

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Genie de l'Environnement*

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Contribution à l'évaluation
de la pollution photochimique dans
le centre d'Alger*

Proposé par :
D^r. R. KERBACHI

Etudié par :
**S. GUETTOUCHE
L. ARBOUCHE**

Dirigé par
**D^r. R. KERBACHI
N. KOUTAI**

PROMOTION
Juillet 93

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONTRIBUTION A L'EVALUATION
DE LA POLLUTION PHOTOCHIMIQUE
DANS LE CENTRE D'ALGER

Proposé par :

Pr : R.KERBACHI

Etudié par :

L.ARBOUCHE
S.GUETTOUCHE

Promotion

1993

Dirigé par :

Pr : R.KERBACHI
Melle N.KOUTAI

R E S U M E :

L'étude effectuée porte sur l'évaluation de la pollution atmosphérique en milieu urbain (Alger Centre) due aux oxydes d'azote et l'ozone.

Les données recueillies sur une période de trois mois (1177 heures), montrent que la pollution atmosphérique dans cette zone est principalement d'origine automobile.

Dans l'estimation de l'émission globale en NOx, on constate que notre pays n'y contribue qu'à un taux très faible et ce en comparaison avec les pays industrialisés.

Nous avons pu montrer aussi que les teneurs en ozone dans le milieu étudié sont modérées et que son niveau croît régulièrement au fur et à mesure que l'on se rapproche de la saison estivale, les maximax atteints restent cependant inférieurs aux normes imposées par l'OMS.

--oOo--

ABSTRACT

Our study consist of the air pollution valuation by NOx and ozone in the urbain medium of Algiers.

The data collected during three months periodes (1177 hours) show that atmosphéric pollution in this area is mostly of car origin.

In estimation of whole emission of NOx, we prove that Algeria contribute in a feeble rate in comparaison with big industrial contries.

The concentration of ozone are feeble and it's level increase evenly as we come near summery season, but the maximal below the 100 ppb hourly recommanded by WHO.

AVANT PROPOS

Nous tenons à remercier, Mr le professeur R. Kerbachi pour nous avoir proposé ce sujet et accepté d'être notre encadreur tout le long de ce laborieux travail. Ses conseils " guides " et ses éclaircissements, nous ont permis à ces résultats qui ne seraient ce qu'ils sont sans son apport scientifique et l'abnégation qu'il a montré au cours de l'encadrement de ce travail. Qu'il trouve en ces quelques lignes l'expression de notre profonde gratitude et entière reconnaissance.

Nous tenons également à remercier, Medemoiselles et Messieurs les membres du Jury en l'occurrence :

- Melle F. HADDOUD : Maître assistante à l'école Nationale polytechnique , membre du jury.
- Mr R. KERBACHI : Professeur à l'école Nationale polytechnique, rapporteur
- Mr A. NAAMAN : Maître assistant à l'école Nationale Polytechnique Président du Jury.
- Mr . M BOUGHDAOUI : Maître assistant à l'Université de Blida, membre du Jury.
- Mr. HAMOUCHE : Invité

Nous remercions également les services de l'EPEAL qui n'ont lésiné sur aucun moyen pour que ce travail aboutisse.

Enfin , nos vifs remerciements s'adressent à M elle N. KOUTAI et Mr M BOUGHDAOUI qui ont mis à notre disposition les moyens nécessaires pour atteindre nos objectifs.

D E D I C A C E S

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je Dédie ce mémoire :

A mes parents
A mon petit frère Lahcène
A toutes ma famille

A toutes les promotions du génie de l'environnement de
L'E N P.

SOUHILA

Je Dédie ce modeste travail

A mes chères parents
A ma soeur Fella
A mes deux frères
A tous ceux qui me sont chers

LAALIA

S O M M A I R E

INTRODUCTION

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE NATURE ET SOURCES DE QUELQUES POLLUANTS GAZEUX.

I-1 Introduction

I-2 Les oxydes d'azotes

I-2-1 Les sources naturelles

I-2-2 Les sources anthropogéniques

I-2-2-1 Les procédés industriels

I-2-2-2 Les installations de combustions

I-2-2-3 Le trafic routier

I-2-3 Les niveaux de pollution

I-2-3-1 Concentration de fond

I-2-3-2 Concentration urbaine

I-3 L'OZONE

I-3-1 L'ozone troposphérique naturel

I-3-2 L'ozone issus des précurseurs anthropiques

I-3-3 Teneurs usuellement rencontrées

I-3-3-1 Teneurs de fond

I-3-3-1 Teneurs urbaines

CHAPITRE II :

DISPERSION DES POLLUANTS DANS L'ATMOSPHERE

II-1 Structure de l'atmosphère

II-2 Le vent

II-3 Température de l'air

CHAPITRE III :

TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DANS L'ATMOSPHERE ET FORMATION DU SMOG
PHOTOCHEMIQUE.

III-1 Introduction

III-2 Réactions chimiques dans la stratosphère

III-3 Réactions chimiques dans la troposphère

III-3-1 Cycle photodynamique des oxydes d'azote

III-3-2 Conséquences de la pollution photochimique

III-4 CONCLUSION

CHAPITRE IV :

EFFETS SANITAIRE ET ENVIRONNEMENTAUX DES POLLUANTS OXYDANTS

IV-1-1 Effets de l'ozone

IV-1-1 Effets sur la santé humaine

IV-1-2 Effets sur la végétation

IV-1-2 Effets des oxydes d'azote

IV-2-1 Effets sur la santé humaine

IV-2-2 Effets sur les végétaux

IV-3 Effets de synergie

IV-4 Effets environnementaux

IV-4-1 Effet de serre

IV-4-2 Pluies acides

CHAPITRE V :

REDUCTION ET PREVENTION DES POLLUANTS OXYDANTS

V-1 Procédés de réduction des émissions d'oxydes d'azote

V-1-1 Réduction des émissions de NOx issus des installations de combustion

a) Réduction selective non catalytique

b) Réduction selective catalytique

V-1-2 Réduction des émissions de NOx du aux trafic routier

V-2 Réduction des concentrations de l'ozone troposhérique

CHAPITRE VI :

METHODES DE DOSAGE DES NOx ET DE L'OZONE

VI-1 Mesure et dosage des NOx

- a) Méthode colorimétrique de Griess Saltzman
- b) Méthode automatique par chimiluminescence

VI-2 Mesure et dosage de l'ozone

VI-2-1 Méthode photométrique manuelle

CHAPITRE VII :

PRELEVEMENT , ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES DES NOx et de l'OZONE
DANS L'AIR AMBIANT A ALGER

VII-1 Choix des sites de prélevement

VII-2 Mode de prélevement

VII-3 Dosage des oxydes d'azote

VII-3-1 Dosage du NO2

VII-3-2 Dosage du NO

VII-4 Dosage de l'ozone

CHAPITRE VIII :

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

VIII-1 Aspects généraux de l'étude

VIII-2 Teneurs et évolution des polluants No, No, et o en milieu
urbain

VIII-3 Teneurs et évolution des polluants No, No et o en milieu
semi-rural à Douira

VIII-4 Comparaison des niveaux mesurés avec les normes
internationales.

VIII-4-1 Niveaux d'exposition au NOx

VIII-4-2 Niveaux d'exposition à l'ozone

CONCLUSION

INTRODUCTION

La qualité de l'air, synonyme de la qualité de la vie, est considérée de nos jours comme étant menacé. En effet la forte augmentation de la pollution atmosphérique enregistrée dans un grand nombre de pays au cours des dernières décennies s'est traduite par des conséquences graves pour l'environnement. Conséquences prouvées sans équivoques par les atteintes accrues à la santé publique, le dépérissement des forêts, l'acidification des lacs etc .

La prise de conscience de ces atteintes tout comme la nécessité d'y remédier ne se sont pas faites attendre et déjà au début des années 70 , plusieurs pays développés se sont dotés de moyens technologiques et d'instruments législatifs efficaces dans la lutte contre la pollution atmosphérique.

Les sources à l'origine du phénomène de pollution atmosphérique sont classées en sources naturelles et en sources anthropogéniques. Bien que globalement moins abondantes en volume, ces dernières sont plus concentrées dans les zones urbaines où elles contribuent de plus aux diverses nuisances.

C'est le cas par exemple des NOx qui sont émis par n'importe quel processus de combustion et en particulier par le trafic routier.

Ces polluants qui se distinguent des autres polluants classiques, comme le SO₂, le CO ou les poussières par leur réactivité dans l'atmosphère, font l'objet de nos jours d'une attention particulière.

De leur présence dans l'air, découle en effet une pollution photochimique qui n'est pas émise directement par les activités humaines.

Il est reconnu que les oxydes d'azotes sont en tant que polluants primaires précurseurs des oxydants photochimiques et en particulier l'ozone qui est identifié comme un problème environnemental majeur avec des répercussions graves pour la santé, l'agriculture et les forêts.

Cet ozone, qui est unique dans son genre en ce sens que c'est un polluant qui existe en teneur naturelle appréciable, est le principal constituant du smog photochimique qui serait d'après le dernier rapport du PNUE de 1992 responsable de 6 morts par jour à Athènes.

A ce titre, il est nécessaire de porter dans notre pays une surveillance accrue à ce polluant et à ces précurseurs, les NOx. La connaissance de leurs niveaux d'évolution est d'autant plus importante que la latitude Nord où nous vivons fait l'objet d'une intense radiation solaire qui favorise les transformations photochimiques régissant le système polluants précurseurs - ozone secondaire.

L'objectif de notre étude, qui s'inscrit dans un vaste projet initié par notre département et concernant la pollution atmosphérique dans le Grand Alger, vise à fournir des données concernant les points suivants :

- Identification du lien entre la source et les teneurs dans l'air ambiant.
- Identification des cycles diurnes et nocturnes des polluants NO, NO₂ et O₃.
- Rassembler le maximum d'informations pour optimiser une éventuelle installation d'un réseau de surveillance.
- Et enfin comparer l'état de l'atmosphère d'Alger avec celui des grandes villes connues par leur fortes pollutions.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LA POLLUTION
ATMOSPHERIQUE
NATURE ET SOURCES DE
QUELQUES POLLUANTS
GAZEUX

I - 1. INTRODUCTION

Une atmosphère est considérée comme étant pure lorsqu'elle ne contient que les composés naturels répartis selon les proportions suivantes [1] :

. AZOTE	:	78,03 %
. OXYGENE	:	20,99 %
. ARGON	:	0,94 %

CO₂ , H₂ , gaz rares , 0,04 %

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 ces composants , est susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou créer une gêne.

C'est ainsi que la Communauté Economique Européenne (C.E.E.) définit la pollution atmosphérique comme étant "l'Introduction dans l'atmosphère par l'homme, directement ou indirectement de substances ou d'énergie ayant une action nocive de nature à mettre en danger la santé de l'homme, à endommager les ressources biologiques et les écosystèmes, à détériorer les biens matériels et à porter atteinte ou à nuire aux valeurs d'agrément et aux autres utilisations légitimes de l'environnement "[1].

Dans les grands centres urbains, dans les zones industrielles et parfois même les zones rurales, l'atmosphère reçoit de plus en plus de rejets divers qui ont conduit à la modification de sa composition naturelle et ont provoqué en certains endroits des changements de ces propriétés .

Il en résulte alors une pollution atmosphérique qui représente, par son origine (naturelle ou anthropique), par son ampleur (à l'échelle régionale, urbaine et planétaire) par ses contaminants (transformation dans l'atmosphère) et par ses nuisances (effet de synergie) , un ensemble fort complexe et difficile à maîtriser.

Nous présenterons dans ce qui suit quelques aspects de la pollution atmosphérique. Toutefois et compte tenu de l'objectif de cette étude, nous nous limiterons aux généralités ayant trait aux oxydes d'azote (NOx) et à l'ozone (O3).

I.2. LES OXYDES D'AZOTE

Le terme oxydes d'azote désigne un groupe de gaz composés uniquement d'oxygène et d'azote. Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO2) sont les deux oxydes d'azote, les plus abondants dans l'atmosphère polluée. La somme des teneurs des deux gaz est désignée communément par les Nox.

Le protoxyde d'azote (N2O), émis en forte proportion par voie naturelle, n'a pas d'effet nuisible connu et n'est pas considéré comme gaz polluant.

Les sources de ces polluants peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique.

I.2.1. LES SOURCES NATURELLES

Les oxydes d'azote se forment par voie naturelle lors des procédés de combustion, pendant les processus de biodégradation des matières organiques sous l'action bactérienne dans le sol et lorsque des phénomènes comme la foudre, les activités volcaniques et les incendies de forêts se produisent.

6

On a évalué à 340.10⁶ tonnes environ le total annuel des émissions naturelles de ces oxydes répartie sur la totalité de la surface terrestre [3], les concentrations atmosphériques qui en résultent à l'échelle du globe sont pratiquement négligeables.

I.2.2. LES SOURCES ANTHROPOGENIQUES.

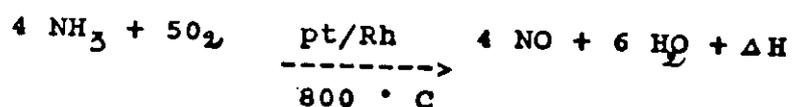
Les sources anthropogéniques peuvent être fixes, diffuses ou mobiles. Leur émissions sont beaucoup plus localisées que les émissions naturelles et entraînent par conséquent des concentrations excessives dont l'impact au niveau individuel, collectif ou régional est important. A l'échelle mondiale les NOx émis sont estimés à 53.10⁶ T/an [3].

On distingue en général les sources suivantes :

- Les procédés industriels
- Les installations de combustion
- Le trafic routier

I.2.2.1. LES PROCÉDES INDUSTRIELS

Les émissions totales en NOx dues aux processus industriels sont relativement faibles. Certains processus sont cependant d'importantes sources locales d'oxydes d'azote. La préparation de l'acide nitrique où le procédé consiste à la combustion catalytique de l'ammoniac en présence d'air.



en est un exemple typique.

Au cours de ce processus, les oxydes d'azote évacués peuvent atteindre à la sortie de la cheminée quelques g/m³ de fumées émises [1].

La galvanoplastie, la fabrication des colorants et les procédés de traitement où intervient l'acide nitrique contribuent d'une façon notable à l'émission des NOx.

I.2.2.2. LES INSTALLATIONS DE COMBUSTION.

Le chauffage domestique, les foyers de combustion de l'industrie les centrales thermiques alimentées en fuel, en gaz naturel ou en charbon sont à l'origine d'émission des oxydes d'azote. Ils produisent principalement le NO qui se transforme rapidement en NO₂.

En effet, l'azote contenu dans le comburant air réagit dans la flamme pour donner le monoxyde d'azote (NO), une partie de l'azote peut provenir du combustible lui-même.

Avec l'amélioration de la combustion dans les grands foyers, on a certes réduit le taux des émissions de CO et d'hydrocarbures, mais les hautes températures ainsi atteintes favorisent une plus importante formation de NOx.

Les émissions qui en résultent se composent environ de 90 % de NO et quelques 10 % de NO₂ [3].

Une proportion plus importante de NO sera oxydée par la suite de la dilution dans l'atmosphère, par diverses voies chimiques ou photochimiques.

I.2.2.3 . LE TRAFIC ROUTIER

Les sources mobiles, notamment les véhicules privés, publics et utilitaires représentent la plus importante source anthropogénique des NO_x. Localisé dans les grands centres urbains, le trafic routier influence donc sur la qualité de l'air d'une importante population.

Selon les pays et leur degré de développement, on impute au trafic routier environ 50 à 70 % du taux global des NOx émis par voie artificielle.

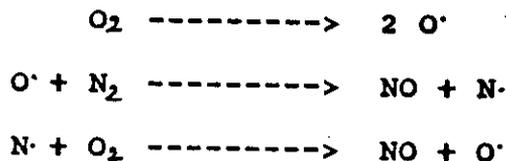
Nous représentons au tableau N° 1 la contribution du trafic routier dans la pollution de quelques villes.

VILLE	ANNEE	CO	HC	NO	SpM	SO	TOTAL
MEXICO	1989	97 %	52 %	74 %	2 %	20 %	76 %
SANTIAGO	1988	81 %	48 %	90 %	6 %	13 %	63 %
SAO PAULO	1987	94 %	76 %	89 %	22 %	59 %	86 %
BOMBAY	1982	86 %	20 %	44 %	3 %	-	31 %
KOWEIT	1987	96 %	76 %	26 %	3 %	11 %	33 %
MANILLA	1987	93 %	82 %	73 %	60 %	12 %	71 %
SEOUL	1983	15 %	40 %	60 %	35 %	7 %	35 %
SARAJEVO	1983	82 %	35 %	68 %	23 %	5 %	-
ANKARA	1990	77 %	62 %	44 %	2 %	3 %	57 %

SPM : matières particulaires en suspension.

tableau N° 1 pollution atmosphérique imputable au trafic routier dans quelques villes [5].

Dans le moteur à explosion, quelque soit le carburant utilisé (essence, diesel, GPL) les NOx se forment toujours suivant le même schéma. Aux températures élevées qui règnent dans la chambre de combustion, il y a dissociation de l'oxygène moléculaire avec formation d'atomes d'oxygène très réactifs. Ces derniers réagissent avec l'azote pour former le NO[6].



Ainsi et d'après ces réactions, le NO se forme partout partout où règnent des températures suffisamment élevées nécessaires à la dissociation des molécules O₂ (ceci inclu naturellement les cuisines dans les ménages).

Etant fonction de la température, le taux de NO évacué par les échappements des véhicules dépendra du régime ou vitesse de circulation et du mode d'allumage mis en place (moteur essence ou Diesel).

Bien que les quantités d'air nécessaires pour assurer une combustion théorique ou stochiométrique de l'unité de masse d'essence ou de diésel soient pratiquement les mêmes, 14,5 à 14,6 Kg d'air par Kg de combustibles, le moteur à allumage commandé émet des quantités de polluants gazeux plus élevées que le moteur à compression. Dans ce dernier les températures de fonctionnement sont légèrement plus basses, d'où une émission plus faible de NOx.

D'autres part les taux d'émissions dépendent du mode de fonctionnement qui est d'ordinaire divisé en 4 phases :

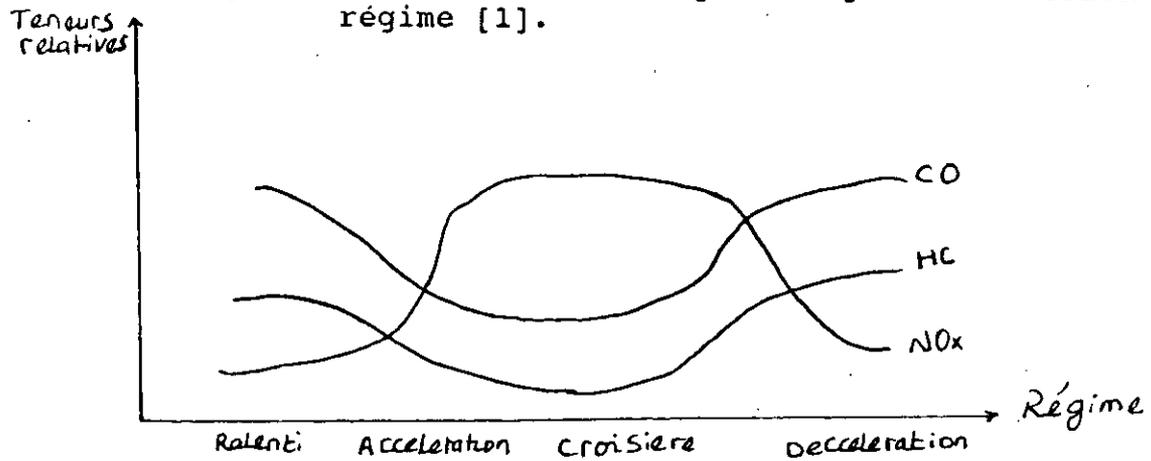
- phase de ralenti
- phase d'accélération
- phase de croisière
- phase de deceleration.

Nous résumons dans le tableau N° 2 et la figure N° 1 l'abondance relative des polluants émis selon le type de moteur et le mode de fonctionnement .

Polluants	moteur à allum.com.				moteur à allumage par compression			
	Ral	Acc	Croi	Dec	Ral	Acc	Croi	Dec
Monoxyde de carb	xxx	xx	x	x	o	o	o	o
HC imbrulés	xx	x	x	xx	xx	x	x	xxx
Nox	x	xx	x	x	x	xx	x	xx
Sox	o	o	o	o	x	x	x	x
pb	x	x	x	x	o	o	o	o
Particul.solides	x	x	x	xx	xx	xxx	xx	xx
odeurs	x	x	x	xx	xx	xxx	xx	xx
produits d'oxydation partielle	x	x	x	o	xx	x	x	xx
contribution à la formation du smog	très significative				Relativement significative			
Emission : nulle = o, Faible = x ; moyenne = xx ; abondante = xxx:								

Tableau N° 2 abondance relative des polluants émis selon le type de moteur et le mode de fonctionnement [7].

fig N°1 évolution schématique des polluants selon le régime [1].



Il en résulte que globalement les Nox varient dans le sens inverse du CO et des HC volatils.

L'évolution en fonction de la richesse du mélange combustible-comburant est représentée par le fig N° 2 [4].

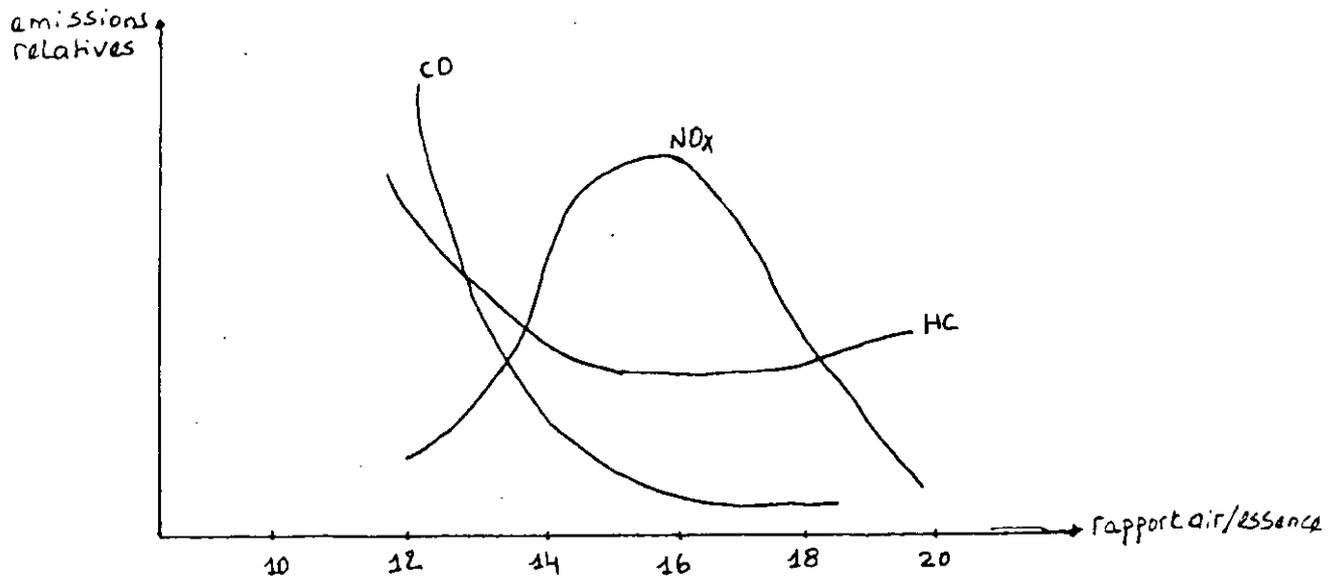


fig N° 2 effet du rapport comburant-combustible sur la composition des échappements (4).

La figure montre qu'au rapport faible (mélange riche) la température de la flamme est assez basse, la combustion est incomplète et on enregistre de fortes émissions de CO et d'HC, les NOx sont par contre au minimum. Au point stochiométrique; c'est approximativement l'inverse qui se produit.

En terme de quantité on a déterminé qu'un véhicule moyen émet en général [1]:

- . 1,8 g / Km de NO
- . 22 g / Km de CO
- . 2,82 g / Km de HC
- . 00,012 / Km de Pb

I.2.3. LES NIVEAUX DE POLLUTION

I.2.3.1. CONCENTRATIONS DE FONDS

Les données exploitables montrent que le taux naturel de fonds du dioxyde d'azote au dessus des étendues terrestres va de 0,2 à 5 ppb et que celui du monoxyde d'azote varie entre 0 et 6 ppb [8].

Ces concentrations sont de 10 à 100 fois plus faibles que celles qu'on observe dans les zones urbaines.

I.2.3.2. CONCENTRATIONS URBAINES

Les concentrations urbaines de monoxyde, de dioxyde et d'autres oxydes d'azote ont été mesurées en cours des dernières années dans plusieurs pays. Les résultats obtenus ont généralement été communiqués sous forme de moyennes horaires, journalières ou annuelles.

Les taux annuels moyens de NO relevés dans l'atmosphère des grandes villes s'échelonnent de 40 à 77 ppb [8].

Le tableau n° 3 représente les concentrations moyennes à court terme de dioxyde d'azote relevées en différentes villes du monde.

VILLES	Moyenne Annuelle	Moyenne Horaire Maximale	Moyenne Journalière Maximale	Moyenne Mensuelle Maximale
NEW YORK	40	-	121	-
TOKYO	43	420	213	52
FRANCFORT	40	-	-	-
OSAKA	43	320	114	57
CHICAGO	23	-	57	-

Tableau n° 3 Concentration (ppb) de dioxyde d'azote dans différentes agglomérations urbaines 1974 [8].

I.3 - L'OZONE

A l'inverse des Nox et autre polluants classiques, l'ozone est un polluant secondaire qui n'est pas émis directement par les activités humaines, mais qui prend naissance dans l'atmosphère à la suite de transformations photochimiques de ses précurseurs qui sont Nox et les HC. Dans les zones polluées l'ozone anthropique vient s'ajouter à l'ozone troposphérique naturel.

I.3.1 - L'OZONE TROPOSPHERIQUE NATUREL

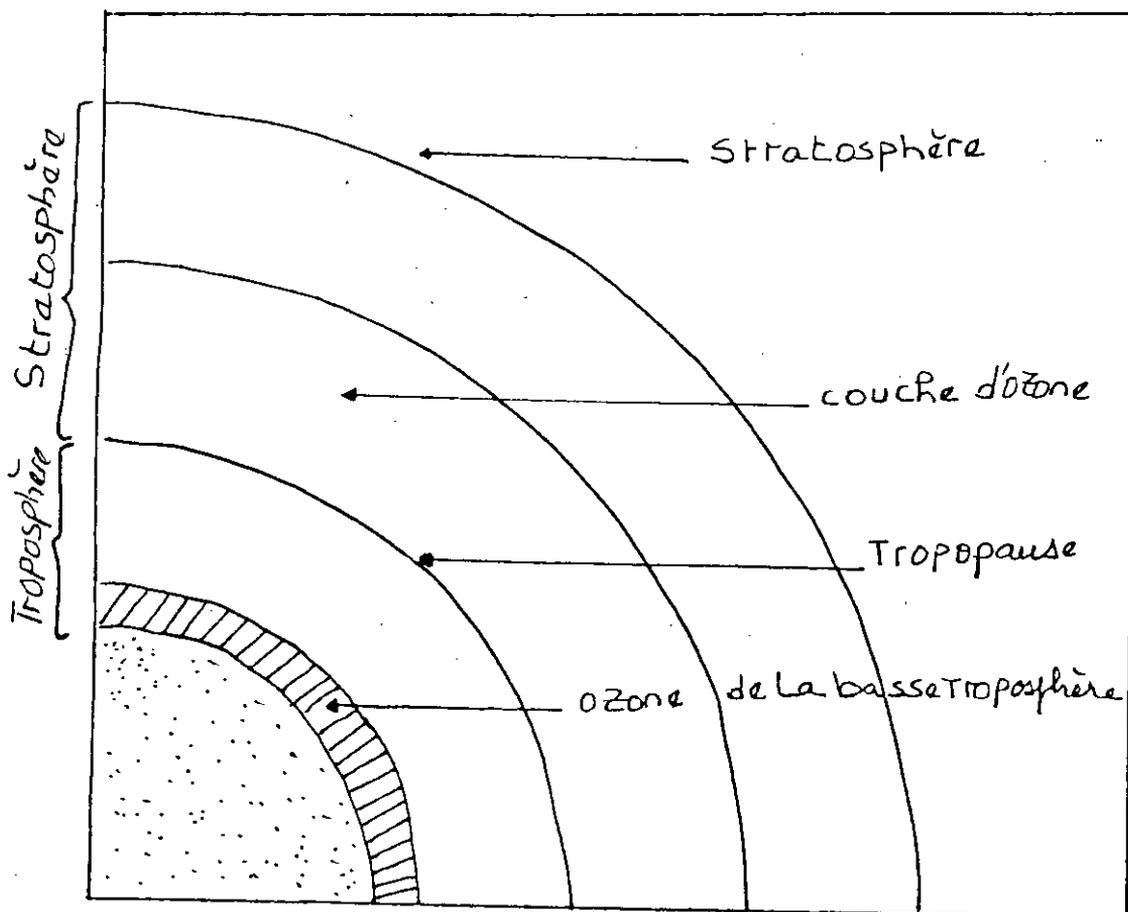
L'ozone qui est un constituant naturel de la stratosphère est en partie transféré dans la haute troposphère et même jusqu'au sol par intrusion d'air stratosphérique. Ces intrusions résultent des perturbations de la structure thermique de la frontière troposphère - stratosphère [9].

Par voie photochimique, l'ozone est aussi formé à partir de composants traces naturels de l'atmosphère. Comme composants, on cite souvent les HC naturels tels que les terpènes issus des forêts.

Parmi les autres sources naturelles, il faut mentionner l'action des éclairs et des foudres.

Tout ces processus sont responsables des concentrations fond de l'ozone naturel. Il sont à l'origine d'environ 20 à 30 % de l'ozone troposphérique [10]

La fig n° 3 illustre d'une manière schématique la répartition de l'ozone atmosphérique [11].



I.3.2 - L'OZONE ISSU DES PRECURSEURS ANTHROPIQUES

Parallèlement à l'ozone naturel, l'atmosphère contient des quantités importantes d'autres polluants qui contribuent à augmenter considérablement les teneurs troposphériques en ozone.

Ces polluants dénommés "précurseurs des photooxydants", sont les hydrocarbures ou plus exactement les composés organiques volatiles (COV) et les oxydes d'azote. Ces composés rappelés là, sont des contaminants atmosphériques du monde industriel dont la présence dans l'environnement est associée aux activités liées aux industries, aux processus de combustion et surtout aux moyens de transport.

Le rôle des composés organiques dépend de leur réactivités et de leur capacité à former par activité photochimiques des radicaux organiques très réactifs. Ces derniers accélèrent la conversion de NO en NO₂ et intensifient donc le processus de formation d'ozone. Un aperçu plus détaillé de ces transformations photochimiques sera discuté dans le chapitre III.

On comprend maintenant l'importance du trafic routier en milieu urbain qui est responsable de plus de la moitié des émissions de précurseurs de l'ozone.

Par ailleurs, les conditions météorologiques propices au transport des précurseurs et à leur transformation photochimique favorisent la formation de cette ozone.

I.3.3 - TENEURS USUELLEMENT RENCONTREES

I.3.3.1 - TENEURS DE FOND

Dans les régions éloignées des zones polluées, l'ozone se retrouve à des teneurs plus ou moins constantes avec quelques variations saisonnières.

La teneur troposphérique naturelle oscille entre 5 et 40 PPB [12], sa distribution globale dépend de la latitude.

Certains auteurs estiment que pour les latitudes Européenne, la teneur du milieu naturel oscille autour de 45 PPB [12].

Nous reproduisons en fig n° 4 la distribution globale de l'ozone de fond en fonction du mois et de la latitude [12].

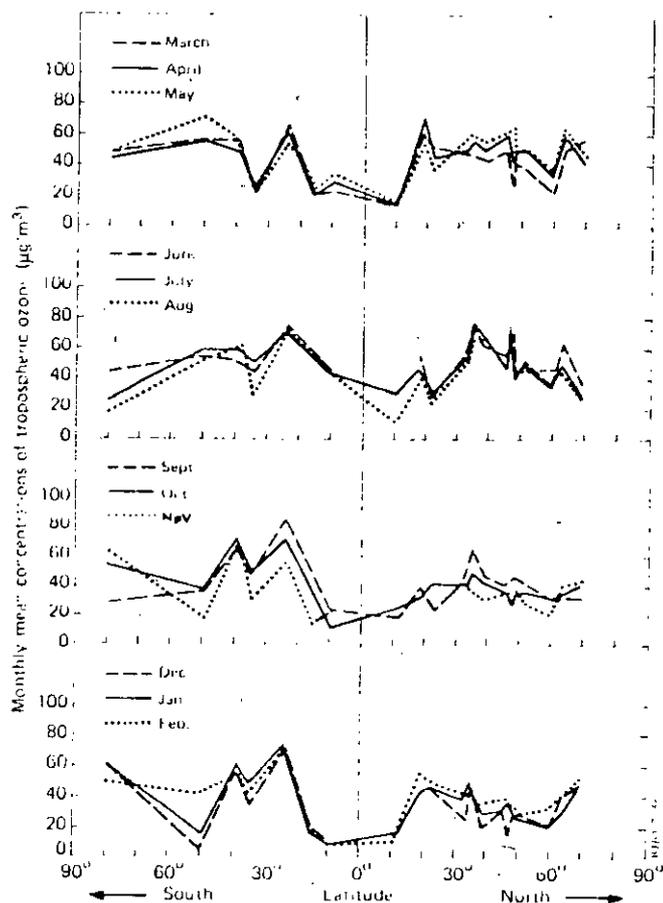


Fig n°4 distribution globale de l'ozone de fond en fonction du mois et de la latitude

I.3.3.2 - TENEURS URBAINES

Comme les oxydants photochimiques sont le produit de réactions induites par le rayonnement solaire, les concentrations élevées en oxydants se rencontrent en général sur une période de quelques 4 à 6 heures seulement de la journée soit le 1/4 de l'intervalle de 24 heures. De ce fait, les moyennes journalières, mensuelles ou annuelles sont fortement nivelées et on préfère discuter les teneurs mesurées sur la base de teneurs horaires maximales ou de nombre de jour où les teneurs horaires maximales excèdent un certain niveau fixé.

Ce procédé permet une meilleure compréhension des nuisances qui dans le cas de l'ozone se manifestent sur une période très courte (effet nuisible à court terme). [8]

Les concentrations maximales horaires mesurées dans certaines villes entre 150 et 400 PPb [8].

Le tableau N° 4 résume quelques teneurs horaires d'ozone mesuré dans les grandes villes.

V I L L E S	CONCENTRATIONS (PPB)
BONN, REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE	145
EINDOVEN, HOLLANDE	210
LONDON, ROYAUME - UNIS	147
LOS ANGELES, USA	274
OSAKA, JAPON	160
RIVER SIDE, USA	372
TOKYO, JAPON	190
WASHINGTON, USA	156

Tableau N° 4 concentrations horaires maximales de l'ozone observées dans quelques villes en 1974 [12].

Les variations saisonnières et diurne caractérisent les photooxydants, ces variations temporelles résultent de la :

- variation dans les teneurs des précurseurs
- variation dans le transport et la dilution des polluants

- variation dans les conditions météorologiques, en fonction de l'évolution diurne des radiations solaires et du débit des précurseurs émis, le maximum en ozone se rencontre fréquemment en début d'après-midi.

Les fig. N° 5 et N° 6 représentent des exemples de l'évolution diurne de l'ozone mesuré à Londres et à Bonn.

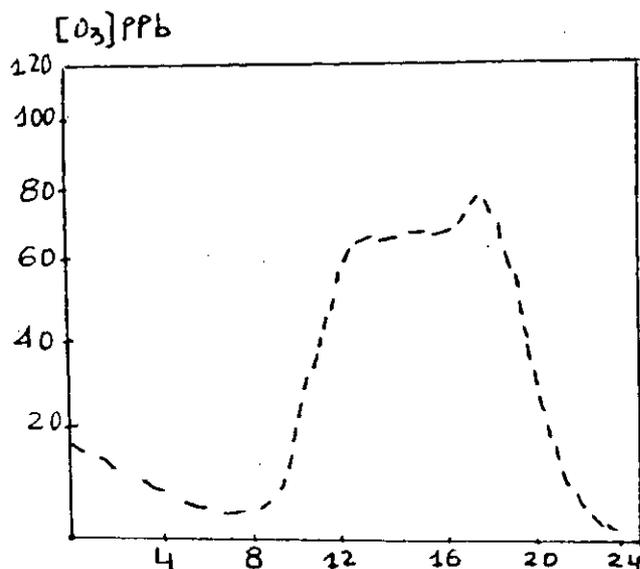


fig N°5 Evolution journalière de l'ozone, le 12 juillet 1972 Londres, Royaume Uni [12].

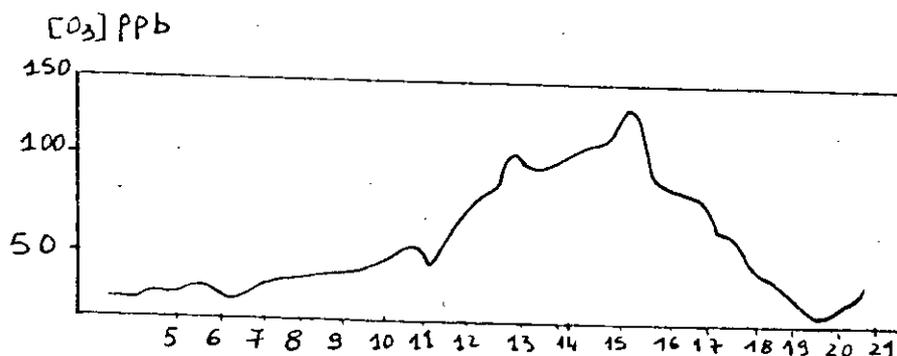


fig N°6 Evolution diurne de l'ozone, le 24 Aout 1974 Bonn, R.F.A. [12].

I.3.3.3. TENEURS RURALES

Souvent en milieu rural , on rencontre des concentrations excessives en ozone. Ces teneurs résultent du transport par le vent des polluants émis en milieu urbain vers des zones éloignées de toutes sources polluantes, ainsi il n'est pas rare de mesurer plus de 60 ppb d'ozone à des distances sous le vent dominant de 20 à 200 Km des villes [8].

CHAPITRE II
DISPERSION DES POLLUANTS
DANS L'ATMOSPHERE

II . 1 - STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE

L'atmosphère représente l'air qui entoure la planète.

