DE LYON (ANC. LOGE CONCIERGERIE) 13014 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
ST JEROME	13	BASE NORD E.D.F. - AV. NOGARETTE - 13013 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
ST LOUIS	14	ECOLE COMMU. DE ST LOUIS PARE - 16, RUE LE CHATELIER - 13015 MARSEILLE (dans débarras du gymnase)	SO ₂ -
ESTACQUE	15	CLUB NAUTIQUE DU PAN-CHEMIN DU LITTORAL-L'ESTACQUE PLAGE-13016 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
PENNE/HUVEAINE	16	LA CARBOXYQUE FRANCAISE - LA PENNE/HUVEAINE - 13682 MARSEILLE	SO ₂ - FN -
AUBAGNE	17	COURS FOCH - 13400 AUBAGNE	SO ₂ - POU.S.
MEYREUIL	18	GARAGE DE L'HOTELLERIE DU FOUR - 13590 MEYREUIL	SO ₂ - FN -
PENNES MIRABEAU	19	NOUV. CASERNE DES POMPIERS - AV GL LECLERC - LES PENNES MIRABEAU	SO ₂ - FN -
AIX - SUD	20	STATION DU RELEVAGE DE L'ARC DE MEYRAN (FACE LOT, "LES LIERRES") Av. Gaston Berger - 13100 AIX EN PROVENCE	SO ₂ - FN -
AIX - CENTRE	21	LYCEE MIGNET - BD DU ROY RENE - 13100 AIX EN PROVENCE	SO ₂ - NO ₂ - NO - HCT - HCM - CO - FN -
BOUC-BEL-AIR	22	CASERNE DES SAPEURS POMPIERS - 13 BOUC-BEL-AIR	SO ₂ - NO ₂ - NO - FN -
GARDANNE	23	CENTRE DE FORMATION "ST PIERRE" DES HOUILLERES DE PROVENCE- 13 BIVER	SO ₂ - NO ₂ - NO - POU.S.
ROUSSET	24	Z.I. DE ROUSSET - ASS. SYNDICALE DES H.B.C.M. - 13 ROUSSET	SO ₂ - POU.S.
LYNDES	25	COMMISSARIAT DE POLICE - RN 8 - 13090 LYNDES	SO ₂ - POU.S.
GREASQUE	26	ANCIEN PUIT DE MINE D'HELY D'OISSEL - 13 GREASQUE	SO ₂ - NO ₂ - NO - POU.S.
PLAN D'AUPS	27	SAPEURS POMPIERS - QUARTIER ST JAUME - 83640 PLAN D'AUPS	SO ₂ - NO ₂ - NO - HCT - HCM - O ₃ - METEO -
GARDANNE	28	FERME MARTIN - QUARTIER PAYANNET - 13120 GARDANNE	SODAR - FLUOMETRE

SO ₂	: DIOXYDE DE SOUFRE
NO ₂	: DIOXYDE D'AZOTE
NO	: MONOXYDE D'AZOTE
HCT	: HYDROCARBURES TOTAUX
HCM	: HYDROCARBURES NON METHANQUES
O ₃	: OZONE
CO	: OXYDE DE CARBONE
POU.S.	: POUSSIERES
FN	: FUMEE NOIRES

Illustration n° 11 (4)



AIRMARAI

307, Rue Paradis 13008 MARSEILLE
Téléphone (91) 53.23.92

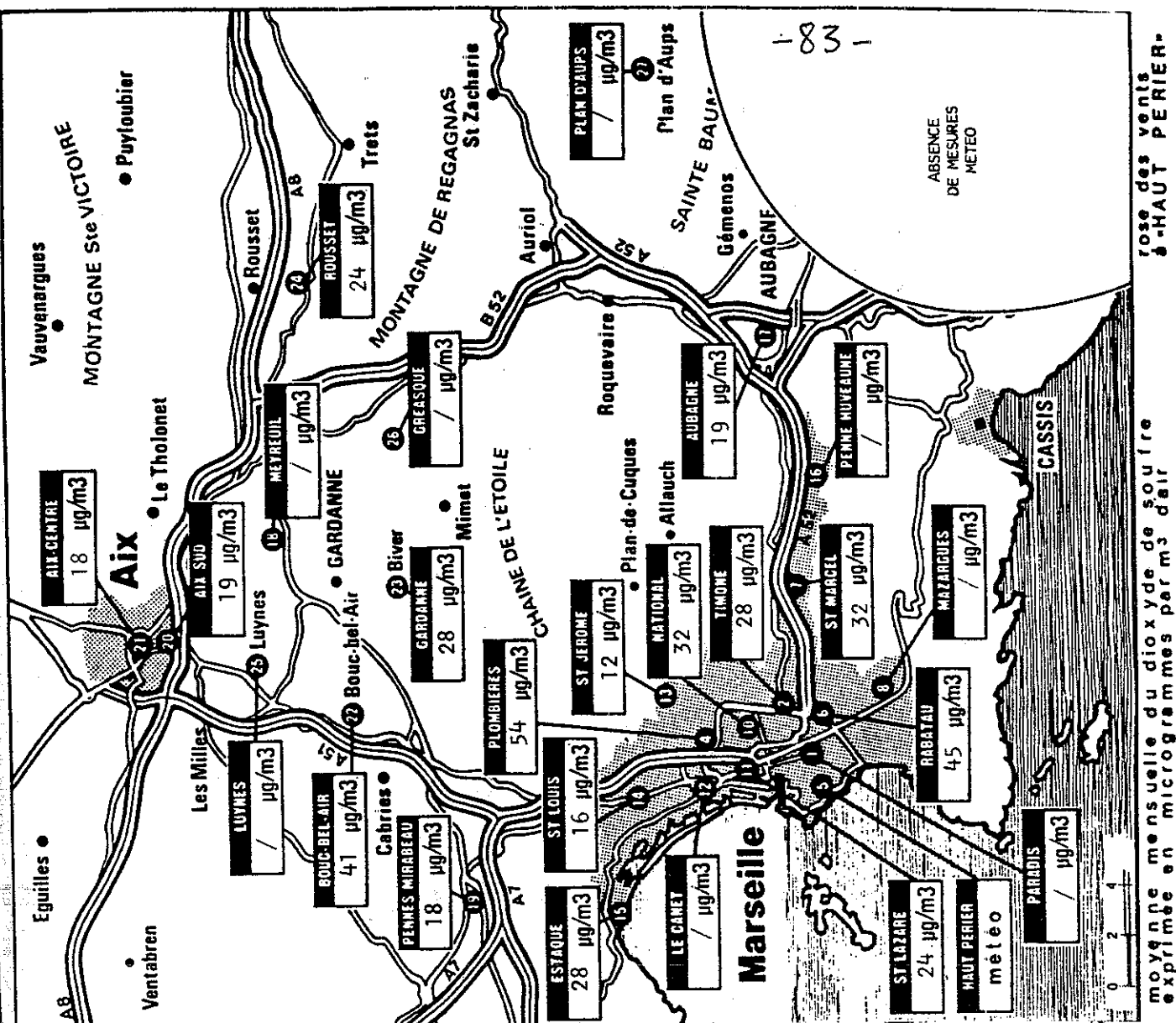
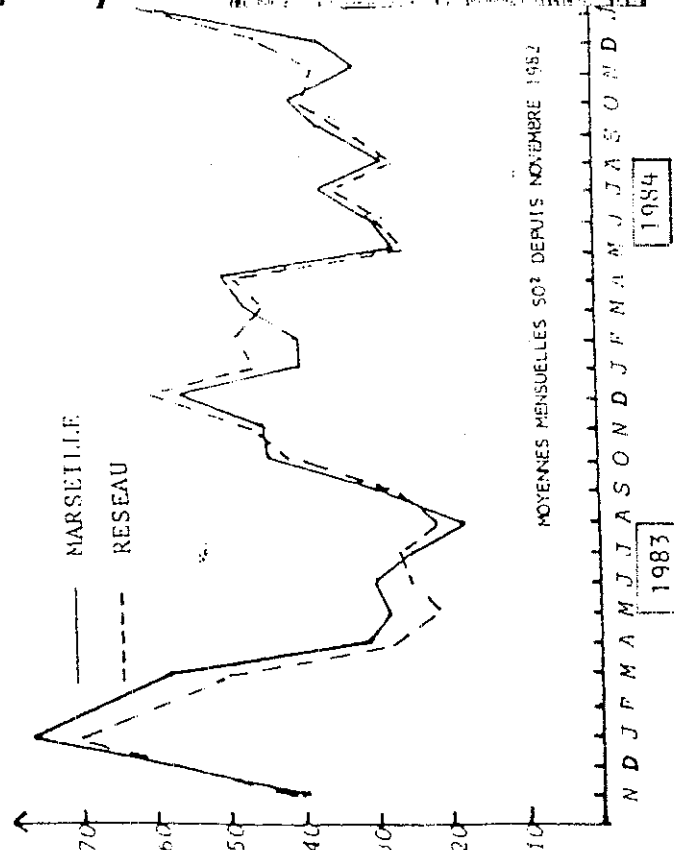
SO₂ et NO_x en µg/m³

AGGLOMERATION MARSEILLAISE

1983 : 45 et 152
1984 : 38 et 167

TOTAL RESEAU

1983 : 42 et 97
1984 : 40 et 110



Le FLUXMETRE : il est composé d'un mât de 30 mètres équipé avec:

- un anémomètre tridimensionnel
- trois thermomètres situés à 1 m., 15 m. , 30 m. du sol
- un pyradimètre (mesure des hautes températures)
- un hygromètre
- un solarimètre (mesure du rayonnement solaire)
- un baromètre .

- C - LA CENTRALE THERMIQUE .

----- 1 ----- La production de charbon et d'électricité .

L'exploitation du charbon du Bassin de Gardanne est assurée par Les Houillères de Provence , établissement des Houillères de Bassin du Centre et du Midi (H.B.C.M.) , dans le cadre des Charbonnages de France .

Elle s'intègre dans un système national réparti dans le Centre et le Sud-Est (Aquitaine , Auvergne , Blanzay , Gard , Hérault , Dauphiné , Loire) le Bassin Lorrain , le Bassin du Nord .

L'Unité d'Exploitation Provence a une double vocation :

- L'extraction et le traitement mécanique du charbon avec une production annuelle de 1 600 000 tonnes , soit 9% de la production nationale et 3% de la consommation française .

- La production d'électricité avec plus de 2 milliards de kWh par an , à partir d'une puissance installée de 850 MW soit un peu plus de 1% de l'électricité livrée par l'E.D.F. à la consommation

----- 2 ----- Les caractéristiques du charbon.

Une faible partie du gisement de l'Arc est exploitée pour des raisons économiques et géologiques . Il est limité à l'Est par le col de Saint-Maximin et à l'Ouest se poursuit jusque sous l'Etang de Berre .
Le charbon extrait est un lignite dot les produits lavés ont la composition suivante :

- une teneur élevée en matières volatiles 42-44%
- une teneur en cendres de 8%
- un pourcentage en soufre combustible de 3,80
- un faible pouvoir calorifique de 5,850 kth à la

tonne nette .

On peut noter sa teneur élevée en soufre (3,80%) .

----- 3 ----- La Centrale thermique .

- a - Les unités en fonctionnement .

Le faible pouvoir calorifique du charbon et le potentiel industriel limité de la région ont incité très tôt à la production d'électricité . Les trois groupes de 50 MW mis en service en 1954 sont aujourd'hui arrêtés . Un groupe de 250 MW (Unité IV) démarré en 1967 devrait être utilisé jusqu'à 1992 . Le groupe de 600 MW (Unité V) a été mis en service le 1er Octobre 1984 . La puissance totale installée actuellement est de 850 MW , livrée au réseau E.D.F. .

La concurrence par l'énergie nucléaire dans le domaine de la production de courant électrique , fait que la Centrale répond aux besoins de pointes de consommation , et devra trouver d'autres façons d'écouler son charbon dans un avenir plus lointain .

- b - Les mesures anti-pollution .

Cette unité de production ultra-moderne dans le domaine de l'exploitation énergétique du charbon , appelait aussi la prise en compte de la dimension écologique d'un tel projet .

Sous la pression des associations locales de défense de l'environnement appuyés par les élus locaux et régionaux , un système de désulfuration a été mis au point et intégré à la Centrale .

Le procédé consiste à piéger avec de la chaux et du calcaire le SO₂ dégagé pendant la combustion , en le fixant sous forme de sulfate de calcium . IL a une efficacité de 60% .

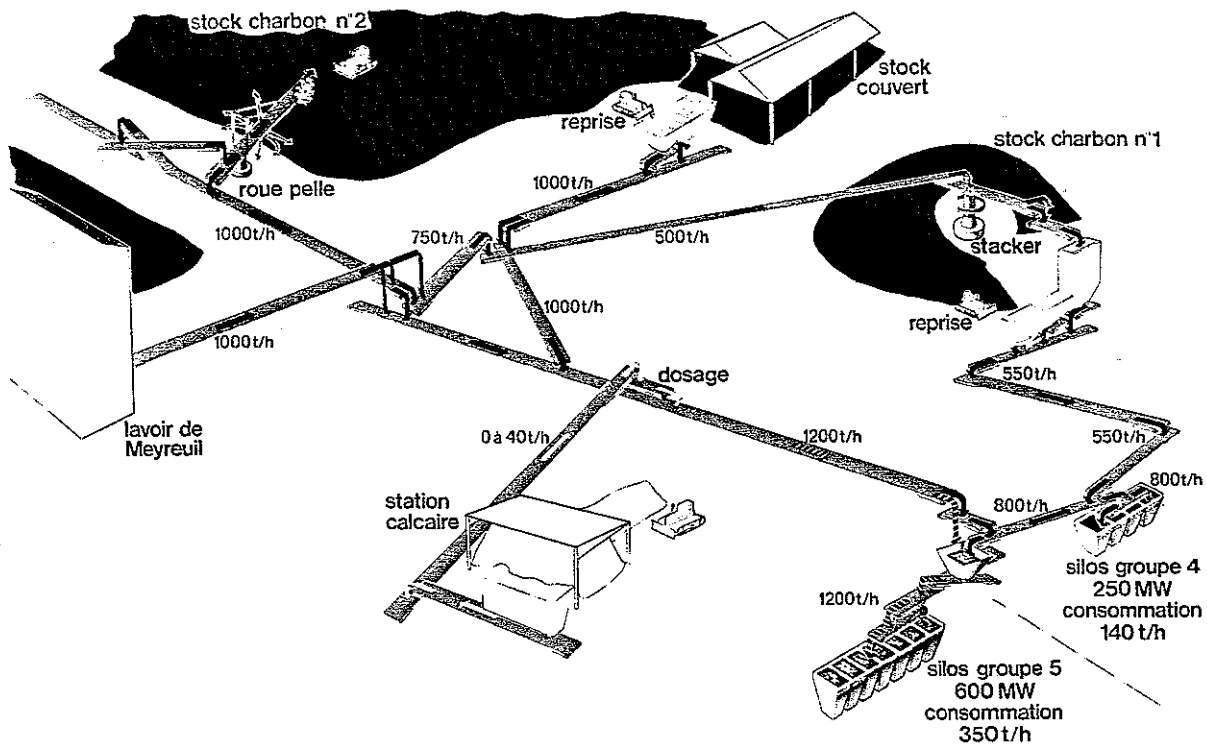
Par ailleurs un dépoussiérage des fumées à 99,77% est effectué par deux unités électrostatiques .

