

2/91

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

2 ET

وزارة الجامعات  
Ministère aux Universités  
المدرسة الوطنية للتقنيات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT Genie de l'environnement

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Contribution à l'évaluation de la  
Pollution Atmosphérique dans  
le Grand Alger

Proposé par :

Pr. R. Kerbachi  
M. Boughadaoui

Etudié par :

Z. Bouacid  
A. Saïki

Dirigé par :

Pr. R. Kerbachi  
M. Boughadaoui

PROMOTION Juin 91

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT Genie de l'environnement

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Contribution à l'évaluation de la  
Pollution Atmosphérique dans  
le Grand Alger

Proposé par :

Pr. R. Kerbachi  
M. Boughadaoui

Etudié par :

Z. Bouacid  
A. Saïki

Dirigé par :

Pr. R. Kerbachi  
M. Boughadaoui

PROMOTION Juin 91

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سَبِّحَانَكَ

لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا

إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

### تلخيص:

دراستنا تهتم بتقييم تلوث هوائي داخل محيط إحصائي بمدينة الجزائر. وصلنا إلى أن حموضة الهواء في محيط مدينة الجزائر معدومة، أما كمية ثاني أكسيد الكبريت ( $SO_2$ ) فتبقى صغيرة بالنسبة للمعايير المعمول بها لدى الهيئة العالمية للمنتجة (OMS)، بالعكس من ذلك فإن كمية ثاني أكسيد الآزوت ( $NO_2$ )، الملوثة المنبعث من دحان السيارات، تعتبر حادة إذا قيست بنظيراتها في مدن العالم الكبرى. تعتبر مساهمة الجزائر في تلوث الهواء بثان أكسيد الآزوت المنبعث من دحان السيارات ضعيفة مقارنة بالدول الأكثر تصنيعا.

Résumé: L'étude effectuée porte sur l'évaluation de la pollution atmosphérique en milieu urbain du grand-Alger. Dans ce contexte, nous avons pu montrer que l'acidité de l'atmosphère dans le milieu étudié est pratiquement nulle, la teneur en dioxyde de soufre reste inférieure aux normes imposées par l'OMS. Par contre le polluant  $NO_2$ , issu du trafic routier se retrouve à des teneurs comparables à celles de certaines grandes villes européennes. Dans l'estimation de l'émission globale en  $NO_x$  due au trafic routier, on constate que l'Algérie n'y contribue qu'à un taux très faible et ce en comparaison avec les pays industrialisés.

Summary: Our study consist of the air pollution valuation in the urban medium of Great-Algiers. In this context, we have found that the air acidity in the medium of great Algiers is in practical way null, the tenor of sulphur dioxide ( $SO_2$ ) is less of norms that O.M.S impose, on the other hand, nitrogen dioxide ( $NO_2$ ), sprung of the road traffic, is in comparable tenors with those of certain european great cities. In estimation of whole emission of  $NO_x$  sprung of the road traffic, we prove that ALGERIA contribute in a feeble rate in comparaison with the big industrial countries.

# Dedicaces



Je dédie ce mémoire :

- \* et mes fidèles et honorables parents.
- \* et mes très chers frères et sœurs.
- \* et mes amis Abdallah et Mustapha.
- \* et tous qui me sont très chers.
- \* et tous ceux qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Alger.

\* et ma chère petite sœur Zinat.

\* et tous qui me sont chers.

Foukir.

# Remerciements

- \* Nous remercions notre promoteur Mr. Kerbachi, professeur à l'école nationale polytechnique d'Alger, pour ses conseils bienveillants prodigués.
- \* Mr. Boughadaoui, notre co-promoteur, pour ses conseils et son aide précieuse.
- \* Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux, qui, de près ou de loin, ont collaboré à l'élaboration de ce mémoire.

PARTIE THEORIQUE

I-INTRODUCTION

II-LES SOURCES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

II-1- POLLUTION D'ORIGINE NATURELLE

II-1-1- LES VOLCANS

II-1-2- DECOMPOSITION DES RESIDUS VEGETAUX ET ANIMAUX

II-1-3- FEUX DE FORÊTS

II-2- POLLUTION DUE AUX TRANSPORTS

II-2-1- POLLUTION DUE AUX VEHICULES AUTOMOBILES

II-2-2- POLLUTION DUE A LA NAVIGATION

II-2-3- POLLUTION DUE A L'AVIATION

II-3- POLLUTION DUE A LA COMBUSTION

II-4- POLLUTION PAR LES REJETS DES DIVERSES INDUSTRIES

II-4-1- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE

II-4-2- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE CHIMIQUE

II-4-3- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE DE PETROLE

III-LES EFFETS NOCIFS DE CERTAINS POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

III-1- EFFETS SUR L'HOMME

III-1-1- EFFETS IRRITANTS

III-1-2- EFFETS INCOMMODANTS

III-1-3- EFFETS SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ENFANT

III-2- EFFETS SUR LES ANIMAUX

II-3- EFFETS SUR LES VEGETAUX

IV- INTERACTIONS DES POLLUANTS - LES SMOGS

IV-1- LE SMOG ACIDE

IV-2- LE SMOG PHOTOCHEMIQUE

V- METHODES DE MESURE DES POLLUANTS GAZEUX SO<sub>2</sub> ET NO<sub>x</sub>

V-1- MESURE DE L'ACIDITE DE L'AIR

V-2- METHODE DE MESURE DE SO<sub>2</sub>

V-2-1- METHODE MANUELLE DE WEST-GAEKE

V-2-2- METHODES AUTOMATIQUES

V-2-2-1- DOSAGE PAR PHOTOMETRIE DE FLAMME

V-2-2-2- DOSAGE PAR FLUORESCENCE UV

V-3- METHODE DE MESURE DE NO<sub>x</sub>

V-3-1- METHODE COLORIMETRIQUE DE GRIESS-SALTZMAN

V-3-2- METHODE AUTOMATIQUE : DOSAGE PAR CHIMILUMINESCENCE

VI- INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES SUR LA DIFFUSION DES POLLUANTS

VI-1- LE VENT

VI-2- GRADIENT VERTICALE DE TEMPERATURE

VII- APERÇU SUR LA PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

VII-1- AMELIORATION DES COMBUSTIBLES

VII-1-1- COMBUSTIBLES SOLIDES

VII-1-2- COMBUSTIBLES LIQUIDES



VII-1-3- COMBUSTIBLES GAZEUX

VII-2- DESULFURATION DANS LE FOYER DES CHAUDIÈRES PAR INJECTION DE

COMPOSES CHIMIQUES

VII-3- EMPLOI DES CHEMINÉES DE GRANDE HAUTEUR

VII-4- TRAITEMENT DE L'EFFLUENT GAZEUX

VII-4-1- DESULFURATION PAR TRAITEMENT DES FUMÉES

VII-4-2- REDUCTION DES NO<sub>x</sub> ISSUES DES INSTALLATIONS DE  
COMBUSTION FIXES

VII-4-3- REDUCTION DE LA POLLUTION ISSUE DU TRAFIC ROUTIER

PARTIE EXPERIMENTALE

I- PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE

I-EVALUATION DE L'ACIDITE DE L'AIR

I-1- METHODE D'EVALUATION

I-2- REACTIFS

I-3- MODE OPERATOIRE

I-4- EXPRESSION DES RESULTATS

I-5- RESULTATS ET INTERPRETATIONS

II- EVALUATION DU POLLUANT SO<sub>2</sub>

II-1- METHODE D'EVALUATION

II-2- REACTIF

II-3- MODE OPERATOIRE

II-4- ANALYSES SPECTROPHOTOMETRIQUES

**III-5- EXPRESSION DES RESULTATS**

**III-6- RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

**IV- EVALUATION DU POLLUANT NO<sub>2</sub>**  
-----

**IV-1- PRINCIPE DE LA METHODE**

**IV-2- REACTIFS**

**IV-3- ETALONNAGE**

**IV-4- MODE OPERATOIRE**

**IV-5- EXPRESSION DES RESULTATS**

**IV-6- RESULTATS ET INTERPRETATION**

**V- ESTIMATION DES EMISSIONS NO<sub>x</sub> EN ALGERIE**  
-----

**V-1- LE PARC AUTOMOBILE ALGERIEN**

**V-1-1- STRUCTURE DU PARC**

**V-1-2- EVOLUTION DU PARC DANS LE TEMPS**

**V-1-3- REPARTITION DU PARC PAR WILAYA**

**V-1-4- REPARTITION DU PARC SELON L'AGE DU VEHICULE**

**V-1-5- REPARTITION DU PARC SELON LA SOURCE D'ENERGIE UTILISEE**

**V-1-6- SITUATION DU PARC ALGERIEN PAR RAPPORT A D'AUTRES PAYS**

**V-2- LES CARBURANTS**

**V-2-1- EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES CARBURANTS**

**V-2-2- LE GPL CARBURANT**

**V-3- INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS**

**V-4- ESTIMATION DES EMISSIONS EN NO<sub>x</sub> ISSUES DU TRAFIC ROUTIER**

**V-5- INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS**

**VI- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

**PARTIE THEORIQUE**

## I- INTRODUCTION :

La pollution atmosphérique n'est pas un fait nouveau mais se manifeste déjà depuis des siècles à travers tout le globe terrestre.

Il y avait d'abord la pollution de l'air due au déplacement des poussières et du pollen par les vents ainsi qu'aux émanations issues des éruptions volcaniques. Ensuite, avec l'utilisation domestique du feu, est apparue la pollution due à la fumée et aux gaz de combustion qui ont produit certaines perturbations quoique dans des conditions relativement limitées et accidentelles.

L'utilisation industrielle du feu à l'époque du fer et du bronze a ajouté à l'air des impuretés provenant de la fusion et du raffinage des métaux.

L'intensification de l'utilisation du charbon de terre qui a commencé au Moyen-Âge a déterminé une aggravation de la pollution de l'air qui s'est étendue à des localités entières.

La révolution industrielle du 19<sup>ème</sup> siècle a donné naissance à de plus graves problèmes de pollution de l'air. A la même époque est apparue la pollution provenant des produits évacués par l'industrie chimique, l'industrie thermo-électrique et l'industrie du ciment. Depuis, d'autres polluants liés à l'industrialisation et l'intensification de l'utilisation des différents moyens de transport firent leurs apparition, menaçant de plus en plus la pureté de l'air.

Cette pureté de l'air, synonyme de la qualité de la vie, est considérée actuellement comme étant altérée lorsque la présence d'une substance étrangère à l'air ou une variation importante dans les proportions de ses composants, est susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une gêne.

Si dans d'autres pays, la pollution atmosphérique fait l'objet d'une attention particulière de part les autorités, les associations et les scientifiques qui ne cessent d'étudier à l'échelle internationale des phénomènes récents tels que les pluies acides et l'acidification des lacs, le dépérissement des forêts, la destruction de la couche d'ozone etc., ce n'est pas le cas de notre pays où pratiquement aucune information concernant la qualité de l'air que nous respirons n'existe.

Et pourtant cette pollution est visible à l'œil nu, nous ne citerons que les cimenteries de Meftah et de Raïs Hamidou, dans les environs d'Alger, le trafic routier dans un état vétuste de plus en plus dense et la décharge de Oued-Smar où par certaines conditions météorologiques la population environnante est obligée de se calfeutrer dans les appartements. Ainsi nos grands centres urbains, à l'instar des autres grandes villes comme Athènes, Mexico etc., ne sont certainement pas à l'abri des phénomènes de Smog photochimique.

Aussi nous nous proposons dans ce travail d'évaluer partiellement l'état de l'atmosphère au niveau du Grand-Alger et ses environs immédiats. Notre attention sera portée particulièrement à l'évaluation de l'acidité de l'atmosphère ou éventuellement son alcalinité et à déterminer les teneurs de certains polluants tels que le  $\text{SO}_2$  et le  $\text{NO}_2$ .

## II- LES SOURCES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE :

L'air pur dont la composition naturelle est répartie comme suit (1):

Azote : 78,03 % volumique

Argon : 0,94 % "

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, gaz rares: 0,04% "

Oxygène : 20,99 % "

peut pour diverses raisons contenir des substances étrangères ou présenter des modifications dans la concentration naturelle de ses composants, donnant ainsi naissance à une pollution atmosphérique.

Les sources de cette pollution atmosphérique peuvent être classées en :

- pollution d'origine naturelle,
- pollution due aux transports (terrestres, maritimes, aériens.),
- pollution due à la combustion (foyers domestiques, foyers industriels, centrales thermiques.),
- pollution due aux rejets des diverses industries.

En un lieu donné, la pollution de l'air peut provenir d'une ou plusieurs sources fixes ou mobiles.

## II-1- POLLUTION D'ORIGINE NATURELLE :

Parmi les sources naturelles on peut mentionner, comme ayant une certaine importance :

### II-1-1- LES VOLCANS :

Ils donnent naissance, pendant la durée des éruptions et des émanations permanentes, à des gaz et vapeurs en particulier les polluants  $H_2S$  et  $HCl$ . Ainsi, on estime que le volcanisme rejetterait  $3 \cdot 10^6$  tonnes par an de dérivés gazeux de soufre dans l'atmosphère. On a de plus détecté jusqu'à 20 ppb de  $NO$  dans des régions de volcanisme intense (2).

### II-1-2- DECOMPOSITION DES RÉSIDUS VÉGÉTAUX ET ANIMAUX :

La décomposition aérobie des matières organiques donne naissance à l'ammoniac et au gaz carbonique.

La décomposition anaérobie dénommée putréfaction donne naissance à des gaz malodorants.

Les produits finaux de la décomposition biologique sont : l'azote ammoniacal, l'anhydride carbonique, les sulfures et le méthane, ce dernier connaît une teneur constante dans l'atmosphère de l'ordre de 1,5 ppm (1).

L'hydrogène sulfuré,  $H_2S$  est produit par diverses fermentations anaérobies, œuvre des sulfatobactéries, tant en milieu terrestre qu'océanique. On évalue à  $98 \cdot 10^6$  tonnes par an de ce gaz rejeté



chaque année dans l'atmosphère (2).

### II-1-3- FEUX DE FORÊTS :

La foudre et les pyromanes en sont souvent la cause.

Certains de ces feux peuvent créer des nuages de fumées qui parcourent parfois des centaines de kilomètres. Les feux engendrent une pollution par l'oxyde de carbone, le dioxyde de carbone et certains terpènes volatils issue de la végétation forestière.

### II-2- POLLUTION DUE AUX TRANSPORTS :

Il s'agit ici d'une pollution anthropogénique ou artificielle engendrée par les différents moyens de transport, les véhicules automobiles et à un degré moindre la navigation et l'aviation. La plus forte contribution à la pollution d'ensemble est due essentiellement aux véhicules automobiles à cause de la proportion élevée des résidus qu'ils laissent échapper et de leur nombre considérable à l'intérieur de zones de grande densité de population.

D'après les statistiques établis aux Etats-Unis on estime que 60% de la pollution atmosphérique actuelle est due aux automobiles et le reste à toute les autres catégories de sources parmi lesquelles l'industrie ne représente que 15 à 18% (3).

## II-2-1- POLLUTION DUE AUX VEHICULES AUTOMOBILES :

Les polluants sont émis principalement par le pot d'échappement des véhicules automobiles, mais se dégagent également de façon notable par le carter (20 à 25 %) et par la respiration du réservoir ou par évaporation du carburateur lors d'un arrêt à chaud (moins de 10 % pour les hydrocarbures).

La nature et la teneur des produits émis diffèrent suivant le type du moteur : moteur à essence et moteur diesel.

Parmi les produits communs aux deux types de moteurs nous trouvons :

- Le monoxyde de carbone : en proportions moindres dans le cas des moteurs diesels que dans celui des moteurs à essence. Il est évacué dans les gaz d'échappement qui peuvent en renfermer jusqu'à 10 % (4).

- Les oxydes d'azote  $NO_x$  ( $NO$  et  $NO_2$ ) qui sont produits, en quantités importantes à haute température, aussi bien dans les moteurs à essence que dans les moteurs diesels. On constate que les gaz d'échappement des automobiles renferment en moyenne 1000 ppm de  $NO_x$ , soit 0,06 % de  $NO_x$  pour les moteurs à essence et 0,04 % pour les moteurs diesels (5).

- Divers hydrocarbures et imbrûlés légers et lourds dont le benzo-3,4 pyrène.

-Le plomb qui est ajouté dans le carburant comme anti-detonant pour améliorer la performance du moteur.

La majorité de ces polluants provient d'une combustion complète due à un rapport air-combustible mal proportionné, à la fluidité de la circulation et d'une manière générale à l'état technique du véhicule.

Actuellement dans le monde et dans chaque pays la plus grande quantité des polluants évacuée est due aux moteurs à essence. Les véhicules à moteurs diesels devraient théoriquement avoir des émissions plus faibles, car l'allumage par compression donne une combustion qui est plus complète. Cependant en pratique on remarque souvent des effets contraires, surtout dans les pays comme le notre où l'entretien de ces véhicules est souvent mal maîtrisé.

L'importance quantitative des produits émis varie suivant les types de moteur (essence ou diesel), leur puissance, leur régime, leur usure et les conditions d'utilisation et d'entretien.

Le tableau n° 1 donne les quantités de polluants émis par tonne de carburant pour les deux types de moteurs.

Le tableau n° 2 donne la composition des gaz d'échappement suivant les différents régimes du moteur.

Tableau n° 1 : Nature et quantité de polluants

émis par tonne de carburant (6).

Polluants	Poids (Kg) par tonne de carburant	
	Moteur à essence	Moteur diesel
CO	465,59	20,81
HC	23,28	4,16
NO <sub>x</sub>	15,83	13,01
SO <sub>2</sub>	1,86	7,80
Aldehydes	0,93	0,78
Total	507,49	46,56

Tableau n° 2 : Composition et teneur des gaz d'échappement

suivant le régime du moteur (6).

Teneur des gaz d'échappement	Régime du moteur							
	ralenti		accélération		cruise		décelération	
	E	D	E	D	E	D	E	D
CO (%)	7,0	tr	2,5	0,1	1,8	tr	2,0	tr
HC (%)	0,5	0,04	0,2	0,02	0,1	0,01	1,0	0,03
NO <sub>x</sub> (ppm)	30,0	60,0	1050	850	650	250	20	30
Aldehydes	30	10	20	20	10	10	300	30

E: moteur à essence ; D: moteur diesel ; tr: traces.

Le tableau n° 2 montre que les teneurs en CO et les hydrocarbures évoluent de manière similaire : l'accélération et le régime de croisière correspondent à des températures élevées donc à une meilleure combustion. Il en résulte des teneurs plus faibles que lors de la décélération et pendant le ralenti.

Les oxydes d'azote varient d'une manière inverse, ils sont favorisés par les hautes températures et se retrouvent à des teneurs plus élevées lors de l'accélération et en régime de croisière.

Schématiquement on obtient la représentation graphique donnée en figure n°1.

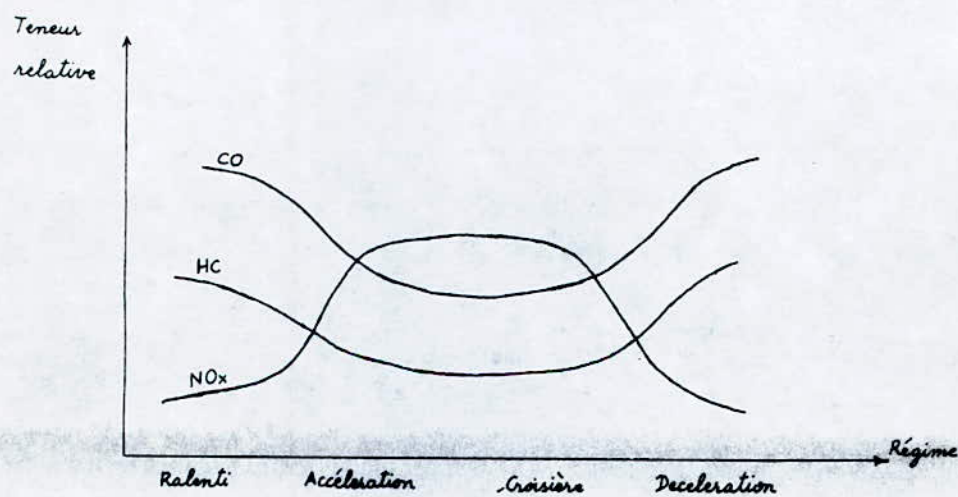


Figure n° 1 : Evolution de la teneur des divers polluants en fonction du régime du moteur à essence.

+

On estime d'autre part que sur un trajet consommant 10 litres d'essence l'automobiliste évacue en moyenne (1) :

2,5 Kg de CO soit 2000 litres

0,18 Kg de NO<sub>x</sub> soit 90 litres

0,25 Kg d'hydrocarbures

1,5 g de plomb .

D'autre part on a calculé qu'en général un véhicule émet (7) :

22 g/Km de CO

2,6 g/Km de NO<sub>2</sub>

0,16 g/Km de SO<sub>2</sub>

2,82 g/Km de HC

0,012 g/Km de Pb .

#### II-2-2- POLLUTION DUE A LA NAVIGATION :

La navigation qui utilise des moteurs à combustion interne et consommant de grandes quantités de combustible représente une source de pollution qui a une importance spéciale dans les ports et sur les canaux où ils se concentrent.

#### II-2-3- POLLUTION DUE A L'AVIATION :

L'utilisation des turbines à gaz et d'un combustible au raffinage poussé fait que l'aviation n'engendre généralement qu'une faible pollution. Toutefois, pendant de très courtes périodes de temps, on remarque que l'atmosphère peut être souillée par des teneurs plus

élevées en oxyde de carbone, oxydes d'azote, hydrocarbures et même en vapeur d'eau notamment au moment du décollage et d'atterrissage des avions.

### II-3- POLLUTION DUE A LA COMBUSTION :

Tout les combustibles peuvent être brûlés complètement et efficacement; les produits de leur combustion ne se composent alors que de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau, qui ne sont pas considérés comme des polluants, et, en faible part, oxydes de soufre et d'azote.

Mais la combustion est rarement complète et provoque alors, suivant la nature du combustible, des appareils et des conditions d'installation, des émissions de gaz polluants.

On trouve ainsi dans les gaz de combustion :

- Les composés du carbone : les quantités de carbone rejetées dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique par les combustions sont estimées à  $15 \cdot 10^{10}$  tonnes par an (4).

- Les composés du soufre : l'usage des combustibles fossiles constitue la principale cause de contamination par l'anhydride sulfureux.

La quantité totale rejetée chaque année dans l'atmosphère est estimée à  $145 \cdot 10^6$  tonnes. La combustion du charbon représente 70% de ce total et celle des fuels 16% (2).

Pendant la combustion, un pourcentage élevé du soufre est oxydé en dioxyde de soufre,  $SO_2$  et en trioxyde de soufre,  $SO_3$  il peut même

se dégager de l'hydrogène sulfuré,  $H_2S$ .

- Les hydrocarbures imbrûlés ou plus ou moins oxydés (Aldéhydes et acides) : ils se forment dans n'importe quel appareil de combustion, sauf dans les grands foyers perfectionnés. Leur proportion est infime de l'ordre de microgramme ou du centième de microgramme dans un mètre cube de gaz dégagé dans l'air.

Parmi ces produits on trouve les hydrocarbures polycycliques comme les benzopyrènes et les benzoanthracènes.

Les incinérations d'ordures représentent une source importante de la pollution de l'atmosphère par l'acroléine et bien d'autres aldéhydes.

- Les oxydes d'azote : ( $NO$  et  $NO_2$ ) qui sont surtout formés dans les combustions à haute température et forte pression. Leur proportion croît en fonction de la température.



#### II-4-POLLUTION PAR LES REJETS DES DIVERSES INDUSTRIES :

Le problème de la pollution par les rejets industriels prend de plus en plus d'importance en raison de l'accroissement de la production dans les usines et de la multiplication des complexes industriels.