En fonction de l'altitude à partir du sol, l'atmosphère connaît des variations dans sa température et dans sa composition moléculaire. Ces variations dans la basse atmosphère ont conduit à une division de l'atmosphère en couche distinctes, nous représentons en figure n° 7 la répartition des couches atmosphériques selon l'altitude, la pression et la température [3] .

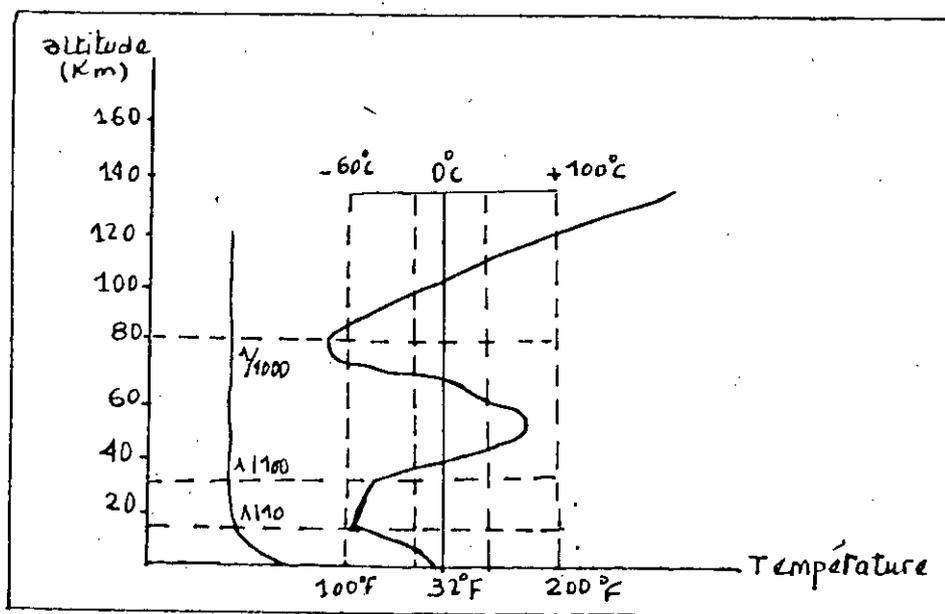


Fig n° 7 " Structure de l'atmosphère "

C'est dans la basse couche, la troposphère que se déplacent et se diluent les polluants (certains polluants plus stables peuvent être transportés jusqu'à la stratosphère). Cette dispersion dépend de facteurs météorologiques qui favorisent l'éloignement des polluants, où au contraire tendent à provoquer leur accumulation.

Les principaux facteurs météorologiques sont le vent et la température.

II.2- LE VENT

Il trouve son origine dans les mouvements d'air chaud de l'équateur qui s'élève et qui est remplacé par un courant d'air froid venant du pôle.

Il est caractérisé par sa direction et sa vitesse. les vents qui se reproduisent le plus souvent dans une région sont appelés vents dominants et les polluants émis suivent leur cours.

Les polluants gazeux issus des hautes cheminées peuvent monter jusqu'à 2 000 mètres puis poussés par les vents ils voyagent sur des milliers de km donnant naissance à la pollution transfrontière. A côté de la direction, il y'a la vitesse de déplacement du courant d'air, le pouvoir de dispersion des vents débute à partir de très faible valeurs de l'ordre de 2 m/s et plus la vitesse augmente plus le balayage des émissions est important cependant, le régime des vent peut être modifié par certains facteurs topographiques; la présence de collines obligent les vents à effectuer des trajets préférentiels, aussi les vallées constituent un couloir où s'engouffrent les vents.

En raison de l'importance que présentent les vents du point de vue pollution atmosphérique, il est nécessaire de faire une étude approfondie de leur régime avant l'implantation d'usines émettrices de polluants.

L'étude doit porter sur plusieurs années et doit aboutir au tracé de "la rose des vents" qui représente un diagramme polaire à 8 ou 16 directions (Nord, Nord Sud, Est Sud, NNE,.....) sur chacune desquelles on porte la fréquence avec laquelle le vent a soufflé UNE telle représentation est donnée en figure n° 8.

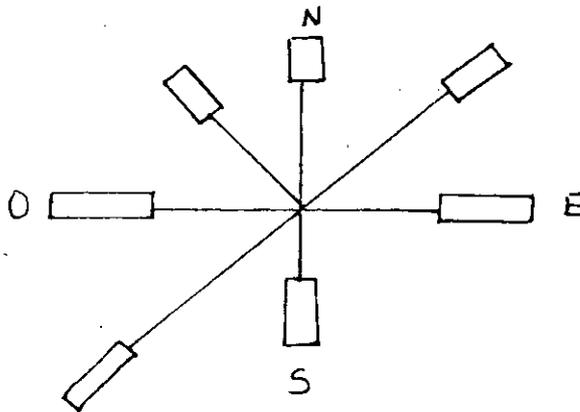


Fig n° 8 " La rose des vents"

Comme le vent peut être un facteur favorisant la dispersion des polluants, il peut devenir dans certaines circonstances un facteur contribuant à leur accumulation, ce phénomène est présent lorsque le vent souffle à des vitesses relativement faibles ou dans le cas de calme atmosphérique en l'absence des courants d'air.

II. 3 - TEMPERATURE DE L'AIR

En règle générale, lorsqu'on s'élève en altitude on observe une baisse régulière de température, environ $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (gradient adiabatique de température dans la troposphère), cette variation entraîne un mouvement verticale : la convection thermique verticale, c'est l'un des phénomènes les plus important qui représente l'ascension de l'air d'une couche inférieure de l'atmosphère à la suite de son échauffement par le soleil, cette situation contribue à l'autopurification de l'atmosphère car dans ce courant ascendant les polluants subissent un entrainement en même temps que les masses d'air qui les contiennent.

Le phénomène de convection thermique est proportionnel au degré d'échauffement du soleil la durée de cet échauffement est fonction de la différence entre le niveau de température de l'air au sol et celui des hauteurs élevées de l'atmosphère.

Cependant à certaines périodes, ce phénomène s'inverse et on assiste alors à l'inversion thermique : la température de l'air des couches élevées est plus grande que celle au niveau du sol, les polluants ne subissent plus d'éloignement, ils s'accumulent dans la couche inférieure jusqu'au niveau de la couche d'inversion qui peut être épaisse de quelques mètres jusqu'à des centaines de mètres.

Une représentation schématique de la couche d'inversion est représentée en figure n° 9.

L'inversion thermique nocturne est un phénomène naturel car pendant la nuit le sol se refroidit plus vite que l'atmosphère plus élevée, le matin, les premiers rayons du soleil détruisent l'inversion mais il existe des cas où le réchauffement soit insuffisant "temps couvert" et dans ce cas l'inversion peut durer un jour et même parfois plusieurs jours. Dans le cas de la superposition dans les hauteurs d'une masse d'air chaude et d'une masse d'air froide au niveau du sol, une inversion thermique est possible.

On peut donc comprendre qu'une couche d'inversion puisse s'opposer à la diffusion des polluants en plus si elle est de basse altitude et que les émissions sont importantes, la concentration au niveau du sol peut croître dangereusement, de ce fait, la couche d'inversion constitue un facteur favorisant l'accumulation des polluants.

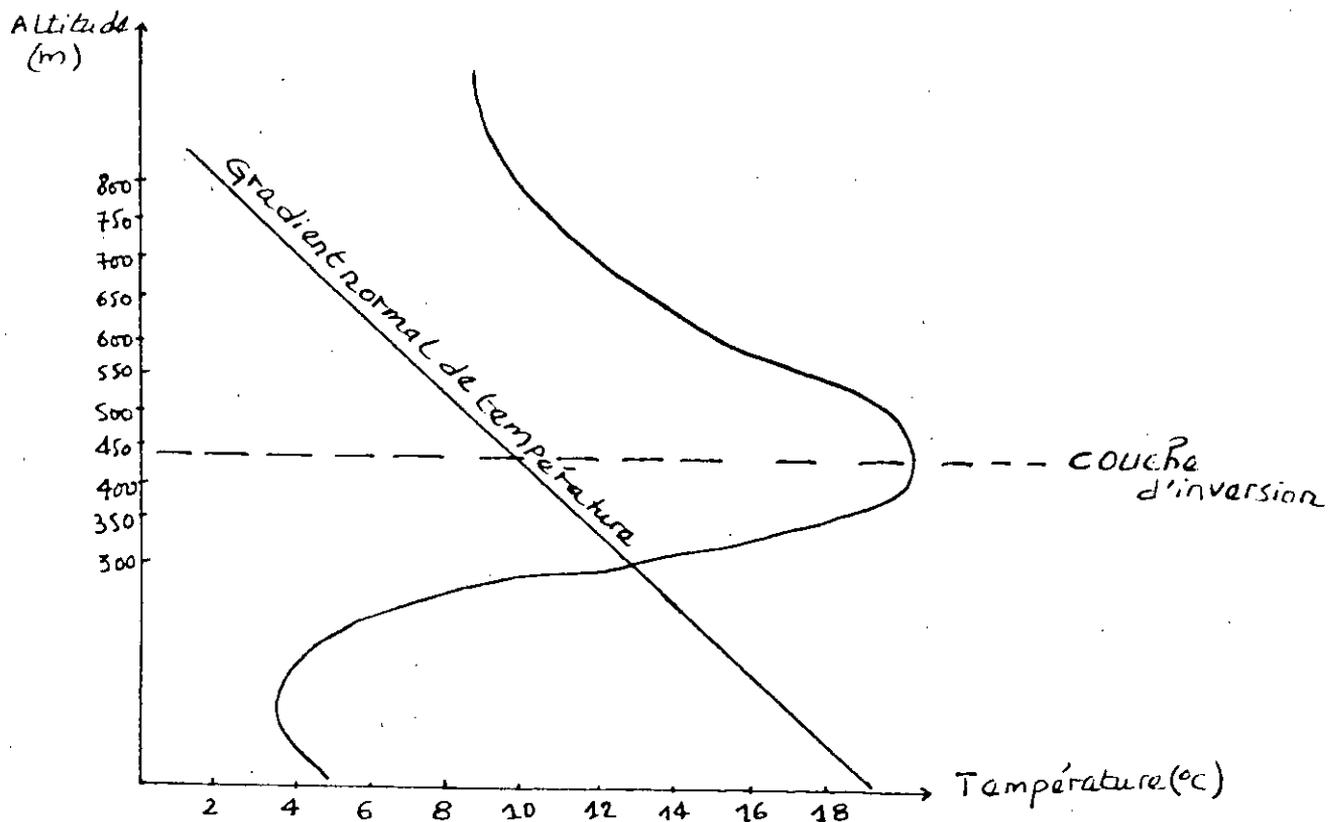
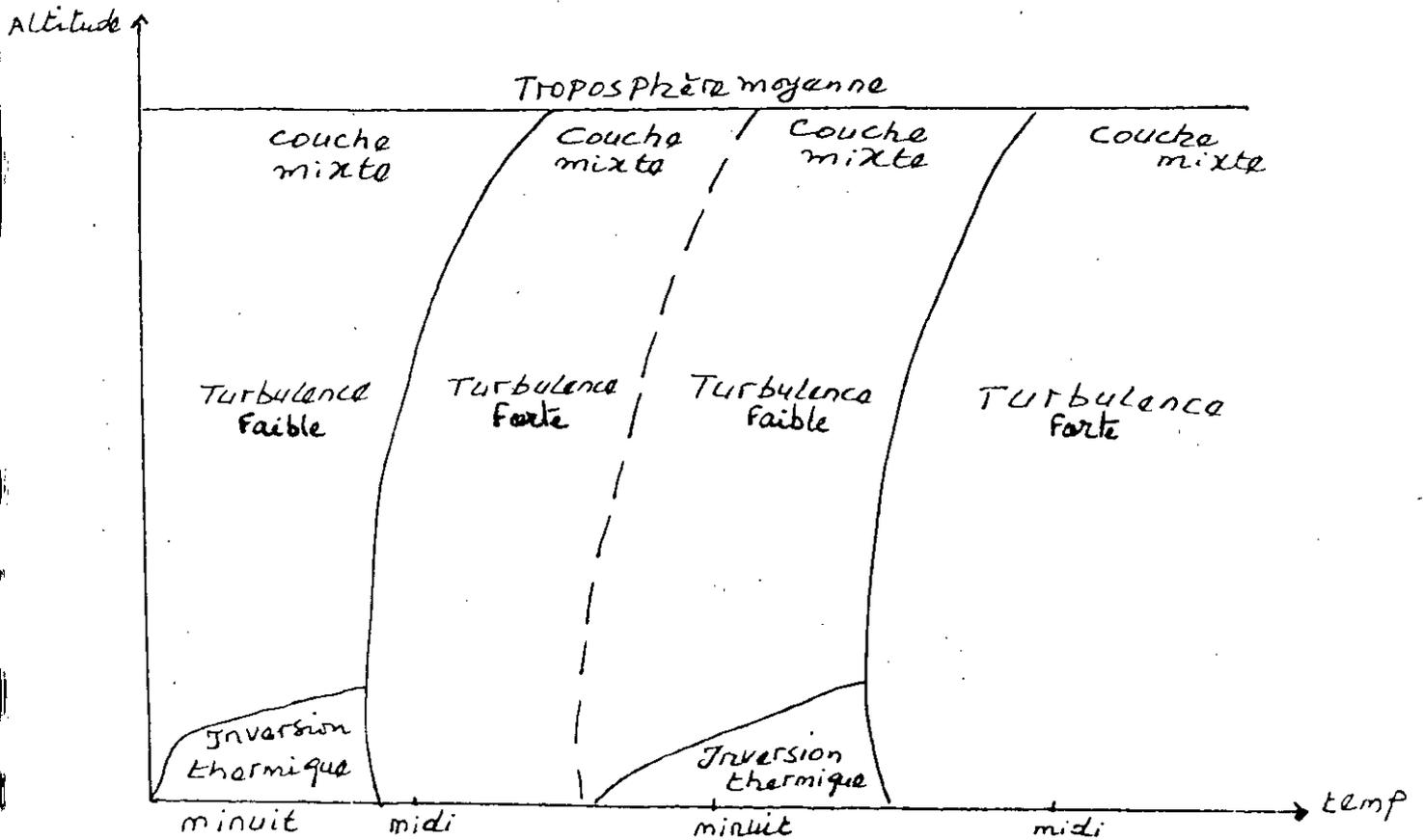


Fig n° 9 " couche d'inversion"

Dans, de telles situations, la couche de mélange (c'est la couche où ont lieu par turbulence les échanges entre l'air pollué et l'air propre) a une hauteur quasi nulle.

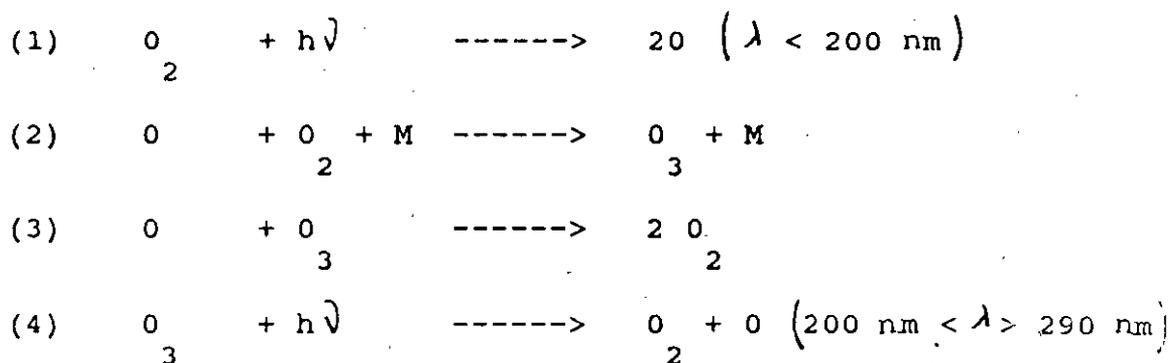
En situation normale, cette hauteur augmente avec le lever du soleil et atteint un maximum à midi.

Nous illustrons en figure n° 10 l'évolution de la hauteur de la couche de mélange sur une période de 36 h par beau temps [13].



évolution de la hauteur par beau temps [13]

CHAPITRE III
TRANSFORMATIONS CHIMIQUES
DANS L'ATMOSPHERE ET
FORMATION DU SMOG
PHOTOCHEMIE



M est un troisième corps (N_2 ou O_2) qui absorbe l'énergie de collision.

La concentration d'ozone dans la stratosphère non polluée résulte donc d'un équilibre entre sa production par les réactions (1) et (2) et sa destruction par l'absorption des radiations solaires aux longueurs d'ondes inférieures à 290 nm selon la réaction (4).

Dans la stratosphère la concentration maximale se rencontre à des altitudes de 25 à 35 km.

En présence dans la stratosphère de composés photodissociables l'équilibre naturel de l'ozone est perturbé et il y a destruction de l'ozone ou réduction de sa régénération.

Les composés principalement incriminés dans ce processus sont les chlorofluorocarbones (CFC).

Les CFC sont des composés stables de très longue durée de vie qui atteignent la stratosphère. A des altitudes de 20 à 30 km, ils subissent une photodissociation par les radiations UV.

. Des espèces "sources" (CFC, CH₄ , H₂O, NO₂) qui sont dissociées par les rayonnements UV.

. Des espèces " réservoirs" (Hcl, HOcl, NO₂, NO₂O₅) qui couplent les radicaux diminuant ainsi leur capacité de destruction de l'ozone.

. Des espèces "puits" constituées par les espèces acides (Hcl, HNO₃, H₂O₂).

L'action des radicaux cl et cl O dans l'étude des trous d'ozone au dessus de l'antarctique a été clairement mise en évidence par une équipe de chercheurs Britaniques qui ont étudié la diminution de l'ozone en fonction des radicaux chlorés

Nous représentons en fig n° 11 les résultats auxquels ils ont aboutit.

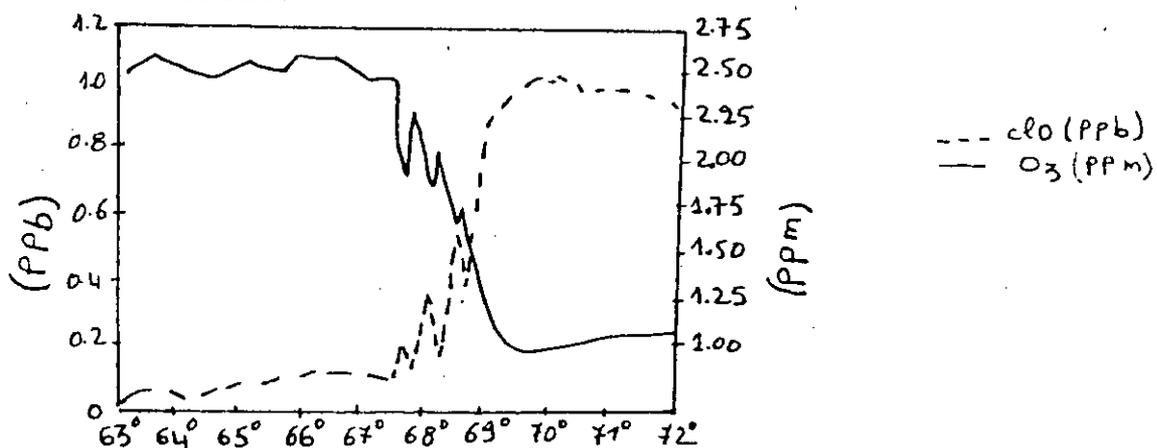
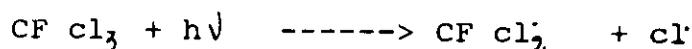
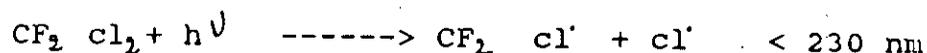


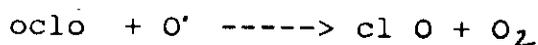
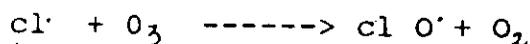
Fig n° 11 Réduction de l'ozone par les clO issus des CFC[15]

Depuis, plusieurs scénarios ont été proposés quant à l'impact de l'arrêt de production des CFC sur la couche d'ozone.

Le remède étant simple, il suffit d'interdire l'utilisation générale des CFC.

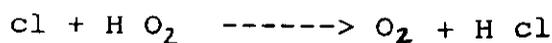
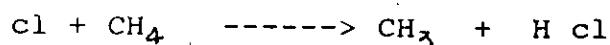


Le radical Cl^\bullet ainsi libéré réagit avec l'ozone en donnant l'oxygène moléculaire.

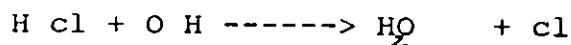


Il en résulte les radicaux Cl et ClO qui transforment en chaîne l'ozone en oxygène [1].

Parallèlement et comme la stratosphère contient les composants OH , HO_2 , HCl et CH_4 , on a les réactions :



et



(HCl peut être éliminé par les pluies dans la basse stratosphère).

Globalement, les réactions stratosphériques font intervenir :

. Des espèces "sources" (CFC, CH₄ , HO₂, NO) qui sont dissociées par les rayonnements UV.

. Des espèces "réservoirs" (HCl, HOCl, NO₂, NO₂O₅, ClONO₂) qui couplent les radicaux diminuant ainsi leur capacité de destruction de l'ozone.

. Des espèces "puits" constituées par les espèces acides (HCl, HNO₃, HO₂).

L'action des radicaux Cl et ClO dans l'étude des trous d'ozone au dessus de l'antarctique a été clairement mise en évidence par une équipe de chercheurs Britanniques qui ont étudié la diminution de l'ozone en fonction des radicaux chlorés

Nous représentons en fig n° 11 les résultats auxquels ils ont aboutit.

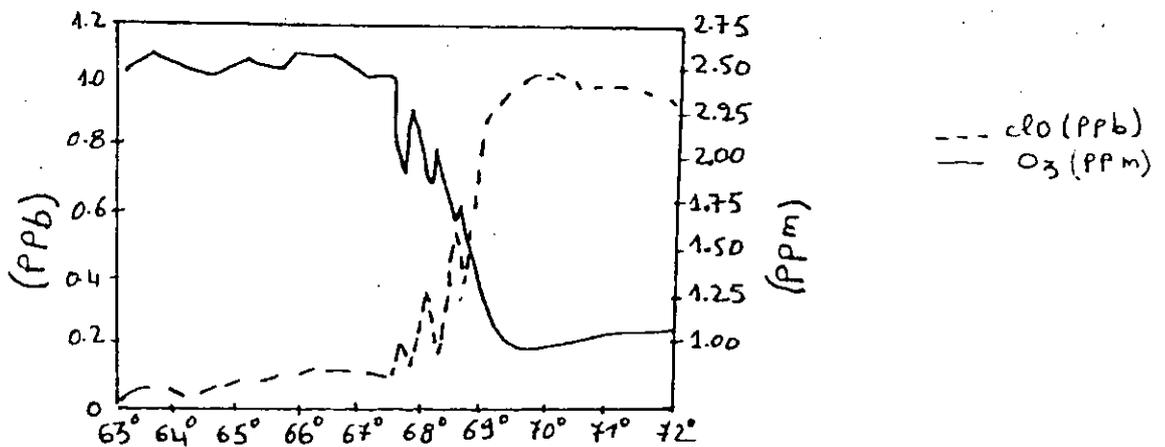


Fig n° 11 Réduction de l'ozone par les ClO issus des CFC [15]

Depuis, plusieurs scénarios ont été proposés quant à l'impact de l'arrêt de production des CFC sur la couche d'ozone.

Le remède étant simple, il suffit d'interdire l'utilisation générale des CFC.

III - 3 - REACTIONS CHIMIQUES DANS LA TROPOSPHERE [14,9,18]

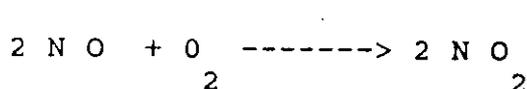
Toute la partie du spectre de longueur d'onde inférieure à 290 nm est totalement absorbée dès les premières couches denses de l'atmosphère terrestre (80 à 100 km d'altitude) la lumière de longueur d'onde comprise entre 240 et 290 nm est absorbée par l'ozone stratosphériques entre 20 et 50 km.

A cause de cette absorption importante par l'ozone stratosphérique, le rayonnement solaire arrivant dans la troposphère ne contient que des longueurs d'ondes supérieures à 290 nm, en conséquence, seuls les phénomènes de photodissociations ayant lieu dans le domaine de longueurs d'ondes supérieures à 290 nm ont une incidence sur la chimie de la troposphère. En effet, dans cette couche, la quasi-totalité des réactions chimiques ayant lieu dans la phase gazeuse procède d'un mécanisme radicalaire induit par la photolyse de certains composés tels que le dioxyde d'azote et l'ozone.

III - 3 . 1 - CYCLE PHOTODYNAMIQUE DES OXYDES D'AZOTE

III - 3 - 1 - 1 - EN MILIEU NON POLLUE

En milieu ambiant où règne une bonne turbulence, l'oxydation thermique du NO en NO_2 d'après la réaction



est une réaction très lente, de façon qu le NO dilué dans l'atmosphère échappe à l'oxydation.

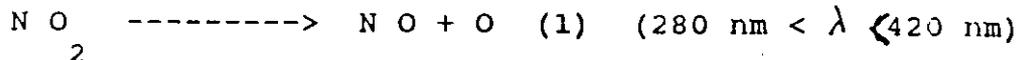
En effet, sa vitesse de formation s'exprime par :

$$\frac{d \text{NO}_2}{dt} = K [\text{NO}]^2 [\text{O}_2]$$

Cette équation cinétique montre que la production de NO_2 est proportionnelle au carré de la concentration de NO , c'est à dire si la concentration de NO est divisée par deux, la vitesse de formation du NO_2 est divisée par quatre.

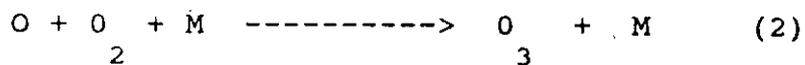
Ceci, montre que dans l'atmosphère où le NO est faible la vitesse de formation est quasi-nulle.

Le NO_2 formé avant dilution du NO est facilement photolysable par le rayonnement solaire de longueur d'onde comprises entre 280 et 420 nm.



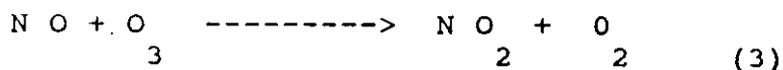
donnant naissance au monoxyde d'azote et à l'oxygène moléculaire.

Cette photolyse, seule source notable d'atomes O est suivie par la réaction de ce dernier avec l'oxygène moléculaire constituant ainsi une des voies de formation de l'ozone dans la basse troposphère.



où M désigne un auxiliaire de collision.

Toutefois, l'ozone étant un oxydant vigoureux réagit rapidement avec les réducteurs. En l'absence d'autres constituants avec le NO pour régénérer le NO_2 .



on note ainsi que la formation est simultanément génératrice de son piège principal : le NO_2 , cette réaction rapide et quantitative peut souvent être considérée comme instantanée à l'échelle du milieu ambiant : c'est, une réaction de titration d'un réactif par l'autre.

Comme la réaction de photolyse du NO_2 est aussi très rapide, on peut tenir le raisonnement suivant : les réactions (1), (2), et (3) forment un ensemble de réactions constituant un équilibre photostationnaire, appelé cycle photodynamique des oxydes d'azote. Dans cet équilibre, le NO est formé et détruit à la même vitesse. La figure n° 12 illustre le cycle photodynamique des NO_x .

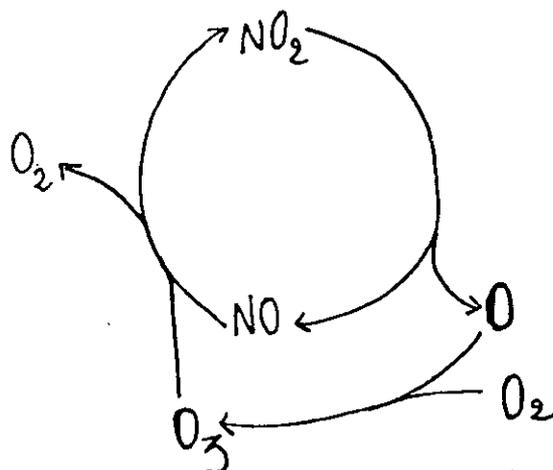


Fig n° 12 cycle photodynamique des NO_x

A cet état d'équilibre on peut appliquer les méthodes de la cinétique classique :

. La vitesse de formation du NO à partir de la réaction de photolyse du NO₂ est :

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = K_1 I [\text{NO}_2]$$

où I désigne l'irradiation solaire.

La vitesse de consommation de l'ozone par la réaction de titration est :

$$-\frac{d\text{O}_3}{dt} = K_2 [\text{NO}] [\text{O}_3]$$

or, NO et O₃ sont formés et détruits à la même vitesse :

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = -\frac{d[\text{O}_3]}{dt}$$

d'où

$$K_1 I [\text{NO}_2] = k_2 [\text{NO}] [\text{O}_3]$$

$$[\text{O}_3] = K \frac{[\text{NO}_2]}{(\text{NO})} \quad \text{avec} \quad K = \frac{K_1}{K_2} I$$

Ainsi les teneurs en ozone dépendent de l'irradiation solaire et du rapport $\frac{[No_2]}{[No]}$

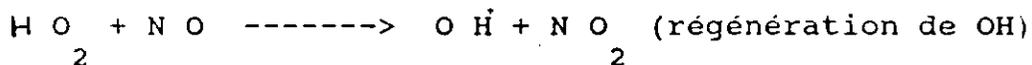
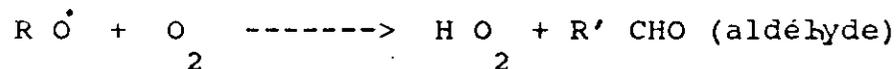
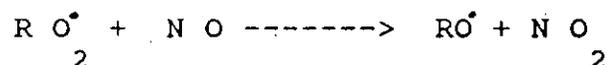
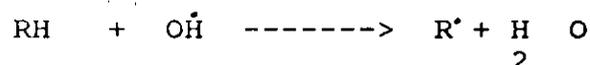
III - 3-1 - 2 - EN MILIEU POLLUE

En situation normale le NO, NO₂ et O₃ sont en équilibre photostationnaire et la concentration de l'ozone reste modérée (le rapport $\frac{[No_2]}{[No]}$ est faible).

$\frac{[No_2]}{[No]}$

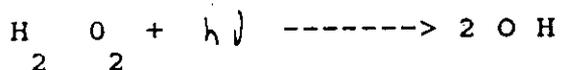
pour avoir une production nette en ozone, comme c'est le cas en période de smog ou dans les grands centres urbains, il est nécessaire que le NO₂ soit formé à partir de l'oxydation du NO par une réaction autre que celle consommant l'ozone, c'est à dire la réaction de titration.

Etant donné que la réaction d'oxydation de NO par l'oxygène moléculaire est lente, d'autres espèces sont donc responsables de la formation du NO₂ à partir du NO, ces espèces devront générer l'ozone et non le consommer, ce rôle est principalement joué par les radicaux libres HO, RO et RCOC qui trouvent leurs sources dans la dégradation photochimiques des hydrocarbures, principalement sous l'action du radical hydroxyle OH.



Ces réactions sont d'autant plus rapides que la concentration de OH est élevée et donc que les voies de formation de ce radical sont efficaces.

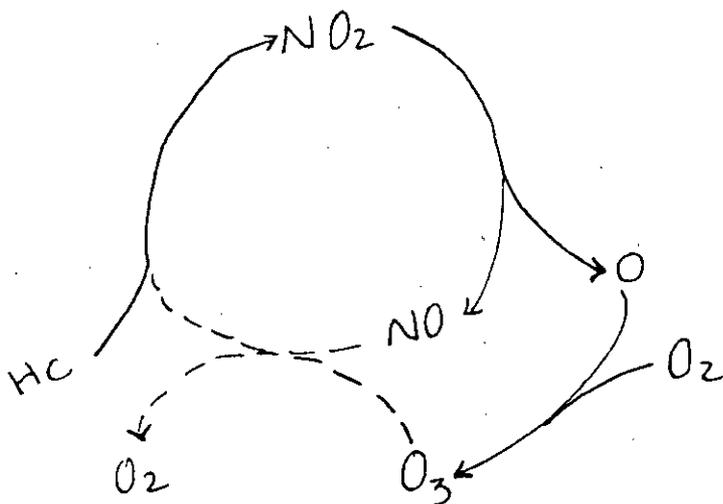
3 - Photodissociation du peroxyde d'hydrogène



très mineure car elle a lieu assez loin dans l'UV.

La production d'ozone consomme en définitive des hydrocarbures oxydés en aldéhydes :
 attaqués par un radical OH, les HC donnent naissance à des radicaux alcoyles R[•] qui, par une série de réactions rapides avec l'oxygène de l'air, conduisent à la formation de radicaux peroxydes R₂O₂ et H₂O₂, lesquels réagissent rapidement avec N₂O

protégeant l'ozone de la réaction de titration par celui-ci, l'ozone peut donc s'accumuler perturbant ainsi le cycle photo dynamique des N₂O_x qui prend alors le schéma suivant :



La réaction en tireté est court circuitée.

Parallèlement il se forme de nouveaux oxydants qui ne sont pas émis directement par les activités humaines mais résultent des transformations chimiques décrites ci-dessus.

Ces espèces oxydantes font partie du smog photoxydant que nous discuterons dans le paragraphe suivant :

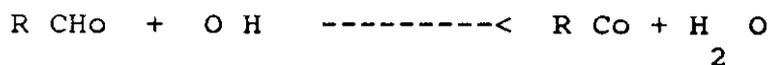
III - 3 - 2 - CONSEQUENCE DE LA POLLUTION PHOTOCHIMIQUE
SMOG PHOTOXYDANT

Ce smog comme sous le nom de "Smog de Los Angeles" a lieu si les conditions suivantes sont réunies :

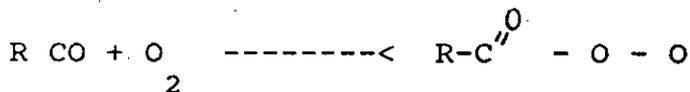
- . Forte insolation
- . Forte proportion d'HC par rapport à N O
- . Couche d'inversion qui favorise la stagnation des polluants.

Dans ces conditions, la concentration des radicaux peroxydes devient suffisante pour que la concentration de l'ozone augmente, les réactions de photodissociation des composés organiques s'accélèrent, conduisant à des concentrations alarmantes d'aldéhydes et de composés nouveaux nitrates de peroxyacyle : PAN et finalement à un aérosol de composés organique connu sous le nom de smog photochimique.

En effet, les aldéhydes formés par l'oxydation des H C sont très réactifs vis-à-vis du radical O H :



Les radicaux acyles ainsi formés réagissent avec l'oxygène :



qui, en présence de faibles quantités de NO, réagissent avec NO₂ pour former les nitrates de peroxyacétyles :



Ces composés sont considérés comme les contaminants les plus redoutables vue leur aggréssivité même à des teneurs très faibles. Il ont été décelés dans divers smogs à des teneurs variant de 1 à 4 x 10⁻²PPm (environ le 1/100 des teneurs en ozone).

La fig n° 13 montre la variation des concentrations de l'ozone et du PAN durant une période de smog avec un maximum pendant la journée et des valeurs voisines de zéro pendant la nuit [12].

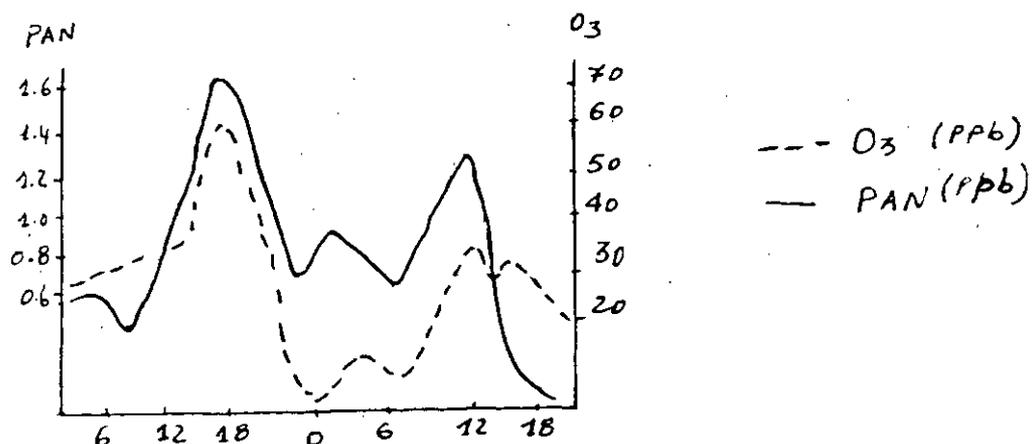


Fig n° 13 variation des concentrations d'ozone et du PAN [12]

C'est à Los Angeles, au début des années 50 que cet épisode de smog a été mis en évidence.

Dans cette région, on observe plus de 200 jours d'inversion par an, les circonstances géographiques particulières de cette zone favorisent l'établissement de ces inversions. Bordée à l'ouest par l'océan pacifique, à l'Est par la falaise d'un haut plateau désertique et chauffé par un soleil ardent, l'inversion s'établit (la période d'anticyclone chaud est très fréquente dans cette région du pacifique).

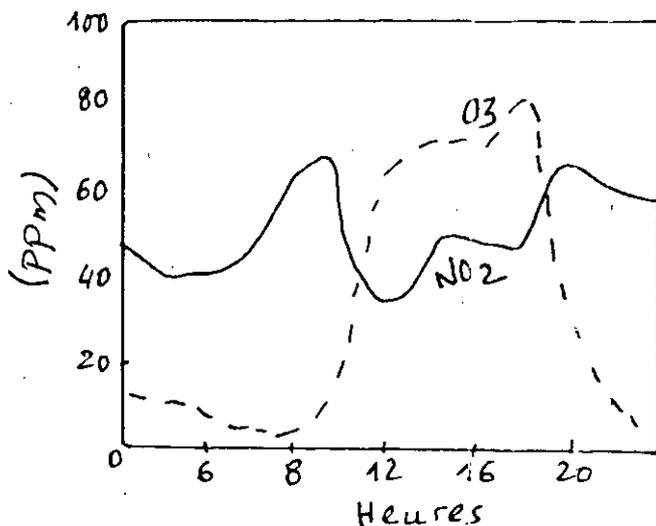
Ainsi ces conditions météorologiques en présence des oxydes d'azote et d'HC issus des millions de véhicules qui circulent à Los Angeles favorisent la formation d'un brouillard photochimique oxydant, un phénomène qui s'accompagne de l'irritation des yeux, dommages à la végétation, formation de brume et apparition d'ozone.

Ce brouillard apparaît par des temps chauds et produit une atmosphère possédant un indice oxydant très élevée dû à la présence d'ozone et de peroxydes organiques tel le PAN entre temps des épisodes similaires se rencontrent dans plusieurs autres villes du monde même en Europe froide, en plein hiver lorsque l'anticyclone s'installe [7].