Une dispersion des effluents gazeux et le percement des boucliers thermiques (inversions thermiques) à faible altitude s'effectue grâce à une cheminée de 300 mètres de hauteur .

Un réseau de surveillance et d'alerte composé de 7 stations , dont une équipée du SODAR-FLUXMETRE (Il en existe 3 exemplaires en France) , est en place , relié à AIRMARAIX .

Grâce à ce contrôle permanent de la pollution atmosphérique , il est possible de stopper la production de la Centrale en 1 heure lorsque les conditions météorologiques néfastes à une bonne dispersion , avec risque d'augmentation dangereuse des teneurs en SO₂ sont enregistrées (Respect des Normes C.E.E. .) (Illustration n° 12)

MANUTENTION du CHARBON et du CALCAIRE



SCHEMA de FONCTIONNEMENT

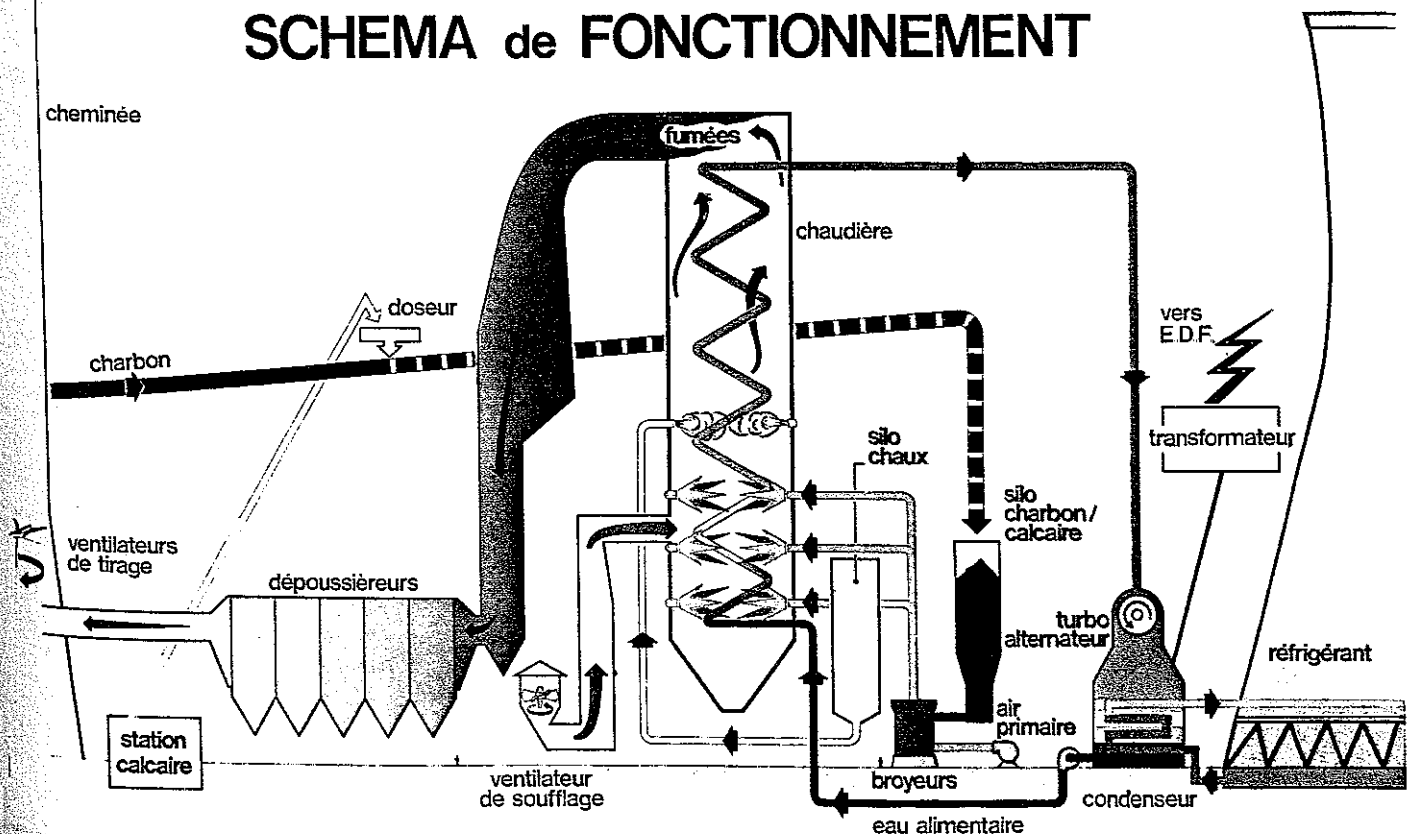


Illustration n° 12

- D - LES AUTRES UNITES INDUSTRIELLES LOCALES .

----- 1 ----- L'usine d'Alumine PECHINEY .

Construite en 1893 à Gardanne elle traite la bauxite (Mines de Brignoles , Australie) , pour la fabrication d'alumine dont elle produit 580 000 tonnes par an .

Elle représente le 2^e producteur local de dioxyde de soufre après les Houillères (20 tonnes par jour , 6500 tonnes par an) avec une cheminée de 80 mètres de hauteur .

Elle rejette 250 tonnes de poussières de combustion par an et de poussière de bauxite (Dépoussiérage électrostatique) .

Par ailleurs elle émet du Fluor gazeux (25 T./an) , des Métaux lourds , des nuisances par odeurs (Sulfites) .

----- 2 ----- L'usine de Ciments LAFARGE .

Elle se situe à Bouc-Bel-Air , et exploite les carrières de calcaire du lieu-dit La Malle pour fabriquer du ciment . Sa production est de 2000 tonnes par jour soit 750 000 tonnes par an de matériau de base (clinker)

Elle est plus excentrée et de taille modeste avec un impact différent sur la pollution , émettant des poussières (Equipée d'un dépoussiéreur) et du SO₂ (7 tonnes/jour , 2500 tonnes/an soit 20 fois moins que la Centrale)

----- 3 ----- L'usine RHONE-POULENC .

C'est une usine de pesticides implantée à Rousset . La pollution engendrée par sa production est faible .

----- 4 ----- Les industries de l'Etang de Berre .

Elles engendrent une pollution lourde dans leur zone , et peuvent participer aux nuisances de Marseille et de sa région par phénomène de transfert de polluants .

- E - CONCLUSIONS SUR LE BASSIN DE GARDANNE .

Le site est donc exposé à une pollution connue et contrôlée , répondant aux Normes de la C.E.E. , sauf à Bouc-Bel-Air , où des conditions micro-climatiques font que le percentile 98 est dépassé (c'est à dire que l'on enregistre des pics dépassant les Normes requises qui sont de 250 ug/m³ pour 250 ug/m³ de poussières et 350 pour 150 de poussières , au maximum 7 jours par an) surtout les jours de vents d'Est qui ramènent les pollutions de la Centrale et de l'usine PECHINEY sur cette ville .

D'autre part il faut considérer la part non négligeable prise par les foyers domestiques fonctionnant au charbon de Gardanne et émettant du dioxyde de soufre (2200 tonnes/an à moins de 15 mètres de hauteur) sans aucune désulfuration à la hauteur des habitations . (Cf. page suiv.)

EVOLUTION FAVORABLE DES TENEURS EN SO₂ SUR LE BASSIN
DE GARDANNE DE 1982 à 1986.

	SO ₂ ug/m ³	1982-83	1983-84	1984-85	1985-86
MEDIANE ANNUELLE	Gardanne/Biver	61	47	45	37
	Bouc-Bel-Air	59	58	43	26
	Meyreuil	47	28	41	19
	Rousset	20	16	25	24
	Luynes	21	16	18	16
	Gréasque	38	34	39	33
PERCENTILE 98 ANNUEL	Gardanne/Biver	202	245	231	203
	Bouc-Bel-Air	282	315	321	145
	Meyreuil	144	145	197	106
	Rousset	97	56	94	82
	Luynes	81	62	71	41
	Gréasque	184	242	160	118

On peut constater l'amélioration des chiffres
de 1982 à 1986 .

L'ENQUETE
EPIDEMIOLOGIQUE

V - L' ENQUETE EPIDEMIOLOGIQUE -

- A - INTRODUCTION .

Les différents protocoles d'enquête qui ont été étudiés visent à apprécier la prévalence d'affections aiguës et chroniques dans des échantillons de la population de la zone de Gardanne , et notamment des enfants que l'on peut considérer comme un terrain "neuf" , propice à ce type d'enquête . Ils ont consisté en un "cliché" de l'état de santé des habitants avant la mise en service de l'Unité "V" de 600 MW de la Centrale thermique , et une enquête équivalente est prévue en 1989-1990 , pour en apprécier le retentissement . Les documents sanitaires recueillis montrent l'impact du fonctionnement de l'Unité "IV" , de 250 MW , durant l'hiver 1983-1984 , et de l'exposition cumulée aux polluants durant ces dernières décennies .

----- 1 ----- L'Equipe d'enquête .

Sous l'égide du Centre Mutualiste de Gardanne , une équipe de scientifiques a proposé ce protocole d'étude en faisant participer :

- des associations
- des habitants
- des médecins et pharmaciens locaux

- des municipalités
- le Groupe A.B.C. (Ambiance Bio-Climatique)
- l'A.P.P.A. (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique)
- les Houillères de Provence
- les différents représentants des Ministères (Santé , Industrie , Environnement)
- la Météorologie Nationale
- le Conseil Régional et Départemental
- les représentants des Associations de Défense de l'Environnement

----- 2 ----- Répartition des communes selon leur degré de pollution

Les conséquences de la climatologie locale et du relief (Vallée de l'Arc) sur la répartition des polluants , ont été concrétisées par les analyses de qualité de l'air réalisées par le réseau AIRMARAIX . On peut ainsi classer les communes en "zone polluée" et "zone non polluée":

Appartiennent à la zone polluée les villes suivantes (moyennes annuelles des teneurs en SO₂ entre le 1er avril 1983 et le 31 Mars 1984 entre parenthèses):

- BOUC-BEL-AIR (77 ug/m³)
- GARDANNE (75 ug/m³)
- GREASQUE (51 ug/m³)
- MEYREUIL (45 ug/m³)

Sont peu polluées les villes de :

- LUYNES (20 ug/m³)
- ROUSSEI (18 ug/m³)
- TREIS
- LES PENNES-MIRABEAU (17 ug/m³)
- PLAN-D'AUPS

(Cf. illustration n° 13)

L'illustration n° 14 montre d'une part les teneurs moyennes mensuelles en dioxyde de soufre , enregistrées de Novembre 1983 à Mars 1984 , dans les différentes villes du Bassin de Gardanne , d'autre part , les valeurs extrêmes journalières qui illustrent le fait qu'une même ville peut connaître des différences de pollution très importantes liées aux conditions de diffusion .

RESEAU AIRHARAIX

NORMES EUROPEENNES DE QUALITE DE L'AIR
DIRECTIVES CEE 80/779

COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES ET AUX VALEURS GUIDES
POUR LE SO₂ ET LES PARTICULES

EN MICROGRAMMES / m³

1ER AVRIL 1983 - 31 MARS 1984

REGION	NB DE JOURNEES		VALEURS LIMITES			VALEURS GUIDES				
			MEDIANE		PERCENTILE 98 ANNEE 83-84	NB JOURS MOY > 100	EN % DU TEMPS	NB JOURS MOY > 150	EN % DU TEMPS	MOYENNE ANNEE 83-84
			ANNEE 83-84	HIVER 83-84						
PENN NORMANDE	309	SO ₂	28	34	61	0	0	0	0	30
	315	FN	22	30	65	1	0	0	0	25
NORME	300	SO ₂	34	37	93	3	1	0	0	36
	341	FN	34	40	83	2	0	0	0	37
REUIL	317	SO ₂	28	64	145	46	15	5	2	45
PENNES BEAU	245	SO ₂	14	18	48	1	0	0	0	17
SUD	270	SO ₂	17	20	98	4	2	0	0	24
	335	FN	25	30	59	0	0	0	0	27
CENTRE	317	SO ₂	25	31	70	1	0	0	0	29
	202	FN	17	19	44	0	0	0	0	19
BEL-	318	SO ₂	58	71	315	84	26	39	12	77
NNE	308	SO ₂	47	119	245	100	33	50	16	75
SET	287	SO ₂	16	21	56	0	0	0	0	18
IS	339	SO ₂	16	17	62	1	0	0	0	20
OLE	276	SO ₂	34	55	242	35	13	16	6	51
		SO ₂								
		FN								

VALEURS LIMITES :

- MESURES (SO₂, FN) SIMULTANEEES :
 - MEDIANE ANNUELLE : ≤ (80,80) OU < (120,40)
 - MEDIANE SUR L'HIVER : ≤ (130,130) OU ≤ (180,60)
 - PERCENTILE 98 ANNUEL : ≤ (250,250) OU ≤ (350,150)
- MESURES SO₂ UNIQUEMENT :
 - MEDIANE ANNUELLE : < 80
 - MEDIANE SUR L'HIVER : < 130
 - PERCENTILE 98 ANNUEL : < 250

VALEURS GUIDES :