##### II-4-1- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE SIDÉRURGIQUE :

Les diverses opérations sidérurgiques ont toujours eu tendance à provoquer une forte pollution locale de l'atmosphère.

Les polluants gazeux sont, principalement, le dioxyde de soufre, l'oxyde de carbone, on peut y ajouter les phénols et l'hydrogène sulfuré  $H_2S$ .

Certaines opérations métallurgiques libèrent également des quantités importantes d'anhydride sulfureux : une usine qui traite 1000 tonnes/j de pyrites cuivreuses dégage 600 tonnes par jour de ce gaz dans l'atmosphère (B). Le dégraissage des pièces métalliques, provoque l'évaporation de quantités importantes de solvants organiques, principalement les dérivés chlorés des hydrocarbures.

#### II-4-2- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE CHIMIQUE :

L'industrie chimique se caractérise par une gamme variée et un grand nombre de substances produites.

Les gaz évacués par l'industrie de l'acide nitrique renferment des oxydes d'azote qui sont souvent dilués par addition de l'air, ce qui donne une concentration de produits nitreux assez faible en volume.

Les gaz rejetés par l'industrie de l'acide sulfurique contiennent l'anhydride sulfureux et l'oxyde d'azote.

L'hydrogène sulfuré émi dans l'atmosphère provient des installations pétrochimiques qui constituent la principale source notable de pollution de ce gaz.

La fabrication des engrais azotés, des superphosphates ou des engrais des deux types précédents donne lieu à des dégagements des résidus fluorés et d'oxyde d'azote. Une usine importante est susceptible d'évacuer, par sa cheminée, 1,6 Kg de fluor par heure (3).

#### II-4-3- POLLUTION PAR L'INDUSTRIE DE PETROLE :

Les oxydes de soufre et l'hydrogène sulfuré proviennent de la désulfuration et des processus de craquage du pétrole. L'oxyde de carbone provient des processus de catalyse, cohéfaction et broyage du pétrole.

Les raffineries, les réservoirs de stockage de carburants constituent autant de points d'émission d'hydrocarbures légers et les mercaptans (ou thiols) qui contaminent l'air.

### III - LES EFFETS NOCIFS DE CERTAINS POLLUANTS ATMOSPHERIQUES :

De nos jours, avec la pollution atmosphérique, apparaît une science toute nouvelle, celle de l'étude de la physio-pathologie des polluants qui, bien qu'émis par millions de tonnes dans l'atmosphère, ne s'y trouvent qu'à des concentrations s'exprimant en microgrammes par mètre cube d'air. Et cependant ces effets sont indéniables. Ils concernent en premier chef les êtres humains, bien sûr mais pas uniquement, les animaux et les végétaux en subissent aussi les conséquences.

#### III-1- EFFETS SUR L'HOMME :

Les polluants atmosphériques émis dans l'atmosphère peuvent avoir des effets sur la santé humaine. Les effets sont liés à leur constitution, leur quantité, leurs combinaisons entre eux, l'influence des conditions météorologiques et à la constitution du sujet.

L'action nocive sur l'organisme s'exerce principalement par les voies respiratoires.

##### III-1-1- EFFETS IRRITANTS :

L'irritation de l'arbre respiratoire et la genèse des maladies respiratoires (bronchites diverses, emphysèmes, asthme) semble être due aux polluants irritants tels que le  $SO_2$ , le  $SO_3$ , les vapeurs nitreuses, l'hydrogène sulfuré, le phosphore et ses composés.

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant vis-à-vis de l'homme, de 6 à 12 p.p.m, il se produit des irritations de la gorge;

à 20 p.p.m., les yeux sont irrités (9).

L'adsorption de ce gaz sur les fines particules aggrave son action nocive, ainsi par exemple l'administration de 5 mg de  $\text{SO}_2$  adsorbé sur 10 mg de fines particules de NaCl dans  $1 \text{ m}^3$  d'air possède une action équivalente à celle de 180 mg de  $\text{SO}_2$  inhalé seul (1).

Les oxydes d'azote représentent aussi un mélange de gaz irritant avec une action toxique pour les voies respiratoires profondes. A des concentrations de l'ordre de 100 p.p.m. ils exercent des effets graves comme la bronchite, la pneumonie et même la mort. Leur effets à des teneurs de l'ordre de 50 p.p.m. se manifeste par l'irritation des muqueuses nasales, des yeux et des difficultés de respiration (8).

L'ozone et les smogs photochimiques sont aussi des polluants hautement irritants : irritation des muqueuses oculaires, nasales et laryngo-trachéales qui sont accompagnés de toux, maux de têtes, trouble de vue, bronchite et aggravation de l'état des asthmatiques.

D'une manière générale les gaz irritants multiplient les infections des voies respiratoires par les bactéries et les virus.

Une infection préexistante sera aggravée.

### III-1-2- EFFETS INCOMMODANTS :

Les divers effets incommodants (odeurs nauséabondes, sensation désagréables) produits par la pollution atmosphérique et leur perceptions plus ou moins répétée pourrait occasionner des nausées, des maux de tête, une excitabilité anormale et des troubles de sommeil.

En effet, l'inhalation d'un air contaminé par de l'oxyde de carbone provoque des céphalées, des vertiges et de la lassitude chez les personnes intoxiquées par ce gaz.

### III-1-3- EFFETS SUR LE DEVELOPPEMENT DE L'ENFANT :

Des relations ont pu être établies entre la pollution atmosphérique et la fréquence des troubles dans le développement de l'enfant (rachitisme, nombre anormal de hématies, anomalie de l'hémoglobine, anomalie de poids et de taille...). C'est ainsi que la carboxyhémoglobine formée, par la combinaison de façon irréversible du CO avec l'hémoglobine, empêche la fixation de l'oxygène et son transfert aux cellules (9).

### III-2- EFFETS SUR LES VEGETAUX :

La plus importante des voies de l'action nocive consiste dans la pénétration des polluants dans les organes de la respiration végétale représentés par les "stomates" des feuilles (1).

Les stomates sont des appareils microscopiques de l'épiderme des végétaux munis d'un orifice minuscule permettant les échanges gazeux avec l'atmosphère.

Dans les atmosphères polluées, les stomates peuvent être obstrués par les poussières et autres polluants et n'assurent plus leur fonction, la plante dépérit alors rapidement.

La pénétration des polluants se fait soit après dépôt de ces polluants au niveau du sol soit après lavage de l'atmosphère par les pluies. Ainsi les précipitations acides sont à l'origine du dépérissement du 1/3 de la forêt noire en Bavière soit environ 2,5 millions d'hectares où la forêt est plus ou moins gravement touchée (10).

Le  $SO_2$  qui est le polluant qui a été le mieux étudié provoque des dommages à la végétation en pénétrant même à des doses très faibles à l'intérieur des organes par les stomates.

Il semblerait que son pouvoir toxique est dû aussi bien à son acidité qu'à ses propriétés oxydo-réductrices, où on note la formation de sulfites qui sont transformés en sulfates par les stomates (1).

Le plus souvent la synergie des polluants aggrave les dommages. Ainsi des mélanges de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{NO}_2$  à des concentrations comprises entre 0,05 et 0,25 ppm provoqueraient des dégâts visibles sur différentes espèces végétales alors que les mêmes polluants agissant seuls à des concentrations 10 fois plus élevées n'ont pas d'effet (10).

Les plantes affectés par les polluants secondaires tels que l'ozone et les peroxy-acyl-nitrates (PAN) qui sont véhiculés par le smog oxydant, lui même lié à la présence des polluants primaires  $\text{NO}_x$  et hydrocarbures, présentent au début des lésions sur les couches cellulaires sous forme de tâche et décoloration.

Les lésions se produisent à des concentrations relativement faibles chez les plantes de culture : 0,05 ppm affectent les plantes comme la laitue, l'orge et la luzerne (1).

Le pommier, le cerisier et l'oranger semblent être les plus résistants (1).

### III-3- EFFETS SUR LES ANIMAUX :

Les animaux, comme les êtres humains, sont sensibles à la pollution atmosphérique et peuvent manifester certains troubles lorsque des concentrations de polluants sont maintenues à un niveau élevé pendant un certain temps.

Les smogs acides survenus dans les années 50 à Londres et en Belgique et qui ont gravement touché la population ont tous

été accompagnés par des intoxications d'animaux.

En général les accidents graves déterminent la mort chez les animaux dans une plus forte proportion que chez l'homme.

L'apport toxique a lieu le plus souvent par les voies digestives, après dépôt du polluant sur le fourrage. Tel est le cas des manifestations pathologiques du fluor chez les animaux qui sont connues sous le nom de fluoroses. Elles sont liées à la teneur élevée en fluorures gazeux qui s'accumulent dans les végétaux et les fourrages consommés (41). On constate chez les animaux un ralentissement de la croissance, des lésions du squelette et des dents, même des cas de mortalité.

Les insectes, les abeilles, les vers à soie sont aussi très sensibles aux composés fluorés ce qui entraîne leur disparition.



#### IV - INTERACTIONS DES POLLUANTS - LES SMOGS :

Certains polluants chimiques de l'atmosphère peuvent réagir entre eux pour donner naissance à de nouveaux polluants encore plus agressifs. Ces transformations chimiques subissent les effets catalyseurs des autres conditions de l'environnement telles que la présence de métaux, l'humidité, le rayonnement solaire etc...

Dans certaines conditions météorologiques il ya alors formation d'un brouillard agressif appelé "Smog".

Suivant la nature des polluants mis en jeu on distingue le smog acide et le smog photochimique ou oxydant.

##### IV-1- LE SMOG ACIDE :

Sa formation est liée à l'acidité de l'atmosphère et nécessite en général deux conditions :

- Existence d'une concentration en  $\text{SO}_2$  élevée et de diverses particules,
- présence simultanée d'un brouillard c'est-à-dire un aérosol de micro-gouttelettes de l'eau.

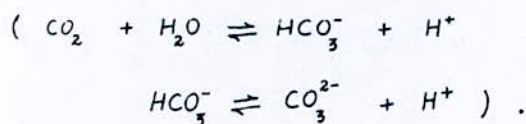
Ce smog est basé sur l'oxydation dans l'atmosphère du  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$ . Cette oxydation se produit dans le film d'eau qui entoure les particules solides et qui est catalysée par les métaux contenus dans les poussières en suspension dans l'atmosphère (surtout le Fer et le Manganèse provenant de la combustion et de la sidérurgie et

métallurgie) (1).

Les aérosols d'acides sulfuriques ainsi formés sont à l'origine des pluies acides et de la diminution de la visibilité.

Les pluies acides qui sont incriminées dans l'acidification des lacs, le dépérissement des forêts et la dégradation des bâtiments, peuvent atteindre un pH de 4,5 et donc une acidité 10 fois plus élevée que dans les pluies non contaminées (1).

En effet une pluie pure possède un pH de 5,65 c'est-à-dire le pH de l'eau distillée en équilibre avec le  $\text{CO}_2$  de l'air



#### IV-2- LE SMOG PHOTOCHIMIQUE :

Le smog connu sous le nom de Smog de Los-Angeles a lieu si les conditions suivantes sont réunies :

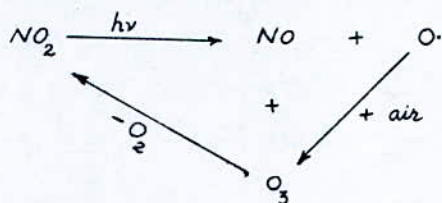
- Émissions abondantes de polluants, en particulier les  $\text{NO}_x$  et les hydrocarbures HC,

- couche d'inversion qui favorise la stagnation des polluants et qui réduit toute dilution des polluants dans les couches supérieures,  
- forte insolation.

Il se déclenche dans ces conditions une série de réactions photochimiques nombreuses et encore mal connues qui aboutissent à la production d'un brouillard dans lequel se trouvent des espèces

chimiques nouvelles à caractère oxydant.

Dans un cycle photodynamique les oxydes d'azote génèrent dans l'atmosphère l'ozone et les atomes d'oxygène selon (1) :



En présence d'hydrocarbures les teneurs en  $\text{O}_3$  et  $\text{NO}_2$  croissent et celle en  $\text{NO}$  décroît.

L'oxygène atomique et l'ozone ainsi formés attaquent les hydrocarbures avec formation de radicaux peroxyde  $\text{R-O-O}\cdot$  et peroxy-acyles  $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{O}\cdot$ .

Les peroxy-acyles peuvent se combiner avec le  $\text{NO}_2$  selon la réaction :



et produisent ainsi les peroxy-acyl-nitrates PAN où le reste  $\text{R}$  peut être un aliphatique, un aromatique ou un hétérocyclique.

Les composés comme le PAN sont très agressifs même à des teneurs très faibles. Ils ont été décelés dans diverses smogs à des teneurs variant de 1 à  $4 \cdot 10^2$  ppm (1).

En résumé tout centre urbain fortement ensoleillé à trafic routier intense peut faire l'objet dans certaines conditions atmosphériques d'un smog photochimique qui altère fortement la qualité de l'air.

## V - METHODES DE MESURE DES POLLUANTS GAZEUX $SO_2$ ET $NO_x$ :

Les mesures et prélèvement peuvent se faire à l'émission ou bien dans l'environnement. La campagne de mesure dans l'environnement donnent en général l'état et la tendance de pollution dans une région et l'on peut à partir de cet état prévoir l'implantation de nouvelles unités, amélioration de l'épuration et voir même effectuer des mesures épidémiologiques.

De nombreux organismes nationaux et internationaux se sont attachés à la mise au point de méthodes adaptées aux mesures et dosages des principales substances gazeuses susceptibles d'être présentes dans les ambiances polluées.

La détermination des teneurs peut se faire soit par voie chimique soit par des méthodes instrumentales.

Dans la voie chimique les polluants sont captés soit :

- par une solution chimique contenant des réactifs qui réagissent avec le polluant ce qui correspond à une absorption par un liquide.

- par adsorption sur un solide : c'est par exemple le cas des vapeurs organiques qu'on peut retenir sur charbon actif ou tout autre support chromatographique. Le polluant concentré sur l'adsorbant est récupéré par extraction ou évaporation.

- par condensation fractionnée : Le prélèvement gazeux est refroidit dans des dewars portés à différentes basses températures.

La séparation se fera suivant les températures d'ébullition des différents composés.

Les méthodes instrumentales quant à elles utilisent certaines caractéristiques physico-chimiques des polluants. Telle que par exemple la chimiluminescence des  $\text{NO}_x$ . Les méthodes de mesure en continu sont certes rapides et fiables mais restent encore très onéreuses vu le coup élevé des appareils automatiques de mesure.

#### V-1- MESURE DE L'ACIDITE DE L'AIR :

La méthode est basée sur une oxydation des polluants.

L'air prélevé est absorbé dans des barboteurs contenant le peroxyde d'hydrogène les constituants gazeux et solubles de l'air prélevé sont retenus par cette solution, qui d'autre part, transforme, par exemple par oxydation, le dioxyde de soufre en acide sulfurique ( $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ).

L'acidité résultante est mesurée en ramenant au moyen d'une solution basique le pH de la solution au pH fixé initialement, le dosage volumétrique étant effectué à l'aide d'un pH-mètre.

Les résultats obtenus selon les modalités de cette méthode dépendent de l'ensemble des polluants gazeux acides ou alcalins susceptibles d'être pris en compte dans les conditions définies de prélèvement et d'analyse. Les résultats sont exprimés sous forme de masse en dioxyde de soufre par unité de volume d'air prélevé ( $\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ).

Sa sensibilité est estimée à 0,01 ppm pour un échantillon d'air de 0,85 m<sup>3</sup>. Interférences : ammoniac (6).

#### V-2- METHODES DE MESURE DE SO<sub>2</sub> :

##### V-2-1- METHODE MANUELLE :

La méthode la plus connue est la méthode colorimétrique de West and Gaeke (1).

Dans cette méthode les solutions aqueuses de SO<sub>2</sub> sont complexées par le tétrachloromercurate de sodium.



le complexe ainsi formé est stable. Il donne en présence de réactifs organiques appropriés des complexes colorés qui peuvent être dosés facilement par colorimétrie. Les réactifs utilisés sont la para-rosaniline et formaldéhyde qui donne une coloration rose ( $\lambda = 560 \text{ nm}$ ) dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de SO<sub>2</sub> absorbée.

La méthode est très sensible, la limite inférieure de détectabilité est de l'ordre du ppb.

## V-2-2- METHODES AUTOMATIQUES :

### V-2-2-1- DOSAGE PAR PHOTOMETRIE DE FLAMME :

Les composés sulfurés peuvent être dosés par un détecteur, le photomètre de flamme. Il dérive du détecteur à ionisation de flamme utilisé en CPG. Au lieu de mélanger l'air à analyser avec de l'hydrogène et de faire brûler les composés à doser dans une atmosphère oxydante (en présence d'oxygène), on inverse et on fait brûler les composés présents dans l'air dans une atmosphère d'hydrogène c'est-à-dire en flamme réductrice.

Les composés soufrés sont ainsi réduits en  $\text{SO}_2$  qui brûlé émet des radiations spécifiques à la molécule qui sont suivies sur un photomultiplicateur. Ce détecteur est spécifique aux composés soufrés et sa sensibilité est très élevée. La durée de prélèvement est instantanée.

Si un tel détecteur est couplé à la CPG on peut séparer et doser les composés  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{SO}_2$ ;  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  et  $(\text{CH}_3)\text{SH}$  à des concentrations inférieures à  $\mu\text{g/l}$  (7).

### V-2-2-2- METHODE DE DOSAGE DE $\text{SO}_2$ DANS L'AIR PAR FLUORESCENCE UV :

L'échantillon gazeux prélevé traverse un filtre poussière teflon et est introduit dans une chambre optique soumise à un rayonnement UV à une longueur d'onde donnée.

Les molécules de  $\text{SO}_2$  ainsi excitées émettent un rayonnement de fluorescence que le tube photomultiplicateur détecte et amplifie.



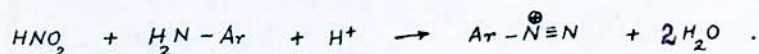
Les hydrocarbures et la vapeur d'eau n'interferent pas. La limite de detection est de 1 ppb (12).

### V-3-METHODES DE MESURE DE NO<sub>x</sub> :

#### V-3-1-METHODE COLORIMETRIQUE DE GRIESS-SALTZMAN :

On utilise dans cette methode la capacite qu'a HNO<sub>2</sub> de former sur des amines des sels de diazonium.

L'air renfermant le NO<sub>2</sub> est barboté dans une solution d'amine aromatique pour former le sel de diazonium



Le sel diazonium réagit ensuite par copulation sur une autre amine en donnant des colorants azoiques qu'on peut doser par colorimétrie.

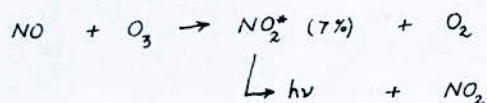
Comme amine on utilise souvent l'acide sulfanilique et le N-naphtyl-1-ethylen diamine. Le dernier reactif représente l'amine de copulation.

La sensibilité de la methode est très élevée. Le domaine d'utilisation est de  $5 \cdot 10^{-3}$  à 5 ppm de NO<sub>2</sub> (6).

#### V-3-2-METHODE AUTOMATIQUE : Dosage par chimiluminescence.

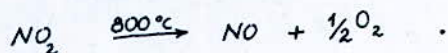
Si on oxyde le NO par l'ozone en excé il ya formation de NO<sub>2</sub>.

Une quantité des molécules formées se présente sous forme éscitée qui émettent une radiation en revenant à l'état initiale.

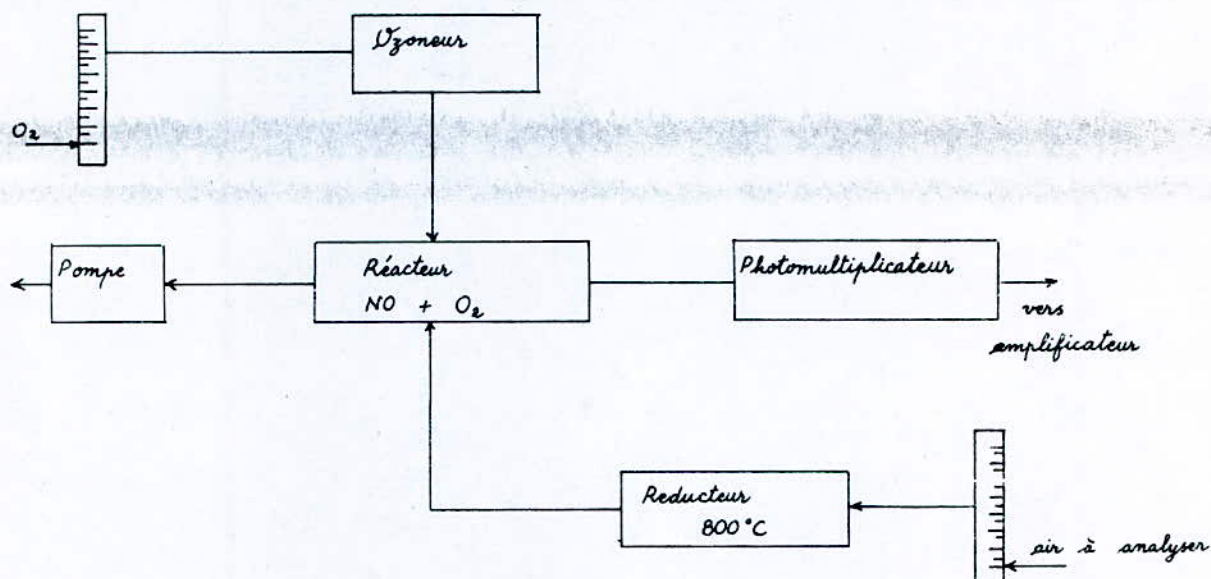


Si on mesure les photons émis par un photomultiplicateur on peut revenir à la concentration en NO contenu dans l'atmosphère.

Pour mesurer le NO<sub>2</sub> on procède auparavant à sa réduction par simple chauffage à 800°C



On peut schématiser cette méthode comme suit :



Le tube photomultiplicateur est maintenu à des températures de l'ordre de -20 °C pour améliorer le rapport signal-bruit de fond.

## VI-INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES SUR LA DIFFUSION

### DES POLLUANTS :

Après leur évacuation, les polluants se déplacent et se diluent dans l'espace, provoquant ainsi une diminution de leur concentration initiale et l'envahissement d'un volume de plus en plus grand de l'atmosphère.

Cette dispersion dans le temps et dans l'espace dépend entre autre de certains facteurs météorologiques tels que le vent et la température

### VI-1- LE VENT :

Le vent entraîne les polluants émis dans la direction de son déplacement et les répand dans le bassin aérien. Cette dilution des polluants dépend de la direction et de la vitesse des vents.

Il existe des vents dominants qui se produisent souvent dans l'année dans la même direction, imposant ainsi aux panaches de fumée issue des cheminées le sens de leur dispersion.

A côté de la direction, la vitesse de vent joue aussi une grande importance pour la dispersion de la pollution.

En effet la dilution est d'autant plus faible que la vitesse du vent est plus réduite. Le pouvoir de dispersion du vent débute déjà à des vitesses faibles de l'ordre de 2 m/s d'autre part la vitesse du vent augmente avec l'altitude et peut atteindre quelques 5 m/s au delà des 200 mètres d'altitude (1).

C'est pourquoi les polluants gazeux issus des hautes cheminées peuvent monter jusqu'à 2000 m, puis poussés par les vents, ils voyagent sur des milliers de kilomètres, donnant naissance à la pollution transfrontière.