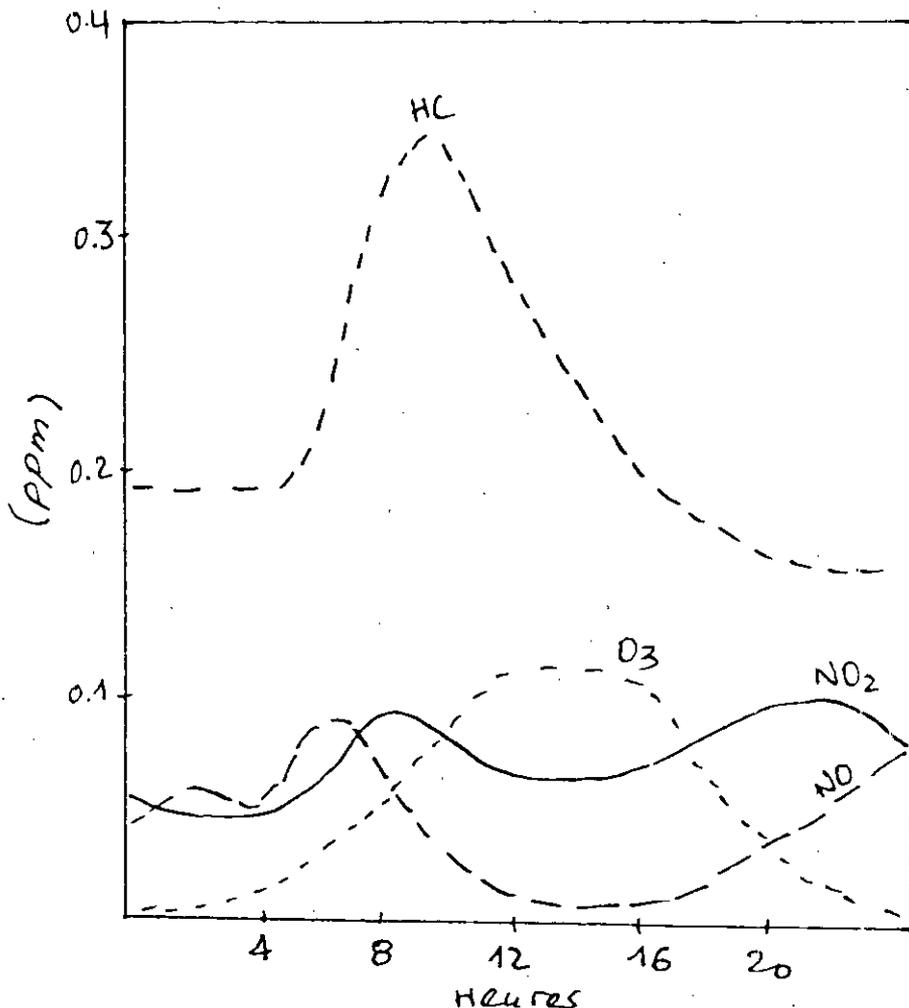
Signalons enfin, qu'au niveau du laboratoire des simulations de smog ont été menées avec succès. On a pu ainsi déterminer les constantes de vitesses des réactions les plus compliquées et des modèles reproduisant la réalité sur le terrain ont pu être testés.

A titre d'exemple, nous reproduisons l'évolution diurne des composés responsables du smog photochimique telle qu'elle a été mesurée à Los Angeles et à Londres.

évolution diurne des composés
du smog photochimique - Londres



évolution diurne des
composés du smog
photochimique - Los Angeles



III - 4 - CONCLUSION

L'équilibre physicochimique de l'atmosphère terrestre résulte d'un ensemble complexe de phénomènes qui peuvent être décrits à partir de la notion de cycle.

La modification de ces cycles causée par le rejet de constituants qui, soit existaient déjà naturellement comme NO , NO_2 et N_2O , soit n'existaient pas comme certains composés chlorofluorés ou hydrocarbures est susceptible d'induire des perturbations profondes de l'ordre naturel de la chimie de l'atmosphère.

Il faut donc considérer que la "pollution atmosphérique" n'est pas émise dans un milieu (atmosphère) "chimiquement vide", mais qu'elle s'ajoute à des composés d'origines naturelles et que la chimie atmosphérique ainsi créée interfère avec une chimie préexistante qu'elle peut profondément perturber.

CHAPITRE IV
EFFETS SANITAIRES ET
ENVIRONNEMENTAUX DES
POLLUANTS OXYDANTS

La pollution atmosphérique par les oxydants photochimiques particulièrement l'ozone est identifiée comme un problème environnemental majeur avec des répercussions pour la santé, l'agriculture et les forêts.

IV.1. EFFETS DE L'OZONE

IV.1.1. EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE [4,19]

L'ozone est un oxydant puissant, il réagit rapidement avec divers composés organiques tels que les acides aminés et la protéines que l'on retrouve dans les tissus. L'arbre respiratoire est le site privilégié de telles réactions, celles ci provoquent deux types d'effets : des effets mécaniques sur la fonction respiratoire et des effets structuraux.

En effet, l'inhalation d'ozone à faible concentrations (0,1 à 0,2 ppm) détériore transitoirement la fonction ventilatoire, cette détérioration se manifeste par une diminution de volumes pulmonaires notamment la capacité vitale et la capacité pulmonaire totale cpt. et une diminution des débits expiratoires. L'amplitude de ces effets dépend de la susceptibilité individuelle, de la concentration d'ozone, du volume d'air respiré et de la durée d'exposition.

Au niveau structural, l'exposition à l'ozone provoque une réaction inflammatoire touchant les bronchiles et les alvéoles pulmonaires.

Des études épidémiologiques ont montré qu'en présence des teneurs horaires en oxydants de 50 à 290 ppb, il y a gêne oculaire et thoracique au delà de 120 ppb, les performances sportives sont affectées.

L'OMS admet comme marge sécuritaire les teneurs limites de 50 à 60 ppb sur une exposition moyenne de 8 heures. Ces teneurs sont souvent dépassées dans un grand nombre de pays (USA, CANADA, CEE, GRECE, TURKIE ...).

IV.1.2. EFFETS SUR LA VEGETATION :

Déjà vers la fin des années 50 l'ozone a été identifiée comme l'agent phytotoxique principal du SMOG. Ses effet ont d'abord été démontré sur les raisins en Californie, puis sur les feuilles de tabac dans l'Est des USA. Depuis on a montré que l'ozone est le polluant qui cause le plus de dommage à la végétation de toute nature (grandes cultures , plantes horticoles, arbres ...) , l'ozone causerait annuellement aux USA des pertes économiques de l'ordre de 2 milliards de dollars [4].

L'ozone peut affecter l'activité photosynthétique des végétaux, altérer leur résistance aux virus , champignons et insectes, diminuer la productivité des cultures et provoquer des lésions visibles très caractéristiques. En effet lorsque l'ozone détruit certains nombre de cellules dans un endroit de la plante , des symptômes visibles apparaissent : lésions pigmentaires , blanchissement de la surface supérieure de la feuille, nécrose bifaciale et chlorose.

La sensibilité des plantes à l'action de l'ozone varie d'une espèce à une autre et , est fonction des concentrations de ce polluant et de la durée d'exposition des plantes.

Le tableau n ° 5 donne les concentrations d'ozone et les durées requises pour causer des dommages aux végétations selon leur résistance [4].

DUREE (HEURE)	ESPECES SENSIBLES	ESPECES INTERMEDIARES	ESPECES TOLERANTES
0,5	0,15 - 0,3 ppm	0,25 - 0,6 ppm	0,5 ppm
1	0,10 - 0,25 "	0,2 - 0,4 "	0,35 "
2	0,07 - 0,25 "	0,15 - 0,3 "	0,25 "
4	0,05 - 0,15 "	0,10 - 0,25 "	0,2 "
8	0,03 - 0,1 "	0,08 - 0,2 "	0,15 "

Tableau n° 5 teneurs d'ozone nuisables pour les végétaux [4].

Parmi les espèces les plus sensibles en compte le blé, l'orge, les haricots, les oignons, les pommes de terre et le tabac, les espèces les plus tolérantes seraient la betterave laitues et le fraisier [4] .

IV.2. EFFETS DES OXYDES D'AZOTE

IV.2.1. EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE [7,19]

La toxicité des oxydes d'azote à doses relativement élevées est extrêmement prononcée et les études d'expérimentation animale ont montré que le dioxyde d'azote est quatre fois plus toxique que le monoxyde d'azote et dix fois plus toxique que le monoxyde de carbone.

Le mécanisme d'intoxication par le NO repose sur la réduction de l'oxyhémoglobine en un composé stable qui n'est pas capable de fixer l'oxygène : la méthénoglobine, il s'ensuit une diminution de la capacité du sang à transporter l'oxygène conduisant à une hypoxie.

Le NO_2 , quant à lui, est un gaz irritant et représente le gaz azoté le plus dangeureux pour la santé humaine.

Les effets aigus sur l'homme ont été surtout observés avec des doses élevées et le plus souvent dans des conditions accidentelles en pathologie du travail. Pour des doses de 5 ppm de NO pendant 10 minutes, les sujets exposés sont atteints de troubles respiratoires intenses mais transitoires. Pour une dose de 90 ppm, les sujets sont atteints d'oedème pulmonaire et une diminution définitive de la fonction pulmonaire s'observe au bout de 18 h.

IV.2.2. EFFETS SUR LES VEGETAUX.

A des concentrations relativement élevées (25 ppm) pendant 1 heure, le NO_2 provoque des dommages aux feuilles celles ci arrivées à leur état de développement sont plus résistantes. Une exposition à des concentrations de 4 à 8 ppm pendant 1 heure provoque chez les plantes une nécrose de 5 % à la surface des feuilles. Si le temps d'exposition est plus élevé, le seuil de 4 à 8 ppm diminue, en effet des agressions pour des teneurs de 2,3 à 3,5 ppm pendant 8 à 21 heures ont été constatés lors des expériences effectuées sur certaines plantes.

Les oxydes d'azote contribuent d'une façon notable au dépérissement des forêts, ce dépérissement atteint surtout les conifères.

En effet les retombées acides sur les feuillages entraînent les métaux indispensables à l'arbre créant une carence en nutriment (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} ...) dans le sol dont le pouvoir neutralisant est limité, les eaux acides entraînent les mêmes métaux utiles, la plante souffre de carence cette acidité peut même dissoudre l'aluminium, donnant des sels toxiques pour le végétal. [6].

Comme c'est le cas avec le SO_2 , les composés NO_x retombent au sol sous forme de dépôts secs et sont généralement transformés en nitrates puis sous forme de dépôt humide dans les précipitations. En France et en Europe occidentale, on estime que les pluies acides proviennent pour environ 25 à 30 % des NO_x [20].

IV.3. EFFETS DE SYNERGIE :

Des études expérimentales associant NO_2 et O_3 ont montré l'existence d'une synergie entre ces deux gaz, en effet l'inhalation de NO_2 et O_3 prédispose les rongeurs aux infections respiratoires, bactériennes ou virales, vraisemblablement par baisse de l'immuno-surveillance anti-infectieuse.

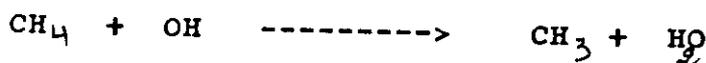
Il a été montré que ces deux gaz, éventuellement en synergie additive diminuent le pouvoir phagocytaire et bactéricide des macrophages alvéolaires [19].

IV.4. EFFETS ENVIRONNEMENTAUX

IV.4.1. EFFETS DE SERRE :

La pollution photochimique tend à accroître de manière significative le contenu en ozone de la basse atmosphère. Ceci peut avoir des répercussions climatiques par effets de serre additionnel car l'efficacité d'absorption des IR par la molécule d'ozone est d'environ 2 000 fois supérieure à celle de la molécule de CO₂. Bien que la troposphère ne représente qu'environ 10 % du contenu en ozone de l'atmosphère, les températures de surface sont plus sensibles aux changements des teneurs en ozone dans la troposphère que dans la stratosphère.

Les espèces d'origine photochimique, du fait de leur forte réactivité chimique ont un rôle important dans l'élimination du radical hydroxyle OH, produit photochimiquement à partir de l'ozone notamment et jouant le rôle de "détergent" de l'atmosphère du fait qu'il représente le principal puits chimique du méthane.



OH est régénéré par la réaction vue précédemment :



Or la production des polluants photochimique fait intervenir la réaction du radical OH sur le monoxyde de carbone CO, les oxydes d'azote et les composés organiques, ceci se répercute par une baisse des teneurs en radical OH, puis une accumulation du méthane un gaz participant d'une façon très importante à l'effet de serre.

La figure n°12 illustre d'une manière schématique le phénomène "effet de serre", la figure n°13 résume les composés participants à l'effet de serre et leur éventuelle conséquence sur la hausse de la température au niveau du globe [11].

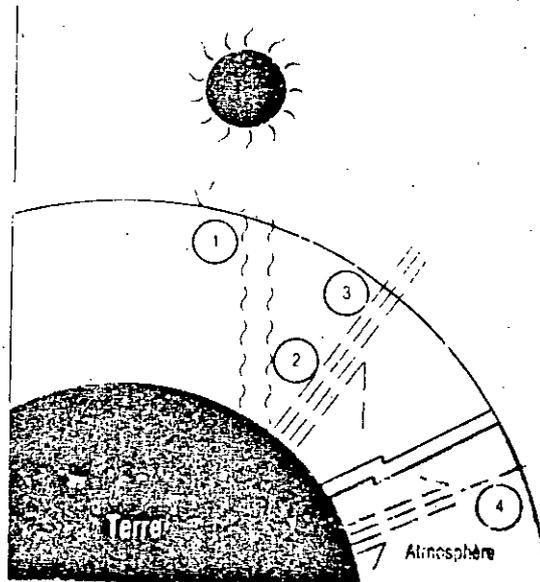


fig N° 12. Effet de serre [41]

1) L'énergie solaire pénètre dans l'atmosphère sans être modifiée par les gaz à effet de serre.

2) Le rayonnement solaire est absorbé par la terre, puis réverbère dans l'espace sous forme d'ondes thermique plus longues.

3) Les gaz à effet de serre absorbent le rayonnement thermique et renvoient une grande partie de celui-ci vers la surface de la terre à la façon d'une couche isolante.

4) Lorsque les gaz à effet de serre atteignent des concentrations plus élevées, ils piègent une plus grande partie du rayonnement thermique, ce qui provoque une augmentation de la température dans la basse atmosphère et à la surface de la terre et, par conséquent, influe sur les conditions météorologiques et climatiques.

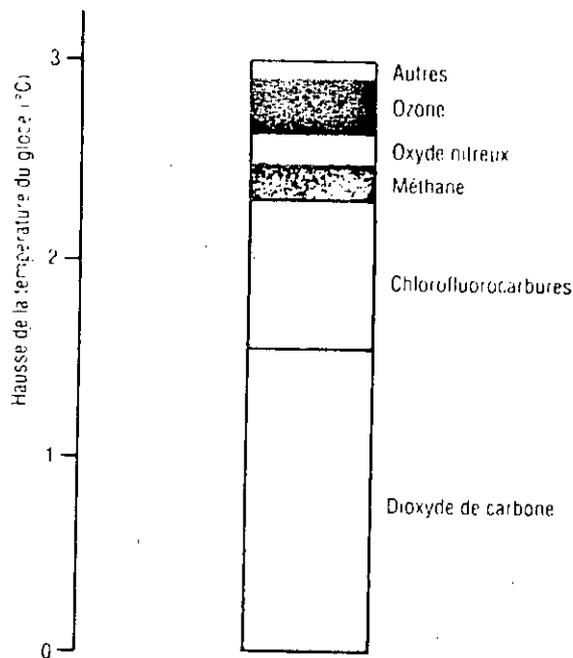
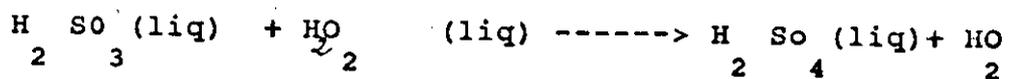
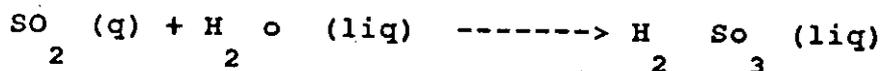
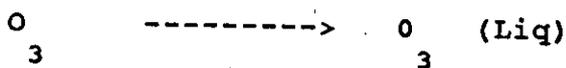
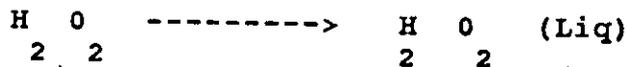
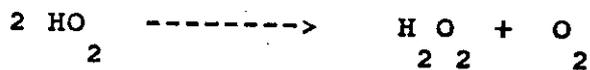


Fig N° 13 composés participant au réchauffement du globe.

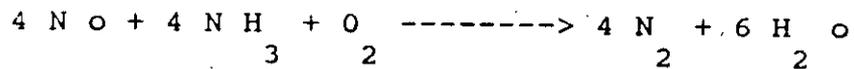
IV.4.2. PLUIES ACIDES

L'ozone et d'autres espèces formées au cours des réactions photochimiques (radical hydroxyle, eau oxygénée, nitrate de peroxyacétyle) sont des oxydants puissants en phase gazeuse après solubilisation dans les gouttelettes nuageuses :



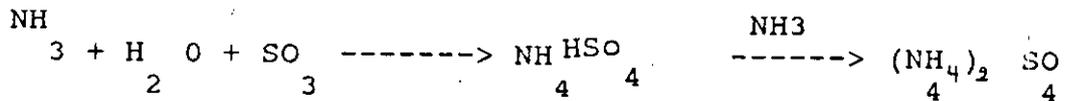
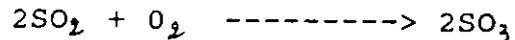
CHAPITRE V
REDUCTION ET PREVENTION
DES POLLUANTS NO_x ET O₃

En présence d'oxygène on aura :



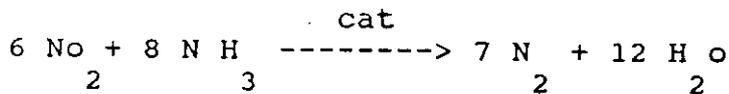
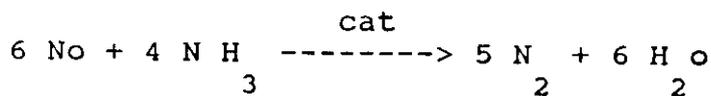
Il est nécessaire d'injecter une fraction molaire NH_3/NO_x supérieure à 1, afin d'obtenir un niveau suffisant de réduction des émissions de NO_x ce qui entraîne une consommation élevée d'ammoniacque si l'intervalle de température n'est pas respecté en aura une consommation rapide d'ammoniacque d'où nécessite d'un apport plus important de ce réducteur.

Si de plus, les fumées contiennent du SO_2 on peut avoir des réactions secondaires tels que :



b) Réduction sélective catalytique : (SCR)

Dans le procédé SCR, les oxydes d'azote NO et NO_2 sont réduits en azote et en eau par NH_3 grâce à un catalyseur et à une température de l'ordre de 300 à 400° C.



Le catalyseur utilisé peut être de nature et de forme diverses : oxydes de vanadium (V_2O_5) de Fer (Fe_2O_3), de manganèse (MnO_2) ou de chrome (cro) sous la forme des granulés de plaques ou de nids d'abeille.

L'efficacité de ce procédé peut atteindre 90 %.

V - 1 - 2 REDUCTION DES EMISSIONS DE NO_x ISSUS DU TRAFIC ROUTIER

Pour faire face à la pollution automobile tous les pays industrialisés se sont attachés, certains plutôt que d'autres à élaborer et mettre en oeuvre une réglementation qui permet de limiter l'ampleur du phénomène de la pollution par les transports et de protéger l'environnement et la santé publique.

Les quantités de polluants émises : (HC, Co, No ...) dépendent de nombreux facteurs : conception du moteur, réglages (rapport air-carburant), point d'allumage, conditions de marche (température, régime de rotation, charge ...).

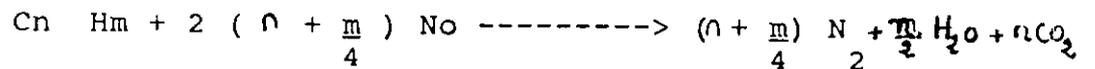
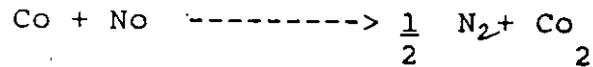
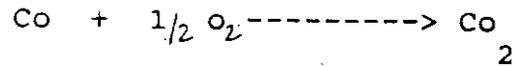
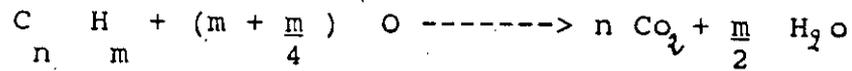
Ces composés pouvant être dangereux, il convient de concevoir les moteurs pour en minimiser la formation.

Basé sur le fait qu'un gaz d'échappement est un mélange "hors équilibre" de différentes espèces chimiques, le traitement consiste à faire réagir ces espèces entre elles.

Dans ce but, des catalyseurs sont utilisés, ils permettent aux réactions de combustion qui n'ont pas été complètes dans le moteur d'aller jusqu'à leur terme, le gaz épuré ne devrait plus contenir en définitive que des substances inertes; Co, H₂O et N₂. Parmi les catalyseurs les plus appropriés et les plus utilisés de nos jours : Les catalyseurs multifonctionnel à trois voies c'est à dire éliminant simultanément les trois polluants Co, HC, No, le catalyseur exige des gaz d'échappement composition quasi stœchiométrique ce qui nécessite une préparation réglée du mélange explosif.

On contrôle le rapport air-carburant en réglant par commande sur le carburateur ou bien électroniquement par système d'injection à l'aide d'une sonde, cette dernière mesure la teneur de l'oxygène dans les gaz d'échappement avant l'entrée dans le catalyseur.

Les principales réactions mises en jeu dans ce système sont :



Ces réactions consistent donc en une oxydation des HC et du Co alors que le No est réduit.

La fig n° 14 schématise un tel "pot catalytique".

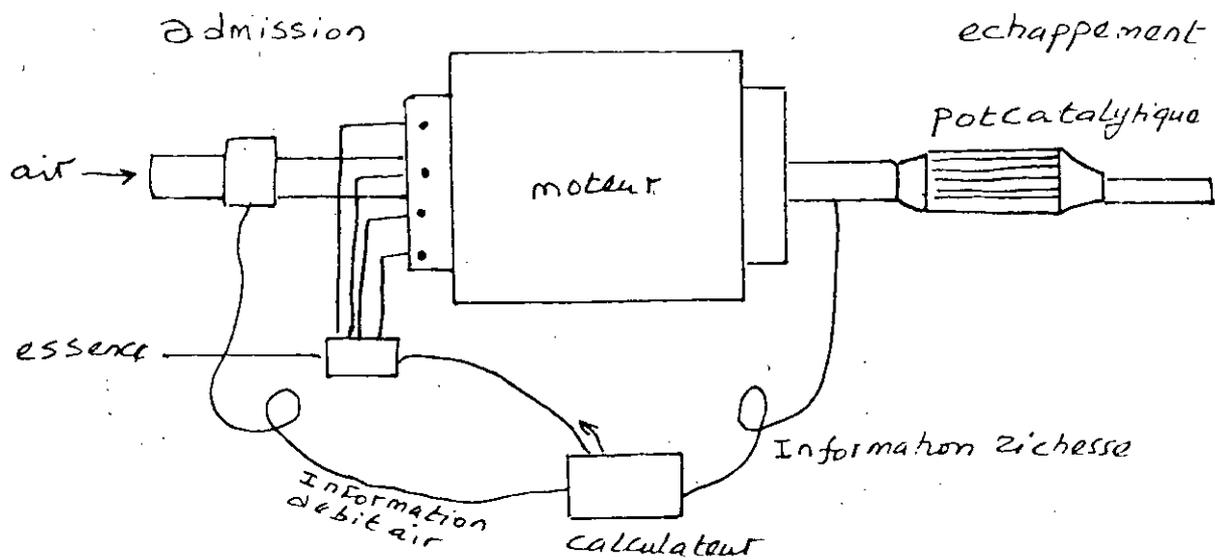


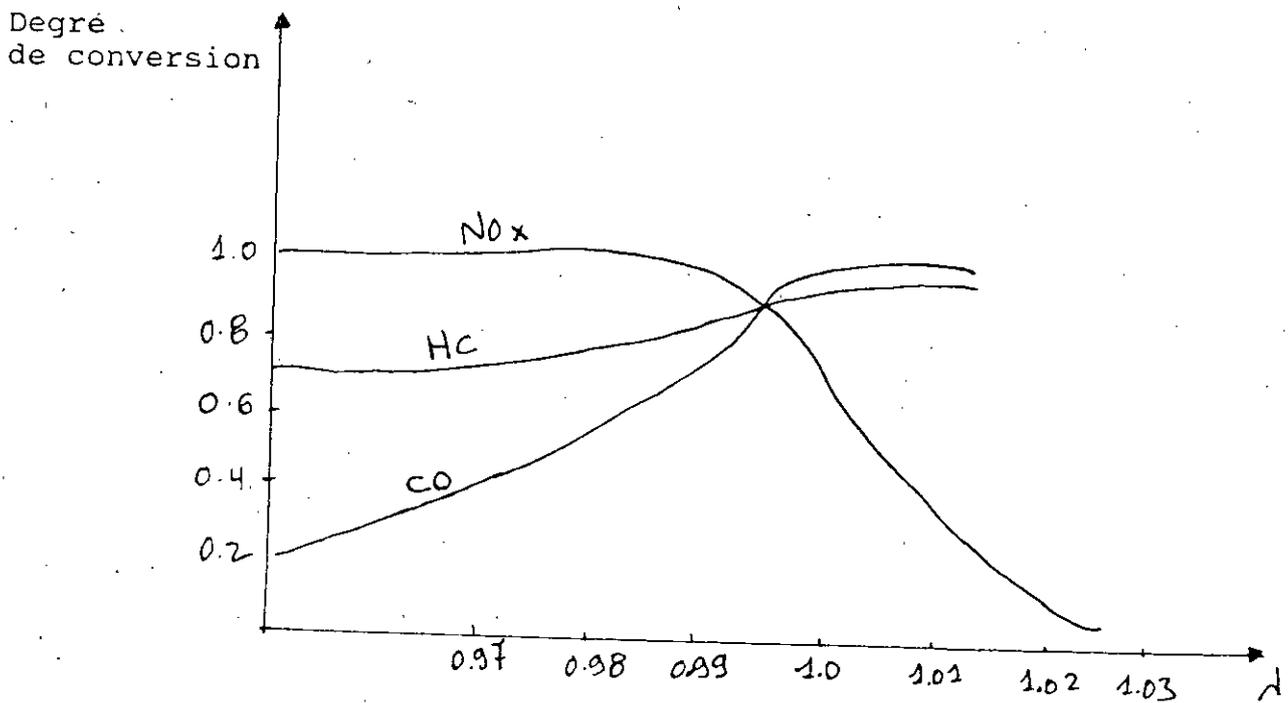
fig n° 14

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

$$\lambda = \frac{\text{O}_2 \text{ Total}}{\text{O}_2 \text{ nécessaire à la combustion complète du carburant}}$$

pour $\lambda > 1$: mélange riche en oxygène

pour $\lambda < 1$: mélange pauvre en oxygène



Evolution du degré de Conversion des pollutant en fonction de λ [1]

Ce graphe montre que le catalyseur multifonctionnel ne peut travailler avec rendement élevé sur les trois polluants que dans un domaine très faible de λ proche du point stochiométrique ce domaine appelé " Fenêtre λ ".

Toute fois, on peut élargir cette fenêtre par augmentation de la capacité que possède le rhodium d'emmagaziner l'oxygène et par l'introduction d'oxydes polyvalents sur la surface superficielle du support γ Al_2O_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 γ Al_2O_3 et activé par le platine, le Rhodium et d'autres oxydes métalliques non nobles. Le Rhodium est dans ce cas indispensables à cause de son affinité pour l'oxygène [1] ces catalyseurs qui sont actuellement généralisés en Europe nécessitent un carburant sans plomb car ce dernier finit par couvrir la surface du catalyseur et à l'empoisonner.

V - 2 - REDUCTION DES CONCENTRATIONS DE L'OZONE TROPOSPHERIQUE

Pour faire diminuer les concentrations de 'ozone, on peut penser à réduire simultanément les composés organiques volatils et les oxydes d'azote et même en priorité ces derniers en pensant que les sources en sont mieux maitrisables. donc il n'y a pas d'autre moyens pour réduire les concentrations d'ozone que de réduire à la fois les composés organiques volatils et les NO_x et encore cette action peut être décevante : en effet les modèles disent qu'une baisse de 50 % de l'un et de l'autre précurseurs peut très bien ne conduire qu'à une baisse d'ozone de 30 %.

CHAPITRE VI
METHODES DE DOSAGE DES
NOx ET DE L'OZONE

Que se soit pour des travaux épidémiologiques , ou pour l'étude des mesures préventives afin d'améliorer la qualité de l'air, différentes méthodes adoptées aux mesures et dosage des principales substances gazeuses ont été mise en oeuvre.

La détermination des teneurs peut se faire soit par voie chimique, soit par des méthodes instrumentales , encore elle peut se faire dans l'environnement où à l'émission pour contrôler l'efficacité des systèmes d'épuration et comparer les teneur émises aux normes fixées.

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.

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

Dans la méthode instrumentale, le prélèvement et le dosage se font d'une manière automatique, leurs avantages sont la rapidité et le seuil limite de détection qui est très bas les deux inconvénients majeurs sont l'étalonnage et l'électro - nique sensible aux variations extérieurs. Les mesures se font selon les différentes méthodes physico-chimique telle que : UV - IR où chimiluminescence.

VI . 1 . MESURE ET DOSAGE DES NOX :

Pour le dosage des NOx dans l'air ambiant il existe une grande variété de méthodes et d'appareils qui ont plus ou moins tous fait leur preuve , parmi ces méthodes citons la méthode de Saltzman et le procédé par chimiluminescence.

a) Méthode colorimétrique de GRIESS SALTZMAN [24]

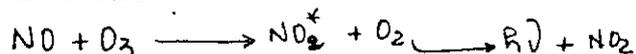
En faisant barboter de l'air renfermant NO et NO dans une solution d'amine aromatique, le NO ne réagit pas et le NO se transforme en HN qui va réagir sur une amine aromatique pour donner un sel de diazonium.



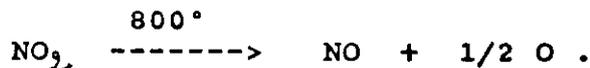
Ce sel de diazonium par copulation sur une amine : la N naphtyl - 1 éthylène diamine donne un colorant azoïque dont on mesure la teinte par ailleurs pour le dosage de NO, il faudra opérer une oxydation préalable par l'acide chromique chauffé à 60 °C, ce dernier est lui même avide d'eau donc on doit procéder le tube qui le contient d'un flacon barboteur rempli d'acide phosphorique à 85 % qui fixe l'eau. On dose ensuite le NO obtenu par la méthode précédente le débit de barbotage est de l'ordre de 1L/min, la sensibilité de la méthode est très élevée, la limite de détection est de l'ordre du ppb.

b) Méthode automatique par chimiluminescence : [7].

Si on oxyde le NO par l'ozone en excès, on aura formation de NO₂, une quantité des molécules formées se présente sous forme excitée qui émettent une radiation en revenant à l'état initial.



En mesurant les photons émis par photomultiplicateur, on peut revenir à la concentration en NO contenu dans l'atmosphère. Pour mesurer le NO₂, on procède auparavant à sa réduction par simple chauffage à 800° C.



VI.2 . MESURES ET DOSAGE DE L'OZONE

VI.2.1. METHODE PHOTOMETRIQUE MANUELLE [7]

Lorsqu'on fait agir de l'air renfermant de l'ozone sur une solution d'iodure de potassium, il y a libération d'iode selon la réaction.

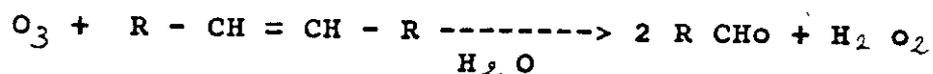


La quantité d'iode libérée dépend du pH du milieu le dosage spectrophotométrique de l'ion I_3^- se fait à la longueur d'onde $\lambda = 352 \text{ nm}$; la sensibilité de la méthode est de l'ordre de quelque ppb.

Avant le développement d'appareils automatiques de chimiluminescence et en absence de ceux-ci c'est la méthode la plus utilisée, elle opère à pH neutre ($\text{pH} = 6,8 \pm 0,2$) d'où le nom NBKI (neutral buffered KI) et est spécifique aux oxydants totaux exprimés en termes de concentrations en ozone.

VI.2.2. DOSAGE AUTOMATIQUE PAR CHIMILUMINESCENCE [7]

Elle est basée sur la réaction suivante :



L'ozone réagit sur les composés éthyléniques en donnant un ozonide qui en réagissant sur l'eau donne naissance à une molécule d'eau oxygénée et à deux molécules d'un aldéhyde. certaines proportions des molécules prennent naissance à l'état excité, l'excès d'énergie est perdu rapidement par émission de photons qui sont enregistrés sur photomultiplicateur [1].

CHAPITRE VII
PRELEVEMENT, ECHANTILLONNAGE
ET ANALYSE DES NOx ET DE
L'OZONE DANS L'AIR AMBIANT
A ALGER

V II - 1 - CHOIX DES SITES DE PRELEVEMENT

Les postes de mesure ont été choisis selon deux critères, le critère concernant la source émettrice et le critère d'impact sanitaire. Comme en milieu urbain le trafic routier est primordiale pour les polluants primaires très réactifs NO et NO₂, le photooxydant o₃, nous avons choisi ce qu'on appelle des sites de proximité c'est à dire situés au bord de la route, à quelques mètres de la circulation routière.

L'intérêt sanitaire est donné par l'implantation des sites dans des zones d'exposition maximales c'est à dire, de forte densité de population résidente ou de passage.

Notre attention s'est portée sur des sites plus au moins représentatifs d'Alger que fréquentent fortement les citadins (déplacements quotidiens, activité commerciales, arrêt de bus ...) et qui représentent en même temps des zones où le niveau des polluants d'origine automobile sont les plus élevés c'est à dire le long des axes les plus fréquentés ou dans les rues dites "Canyon" dont la configuration entrave la dispersion des polluants.