- MOYENNE ANNUELLE SO₂ OU FN : 40 à 60
- MOYENNES JOURNALIERES SO₂ OU FN : 100 à 150

VALEURS EXTREMES JOURNALIERES

COMPAREES AUX VALEURS MOYENNES

taux
 $\text{O}_2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

FREQUENCE DES JOURNEES A TENEURS MOYENNES JOURNALIERES

SUPERIEURES A 100 ET A 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

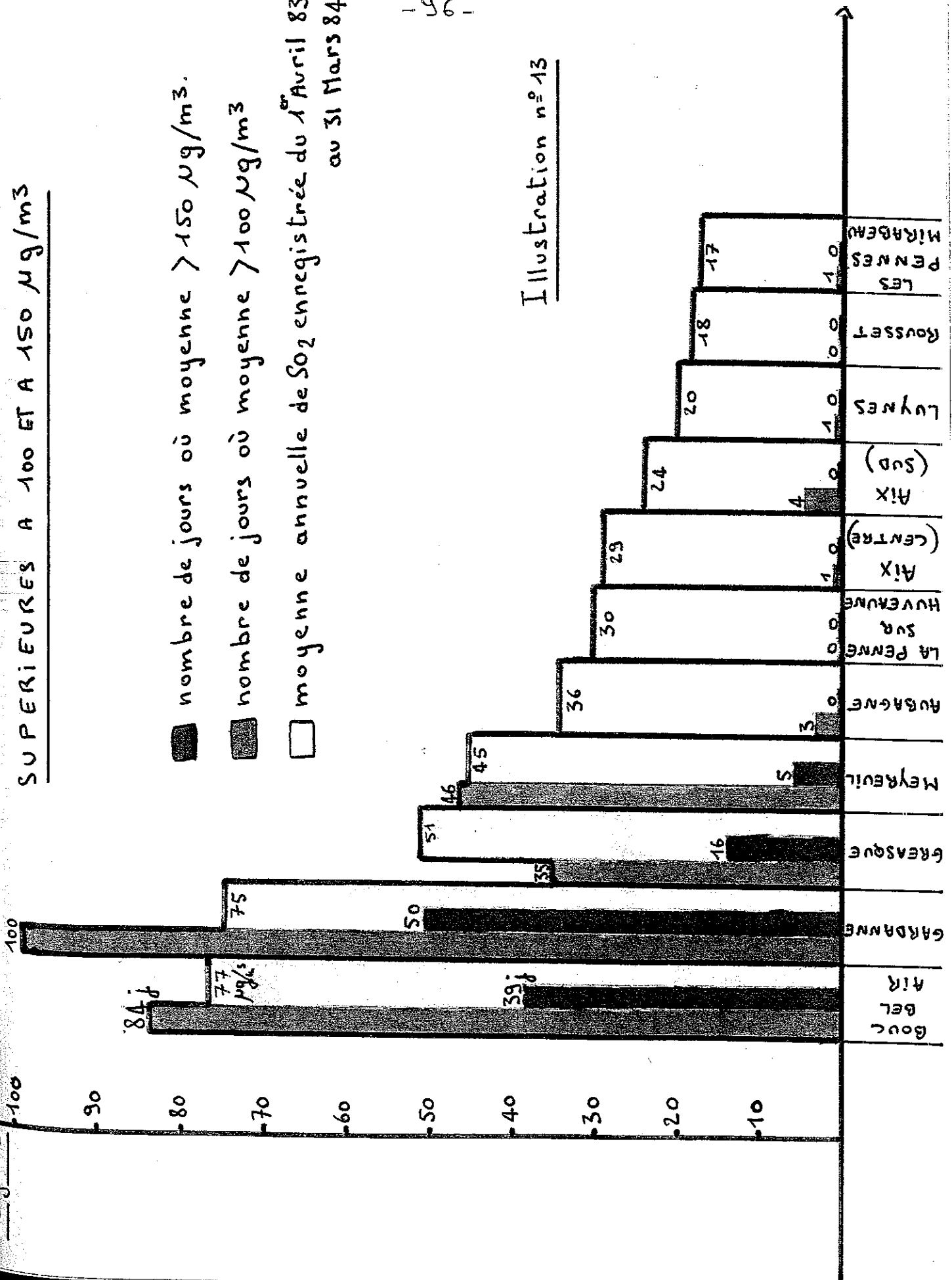
■ nombre de jours où moyenne $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

■ nombre de jours où moyenne $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

□ moyenne annuelle de SO_2 enregistrée du 1^{er} Avril 83
 au 31 Mars 84

-96-

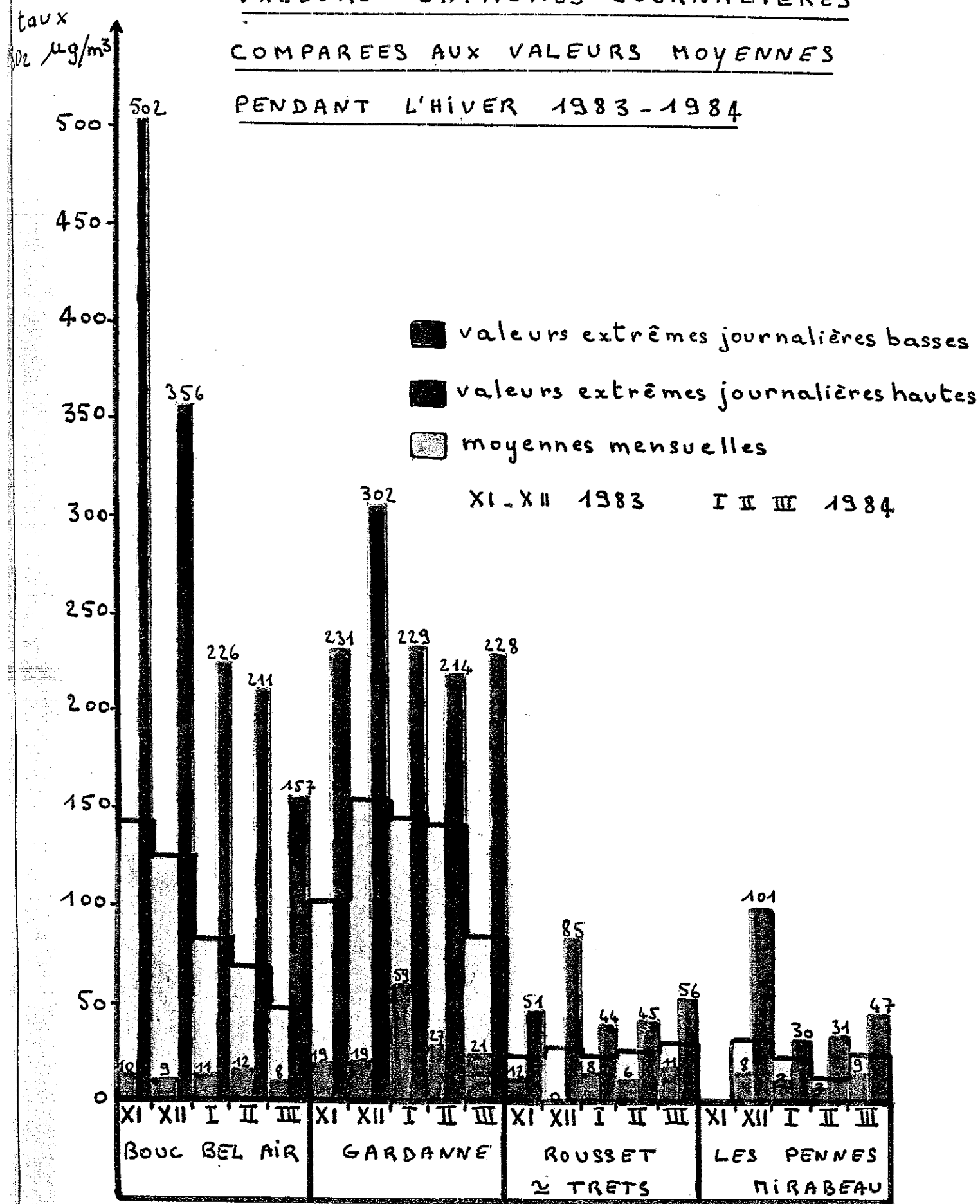
Illustration n° 13



VALEURS EXTREMES JOURNALIERES

COMPAREES AUX VALEURS MOYENNES

PENDANT L'HIVER 1983-1984



- B - LES PROTOCOLES D'ENQUETE .

Six protocoles d'enquête ont été établis . Les protocoles P1 , P2 , P3 et P4a étudient les effets à court terme de la pollution , P4b , P5 et P6 analysent les effets d'une exposition prolongée à la pollution.

Cet aspect chronique de la pollution n'est pas l'objet principal de cette thèse , mais il donne quelques références de comparaison pour les aspects aigus , sur les plans sémeiologique et spirométrique .

Les méthodes et résultats des différents protocoles vont maintenant être développés , en commençant par ceux se rapportant à la pollution chronique .

----- 1 ----- Les protocoles d'étude de la pollution chronique .

- a - Le protocole n° 4b .

Ce protocole vise à évaluer le taux d'affections respiratoires chroniques chez des enfants de l'école Primaire (Classe de CM2) , d'un âge moyen de 10,6 +/- 0,8 ans , en fonction du taux de pollution atmosphérique moyen . 193 enfants ont été étudiés répartis en :

- zone de pollution forte (teneurs moyennes en SO₂ pendant l'étude évaluée à 93 ug/m³)

52 enfants à BOUC-BEL-AIR)

44 enfants à GARDANNE)

32 enfants à MEYREUIL) soit 128 enfants

- zone de pollution faible (teneurs moyennes en SO₂ 22 ug/m³)

38 enfants à LUYNES)

26 enfants à TRETZ)

21 enfants aux PENNES-MIRABEAU) soit 65 enfants .

De Décembre 1983 à Mars 1984 , chaque élève a été interrogé au moyen d'un questionnaire dérivé du questionnaire P.A.A.R.C. (22) (23) pour les affections respiratoires chroniques de l'enfant . Un examen spirométrique a été effectué au moyen d'un appareil calculant le volume C.V.F. (Capacité Vitale Forcée) à partir du débit V.E.M.S. (Volume Expiratoire Maximum Seconde) , par microprocesseur incorporé , le CONTIROLAIR .

**** Les signes cliniques**

Lorsque l'on compare la prévalence des symptômes respiratoires des enfants vivant en zone polluée ou non polluée , on constate que 12 fois les signes cliniques sont plus fréquents en zone polluée , alors que 3

fois les signes y sont moins fréquents ; le test montre que cette différence est significative à $p < 0,01$ (Cf. tableau 1)

Tableau n° 1 :

Fréquence comparée des symptômes respiratoires des écoliers du Bassin de Gardanne , selon qu'ils résident en zone polluée ou non polluée .

SYMPTOMES RESPIRATOIRES	POLLUTION		
	FORTE		FAIBLE
Toux chronique	9,2	NS	3,5
Sifflements	13	$p < 0,01$	2,4
Asthme	7,6	NS	2,3
Rhino-bronchite	15,3	NS	12,9
Nez bouché	55	NS	51,8

IL existe bien un effet modéré de la pollution atmosphérique . Parmi les facteurs de confusion possibles , l'exposition à un tabagisme passif n'a pas été pris en compte . Par contre la répartition en catégories socio-professionnelles des parents des enfants appartenant aux deux groupes sont comparables .

**** Les paramètres fonctionnels .**

Ils ne sont pas différents dans les deux types de zone , bien qu'on observe des valeurs moyennes de débit et de capacité respiratoires plus basses en zone polluée . (Cf. tableau n° 2) .

Tableau n° 2 : Valeurs spirométriques des enfants vivant en zone polluée et non polluée .

	VILLES POLLUEES (n = 128)		VILLES NON POLLUEES (n = 85)
V.E.M.S.	1,604 +/- 0,413	NS	1,625 +/- 0,421
C.V.F.	1,701 +/- 0,427	NS	1,738 +/- 0,450
VEMS/CVF	94,3 +/- 4,5	NS	94,4 +/- 4,4

On peut dire que , avant la mise en service de l'unité "V" de la Centrale de Gardanne , le degré de pollution atmosphérique auquel sont soumis les enfants du secteur , engendre une accentuation certaine mais modeste des signes fonctionnels respiratoires .

Sur le plan spirométrique l'absence de différences nettes des valeurs de VEMS et de CVF , peut tenir au fait que la durée de séjour dans les zones considérées a été trop brève et/ou que les effectifs considérés sont bien inférieurs à ceux qui étaient intervenus dans

l'enquête PAARC , où l'on avait mis en évidence une relation inverse entre teneur moyenne annuelle du quartier de résidence et valeurs spirométriques .

- b - Le protocole n° 5

Il évalue le taux d'affections respiratoires chroniques chez des femmes au foyer de 25 à 50 ans en fonction du taux de pollution moyen .

L'intérêt du choix des femmes en la matière tient en trois points :

- L 'absence d'enquête à ce jour sur les femmes soumises à ce type de pollution .
- L' unité de lieu est intéressante car en principe elles restent dans le même secteur toute la journée .
- Elles ne sont pas soumises à une pollution professionnelle , mais peuvent être tabagiques , et ce dernier facteur a été pris en compte .

En zone polluée , 261 femmes de la ville de GARDANNE qui comporte 15287 habitants , ont été choisies , et en zone non polluée , 249 femmes de la ville de TRETZ qui comporte 4693 habitants .

Le protocole a consisté en :

- Un questionnaire type PAARC pour les affections respiratoires chroniques des adultes .
- Une épreuve spirométrique à l'aide du CONIROLAIR .

Les résultats ont pris en compte les habitudes tabagiques de ces personnes , qui ont été séparées en "fumeuses" et "non-fumeuses"

**** Chez les fumeuses :**

- Les symptômes respiratoires sont plus fréquemment retrouvés en zone polluée (GARDANNE) qu'en zone non polluée (TRETS) sauf l'obstruction nasale chronique dont le taux est le même dans les deux villes (33,3%) .

- Les valeurs spirométriques sont plus basses dans la ville polluée (GARDANNE) qu'en ville non polluée (TREIS) , bien que l'âge moyen soit plus élevé de 5 ans , en moyenne , à TREIS .

**** Chez les non-fumeuses :**

- Les symptômes respiratoires sont plus fréquents à GARDANNE , qu'à TREIS .

- Les valeurs fonctionnelles sont moins bonnes à GARDANNE , par rapport à TREIS .

En conclusion , cette étude chez les femmes au foyer montre que les effets du tabac se manifestent par les symptômes respiratoires plus fréquents chez les fumeuses , aussi bien à Gardanne qu'à Irets , mais ces effets ne se font pas sentir sur les valeurs spirométriques (Effet

probable d'autosélection) . L'effet délétère de l'exposition chronique aux polluants se manifeste aussi bien sur les symptômes que sur les valeurs fonctionnelles respiratoires . Toutefois on ne retrouve pas d'interaction significative entre tabagisme et pollution .

Tableau n° 3 : Fréquence comparée des symptômes respiratoires des femmes fumeuses (F.) et non-fumeuses (N.F.) selon qu'elles résident à GARDANNE (polluée) ou à TREIS (non polluée) .