Un phénomène défavorable à l'autopurification est le calme atmosphérique dénommé encore stabilité ou stagnation, qui est l'absence des courants d'air. En cas de persistance de ce calme, il arrive que les polluants ne puissent plus être écartés par les courants d'air, mais qu'ils s'accumulent dans l'espace aux voisinages des lieux où ils sont émis. Plus les périodes de calme sont longues, plus l'accumulation et la concentration des polluants sont grandes.

Ainsi toute implantation industrielle devrait être précédée par une étude approfondie du régime des vents. Cette étude aboutit au tracé de la "rose des vents" qui représente un diagramme à 8 ou 16 directions (Nord, Nord-Est, Est etc...) où l'on porte sur chacune d'elle la fréquence à laquelle le vent a soufflé.

## VI-2-GRADIENT VERTICALE DE TEMPERATURE :

Le plus important phénomène dû à la température est la convection sur la verticale, qui représente l'ascension de l'air d'une couche inférieure de l'atmosphère voisine du sol, à la suite de son échauffement par le soleil. Le phénomène est dû à la variation de la température de l'air qui normalement décroît avec l'altitude (gradient thermique d'environ  $1^{\circ}\text{C}$  par 100 m) (3).

La convection ascendante représente un des phénomènes les plus importants de l'autopurification; dans ce courant sont entraînés, en même temps que l'air, les polluants évacués par différentes sources de pollution. De cette manière, le volume d'air dans lequel se réalise la dilution augmente.

Le phénomène de convection ascendante est proportionnel au degré d'échauffement du sol et la durée de cet échauffement est fonction de la différence entre le niveau de la température de l'air au sol et celui existant dans les couches élevées de l'atmosphère.

A certaines époques, cette situation s'inverse cependant, en réalisant le phénomène d'inversion thermique: la température de l'air des hauteurs est plus grande que la température de l'air au sol.

L'état d'inversion thermique qui caractérise un état stable de l'atmosphère empêche l'élevation et l'éloignement en altitude des polluants provenant du sol; ceux-ci s'accumulent dans la couche d'air

\*

inferieur jusqu'au niveau de la couche d'inversion. L'élévation des polluants jusqu'à ce niveau est due à la température élevée des gaz évacués par les sources de pollution. Après le refroidissement à une certaine hauteur, ceux-ci ne montent plus ou même retournent au sol.

Nous représentons sur la figure 2 et 3 respectivement le gradient adiabatique vertical et l'état d'inversion thermique.

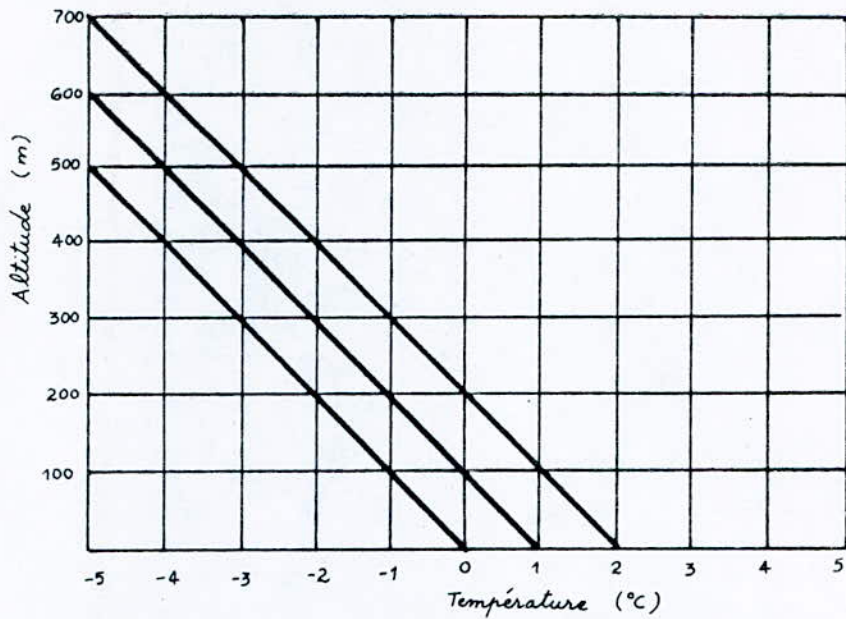


Fig. n° 2 : Gradient adiabatique vertical.

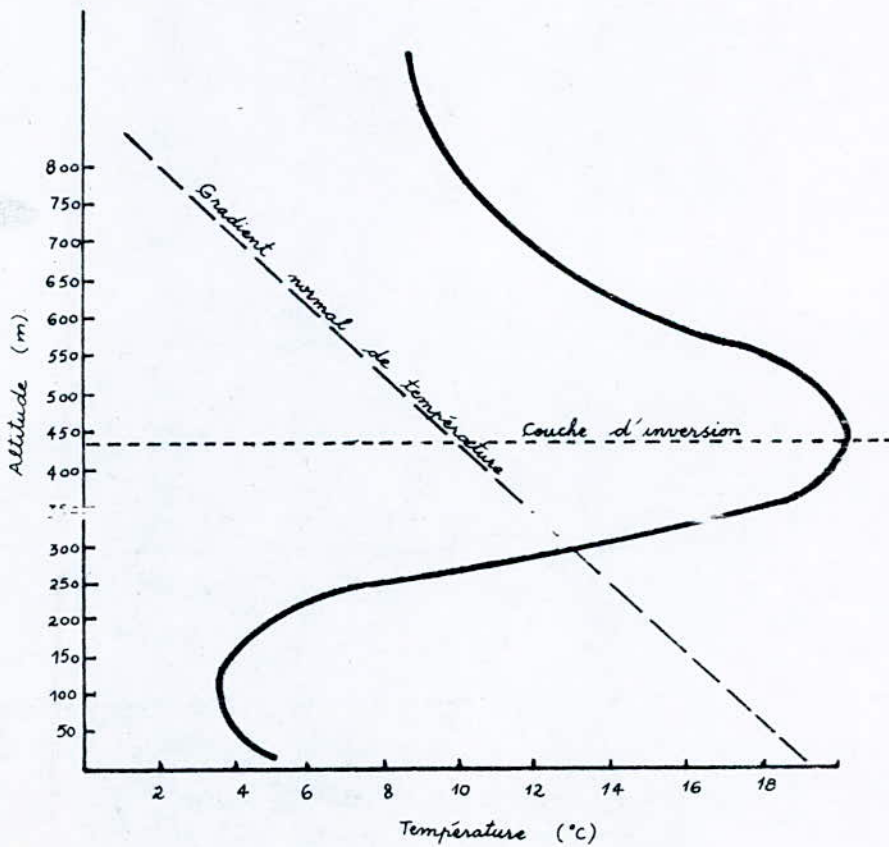


Fig. n° 3 : Etat d'inversion thermique.

## VII-APERÇU SUR LA PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE:

Devant l'ampleur prise par la pollution de l'air et le développement de la destruction du milieu, les industriels, les techniciens et les gouvernements se sont attachés à développer des moyens préventifs de contrôle et de limitation des émissions polluantes.

Il existe actuellement divers moyens de réduction des émissions en  $SO_2$  et  $NO_x$  qui, selon le taux de pureté désiré, nécessitent un faible investissement ou alors une technologie très poussée et coûteuse qui n'a pas toujours fait ses preuves.

### VII-1- ACTION A LA SOURCE POLLUANTE :

La prévention de la pollution de l'air à la source consiste d'abord à assurer la meilleure combustion possible avec les combustibles et les installations dont on dispose, à assurer la meilleure carburation possible, à utiliser les procédés de fabrication les plus efficaces et ensuite à maintenir une surveillance et un entretien régulier et soigneux des installations.



## VII-1-1- AMÉLIORATION DES COMBUSTIBLES :

### VII-1-1-1- COMBUSTIBLES SOLIDES :

L'amélioration peut porter sur la préparation des charbons pour réduire leur teneurs en matières volatiles et en soufre ou à utiliser des combustibles BTS (basse teneur en soufre) qui naturellement sont limités et coûtent plus cher que le combustible normal.

Pour les combustibles riches en soufre il existe différents procédés de désulfuration parmi lesquels nous citerons le broyage et le calibrage par lévigation dans l'eau ou dans les saumures de densité appropriée accompagnés de sédimentation et de centrifugation.

Les procédés d'épuration chimique tels que la cokéfaction et l'hydrodésulfuration du charbon en vase clos éliminent à la fois les constituants générateurs de fumée et de produits sulfurés lesquels sont recueillis à part (9).

### VII-1-1-2- COMBUSTIBLES LIQUIDES :

L'amélioration des combustibles liquides porte surtout sur la réduction de leur teneurs en soufre.

Actuellement, la désulfuration est réalisée par des procédés catalytiques d'hydrogénation sélective par l'hydrogène sous pression et à haute température. Les catalyseurs de la réaction sont divers : molybdate de cobalt fixé sur des pastilles d'alumine ou l'oxyde de cobalt et de zirconium (9).

### VII-1-1-3-COMBUSTIBLES GAZEUX :

Les combustibles gazeux ne sont pas polluants, ce n'est pas leur amélioration qu'il faut envisager, mais le développement de leur utilisation.

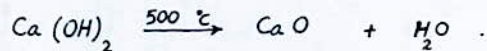
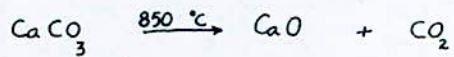
L'emploi du gaz de ville est un des moyens de lutte contre la pollution atmosphérique dans les grands centres urbains et dans les utilisations destinées au fours artisanaux ou industriels.

### VII-1-2- DESULFURATION DANS LE FOYER DES CHAUDIERES PAR

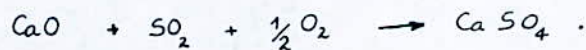
#### INJECTION DE COMPOSES CHIMIQUES :

Il s'agit ici d'utiliser des foyers "Desulfurants" dans lesquels le soufre est retenu par les cendres sous forme de sulfates et évacué avec elles.

La méthode consiste à injecter directement dans la zone de combustion des réactifs finement broyés tels que le calcaire  $\text{CaCO}_3$  et la chaux. Ces réactifs sont d'abord calcinés ou deshydratés :



Dans le foyer il se produit alors une réaction hétérogène entre le  $\text{CaO}$ , le  $\text{SO}_2$  et l'oxygène :



Dans les foyers classiques les rendements de desulfuration

par cette méthode atteignent 40-50 % pour un rapport  $\frac{C_a}{S} = 2$  (12).

Pour atteindre des taux de désulfuration supérieurs à 90 %, on fait appel à la technique du lit fluidisé.

Dans ce procédé les fines particules solides de charbon sont maintenues en suspension à l'intérieur de l'enceinte du foyer au moyen d'un courant d'air ascendant. La température du foyer est maintenue aux environs de 850-900 °C à cette température la production des  $NO_x$  est faible et la réaction de sulfatation lors de l'injection de la chaux est optimale.

#### VII-1-3- EMPLOI DES CHEMINÉES DE GRANDE HAUTEUR :

L'intérêt de la construction de cheminées de très grande hauteur, pour évacuer les gaz de combustion et des diverses industries est double : les effluents gazeux peuvent franchir la couche d'inversion thermique et, de ce fait, sont dispersés en altitude sans contribuer à la pollution de manière appréciable.

Dans des conditions atmosphériques normales, le panache s'éloigne et se dilue, de sorte que, en fonction de la distance, les zones sous le vent sont moins touchées qu'elles ne le seraient avec une cheminée moins élevée.

Le calcul des hauteurs des cheminées tient compte de certains facteurs : teneur du combustible en soufre, quantité de combustible consommée par heure, débit et vitesse de sortie de

des gaz.

Toute fois l'installation de cheminée de grande hauteur crée le problème de la pollution transfrontière. Les polluants évacués en grande altitude sont transportés par les vents sur de très longues distances. C'est le cas des retombées en  $SO_2$  en Scandinavie qui proviennent en majeure partie de l'Europe de l'Ouest.

#### VII-2- TRAITEMENT DE L'EFFLUENT GAZEUX :

La prévention par action sur le polluant à la source est primordiale mais souvent insuffisante ; il est alors nécessaire de traiter l'effluent pour éliminer ou réduire considérablement ses fumées rejetées les gaz nocifs qu'elles peuvent contenir.

##### VII-2-1- DESULFURATION PAR TRAITEMENT DES FUMÉES :

Ce procédé est utilisé surtout pour traiter les fumées des grandes centrales thermiques. Comme réactif de désulfuration on utilise une base, la chaux en milieu aqueux, qui par une réaction acide-base permet d'obtenir des rendements de désulfuration de 90 à 95 % pour un rapport Ca/S de 1 à 1,5.

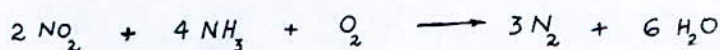
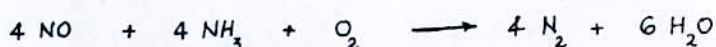
La réaction a lieu après dépoussiérage dans des tours de lavage où sont disposés à différents niveaux des rampes de pulvérisation de la liqueur du lait de chaux.

La suspension des sulfates ainsi formé est ensuite acheminée vers un décanteur. Les boues obtenues sont centrifugées puis stockées à l'état de gypse  $\text{CaSO}_4$  (12).

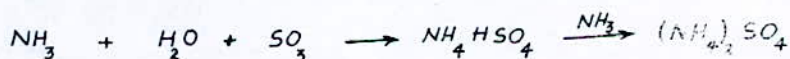
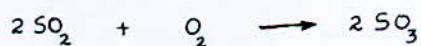
#### VII-2-2-REDUCTION DES $\text{NO}_x$ ISSUES DES INSTALLATIONS DE COMBUSTION FIXES :

L'élimination des  $\text{NO}_x$  des fumées des grands foyers de combustion et des centrales électriques peut se faire par injection dans les fumées d'un réducteur tel que l'ammoniac  $\text{NH}_3$ .

Les principales réactions mises en jeu et qui ont lieu à des températures entre  $900 - 1100^\circ\text{C}$  sont :



Si de plus les fumées contiennent du  $\text{SO}_2$  on peut avoir des réactions secondaires tels que :



Cette réduction thermique des  $\text{NO}_x$  par l'ammoniac peut être améliorée par l'introduction de catalyseur qui abaissent la température des réactions.

Dans la méthode de réduction catalytique sélective des  $\text{NO}_x$ , plus connue sous le nom de "technique SCR", on utilise des

catalyseurs en oxyde de fer et oxyde de chrome ou en oxyde de titane ou d'oxyde de vanadium. La limite de température requis se situ entre 320 et 450 °C. A ses températures on réduit la conversion de  $SO_2$  en  $SO_3$  et éviter ainsi la formation de particules des sulfates d'ammonium. Le catalyseur usé est en principe refondu et regeneré (12).

### VII-3- REDUCTION DE LA POLLUTION ISSUE DU TRAFIC ROUTIER :

Pour répondre aux valeurs limites des divers polluants  $NO_x$ , CO et les hydrocarbures issus du trafic routier imposées par la loi on a développé, à partir des années 80, les catalyseurs capables de réduire cette pollution où l'épuration se fait d'une manière effective et économique.

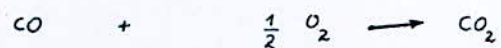
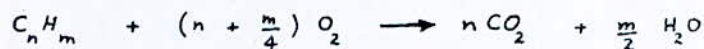
L'installation catalytique qui contient tout les systemes épurateurs doit être normalement conçue en même temps que la conception des véhicules. Mais cependant une installation ultérieure sur les véhicules déjà en circulation reste possible.

On connaît de nos jours le procédé qui utilise le catalyseur multifonctionnel à trois voies. Dans ce procédé les gaz d'échappement sont conduit directement sur un catalyseur multifonctionnel où les hydrocarbures, le CO et les  $NO_x$  seront éliminés simultanément.

Pour répondre quantitativement aux trois polluants le catalyseur exige des gaz d'échappement une composition quasi-stoichiométrique.

Ce qui nécessite une préparation réglée du mélange explosif. Le contrôle dans ce cas le rapport air-carburant en réglant par commande sur le carburateur ou bien électroniquement par système d'injection à l'aide d'une sonde appelée  $\lambda$  (Lambda). Cette sonde mesure la teneur de l'oxygène dans les gaz d'échappement avant l'entrée dans le catalyseur. Ce système d'épuration est plus effectif et réduit même la consommation en carburant.

Les principales réactions mises en jeu dans ce système sont :



Ces réactions consistent donc en une oxydation des hydrocarbures et du CO et en même temps une réduction du NO par ces mêmes composés. Ces réactions doivent s'effectuer simultanément avec une vitesse de réaction suffisante.

La conversion simultanée de ces polluants par le catalyseur à trois voies dépend du facteur  $\lambda$  qu'on définit comme suit :

$$\lambda = \frac{O_2 \text{ total}}{O_2 \text{ nécessaire à la combustion complète du carburant}}$$

Pour  $\lambda > 1$  on est en présence d'un mélange riche en oxygène,  
pour  $\lambda < 1$ , mélange pauvre en oxygène.

Nous représentons en figure n° 4, l'évolution du degré de conversion  
des trois polluants en fonction de la valeur de  $\lambda$  pour le catalyseur  
multifonctionnel à trois voies.

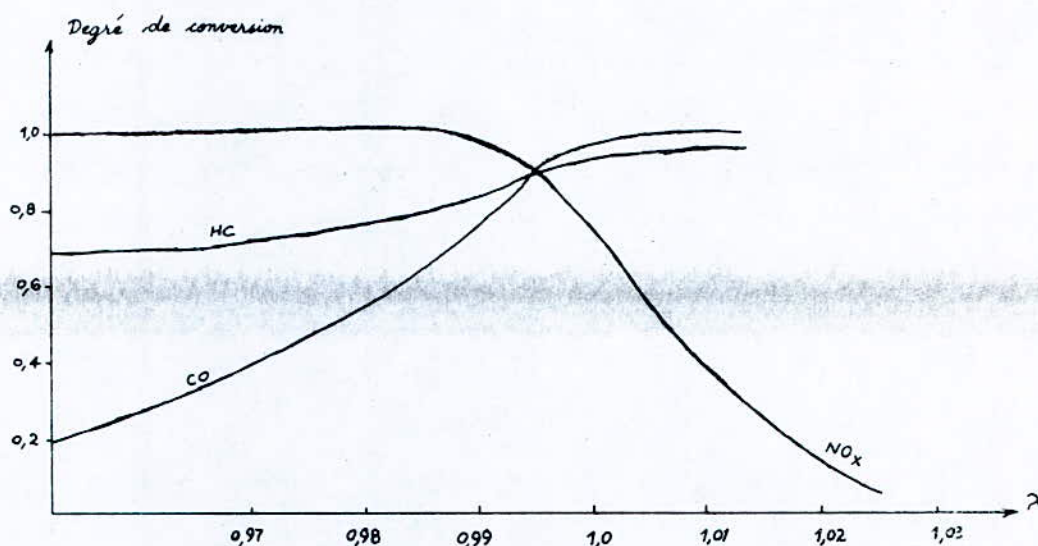


Figure n° 4: Evolution du degré de conversion en fonction  
de  $\lambda$ .

Le graphique montre que le catalyseur multifonctionnel ne peut  
travailler avec rendement élevé sur les trois polluants que dans un  
très faible domaine de  $\lambda$  proche du point stoechiométrique. Le domaine  
est appelé "fenêtre  $\lambda$ "; il est toutefois possible d'élargir cette fenêtre.



Cet élargissement peut être atteint par l'augmentation de la capacité que possède le Rhodium d'emmagasiner l'oxygène et par l'introduction d'oxydes polyvalents sur la surface superficielle du support  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  du catalyseur.

En présence de manque d'oxygène dans les gaz d'échappement ces oxydes peuvent oxyder les hydrocarbures et le CO. Pendant qu'en excès d'oxygène ils peuvent fixer, directement en surface, l'oxygène et ainsi freiner la réaction d'oxydation du CO.

Les catalyseurs à trois voies sont des corps en céramique couvert d'une couche de  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  et activé par le platine, le Rhodium et d'autres oxydes métalliques non nobles. Le Rhodium est tout les ~~est~~ indispensables à cause de son affinité pour l'oxygène (1).

Ces catalyseurs qui commencent à être généralisés en Europe nécessitent un carburant sans plomb, car ce dernier finit par couvrir la surface du catalyseur et à l'empoisonner (13).

**PARTIE EXPERIMENTALE**

## I- PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE :

Notre but étant d'effectuer des prélèvements de polluants gazeux à l'immission c'est-à-dire dans l'air ambiant, nous avons d'abord localiser au niveau du grand-Alger des sites qui sont susceptibles d'être exposés à une forte pollution. Dans le choix du site il fallait non seulement tenir compte de certaines contraintes techniques telles que par exemple la présence de prise de courant pour le fonctionnement des pompes, mais aussi de l'objectif de notre étude qui consistait à l'évaluation de l'acidité de l'atmosphère et à la détermination des teneurs en  $SO_2$  et en  $NO_x$ .

Les campagnes de mesures effectuées se rapportent donc aussi bien à des sites à trafic routier très dense qu'à des zones industrielles ou à des zones exposées aux polluants issus de l'incinération des ordures de décharge public.

Aussi les points de prélèvement choisis sont :

Point P1 : ENP-RN5 - (EL-HARRACH).

Point P2 : Avenue Hassen Badi - (EL-HARRACH).

Point P3 : Rue de Beziers - (ALGER-CENTRE).

Point P4 : Rue Ouannouri Med (Lycée Emir-Abdelkader) - Bab-EL-Oued.

Point P5 : Zone industrielle (E.N.I.P.) Oued Smar.

Point P6 : Décharge public (Oued Smar).

X

Point P7 : Cité Universitaire Bouraoui Amor - (EL-Harrach).

Point P8 : Cité Universitaire EL-Allia - (Bab-Ezzouar).

Tous ces points de prélèvement sont reportés sur la carte d'Alger que nous présentons en figure n° 1 .

Le système d'échantillonnage est composé globalement d'un collecteur, d'un débitmètre et d'une pompe d'aspiration .

Dans cette ligne d'échantillonnage les polluants sont ainsi captés par absorption sur un liquide approprié .

Nous représentons en figure n° 2 , le dispositif expérimental complet que nous avons utilisé lors de nos prélèvements . Cet appareillage est similaire à l'appareil S.F. ( soufre - fumée ) développé par Electricité de France (10)

Le dispositif comporte donc :

- Un porte filtre en inox de marque Whatman et d'un filtre membrane en fibre de verre de 25 mm de diamètre et de porosité  $0,3 \mu$ . Le filtre est destiné à capter les poussières qui sont en même temps aspirées avec les gaz .

- D'un flacon absorbeur (barboteur), type Durand, qui peut être muni d'un verre fritté . Ce système permet d'avoir un contact intime entre l'air et l'absorbant est optimisé l'absorption par le liquide .

De tels flacons absorbeurs sont représentés en figure n° 3 .

- D'un débitmètre préalablement étalonné dont chaque unité indique un débit d'air de  $0,2 \text{ l/mn}$  .

Fig. n°1: Localisation des points de piétement sur la carte d'Alger.