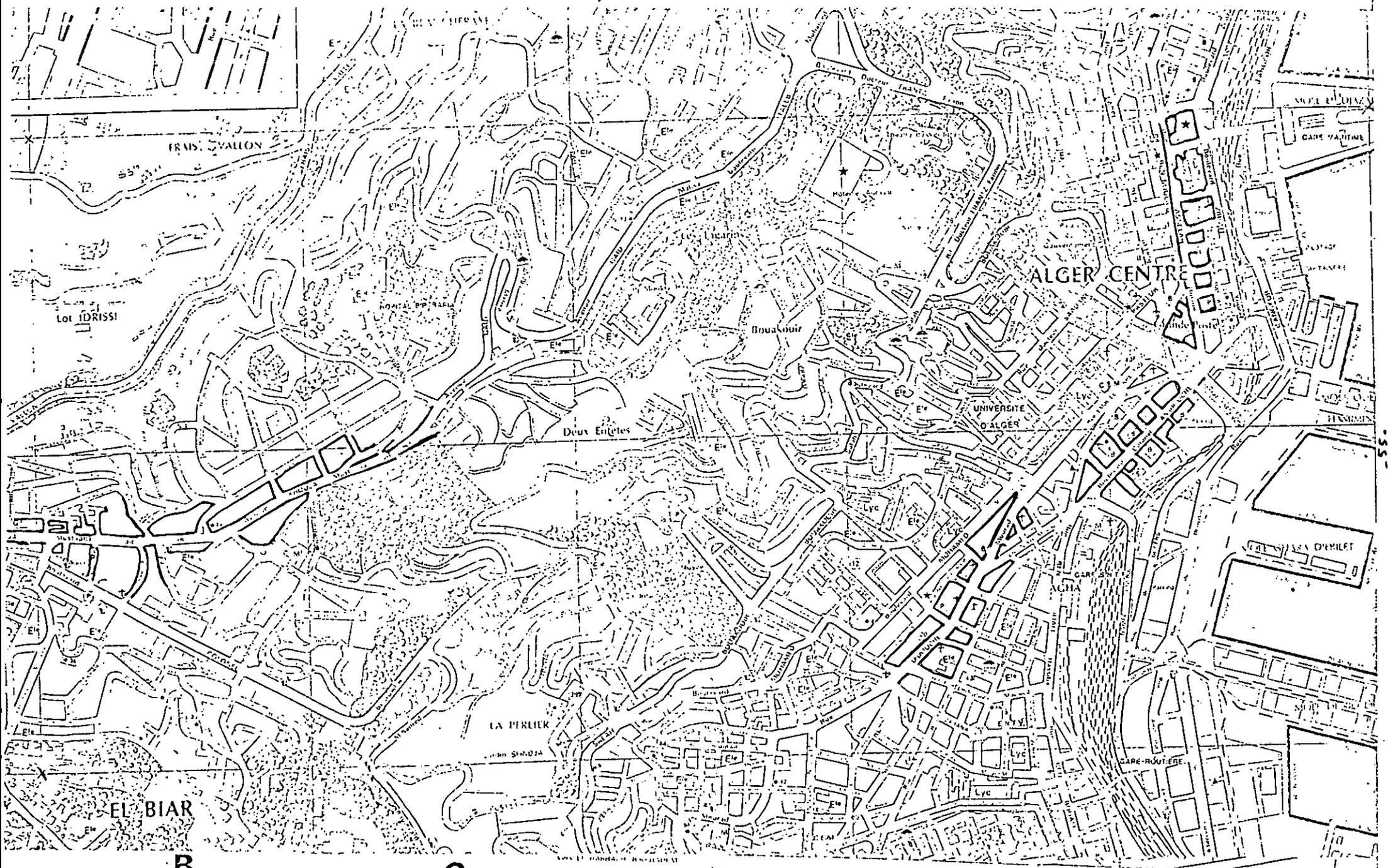
C'est ainsi que les postes de prélèvement suivants ont été choisis :

- . Site 1 : 35 Rue ASSELAH Hocine (Alger centre)
- . Site 2 : 98 Rue Ali KHODJA El-Biar
- . Site 3 : 37 Rue DIDOUCHE Mourad (Alger centre)
- . Site 4 : 17 Rue Colonel AMIROUCHE (Alger centre)
- . Site 5 : Douéra (Hopital) à environ 25 km au Sud Ouest d'Alger

Ce dernier site qui représente à la fois une zone Sud urbaine et rurale pourrait éventuellement servir de référence

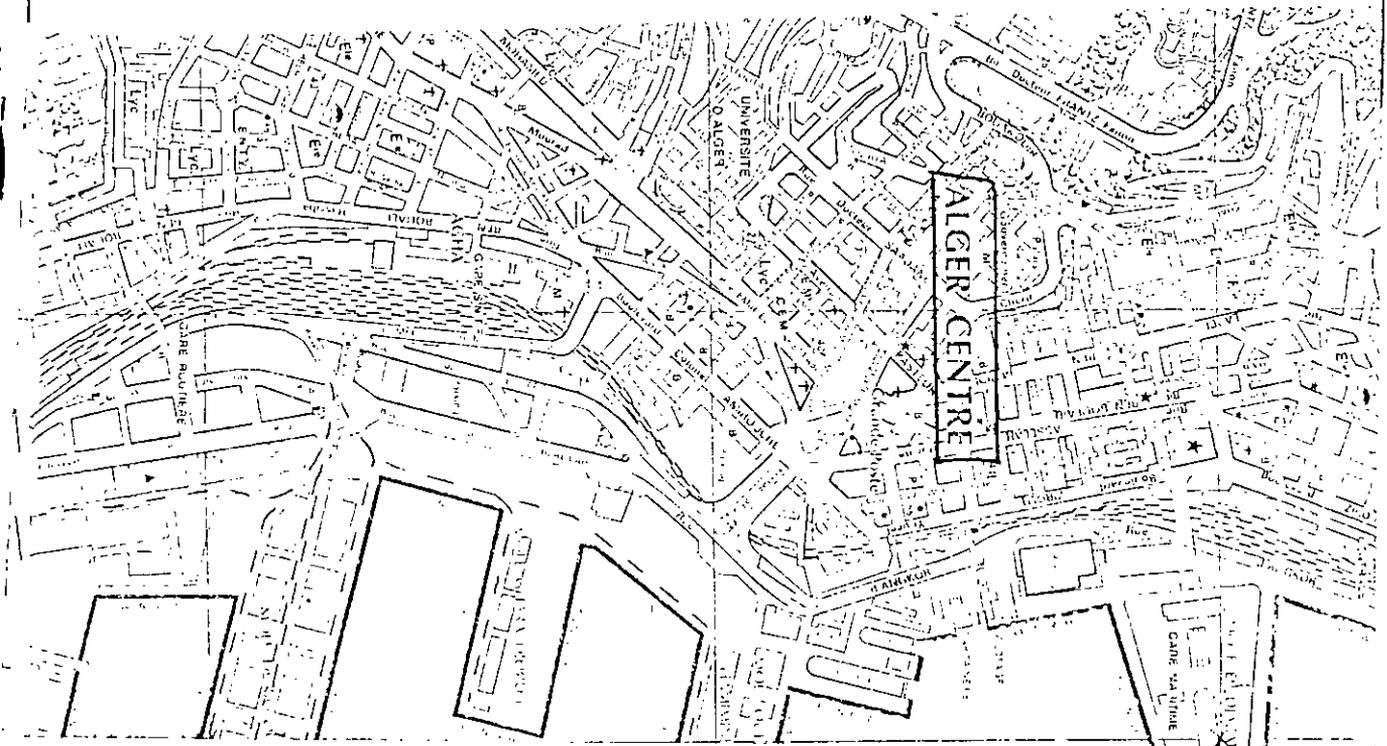
Nous situons en figure n° 15 la position des sites retenus pour l'étude.

fig 15





Douera



VII - 2 - MODE DE PRELEVEMENT

Le dispositif de prélèvement d'air qui consiste en une ligne d'échantillonnage classique et représenté sur la figure n°16

Le dispositif se compose de :

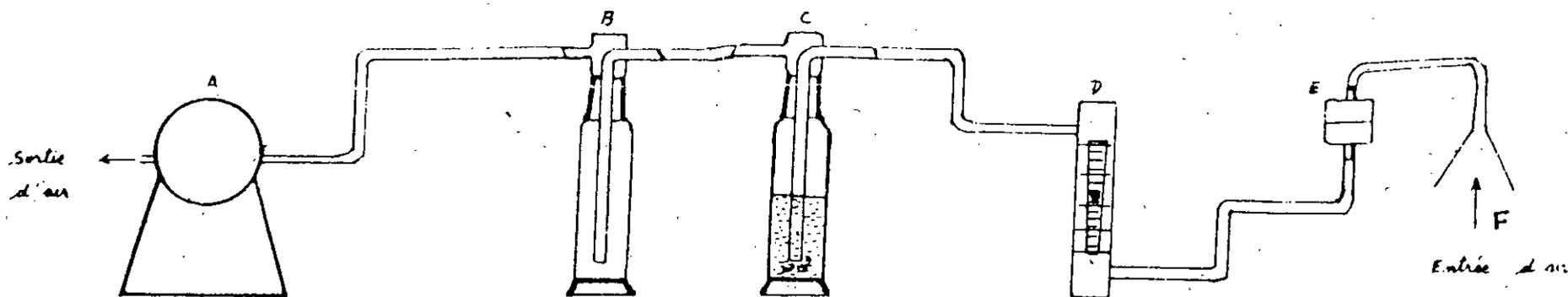
- . Un entonnair dirigé vers le bas
- . Un porte filtre muni d'un filtre pour retenir les suies et poussières
- . Des flacons barboteurs de 50 ml de volume en verre borosilicaté
- . D'un débitmètre à air
- . D'une pompe d'aspiration à débit réglable

Dans le cas de prélèvement des NO_x , les barboteurs sont munis d'un verre fritté qui permet d'avoir un contact intime entre l'air et l'absorbant et favorise de ce fait l'absorption totale par le liquide. pour l'absorption du gaz NO , son oxydation préalable en NO_2 est nécessaire cette oxydation à lieu dans un tube en U qu'on intercalle entre les deux barboteurs. L'oxydant est préparé en adsorbant le CrO_3 sur un tamis moléculaire.

Pour le prélèvement de l'ozone, les tubes en PVC sont réduit dans le dispositif de prélèvement au stricte minimum. Ils sont remplacés par les tubes en verre qui ne réagissent pas avec O_3 .

Les opérations effectuées au cours de tout prélèvement sont :

- . Introduction dans le flacon barboteur à la ligne d'échantillonnage en prenant soin de le protéger de la lumière pendant et après le prélèvement.
- . L'ajustage du débit d'air à la valeur désirée
- . Mise en marche de la pompe d'aspiration
- . Arrêt de prélèvement après la durée d'échantillonnage spécifiée
- . Transfert de l'échantillon au laboratoire pour analyse.



dispositif de prélèvement d'air

A: pompe d'aspiration

b, c: flacons barboteurs

D: débitmètre

E: porte filtre

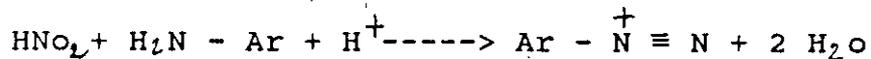
f: entonnoir

VII - 3 - DOSAGE DES OXYDES D'AZOTE

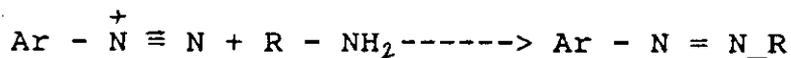
La méthode de GRIESS -SALTZMAN préconisée aux USA et décrite dans Inter Society Comittée [23] donne la détermination manuelle des oxydes d'azote dans l'atmosphère dans la gamme des teneurs allant de 0,005 PPM jusqu'à quelques PPM environ.

VII - 3 - 1 - DOSAGE DU NO₂

En principe, lorsqu'on fait barboter de l'air renfermant du NO et NO₂ dans une solution d'un chlorhydrate d'amine aromatique, le NO ne réagit pas et le NO₂ se transforme d'abord en acide nitreux qui réagit ensuite sur l'amine aromatique pour donner un sel de diazonium selon



on utilise la formation de ce sel de diazonium pour la production d'un colorant azoïque, par réaction de copulation sur une autre amine non diazotable.



Le colorant azoïque formé est de couleur rose stable dont l'intensité est proportionnelle à la concentration du NO₂, On déterminera cette intensité à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à $\lambda = 550 \text{ nm}$.

VIII - 3 - 2 - DOSAGE DU NO

Pour le dosage du NO, il faudra opérer une oxydation préalable du NO en NO₂, qui par les réactions vues précédemment donne naissance au colorant azoïque dont l'intensité de la couleur est mesurée spectrophotométriquement.

L'oxydation totale a lieu en présence d'acide chromique CrO₃ qu'on répartit sur un support inerte de tamis moléculaire de dimension égale à 1/16 Inch (0,2 cm) pour éviter la

délinquescence du CrO₃, qui a une grande affinité avec l'eau le tube en U contenant l'oxydant doit être précédé d'un flacon barboteur rempli d'acide phosphorique à 85 % qui fixe cette eau. L'oxydation est accélérée en chauffant le tube à 60 ° c. Dans ces conditions l'oxydant est efficace pendant 8 jours de prélèvement.

Pour le captage du NO et NO₂ on introduit 10 ml du réactif absorbant dans le flacon laveur et fixe le débit à 0,5 l/mm.

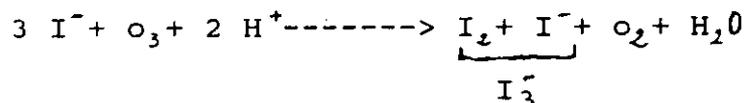
Dans ces conditions la quasi totalité des No_x contenu dans l'air est fixé par l'absorbant. La courbe d'étalonnage est déterminée à partir de solution connue de NA Nq_2 .

Le mode opératoire détaillé, la préparation des divers solutions et l'enregistrement de la courbe d'étalonnage sont données en annexe n°1.

VII - 4 - DOSAGE DE L'OZONE

La réaction de l'ozone avec l'iodure est restée pendant longtemps la méthode de référence de détermination de l'ozone dans l'atmosphère. Comme pour les No elle est recommandée par l'Inter-society committée [26] sous le nom de N B K I méthode (neutral buffored - KI méthode).

La méthode est du point de vue chimique simple, elle consiste à faire agir de l'air renfermant de l'ozone sur une solution de KI qui libère alors de l'iod d'après la réaction suivante :



La concentration de l'ion I_3^- est déterminée spectrophotométriquement par la mesure de son absorbance à $\lambda = 352 \text{ nm}$. La méthode est quantitative à PH neutre, d'où la nécessité de tamponner les solutions à $\text{PH} = 6,8 \pm 0,2$ pour le captage de O_3 , on introduit 10 ml dans la solution d'iode tamponnée dans le Flacon barboteur (le verre fritté est inutile). Le débit est fixé à 1l/mn.

Tous les détails concernant la préparation des solutions, l'étalonnage et l'expression des résultats sont donnés en annexe n°2.

CHAPITRE VIII
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

VII.1. ASPECTS GENERAUX DE L'ETUDE

L'évaluation des polluants NO, NO₂ et O₃ au niveau d'Alger a fait l'objet pour chaque site d'un suivi simultané.

Cette méthodologie permet de mieux cerner les interactions des polluants considérés.

Les divers sites ont fait par ailleurs l'objet d'un suivi sur une plus longue période, soit une à trois semaines par site.

L'étude a porté sur la détermination des teneurs horaires. Les méthodes choisies, à de plus courtes durées sont certes possibles par les méthodes choisies, mais ne donnent pas plus d'informations. D'ailleurs les normes et valeurs guides sont souvent fixées par rapport aux teneurs horaires.

Dans plus de 90 % des cas les cycles diurnes complets ont été mesurés, le jour, les mesures horaires ont commencé à 6 h ou 7 h du matin et se sont poursuivies jusqu'à 20 h ou 21 h du soir. Pour le reste de la nuit nous avons opté pour un prélèvement continu qui donne une moyenne nocture.

Cette procédure permet d'accéder à une très bonne approche des teneurs horaires nocturnes. Avec le couvre feu, il n'y avait aucun risque de manquer un quelconque pic nocturne qui serait nivelé par les calculs de la moyenne et fausserait la description qualitative du cycle. Dans le cas particulier du Ramadhan, l'après f'tour a par contre fait l'objet d'un suivi horaire.

VII.2. TENEURS ET EVOLUTION DES POLLUANTS NO, NO₂ ET O₃ EN MILIEU URBAIN

En vertu du nombre élevé des mesures effectuées nous limiterons dans cette partie à présenter quelques exemples typiques et représentatifs des résultats obtenus. Chaque fois que nécessaires, des cas illustrants des circonstances particulières seront présentés.

Les résultats détaillés de toutes la partie expérimentale seront résumés en annexe 3.

A titre d'exemple, nous illustrons en fig N° 17, l'évolution des teneurs horaires en NO, NO₂ et O₃ enregistrés à la rue Hocine Asselah (site n°1) au cours de la journée du mercredi 10 mars 1993.

La fig n°18 illustre l'évolution du cycle diurne des même polluants telle que mesurés le Lundi 29 MARS 1993 à El biar (site n°2). Pour le même la fig n°19 illustre un cycle diurne correspondant à un jour du Ramadhan (journée du 23 mars 1993).

Les fig n° 20, 21, 22, 23 représentant les cycles journaliers mesurés respectivement le mardi 20 Avril 93, lundi 26 Avril 93, mardi 27 Avril, lundi 3 Mai 93 à Didouche Mourad (site n°3).

D'une manière analogue nous reportons en fig n°24,25, 26,27 les cycles enregistrés respectivement le 11,18,19 et 20 Mai à la rue Colonel Amirouche en plein centre d'Alger (site n°4).

Les cas particuliers des journées de vendredis sont illustrés en fig n° 28,29 et 30,31.

Tous ces exemples montrent que le monoxyde d'azote NO accuse au cours de la journée des pointes entre 7 H et 9 H du matin, entre 11 h et midi et tard dans l'après - midi entre 17 h et 19 h.

Ces maximas coïncident en général avec l'intensification du trafic urbain et reflètent clairement les habitudes des citoyens algériens en ce qui concerne leur déplacements motorisés. Entre 12 et 14 h on enregistre une diminution notable du NO, diminution qui est due en partie à la réduction du trafic routier.

Durant la nuit le NO présente des concentrations minimales qui sont du même ordre de grandeur que les teneurs de fond.

concentrations [ppb]

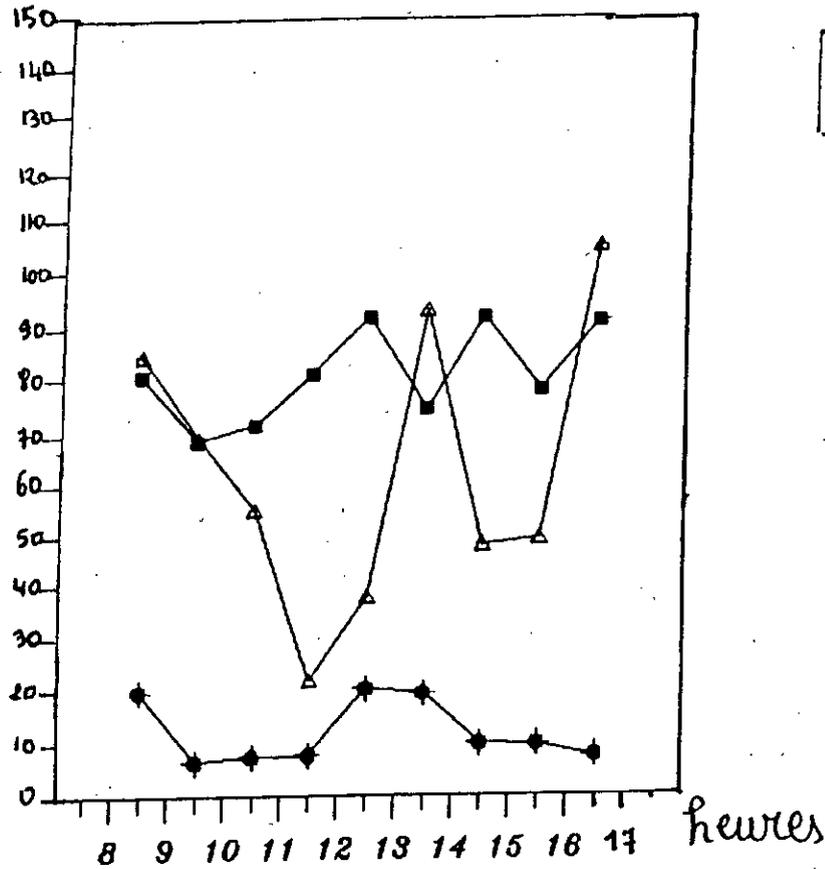


Fig N° 17 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
Rue ASSELAH Hocine
10/03/1993 (Mois du Ramadhan)

Concentration (ppb)

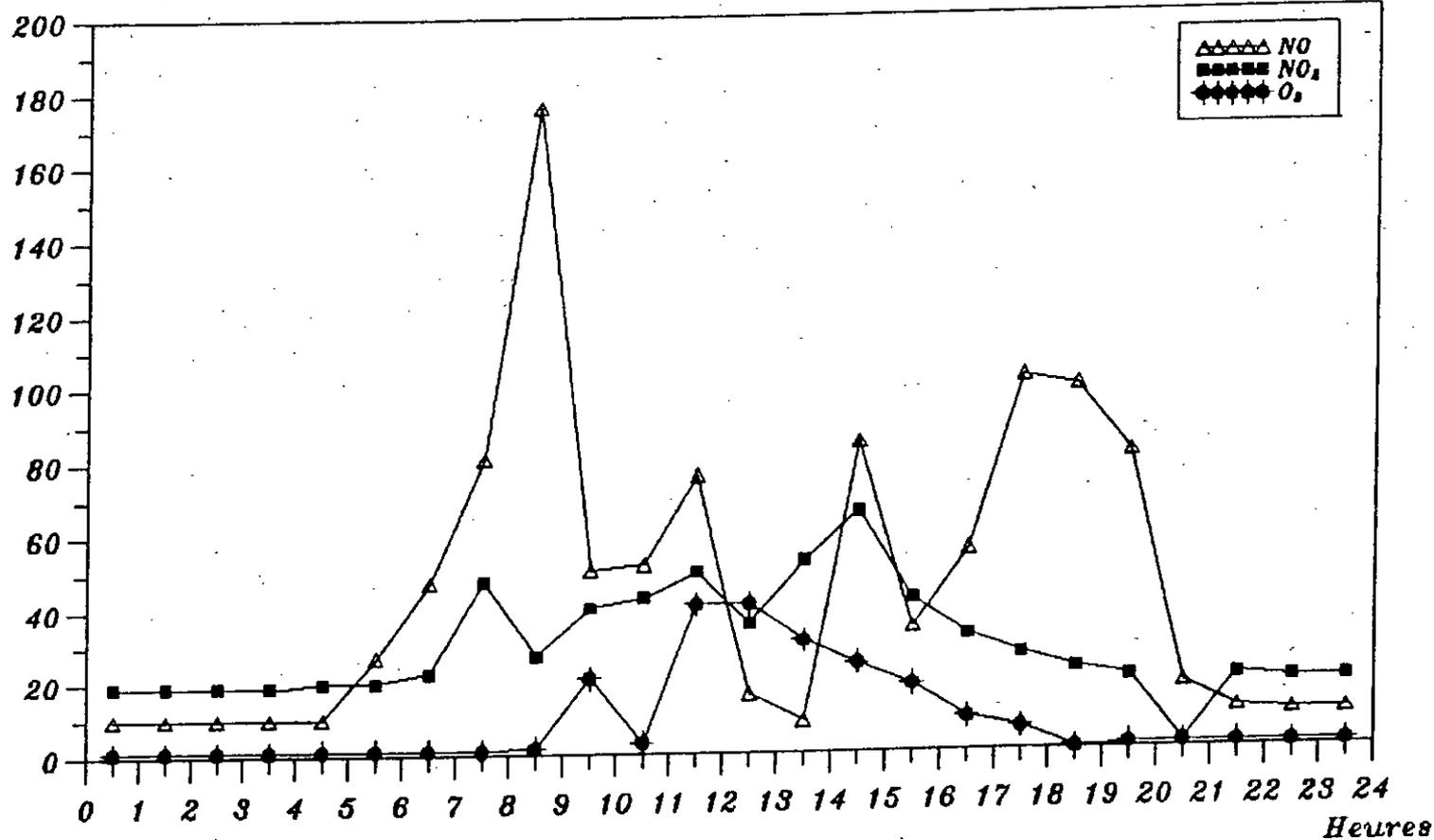


Fig N° 18 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre EL BIAR
Rue ALI KHOUDJA
29/03/93

Concentration (ppb)

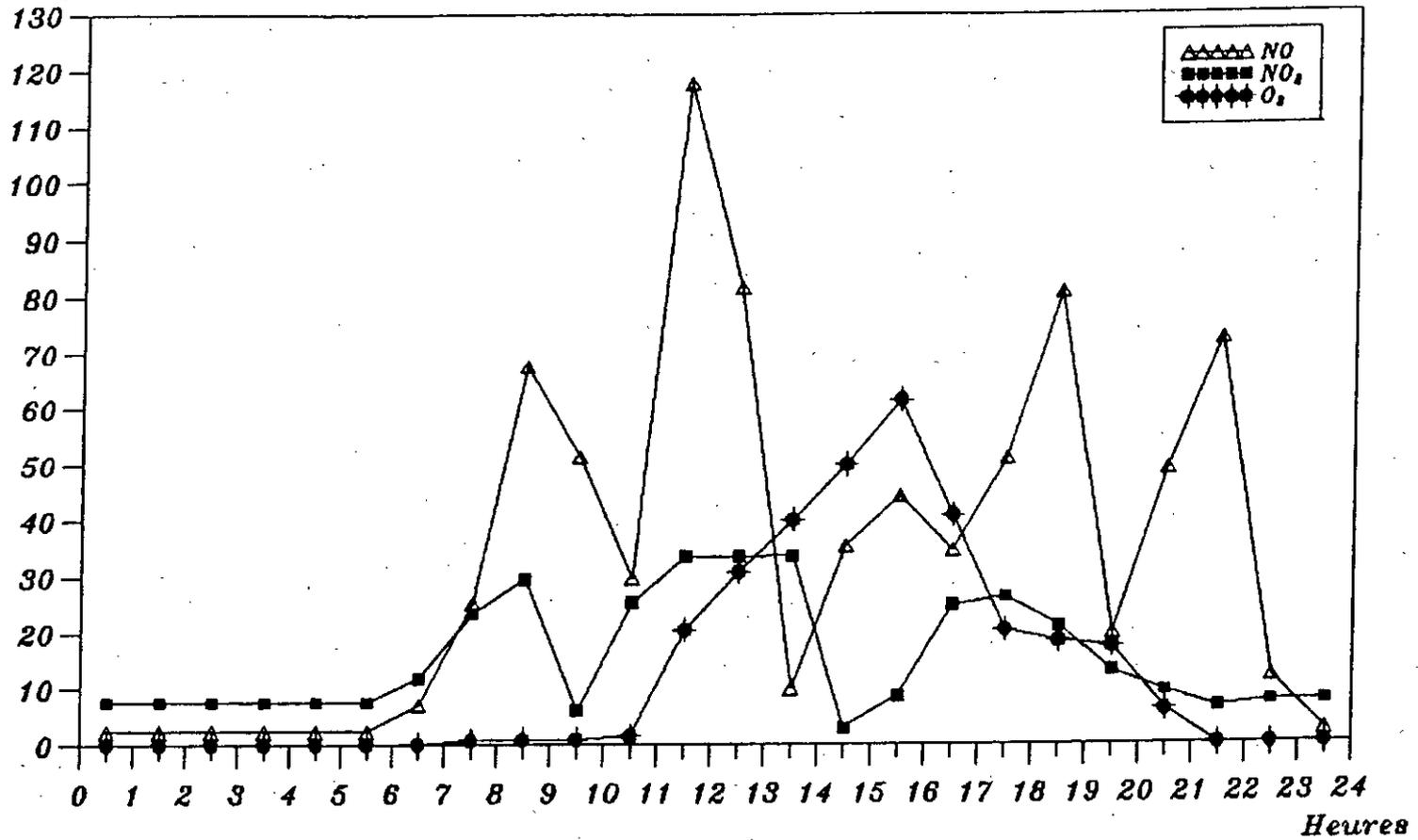


Fig N°19 :Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre EL BIAR
Rue ALI KHOUDJA
23/03/93 (Mois du Ramadhan)

-66-

Concentration (ppb)

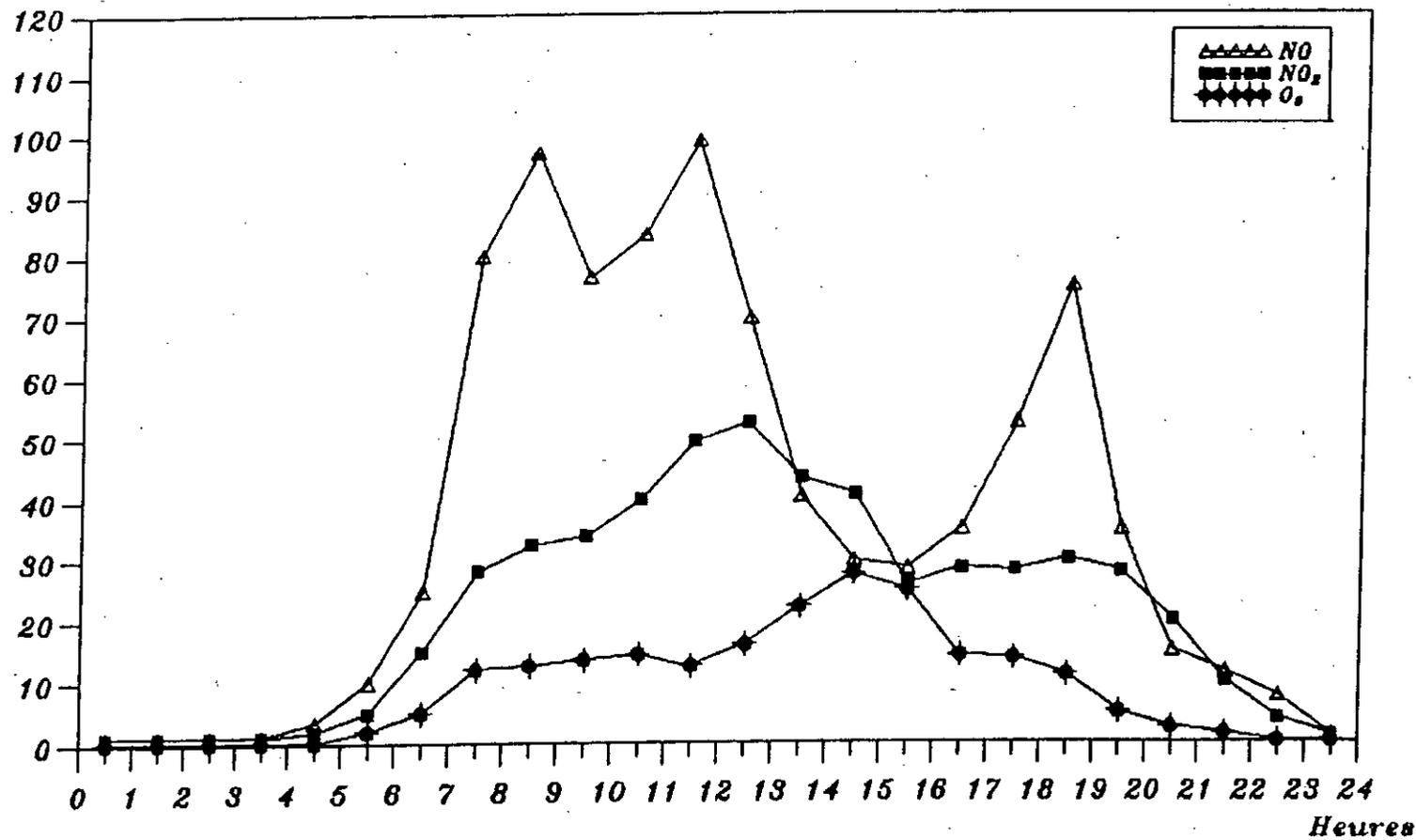


Fig N° 20 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃,
Rue DIDOUCHE Mourad
20/04/1993

concentrations (ppb)

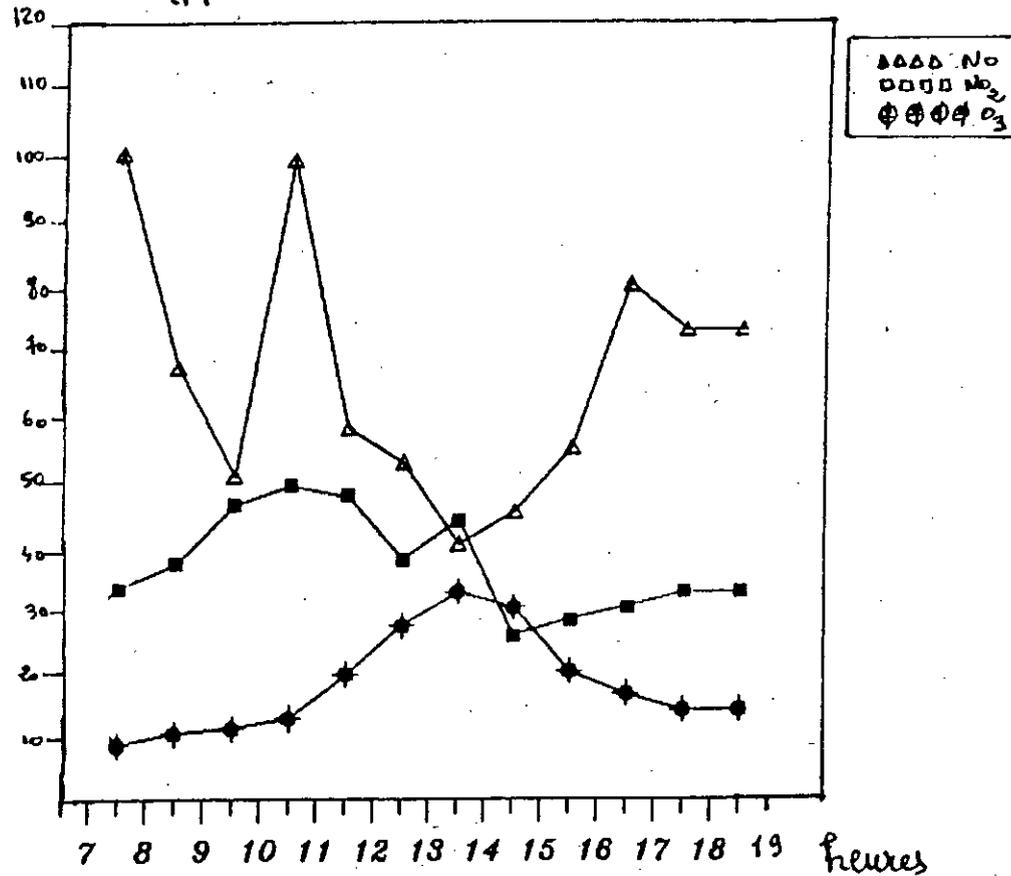


Fig N° 21 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃,
Rue DIDOUCHE Mourad
26/04/1993

Concentration (ppb)

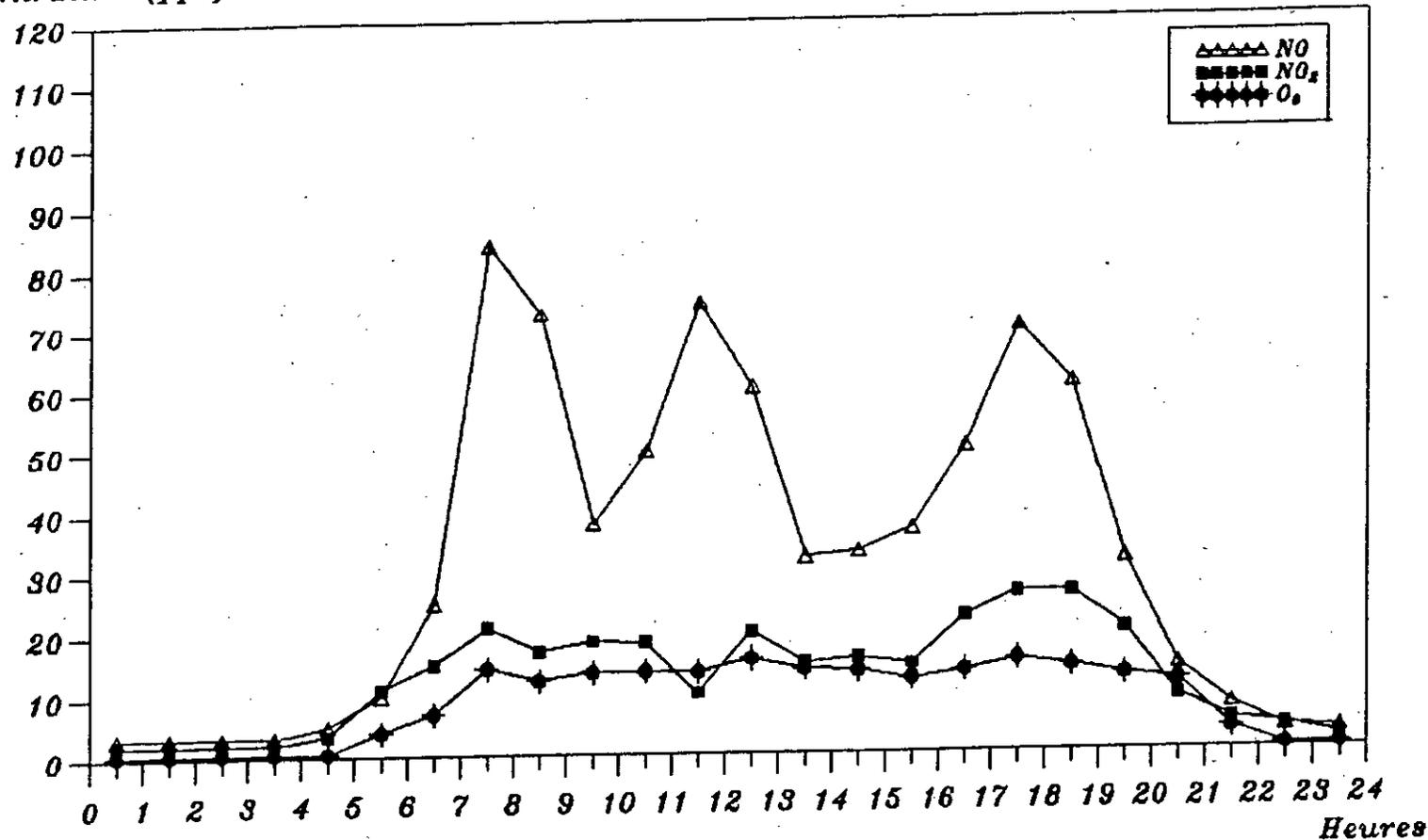


Fig N°22 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃.
Rue DIDOUCHE Mourad
27/04/1993

Concentration (ppb)

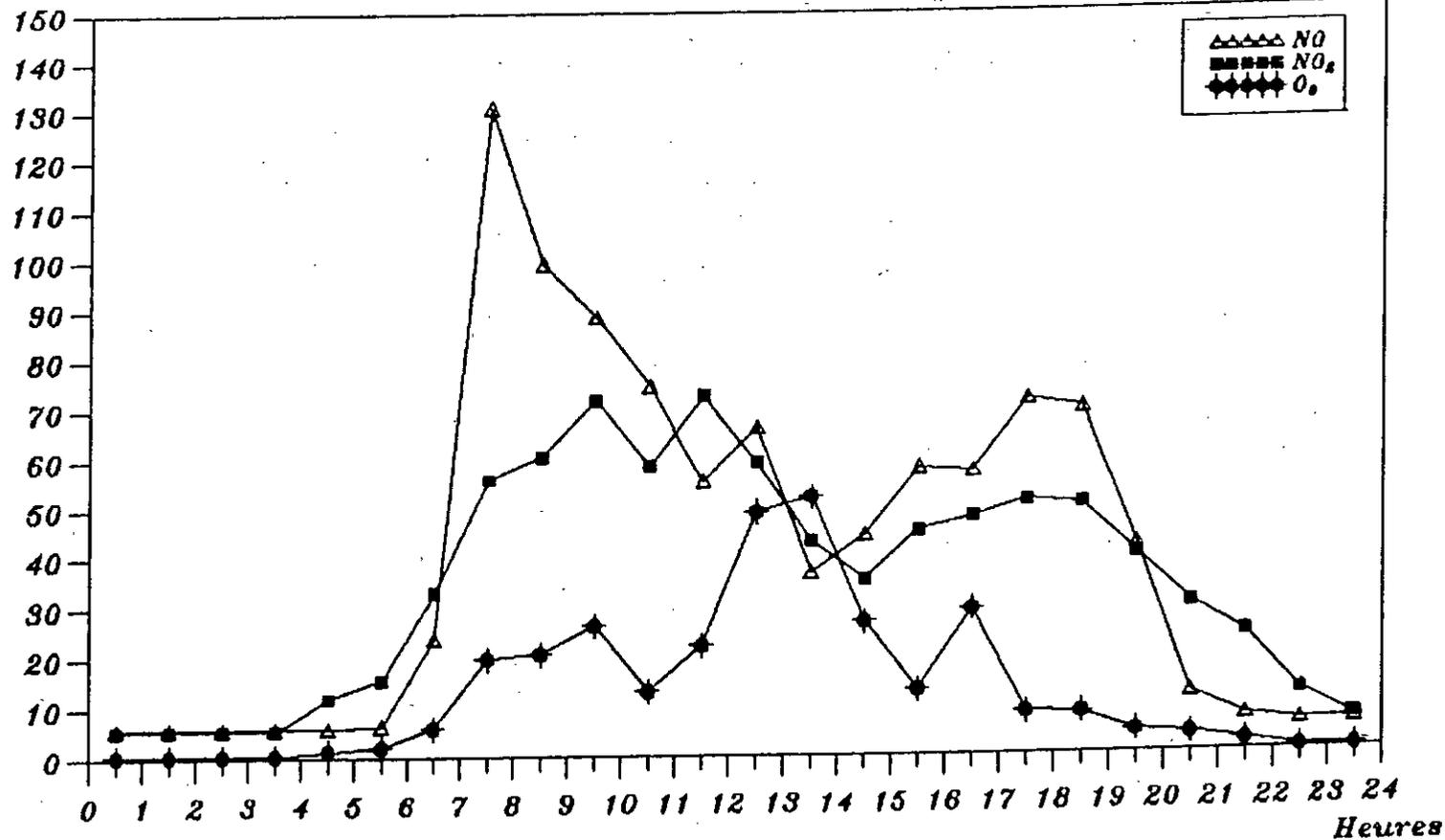


Fig N° 23 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃,
Rue DIDOUCHE Mourad
03/05/1993

Concentration (ppb)

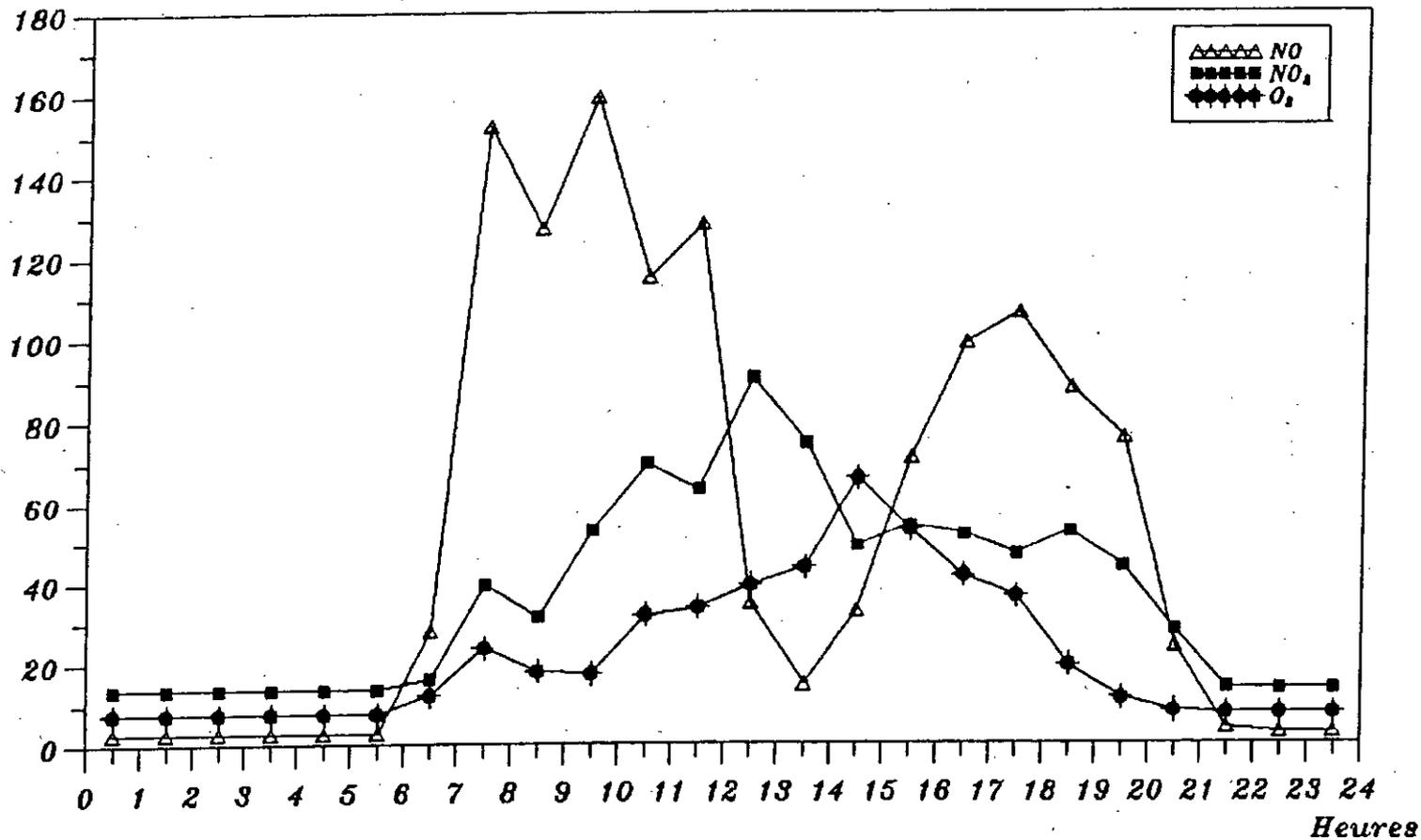


Fig N° 24 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
11/05/93

10.