	GARDANNE (n = 54)		TREIS (n = 24)	
Toux habituelle	.F. 25,9	p<0,05	.F. 4,2	
	.N.F. 7,9	p<0,01	.N.F. 1,7	
Toux chronique	.F. 18,5	NS	.F. 4,1	
	.N.F. 4,7	p<0,05	.N.F. 0,7	
Dyspnée d'effort	.F. 25,9	NS	.F. 20,8	
	.N.F. 17,9	p<0,01	.N.F. 7,5	
Sifflements	.F. 16,7	NS	.F. 8,3	
	.N.F. 7,9	NS	.N.F. 6,3	
Nez bouché	.N.F. 30,9	p<0,01	.N.F. 17,2	

Tableau n° 4 : Valeurs spirométriques des femmes au foyer fumeuses (F.) et non-fumeuses (N.F.) à GARDANNE et à TREIS . T.S.V.P.

	GARDANNE		TREIS	
C.V.	F.	3,06 (+/-0,59) p<0,05	F.	3,4 (+/-0,58)
	.N.F.	3,01 (+/-0,58) p<0,01	.N.F.	3,3 (+/-0,51)
V.E.M.S.	F.	2,62 (+/-0,75) p<0,05	F.	3,01 (+/-0,48)
	.N.F.	2,65 (+/-0,62) p<0,01	.N.F.	2,95 (+/-0,47)
Age	F.	31,09 (+/-4,8)	F.	35,5 (+/-5,8)
	.N.F.	37 ans (+/-9,1)	.N.F.	37,9 (+/-7,5)

- c - Le protocole n° 6 .

C'est une enquête transversale sur la relation entre pathologie respiratoire et environnement professionnel .

Elle concerne 56 ouvriers de l'usine de pesticides de ROUSSEI , âgés de 25 à 50 ans , et 98 ouvriers de l'usine d'alumine PECHINEY située à GARDANNE , appartenant à la même tranche d'âge .

Les explorations pratiquées ont été les suivantes :

- Questionnaire C.E.C A.
- Boucle débit-volume
- Test d'élimination de l'azote lors de l'inhalation d'oxygène pur (mesure du temps nécessaire pour obtenir dans l'air expiré une concentration en azote inférieure à 2%)
- Test au carbachol avec spirométries répétées pour apprécier la réponse bronchique .

Les symptômes respiratoires issus du questionnaire CECA ont été analysés en fonction de l'âge et des habitudes tabagiques .

Les sujets plus âgés , entre 40 et 50 ans , présentent certains symptômes (toux chronique , dyspnée d'effort et sifflements intra-thoraciques) plus fréquemment que les sujets de la tranche d'âge de 20 à 40 ans (Cf. tableau 5).

Tableau n° 5 : Fréquence comparée des symptômes respiratoires chez les ouvriers en fonction de l'âge .

AGE	20-39 ans (n = 66)		40-49 ans (n = 88)
TOUX	6%	NS	12,5%
DYSPNEE	9%	p<0,01	25%
SIFFLEMENTIS	16,5%	NS	25%

Les signes sont retrouvés de façon sensiblement égale dans les deux usines , sauf les sifflements , plus fréquents chez les ouvriers de l'usine de pesticides (25%) , par rapport à l'usine d'alumine (20%) .

De même le taux de bronchite chronique , est sensiblement plus élevé (5,3 %) dans la première usine que dans la deuxième (3%) .

Le test au carbachol montre des résultats opposés avec hyperréactivité nette (chute d'au moins 20% du VEMS après inhalation de 700 ug de médiateur) chez 12% des cas dans l'usine d'alumine et 7,2% des cas dans l'usine de pesticides .

Par ailleurs tous les signes sont rencontrés plus souvent chez les fumeurs que chez les non-fumeurs (Cf. tableau n° 6).

Tableau n° 6 : Fréquence des symptômes respiratoires en fonction du tabagisme

	NON FUMEURS (n = 50)		FUMEURS (n = 70)
TOUX CHRONIQUE	2%	p<0,01	18%
EXPECTORATIONS	4%	NS	7%
DYSPNEE	18%	NS	24%
SIFFLEMENTS	18%	NS	25%
ASTHME	4%	NS	7%

Les effets du tabac se retrouvent aussi dans les explorations fonctionnelles respiratoires avec notamment le calcul de la chute moyenne des paramètres entre les tranches d'âge 20-39 ans et 40-49 ans (Cf. tab7)

Tableau n° 7 : Chute moyenne (en ml.) des paramètres ventilatoires (capacité vitale , volume expiratoire maximum seconde et débit expiratoire maximum médian) entre les tranches d'âge 20-39 ans et 40-49 ans .

	NON FUMEURS	FUMEURS
C.V	- 328 ml	- 463 ml
V.E.M.S.	- 151 ml	- 392 ml
D.E.M.M.	- 330 ml/s	- 508 ml/s

Les résultats du protocole n° 6 font apparaître que :

- des rapports étroits existent entre les habitudes tabagiques et la chute des paramètres spirométriques comme avec l'augmentation de la symptomatologie respiratoire . Le Ministère de la Santé des Etats-Unis évalue la chute du VEMS à 20-30 ml chez le non-fumeur contre 30-50 chez le fumeur (5).

- sur le plan de la pollution professionnelle , la fréquence de la bronchite chronique retrouvée dans les deux usines équivaut à celle observée chez les chauffeurs de taxis marseillais (6) mais est inférieure à celle retrouvée chez des ouvriers boulangers (7).

- une pollution professionnelle particulière a été recherchée dans l'usine de pesticides , car l'inhalation de substances

inhibant les cholinestérases présentes dans la fabrication des pesticides (malathion , contrathion , dichlorovos) pourrait favoriser l'hyperréactivité bronchique et les sifflements . Fréquence des sifflements intra-thoraciques , de l'asthme et positivité du test au carbachol n'y sont pas identifiées plus souvent que dans l'autre usine .

Au total les protocoles 4b , 5 et 6 permettent d'apprécier les répercussions respiratoires d'une exposition chronique à la pollution soufrée du Bassin de Gardanne .

- Le premier concernant des enfants d'une dizaine d'années montre l'augmentation de la prévalence de la plupart des signes respiratoires en milieu pollué mais par contre des valeurs spirométriques voisines .

- Le deuxième concernant des femmes au foyer de 25 à 50 ans montre une prévalence plus élevée , en milieu pollué , des signes respiratoires (toux habituelle , dyspnée d'effort , sifflements intra-thoraciques) , même en prenant compte des habitudes tabagiques différentes . Les valeurs spirométriques sont moins bonnes en zone polluée , toutes habitudes tabagiques confondues .

- Le troisième protocole montre des résultats comparables à ceux obtenus dans des groupes professionnels peu exposés .

CONCLUSION :

La pollution soufrée de moyenne intensité (50 à 100 ug/m3 de moyenne annuelle) qui touche le site de Gardanne , est responsable d'une pathologie respiratoire chronique nette par rapport aux régions non polluées .

----- 2 ----- Les protocoles d'étude de la pollution aigüe .

IL s'agit de quatre protocoles distincts et complémentaires , numérotés 1 , 2 , 3 , 4a , le premier consistant à apprécier les répercussions cliniques de la pollution aigüe sur des enfants , les deuxième et troisième appréciant les consommations médicale et médicamenteuse d'origine respiratoire , le quatrième s'intéressant aux répercussions spirométriques de pics de pollution chez des enfants en milieu scolaire .

- a - Le protocole n° 1

Il consiste à recueillir parallèlement chez 450 écoliers , les signes respiratoires survenus au jour le jour , et les niveaux quotidiens de pollution . Ces écoliers sont âgés de 9 à 11 ans et appartiennent aux classes de CE2 , CM1 , CM2 , des écoles de huit communes du Bassin de Gardanne (Cf. illustration 15) .

Ces localités sont , en zone polluée :

LISTE DES ECOLES ENQUETEES

Ecole Mixte	Quartier La Gavotte	Chateauneuf-le-Rouge 13790 ROUSSET
Ecole Mixte	4, rue Amalbert	13850 GREASQUE /
Ecole Mixte	Quartier de la Tour	MIMET 13120 GARDANNE
Ecole Primaire	Paul Cézanne	BIVER 13120 GARDANNE
Ecole Mixte	Parc Amandiers Quartier La Gavotte	13170 LES PENNES MIRABEAU,
Ecole Mixte	Avenue de Toulon	13120 GARDANNE
Ecole Mixte	Les Moulières	MIMET 13120 GARDANNE
Ecole F. Mistral		BIVER 13210 GARDANNE
Ecole Mixte	Les Cadeneaux	13170 LES PENNES MIRABEAU
Ecole Mixte	Castel Hélène Place Depeyres La Gavotte	13170 LES PENNES M.
Ecole Mixte	chemin de Val sec La Gavotte	13170 LES PENNES MIRABEAU
Ecole Mixte	Plan de Campagne	13170 LES PENNES MIRABEAU
Ecole Mixte	La Renardière	13170 LES PENNES MIRABEAU
Ecole Mixte	Jean Jaurès	PEYNIER 13790 ROUSSET
Ecole Mixte	d'Auberge Neuve	13124 PEYPIN -
Ecole Mixte	Avenue des Marquis	13124 PEYPIN
Ecole Mixte		13790 ROUSSET
Ecole Mixte	Jean Moulin	13530 TRET
Ecole Mixte	Hameau de Luynes Route de Gardanne	13090 AIX EN PROVENCE
Ecole Mixte	Le Canet	13590 MEYREUIL
Ecole Mixte	du Centre Le Village	13590 MEYREUIL
Ecole Mixte	Le Plan	13590 MEYREUIL
Ecole Mixte	Saint Zacharie	83640 PLAN D'AUPS - 11
Ecole Mixte		13320 BOUC BEL AIR

- | | | |
|----------------|---|---|
| - GARDANNE |) | |
| - BOUC-BEL-AIR |) | Taux moyen de SO ₂ |
| - MEYREUIL |) | 93 ug/m ³ en hiver 1983-1984 |
| - GREASQUE |) | |

et en zone non polluée :

- | | | |
|-----------------------|---|-------------------------------------|
| - LUYNES |) | |
| - LES PENNES-MIRABEAU |) | Taux moyen de SO ₂ |
| - ROUSSET |) | 22 ug/m ³ en hiver 83-84 |
| - TREIS |) | |

Les symptômes respiratoires répertoriés sur un questionnaire , ont été notés chaque jour par l'enfant avec l'aide de ses parents . La collecte de ces renseignements a été faite à la fin de chaque semaine par l'instituteur et vérifiée par lui .

Le questionnaire était le suivant :

Ce jour : As-tu toussé?

Tes yeux ont-ils brûlé?

Ton nez a-t-il coulé?

As-tu éternué?

As-tu eu mal à la gorge?

As-tu eu de la température?

As-tu manqué l'école pour maladie?

As-tu eu des sifflements dans la poitrine?

Es-tu sorti de la localité ce jour?

Les taux de polluants au jour le jour ont été fournis par le réseau de surveillance AIRMARAIX , notamment les moyennes sur 24 heures en SO₂ , en oxydes d'azote et en particules .

L'exploitation des résultats a été faite en quatre étapes d'analyse :

**** Etude comparative de la prévalence journalière moyenne de chacun des symptômes respiratoires dans les villes polluées et non polluées au mois de JANVIER 1984 (mois le plus pollué)**

Les tableaux des pages suivantes répertorient les résultats d'abord ville par ville (Illustration n° 16(1)) , et ensuite par regroupement en villes polluées et non polluées (Illustration n° 16(2) et 17) .

On voit que le taux de prévalence est plus élevé pour chacun des symptômes dans les villes polluées (Toux , brûlures oculaires , rhinorrhée , éternuements , maux de gorge , sifflements intrathoraciques) . Les différences sont très significatives sauf pour les sifflements .

Le regroupement des signes en scores synthétiques "symptômes ORL" , et "symptômes PULMONAIRES" , a mis en évidence l'atteinte plus fréquente de la sphère ORL .

Mois de Janvier 84	Toux	Yeux	Rhinorrhée	Eternuement	Gorge	Sifflements	Sympt. pulm.	Sympt. ORL
BIVER	21,55%	5,17%	21,35%	14,44%	8,14%	1,38%	22,9%	43%
BOUC-BEL-AIR	22,35%	6,17%	20,7%	18,25%	10,76%	1,9%	24,27%	55,9%
GARDANNE	28,13%	7,52%	23,4%	20%	10,87%	2,32%	30,44%	38,96%
MEYREUIL	21%	3,9%	19,2%	16%	5,28%	0,4%	21,5%	44,46%
GREASQUE	19,83%	1,65%	18%	16,30%	8,80%	1,07%	21%	44,77%
LES CADENAUX	13,32%	3,13%	14,2%	11,7%	4%	2%	15,33%	26,8%
LUYNES	10%	0,7%	13,42%	7,50%	1%	—	10%	21,7%
ROUSSET	14,43%	2,85%	15,40%	12,9%	4%	1%	15,5%	35,22%
TRETS	16,32%	4,65%	20,77%	15,5%	6%	1,45%	17,74%	47%

<u>RESULTATS</u> <u>DU PROTOCOLE 1</u> <u>JANVIER 84</u>	<u>VILLES</u> <u>POLLUEES</u>	"P"	<u>VILLES</u> <u>NON POLLUEES</u>
<u>Toux</u>	22,7 %	$p < 0,01$	14,16 %
<u>Yeux</u>	5,05 %	$p < 0,01$	3,17 %
<u>Rhinorrhée</u>	20,67 %	$p < 0,01$	16,6 %
<u>Eternuements</u>	17 %	$p < 0,01$	12,67 %
<u>Gorge</u>	8,68 %	$p < 0,01$	4,2 %
<u>Sifflements</u>	1,42 %	NS	1,18 %
<u>Symptômes</u> <u>pulmonaires</u>	24,12 %	$p < 0,01$	15,33 %
<u>Symptômes</u> <u>ORL</u>	45,33 %	$p < 0,01$	35,34 %