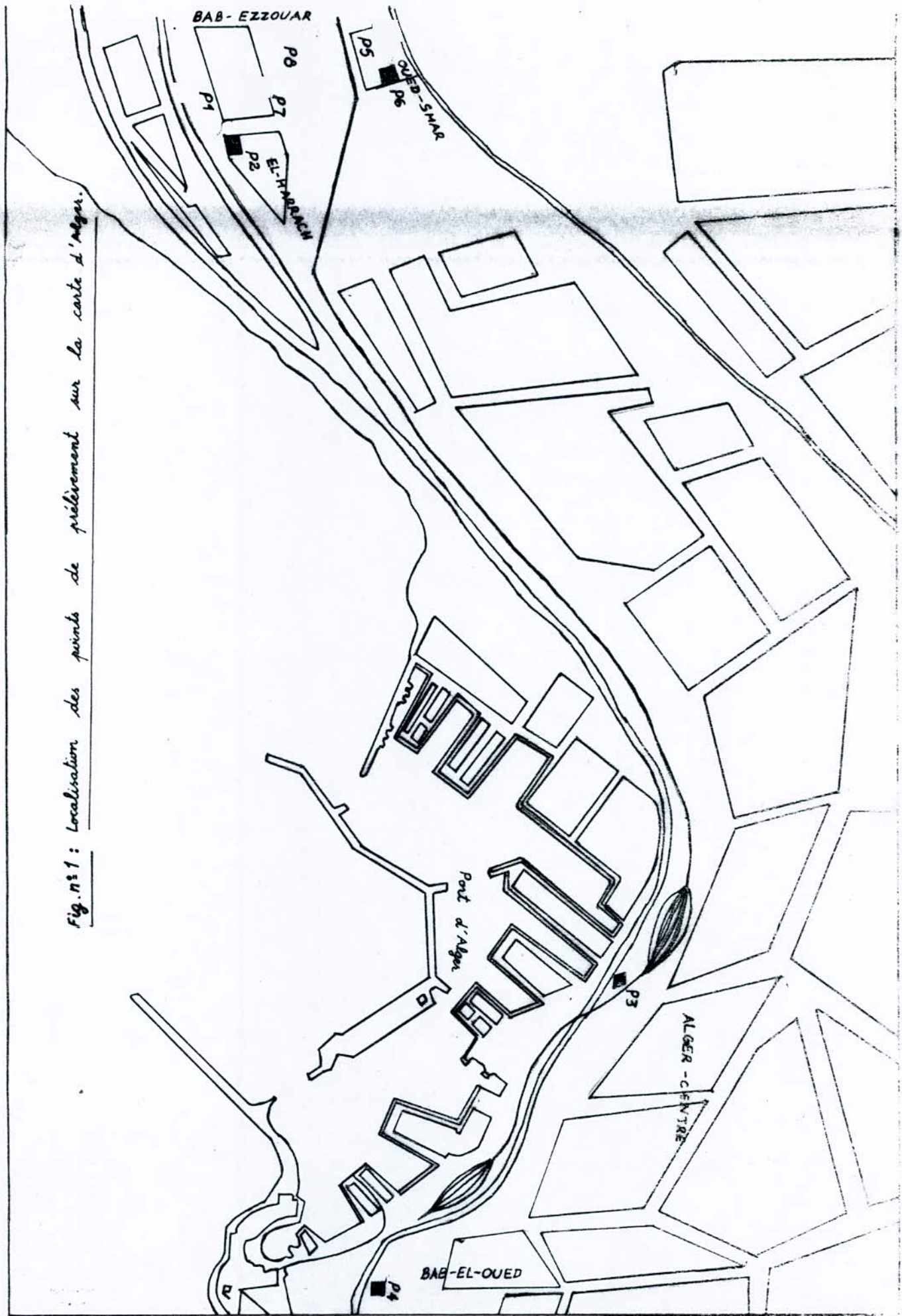
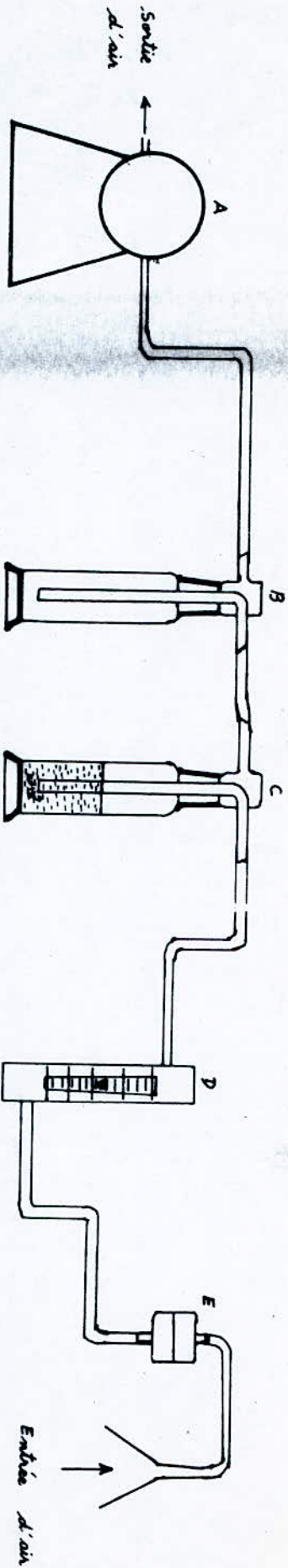


Fig. n° 2 : Dispositif d'échantillonnage.



A = Pompe

B = 1<sup>er</sup> Barboteur

C = 2<sup>ème</sup> Barboteur

D = Délimiteur

E = Porte grille

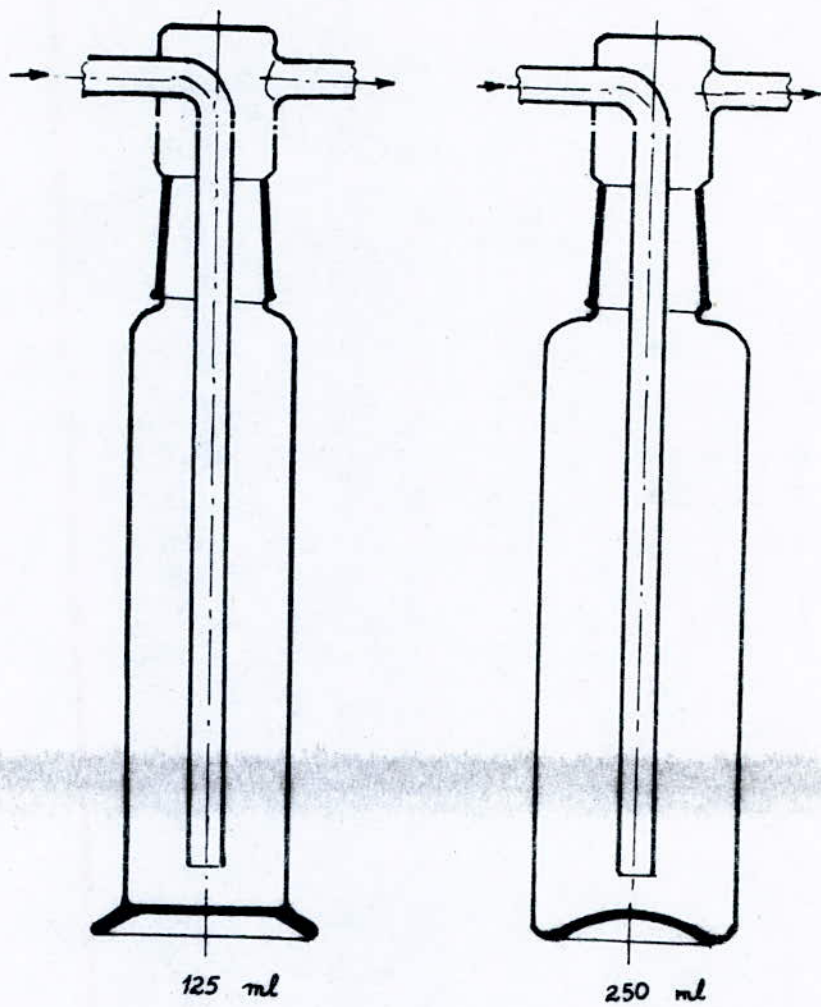


Fig. n° 3 : Barboteurs utilisés pour  
l'absorption des polluants.

- D'une pompe à vide qui aspire et refoule l'air.

Il s'agit soit d'une pompe avec débit variable de 2 à 15 l/mn, soit d'une pompe simple d'aquarium qui aspire l'air à débit très faibles.

La première pompe est utilisée pour l'évaluation de l'acidité de l'atmosphère et l'autre pompe pour les prélèvements du  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_2$ .

Les opérations effectuées au cours de tout prélèvement sont :

- L'introduction dans le flacon absorbeur sec d'un volume convenable de la solution d'absorption.
- Le raccordement du barboteur à la ligne d'échantillonnage en prenant soin de le protéger de la lumière pendant l'échantillonnage.
- L'ajustage du débitmètre sur le débit d'air désiré.
- La mise en marche de la pompe d'aspiration.
- Arrêt du prélèvement après la durée d'échantillonnage spécifiée
- Transfert de l'échantillon au laboratoire pour analyse et dosage

x



## II- EVALUATION DE L'ACIDITÉ DE L'AIR :

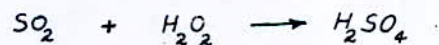
L'acidité de l'air représente l'ensemble des polluants gazeux acides ou alcalins présent dans l'air ambiant en même temps que le  $\text{SO}_2$  et qui seront comptés comme  $\text{SO}_2$  (B).

Cette acidité de l'air est exprimée conventionnellement en équivalent de  $\text{SO}_2$  de la quantité de gaz « acides » solubles dans l'eau contenus dans l'air pendant la durée de prélèvement (14).

### II-1- METHODE D'ÉVALUATION :

La méthode officielle Française, qui est normalisée par l'association Française de normalisation (Norme AFNOR X43 - 010 Novembre 1975), a pour objet de décrire une méthode de détermination de l'acidité de l'air dans un prélèvement d'air ambiant. Les résultats obtenus selon les modalités de cette méthode dépendent de l'ensemble des polluants gazeux acides ou alcalins susceptibles d'être pris en compte dans les conditions définies de prélèvement et d'analyse.

La méthode est basée sur la réaction :



l'acide sulfurique ainsi formé est dosé par une solution de borate de sodium  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .

Tout polluant acide présent dans l'atmosphère est dosé en même temps que le  $\text{SO}_2$  et inversement tout polluant alcalin diminue la teneur dosée et peut même donner des résultats négatifs.

## II-2- REACTIFS :

On utilise des reactifs de qualité analytique reconnue et de l'eau distillée.

### - Solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à 0,004 N :

Préparée en partant d'une solution d'acide sulfurique à 0,1 N de titre connu avec précision.

### - Solution saturée de chlorure de potassium (KCl) :

Préparée en dissolvant du KCl pur et sec dans de l'eau distillée. Cette solution améliore la conductivité et la stabilité de la lecture du pH.

### - Solution d'absorption de pH 4,5 :

On dilue, à 1 litre, 10 ml d'une solution de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et 25 ml de solution saturée de KCl. On titre une partie aliquote de 50 ml de la solution obtenue jusqu'à pH 4,5 avec « y » ml de la solution titrée d'acide sulfurique puis on ajoute 19 fois « y » ml à la solution restante. Bien mélanger cette solution et la conserver à l'abri de la lumière dans un flacon en verre borosilicaté.

Le pH 4,5 a été utilisé pour permettre d'éviter les interférences dues au dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), qui deviennent notables au delà du pH 5,5.

- Solution de tetraborate de sodium ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 10\text{H}_2\text{O}$ ) à 0,004 N :

On prépare une solution de tetraborate de sodium légèrement supérieure à 0,04 N en dissolvant 4,2 g de tetraborate décahydrate ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 10\text{H}_2\text{O}$ ) dans 500 ml d'eau. On dilue une partie aliquote suffisante de la solution, par exemple 25 ml, avec 9 fois le volume d'eau. On note le volume  $V_1$  de la solution de tetraborate de sodium à environ 0,004 N ainsi obtenue.

On retire 100 ml de cette solution et la titre de la façon suivante : on met 50 ml de la solution d'absorption et 25 ml de la solution titrée d'acide sulfurique dans un becher et on titre avec la solution diluée de tetraborate de sodium jusqu'à ce que le pH mesuré est de 4,5. On note le volume  $V_2$  de la solution diluée de tetraborate de sodium utilisé pour le titrage et on ajoute un volume  $V$  d'eau calculé de la façon suivante :

$$V = \frac{(V_1 - 100)(25 - V_2)}{V_2}$$

au volume restant de la solution diluée de tetraborate de sodium.

### II-3 - MODE OPERATOIRE :

- Disposer le filtre dans le porte filtre.
- Remplir le flacon absorbeur de volume 250 ml avec 150 ml de la solution d'absorption de  $pH = 4,5$ .
- Ajuster le débit d'air à 1,4 l/mn.
- A la fin de la période d'échantillonnage on verse l'échantillon dans un flacon de transfert propre et sec.

Pour l'analyse on prend une partie aliquote de 50 ml de la solution de prelevement et on note son  $pH$  ainsi que celui de la solution d'absorption (solution témoin) qui a été conservée au laboratoire.

Si le  $pH$  de la solution de prelevement est inférieur à celui de la solution témoin on titre avec la solution de tetraborate de sodium jusqu'à obtention d'un  $pH$  identique à celui de la solution témoin. Dans le cas contraire la titration se fait avec  $H_2SO_4$  0,001 N.

On note alors le volume  $V_1$  de la solution d'acide sulfurique ou de tetraborate de sodium, utilisé pour le titrage. La lecture du  $pH$  se fait de manière potentiométrique.

#### II-4 - EXPRESSION DES RESULTATS :

L'acidité de l'air, exprimée en microgrammes par mètre cube est donnée par l'équation (14) :

$$A = \frac{128 V_1 V_3}{V_2 V_4}$$

A = concentration de  $SO_2$  en  $\mu g/m^3$ .

$V_1$  = volume, en millilitres, de la solution de tétraborate de sodium ou de la solution d'acide sulfurique utilisé pour le titrage.

$V_2$  = volume, en mètre cube, de l'échantillon d'air rapporté aux conditions normales de pression et de température (1 atm, 25°C).

$V_3$  = volume, en millilitres, de la solution d'absorption exposée, c'est-à-dire 150 ml.

$V_4$  = volume, en millilitres, de la solution titrée d'échantillon, c'est-à-dire 50 ml.

Le facteur 128 représente la masse, en microgrammes, de  $SO_2$  correspondant à 1,00 ml de solution de tétraborate de sodium à 0,004 N.

## II-5- RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

L'évaluation de l'acidité de l'atmosphère au niveau du grand Alger a été effectuée selon deux campagnes de mesure. Durant la première campagne l'échantillonnage au niveau de certains sites a eu lieu sur une durée de 6 heures, en général pendant la matinée, pour la deuxième campagne de prélèvement la durée d'échantillonnage a été élevée à 24 heures afin d'avoir des valeurs moyennes sur la journée et surtout de cerner de plus près le problème de la pollution nocturne générée par l'incinération des ordures au niveau de la décharge de Dued Smon et ses alentours.

Sur certains sites nous avons effectués des prélèvements répétés sur plusieurs journées afin de mettre en évidence d'éventuelles fluctuations de la teneur en acidité.

Durant les journées de prélèvement les conditions climatiques, pour les différents sites de prélèvement, ont été caractérisées, en général, par la présence de vent modéré et un temps dégagé.

Les résultats des analyses ainsi obtenus sont résumés dans le tableau n° 1. Dans ce tableau les concentrations en  $SO_2$  précédées du signe négatif signifient qu'on est en présence d'une alcalinité de l'atmosphère.

Dans les figures n° 4 et 5 nous illustrons sous forme d'histogrammes l'évolution de ces teneurs en fonction des sites étudiés et pour

Tableau n° 1 : Résultats de l'évaluation de l'acidité de l'air.

Sites	Date de prélèvement	Durée de prélèvement	T <sub>moy</sub> (°C)	Débit d'air (l/mn)	Volume de tirage (ml)		concentration en SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
					Acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Basique Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
P1	30 / 03 / 91	6 Heures	17,1	5	3,0	-	-622,70
	31 / 03 / 91	"	16,6	"	0	0	0
	01 / 04 / 91	"	16,4	"	-	0,2	+ 41,50
	02 / 04 / 91	"	16,2	"	2,75	-	- 570,80
	03 / 04 / 91	"	17,3	"	0,25	-	- 51,80
P5	06 / 04 / 91	"	18,3	"	-	0,2	+ 41,74
	07 / 04 / 91	"	19,4	"	-	0,25	+ 52,46
	10 / 04 / 91	"	19,8	"	1,15	-	- 241,3
	11 / 04 / 91	"	19,7	"	2,35	-	- 493,11
	25 / 04 / 91	"	10,0	"	0,3	-	- 60,95
P4	21 / 04 / 91	"	16,6	"	2,5	-	- 518,90
	22 / 04 / 91	"	15,9	"	2,2	-	- 454,12
P6	29 / 04 / 91	24 Heures	-	2	-	1,16	+ 222,00
	30 / 04 / 91	"	-	"	-	0,35	+ 67,20
P7	13 / 05 / 91	"	-	"	1,7	-	- 324,4
	14 / 05 / 91	"	-	"	0,6	-	- 115,2
P8	15 / 05 / 91	"	-	"	0,7	-	- 134,4

P1 : ENP-RNS (El-Harrach).

P6 : Décharge public (Oued-Smar).

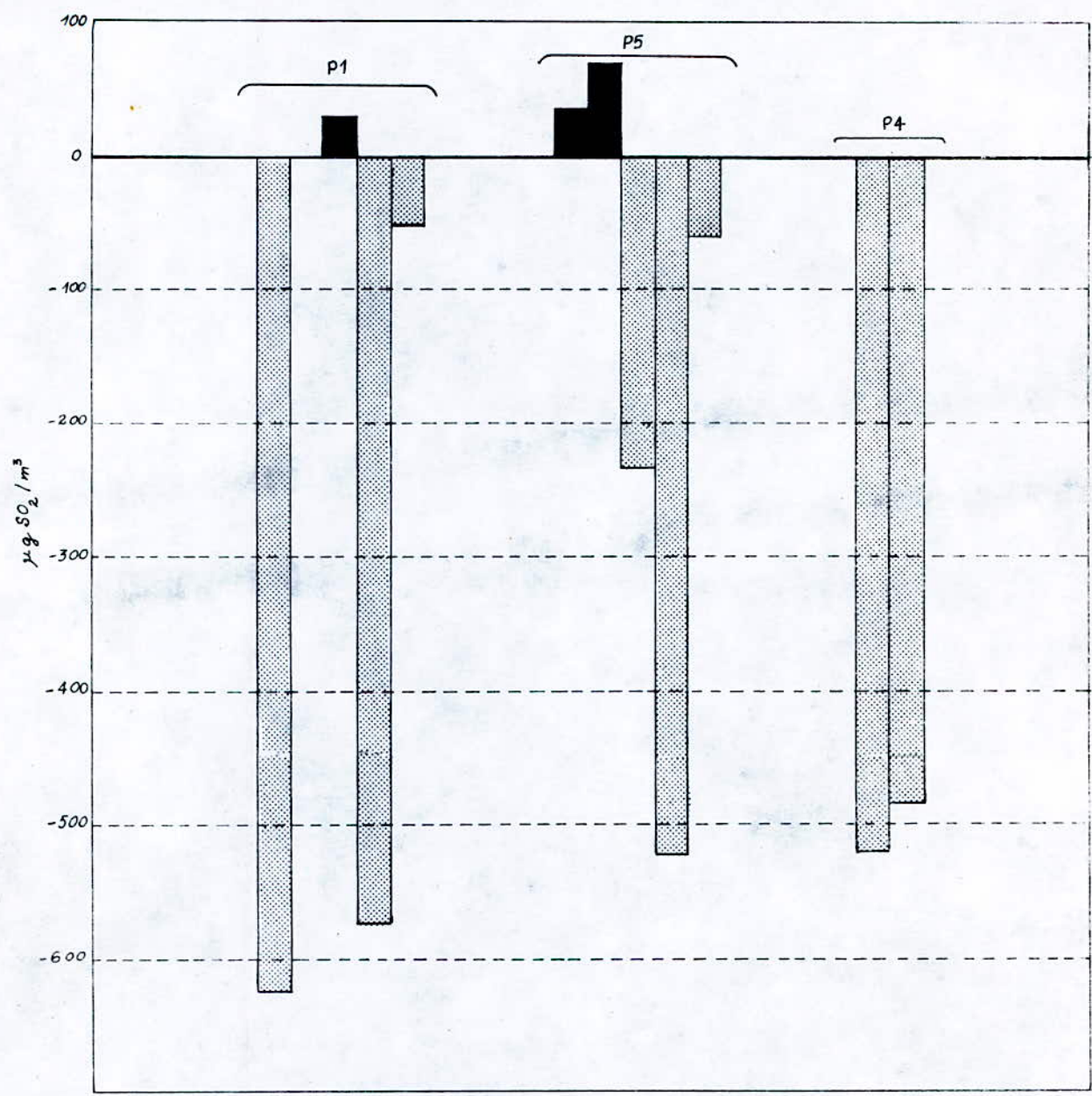
P4 : Lycée Emir-Abdelkader (Bab-El-Oued).

P7 : Site universitaire Bouraoui (El-Harrach).

P5 : Zone industrielle de Oued-Smar.

P8 : Site universitaire El-Allia (Bab-Ezzouar).

Fig. n° 4 : Histogrammes représentant les campagnes de mesure de l'acidité ou l'alcalinité de l'air en fonction des sites étudiés.



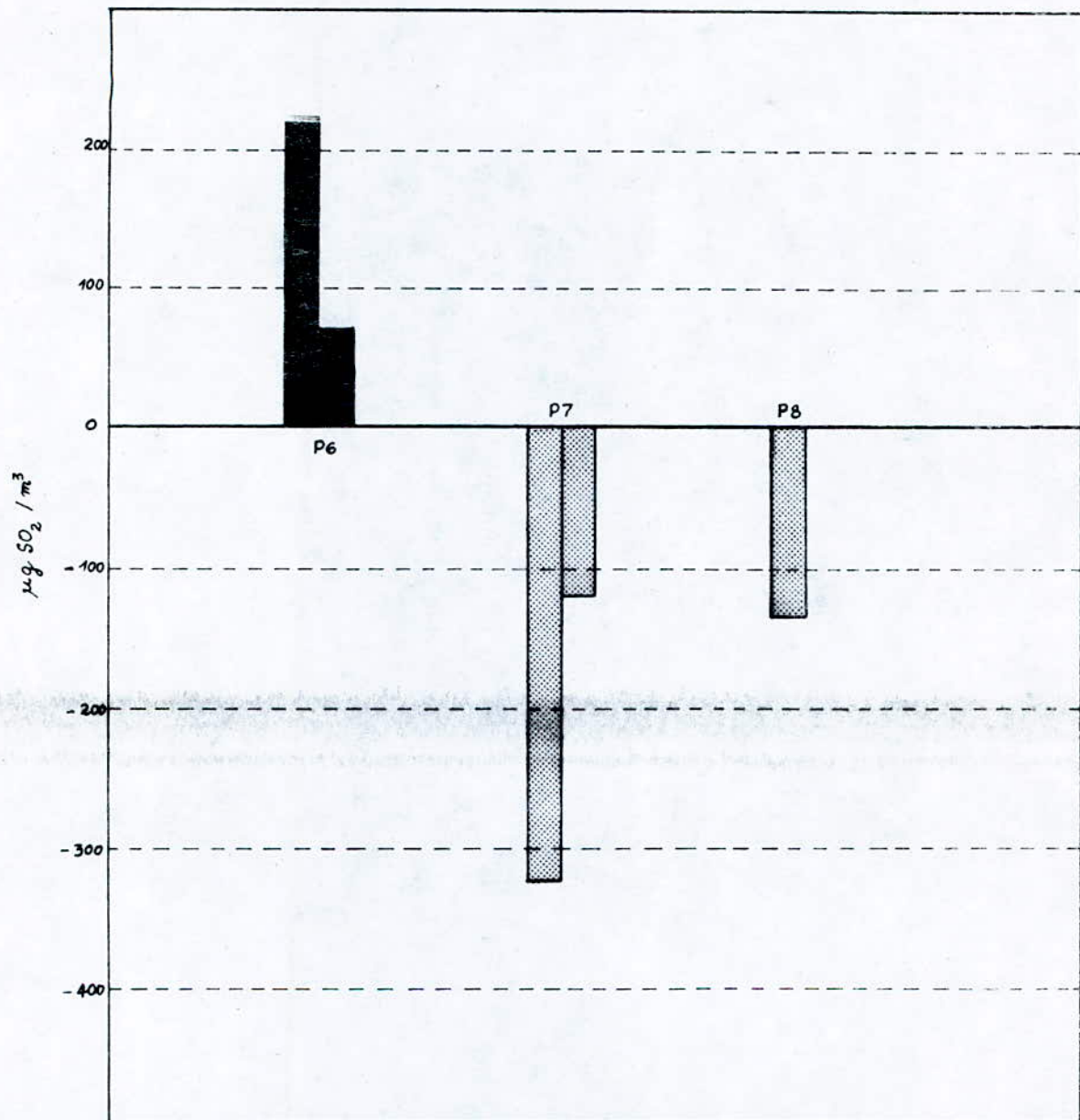
■ Acidité  
 □ Alcalinité

Points de prélèvement  
 P1: ENP-RN5 (El-Harrach).  
 P4: Lycée Emir-Abdelkader (Bab-El-oued).  
 P5: Zone industrielle (Sued-Somar).