Concentration (ppb)

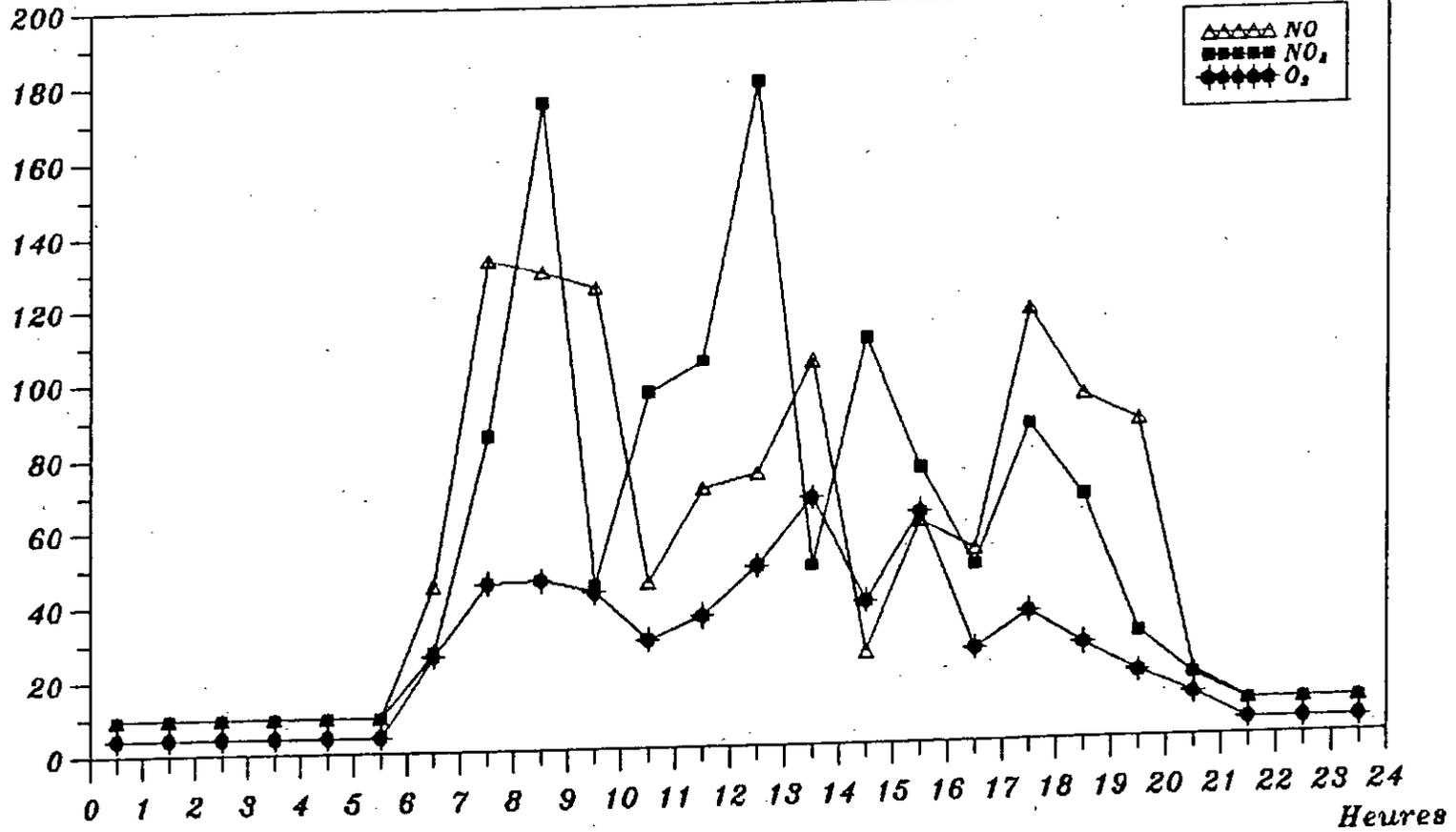


Fig N° 25 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
18/05/93

Concentration (ppb)

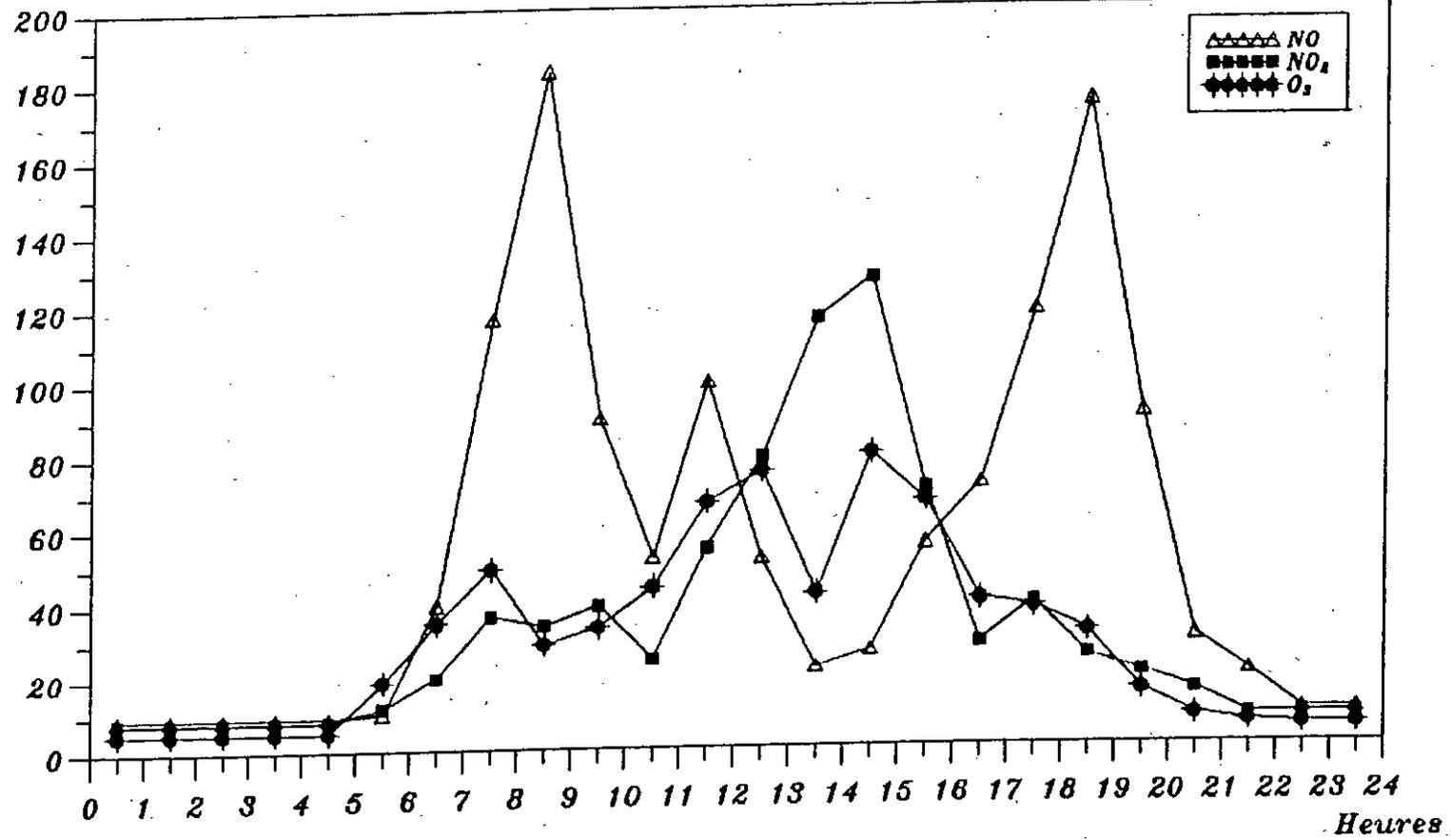


Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
19/05/93

Concentration (ppb)

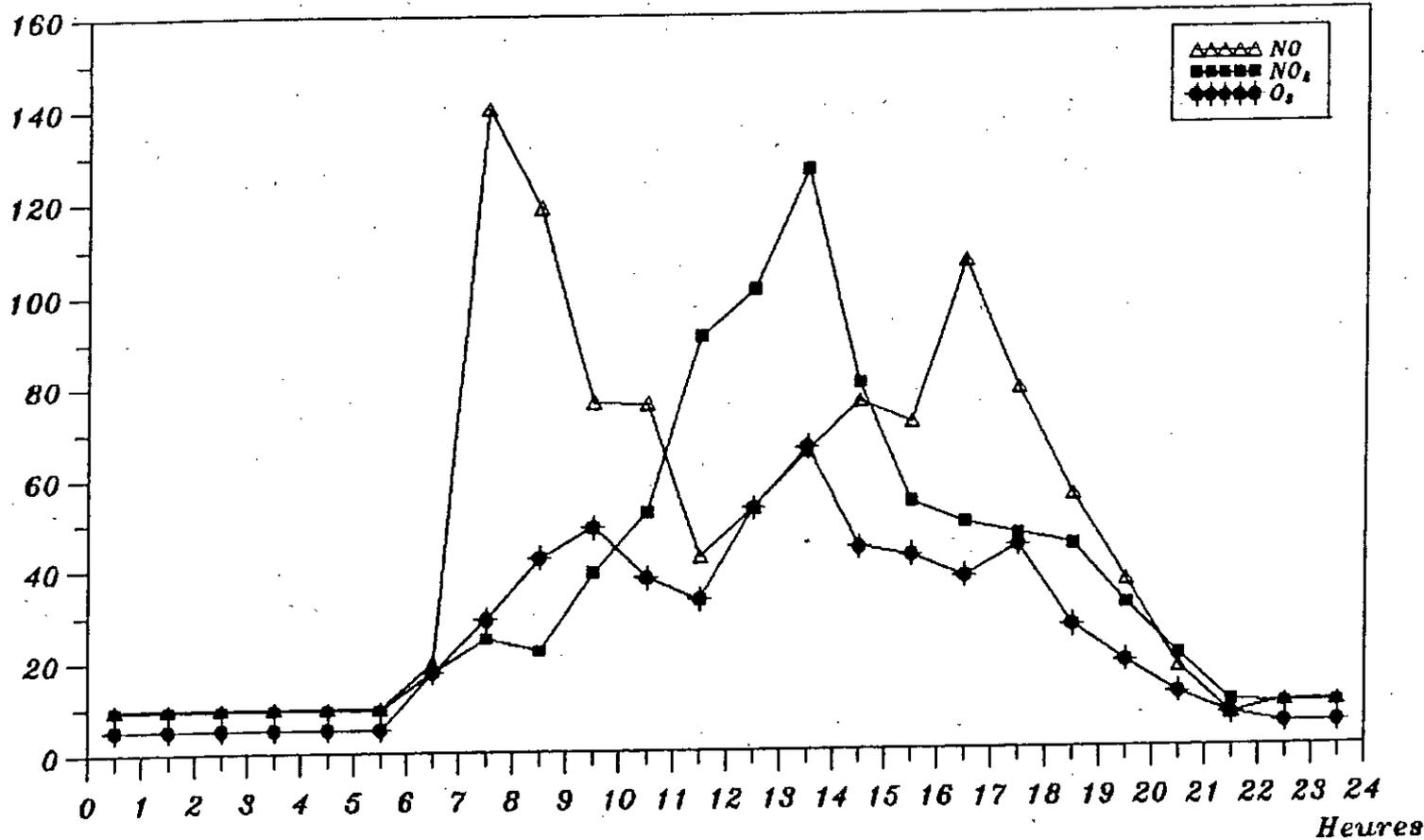


Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
20/05/93

Pour une ville d'une telle ampleur avec pas moins de 400.000 véhicules immatriculés, ceci représente peut être un cas de situation unique au monde.

En effet avec le couvre feu, le gel du trafic routier est de toute activité industrielle montre clairement l'origine anthropogénique de ce polluant. En cette période de l'année même le chauffage domestique émetteur des NOx est très réduit.

Une autre situation spécifique concerne le mois du Ramadhan qui présente un intérêt particulier avec ses propres caractéristiques qui sont inconnues en Europe.

Durant ces journées le pic matinal est décalé dans le temps, le pic d'avant le f'tour est très intense (forte effervescence du trafic routier) et diminue subitement entre 19 h et 20 h durant le f'tour. A partir de 20 h, les veillées traditionnelles s'accompagnent d'une reprise du trafic automobile qui fait introduire dans l'atmosphère des quantités nouvelles de NO donnant naissance au pic nocturne de 20 H 0 22 H.

L'évolution du dioxyde d'azote est en général en étroite relation, avec celle du NO. Comme le NO₂ résulte de l'oxydation du NO et qu'il subit en même temps une photodissociation, ses maxima sont d'une part moins accentués et d'autres part décalés dans le temps par rapport au NO.

En quantité notable on ne le retrouve que si le NO est émis d'une façon abondante.

Comme le NO et pour les mêmes raisons, ses teneurs nocturnes restent très faibles.

L'ozone étant fortement réduit la nuit (l'activité solaire est nulle), la fameuse réaction de titration de l'ozone par le NO ($O_3 + NO \rightarrow NO_2$) n'a pas lieu pendant les veillées du Ramadhan et on n'y observe aucun pic nocturne de NO₂ durant cette période (fig n°19).

En ce qui concerne l'ozone, les données recueillies montrent que globalement la teneur en ozone commence à croître dès le début de la matinée, passe par un maximum vers le milieu de l'après midi et décroît ensuite progressivement pour atteindre un minimum lors du coucher du soleil. Elle reste pratiquement nulle pendant toute la nuit. Un tel profil d'ozone est en fait corrélé avec l'évolution du NO et l'insolation

En effet, le maximum en milieu de l'après midi est dû d'une part aux faibles concentrations de NO principal puit de l'ozone et à l'accroissement du rayonnement solaire incident qui atteint son maximum vers 13 - 14 h .

En fin d'après-midi la baisse de l'insolation et l'introduction dans l'atmosphère de quantités nouvelles de NO par le trafic routier contribue à faire baisser la concentration d'ozone qui atteint son niveau minimum dans le courant de la soirée et reste presque nul jusqu'au lendemain matin.

Dans le même ordre d'idée on observe aussi que souvent l'ozone qui commence à se former le matin avec le lever du soleil (surtout à partir du mois de mai) est tout de suite anéanti par le pic matinal du NO. Ces considérations expliquent ainsi parfaitement le cycle particulier du week end ou du "vendredi".

Comme le montre la fig n° 34 l'évolution horaire moyenne du vendredi est assez spécifique en ce qui concerne les trois polluants. La aussi, on remarque clairement l'influence du trafic routier sur les émissions des NOx.

Le pic matinal n'existe plus et c'est juste tard dans la matinée et en début d'après midi (après la prière) que le NO prend de l'ampleur mais tout en restant faible par rapport aux journées ouvrables.

Le NO étant moins abondant, son effet de piège sur l'ozone ne fonctionne que partiellement et l'oxydant atteint de fortes teneurs. En d'autres termes cela signifie que les précurseurs d'ozone, les NOx et COV existent en quantité suffisante pour générer une production nette d'ozone, mais insuffisante pour réduire son taux maximal (atténuation de la réaction de titration de l'ozone).

C'est d'ailleurs pour ces raisons que c'est surtout en périphérie des grandes villes qu'on est susceptible de rencontrer les plus fortes concentrations d'ozone.

Aussi, il est certain que les teneurs d'ozone que nous avons mesuré en ces "site de proximité" sont en dessous des valeurs réelles qui existent en dehors de la ville d'Alger.

Concentration (ppb)

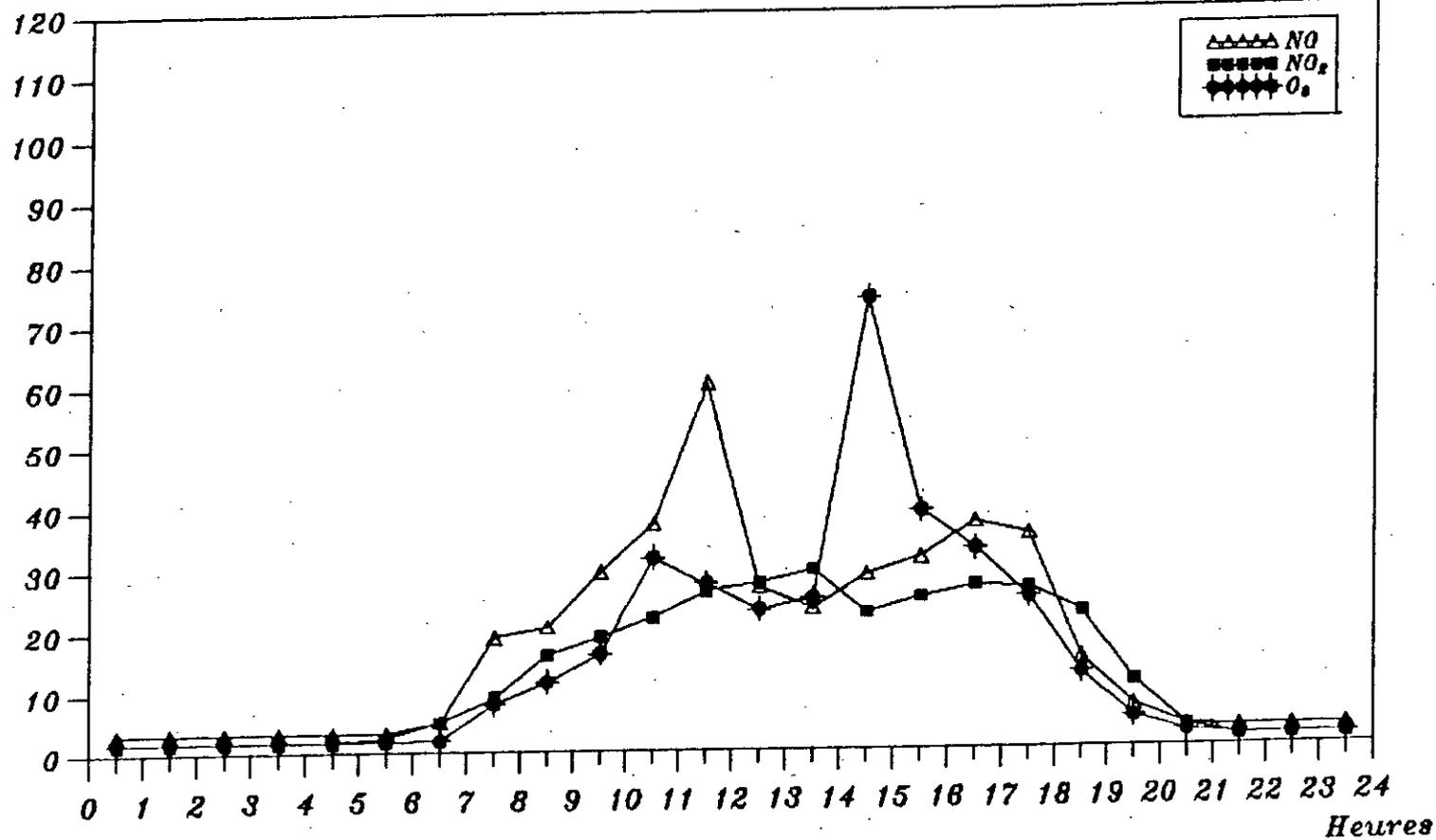


Fig N° 28 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
Rue DIDOUCHE Mourad
30/04/1993 [vendredi]

Concentration (ppb)

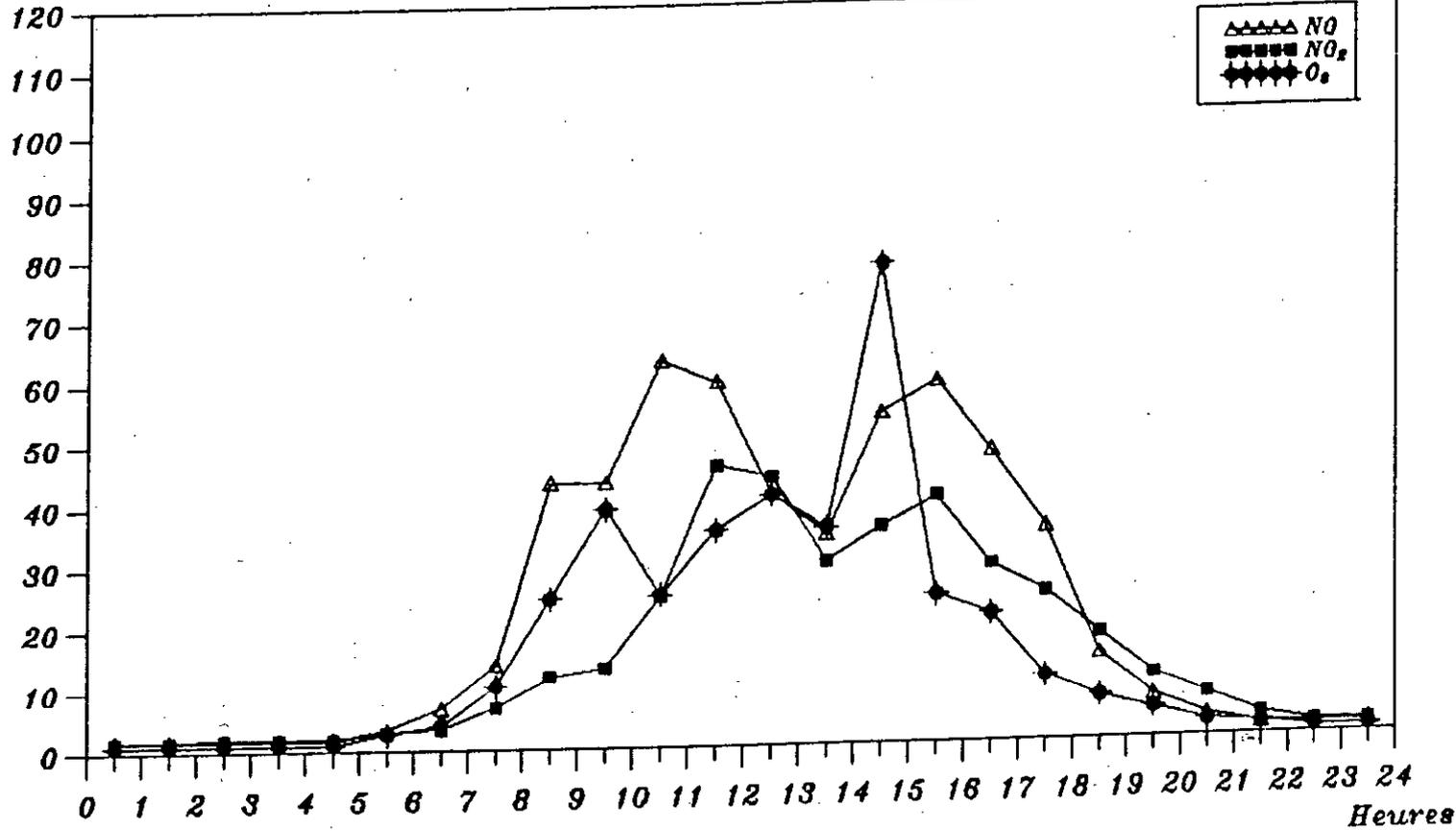


Fig N° 29 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃.
Rue DIDOUCHE Mourad
07/05/1993 [vendredi]

Concentration (ppb)

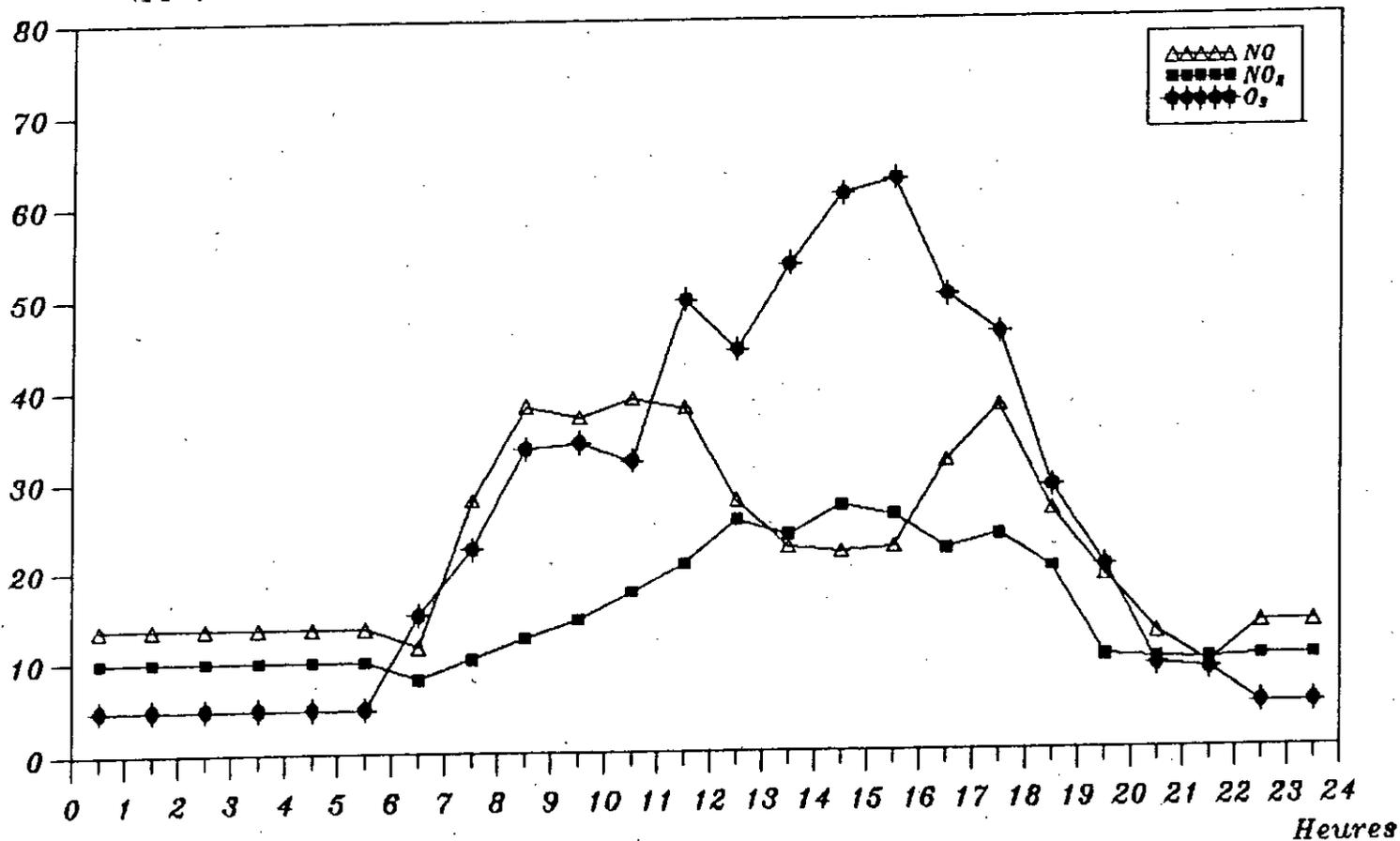


Fig N° 30 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
21/05/93 [vendredi]

Concentration (ppb)

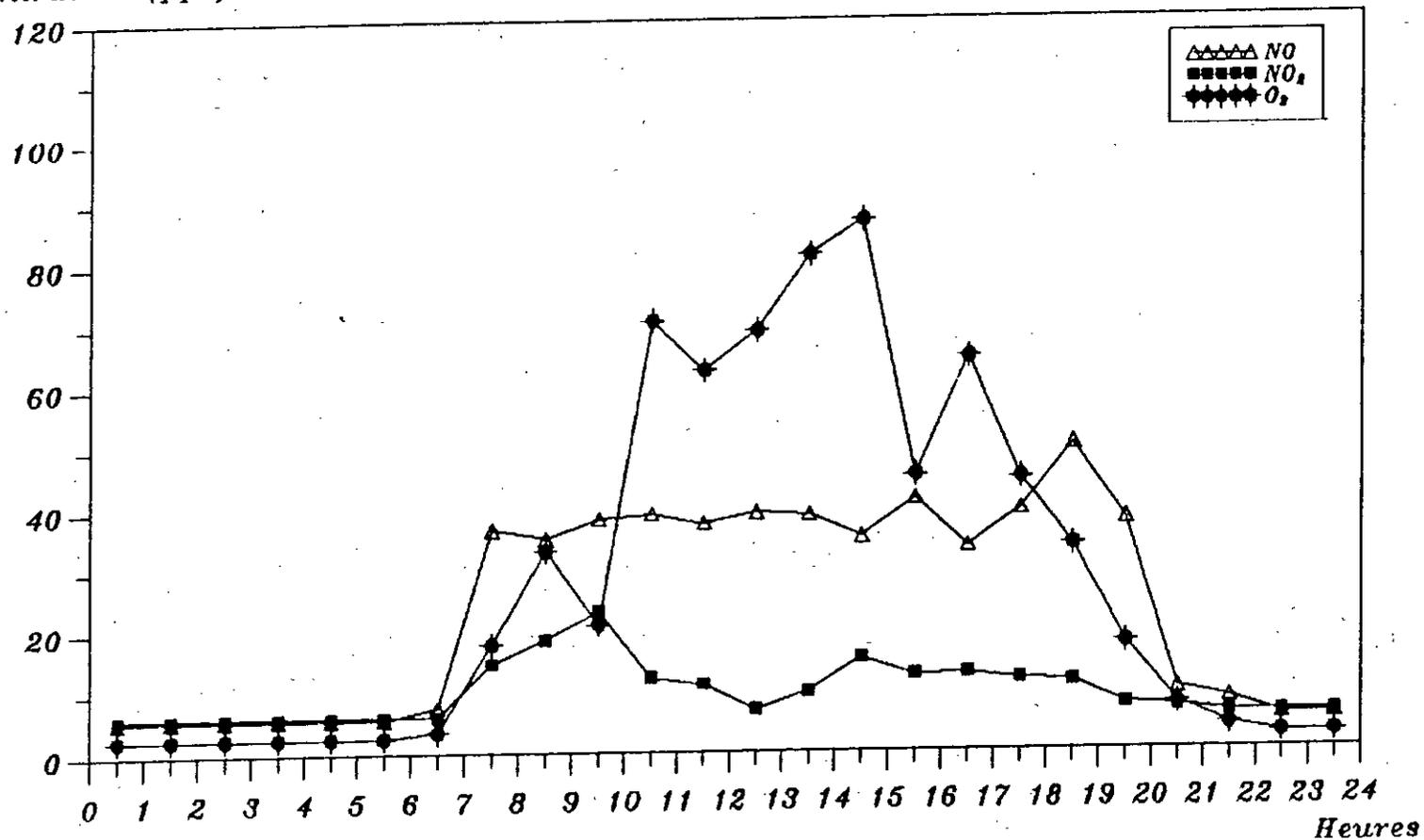


Fig N° 31 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
11/06/93 [vendredi]

A partir des données horaires recueillies sur plusieurs journées aux différents postes de mesure, nous avons calculé les moyennes journalières.

Les cycles horaires moyens ainsi déterminés sont illustrés en fig n° 32, 33, 34, 35, pour les sites respectifs n°1, 2, 3 et 4.

La fig n° 36 représente le cycle journalier moyen d'Alger. Ce cycle est déterminé à partir des cycles moyens enregistrés aux quatre postes algérois.

Enfin, nous représentons en fig n°37 le cycle horaire moyen des vendredis à Alger.

L'examen des évolutions aux différents sites montre que qualitativement les cycles sont identiques : le NO connaît les mêmes fluctuations importantes au cours de la journée. On observe pour tous les sites les 3 pics du NO, avec un minimum entre 13 et 14 h.

En général, les concentrations coexistantes des 3 espèces NO, NO₂ et O₃ sont régies par l'état photostationnaire

$$K = \frac{[\text{NO}_2]}{[\text{NO}][\text{O}_3]}$$

$$[\text{NO}][\text{O}_3]$$

La conversion du NO en NO₂ est différée dans le temps est si O₃ ou NO est présent à des niveaux élevés, l'autre doit être nécessairement à des niveaux faibles. C'est pourquoi en début d'après midi, au minimum du NO correspond le maximum d'ozone (le NO est un piège de O₃).

En début de soirée le NO émis encore en forte proportion réagit avec l'ozone jusqu'à ce que ce dernier disparaît. Ceci est caractéristique d'un milieu urbain où l'ozone de nuit est réduit à zéro.

La similitude dans les teneurs relevées au niveau des sites urbains nous a incité à proposer un cycle journalier moyen pour le centre urbain à Alger.

Concentration (ppb)

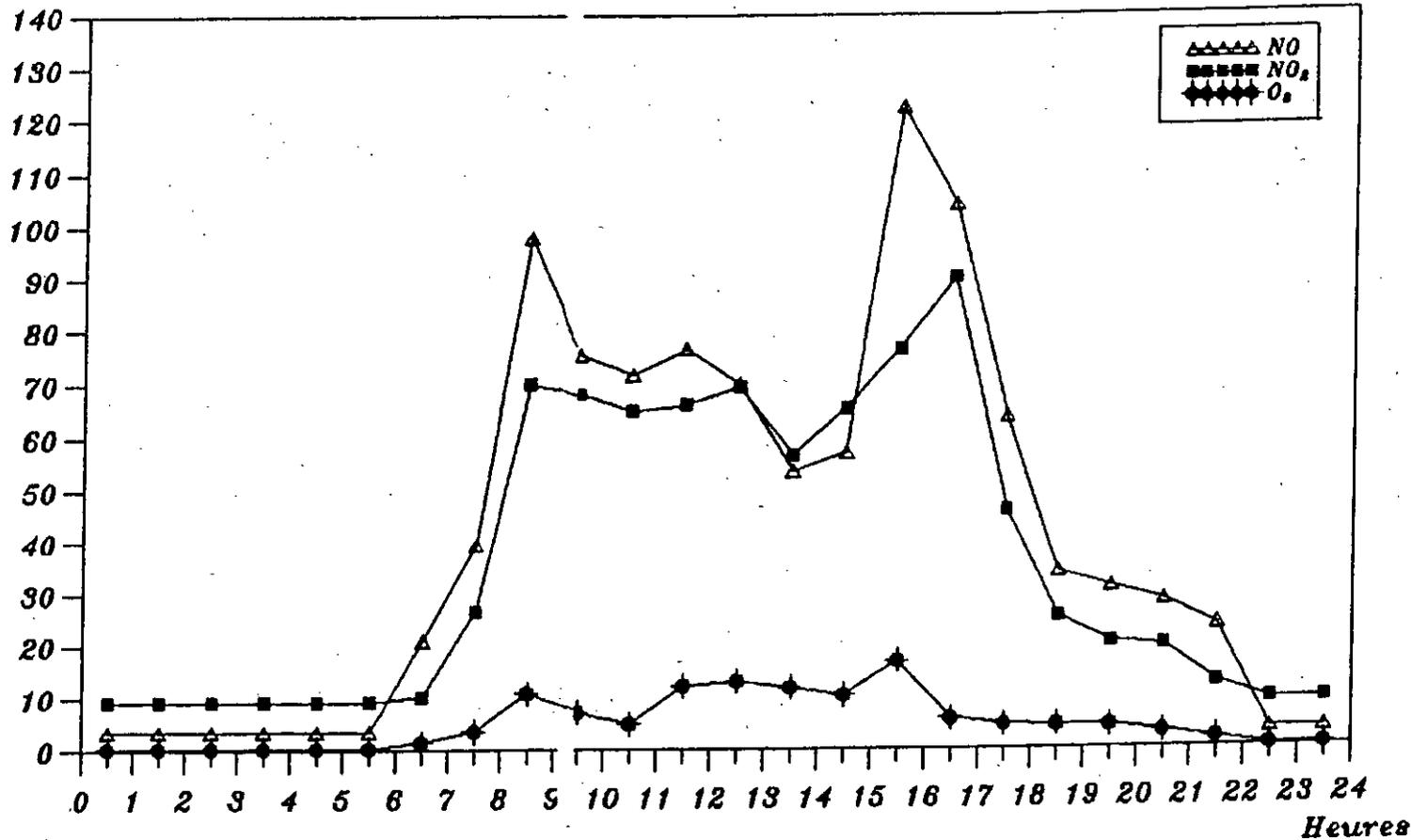


Fig N° 32 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue ASSELAH Hocine

.81.