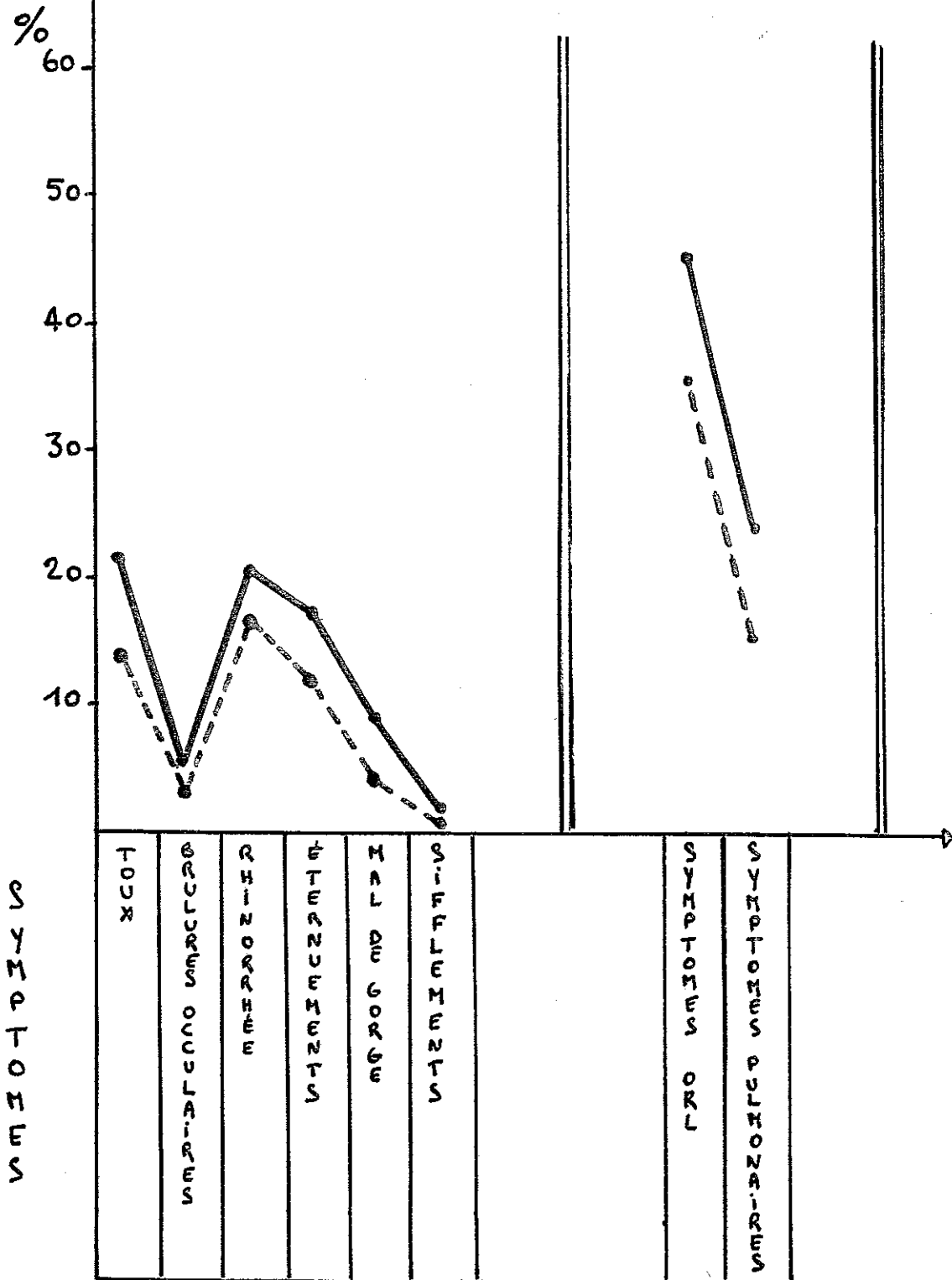
fréquence
des symptômes
en pourcentage

PREVALENCE DES SYMPTÔMES

COMPARATIVEMENT DANS LE GROUPE

DES VILLES POLLUÉES ET NON POLLUÉES

DURANT LE MOIS DE JANVIER 1984



— groupe pollué

- - - groupe non pollué

** Etude de corrélation entre symptomatologie journalière et taux quotidiens en polluants , ville par ville . Elle a été effectuée aux mois de JANVIER et FEVRIER , mois de plus forte pollution , pendant lesquels les questionnaires étaient par ailleurs remplis plus régulièrement

On a constaté que dans les deux villes où la pollution moyenne durant les mois de Janvier et Février a été la plus forte (c'est à dire GARDANNE/BIVER avec un taux moyen de 115 ug/m³ , et MEYREVIL avec un taux de 86 ug/m³) , on enregistre une forte corrélation entre , d'une part le taux quotidien moyen en SO₂ , d'autre part la prévalence des symptômes suivants :

- Toux matinale
- Brûlures oculaires
- Rhinorrhée
- Eternuements
- Maux de gorge

Le coefficient de corrélation est significatif à 1% pour l'ensemble de ces symptômes , ainsi que pour les scores synthétiques "ORL" et "PULMONAIRE" .

On a pu chiffrer la variation de la prévalence des résultats cliniques en fonction des variations de la pollution . Ainsi pour l'ensemble des villes polluées la prévalence des signes augmente de :

- 0,1% pour le mal de gorge
- 0,7% pour le score "ORL"

lorsque la pollution par SO₂ s'élève de 10 ug/m³

Si l'on essaie de sensibiliser cette analyse , en considérant les seules villes de GARDANNE/BIVER et de MEYREUIL qui sont plus polluées, on note que les variations ne sont pas beaucoup plus accentuées :

- 0,1% pour les sifflements thoraciques et les brûlures oculaires .
- 1% pour la toux et le score "PULMONAIRE" .

Dans les villes où la pollution soufrée est moins importante , ainsi qu'à BOUC-BEL-AIR qui affiche des teneurs en SO₂ relativement élevées (taux moyen en SO₂ : 63 ug/m³) , ces corrélations n'ont pas pu être mises en évidence .

Par ailleurs on ne retrouve aucune corrélation entre prévalence des différents symptômes d'une part , et teneurs en OXYDES D'AZOIE et POUSSIÈRES d'autre part .

**** Etude de corrélation identique à l'analyse précédente , "sensibilisée"** par le choix de deux périodes de quinze jours durant lesquelles la pollution moyenne est , soit très forte , soit très faible .

Ces périodes ont été sélectionnées aussi pour des raisons de stabilité d'effectifs des classes (pas d'absentéisme important qui aurait pu fausser les résultats)

Un troisième élément a été considéré dans le choix de ces périodes de quinze jours : les teneurs en OXYDES D'AZOIE et en POUSSIÈRES devaient y être comparables .

Les résultats (Tableau n° 10 , Illustration n° 18) montrent que l'on observe davantage de symptômes ORL ou RESPIRATOIRES durant la quinzaine polluée par rapport à la quinzaine non polluée . Ces différences sont relativement marquées dans chacune des villes , mais n'atteignent le seuil de signification statistique de 5% ($p < 0,05$) qu'à MEYREUIL , peut-être parce que les comparaisons ne portent dans chaque ville que sur des effectifs réduits à une ou deux classes .

Pour l'ensemble des villes , la prévalence moyenne des symptômes RESPIRATOIRES est de 20% en période non polluée et 29% en période polluée ($p < 0,02$) ; pour les signes ORL les taux sont respectivement de 36% et 46% ($p < 0,05$)

Tableau n° 10 : Fréquence moyenne des signes pulmonaires et ORL , dans chaque ville polluée et pour l'ensemble de ces villes , durant une quinzaine polluée (1ère ligne) et une quinzaine non polluée (2ème ligne) .

VILLE	TAUX MOYEN EN SO ₂ DURANT LA QUINZ.	PREVALENCE MOYENNE DES SIGNES PULMONAIRES	PREVALENCE MOYENNE DES SIGNES ORL
BIVER	68,6	17	29
	147,2	24	37
BOUC	33	14	29
	116	33	41
GARDANNE	59,4	22	45
	132,2	31	57
GREASQUE	57,9	19	41
	91,8	27	46
MEYREUIL	66,8	14	31
	119,7	25	52
TOTAL DES VILLES		20	36
		29	46

fréquence
moyenne
des signes en
pourcentage

70 %
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5

B I V E R	G A R D A N N E	B O U C B E R A I R	G R E A S Q U E	M E Y R E U I L	T O T A L M E D I A N E
63,6	53,4	33	57,9	66,8	
147	192	116	91,8	119,7	

taux moyen en SO₂
durant la quinzaine

D. Charpin et al.
Arch. Environ. Health 1988

prévalence des signes
ORL et pulmonaires
lors de deux périodes
de quinze jours,
l'une très polluée
l'autre peu polluée

---○---
---○---
---P---
---P---

---○--- signes ORL, période polluée
---○--- signes ORL, période non polluée
---P--- signes pulm, période polluée
---P--- signes pulm, période non polluée

**** Etude chronologique des effets cliniques d'un pic de pollution .**

Le jour même du pic de pollution (J0) et les jours suivants (J+1 , J+2 ...) les symptômes sont analysés et rapportés au taux de pollution du 1er jour (J0) . La technique utilisée est dite "Auto-cross corrélation") . Cette quatrième étape du protocole n° 1 permet d'étudier le temps de réponse de l'appareil respiratoire d'enfants à un pic de pollution (latence) et la durée de ses effets .

Globalement cette analyse montre que si l'on observe bien une corrélation nette entre pollution un jour donné et symptômes le jour même (J0) (en particulier à GARDANNE/BIVER) , entre taux de SO2 et prévalence des symptômes suivants :

- brûlures oculaires
- rhinorrhée
- éternuements
- maux de gorge .)

cette corrélation ne se modifie pas dans le temps à brève échéance , les jours suivants J+1 , J+2 (des cycles de 15 jours ont ainsi été étudiés) .

L'influence de la pollution paraît donc s'exercer essentiellement de manière rapide et fugace , sans latence ni rémanence

- b - Les protocoles n° 2 et 3

Ces deux protocoles devaient apprécier les consommations médicale (n°2 : consultations de médecins) et pharmaceutique (n° 3 : vente de médicaments) d'origine respiratoire en relation avec les pics de pollution atmosphérique , pendant la période d'enquête .

Les médecins devaient participer en remplissant une fiche mensuelle , indiquant le nombre quotidien de consultants adultes ou enfants pour affections respiratoire ou ORL . Malheureusement , leur concours n'a pas pu être obtenu .

Certaines pharmacies ont fourni un compte-rendu mensuel donnant le nombre d'actes en relation avec des affections des voies aériennes . Les médicaments ont été répertoriés selon leur vente sur prescription médicale ou sur conseil , et selon qu'ils ont concerné des adultes ou des enfants .

Une corrélation a été ensuite recherchée entre ces données et les taux atmosphériques le même jour en SO₂ et oxydes d'azote .

Il n'a pas été observé d'association statistiquement significative entre taux de polluants et vente de médicaments à tropisme respiratoire , globalement , ville par ville , ou pour le groupe des villes polluées pris isolément .

Il faut noter que ce volet de l'enquête a fourni quantitativement peu de résultats . En effet malgré le contact établi avec toutes les officines de la région , quatre seulement ont fourni des relevés réguliers et exploitables , trois en zone polluée (Gréasque durant 6 mois , Meyreuil durant 5 mois , Bouc-Bel-Air durant 3 mois) , une en zone non polluée (Luynes durant 3 mois) .

On pourrait penser que les taux de pollution , aux chiffres observés dans le Bassin de Gardanne , n'induisent pas d'accentuation de la pathologie respiratoire au point de nécessiter un traitement spécifique .

Dans la littérature , l'étude de ZMIROU et Coll . , retrouve pourtant , aux alentours d'une usine d'incinération , une corrélation entre consommation médicamenteuse et pollution de l'air , appréciée par la distance séparant les habitations de l'usine polluante (8) .

Il paraît donc plus probable que nos résultats négatifs soient à mettre en relation avec le faible effectif d'officines ayant participé à l'étude .

- c - LE PROTOCOLE N°4a

Il consiste en une étude spirométrique réalisée chez 160 enfants de six classes de CM2 dans quatre villes du Bassin de Gardanne . Des analyses précises ont pu être obtenues , les explorations fonctionnelles respiratoires étant effectuées dès l'identification d'un pic de pollution par AIRMARAIX

Nous allons étudier ce protocole de façon plus approfondie , ce type d'études n'ayant fait l'objet que de peu de publications dans la littérature. Ainsi vont donc être passés en revue le matériel utilisé , les méthodes , les résultats et la discussion du protocole .

** MATERIEL : LES ENFANTS **

----- Les villes d'origine

Quatre villes ont été choisies , deux en zone polluée , deux en zone non polluée :

Les premières :

- | | |
|----------------|--------------------|
| - GARDANNE |) Teneurs moyennes |
| - BOUC-BEL-AIR |) en SO2 120ug/m3 |

durant l'hiver 1983-1984 .

Les deux autres villes sont faiblement polluées avec un taux moyen de SO2 durant l'hiver 1983-1984 de 22 ug/m3 :

- TRETS

- LES PENNES-MIRABEAU

(Illustration n° 6)

----- Les écoles choisies .

Six écoles ont été enquêtées parmi les villes précédentes :

Deux à Gardanne dont une au lieu-dit Biver :

- Ecole Mixte , Ave de Toulon à Gardanne

- Ecole Paul Cezanne à Biver

Deux à Bouc-Bel-Air - dont l'Ecole Mixte

Une à Trets - Ecole Jean Moulin

Une aux Pennes-Mirabeau :

- Ecole mixte Les Cadeneaux

----- Les caractéristiques des enfants

Ces 160 enfants présentent les caractéristiques somatiques suivantes :

AGE :	10,6 ans	+/- 0,8 an
TAILLE :	1,45 m	+/- 0,09 m
POIDS :	35,9 kg	+/- 7 kg

Le milieu social est à peu près équivalent sauf à Trets , ville beaucoup plus résidentielle .

Les dates d'implantation dans le secteur ont été répertoriées dans le questionnaire PAARC , mais pas les habitudes tabagiques des parents . La notion de "groupe sensible" a été définie dans le paragraphe suivant .

----- Définition d'un groupe "sensible".

Grâce au questionnaire PAARC adapté aux enfants pour les affections respiratoires chroniques , ce groupe a été identifié .

Il inclut 58 enfants ayant présenté des antécédents ORL ou pulmonaires , ou bien manifestant de façon contemporaine à l'enquête de la toux , une obstruction nasale chronique , des sifflements dans la poitrine la plupart des jours , voire encore de l'asthme bronchique ou des bronchites récidivantes .

On a pu ainsi comparer les effets de la pollution dans le groupe "sensibilisé" et chez les autres enfants représentant eux le groupe "témoin" .

** METHODES **

----- Les questionnaires .

- Le questionnaire type "Aigü"

Il s'agit d'une brève série de questions posée aux enfants que ce soit en dehors d'un pic de pollution ou au moment d'un pic (Cf. Ill. n° 21). Il relève les symptômes au jour le jour de façon à pouvoir les rapporter aux chiffres de pollution quotidiens

- Le questionnaire type "Chronique" .