Fig. n° 5 : Histogrammes représentant les campagnes de mesure de

l'acidité ou l'alcalinité de l'air en fonction des sites étudiés.



Points de prélèvement

■ Acidité

▨ Alcalinité

P6 : Décharge public (Oued-Smar).

P7 : Cité universitaire Bouraoui (El-Harrach).

P8 : Cité universitaire El-Allia (Bab-Ezzouar).

X  
les diverses journées de prélèvement selon les indications données dans le tableau n° 1.

Au vue de ces résultats nous constatons que dans la majorité des cas nous sommes en présence d'une atmosphère à caractère alcalin.

Le caractère acide n'a été relevé pratiquement que dans la zone industrielle de Oued-Smar et au niveau de la décharge public de Oued-Smar (points P5 et P6). En effet dans cette région on note une activité industrielle intense et de fortes émanations de fumées qui ont pour origine l'incinération des ordures de la décharge public.

On remarque d'autre que l'acidité au sein de la décharge (point P6) est plus élevée que celle constatée sur deux journées consécutives au niveau de la zone industrielle de Oued-Smar (point P5).

La distance de quelques centaines de mètres séparant les deux points et les conditions climatiques expliquent cette différence. En effet les jours où les prélèvements ont été effectués, le vent soufflait les fumées dans la direction opposée au site P5 où nous avions placé la sonde de prélèvement.

Pour la même cause météorologique notre tentative de déterminer une quelconque acidité de l'atmosphère au niveau de Bab-Egouar et d'El-Harack (points P7 et P8), où l'air, par certaines nuits, est irrespirable, n'a pas été couronnée de succès.

D'autres études sur une plus longue période et dans des conditions météorologiques plus favorables seraient nécessaires avant de statuer sur l'existence ou non d'un smog acide dans cette région.

En ce qui concerne les sites P1 et P4 au niveau de l'ENP et du Lycée Emir Abdelkader à Bab-El-Qued, on note essentiellement une alcalinité plus ou moins faible.

Du point de vue géographique ces sites ont un point commun, ils se situent pratiquement sur le littoral où il sont exposés à la brise marine et ne se situent pas dans un quelconque environnement industriel qui émet des fumées acides. Il n'est donc pas étonnant que cette atmosphère ne présente aucune trace d'acidité. Le caractère alcalin auquel a abouti notre étude est toutefois difficile à expliquer car à notre connaissance aucune industrie émettrice de gaz alcalins ne se trouve dans les environs de Bab-El-Qued ou de l'ENP (points P4 et P1).

Les aérosols d'embruns marins qui contiennent les sels neutres tels que  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  etc... ne peuvent pas être associés à cette alcalinité.

L'explication la plus probable réside en fait dans l'éventuelle présence dans l'atmosphère de l'ammoniac issue des processus biochimiques et biologiques qui régissent la fermentation et l'écologie de la végétation, des zones marécageuses et des Queds. Dans ce contexte l'Qued d'El-Harrach représente certainement une importante source d'ammoniac et d'urée.

X

Le fait que le site P4 de Bab-El-Oued accuse une plus forte alcalinité que le site P1 de l'ENP réside dans le manque de ventilation au niveau de Bab-El-Oued. En effet le lycée Emir-Abdelkader où a lieu le prélèvement représente un site urbanistique pratiquement fermé où la dispersion est très réduite par les bâtiments qui y sont implantés.

A titre de comparaison nous donnons les teneurs moyennes saisonnières et annuelle de l'acidité de l'air enregistrées à Paris durant l'année 1987 :

Eté :  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ; Hiver :  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ; Année :  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  .

L'acidité de l'air prédominante à Paris est due au dioxyde de soufre issu des sources fixes de combustion qui utilisent des grandes quantités de fuel .

### III - EVALUATION DU POLLUANT SO<sub>2</sub> :

Le choix de la méthode d'évaluation de SO<sub>2</sub> devrait tenir compte aussi bien du but recherché que la disponibilité des moyens.

Nous avons opté pour la méthode de West-Gaeke qui nécessite des moyens simples et dont l'efficacité dans la détermination des teneurs de SO<sub>2</sub> peut atteindre 99% dans un prélèvement d'air ambiant (16). La sensibilité de détection est de l'ordre de 0,005 p.p.m (17).

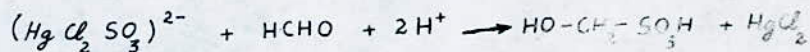
#### III-1- METHODE D'EVALUATION :

Dans la méthode de West-Gaeke l'échantillonnage se fait par barbotage de l'air dans une solution absorbante de tetrachloromercurate de potassium (TCM). Les solutions aqueuses de SO<sub>2</sub> seront complexées par le TCM :



Le complexe ainsi formé est beaucoup plus stable que ne le sont les solutions aqueuses de SO<sub>2</sub> ce qui laisse une marge de temps suffisante pour procéder au dosage colorimétrique.

Au laboratoire, on fait tout d'abord réagir le complexe formé sur le formaldéhyde :



puis on met en contact l'acide méthylsulfonique formé avec le chlorhydrate de p-rosaline.



### III-2-REACTIFS :

Les réactifs utilisés sont de qualité analytique reconnue et de l'eau distillée .

#### - Solution d'absorption :

Comme solution absorbante on utilise une solution de tetrachloromercurate de potassium (TCM)  $K_2HgCl_4$  à 0,04 M préparée en dissolvant dans 1 l d'eau distillée 10,86 g de chlorure de mercure ( $HgCl_2$ ) ; 5,96 g de chlorure de potassium (KCl) ; 0,066 g d'EDTA .

L'addition de l'EDTA complexe les métaux lourds qui peuvent oxyder le  $SO_2$  avant que la formation du complexe avec le TCM soit complète (18) .

#### - Solution d'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ) :

On dilue 205 ml de l'acide phosphorique à 85 % dans 1 l d'eau distillée . Son utilisation ultérieure aide à libérer le  $SO_2$  de son complexe avec le TCM et élimine les interférences avec les métaux lourds (8) .

#### - Solution mère de chlorhydrate de p-rosalinine à 0,2% :

On dissout 0,2 g de p-rosalinine sec dans 100 ml d'acide chlorhydrique 1M .

#### - Solution fille de chlorhydrate de p-rosalinine :

A un volume de 20 ml de la solution mère , on ajoute 25 ml de la solution phosphorique et on dilue l'ensemble jusqu'à 250 ml avec de l'eau distillée .

- Solution de formaldéhyde à 0,2% :

On dilue 1 ml de formaldéhyde à 40% dans 200 ml d'eau distillée.

- Solutions d'étalonnage de sulfite de sodium :

On dissout 0,4 g de sulfite de sodium dans 500 ml d'eau distillée, après on met exactement 2 ml de cette solution dans une fiole et on complète jusqu'à 100 ml avec la solution absorbante (TCM).

- Préparation de la série de solutions d'étalonnage :

On prépare une série de solutions d'étalonnage en introduisant des quantités en volume de 1 jusqu'à 5 ml de la solution d'étalonnage dans une série de fioles coniques et on complète jusqu'à 10 ml avec la solution absorbante (TCM), après on ajoute 1 ml de la solution de formaldéhyde à 0,2% et 1 ml de la solution fille de chlorhydrate de p-rosalinine et on complète l'ensemble jusqu'à 25 ml avec l'eau distillée. On laisse la série de solutions d'étalonnage reposer 30 minutes avant de procéder aux analyses spectrophotométriques.

- Solution d'essai à blanc :

La solution d'essai à blanc est préparée à partir de 10 ml de TCM ; 1 ml de la solution de formaldéhyde à 0,2% et 1 ml de la solution fille de chlorhydrate de p-rosalinine et on complète l'ensemble jusqu'à 25 ml avec l'eau distillée. On laisse cette solution d'essai à blanc reposer 30 minutes avant de procéder aux analyses spectrophotométriques.



### III-3- MODE OPERATOIRE :

- On introduit dans un barboteur muni d'un verre fritté (fig. n° 6 type A) 10 ml de la solution absorbante (TCM) et on le raccorde à la ligne d'échantillonnage que nous avons décrit précédemment dans la figure n° 2 .

- On ajuste le débit d'air à 0,5 l/mn .

- La durée d'échantillonnage a été fixée à 4 heures afin d'avoir une quantité mesurable de  $SO_2$  .

- Pendant la période d'échantillonnage on note la variation de la température ambiante .

A la fin de chaque prélèvement on verse l'échantillon dans un flacon propre et sec et on ajoute 1 ml de la solution de formaldéhyde à 0,2% ; 1 ml de la solution fille de chlorhydrate de p-rosclinine et on complète avec de l'eau distillée jusqu'à 25 ml .

On laisse reposer 30 minutes avant de procéder aux analyses spectrophotométriques .

### III-4- ANALYSES SPECTROPHOTOMETRIQUES :

Après avoir réglé le spectrophotomètre à la longueur d'onde 560 nm et après sa stabilisation on procède aux mesures spectrophotométriques .

L'appareil utilisé est un photomètre UV-visible à faisceau simple de marque Shimadzu 120-02 .

Les cuves utilisées ont un parcours optique de 1 cm .

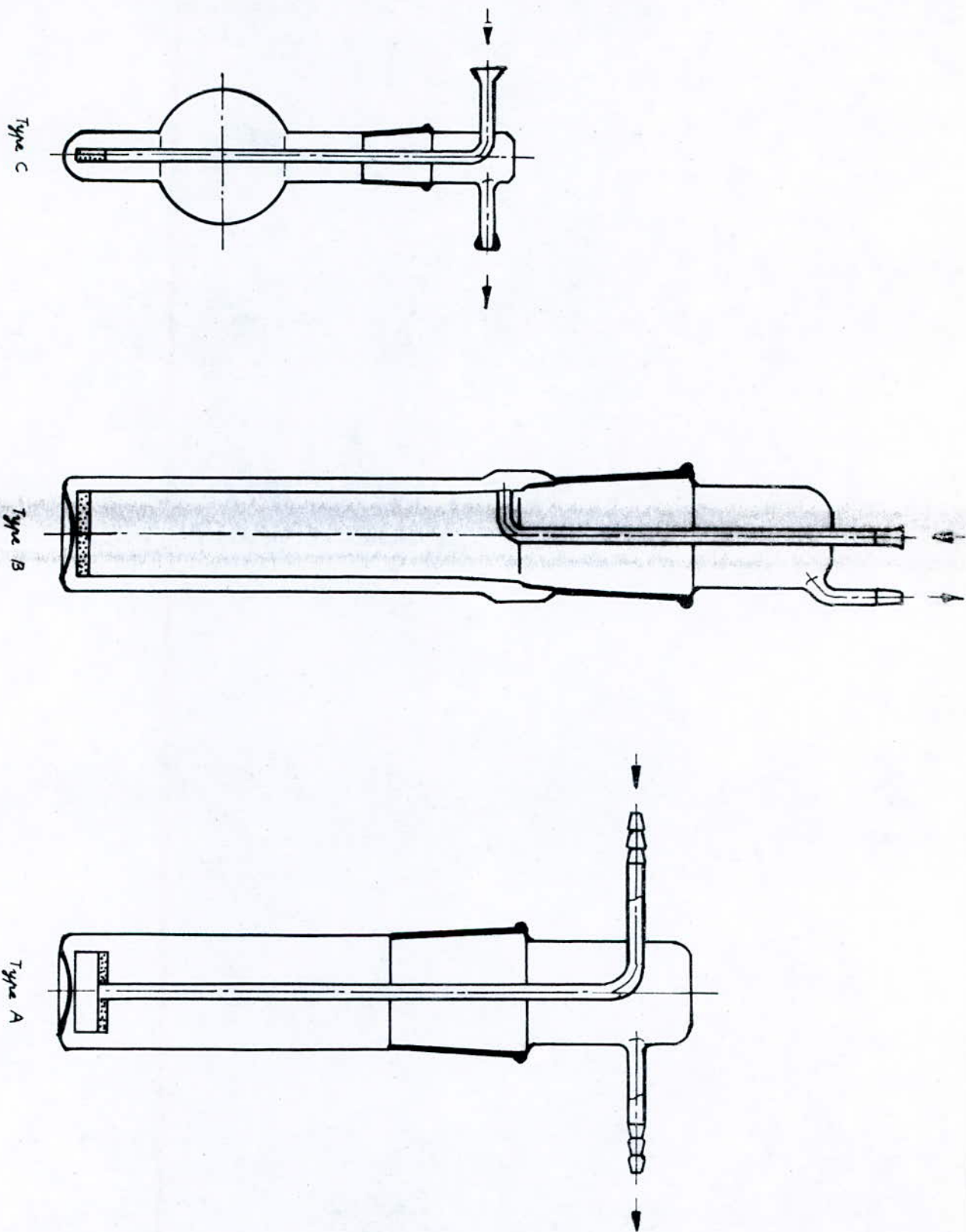


Fig. n° 6 : Types d'appareils convenant à l'échantillonnage du  $SO_2$  et du  $NO_2$ .

### III-5 - EXPRESSION DES RESULTATS :

Sachant que :

$1 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2$  est équivalent à  $0,382 \mu\text{l}$  de  $\text{SO}_2$  (17)

et  $1 \mu\text{g}$  de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  est équivalent à  $0,507 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2$

on converti les concentrations ( $\mu\text{g Na}_2\text{SO}_3/\text{ml}$ ), de la série de solutions d'étalonnage, à des  $\mu\text{l SO}_2/\text{ml}$ .

#### - Expression des résultats d'analyses :

La concentration en masse de  $\text{SO}_2$ , exprimée en ppm, dans l'échantillon d'air prélevé, est donnée par l'équation :

$$\text{SO}_2 (\text{ppm}) = \frac{\text{DO} - \text{DO}_0}{K \cdot \frac{V}{v}}$$

DO : absorbance de la solution échantillon,

DO<sub>0</sub> : absorbance de la solution d'essai à blanc,

K : pente de la courbe d'étalonnage, exprimée en ( $\text{ml} / \mu\text{l SO}_2$ )

V : volume de l'échantillon d'air rapporté aux conditions normales de pression et de température (1 atm, 25°C) exprimé en (l);

v : volume de la solution absorbante exposée, c'est-à-dire 10 ml, exprimé en (ml).

### III-6- RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

A l'inverse de l'étude précédente sur l'acidité de l'atmosphère où étaient pris en compte aussi bien le  $SO_2$  que d'autres gaz qui peuvent exercer un effet antagoniste à cette acidité nous nous intéressons dans ce cas seulement à la teneur de l'atmosphère en  $SO_2$  que on peut déterminer par la méthode de West et Gaeke qui est spécifique à ce polluant.

Il en découle qu'une atmosphère globalement alcaline peut malgré ça présenter des teneurs plus ou moins appréciables en  $SO_2$ .

Les sites choisis pour cette étude sont :

- Le point Beziars à Alger-centre où on observe un trafic routier intense.

- La décharge de Qued-Smar où l'incinération des ordures libèrent certainement du  $SO_2$ .

- La cité universitaire à Bouraoui (El-Harrach) qui subit souvent les émanations néfastes de la décharge de Qued-Smar.

Les prélèvements ont été effectués au mois de mai par un climat stable et ensoleillé.

La durée d'échantillonnage a porté sur 4 heures et chaque site a fait l'objet de deux prélèvements.

Les résultats des analyses effectuées sur les divers prélèvements sont résumés dans le tableau n° 3.

Tableau n° 2 : Densité optique de l'étalonnage du  $SO_2$  par le sulfite de sodium.

$V_{Na_2SO_3}$ (ml)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
DO	0	0,094	0,170	0,288	0,364	0,446
$C_{Na_2SO_3}$ ( $\mu g/ml$ )	0	0,160	0,320	0,480	0,640	0,800
$\mu l SO_2/ml$	0	0,0309	0,0619	0,0529	0,1239	0,1519

Tableau n° 3 : Teneurs en  $SO_2$  des divers prélèvements atmosphériques.

Points d'échantillonnages	P7 : C.U. BOURAOUI 24 / 05 / 91		P3 : BEZIERS 26 / 05 / 91		P6 : Décharge (Oued-Smar) 30 / 05 / 91	
	00 <sup>H</sup> - 4 <sup>H</sup>	4 <sup>H</sup> - 8 <sup>H</sup>	8 <sup>H</sup> - 12 <sup>H</sup>	12 <sup>H</sup> - 16 <sup>H</sup>	8 <sup>H</sup> - 12 <sup>H</sup>	12 <sup>H</sup> - 16 <sup>H</sup>
Horaires						
$T_{moy}$ (°C)	11,0	13,4	23,5	24	22,6	23,8
DO	0,171	0,168	0,180	0,179	0,174	0,175
DO - DO <sub>0</sub>	0,016	0,013	0,025	0,024	0,019	0,020
$V_{d'air corrigé}$ (l)	126,0	124,8	120,6	120,4	120,96	120,48
$SO_2$ (ppb)	0,438	0,359	0,715	0,686	0,542	0,572

Dans le tableau n° 2 nous reportons les densités optiques de l'étalonnage du  $SO_2$  par le sulfite de sodium.

La courbe d'étalonnage et les concentrations du  $SO_2$  dans l'air prélevées sont illustrées graphiquement sur les figures n° 7 et 8 respectivement.

L'étude montre que dans tous les sites considérés les teneurs de l'atmosphère en  $SO_2$  sont infimes. Les valeurs déterminées montrent la présence de  $SO_2$  à l'état de traces, en effet ces valeurs tournent autour de la limite inférieure de détection de la méthode de West et Gaeke.

A Beziers, site P3, l'unique émission provient des gaz d'échappement des véhicules, dont les volumes sont très importantes mais qui ne renferment pratiquement pas de  $SO_2$ ; le carburant algérien étant pauvre en soufre.

En ce qui concerne la décharge de Oued-Smar et la cité Bouravui nos prélèvements n'ayant pas coïncidés avec les journées de fortes émissions de fumées, les teneurs en  $SO_2$  déterminées sont minimales et ne représentent aucun danger. A titre de comparaison nous présentons les teneurs en  $SO_2$  de certaines atmosphères d'Europe et Montreal dans le tableau suivant :

Ville	Teneurs ( $\mu g/m^3$ )	Teneurs (ppb)	Observations
Zurich	27	10,3	Moyenne annuelle 1988
Strasbourg	12	4,6	Moyenne mensuelle 1990
Montreal	15,8	6	Moyenne annuelle 1986

Les teneurs mesurées dans la ville d'Alger restent très faibles. Nous rappelons que la teneur limite journalière en  $SO_2$  est de 95 ppb (19) et que la

Fig. n° 7 : Courbe d'étalonnage du  $SO_2$ .

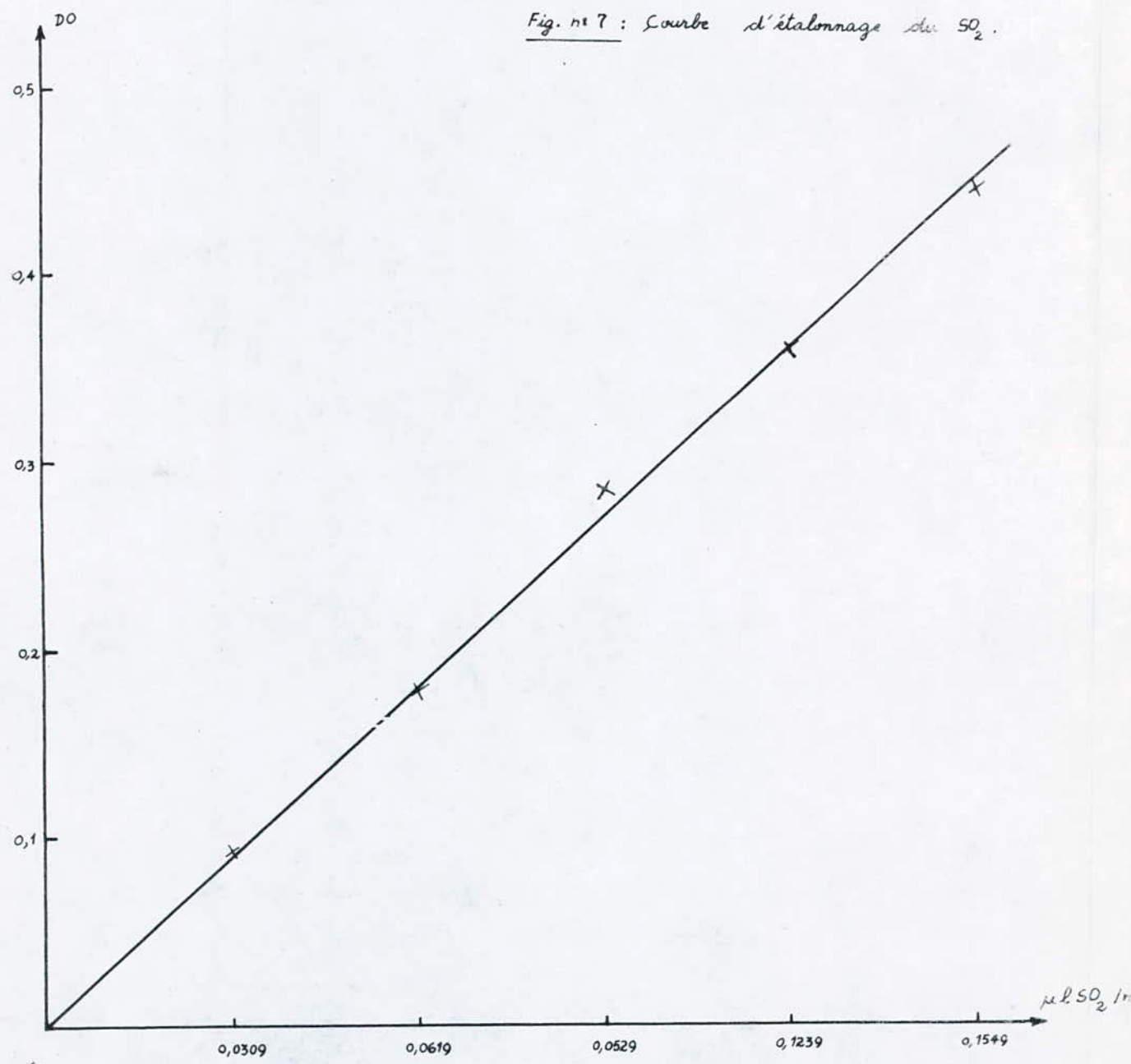
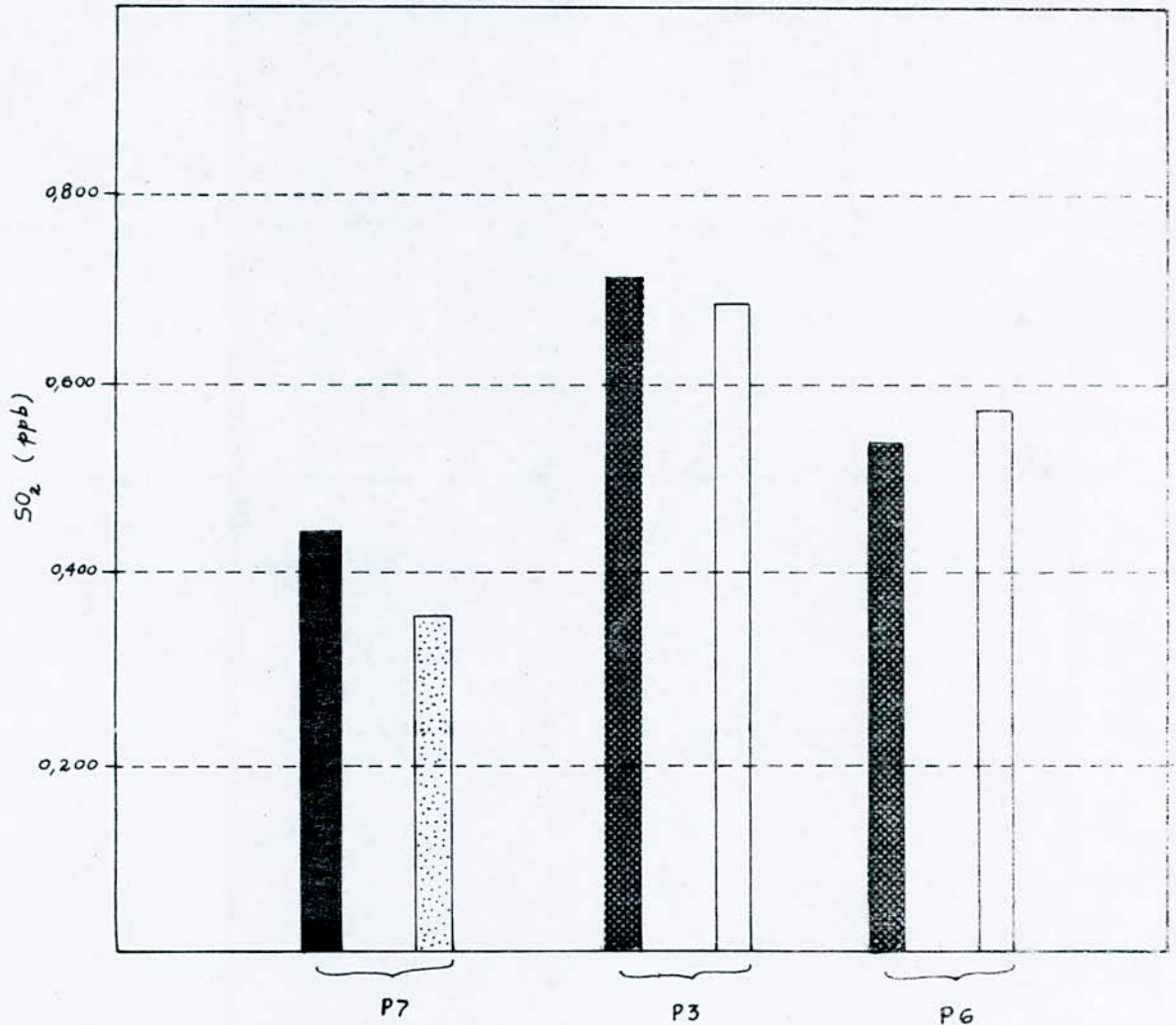


Fig. n° 8 : Concentration du dioxyde de soufre dans l'air .