Concentration (ppb)

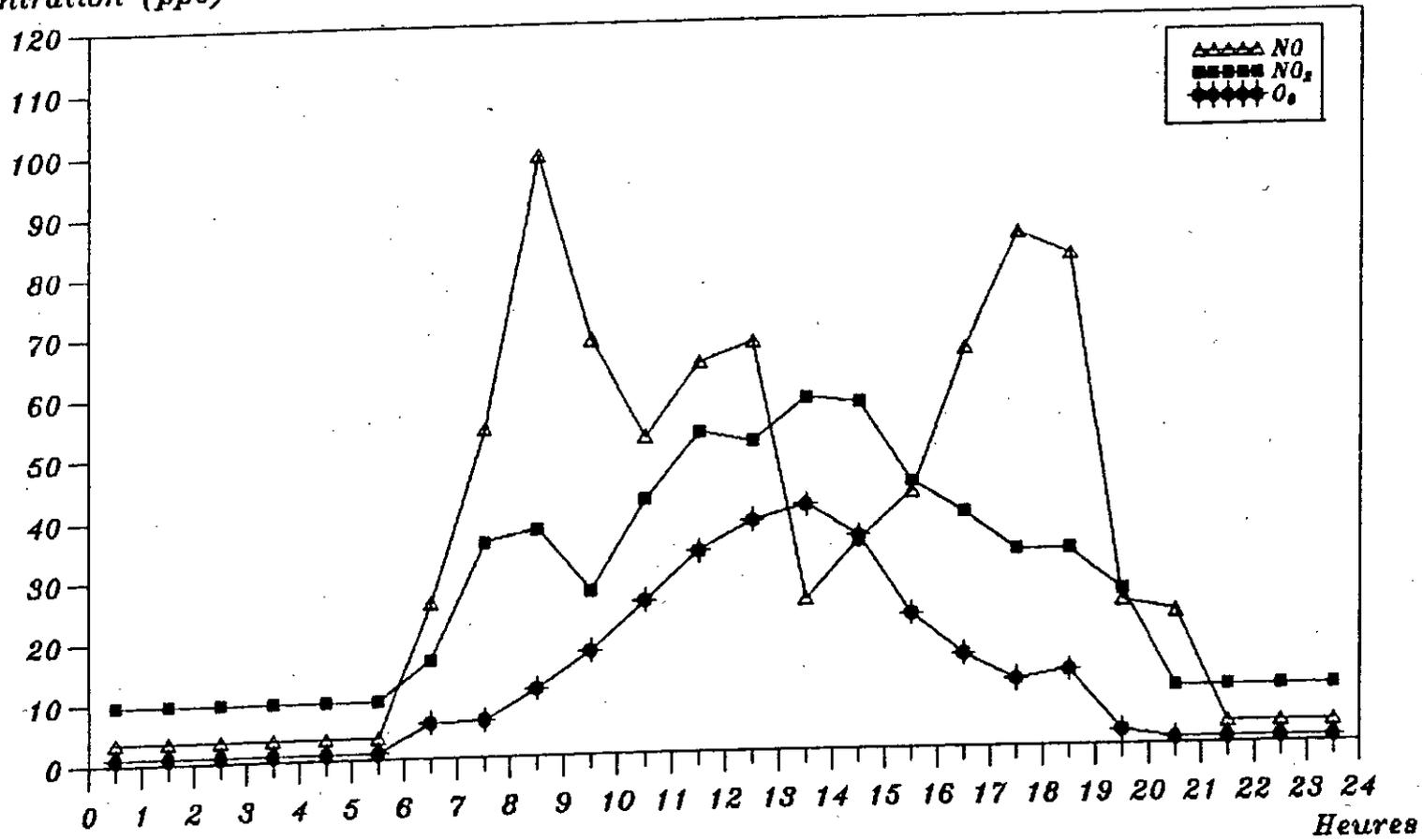


Fig N° 33 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA

Concentration (ppb)

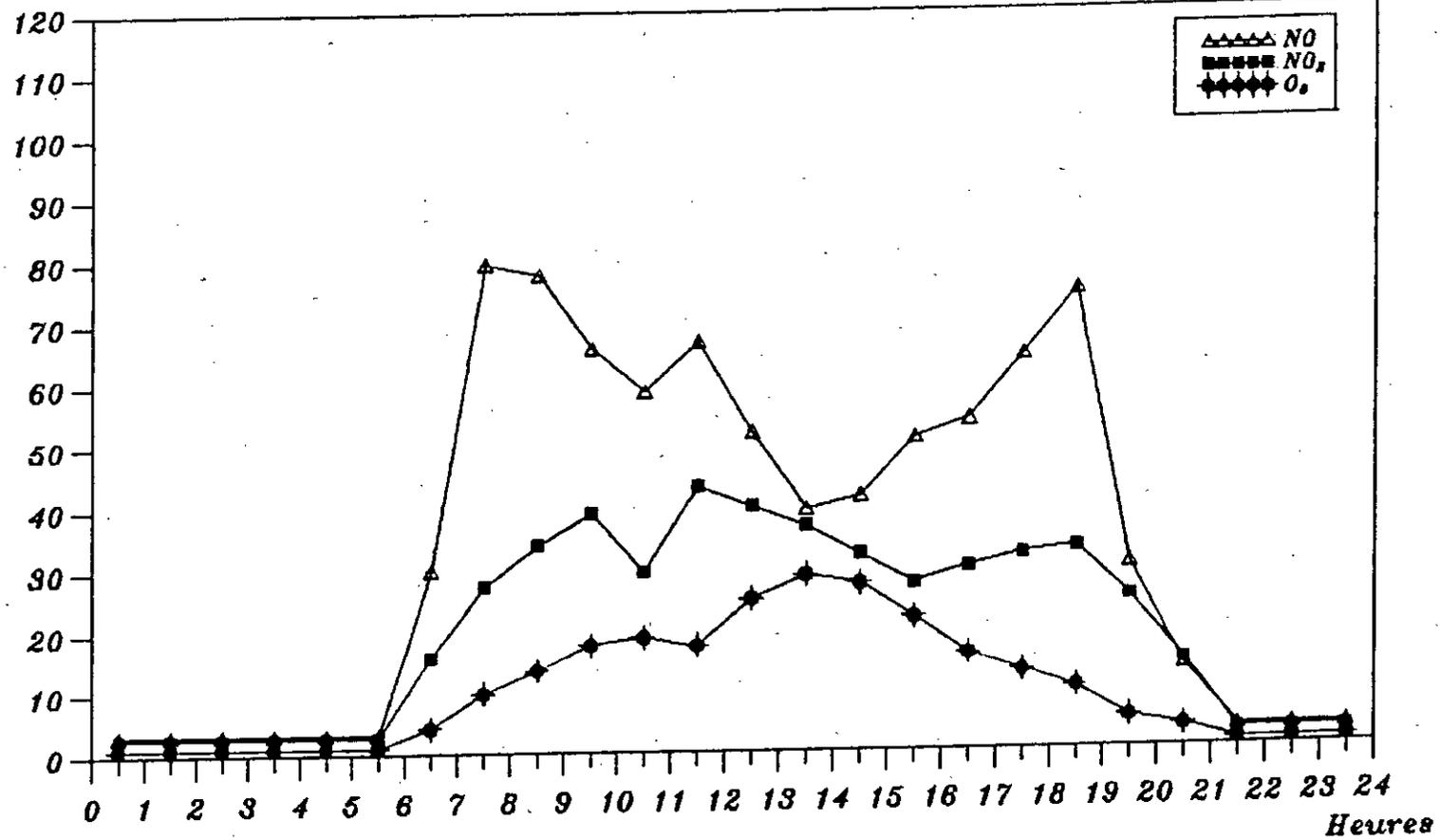


Fig N° 34 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad

- 93 -

Concentration (ppb)

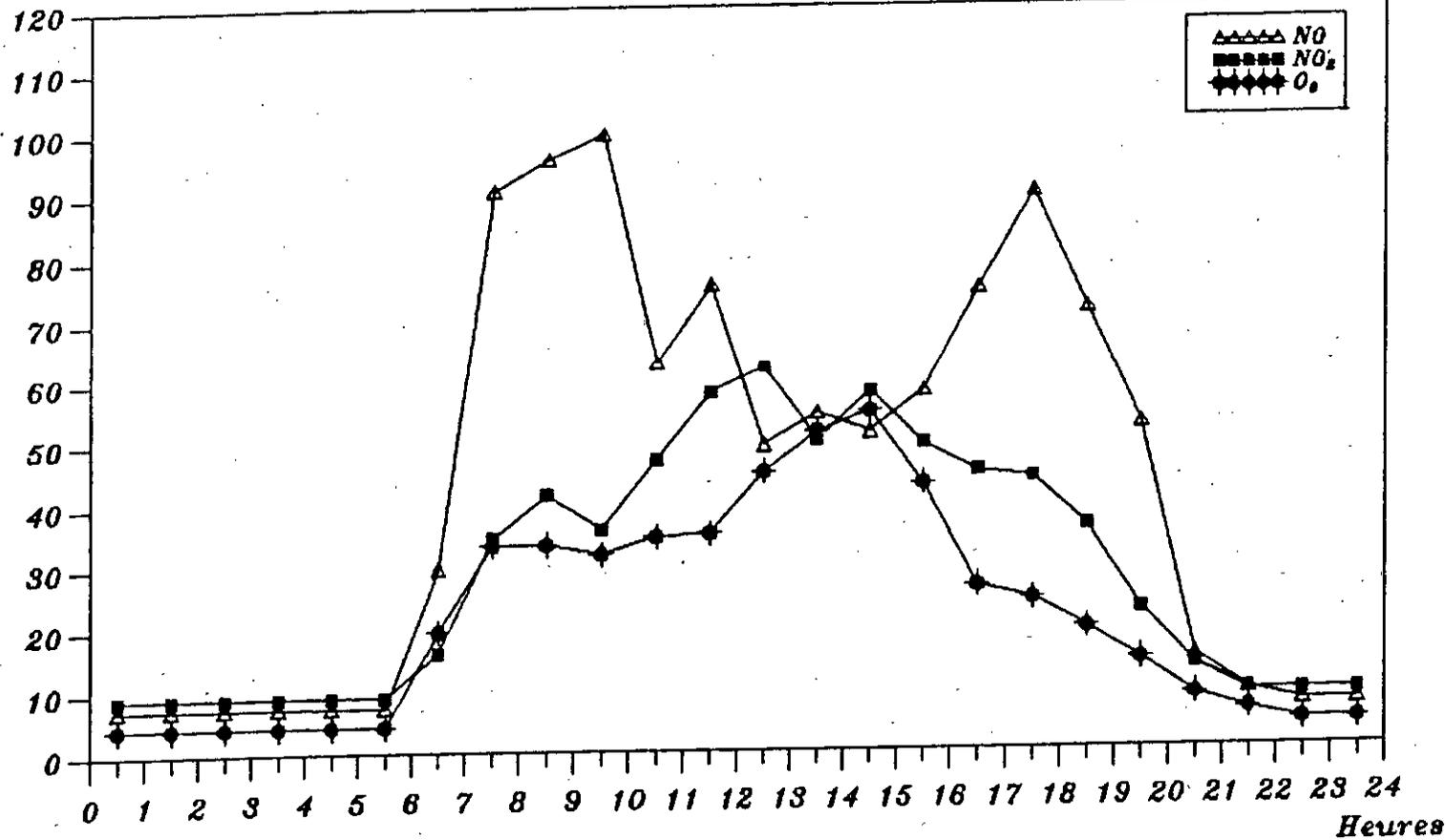


Fig N°35 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE

Concentration (ppb)

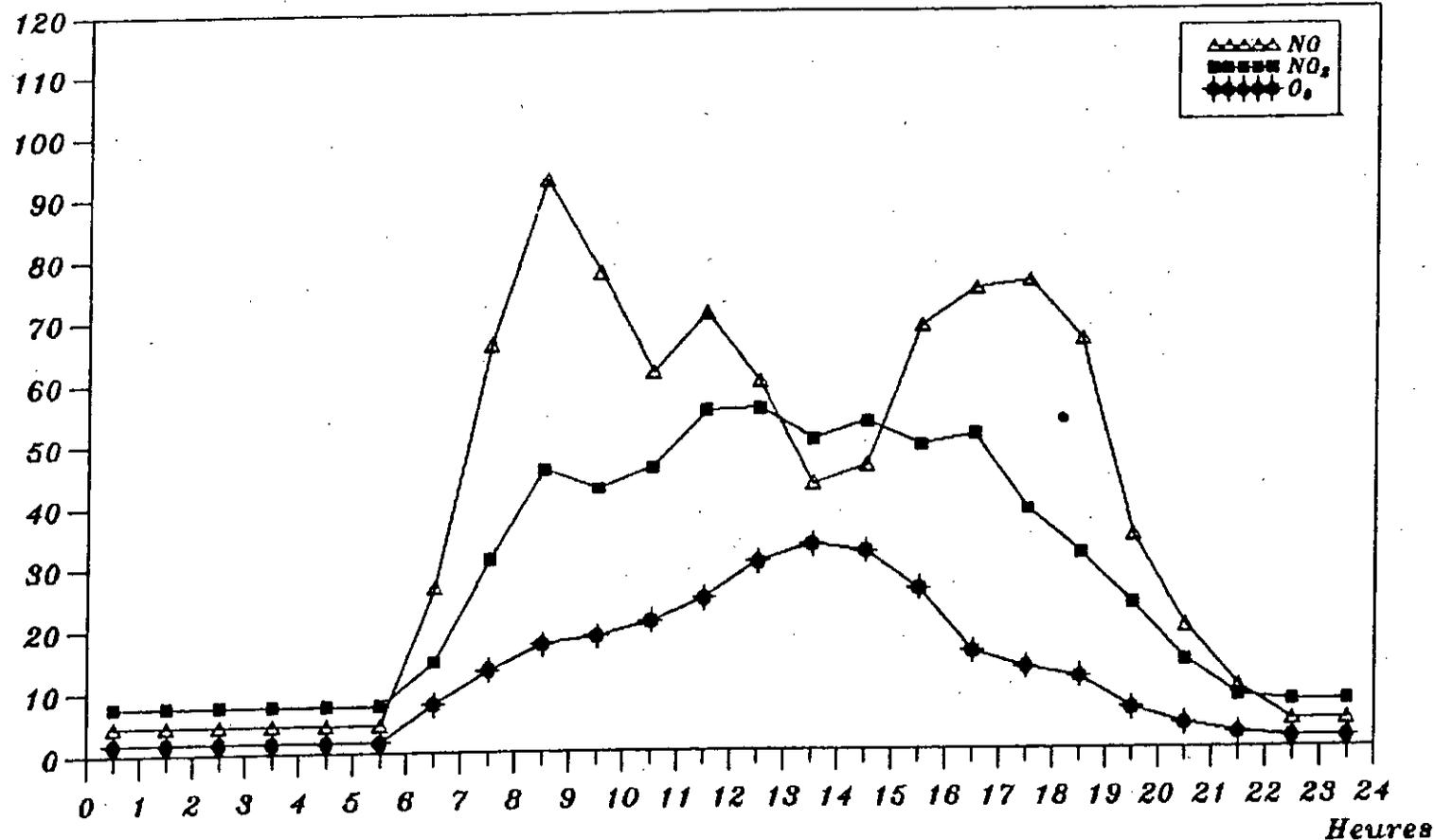


Fig N° 36 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
ALGER (Moyenne des quatres sites)

Concentration (ppb)

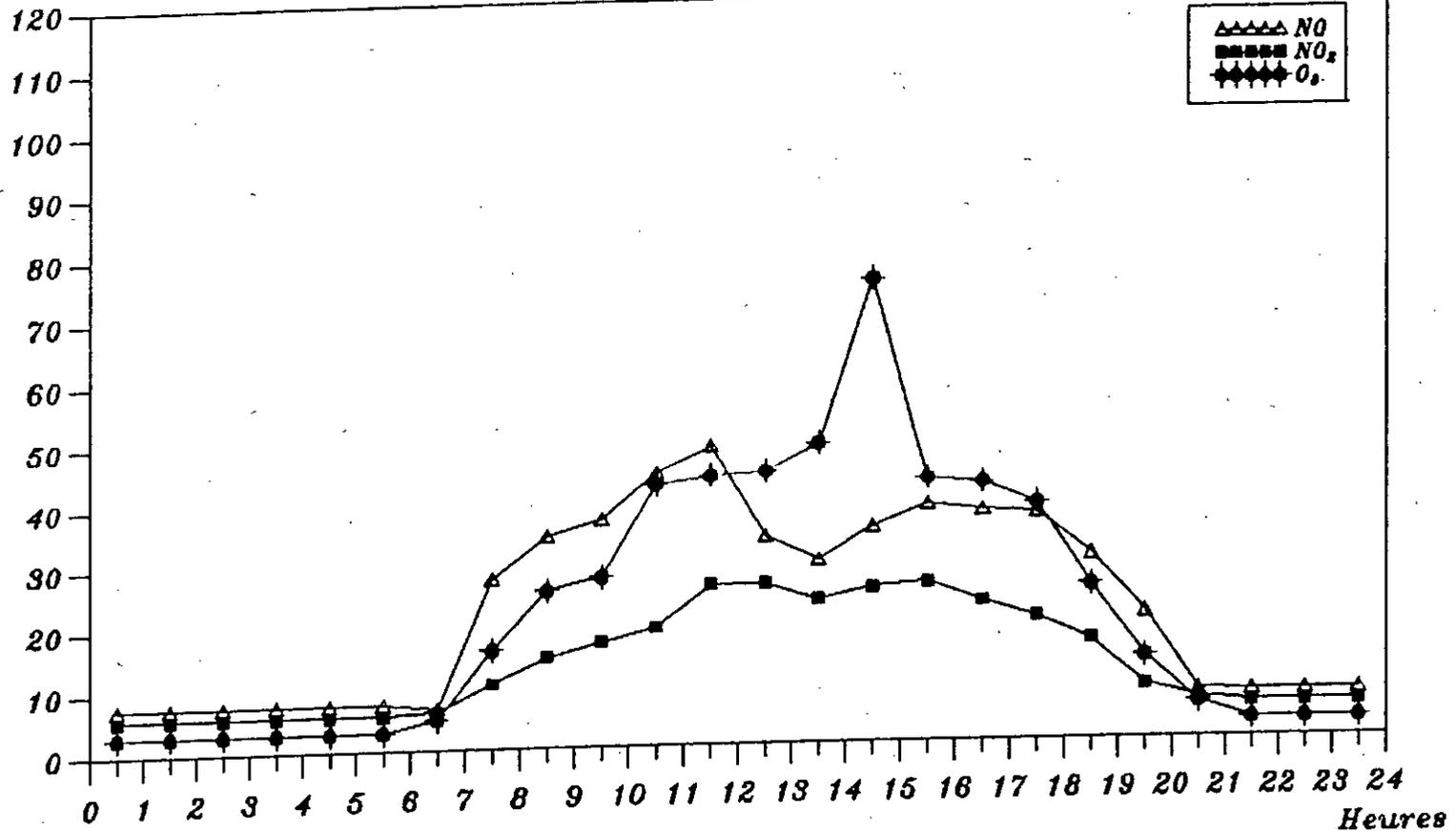


Fig N° 37 : Cycle horaire moyen des Vendredi a ALGER

Ce cycle représenté en fig n° 36, reflète à notre avis la nature et l'évolution du trafic routier en centre ville. Il est aussi représentatif de la configuration et du taux de fréquentation de la majorité des rues algéroises. Que ce soit à El Biar, à Didouche Mourad ou au Boulevard Colonel Amirouche, les NOx atteignent des niveaux comparables. La comparaison de l'ozone mesuré aux différents sites est par contre plus difficile, car ce dernier dépend aussi bien de la turbulence locale que de la période saisonnière. Ainsi par exemple, on constate que les teneurs d'ozone mesurées au mois de mars à la rue Hocine Asselah sont plus faibles que celles enregistrées à la rue Colonel Amirouche. Pourtant ces deux postes qui sont très proches l'un de l'autre se caractérisent par un trafic routier et des taux de NOx similaires.

Il semblerait toutefois que le taux d'irradiation solaire n'est pas suffisant à lui seul à expliquer les épisodes de fortes teneur en ozone, des facteurs comme la topographie, la faible turbulence jouent un rôle important.

Les teneurs élevées en ozone ne sont plus l'apanache des pays ensoleillés et industrialisés, mais se retrouvent aussi même en hiver à des niveaux alarmants en Europe du Nord (Allemagne et scandinavie) [17].

En ce qui concerne les niveaux moyens atteints par les trois polluants à Alger Centre, le graphe de la fig n° 36 montre que le NO atteint une teneur horaire maximale de moins de 100 ppb le maximum du dioxyde d'azote est de l'ordre de 60 ppb.

Le faible niveau de l'ozone urbain et le faible rapport $[NO_2]$ qui reste inférieur à 1 montrent que la ville

[NO]

d'Alger ne fait pas l'objet d'une intense pollution photochimique, du moins en ce qui concerne la période étudiée.

Ceci concorde aussi avec les données météorologiques de l'Office national de la météorologie qui ne détectent à Dar El Beida que quelque cas d'inversions thermiques de faibles altitudes qui se prolongent le jour jusqu'à midi.

Cet état de faible pollution est certainement favorisé par :

- Le couvre feu qui réduit certainement les émissions globales en NO_x et COV.

- Les conditions météorologiques défavorables à l'installation d'une inversion thermique prolongée. Rappelons ici que l'étude du rapport $\frac{[NO_2]}{[NO]}$ est importante, car il contribue

à expliquer les interactions entre les précurseurs.

- En effet en atmosphère peu polluée, le NO domine et le rapport $\frac{[NO_2]}{[NO]}$ reste inférieur à 1. Dans le cas d'une atmosphère urbaine fortement polluée, les COV issus du trafic routier donnent comme on l'a vu dans la partie théorique, des radicaux réactifs qui réagissent rapidement avec le NO en l'oxydant en NO₂. Le NO peut alors augmenter d'une manière de mesurée et parallèlement il n'y a plus suffisamment de NO pour piéger l'ozone. Ce dernier atteint alors des proportions très élevées. C'est pourquoi en période de smog après le pic matinal, le NO reste faible pendant toute la journée, le NO₂ et l'ozone par contre sont au maximum. Dans le cas de notre étude, les rapports $\frac{[NO_2]}{[NO]}$ sont très souvent inférieurs à 1 et

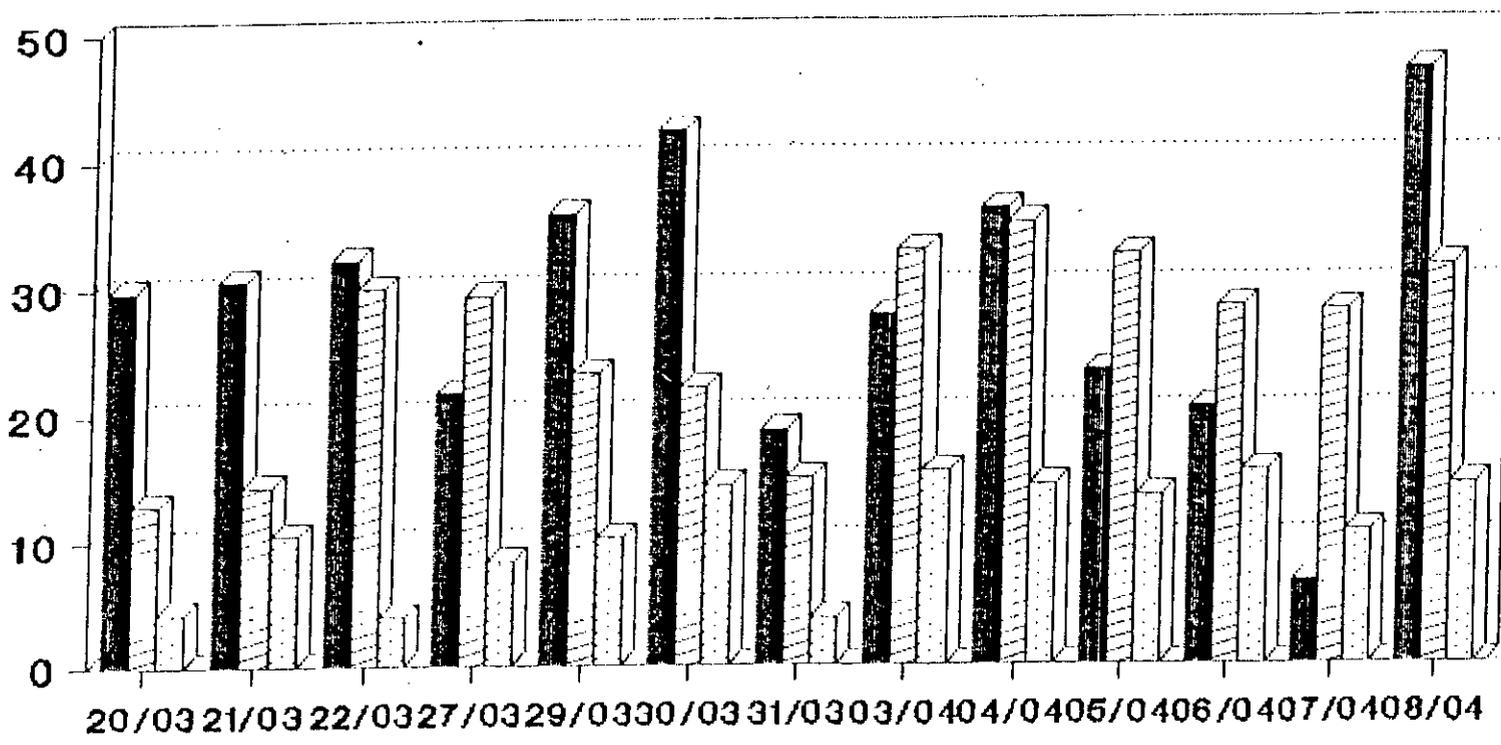
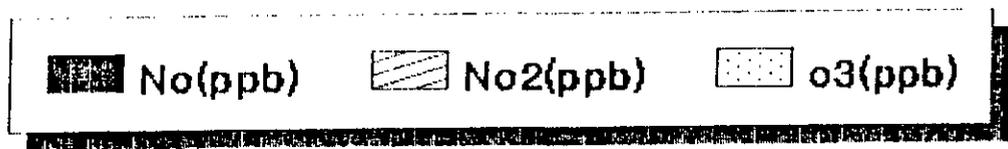
l'ozone n'atteint que des niveaux modérés.

L'évolution dans le temps des moyennes journalières est présenté par les différents sites en fig N°38, 39, 40 et 41.

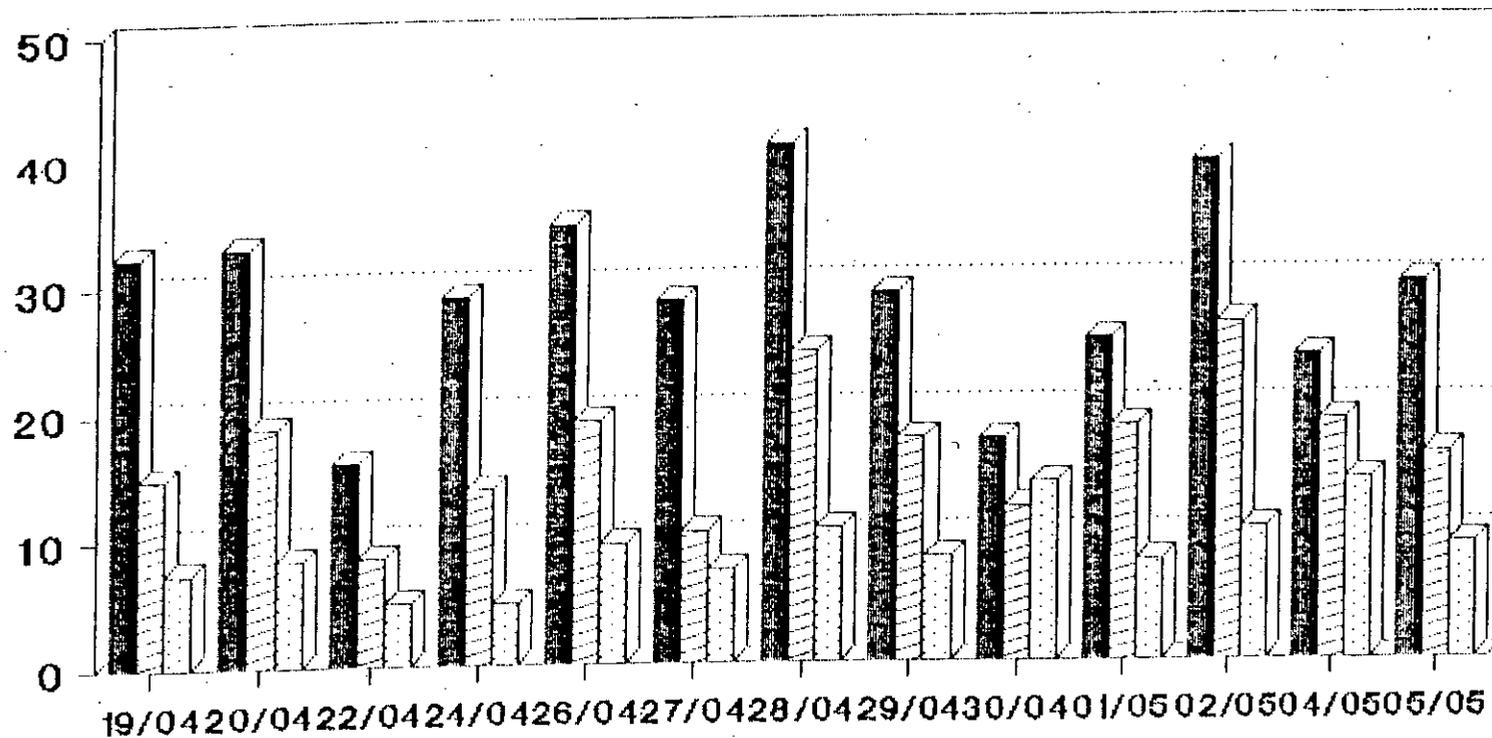
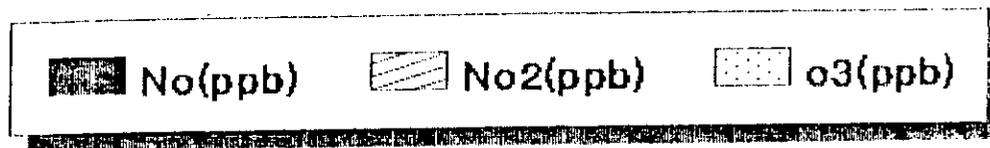
Les fluctuations temporelles sont importantes dans le cas des NO_x, le cas des vendredis a été déjà discuté, pour l'ozone les fluctuations sont moindres.

Ce résultat montre l'importance du suivi. Les polluants sur une grande période pour en évaluer leur impact à moyen ou long terme.

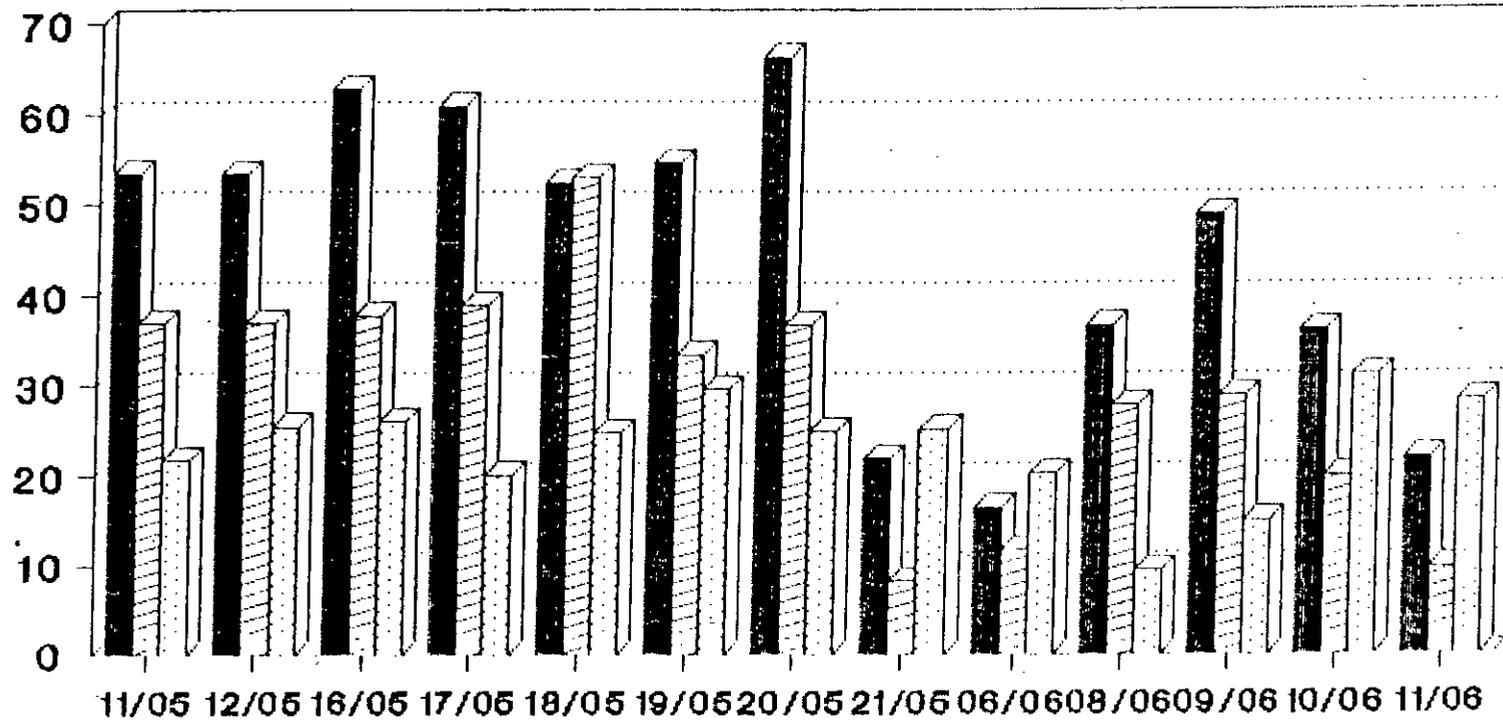
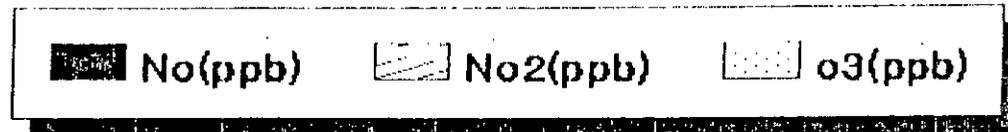
Evolution des moyennes journalières calculées sur 24h à Alger El Biar Rue Ali Khodja



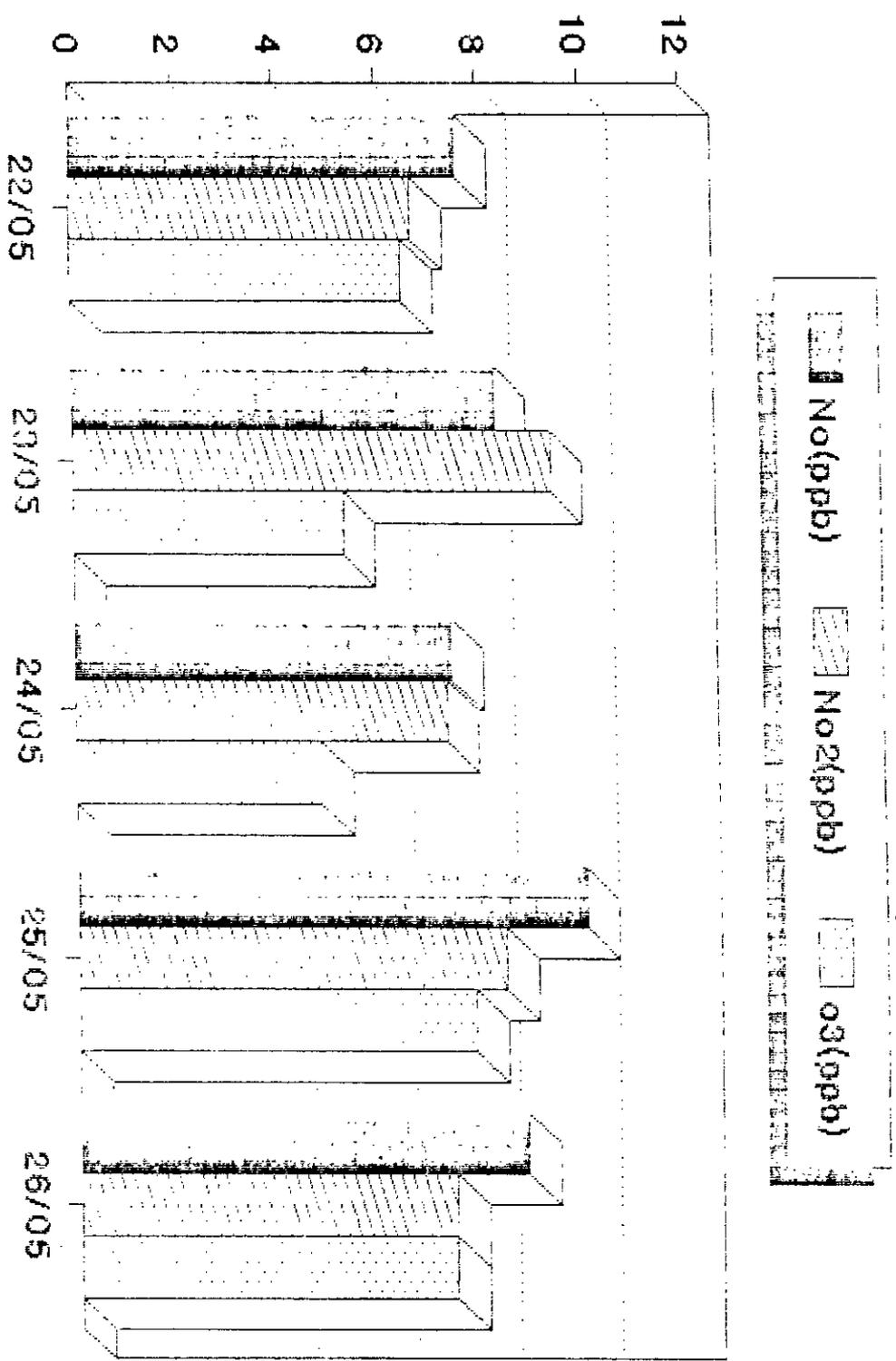
Evolution des moyennes journalières calculées sur 24h à Alger centre Rue Didouche Mourad



Evolution des moyennes journalières
calculées sur 24h à Alger centre
Rue Colonel Amirouche



Evolution des moyennes journalières calculées sur 24h à Douera



VIII.3. TENEURS ET EVALUATION DE POLLUANTS NO, NO₂ et O
EN MILIEU SEMI-RURAL A DOUIRA.