Il a été utilisé dans le protocole 4b (questionnaire tiré du "PAARC" pour affections chroniques) et ses résultats ont été repris dans le protocole 4a , pour définir un groupe "sensible" , dont il a été question précédemment (Cf. paragraphe MATÉRIEL/Les enfants)

Ce groupe de 58 enfants a constitué un "matériel" de choix pour mettre en évidence plus facilement des effets spirométriques .

----- Le "CONTROLAIR" .

(Cf. fiche technique : illustration n° 19)

C'est un spiromètre électronique qui donne un affichage digital du Volume Expiratoire Maximum par Seconde (VEMS) et calcule par microprocesseur intégré la Capacité Vitale Forcée (CVF) (par l'intermédiaire d'une constante fonction de la pente de la courbe d'expiration : $Cste = \text{fonction Exponentielle de "moins ALPHA"}$) et le rapport VEMS/CVF .

Ainsi le rapport qui a été utilisé pour l'expression numérique de l'enquête spirométrique n'est pas le Coefficient de TIEFFENAU , mais ce rapport VEMS/CVF , fourni par Le CONTROLAIR . Cela explique les chiffres

QUESTIONNAIRE TYPE "AIGU"

AUJOURD'HUI I _ I _ I 18 I _ I _ I 20 I _ I _ I 22 I _ I _ I 24
 jours mois année heure

As-tu toussé ? I _ I I _ I I _ I 25
 O NON I OUI

Tes yeux t'ont-ils brûlé ? I _ I I _ I I _ I 26
 O NON I OUI

Ton nez a-t-il coulé ? I _ I I _ I I _ I 27
 O NON I OUI

As-tu éternué ? I _ I I _ I I _ I 28
 O NON I OUI

As-tu eu mal à la gorge ? I _ I I _ I I _ I 29
 O NON I OUI

As-tu eu des sifflements
dans la poitrine ? I _ I I _ I I _ I 30
 O NON I OUI

. VITALOGRAPH

CV I _ I _ I _ I 34

VEMS I _ I _ I _ I 38

. TEM en mm I _ I _ I 41

Absent : a-t-il manqué pour affection respiratoire ?

 I _ I I _ I I _ I 42
 O NON I OUI

Illustration
no 21

CONTROLAIR

Analyse des fonctions pulmonaires

CV : capacité vitale.
VEMS : volume maximum expiré par seconde.
VEMS/CV : rapport de Tiffeneau.
DEBIT : débit expiratoire maximum minute.

Pulmonary function analyser

VC : vital capacity.
VEMS : maximum expired volume per second
VEMS/VC ratio
Flow rate : maximum expiration flow rate

Spirométrie incitative

Fixe un but en continu.

Indique :

- le nombre de tentatives
- le nombre de réussites
- le volume total cumulé

Incentive spirometry

Sets a continuous target.

Indicates :

- total number of trials
- total number of successful trials
- total accumulated volume.

Différents types d'appareils

C 300

Appareil avec paramètres numériques

C 300 S

Appareil avec paramètres numériques et dispositif de raccordement à une table d'enregistrement permettant d'obtenir les courbes Débit, Volume ou Débit/Volume (réf. VIAL C 4200 ou C 4400)

Different models

C 300

Numerical parameters only

C 300 S

Numerical parameters and possibility to record Flow Rate, Volume or Flow Rate/Volume curves connecting an X(t) or X(Y) chart recorder (Ref. Vial C 4200 or C 4400).

Accessoires

Enregistreur X (t) C 4200
Enregistreur X (Y) C 4400

Embouts carton Ø 22
Valve unidirectionnelle
Adaptateur Ø 22 pour capteur
Tuyau patient Ø 22 ; L = 1 m
Capteur de rechange

Cdt	REF	Pkg
1	052011	1
1	052012	1
500	074002	500
50	074004	50
1	074007	1
50	074111	50
1	074008	1

Accessories

X (t) chart recorder C 4200
X (Y) chart recorder C 4400
22 mm mouth piece
Anti return valve
22 mm adaptor to transducer
Patient tube 22 mm ; L = 1 m
Additional transducer

Caractéristiques techniques

Technical characteristics

Alimentation / power 220 V - 50-60 Hz
110 V - 50-60 Hz
Fusible / fuse 250 mA
Microprocess : 6802
Dimensions / size 110 x 280 x 180 mm
Poids / weight 2,2 kg

VIAL médical

18, rue de Broderode
38950 Saint-Martin-le-Vinoux
France
Téléphone 76 75 01 50
Télex 32 428 F

Mr CARRIÈRE
REP (67) 55-24-64

élevés de ce rapport entre 0,90 et 0,99 , très proches de l'unité , alors que les valeurs du coefficient de Tiffenau sont aux environs de 0,90 chez l'enfant , selon les théories de ZAPPLETAL (valeurs du "Tiffeneau" en fonction de la taille) .

L'appareil se règle en fonction de la température ambiante .

Un étalonnage régulier a été réalisé sur un spiromètre à cloche le "PULMONET" (Godart , Rungis Cedex , France) .

Le boîtier de l'appareil est relié à un réseau tubulaire terminé par un embout buccal .

----- La réalisation d'un test spirométrique pendant l'enquête

L'équipe d'enquête est alertée par le réseau de surveillance de la pollution atmosphérique AIRMARAIX , d'une prévision d'élévation du taux de SO₂ matinal égale ou supérieure à 200 ug/m³

L'équipe se rend alors sur place après avoir prévenu la Direction de l'école et les Instituteurs des classes à enquêter .

Une fois sur place , les enfants sont appelés par petits groupes , répondent à un questionnaire sur les symptômes ressentis . Après ce dialogue , l'enquêteur explique à l'élève la façon de procéder au test spirométrique par Controlair et lui fait réaliser 3 essais successifs après inspiration profonde .

Les résultats de CVF , de VEMS et le rapport VEMS/CVF s'affichent successivement sur l'écran et sont répertoriés . Les essais donnant des résultats aberrants et ceux que l'enfant a mal exécutés , sont éliminés par l'équipe d'enquête . Le meilleur des 3 essais est retenu comme définitif pour l'analyse .

L'appareil a été au préalable réglé sur la température du local.

Ce protocole a été réalisé à deux reprises dans chaque école , une fois en atmosphère polluée et une autre fois qualifiée de non polluée . Dans le cas où les deux examens étaient pratiqués à des niveaux de pollution différents , parfois le 1er examen était fait en période polluée , parfois au contraire en période non polluée . (Ill. n° 20).

----- Le réseau AIRMARAIX .

Il a été un partenaire direct pour le protocole 4a , indiquant un moment privilégié d'enquête .

Le SO₂ a été mesuré de façon automatique , en continu , par la méthode de fluorescence ultra-violette , mais les résultats utilisés dans l'analyse ont été les moyennes établies sur 24 heures .

PLANIFICATION DU PROTOCOLE N° 4 "a"

VALEURS VEMS-CVF , VEMS/CVF ET TENEURS EN SO₂ .

ECOLE	PREMIER EXAMEN		DEUXIEME EXAMEN	
	VEMS-CVF	VEMS/CVF	VEMS-CVF	VEMS/CVF
GARDANNE BIVER	1,39-1,44 70 µg/m ³	0,96	1,65-1,77 200 µg/m ³	0,93
GARDANNE	1,42-1,50 301 µg/m ³	0,93	1,72-1,80 150 µg/m ³	0,94
BOUC BEL AIR I	1,22-1,35 278 µg/m ³	0,90	1,77-1,88 132 µg/m ³	0,94
BOUC BEL AIR II	1,61-1,69 48 µg/m ³	0,95	1,76-1,89 132 µg/m ³	0,93
LES PENNES MIRABEAU LES CADENEAUX	1,40-1,49 12 µg/m ³	0,95	1,65-1,76 14 µg/m ³	0,94
TRETS	1,45-1,54 55 µg/m ³	0,94	1,58-1,68 6 µg/m ³	0,94

Illustration n° 20

** RESULTATS DU PROTOCOLE P4a **

On constate tout d'abord un phénomène très particulier .
Lors du deuxième examen les valeurs des paramètres spirométriques VEMS et CVF sont constamment et nettement supérieures à celles obtenues lors du premier examen , quelles que soient les variations de la pollution atmosphérique. Ce résultat s'est manifesté de la même façon dans les villes non polluées. Ces constatations suggèrent l'intervention d'un phénomène d'apprentissage .

Le traitement mathématique des résultats montre par contre que le rapport VEMS/CVF , est indépendant de l'apprentissage .

Ainsi , utilisant le rapport VEMS/CVF , nous pouvons comparer la valeur moyenne de ce rapport pour chacune des villes en période de faible pollution et en période de forte pollution. (Tableau n°11/III.n°25)

Tableau n° 11 : Valeurs du rapport VEMS/CVF , en période de faible pollution et de forte pollution .

	FAIBLE POLLUTION	FORTE POLLUTION
GARDANNE I	0,96	0,93
GARDANNE II	0,94	0,93
BOUC I	0,94	0,90
BOUC II	0,95	0,93
LES CADENAUX	0,94	Pas de changement
TREIS	0,94	de pollution .

VARIATIONS DES VALEURS DU RAPPORT VEMS / CVF EN PERIODE DE FORTE ET DE FAIBLE POLLUTION

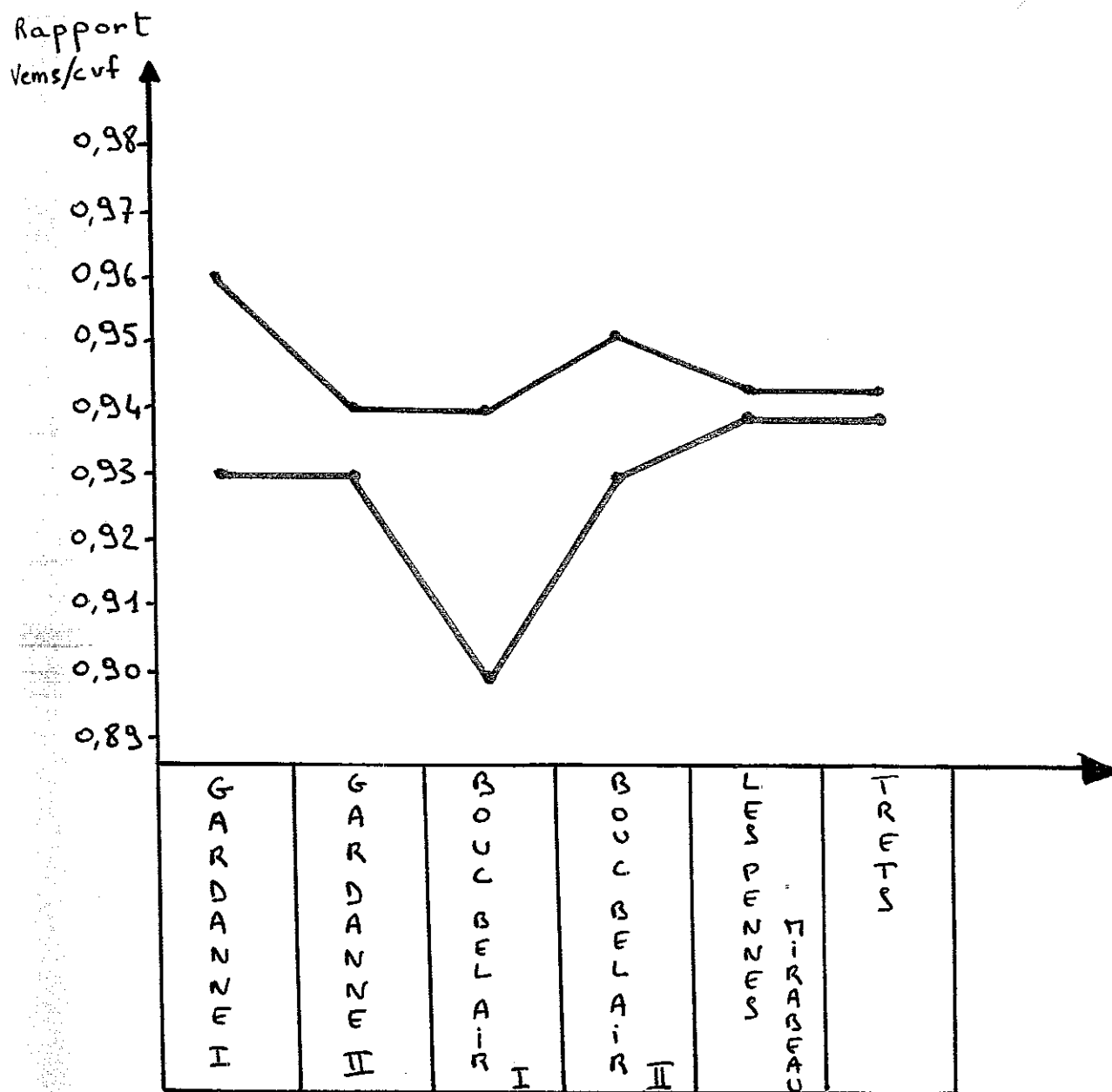


Illustration n° 25

— Forte pollution
 - - - Faible pollution

Ce rapport chute en moyenne de 2% seulement , mais cette chute est néanmoins statistiquement significative ($p < 0,02$).

Par contre , on n'observe aucune augmentation de la prévalence des différents symptômes respiratoires le jour même du pic de pollution .

Préalablement à la comparaison des valeurs spirométriques , hors pic et en pic , les valeurs du rapport VEMS/CVF ont du subir une transformation mathématique logarithmique . En effet elles suivent une distribution de type LOG. Normale et doivent avoir une distribution GAUSSIENNE , pour être exploitées sur le plan statistique . Les valeurs ainsi transformées ont cette dernière distribution .

Pour affiner l'analyse des résultats de ce protocole , nous avons considéré le groupe dit "sensible" , déjà défini auparavant . Ce groupe comprend 58 enfants qui ont présenté des antécédents ORL ou PULMONAIRES ou bien des symptômes actuels de même nature .

Dans ce groupe à priori "sensible" , le rapport VEMS/CVF ne se modifie pas davantage quand la pollution change .

Par contre les variations (en %) du VEMS et de la CVF , entre le 1er et le 2ème examen sont manifestement influencées par le degré de pollution atmosphérique .

Les illustrations n° 26a et 26b présentent pour chaque groupe d'enfants "normal" ou "sensible" , les modifications du VEMS et de la CVF entre le 1er et le 2ème examen , compte tenu de la pollution atmosphérique lors de chacun de ces examens .