■ 00<sup>H</sup> - 4<sup>H</sup>

▤ 4<sup>H</sup> - 8<sup>H</sup>

▨ 8<sup>H</sup> - 12<sup>H</sup>

□ 12<sup>H</sup> - 16<sup>H</sup>

Points de prélèvement

P3 : Rue de Beziers (Alger-centre)

P6 : Décharge public (Oued-Smar).

P7 : Site universitaire Bouraoui (El-Harrach).

X



pollution de fond c'est-à-dire celle des zones non polluées est de 0,1 ppb (16).

En conclusion ces faibles teneurs en  $\text{SO}_2$  confirment en quelque sorte l'acidité faible ou nulle de l'atmosphère que nous avons évalué et présentée dans le chapitre précédent. Enfin nous soulignons que ces teneurs n'illustrent l'état de l'atmosphère que sur la période où l'étude a été faite et qu'il n'est pas à exclure qu'en d'autres périodes la qualité de l'air serait complètement différente. On a d'ailleurs souvent constaté en automne et en hiver et dans certaines conditions atmosphériques que la zone de Bab-Ezzouar disparaissait la nuit sous un épais brouillard malodorant et irritant, signes de la présence d'un smog acide.

#### IV - EVALUATION DU POLLUANT NO<sub>2</sub> :

La méthode de Griess-Saltzman (14) décrit une méthode de détermination manuelle du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère, dans la gamme des teneurs allant de 0,005 p.p.m. jusqu'à 5 p.p.m. environ (0,01 à 10 µg NO<sub>2</sub>/l) lorsque l'échantillonnage est effectué en flacon absorbeur muni d'un verre fritté.

La méthode est employée de préférence lorsqu'on recherche une sensibilité élevée.

##### IV-1- PRINCIPE DE LA METHODE :

En principe, lorsqu'on fait barboter de l'air renfermant du NO et du NO<sub>2</sub> dans une solution de chlorhydrate d'amine aromatique, le NO ne réagit pas et le NO<sub>2</sub> se transforme d'abord en acide nitreux lequel réagit sur l'amine aromatique pour donner un sel de diazonium qui par copulation sur une amine donne une coloration rose stable dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de NO<sub>2</sub>.

On détermine l'intensité à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à 550 nm.

##### IV-2- REACTIFS :

Utiliser des réactifs purs pour analyse et de l'eau distillée dépourvue de nitrites.

- Solution de dichlorure de N(1-naphtyl) éthylène diamine à 0,1% :

Dissoudre 0,1g dans 100 ml d'eau. La solution est stable pendant plusieurs mois si elle est bien conservée dans un flacon brun bien bouché en réfrigérateur.

- Solution d'absorption :

Dissoudre 5g d'acide sulfamilique dans un peu moins d'un litre d'eau contenant 140 ml d'acide acétique glacial. On peut chauffer doucement pour accélérer la dissolution. Ajouter à la solution refroidie 20 ml de la solution de dichlorure de N(1-naphtyl) éthylène diamine à 0,1% et diluer à 1 l avec de l'eau distillée. Eviter tout contact prolongé avec l'air à la fois pour la préparation et l'utilisation du réactif en raison de l'absorption du  $\text{NO}_2$ .

- Solutions étalons :

Les solutions étalons sont préparées à partir d'une solution mère de nitrite de sodium contenant 2,03 g/l. Diluer et préparer une solution fille de 20,3 mg/l.

IV-3- ETALONNAGE :

Des quantités croissantes de la solution fille de  $\text{NaNO}_2$  allant de 0,2 jusqu'à 1 ml sont versées dans des fioles jaugées de 25 ml qu'on dilue ensuite avec la solution d'absorption jusqu'à 25 ml.

Après agitation, on attend 15 minutes jusqu'à développement de la couleur et on mesure les absorbances correspondant à chaque solution étalon.

#### IV-4- MODE OPERATOIRE :

L'échantillonnage se fait par le dispositif expérimental indiqué sur la figure n° 2 .

- On introduit 10 ml du reactif absorbant dans le flacon absorbeur à verre fritté ( fig. n° 6 type A) . Le barbotage de l'air dans l'absorbant se fait à un débit de 0,4 l/min pendant un certain temps jusqu'à obtention d'une coloration susceptible d'être mesurée par le spectrophotomètre .

- La durée d'échantillonnage est une heure pour chaque prélèvement .

- A la fin de l'opération on note le volume d'air barboté et la température de l'air ambiant .

- Lors de l'échantillonnage , le flacon absorbeur est protégé de la lumière .

- Le dosage spectrophotométrique est effectué à  $\lambda = 550$  dans une cuve optique de 1cm d'épaisseur en utilisant la solution absorbante comme référence .

#### IV-5- EXPRESSION DES RESULTATS :

##### - Expression des résultats d'étalonnage :

Il a été déterminé empiriquement que 0,72 mole de nitrite de Sodium ( $\text{NaNO}_2$ ) produit la même couleur qu'une mole de  $\text{NO}_2$ , de là 2,03  $\mu\text{g}$  de  $\text{NaNO}_2$  est équivalente à 1  $\mu\text{l}$  de  $\text{NO}_2$  (20).

Les concentrations des solutions étalons sont ainsi exprimées en  $\mu\text{l NO}_2/\text{ml}$ .

Dans le tableau n° 4 nous représentons les résultats d'étalonnage ainsi obtenus. La courbe d'étalonnage du  $\text{NO}_2$  est illustrée graphiquement en figure n° 5.

Tableau n° 4 : Résultats d'étalonnage du  $\text{NO}_2$ .

$V_{\text{NaNO}_2}$ (ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
DO	0	0,293	0,548	0,861	1,132	1,389
$\mu\text{l NO}_2/\text{ml}$	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40

##### - Expression des résultats d'analyse :

Les résultats sont obtenus à partir de l'équation :

$$\text{NO}_2 \text{ (ppm)} = \frac{\text{DO}}{K \cdot \frac{V}{v}}$$

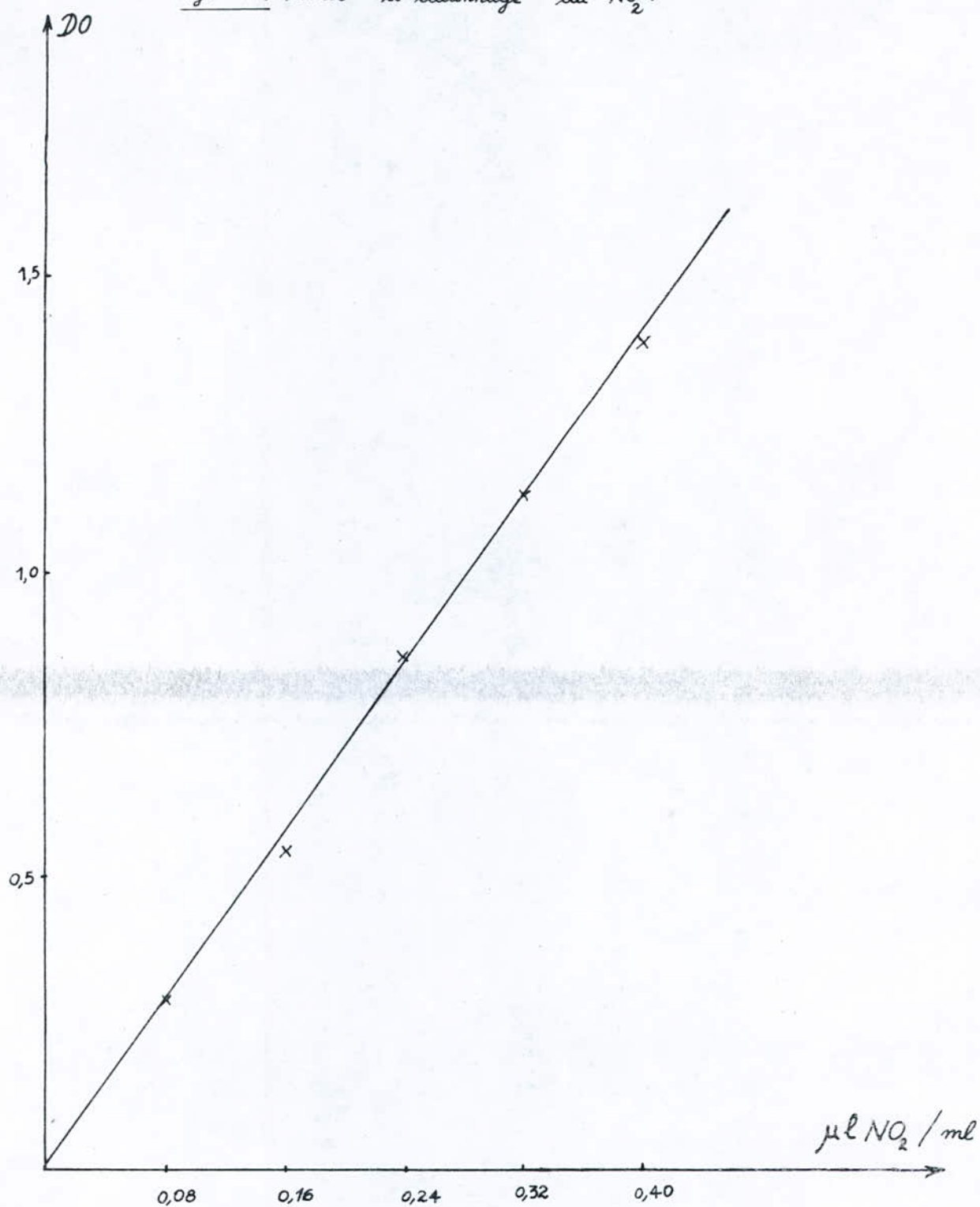
DO: absorbance de la solution échantillon.

K: pente de la courbe d'étalonnage exprimée en  $\text{ml}/\mu\text{l NO}_2$ .

V: volume d'air échantillonné, en litre, rapporté aux conditions normales de pression et de température.

v: volume, en ml, de la solution exposée, c'est-à-dire 10 ml.

Fig. n° 9 : Courbe d'étalonnage du  $\text{NO}_2$ .



#### IV-6-RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

Les oxydes d'azote  $\text{NO}_x$  présents dans l'atmosphère urbaine ont pour source essentiellement le trafic routier.

Les sites de prélèvement que nous avons choisis représentent donc des zones où il règne pratiquement pendant toute la journée une circulation intense avec un régime de vitesse variable.

Au point P1, ENP-RN5, on remarque une bonne fluidité de la circulation intense, avec en général une vitesse modérée.

Le point P2, à Hassen-Badi (El-Harrach) représente une intersection à circulation intense avec de fréquents encombrements.

Le point P3 à Beziers (Alger) est caractérisé par une circulation très dense, par l'implantation d'une importante gare routière et par un flot de poids lourds important lié aux activités portuaires.

En ces trois sites, les prélèvements ont été effectués pendant la journée de 7<sup>h</sup> du matin jusqu'à 19<sup>h</sup> au soir.

Les résultats auxquels a abouti notre étude sont résumés dans tableau n° 5. Sur la figure n° 10 nous illustrons graphiquement la variation horaire des teneurs en  $\text{NO}_2$  pour chaque site étudié.

D'après ces résultats nous remarquons d'abord que les teneurs de l'atmosphère en  $\text{NO}_2$  les plus faibles sont mesurées tôt le matin entre 7<sup>h</sup> et 8<sup>h</sup> et en fin d'après-midi à partir de 18<sup>h</sup> et ce quelque soit le site étudié.

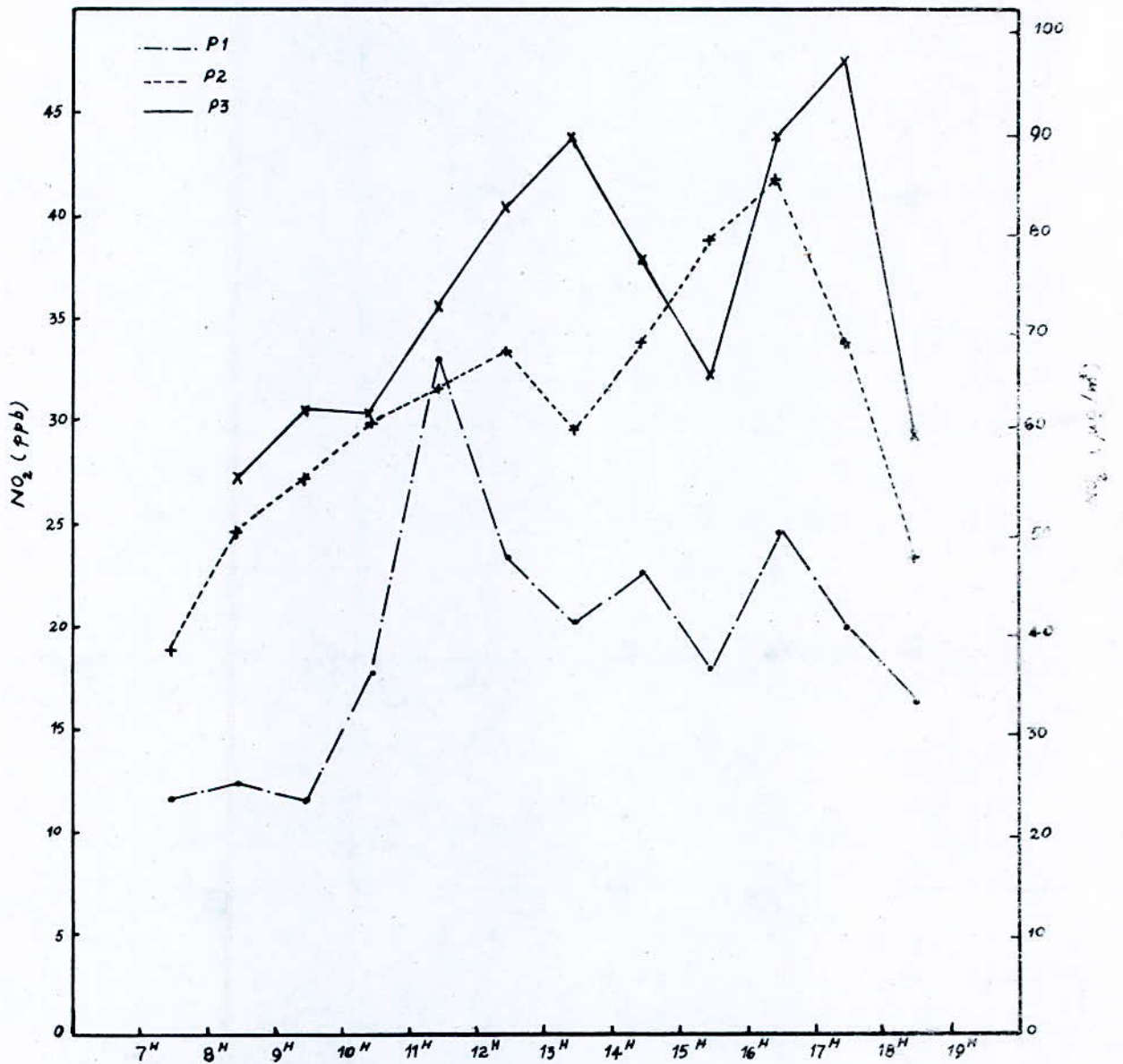
Tableau n° 5 : Résultats d'évaluation de la teneur en NO<sub>2</sub> en divers sites .

Heures	T <sub>mo</sub> y (°C)			V d'air corrigé (L)			DO			NO <sub>2</sub> (ppb)		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
7 <sup>h</sup> - 8 <sup>h</sup>	10,9	15,3	-	25,20	24,70	-	0,104	0,165	-	11,79	19,09	-
8 <sup>h</sup> - 9 <sup>h</sup>	14,5	17,3	20,3	24,90	24,55	24,38	0,109	0,213	0,235	12,50	24,79	27,54
9 <sup>h</sup> - 10 <sup>h</sup>	16,1	17,9	21,1	24,60	24,50	24,32	0,102	0,234	0,261	11,80	27,29	30,66
10 <sup>h</sup> - 11 <sup>h</sup>	18,3	18,5	22,5	24,55	24,53	24,20	0,153	0,257	0,258	17,80	30,03	30,46
11 <sup>h</sup> - 12 <sup>h</sup>	18,5	18,6	23,0	24,53	24,43	24,16	0,285	0,270	0,304	33,20	31,58	35,96
12 <sup>h</sup> - 13 <sup>h</sup>	18,6	19,0	23,0	24,52	24,41	24,16	0,203	0,287	0,344	23,60	33,59	40,68
13 <sup>h</sup> - 14 <sup>h</sup>	18,7	19,0	23,0	24,51	24,41	24,16	0,175	0,254	0,372	20,40	29,73	43,99
14 <sup>h</sup> - 15 <sup>h</sup>	18,4	19,4	23,0	24,54	24,38	24,16	0,195	0,290	0,324	22,70	33,99	26,49
15 <sup>h</sup> - 16 <sup>h</sup>	17,9	19,5	23,0	24,58	24,37	24,16	0,156	0,332	0,273	18,10	38,92	32,28
16 <sup>h</sup> - 17 <sup>h</sup>	17,5	19,0	22,6	24,61	24,41	24,19	0,212	0,358	0,372	24,60	41,90	43,99
17 <sup>h</sup> - 18 <sup>h</sup>	17,0	18,6	22,0	24,66	24,44	24,24	0,173	0,290	0,402	20,10	33,90	47,58
18 <sup>h</sup> - 19 <sup>h</sup>	16,6	18,0	21,5	24,69	24,49	24,28	0,142	0,201	0,249	16,40	23,45	29,30

P1: BNP-RMS - 65-FRANCE (C:10/1991) ; P2: Rue Hassan 2 - EL-MANASSI (C:10/191) ; P3: Avenue des Bégias Alg-Lentor (8/05/91).



Fig. n° 10 : Variation horaire des concentrations de  $\text{NO}_2$ .



P1 : ENP-RNS (El-Harrach).  
 P2 : Avenue Hasson-Badi (El-Harrach).  
 P3 : Rue de Beziers (Alger-centre).

Pendant ces horaires le rayonnement solaire avec ses radiations UV est faible et ne favorisent pas la transformation du NO en NO<sub>2</sub>.

D'autre part en début de journée le trafic routier est intense (heure de pointe) et le NO en provenance des gaz d'échappement des véhicules bat son plein. A partir de 10<sup>h</sup> du matin le réchauffement solaire est suffisamment intense pour réduire la transformation photochimique du NO en NO<sub>2</sub>. Nous mesurons alors entre 11<sup>h</sup> et 13<sup>h</sup> des teneurs maximales en NO<sub>2</sub> donnant naissance au premier pic de la journée. En début d'après-midi la concentration en NO<sub>2</sub> décroît, ce polluant à durée de vie assez courte se transforme en donnant naissance à d'autres polluants secondaires tels que les composés nitrates (en présence d'hydrocarbures il se forme les alkyles nitrates, les peroxylnitrates etc.). Le trafic routier de l'après-midi, qui à Alger l'heure de pointe commence dès 15<sup>h</sup>, introduit dans l'atmosphère des quantités nouvelles de NO qui se transforment partiellement en NO<sub>2</sub>. Le dernier atteint alors un deuxième maximum entre 16<sup>h</sup> et 17<sup>h</sup> (deuxième pic de la journée).

Globalement cette variation horaire des teneurs en NO<sub>2</sub> est typique pour un milieu urbain à trafic routier dense plus ou moins ordonné avec des heures de pointes très accentuées.

La comparaison des teneurs en NO<sub>2</sub> mesurées sur les trois sites montre que l'atmosphère du site P3 à Beziers accuse les teneurs atmosphériques en NO<sub>2</sub> les plus élevées. Le point P1 par contre se caractérise par les teneurs

les plus faibles et ce en raison d'un trafic routier modéré.

Le calcul des valeurs moyennes sur toute la journée donne les teneurs suivantes :

P1 : 19,41 ppb ,

P2 : 30,77 ppb ,

P3 : 35,36 ppb .

La teneur moyenne au point P3 est pratiquement deux fois plus élevée que celle du point P1 .

A titre comparatif nous présentons les teneurs en  $\text{NO}_2$  de certaines atmosphères d'Europe et de Canada dans le tableau suivant :

Villes		Teneurs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Teneurs (ppb)	Observations
Paris	Place Victor Basch.	125	66,5	Moyenne annuelle de 1989
	Champs Elysés (Rond point)	74	39,4	
	Strasbourg (centre ville)	51	27,1	
Zurich (centre ville)	58	30,8	Moyenne annuelle de 1988	
Montreal (centre ville)	39	21,0	Moyenne Annuelle de 1986	

les teneurs mesurées dans la ville d'Alger sont relativement dans le même ordre de grandeur que celles des villes indiquées dans le tableau précédent.