Le choix du site semi rural de Douira situé en dehors de l'agglomération d'Alger à environ 25 km au Sud Ouest de celle-ci avait pour objectif l'étude des trois points suivants.

Démontrer la baisse des niveaux de pollution par les oxydes d'azote issus du trafic routier et autres activités industrielles et évaluer les teneurs en ozone naturel lorsque les "puits" d'ozone sont pratiquement inexistant.

- Rechercher un profil d'ozone nocturne qui se produirait dans le cas où l'ozone urbain formé à midi serait transporté en dehors de l'agglomération vers Douera où il persisterait le soir et la nuit à des teneurs plus élevées qu'en milieu urbain.

- Etudier le transport de l'ozone en dehors de la ville. Ce transport peut avoir lieu lorsque les masses d'air qui transitent au dessus de la capitale se chargent en polluants primaires précurseurs de la pollution photooxydante. Il les entraînent alors sous la direction du vent très loin de la ville où ils conduisent dans les heures suivantes sous l'effet de l'irradiation solaire à une formation élevée d'ozone loin de l'agglomération et de toute source émettrice de polluants.

A Douira, le site de prélèvement est situé loin de la route et ne représente plus un site de proximité. En ce site nous avons dressé le profil horaire des trois polluants sur cinq (05) journées consécutives.

A titre d'exemple, nous illustrons en fig n° 42 le profil mesuré le 24/05 1993, sur la fig n° 43 nous représentons le profil journalier moyen obtenu lors du suivi suivi effectué sur les 5 jours.

En ce site très peu pollué, l'équilibre photostationnaire valable pendant le jour est clairement visible, à l'ozone maximal correspondant une teneur minimale en NO

Les différents pics correspondants aux heures de pointe en milieu urbain n'apparaissent plus et les niveaux atteints par les NOx, sont faibles et légèrement plus élevés que les teneurs de fond.

Concentration (ppb)

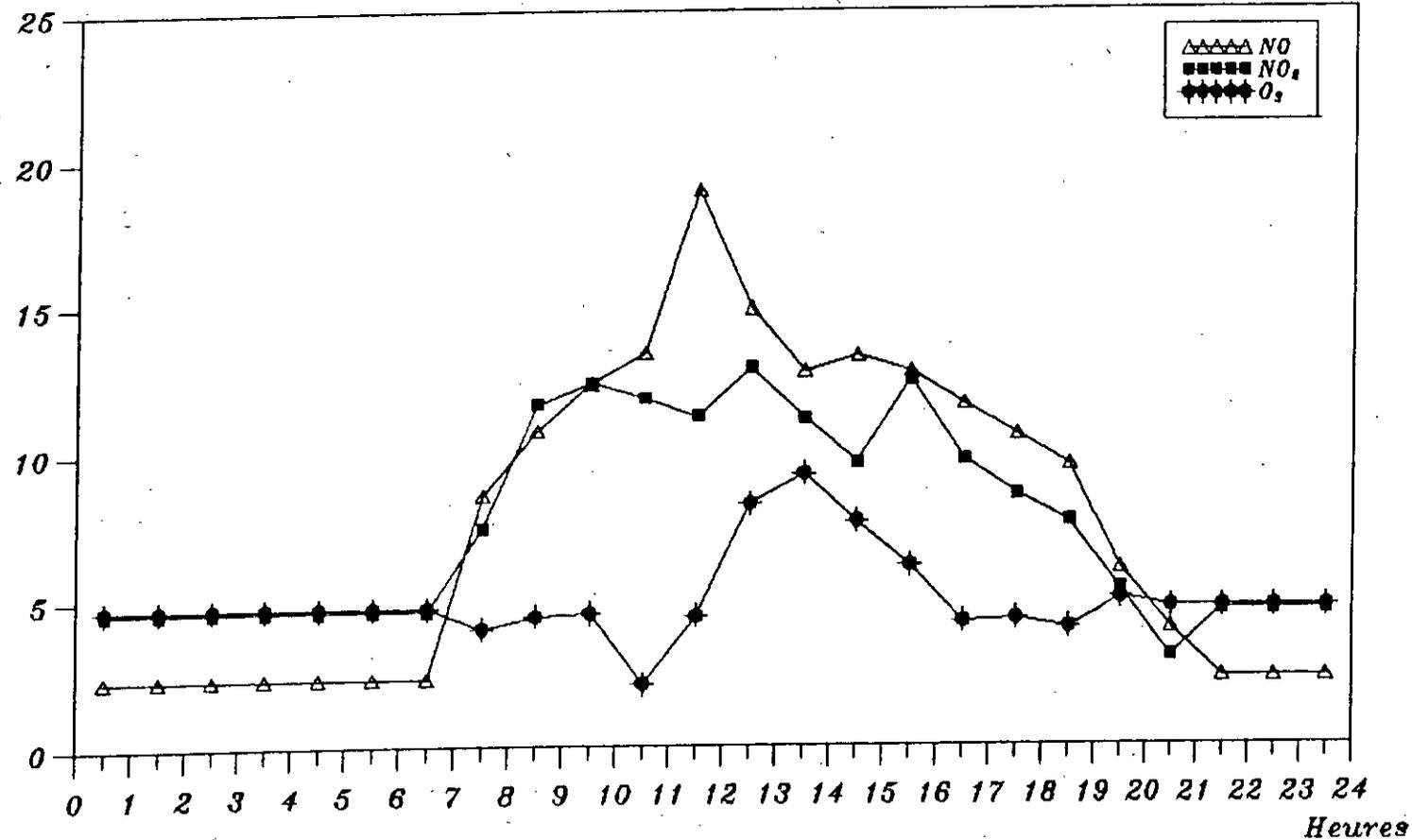


Fig N°42 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃
DOUERA
24/05/93

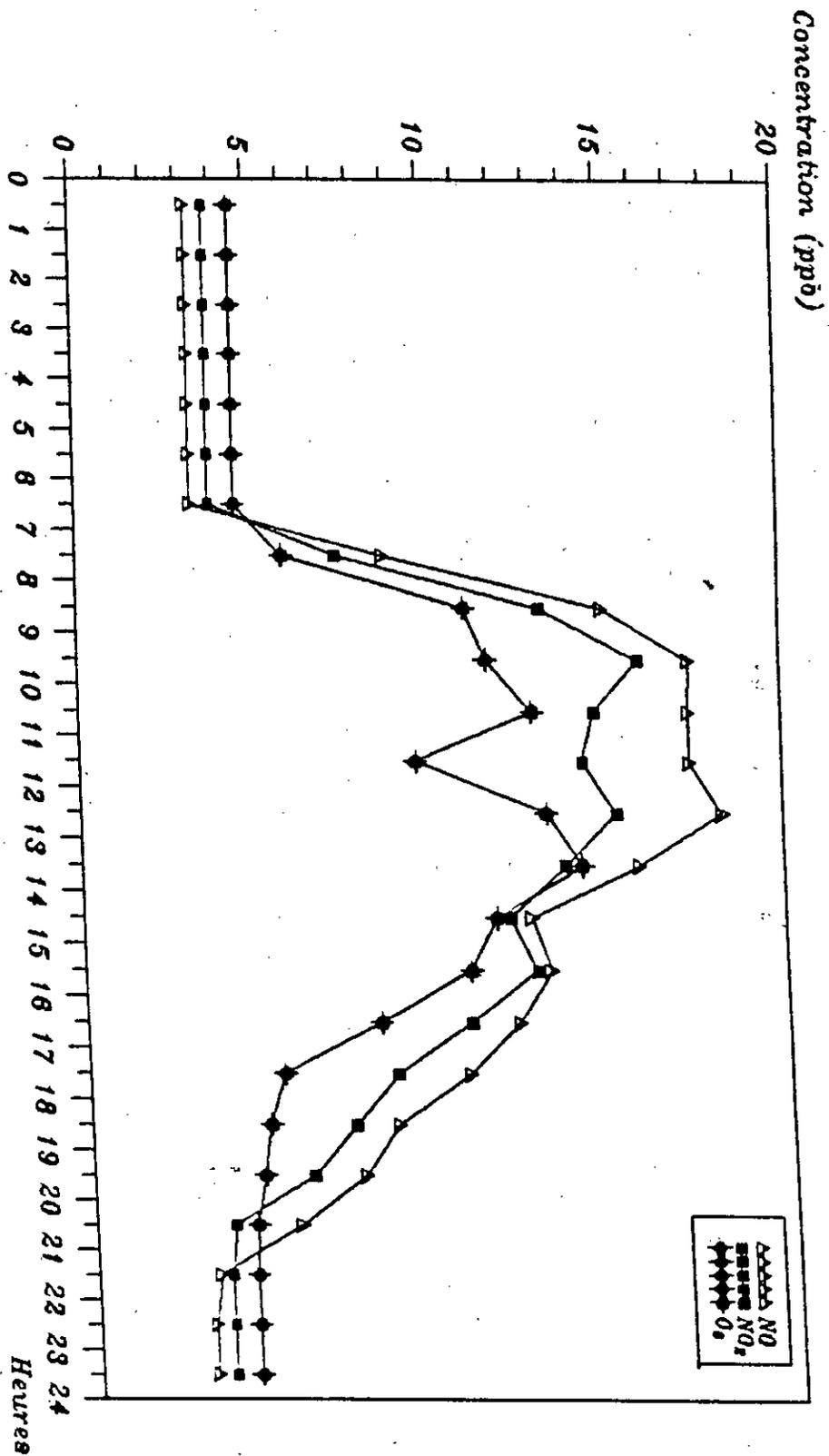


Fig N° 45 : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃
DOUERA

Tableau n°= 6

Teneurs horaires maximales du No, No2 et o3
relevees a Douéra

Jours	No (ppb)	No2 (ppb)	o3 (ppb)
Samedi 22-05-93	18,2	15,7	16,1
Dimanche 23-05-93	25,9	21,9	12,1
Lundi 24-05-93	18,9	12,8	9,2
Mardi 25-05-93	30	21,7	18,2
Mercredi 26-05-93	19,7	15,5	17,6
Jeudi 27-05-93	19,9	17,8	31,4

La nuit, les polluants diminuent fortement, sur les cinq journées observées on ne remarque aucune influence due à un éventuel transport de pollution photochimique à partir d'Alger.

Les maxima d'ozone varient selon le jour entre 10 et 30 ppb, il s'agit vraisemblablement de l'ozone troposphérique naturel tel qu'on le mesure dans les plaines rurales loin de toute pollution. La part de production photochimique de l'ozone est normalement négligeable dans un tel profil. Au contraire le piège NO peut même diminuer un peu sa teneur naturelle. Toupance G. décrit ceci comme "une modulation en négatif du niveau de fond de l'ozone par l'intensité variable des pièges d'ozone" [9].

Nous ne disposons certes pas de données météorologiques concernant le site, mais il est très probable que durant cette période, le transport de la pollution photochimique à partir d'Alger a eu lieu dans une autre direction.

D'ailleurs des études qui sont en cours montrent que c'est surtout l'Est d'Alger qui subit l'influence du panache urbain. [27].

VII.4. COMPARAISON DES NIVEAUX MESURES AVEC LES NORMES INTERNATIONALES - SITUATION D'ALGER VIS A VIS D'AUTRES GRANDES VILLES.

VIII.4.1. NIVEAU D'EXPOSITION AU NO_x :

Les niveaux du polluant NO₂, auxquels peuvent être exposés les citoyens d'Alger varient légèrement selon le site et fortement selon la durée d'exposition et l'horaire de la journée pour le NO la teneur journalière moyenne est de l'ordre de 30 ppb, tandis que les teneurs horaires maximales dépassent à 9 reprises la valeur de 100 ppb. (tableaux 7,8,9,10) le niveau horaire le plus élevé a atteint 179 ppb. Ces teneurs horaires sont légèrement plus élevées que celles mesurées en 1991 au site urbain de la gare routière de Bezier à Alger [28].

Tableau n°= 7

Teneurs horaires maximales relevées à			
Alger - Centre Rue Asselah Hocine			
Jours	No (ppb)	No2 (ppb)	o3 (ppb)
Lundi 08-03-93	94,7	85,6	6,8
Mardi 09-03-93	294,8	104,5	46,8
Mercredi 10-03-93	294,8	130	46,8
Samedi 13-03-93	105,8	92,3	20,7
Dimanche 14-03-93	88,5	64,3	114,4
Lundi 15-03-93	73,9	65,5	11,5
Mardi 16-03-93	123,2	140	10,4
Mercredi 17-03-93	126,3	88,3	6,6

Tableau n°= 8.

Teneurs horaires maximales du No ₁ , No ₂ et o ₃ relevées à			
Alger - El-Biar au site n°= II Rue Ali Khadja			
Jours	No (ppb)	No ₂ (ppb)	o ₃ (ppb)
Samedi 20-03-93	114,2	28	24,7
Dimanche 21-03-93	102	35,4	23,4
Lundi 22-03-93	115,2	92,1	46
Mardi 23-03-93	117,7	33,6	61,5
Samedi 27-03-93	74,5	81,5	40
Dimanche 28-03-93	120	65,6	37,4
Lundi 29-03-93	175,7	66	41,4
Mardi 30-03-93	158,5	51,8	58
Mercredi 31-03-93	130	52,8	41,1
Samedi 03-04-93	117,5	91,7	71,3
Dimanche 04-04-93	175,8	92,5	53,5
Lundi 05-04-93	80,9	95,7	51,7
Mardi 06-04-93	115,3	76,6	57,6
Mercredi 07-04-93	131,6	78,9	45,1
Jeudi 08-04-93	145,4	102,6	49,2

Tableau n°= 9

Teneurs horaires maximales du No. 1, No2 et o3 relevées à

Jours	Alger - Centre Rue Didouche Mourad		
	No (ppb)	No2 (ppb)	o3 (ppb)
Lundi 19-04-93	98	55	25,4
Mardi 20-04-93	99	52,5	27,7
Jeudi 22-04-93	45,5	26,4	20,3
Samedi 24-04-93	78,5	35	20
Lundi 26-04-93	100	49	32,5
Mardi 27-04-93	83,6	26	15,6
Mercredi 28-04-93	157,3	64	33,9
Jeudi 29-04-93	98,2	56,3	25
Vendredi 30-04-93	60	29,6	73,7
Samedi 01-05-93	87,4	45,5	31,5
Dimanche 02-05-93	117,7	90	41,6
Lundi 03-05-93	130,7	72,4	59,2
Mardi 04-05-93	131,9	70,9	73,2
Mercredi 05-05-93	97,2	68,1	47,7
Vendredi 07-05-93	62,9	45,8	77,8

Tableau n°= 10

Teneurs horaires maximales relevées à			
Alger - Centre Rue Colonel Amirouche			
Jours	No (ppb)	No2 (ppb)	o3 (ppb)
Lundi 10-05-93	58,5	71,7	66,3
Mardi 11-05-93	159,3	90,3	66
Mercredi 12-05-93	185,7	100,6	74,8
Samedi 15-05-93	88,3	77,4	42,4
Dimanche 16-05-93	147,1	101,2	83,9
Lundi 17-05-93	185,2	91,5	66,7
Mardi 18-05-93	132,2	179,2	66,7
Mercredi 19-05-93	183	126,8	79,5
Jeudi 20-05-93	140	100,6	66
Vendredi 21-05-93	38,8	26,9	62,5
Dimanche 06-06-93	56,5	26,15	40,9
Lundi 07-06-93	65,3	34,5	44
Mardi 08-06-93	100	70	25,6
Mercredi 09-06-93	139,9	65,5	42,7
Jeudi 10-06-93	85	49,8	17,0
Vendredi 11-06-93	50	18,5	86,6

par rapport au niveau atteints dans les grandes métropoles étrangères et comme le montre le tableau n°11 la teneur mesurés à Alger restent relativement faibles.

tableau n°11 teneurs en NO₂ mesurées dans l'air ambiant de quelques pays.

Pays	Teneur en NO ₂ [ppb]	Observations	réf.
PARIS	Moyenne journalière: Moyenne annuelle : 60 52	Site de proximité: (janvier 87) Site de proximité (1987)	[29]
ROUEN	170	Percentile 98 * (1985)	[6]
LONDRE	Moyenne annuelle 30-70 selon les sites ● 140 - 240 ●● 320 - 951	● Percentil 98 ●● teneurs maximales: (1976 - 1984)	[30]
U S A (divers sites)	124 78 30	Moyenne annuelle des conc maximales Moyenne des conc journalières Moyenne annuelle.	[31]
ALGER	30 179	Moyenne journalière Teneur maximale	présente étude [32]

* percentile 98 : 2% des teneurs sont supérieurs à cette valeur.

En se référant au tableau N°42 qui donne les valeurs guides ou normes en vigueur dans divers pays, nous constatons de la même manière que les taux de NO mesurés à Alger restent

Tableau N°42 valeurs guides et normes de NO₂ [6].

PAYS	NO [ppb]	
CANADA	100 ppb	moyenne sur 24 h
	200 ppb	moyenne horaire
SUISSE	40	moyenne sur 24 h
NORVEGE	50 - 75	moyenne sur 24 h
	100-170	" horaire
JAPON	37-55	moyenne sur 24 h
RFA	40	(prélèvement de 1/2 h)
	150	percentile 95 (prélèvement 1/2 h).
CEE	106	moyenne horaire
OMS	80	moyenne sur 24 h
	210	moyenne horaire

VIII 4-2 NIVEAUX D'EXPOSITION A L'OZONE

De part la présence de l'ozone en qualité notable dans l'atmosphère naturelle et ses effets néfastes qui s'exercent à très court terme pendant la période d'ensoleillement, les teneurs d'ozone sont souvent discutés sous forme de teneurs maximales ou de fréquences de dépassement d'un seuil fixé au préalable par les directives.

La teneur limitée qui revient le plus souvent est celle de 60 ppb à partir de laquelle les effets nuisibles se manifestent clairement [11].

Dans le cas d'Alger et en l'absence de seuil limite propre au pays, nous avons exploité les données recueillies par rapport à deux valeurs limites 40 ppb et 60 ppb. Le premier niveau devrait correspondre à la valeur de l'ozone troposphérique naturelle tel qu'il existerait en milieu non pollué en été à la latitude 36,5° N qui caractérise Alger.

Quant au 2ème niveau, il correspond aux orientations donnés par L'OMS.

Nous présentons en tableau n°13 et 14 les fréquences de dépassement de ces deux seuils par rapport au nombre total d'heures suivi durant cette étude.

On remarque d'après ces tableaux qu'en s'approchant de l'été le seuil limite du taux naturel d'ozone connaît de plus fréquents dépassements.

Globalement les dépassements s'élèvent à 8% dans les jours étudiés, relativement au seuil de 60 ppb, l'étude montre que la fréquence de dépassement est plus faible (environ trois moins que dans le 1er cas).

Ce taux reste cependant trop élevé pour une si courte période et devrait être plus important en plein été.

La contribution photochimique à l'augmentation de l'ozone troposphérique est ainsi clairement démontrée.

La comparaison avec les normes donné en tableau N° 15 montre elle aussi que l'ozone se trouve à Alger à la limite du seuil admissible.

Tableau n° 13

Distribution selon les sites des fréquences horaires de dépassement du niveau de l'ozone			
[O ₃] = 60 ppb			
Sites	Nombre d'heures suivies	Fréquence de dépassement de l'ozone	%
Asselah Hocine			
Mar-93	162	0	2,5
El-Biar			
Avr-93	334	3	0,89
Didouche Mourad			
Mai-93	345	2	0,57
Colonel Amirouche			
Mar - Juin 93	336	22	5,9
TOTAL	1177	27	2,4

Tableau n°= 14

Distribution selon les sites des fréquences horaires de dépassement du niveau de l'ozone			
Sites	[O ₃] = 40 ppb		
	Nombre d'heures suivies	Fréquence de dépassement de l'ozone	%
Asselah Hocine			
Mar-93	162	2	1,2
El-Biar			
Avr-93	334	27	8
Didouche Mourad			
Mai-93	345	9	2,6
Colonel Amirouche			
Mai - Jun 93	336	54	16
TOTAL	1177	92	7,81

Tableau n° 15

Normes et valeurs guide d'ozone [17]

Pays	Concentration [ppb]	Fréquence	Observation
USA	120	:à ne pas dépasser: :une fois par an	norme
ALLEMAGNE	100		valeur guide)
JAPON	60	:à ne pas dépasser: :une fois par an	norme
SUEDE	60	:à ne pas dépasser: :une fois par an	valeur guide)
CANADA	80	:Niveau maximum : accepté	norme
O M S	60	:Niveau à ne pas :dépasser	valeur guide)

IL reste toutefois à signaler que malgré les dépassements fréquents des valeurs recommandées, Alger est loin de connaître les véritables épisodes de smog photochimique qui caractérisent périodiquement certains grands métropoles.

A Mexico, l'un des points les plus pollués du monde on a réparti des valeurs de 470 ppb d'ozone [17] à la latitude 50° N. au Canada on a mesuré des teneurs dépassant 200 ppb [4].

Dans plusieurs villes américaines sous le panache urbain on a mesuré des teneurs allant de 200 à 300 ppb [33].

En Allemagne, des teneurs maximales de 273 ppb (prélèvement 1/2 h) et 204 ppb (moyenne sur 3 heures) ont été respectivement mesurés à Cologne en 1981 et Mannheim en 1983. Dans ces deux villes la moyenne sur six mois (avril-septembre) est de l'ordre de 28 ppb [17].

Enfin à Athènes l'ozone a atteint 300 ppb en juin 82. Le 25 et 26 juin 1982 à minuit on a mesuré 150 ppb [17].

Comme à Los Angeles cette ville grecque se caractérise par une topographie qui favorise de fréquentes inversions propices à la formation du smog.

CONCLUSION

L'étude entreprise a montré qu'à Alger le problème de la pollution par le photooxydant O_3 et ses précurseurs le NO et le NO_2 se pose différemment et avec moins d'acuité que dans certaines grandes villes d'Amérique ou d'Europe.

En effet les résultats ont montré que les NOx n'atteignent pas des niveaux excessivement élevés et que le NO joue apparemment d'une manière efficace son rôle du puit d'ozone. Parallèlement Alger connaît l'effet bénéfique du relief et de la brise de mer qui lui assure une ventilation naturelle suffisante pour l'éloignement des polluants. Le profil de l'ozone que nous avons déterminé est typique pour un milieu urbain où la pollution photochimique est modérée, malgré le taux non négligeable de fréquence de dépassement, l'ozone critique n'est pas atteint, il demeure néanmoins menaçant surtout en été où il faut s'attendre à des niveaux plus élevés.

Dans ce contexte il faut rappeler que nos postes de mesures portaient sur des sites de proximité. Ces sites se caractérisent indubitablement par les teneurs de NOx les plus élevées auxquelles correspondent des teneurs moindres en ozone.

Afin de déterminer l'impact réel de ce polluant il est nécessaire de le rechercher dans le panache urbain sous les vents dominants l'étude que nous avons effectuée dans ce but à DOUERA s'est révélée inadéquate ou insuffisante dans le temps, elle nous a toutefois permis de vérifier l'équilibre photostationnaire et d'avoir un ordre de grandeur des niveaux en NOx et O_3 atteints en milieu suburbain.

3

D'une manière globale la pollution photochimique à Alger est perceptible, les seuils que nous avons décelés ne sont pas alarmants, mais elle demeure inquiétante car à tout instant des situations météorologiques exceptionnelles peuvent l'aggraver.

L'évolution des différents cycles diurnes que nous avons étudié a montré aussi la complexité des interactions entre les trois polluants. Ainsi si on réduit seulement les NOx, le piégeage de l'ozone ne fonctionne plus et ses teneurs augmentent.

Une réduction unilatérale des COV contribuerait à augmenter l'ozone loin des grandes villes car en leur absence les réactions photochimiques sont lentes et ne se produiraient qu'après leur transport par le vent loin du centre urbain. Le problème ne serait ainsi que déplacé dans l'espace. La meilleure prise en charge de l'ozone consiste à une réduction simultanée de NOx et des COV et même la l'effet sur l'ozone n'est pas linéaire.

Enfin par cette première étude nous espérons avoir contribué à montrer tout l'intérêt qu'il y a à poursuivre les investigations dans ce domaine pour s'approcher de la manière la plus exacte possible du niveau moyen d'exposition du citadin et de ses voisins du monde semi urbain aux NOx et à l'ozone. Un suivi constant de ces polluants et du trafic routier qui est chez nous en pleine expansion doit faire l'objet d'une préoccupation permanente des scientifiques et des autorités compétentes.

ANNEXE I

NOx

1 - REACTIFS

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

. Solution de dichlorure de N (1- naphthyl) éthylène diamine à 0,1 %. Dissoudre 0,1 g 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.

2 - PREPARATION DES SOLUTIONS

2 - 1 - SOLUTION D'ABSORPTION :

Dissoudre 5 g d'acide sulfanilique dans un peu moins d'un (1) 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- naphthyl) éthylène diamine 0,1 % et diluer à 1 l avec 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 NO_2 .

2 - 2 - SOLUTIONS ETALONS :

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.

3 - ETALONNAGE :

Des quantités croissantes de la solution fille de NA NO_2 allant de 0,2 jusqu'à 1 ml sont versées dans des fioles de 25 ml qu'on dilue ensuite avec la solution d'absorption jusqu'à 25 ml.

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

4 - MODE OPERATOIRE :

On introduit 10 ml du réactif absorbant dans le flacon absorbeur à verre fritté. Le barbotage de l'air dans l'absorbant se fait à un débit de 0,5 l/min pendant un certain temps jusqu'à obtention d'une coloration susceptible d'être mesurée par le spectrophotomètre.

. la durée d'échantillonnage est d'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 $\lambda = 550$ nm dans une cuve optique de 1 cm d'épaisseur en utilisant la solution absorbante comme référence.

5 - EXPRESSION DES RESULTATS :

5 - 1 - EXPRESSION DES RESULTATS D'ETALONNAGE :

Il a été déterminé empiriquement que 0,72 mole de nitrite de sodium NaNO_2 produit la même couleur qu'une mole de NO de la 2,3 Ug de NaNO_2 est équivalente à 1 Ul de NO .

Les concentrations des solutions étalons sont ainsi exprimées en Ul $\text{NO}/10$ ml.

La courbe d'étalonnage est illustrée graphiquement en figure n° 44

(V	!	!	!	!	!	!)						
((ml)	!	0	!	0,2	!	0,4	!	0,6	!	0,8	!	10)
(NaNO_2	!		!		!		!		!		!)
(NO_2 (Ul/10 ml)	!	0	!	0,5	!	1,6	!	2,4	!	3,2	!	4)
(Do	!	0	!	0,055	!	0,189	!	0,304	!	0,375	!	0,58)

5 - 2 - EXPRESSION DES RESULTATS D'ANALYSES :

Les résultats obtenus à partir de l'équation

$$\text{NO}_2 \text{ (PPm)} = \frac{\text{Do}}{\text{K.V}}$$

Do : absorbance de la solution échantillon

K : pente de la courbe d'étalonnage exprimée en 10 ml/ul NO

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

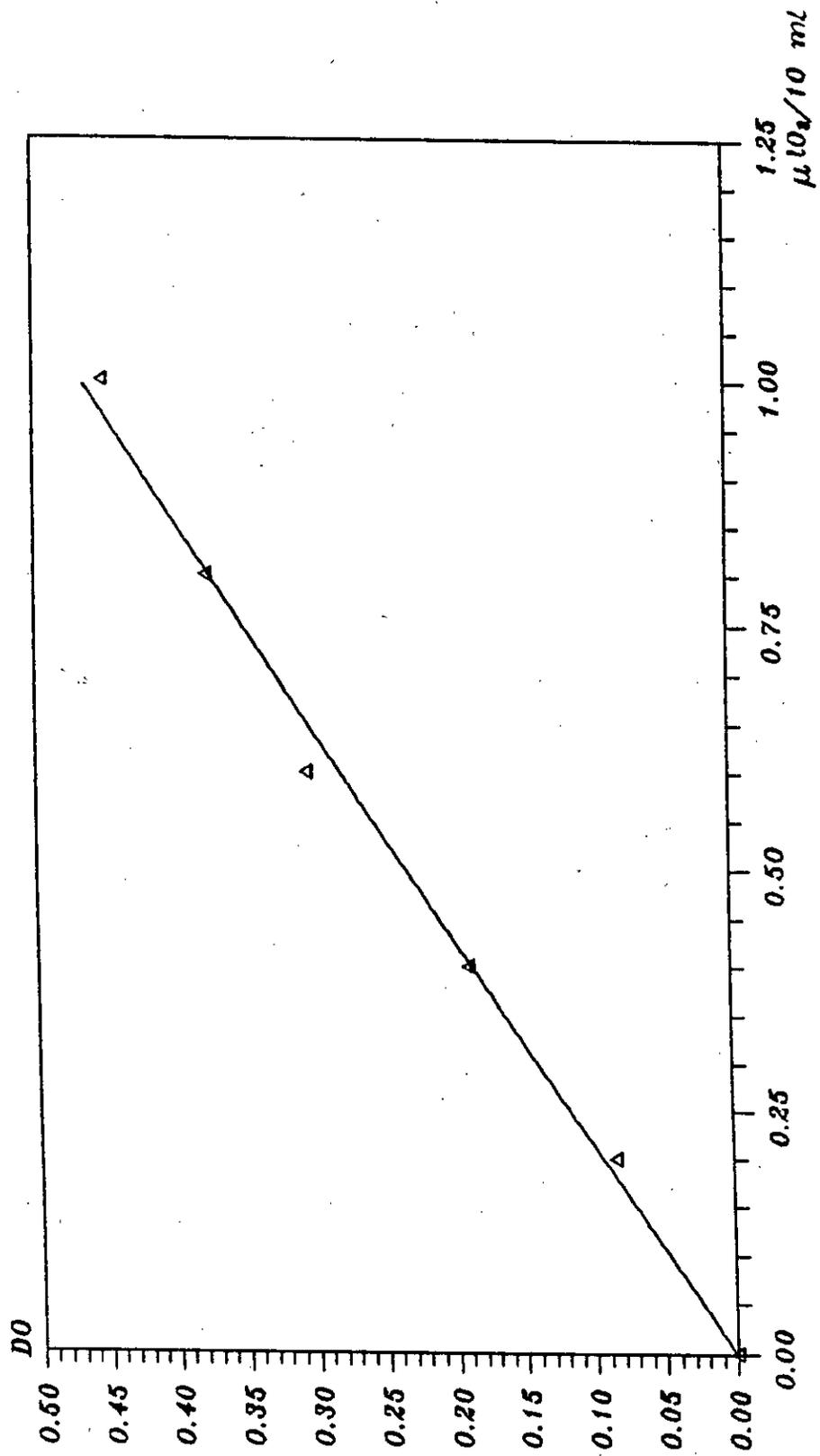


Fig N° 44 : Courbe d'etalonnage des oxydes d'azote

ANNEXE II
OZONE

1 - PREPARATION DES SOLUTIONS :

1 - 1 - SOLUTION D'ABSORPTION :

La solution d'absorption est préparée en dissolvant 13,6 g K H Po 14,2 g NA Hpo et 10 g KI successivement dans un peu moins d'un litre d'eau distillée, agiter la solution pour accélérer la dissolution et compléter ensuite à 1 avec de l'eau distillée; son PH doit être vérifié et ajuster à $6,8 \pm 0,2$ avec de la soude où KH Po . Cette solution est stable pendant plusieurs mois mais dans un bocal brum à température ambiante et ne doit pas être exposée à la lumière.

1 - 2 - SOLUTION MERE 0,025 M I (0,05 N I₂)

* Solution 16 g de KI et 3,373 g I₂ successivement et diluer la mixture à 500 ml avec de l'eau distillée, garder cette solution à température ambiante un jour au moins avant utilisation, sa normalité et vérifiée par titration avec l e NA₂S₂O₈ (0,025 M).

* Solution 0,001 M I₂:
pipeter 4 ml de la solution mère dans une fiole de 100 ml et diluer avec la solution d'absorption, cette solution doit être protéger de la lumière.

* Solution de calibration :

pour la calibration, pipeter 4,09 ml de la solution 0,001 M I₂, diluer avec la solution d'absorption juste avant utilisation à 100 ml. La concentration de cette solution est équivalente à 1 µl O₃/ml

* Etalonnage :

Pour obtenir un rang de concentration, des quantités croissantes de la solution de calibration de 1 à 10 ml sont versées dans une série de Fioles jaugées de 10 ml, on dilue ensuite avec la solution d'absorption après agitation, on attend 30 minutes et on mesure les absorbances correspondant à chaque étalon.