** DISCUSSION **

L'enquête spirométrique réalisée chez 160 écoliers du Bassin de Gardanne âgés de 9 à 11 ans montre :

- Une diminution faible mais significative du rapport VEMS/CVF , lors de pics de pollution mais sans augmentation corollaire des symptômes respiratoires .

- L'absence d'interaction entre pollution atmosphérique et antécédents ou symptômes respiratoires .

- La nécessité de prendre en compte le facteur "apprentissage" , pour expliquer les chiffres obtenus lors du 2ème examen

Les éléments de discussion résultant de la réalisation de cette enquête sont les suivants :

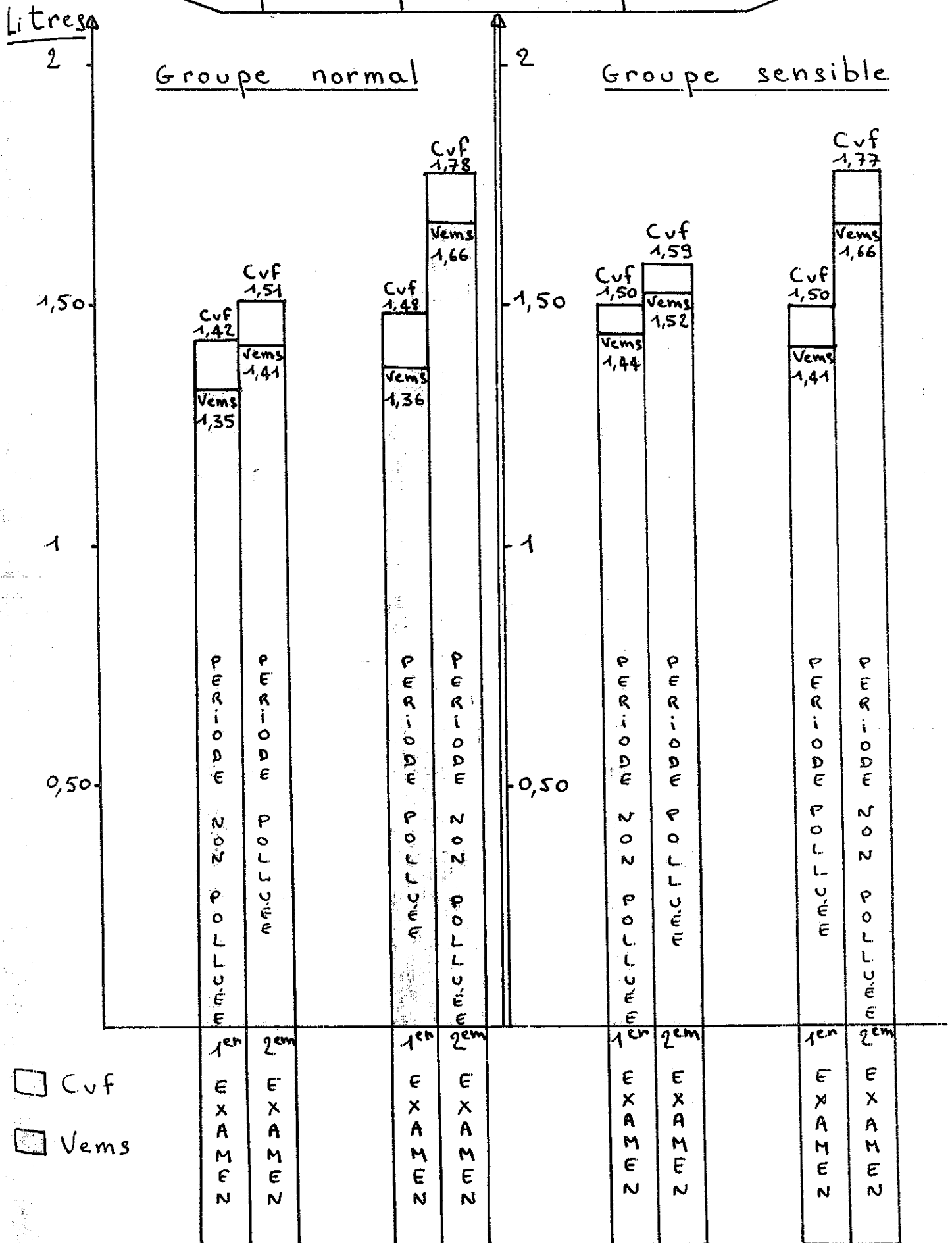
- Le phénomène d'apprentissage
- Le choix du rapport VEMS/CVF
- La croissance pulmonaire des enfants
- La température des locaux
- Les données de la littérature

VARIATIONS DU VEMS ET DE LA CVF EN FONCTION DE TROIS
PARAMETRES / GROUPE NORMAL OU SENSIBLE , 1er OU 2em
EXAMEN , PERIODE POLLUEE OU NON POLLUEE .

GROUPE "NORMAL"			
	1er examen NP	2ème examen P	Variation (%)
VEMS	1,35 ± 0,05	1,41 ± 0,06	+ 4,6
CVF	1,42 ± 0,05	1,51 ± 0,06	+ 5,5
	1er examen P	2ème examen NP	Variation (%)
VEMS	1,36 ± 0,03	1,66 ± 0,04	+ 21,5
CVF	1,48 ± 0,03	1,78 ± 0,05	+ 20,5
GROUPE "SENSIBLE"			
	1er examen NP	2ème examen P	Variation (%)
VEMS	1,44 ± 0,04	1,52 ± 0,03	+ 6,0
CVF	1,50 ± 0,04	1,59 ± 0,03	+ 5,9
	1er examen P	2ème examen NP	Variation (%)
VEMS	1,41 ± 0,03	1,66 ± 0,04	+ 18,3
CVF	1,50 ± 0,04	1,77 ± 0,04	+ 18,4

Illustration n° 26 a

Variations du Vems et de la Cvf en fonction de 3 paramètres:
groupe normal ou sensible, 1^{er} ou 2^{em} examen,
période polluée ou non polluée



----- Le phénomène d'apprentissage .

Le phénomène d'apprentissage peut concerner les enfants ou les enquêteurs . La première explication est peu plausible du fait qu'à chaque visite , l'enfant réalisait trois mesures , la meilleure étant seule retenue pour l'analyse .

La seconde hypothèse a été corroborée par une enquête complémentaire réalisée à IRETS , chez des écoliers de deux classes de CM2 , en Octobre/Novembre 1984 . Il ne s'agit d'ailleurs pas à proprement parler d'un apprentissage de l'enquêteur , mais d'une meilleure maîtrise des conditions techniques , lui permettant d'avoir une plus grande disponibilité vis à vis des enfants et de leur permettre d'effectuer une meilleure manœuvre .

----- Le choix du rapport VEMS/CVF .

Les modifications du rapport du VEMS sur la CVF ont été utilisées dans cette étude pour apprécier les modifications physiologiques survenues au niveau de l'appareil respiratoire des 160 écoliers étudiés .

Il n'appartient pas pourtant aux paramètres spirométriques habituels , mais se rapproche du coefficient de IFFENEAU $VEMS/CV$ ($CV =$ Capacité Vitale).

Par contre la modifications des valeurs de VEMS et de CVF obtenues hors pic et en pic , sont difficiles à interpréter du fait de l'intervention du phénomène parasite d'apprentissage

La mise des résultats sous forme de fraction VEMS/CVF , a au contraire éliminé l'intervention de ce facteur "apprentissage" , et permet d'isoler la variation du VEMS et de la CVF liée à la pollution .

Cela peut se comprendre par le mécanisme de fonctionnement du CONTROLAIR . Celui-ci calcule le volume CVF à partir du débit VEMS par un microprocesseur intégré . Ce calcul fait intervenir une constante de conversion propre au réglage de l'appareil

$$\text{VEMS} = \text{CVF} * e^{-\text{ALPHA}} \text{ (exponentielle de } -\text{ALPHA})$$

L'augmentation du VEMS par apprentissage lors de la 2ème enquête peut se manifester par "A" ("A" = le facteur apprentissage) qui joue de façon égale sur la CVF :

$$\text{1er passage : } \text{VEMS} = \text{CVF} * e^{-\text{ALPHA}}$$

$$\text{2ème passage: } \text{VEMS} * A = \text{CVF} * A * e^{-\text{ALPHA}}$$

Lorsque l'on fait le rapport VEMS/CVF , les constantes "A" s'éliminent:

$$\text{VEMS} * A / \text{CVF} * A = \text{VEMS}/\text{CVF} = e^{-\text{ALPHA}}$$

L'obtention de rapports VEMS/CVF différents selon les enfants et , chez le même enfant en fonction du degré de pollution varie en fonction de la pollution par la valeur de "ALPHA"

$$\text{1er passage : } \text{VEMS} = \text{CVF} * e^{-\text{ALPHA}^P} \text{ (phase polluée)}$$

$$\text{VEMS}/\text{CVF} = e^{-\text{ALPHA}^P} .$$

2èm passage : $VEMS * A = CVF * A * e^{-\text{ALPHA} \cdot \text{non} \cdot P}$ (phase non polluée) mais il y a intervention du facteur "apprentissage"

Ce rapport devient :

$$VEMS/CVF = e^{-\text{ALPHA} \cdot \text{non} \cdot P}.$$

La représentation mathématique du rapport VEMS/CVF peut se définir par la fonction "Exponentielle moins alpha" où "alpha" est une constante caractéristique de la courbe et liée à l'individu (Cf. Illustration n°27)

Cette enquête aurait également pu être réalisée en utilisant le coefficient de Tiffeneau , VEMS/CV qui est plus sensible que VEMS/CVF (rapport de deux débits proches l'un de l'autre , donc rapport proche de 1) , le dénominateur CV restant le même pour le même individu laisse mieux apparaître les variations du VEMS .

L'utilisation d'un spiromètre à cloche , nécessaire au calcul de CV n'aurait pas été adapté aux conditions de l'enquête . Le Controlair est quant à lui beaucoup plus maniable , et adapté aux conditions de "terrain" .

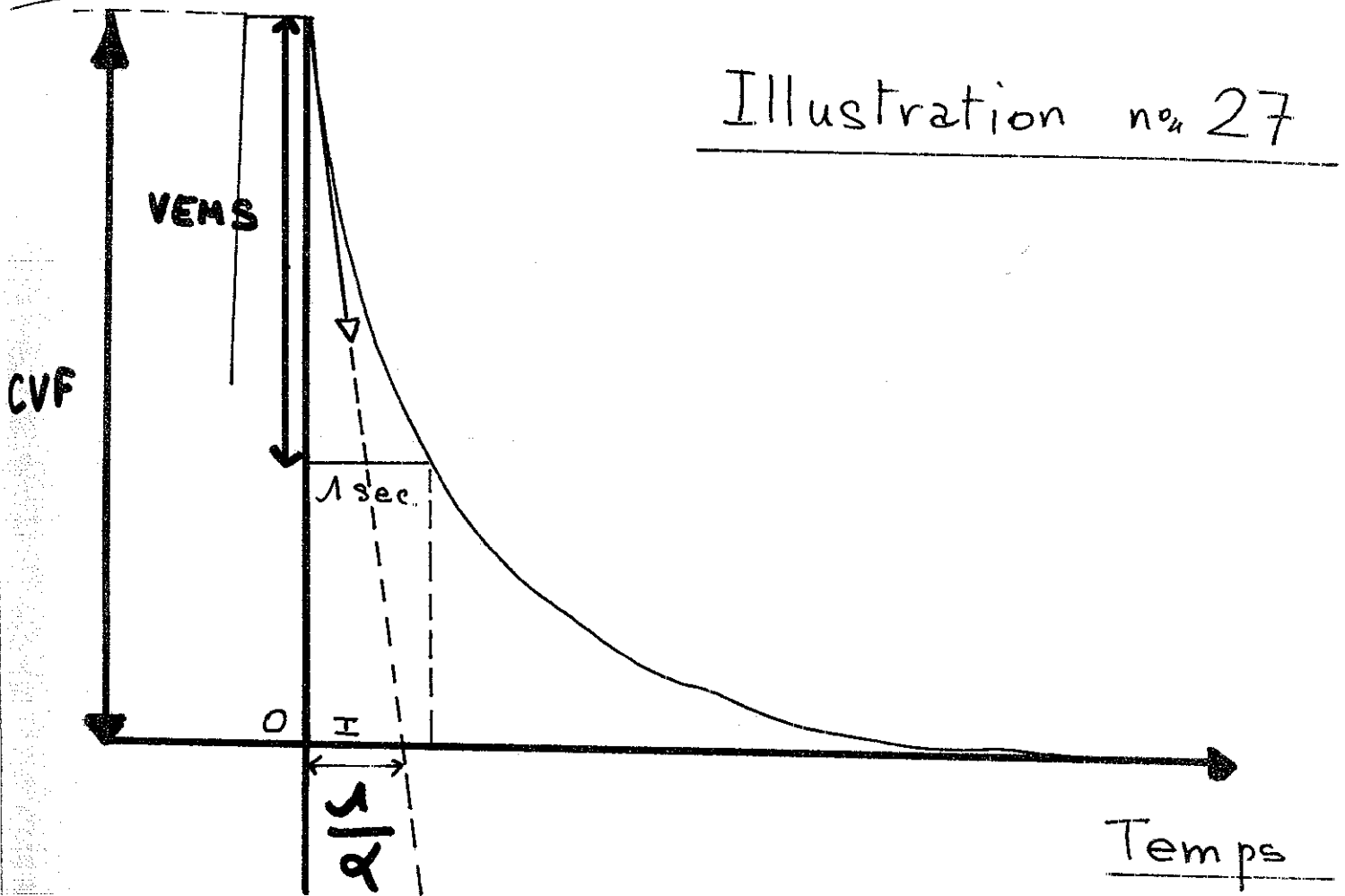
----- La croissance pulmonaire des enfants

Elle est responsable de variations des épreuves fonctionnelles respiratoires qui ont été quantifiées dans une étude américaine (21) : la croissance de 9 à 10 ans entraîne un gain de Capacité Vitale de environ 175 ml .

Volume

- 143 -

Illustration n° 27



On peut avoir une approximation de la représentation graphique du Volume en fonction du temps par la fonction :

$$V(t) = CVF \times e^{-\alpha t}$$

où α est une constante caractéristique de la courbe (liée à l'individu)

$$V(0) = CVF \quad \text{et} \quad V(1) = CVF \times e^{-\alpha}$$

Par définition de VEMS, on a $VEMS = V(1)$
d'où $VEMS = CVF \times e^{-\alpha}$

$\frac{VEMS}{CVF} = e^{-\alpha}$

(e = exponentielle)

L'étalement relativement court dans le temps de l'enquête spirométrique (Tableau 12) , donne une valeur très négligeable à la variation des résultats liés à la croissance du poumon . Elle serait au maximum de 30 ml à TRETS , où les deux examens ont été effectués à 2 mois d'intervalle . De toute façon le choix du rapport VEMS/CVF éliminerait , s'il en était besoin , l'intervention de ce facteur parasite .