Nous rappelons que la valeur limite horaire d'un air en  $\text{NO}_2$  est de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  soit 106 ppb (19) et la pollution du fond s'élève à 0,1 ppb (16).

## V-ESTIMATION DES EMISSION NO<sub>x</sub> EN ALGERIE :

### V-1- LE PARC AUTOMOBILE ALGERIEN :

La connaissance des données relatives au parc automobile est intéressante à double titre. Elles nous permet d'une part d'avoir un aperçu général sur l'évolution et le niveau de la pollution de l'air par les polluants gazeux émis par le secteur des transports terrestres dans les centres urbains et d'autre part d'estimer les émissions d'un polluant donné sur la base de la consommation de carburant.

Les données qui ont servi de base dans notre étude sont ceux publiées par le Ministère du transport et l'office national des statistiques (O.N.S). Ils sont sujets à certaines réserves. En effet, ces données sont le résultat de dénombrement de pièces officielles des véhicules communiquées par le service automobile de chaque wilaya.

Ces pièces sont essentiellement constituées par les cartes grises et les certificats de démolition. C'est dire que la qualité de l'information et son actualité sont subordonnées à la qualité et à la rapidité des services de wilaya.

#### V-1-1- STRUCTURE DU PARC :

Les dernières statistiques relatives à la structure du parc sont celles de l'année 1988 et qui estiment le parc automobile à 1.472.254 véhicules dont les véhicules de tourisme (V.T) et les véhicules utilitaires (V.U) représentent respectivement 64,4 % et 35,6 %.

#### V-1-2- EVOLUTION DU PARC DANS LE TEMPS :

Au 31 Décembre 1977, le parc automobile se compose de 605.836 véhicules, pour atteindre au 31 Décembre 1988 un effectif de 1.472.254 soit pendant cette période un taux de progression annuel d'environ 6%.

Les données statistiques exprimant l'évolution du parc automobile selon le genre de véhicule en Algérie de 1977 à 1988 sont données dans le tableau n° 6 ; et sont représentées graphiquement sur la figure n° 11.

La figure n° 12, illustre l'évolution du parc depuis l'indépendance jusqu'à 1988.

#### V-1-3- REPARTITION DU PARC PAR WILAYA :

Les dernières statistiques relatives à la répartition du parc par wilaya sont celles des années 1984 et 1985 et sont données dans les tableaux n° 7 et 8.

La wilaya d'Alger, avec 30,6% des véhicules en 1985, vient largement en tête de la répartition géographique. Cette répartition est illustrée sur la figure n° 13.

La répartition du parc automobile par wilaya permet d'avoir une idée générale sur le niveau de la pollution de l'air par le secteur des transports dans chaque wilaya.

Tableau n° 6 : Evolution du parc automobile  
selon le genre de véhicule  
en Algérie de 1977 à 1988.

Année	V. U	V. T	Total
1977	250.721	355.125	605.836
1978	266.285	411.894	678.179
1979	289.689	457.248	746.937
1980	297.200	482.600	779.800
1981	312.200	522.600	834.800
1982	356.200	544.600	901.000
1983	392.600	628.900	1.021.500
1984*	451.848	661.241	1.113.089
1985*	473.160	676.986	1.150.146
1986	495.000	783.970	1.278.970
1987	498.200	862.367	1.360.567
1988	528.500	948.263	1.472.254

Source : Ministère du transport

(\*) O.N.S

Fig. n° 11 : Evolution du parc automobile selon le genre de véhicule en Algérie de 1977 à 1988 .

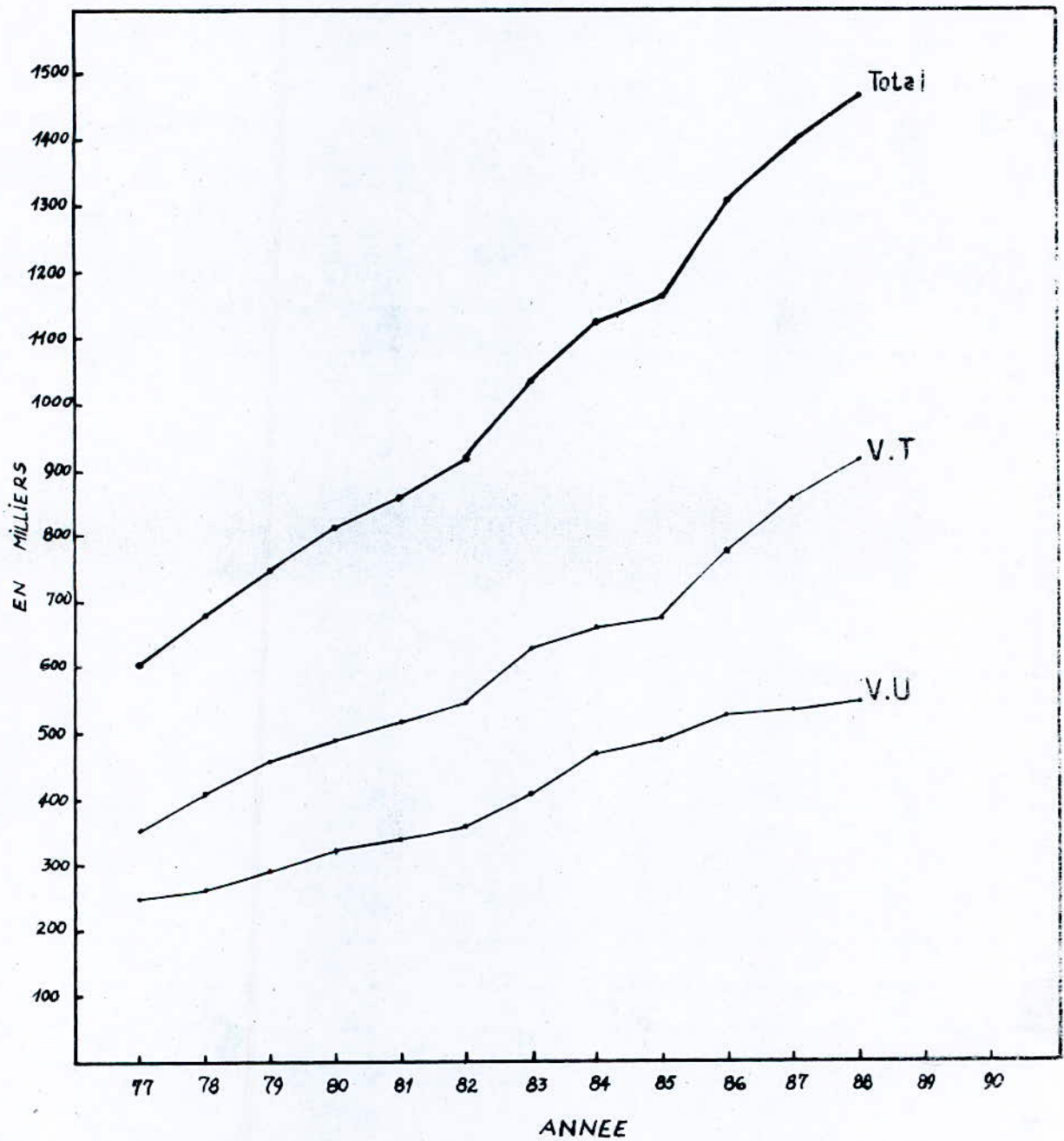




FIG. N° 12 : EVOLUTION DES VOITURES DE TOURISME ET UTILITAIRES  
 EN ALGERIE DE 1962 - 1988

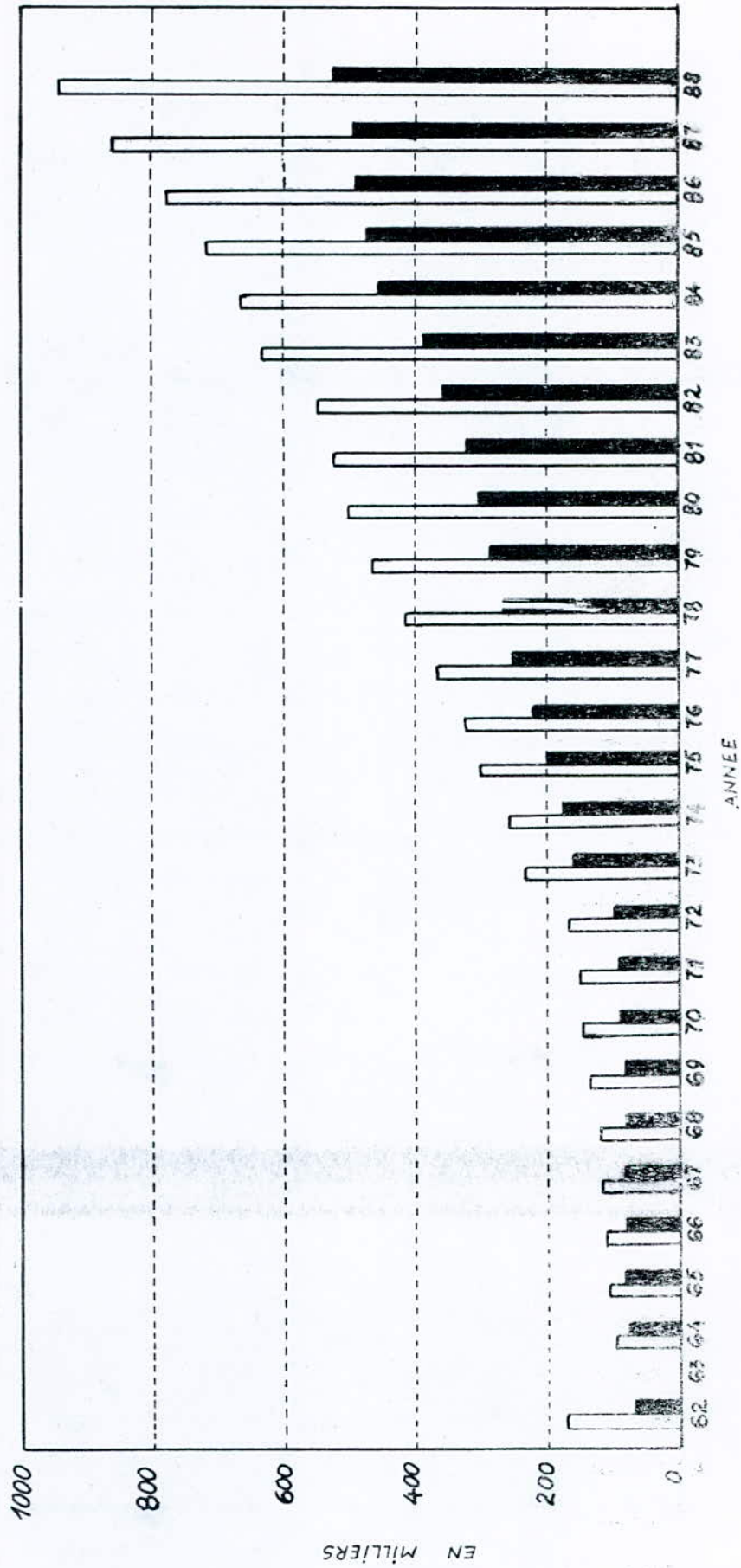


Tableau n° 7 : Parc automobile national au 31 Décembre 1984 .  
 Répartition du parc automobile par wilaya .

N°	Wilaya	V.U	V.T	Total
01	ADRAR	813	709	1.522
02	CHLEF	17.266	19.181	36.447
03	LAGHOUAT	6.388	7.056	13.444
04	OUM-EL-BOUAGHI	10.663	11.569	22.232
05	BATNA	12.122	13.608	25.730
06	BEJAÏA	13.420	18.174	31.594
07	BISKRA	11.058	13.870	24.928
08	BECHAR	3.347	5.297	8.644
09	BLIDA	10.382	21.250	31.630
10	BOUIRA	11.150	12.428	23.578
11	TAMANRASSET	1.684	808	2.492
12	TEBESSA	5.867	9.276	15.143
13	TLEMCEÏN	11.161	17.521	33.755
14	TIARET	11.556	12.619	24.175
15	TIZI-OUZOU	13.234	19.957	33.191
16	ALGER	111.784	220.607	333.391
17	DJELFA	3.956	5.536	9.492
18	DJIJEL	11.486	13.792	25.278
19	SETIF	22.099	26.954	49.053
20	SAÏDA	6.007	5.490	11.497
21	SKIKDA	8.749	10.918	19.667
22	SIDI BEL ABDES	15.762	21.605	37.367
23	ANNABA	22.799	23.432	46.231
24	GUELMA	8.545	10.903	19.448
25	CONSTANTINE	24.932	36.372	61.304
26	MEDEA	11.391	13.493	24.884
27	MOSTAGANEM	21.866	21.515	43.381
28	M'SILA	6.914	9.423	16.337
29	MASCARA	7.579	7.060	14.639
30	OUARGLA	13.561	10.953	24.514
31	ORAN	15.309	32.792	48.101
	Total	451.848	661.241	1.113.089

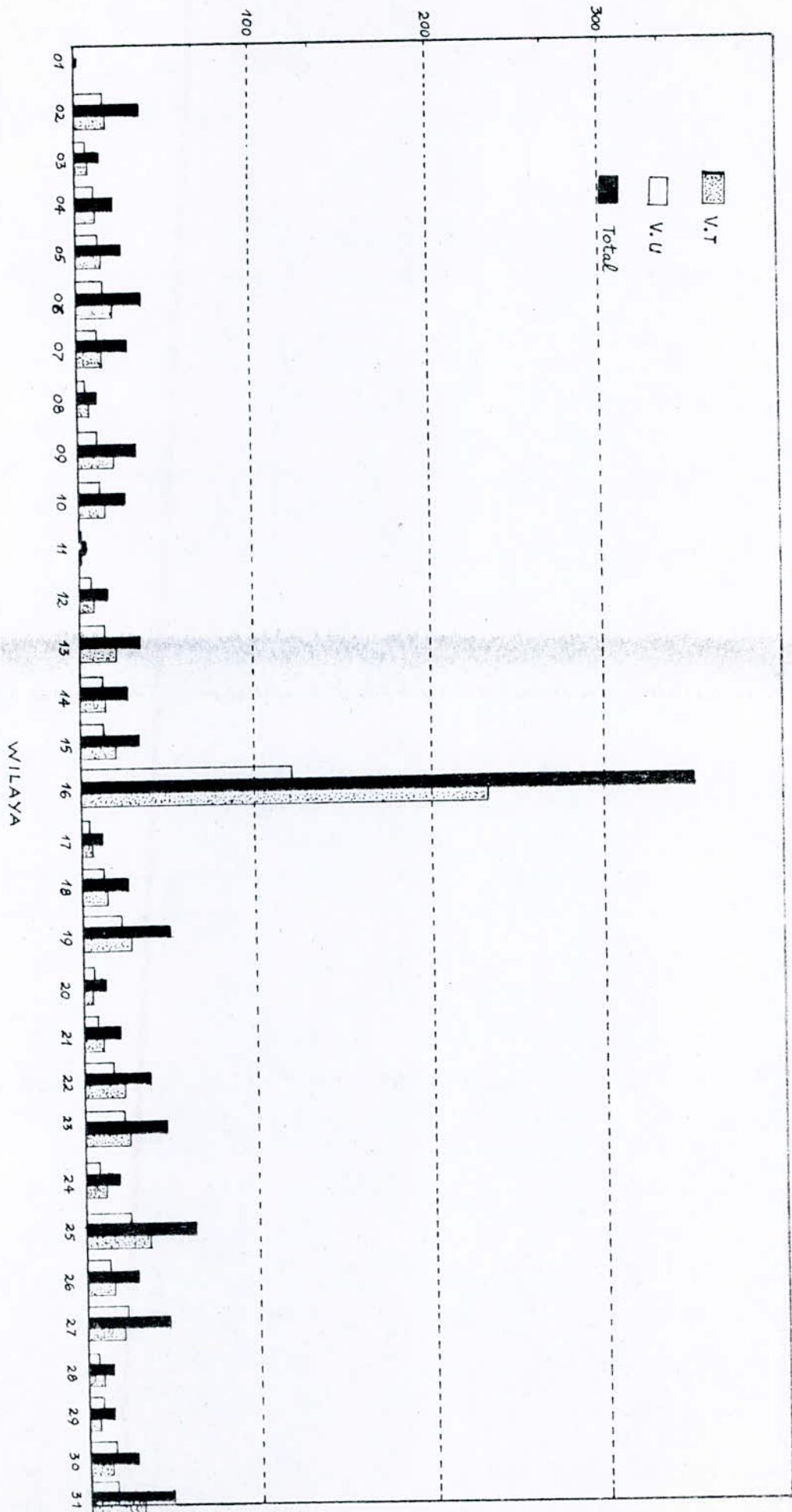
- Source : O.N.S.

Tableau n° 8 : Parc automobile national au 31 Décembre 1985.

Répartition du parc par wilaya.

N°	Wilaya	V. U	V. T	Total
01	ADRAR	813	704	1.517
02	CHLEF	17.038	18.746	35.784
03	LAGHOUAT	6.514	7.016	13.530
04	OUM-EL-BOUAGHI	10.080	10.564	20.644
05	BATNA	11.918	13.202	25.120
06	BEJAÏA	15.333	20.588	35.921
07	BISKRA	11.514	13.519	25.033
08	BECHAR	3.883	5.598	9.481
09	BLIDA	9.767	20.016	29.783
10	BOUIRA	12.376	13.646	26.021
11	TAMANRASSET	1.672	750	2.362
12	TEBESSA	6.124	7.903	14.027
13	TLEMCEM	14.115	19.481	33.596
14	TIARET	12.855	13.485	26.340
15	TIZI-OUZOU	12.937	19.503	32.440
16	ALGER	119.402	232.125	351.527
17	DJELFA	3.956	5.536	9.492
18	DJIJEL	11.486	13.792	25.278
19	SETIF	22.099	26.954	49.053
20	SAÏDA	6.007	5.490	11.497
21	SKIKDA	8.749	10.918	19.667
22	SIDI BEL AÏCH	15.762	21.605	37.367
23	ANNABA	22.799	23.432	46.231
24	GUELMA	9.734	10.905	20.639
25	CONSTANTINE	25.666	37.064	62.730
26	MEDEA	13.283	14.849	28.132
27	MOSTAGANEM	23.601	22.946	46.547
28	M'SILA	6.491	9.493	15.984
29	MASCARA	7.557	7.013	14.570
30	OUARGLA	14.605	11.624	26.229
31	ORAN	15.253	32.613	47.826

EN MILLIERS



#### V-1-4- REPARTITION DU PARC SELON L'ÂGE DU VEHICULE :

Comme le montre la figure n° 14, le parc Algérien est vétuste. En effet, 28,0% des véhicules ont plus de 16 ans, 44,0% ont de 6 à 15 ans et 28% seulement moins de 5 ans.

#### V-1-5- REPARTITION DU PARC SELON LA SOURCE D'ENERGIE UTILISEE :

On a pas de données statistiques relatives à la répartition du parc selon la source d'énergie utilisée mais d'une manière générale on peut dire que les véhicules de tourisme ne fonctionnent en pratique qu'à l'essence, elle peut être ordinaire ou enrichie (super), quant aux véhicules utilitaires consomment surtout du gazoil.

#### V-1-6- SITUATION DU PARC ALGERIEN PAR RAPPORT A D'AUTRES PAYS :

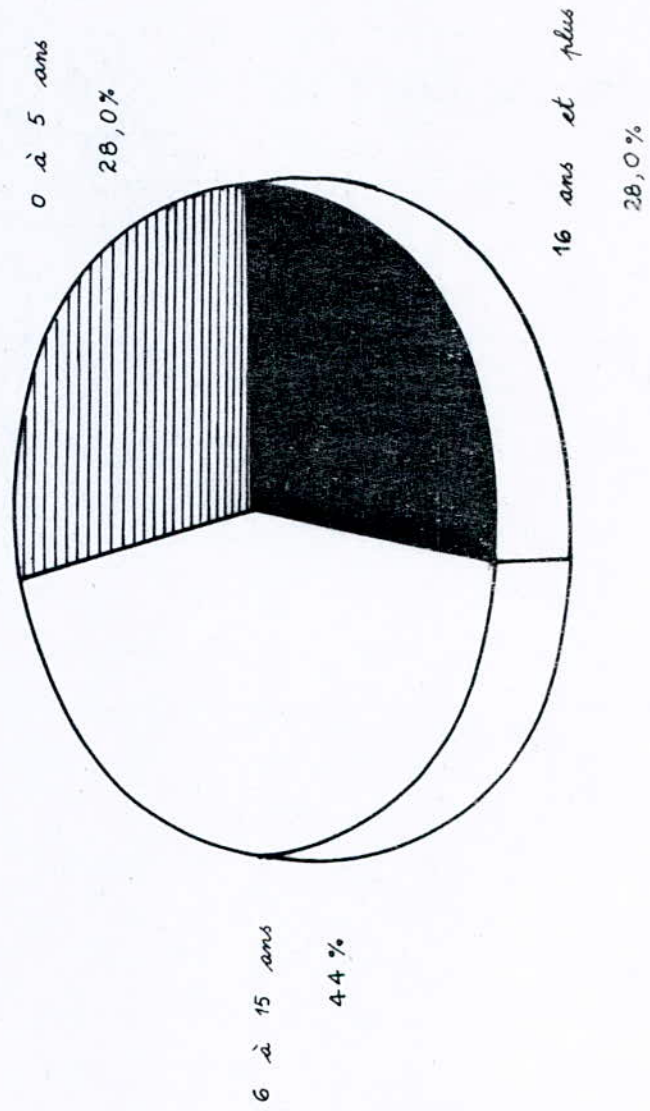
Le parc automobile d'un pays est intimement lié au cadre géographique, au niveau de vie de la population et à son développement.

C'est pourquoi le parc automobile Algérien (pays en voie de développement) reste très modeste, comparé à celui des pays industrialisés où les marchés de l'automobile sont actuellement parvenus à maturité.

Le taux de motorisation en 1985 en Algérie est de 53 automobiles pour 1000 habitants, alors que dans le monde il est de 75 automobiles pour 1000 habitants, mais ce chiffre atteint 540 aux Etats-Unis, 220 au JAPON, et il varie entre 200 et 400 en Europe (13).

L'évolution du parc automobile Algérien connaît un taux de progression annuel d'environ 9% reste cependant très faible comparée

Fig. n°14 : Répartition du parc automobile national  
selon l'âge du véhicule au 31 Décembre 1987.



## V-2- LES CARBURANTS :

La gamme de produits par utilisation a été fournie par NAFTAL.

L'essence, normale et super, est dévolue exclusivement au transport par les véhicules qui possèdent un moteur à essence. Le gaz-oil, outre son utilisation par les véhicules à moteur Diesel, est employé aussi dans l'industrie et pour le chauffage domestique.

Il n'a pas été possible à NAFTAL de fournir la répartition de la consommation de gaz-oil entre moteurs roulants (véhicules) et moteurs fixes.

### V-2-1- EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES CARBURANTS :

L'évolution de la consommation des carburants au cours de la décennie écoulée (Tableau n° 9) montre une augmentation régulière depuis 1980, cette croissance est due à l'accroissement du parc automobile.

La figure n° 15 illustre l'évolution de la consommation des carburants.

### V-2-2- LE GPL CARBURANT :

Compte tenu des disponibilités nationales importantes en gaz naturel et en pétrole, NAFTAL tente à favoriser et développer la consommation du gaz de pétrole liquifié (GPL) qui est extrait du pétrole brut ou du gaz naturel (mélange de butane et de propane commercial).

NAFTAL, à ainsi, visé deux objectifs essentiels :

Tableau n° 9 : Evolution de la consommation des carburants  
en Algérie.