Tableau 12 : Ecart de temps entre les deux passages de l'équipe d'enquête dans chacune des villes étudiées .

1er passage		2° passage	
Biver	20-12-83	17-01-84	(28 jours)
Gardanne	8-12-83	12-01-84	(35 jours)
Bouc I	9-12 83	19-01-84	(44 jours)
Bouc II	20-12-83	19-01-84	(30 jours)
Cadeneaux	20-12-83	3-02-84	(44 jours)
Irets	9-12-83	6-02-84	(58 jours)

----- La température et la pression atmosphérique

Les facteurs "température ambiante" de la salle d'examen et "pression atmosphérique" ont été pris en compte .

Une diminution de la température de l'air inspiré est responsable d'une baisse des volumes et débits expiratoires .

Une baisse de la pression atmosphérique va dans le même sens .

La température des locaux a été relevée lors de chaque passage des enquêteurs et est restée la même , étant donné la saison hivernale et le chauffage des locaux à température constante .

Les conditions de pression atmosphérique ont été semblables aux différents moments de l'enquête .

Donc les variations du rapport VEMS/CVF ne peuvent être imputées à des modifications de la température ou de la pression .

----- Les données de la littérature .

Dans la littérature , l'effet des polluants atmosphériques à court terme a été étudié particulièrement chez les sujets sensibles que sont d'une part les adultes porteurs de maladie broncho-pulmonaire obstructive , bronchite chronique ou asthme , d'autre part comme dans notre étude chez les écoliers .

Chez le bronchitique chronique BURROWS et coll. (10) mirent en évidence une relation inverse entre la gêne fonctionnelle et la température moyenne sur un mois . Dans le travail de CARNOW et coll. (11) intéressant des bronchitiques sévères , le taux de SO₂ journalier paraissait corrélé à l'évolution de la gêne fonctionnelle . Chez l'asthmatique YOSHIDA et coll. (12) d'une part , COHEN et coll. (13) d'autre part , montrèrent que la fréquence des crises d'asthme est

multipliée par 2 à 4 quand la teneur journalière en SO₂ dépasse 200 ug/m³.

Chez l'enfant , les données de la littérature sont plus contradictoires . Quatre études fournissent des résultats négatifs . Dans les deux études du programme CHES rapportées par SHY (14) en 1973 , le taux moyen de polluants durant les 24 heures précédant le test spirométrique n'est pas corrélé avec celui-ci . Toutefois , les gradients de pollution entre les zones comparées est faible . MANDI (15) a enregistré chaque mois la spirométrie d'adolescents vivant dans des quartiers à pollution contrastée , à Budapest , et n'a pas mis en évidence de différences . Mais les adolescents présentent peut-être un terrain moins sensible que des enfants plus jeunes . Enfin , SIEBBING et coll. (16) ont surveillé les variables spirométriques d'enfants vivant à Pittsburg après un épisode de pollution intense en 1975 . Ils n'ont pas pu trouver de différence dans l'évolution de la spirométrie enregistrée à plusieurs reprises après l'épisode de pollution . En réalité , une nouvelle analyse des données (17) a montré que , dans les zones polluées 10 à 15% des enfants avaient vu leur VEMS chuter de près de 20% . Toutefois , les enfants ayant une fonction pulmonaire altérée au départ ou ceux qui avaient des antécédents d'asthme ne se sont pas montrés particulièrement sensibles aux effets nocifs des polluants .

Trois études ont conclu à un effet ventilatoire à court terme d'un taux élevé en polluants . Au Japon , TOYAMA (18) rapporta en 1964 que le débit de pointe d'élèves vivant en zone polluée était inversement corrélé au niveau des polluants . En Yougoslavie 78 enfants

agés de 7 ans , vivant en zone polluée et 70 autres vivant en zone non polluée eurent durant l'hiver 1977/78 des mesures spirométriques répétées. Le VEMS chuta de 2% quand le taux journalier en SO₂ atteignait 130 ug/m³ , de 5% à 180 ug/m³ (19) . Enfin à Steubenville en Ohio , DOCKERY et coll. (20) étudièrent de façon répétée la spirométrie de 200 écoliers en 1978 et 1979 , chaque semaine durant 3 semaines après chaque pic de pollution . La CVF chuta d'environ 2% et le VEMS de 4% après chaque pic , le maximum de chute se situant 1 à 2 semaines après le pic .

CONCLUSIONS

VI - CONCLUSIONS -

La région du Bassin de Gardanne groupe 18 communes et 160 000 habitants . C'est une cuvette logée entre deux massifs montagneux orientés Est-Ouest : la Montagne Sainte-Victoire , au Nord ; la Chaîne de l'Etoile et son prolongement Est ainsi que la Montagne de Régagnas au Sud.

La principale activité industrielle du Bassin est représentée par l'extraction de charbon et son utilisation sur place pour une Centrale Thermique . Depuis le mois de Novembre 1984 le potentiel de la Centrale a été porté de 450 à 850 Mégawatts par la mise en service d'un nouveau groupe de 600 Mégawatts équipé d'un système de dépoussiérage et de désulfuration . Dans le même temps , les trois groupes les plus vétustes de 50 MW chacun ont été arrêtés .

Les élus locaux et la population ont été inquiétés par cet accroissement de puissance . Aussi a-t-il été décidé de procéder, avant la mise en service du nouveau groupe , à un "état des lieux" , qui pourrait être répété dans quelques années , si l'évolution de la pollution dans la région n'était pas satisfaisante .

Trois protocoles ont permis de comparer les effets à long terme de l'exposition aux polluants , par l'étude de sujets résidant en zones polluées et non polluées .

Le premier comportait un questionnaire et un examen spirométrique chez 200 écoliers d'une dizaine d'années . Il a montré que les symptômes respiratoires étaient plus fréquents en milieu pollué , mais que les valeurs des épreuves fonctionnelles respiratoires étaient voisines .

Le second évaluait les mêmes éléments chez 500 femmes au foyer , réparties pour moitié en zone polluée , pour moitié en zone non polluée . La prévalence de la plupart des signes respiratoires thoraciques et ORL était plus élevée en milieu pollué , même en prenant compte des habitudes tabagiques différentes .

Le troisième , appliqué en milieu professionnel sur 150 ouvriers d'usines locales , a mis en évidence les effets du tabagisme et de l'âge sur les symptômes et les paramètres fonctionnels respiratoires .

Ces trois protocoles ont donc montré qu'adultes et enfants soumis à une pollution soufrée modérée , de 50 à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyennes annuelles , présentent une symptomatologie respiratoire plus marquée que ceux qui y sont moins exposés .

Les répercussions respiratoires cliniques et spirométriques, à court terme , des pics de pollution , sur une

population d'enfants de 9 à 11 ans ont été évaluées par deux autres protocoles .

Le premier comportait un questionnaire rempli au jour le jour concernant 450 enfants , pendant l'hiver 1983-84 . Les résultats obtenus ont été comparés aux taux de dioxyde de soufre enregistrés . Il en ressort que l'augmentation de la pollution soufrée s'accompagne d'une élévation de la fréquence des symptômes respiratoires et ORL . Ces répercussions cliniques sont rapides , de l'ordre de 24 heures , et ne mettent pas en évidence d'effet de latence ou d'effet de rémanence des polluants .

Le deuxième comportait des tests spirométriques une fois au moment même des pics de pollution , et une autre fois en dehors d'un pic , auprès de 160 enfants de 9 à 11 ans , dans leur milieu scolaire . Il a montré que les répercussions spirométriques des pointes de pollution sont modestes mais significatives de l'effet de la pollution aiguë , et ne sont pas associées à des symptômes cliniques . Un sous-groupe d'enfants dits "sensibles" du fait d'antécédents respiratoires ou de signes fonctionnels respiratoires n'a pas réagi différemment du reste du groupe .

Les résultats de ce dernier protocole ont montré un phénomène d'apprentissage , faisant que lors du 2ème passage de l'équipe enquêtrice , les valeurs du VEMS et de la CVF étaient toujours supérieures . L'utilisation du rapport VEMS/CVF s'est révélée indépendante de l'apprentissage et objective une baisse très modeste des capacités respiratoires de l'enfant au moment des pics de pollution .

Les données de la littérature sont contradictoires
Quatre études fournissent des résultats négatifs , trois autres ont
conclu à l'effet ventilatoire à court terme d'un taux élevé en polluants
comme dans le cadre de notre enquête .

Les répercussions respiratoires à long terme de
l'exposition de l'enfant aux polluants dans la région du Bassin de
Gardanne , seront probablement minimales du fait que les valeurs
spirométriques mesurées en dehors de pics , ne sont pas différentes en
milieu pollué et non pollué , et que le niveau moyen de pollution a chuté
de moitié , durant les dix dernières années , particulièrement depuis la
mise en fonctionnement du nouveau groupe de 600 mégawatts en 1984 .

Lu et approuvé

Le Président du Jury

Mr Le Professeur CHARPIN

Lu et approuvé

Le Doyen

Mr Le Professeur IOGA

BIBLIOGRAPHIE

B I B L I O G R A P H I E .

- 1 - P. CHOVIN et A. ROUSSEL .
"Physico-chimie et physiopathologie des polluants atmosphériques"
Editions MASSON - 1973 -
- 1' - ROBERT R. LAUWERYS
"Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles"
Ed. MASSON - 2ème ed. 1982 -
- 2 - DIRECTION REGIONALE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
P.A.C.A.
Division de l'Environnement Industriel .
37 Bd Périer , 13008 MARSEILLE .
"La lutte contre la pollution industrielle dans le département des
Bouches-du-Rhône . Bilan et perspectives en 1984"
- 2' - AIRMARAIX .
"Dossier d'information" - Septembre 1985 -
- 3 - P. CHOVIN et A. ROUSSEL
"La Pollution Atmosphérique" - Collection "Que sais-je ?" - N°1330
Presses Universitaires de France .
- 4 - HOUILLERES DE PROVENCE - 13590 MEYREVIL .
"Etude d'impact de la tranche V de la Centrale Thermique"
- 5 - "The health consequences of smoking - Chronic obstructive
lung disease . A report of the Surgeon General , US Department of
health and human services" 1984 -
- 6 - CHARPIN D. , KLEISBAUER J.P. , LANTEAUME A. , GAY D. ,
"Affections respiratoires chez les chauffeurs de taxis
marseillais. Rôle de la pollution atmosphérique par le plomb et
autres facteurs environnementaux .1.Etude clinique VI° Congrès
Mondial pour la Qualité de l'Air . Paris , 16-20 Mai 1983 -
Proceeding n° 2 .
- 7 - CHARPIN D. , COURT E. , KLEISBAUER J.P.
"Enquête épidémiologique chez les boulangers" Arch Mal.
Prof. , 1984 , 45 , 381-382 .
- 8 - ZMIROU D. , PARENT B. , POTELON J.L. .
"Etude épidémiologique des effets sur la santé des rejets
atmosphériques d'une usine d'incinération de déchets industriels
et ménagers " . Rev. Epidem et Santé Pub. - 1984 - 32 , 391-397 ;
- 9 - DIRECTION REGIONALE SUD-EST DE LA METEOROLOGIE .
"Pollution atmosphérique - Convention 78-62 - Rapport -
Mai 1980

- 10 - BURROWS B. , KELLOG A.L. , BUSKEY J.
"Relationship of symptoms of chronic bronchitis and emphysema to weather and air pollution. Arch. Environ. Health .1968 - 16 - 406/413
- 11 - CARNOW B.W. , LEPPER M.H. , SHEKELLE R.B. , SIAMLER J.
"Chicago air pollution study SO2 levels and acute illness in patients with chronic bronchopulmonary diseases ." Arch. Environ. Health , 1969 - 18 - 768/776 .
- 12 - YOSHIDA K. , OSHIMA H. , IMAI M.
"Air pollution and asthma in Yokkaichi ." Arch. Environ. Health , 1966 - 13 - 763/768 .
- 13 - COHEN A.A. , BROMBERT S. , BUECHLEY R.W. , HEIDERSCHEIN L.I. , SHY C.M. .
"Asthma and air pollution from a coal-fueled power plant ." American Public Health . 1972 - 62 - 1181/1188
- 14 - SHY C.M. , HASSELBLAD V. , BURION R.M. , NELSON C.J. , COHEN A.A.
"Air pollution effects on ventilatory function of schoolchildren" Arch. Environ. health . 1973 - 27 - 124/128
- 15 - MANDI A , GALAMBOS E. , GALGOSZY G. , SZABO M. , KOLLAR K.
"Relationship between lung function Values and air pollution data in Budapest schoolchildren . J. Air Poll. Assoc. 1976 - 26 - 547/553
- 16 - STEBBINGS J.H. , FOGLEMAN D.G. , Mc CLAIN K.E , TOWNSEND M.C.
"Effects of the Pittsburg air pollution episod upon pulmonary function in schoolchildren". J. Air Pollution Ass. 1976 - 26 - 547/553
- 17 - STEBBING J.H. , FOGLEMAN D.G.
"Identifying a susceptible subgroup : Effects of the Pittsburg air pollution episod upon schoolchildren " Am. J. Epidem. , 1979 - 110 - 27/40
- 18 - TOYAMA T.
"Air pollution and its air health effects in Japan" Arch. Envir. Health , 1964 - 8 - 153/173
- 19 - SARIC M. , FUGAS M. , HRUSIIC O.
"Effects of urban air pollution on school-age children". Arch. Env. Health , 1981 - 36 - 101/108
- 20 - DOCKERY D.W. , WARE J.K. , FERRIS B.G. , SPEIZER F.E. , COOK N.R. , HERMAN S.M.
"Change in pulmonary function in children associated with air pollution episodes" . Air Pollution Control Ass. , 1982 - 32 - 937/942

- 21 - IAGER I.B. , WEISS S.T. , ROSNER B. , SPEIZER F.E.
"Effect of parental cigarette smoking on the pulmonary function in children" .
Am. J. Epidemiol. , 1979 - 110 - 15/26 .

 - 22 - Groupe Coopératif PAARC .
"Pollution atmosphérique et affections respiratoires chroniques ou à répétition : 1) Méthodes et sujets.
Bull Europ. Physiopath. Resp. , 1982 - 18 - 87/99.

 - 23 - 2) Résultats et discussion.
Bull Europ. Physiopath. Resp. , 1982 - 18 - 101/116.
-