Année	Esence normale (tonnes)	Esence super (tonnes)	Total essence (tonnes)	Gazoil (tonnes)
1980	561.708	661.262	1.222.970	1.974.127
1981	569.640	756.581	1.326.221	2.117.111
1982	639.204	754.296	1.393.500	2.484.736
1983	916.033	612.756	1.528.789	2.636.557
1984	1.231.376	423.709	1.655.085	2.906.857
1985	1.417.107	367.736	1.784.843	3.136.540
1986	1.568.066	329.091	1.897.157	3.266.223
1987	1.645.226	318.087	1.963.313	3.231.782
1988	1.674.765	311.854	1.986.619	3.200.723
1989	1.774.039	335.084	2.109.123	3.288.926
Total	11.997.164	4.870.456	16.867.620	27.243.582

- Source : NAFTAL



Fig. n° 15 : Evolution de la consommation  
des carburants en Algérie .

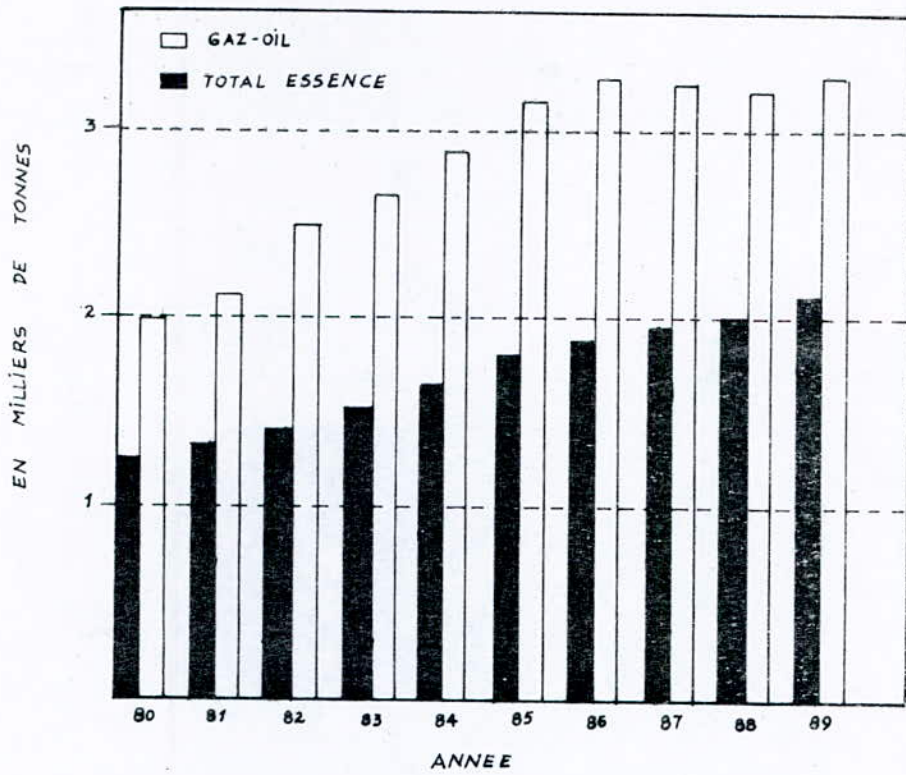
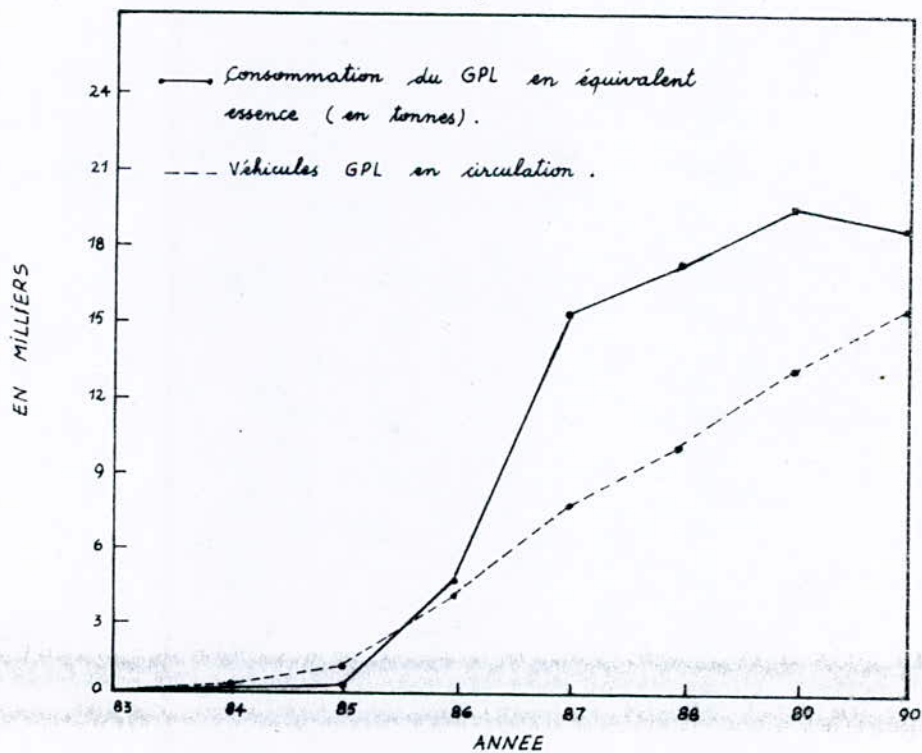


Fig. n° 16 : Evolution de la consommation du GPL  
et le nombre de véhicule en circulation en Algérie .



- Réduire substantiellement la carburation des essences et du gaz-oil que la capacité actuelle de production nationale ne sera plus en mesure de satisfaire dans un proche avenir.

- Réduire la pollution dans les grands centres urbains car le GPL ne contient, ni plomb, ni soufre (21).

Vu que le nombre de véhicules, convertis à l'utilisation du GPL comme carburant, est faible, la consommation de GPL (SIRGAZ) est pratiquement très faible par rapport à la consommation des autres carburants (essence et gaz-oil).

Les données statistiques relatives à l'évolution de la consommation du GPL ainsi que le nombre de véhicules convertis, sont données dans le tableau n° 10, et sont représentées sur les figures n° 16, 17 et 18.

#### V-2-3- INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS :

La consommation des essences en Algérie connaît une croissance lente en parallèle avec l'évolution du parc automobile.

Pour cette décennie, on se penche de plus en plus vers l'utilisation de l'essence normale que l'essence super, la consommation de ce dernier est passée de 661.262 tonnes en 1980 à 561.708 tonnes en 1989, tandis que celle de l'essence normale a sensiblement augmenté de 501.708 à 1.774.039 tonnes. Cette tendance vers l'utilisation de l'essence normale en remplacement du super s'explique par la cherté de ce dernier.

Tableau n° 10 : Evolution de la consommation de G.P.L (SIRGHAZ)  
en Algérie.

Année	Nombre de véhicules convertis	Consommation de G.P.L en (m <sup>3</sup> ).	Equivalent essence en (tonnes)	Nombre de véhicules cumulés
1983	92	06	04	92
1984	326	100	67	418
1985	307	484	323	725
1986	3.364	6.776	4.517	4.089
1987	3.623	22.841	15.227	7.712
1988	2.181	25.684	17.098	9.893
1989	3.087	29.310	19.540	12.980
1990	2.427	27.893	18.540	15.407
Total	15.407	113.058	7.5371	—

- Source : NAFTAL

Fig. n°17 : Nombre de véhicules convertis GPL.

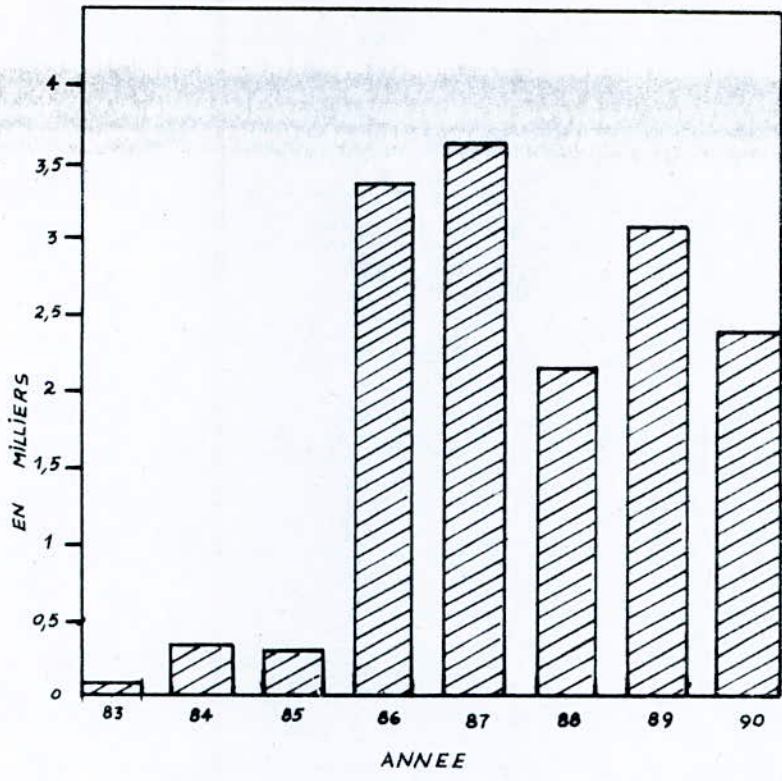
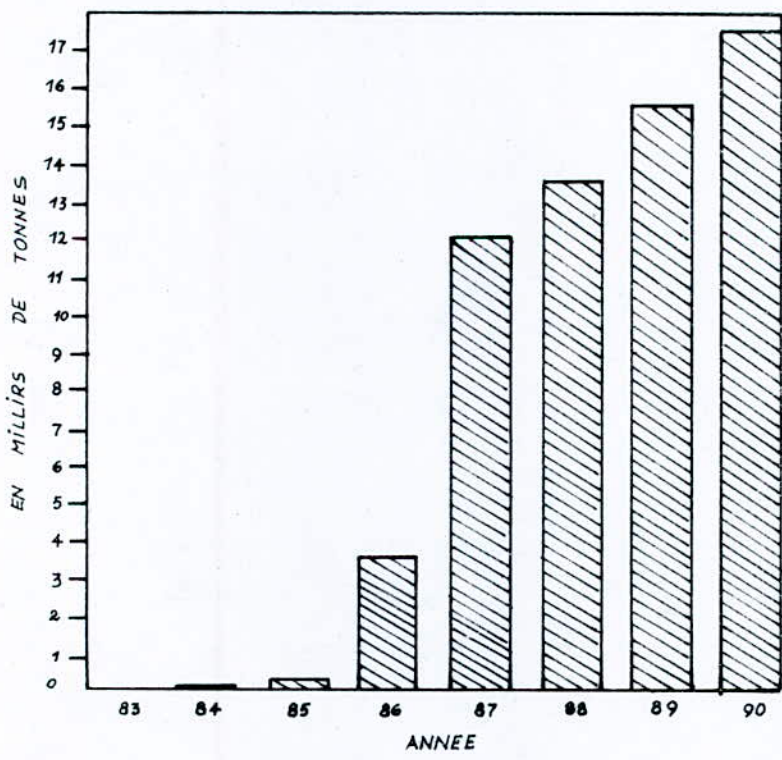


Fig. n°18 : Consommation du GPL.



à celle des pays de l'OCDE comme le montre le tableau ci-dessous

Pays villes	Population (en millions)	Nombre de voitures (en millions)	Taux de motorisation (nombre de personnes pour une voiture)
Algerie *	21,6	0,77	28,1
Alger	2,0	0,252	8,6
U.S.A **	240	129,06	1,9
Los-Angeles	11,5	-	-
R.F.A **	62,0	25,345	2,4
Munich	2,3	1,05	2,2
Grèce **	11,0	1,264	8,7
Athènes	3,0	0,734	4,1

(\*) : Estimé .

(\*\*) : Source OCDE .

Le parc automobile Algérien est vétuste et son renouvellement se fait de façon très lente sans qu'il y ait démolition des voitures très vieilles .

Comparé aux pays occidentaux ou aux Etats-Unis , le parc automobile Algérien reste très modeste . Cependant sa vétusté et l'entretien assez défectueux des véhicules , les encombrements de la circulation (surtout à Alger) et l'infrastructure routière mal adaptée contribuent certainement à la pollution de l'air urbain .

La consommation du gaz-oil connaît une certaine stagnation depuis 1985 et cela est due au fait qu'avant 1985 il y avait une subvention accordée aux agriculteurs qui utilisèrent ce carburant de façon abusive.

De façon générale la consommation des carburants auto reste très faible en Algérie, comparée à celle des pays développés, et cela en parallèle avec le parc automobile.

La ville de Los-Angeles à elle seule consomme environ 22 milliards de litres de carburant par an, soit un taux des plus élevés aux Etats-Unis (13).

Comme la répartition automobile, la consommation énergétique reste inégalement répartie sur le territoire national.

### V-3- ESTIMATION DES EMISSIONS EN NO<sub>x</sub> ISSUES DU TRAFIC ROUTIER:

La connaissance des données relatives aux émissions globales des polluants nous permet de mieux connaître le niveau de pollution atteint en Algérie, et de le comparer avec des autres pays.

Le calcul des émissions des polluants en fait soit par l'estimation de la pollution à partir des données de la consommation des carburants, soit à partir du nombre de véhicules-kilomètres parcourus chaque année.

En estimant qu'un véhicule moyen consomme en moyenne 10 l d'essence pour 100 Km parcourus et qu'il rejette environ 0,018 Kg

de  $\text{NO}_x$  par litre d'essence (1), on peut calculer les émissions de  $\text{NO}_x$  émises en Algérie chaque année par le trafic routier. Les résultats des rejets ainsi calculés sont donnés dans le tableau n° 11.

Le calcul des émissions de  $\text{NO}_x$  émises par les véhicules diesels a été fait de la même façon, en prenant compte que le taux d'émission d'un véhicule diesel est inférieur de moins de 25 % que celui d'un véhicule à essence (1). C'est-à-dire environ  $0,014 \text{ Kg}$  de  $\text{NO}_x$  (1).

L'estimation des émissions de  $\text{SO}_2$  reste sans importance puisque la teneur du soufre dans les carburants Algérien est infime ne dépassant pas les 20 ppm au maximum (22).

#### V-3-1- INTERPRÉTATIONS ET CONCLUSIONS :

Les émissions de  $\text{NO}_x$  en Algérie connaissent une croissance lente, elles étaient 63.604 tonnes en 1980 et elles atteignent le niveau de 107.755 tonnes en 1989 avec un taux d'évolution moyen de 6%.

D'après tout ces données on estime l'émission globale en  $\text{NO}_x$  pour cette décennie à environ 1 million de tonnes. Ce chiffre comparé aux émissions globales en  $\text{NO}_x$  aux Etats-Unis pour l'année 1980, qui étaient estimés à 20,3 millions de tonnes, serait donc négligeable (13).

Le tableau n° 12, montre que la source principale des émissions en  $\text{SO}_2$  est autre que le transport, tandis que la part du transport dans les émissions de  $\text{NO}_x$  est très grande et varie de 40 à 65%.

Tableau n° 11 : Estimation des émissions en NO<sub>x</sub> issues du trafic routier en Algérie de 1980 à 1989 .

Année	Esence en million de litres.	Emissions en NO <sub>x</sub> en tonnes	Gaz-pil en millions de litres.	Emissions en NO <sub>x</sub> en tonnes	Emissions totales en NO <sub>x</sub> en tonnes
1980	1.690,7	30.576,5	2.359,1	33.027,4	63.604,0
1981	1.842,1	33.157,0	2.529,9	35.418,6	68.576,4
1982	1.935,5	34.839,0	2.969,2	41.568,8	76.407,8
1983	2.123,5	38.223,0	3.150,7	44.109,8	82.332,8
1984	2.298,8	41.378,4	3.473,7	48.631,8	90.010,2
1985	2.479,1	44.623,8	3.748,2	52.474,8	97.098,6
1986	2.635,1	47.431,8	3.903,1	54.643,4	102.075,2
1987	2.727,0	49.086,0	3.862,0	54.068,0	103.154,0
1988	2.759,4	49.669,2	3.824,9	53.548,6	103.217,8
1989	2.929,6	52.732,8	3.930,2	55.022,8	107.755,6
Total	23.428,8	421.718,4	33.751,0	472.514,0	894.232,4



Tableau n° 12 : Comparaison des émissions en  $SO_2$  et  $NO_x$  pour quelques pays en 1980 .

Pays	Emissions totales en milliers de tonnes		Emissions dues au transport en milliers de tonnes		Rapport des émissions en $NO_x$
	$SO_2$	$NO_x$	$SO_2$	$NO_x$	
U.S.A *	23.200	20.300	928 (4%)	9135 (45%)	143,63
FRANCE *	3.558	2.567	142,3 (4%)	1668,5 (65%)	26,22
R.F.A *	3.200	3.090	128 (4%)	1637,7 (53%)	25,75
GRECE *	700	169	-	84,5 (50%)**	1,32
JAPON *	1.259	1.339	133,3 (9%)	535,6 (40%)	8,42
ALGERIE ***	-	-	-	63,6	1

(\*) - Source : OCDE ; (\*\*) : Pourcentage moyen supposé ; (\*\*\*) - Estimées .

Ainsi à l'échelle mondiale les quantités de  $NO_x$  émises en 1980 par notre pays restent, à l'image de son état de développement, quasi négligeables par rapport aux géants du monde industriel tels que les Etats-Unis et le Japon .

Cependant nos activités émettent des quantités comparables à celles de la Grèce, qui malgré ces faibles quantités connaît constamment des alertes aux smogs photochimiques (surtout à Athènes) .

Aussi la ville d'Alger n'est elle pas aussi à l'abri, dans certaines conditions météorologiques, d'une éventuelle forte contamination en polluants photochimiques.

D'autre part si depuis 1980 les émissions en  $\text{NO}_x$  du monde occidental ont, soit stagnés, soit connu une réduction notable, ce n'est pas le cas pour notre pays où en l'espace d'une décennie les quantités en  $\text{NO}_x$  émises dans l'atmosphère ont presque doublé et continueront sans doute à augmenter à moyen et même à long terme.

## VI-CONCLUSION ET RECOMMANDATION :

L'étude effectuée représente une première étape dans l'évaluation de la pollution atmosphérique dans le grand-Alger. D'autres études sont nécessaires et devraient englober d'autres polluants tels que le CO et les hydrocarbures, et couvrir un plus grand nombre de sites.

Le suivi et la mesure des teneurs devraient s'étaler sur de plus grandes périodes.

Nous pouvons retenir à partir de ce travail les points suivants qui rappellent - le ne sont valables que pour la période où nous avons effectués nos prélèvements et seulement aux niveaux des sites étudiés :

- L'acidité de l'atmosphère est presque nulle et qu'il n'existe aucun risque de pluies ou retombées acides.

- Les teneurs en  $SO_2$  sont très faibles. Le dioxyde de soufre ne semble pas être dans notre milieu urbain un polluant majeur.

- Le dioxyde d'azote issu du trafic routier existe à des teneurs notables et peut présenter en certaines périodes de la journée dans certains quartiers des effets néfastes si aucune mesure de prévention et de réduction n'est prise.

- Dans les émissions globales en  $NO_x$  qui arrivent dans l'atmosphère l'Algérie, comparé à certains pays développés, n'y contribue que par des quantités faibles. Toutefois ces quantités sont en constante augmentation.

alors que les autres pays s'y attellent à une réduction radicale (Installation obligatoire de pots catalytiques dans les véhicules en Europe à partir de 1992.)

Au vu de nos résultats et afin de réduire au plus bas niveau possible les émissions des polluants nous recommandons une série de mesures qui consistent en :

- L'adoption des lois et des normes strictes sur les niveaux des émissions des échappements des véhicules.
- Une bonne gestion de la circulation, surtout dans les points névralgiques où les populations locales et les usagers de la route sont le plus exposés aux intoxications.
- Exiger une vitesse de croisière ne dépassant pas les 60 km dans les zones urbaines pour diminuer les émissions de NO<sub>x</sub>.
- Opter pour un renouvellement du parc automobile et reformer les voitures dépassant un certain âge.
- La maintenance des véhicules et le réglage des moteurs doivent se faire obligatoirement et périodiquement. Pour cela il faut mettre en œuvre dans chaque station d'essence des agents qualifiés et le matériel approprié pour cette opération.
- Un contrôle complet et rigoureux doit se faire périodiquement par une agence spécialisée.

- Favoriser le transport en commun dans les zones urbaines surtout le métro, le tramway et le transport par les chemins de fer.

- Opter pour une politique d'énergie visant à favoriser l'utilisation des carburants dits propres et peu polluants, tels que le GPL et le GNC. Cela nécessite le développement du réseau de distribution de ces deux carburants.

- Encourager l'achat de véhicules munis de pots catalytiques et assurer la disponibilité de carburant sans plomb.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1): KERBACHI R. ; « Pollution atmosphérique », Cours de 5<sup>ème</sup> année, ENP, 1990
- (2): RAMADE F. ; « Element d'écologie, Ecologie appliquée », [Mc. Graw Hill] USA 196
- (3): BARNEA M. ; URSU P. ; « Pollution et protection de l'atmosphère », [EYROLLES]  
PARIS, 1974.
- (4): RAMADE F. ; « Dictionnaire d'écologie appliquée », [Mc. Graw Hill], USA, 196
- (5): RAMADE F. ; « Ecotoxicologie », [MASSON], 2<sup>ème</sup> Ed, PARIS, 1979.
- (6): DOTROPPE G. ; « La pollution de l'air », [EYROLLES], BELGIQUE, 1972.
- (7): BUTLER J. D. ; « Air Pollution chemistry », [ACADEMIC PRESS], NEW YORK, 1979
- (8): CHOVIN P. ; ROUSSEL A. ; « Physico-chimie et physiopathologie des polluants  
atmosphériques », [MASSON], PARIS, 1973.
- (9): DETRIE J. P. ; « Pollution atmosphérique », [DUNOD], PARIS, 1967.
- (10): CECCALDI J. L. ; « ELectricité de France », Revue n° 178, FRANCE Juin 1967.
- (11): CHOVIN P. ; ROUSSEL A. ; « La pollution atmosphérique », PUF [Quadrige]  
3 Ed, N° 1330, PARIS, 1974.
- (12): KERBACHI R. ; « La pollution atmosphérique », Cours de post-graduation  
ENP, 1990.
- (13): O.C.D.E ; « Pollution par Les transports », PARIS, 1988.
- (14): AFNOR ; « Recueil des normes Francaises », Tome 1, 4<sup>ème</sup> Ed, 1988.
- (15): Laboratoire central de La police de Paris ; « Etudes de pollution  
atmosphérique à Paris et dans les départements périphériques en 1989 »,  
Juillet 90.

- (16): STERN A. C. ; « *Fundamentals of air pollution* », [ACADEMIC PRESS] , 2<sup>ème</sup> Ed, NEW-YORK , 1984 .
- (17): WEST P. W. ; GAEKE G.C. ; « *Fixation of sulfure dioxide as disulfitomercurate and subsequent colorimetric estimation* », Vol. 28 ., N° 12 , 1956 .
- (18): STERN A.C. ; « *Air pollution* », [ACADEMIC PRESS] , 3<sup>ème</sup> Ed , NEW-YORK , 1976 .
- (19): C.E.E . , Directive de 7 Mars 1987 .
- (20): SALTZMAN B. E. ; « *Colorimetric microdetermination of nitrogene dioxide in the atmosphère* », VOL. 28 , N° 12 , 1954 .
- (21): DJATOUF A. ; « *Utilisation des gaz comme carburant en Algerie* », Revue Tech. & sciences , N° 4 , 1991 .
- (22): Laboratoire de La raffinerie d'Alger 1991 .