2 - EXPRESSION DES RESULTATS :

2 - 1 - EXPRESSION DES RESULTATS D'ETALONNAGE :

Les résultats d'étalonnage sont représentés sur le tableau N° 6 La courbe d'étalonnage est illustrée graphiquement en figure 45

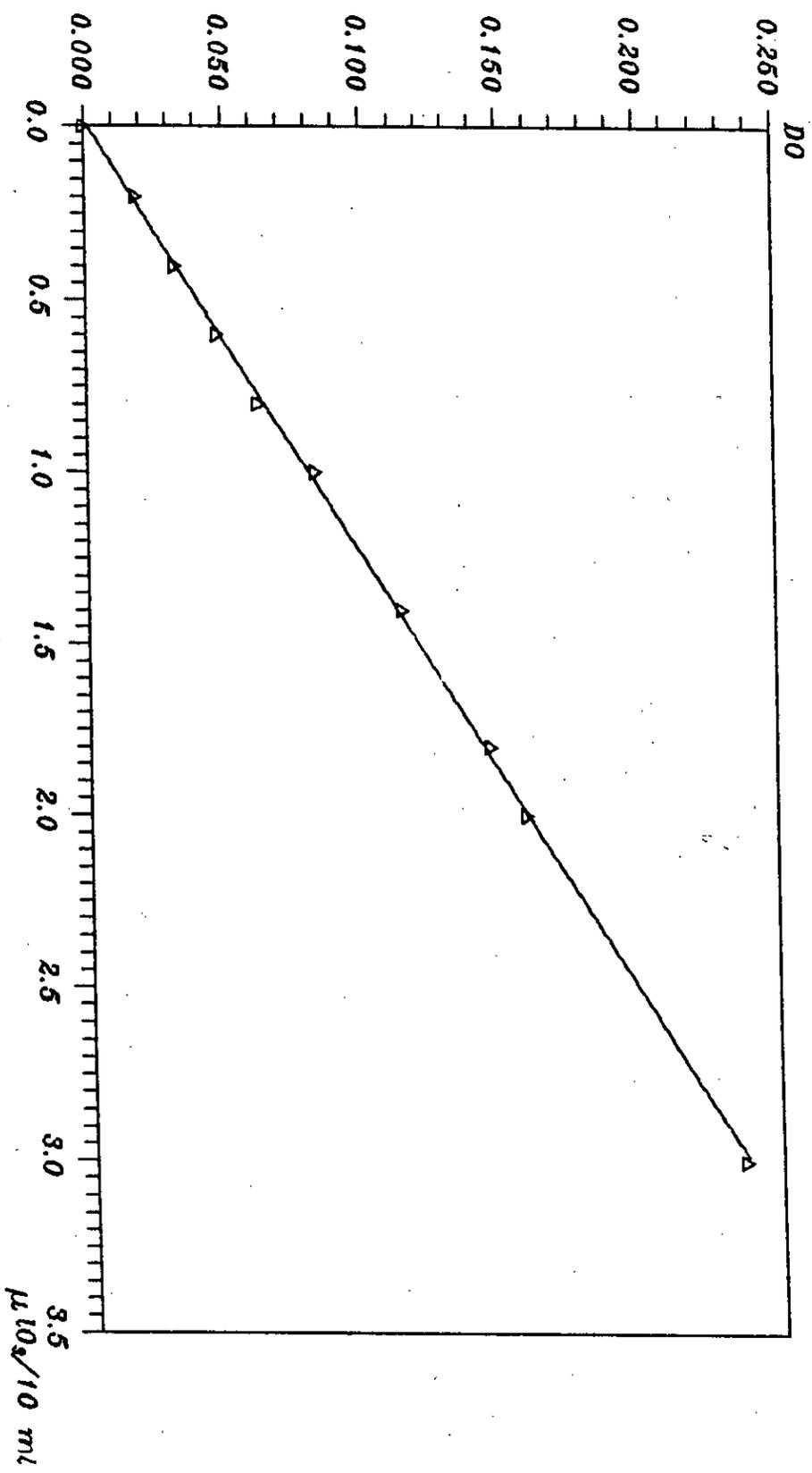
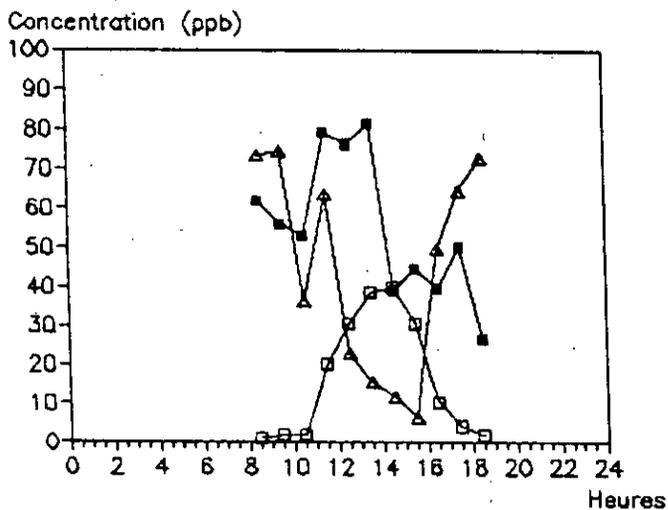
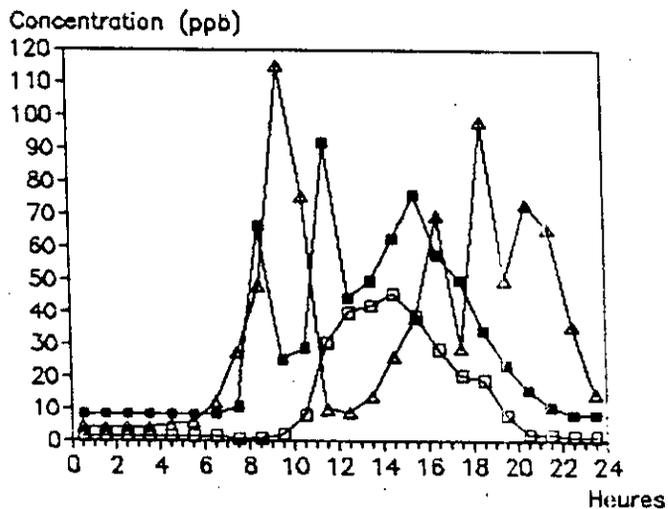


Fig N° 45 : Courbe d'etalonnage de l'ozone

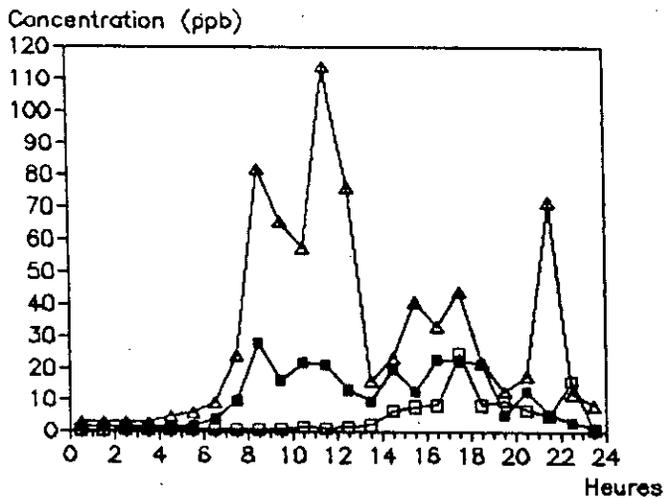
ANNEXE 3



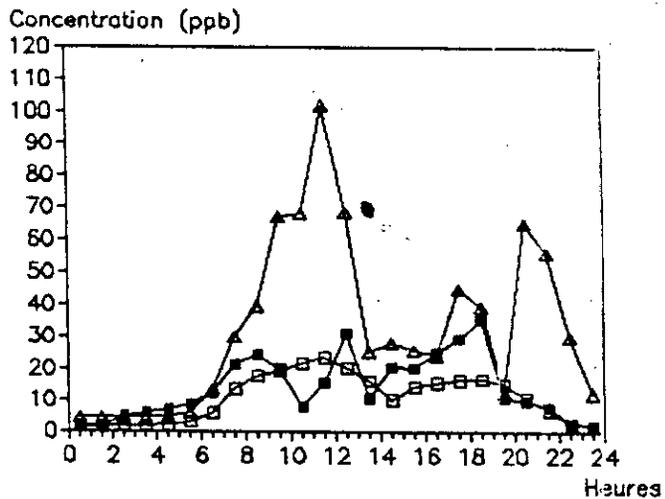
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
27/03/93 (Mois du Ramadhan)



ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
22/03/93 (Mois du Ramadhan)



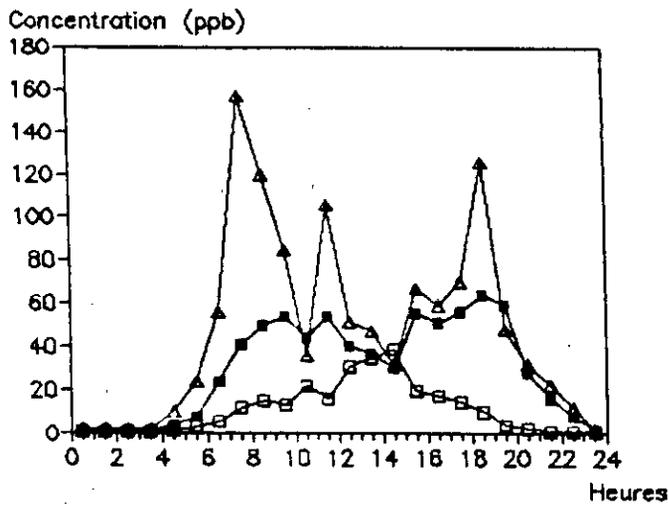
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA (Mois du Ramadhan)
20/03/93



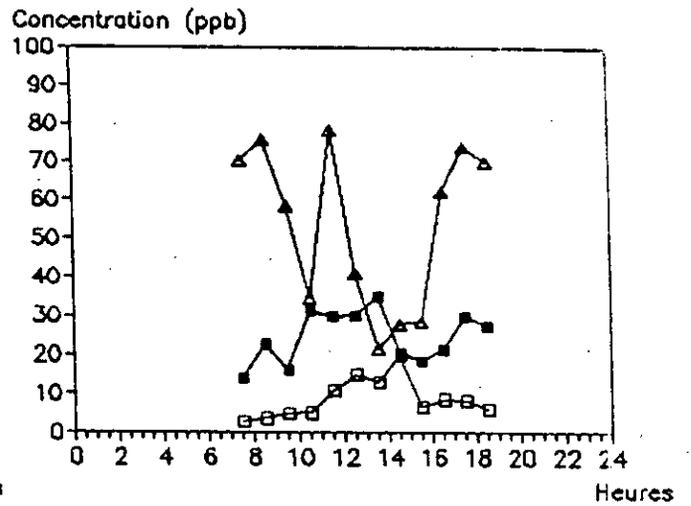
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
21/03/93 (Mois du Ramadhan)

Fig N°46 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

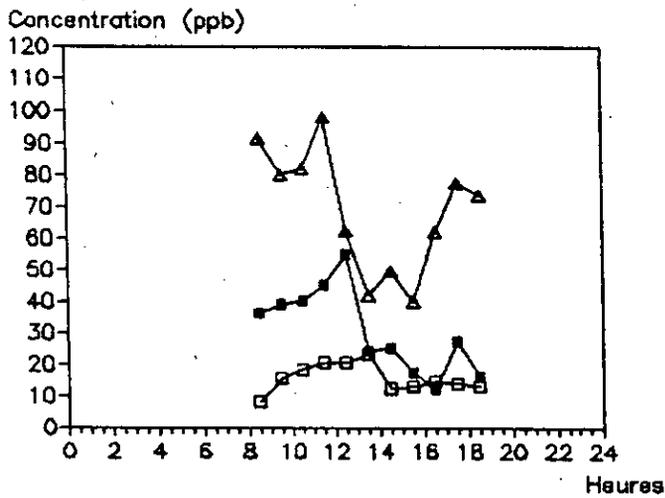
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



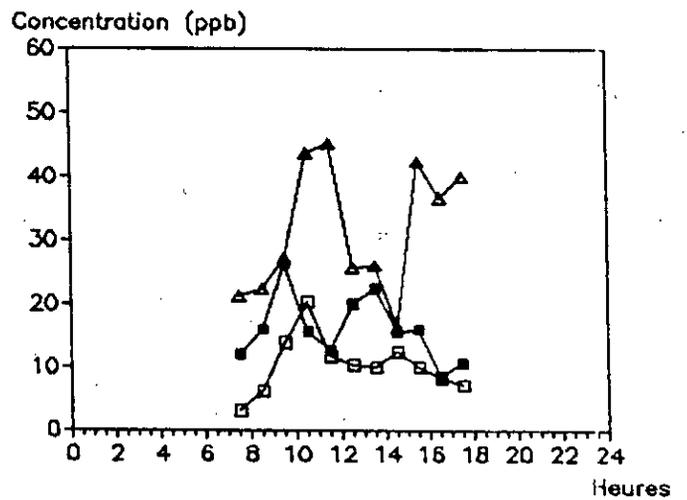
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
28/04/93



ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
24/04/93



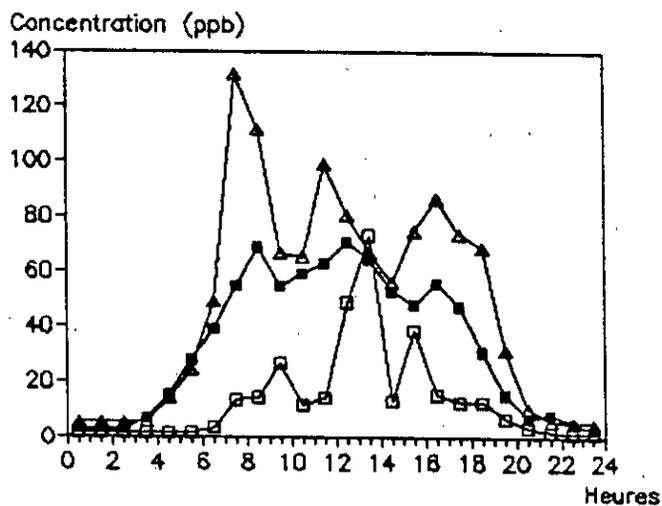
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
19/04/93



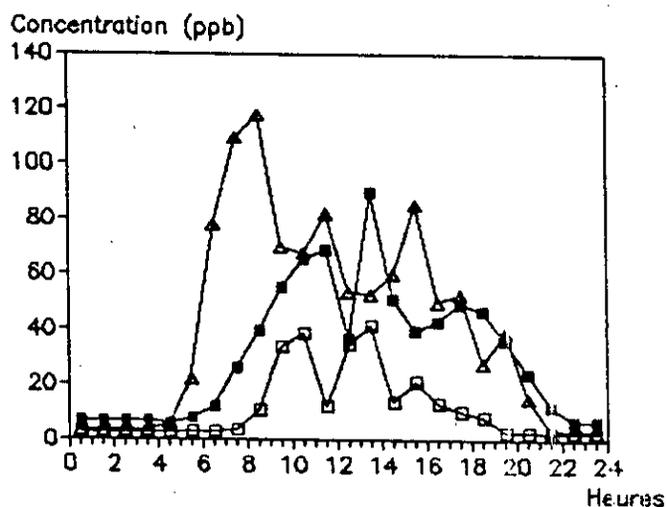
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
22/04/93

Fig N°47 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

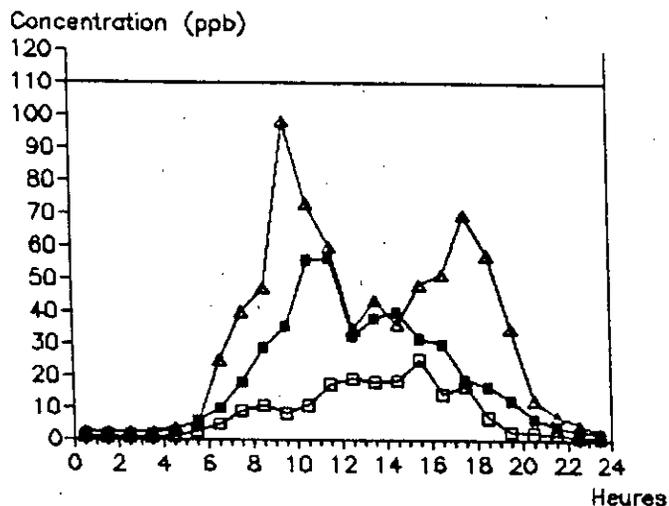
▲▲▲▲ NO
■ ■ ■ ■ NO₂
□ □ □ □ O₃



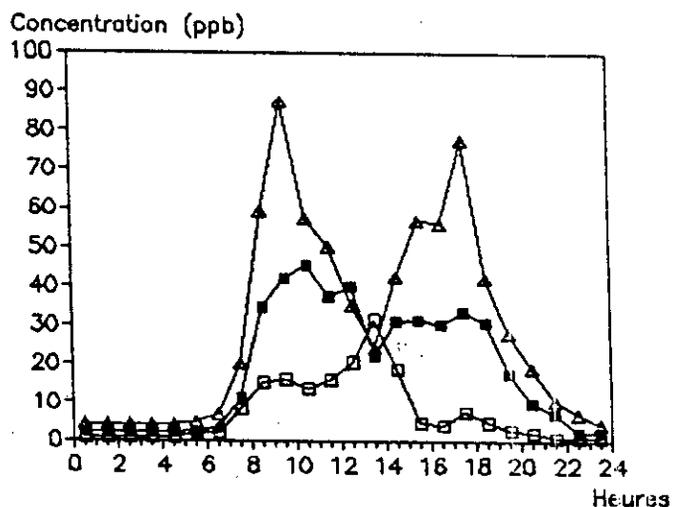
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
04/05/93



ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
02/05/93



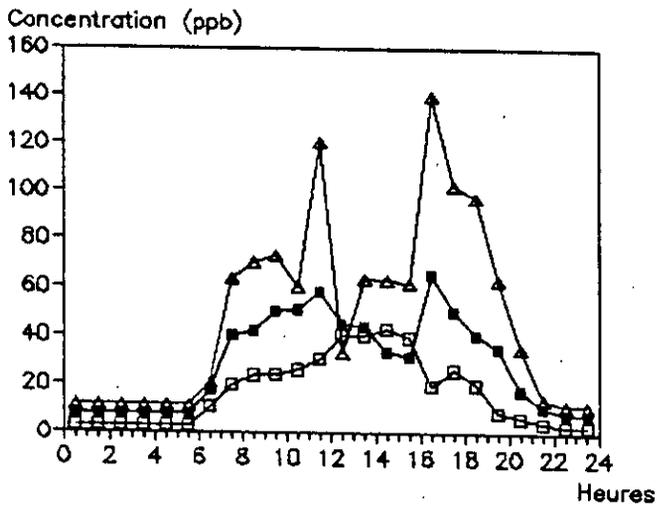
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
29/04/93



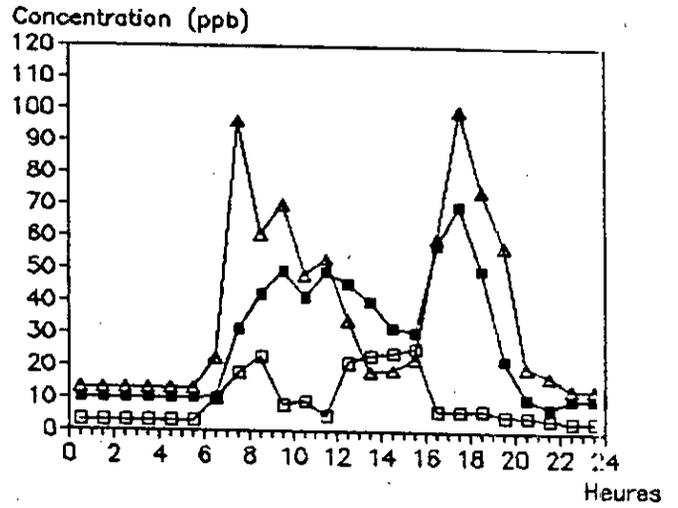
ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
01/05/93

Fig N°48 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

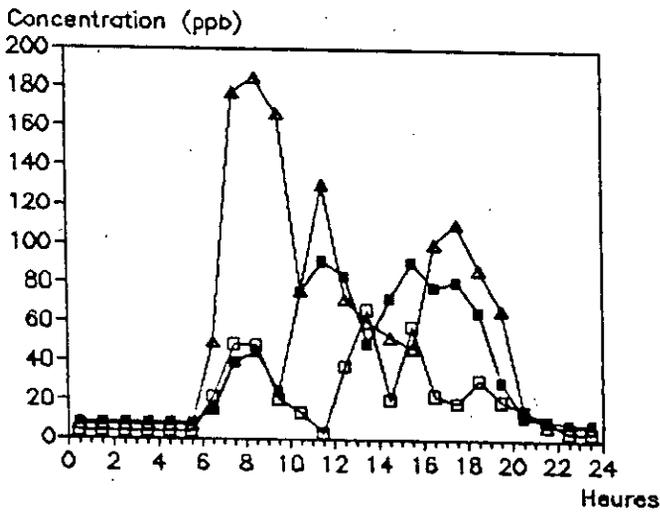
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



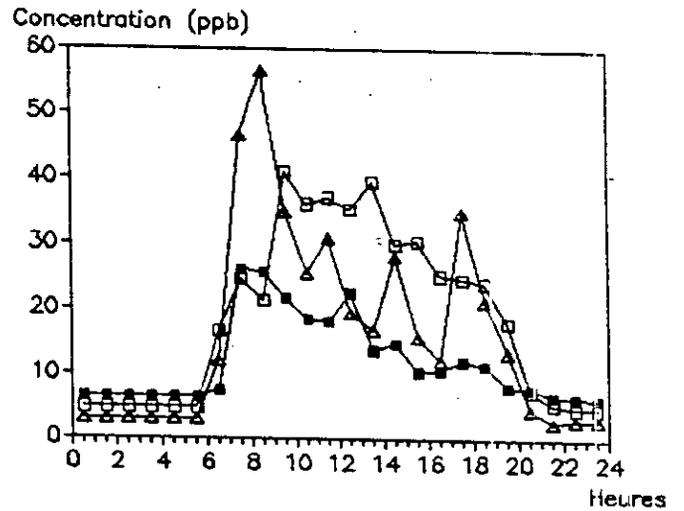
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
09/06/93



ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
08/06/93



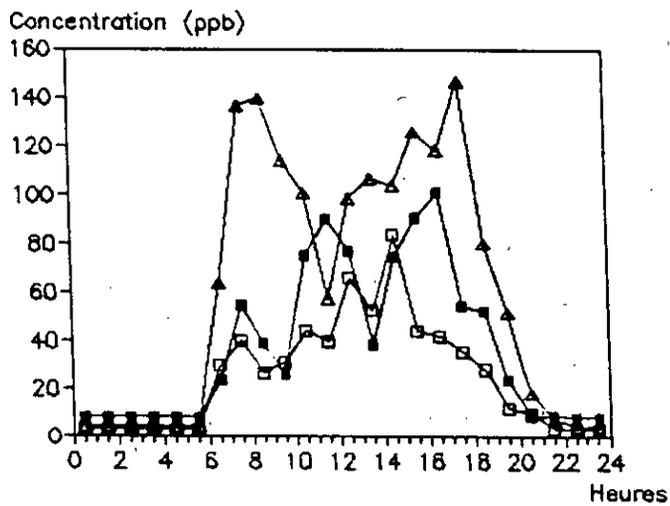
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
17/05/93



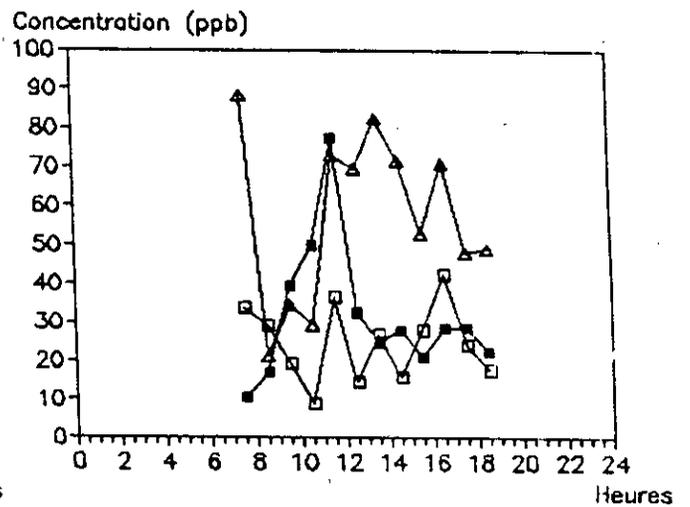
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
06/06/93

Fig N°49 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

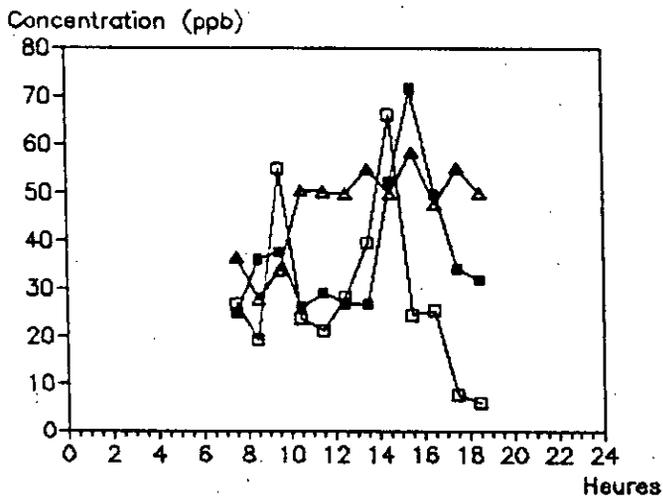
▲▲▲▲ NO
■ ■ ■ ■ NO₂
□ □ □ □ O₃



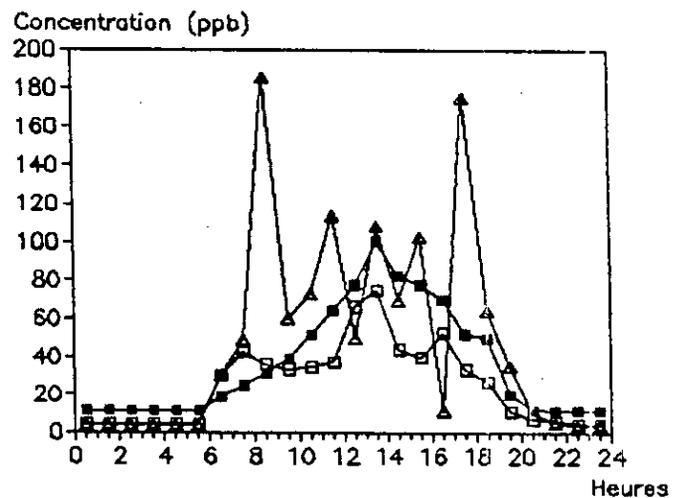
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
16/05/93



ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
15/05/93



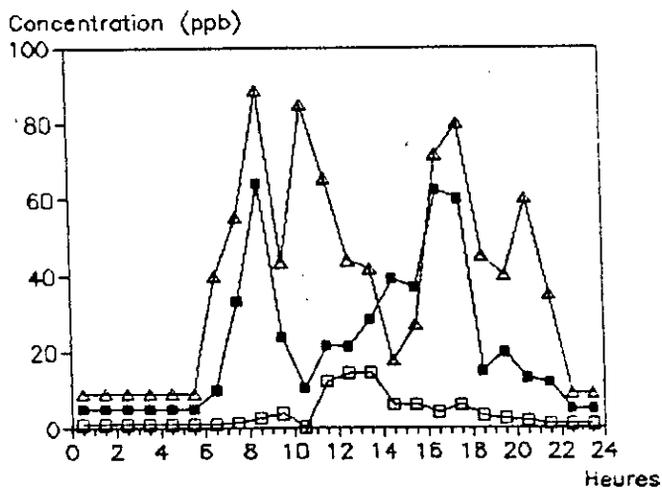
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
10/05/93



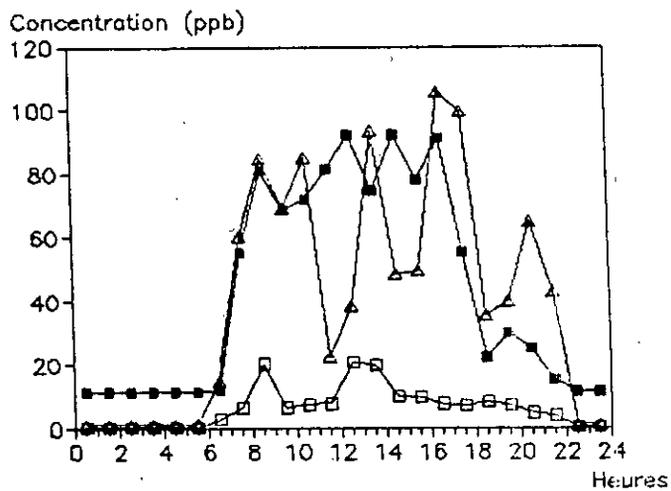
ALGER Centre
Rue Colonel AMIROUCHE
12/05/93

Fig N°50 : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

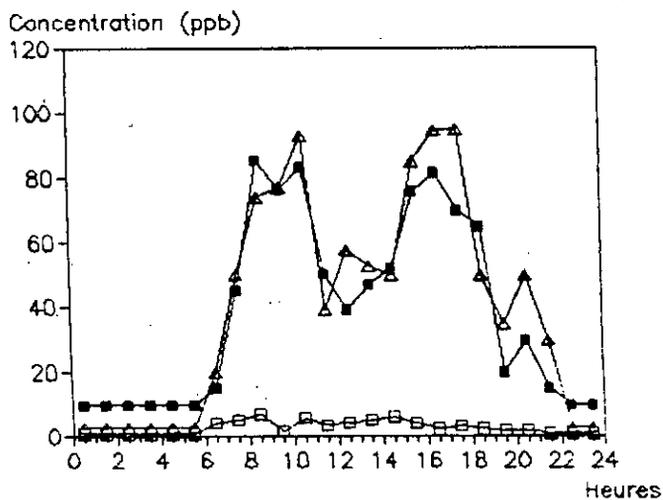
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



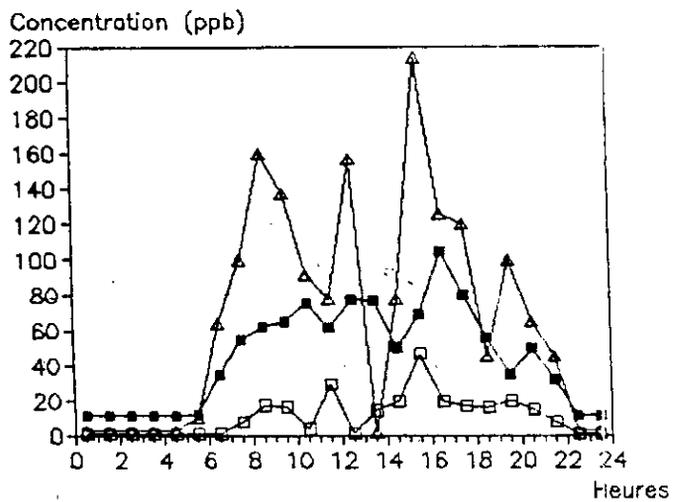
ALGER Centre
Rue ASSELAH Hocine
13/03/93



ALGER Centre
Rue ASSELAH Hocine
13/03/93



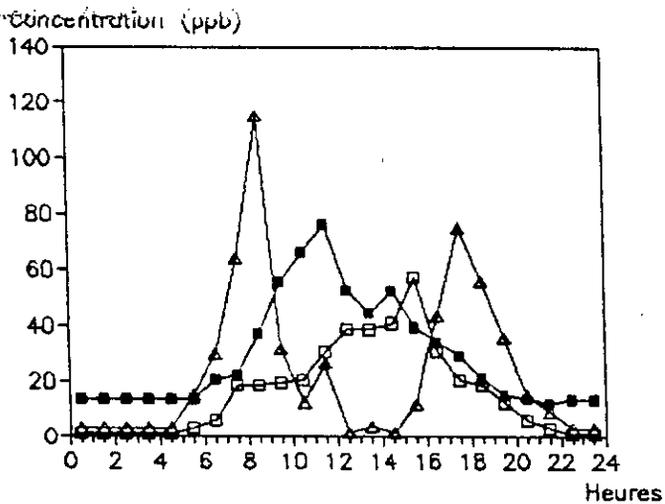
ALGER Centre
Rue ASSELAH Hocine
08/03/93



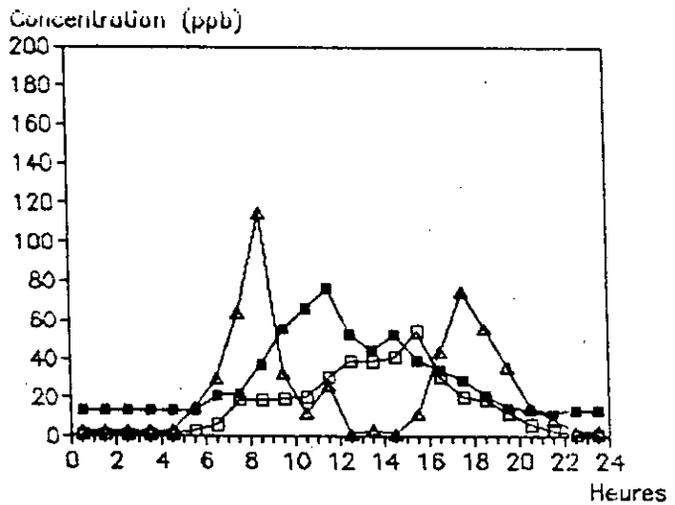
ALGER Centre
Rue ASSELAH Hocine
09/03/93

Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

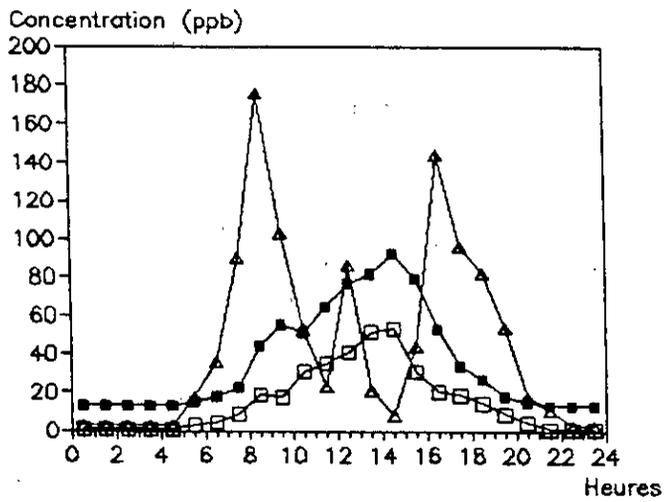
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



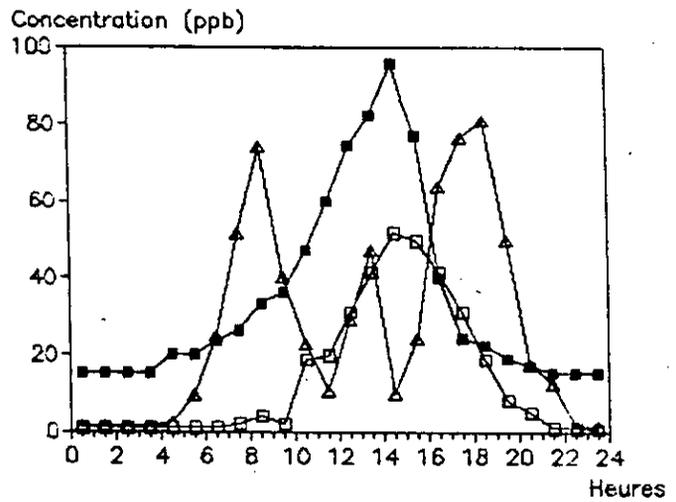
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
07/04/93



ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
06/04/93



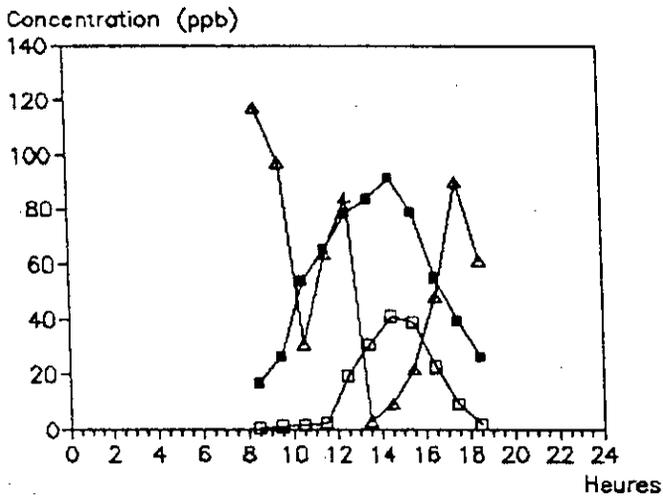
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
04/04/93



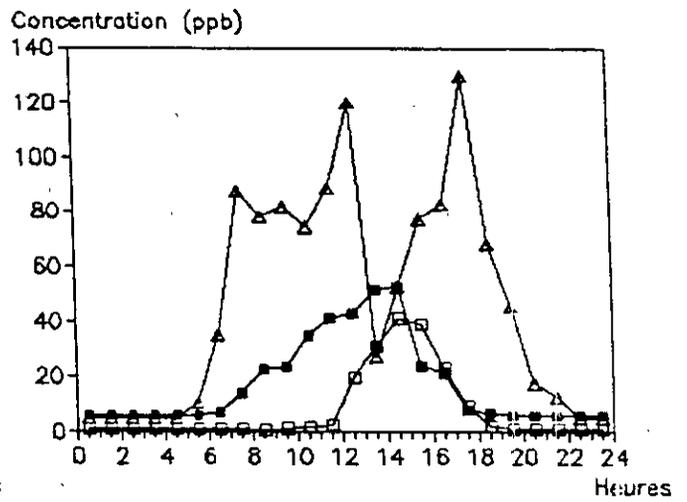
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
05/04/93

Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

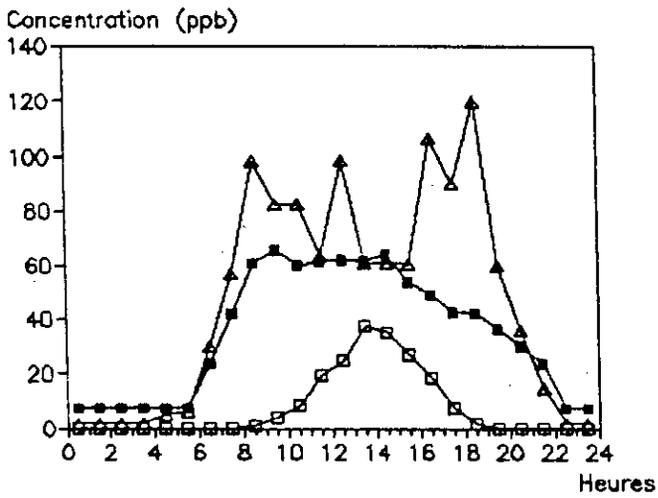
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



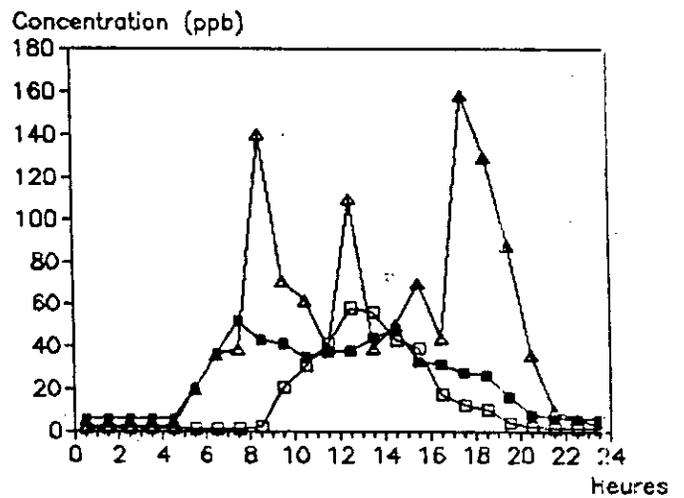
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
03/04/93



ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
31/03/93



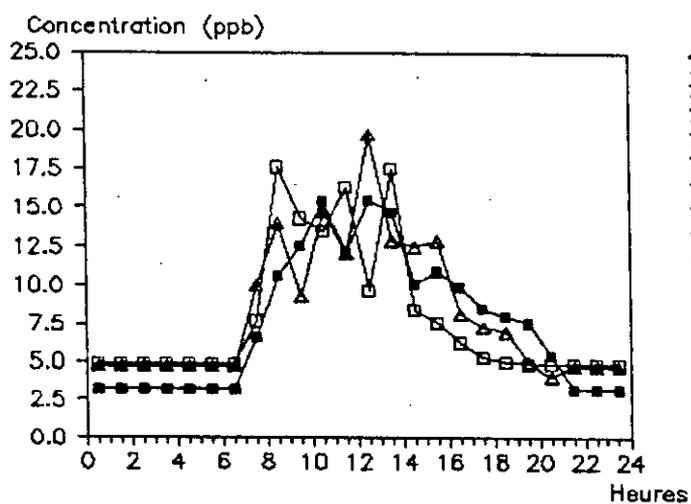
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
28/03/93



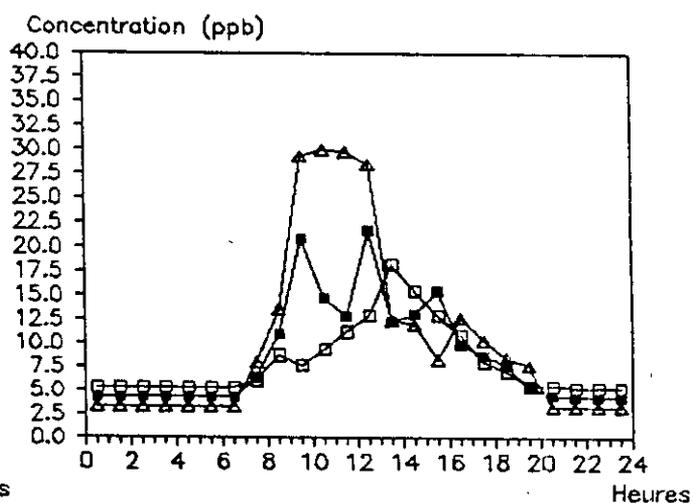
ALGER El Biar
Rue Ali KHODJA
30/03/93

Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

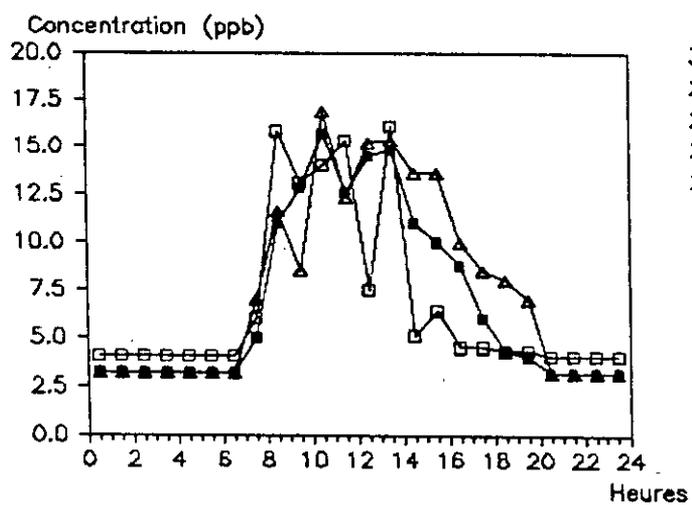
▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃



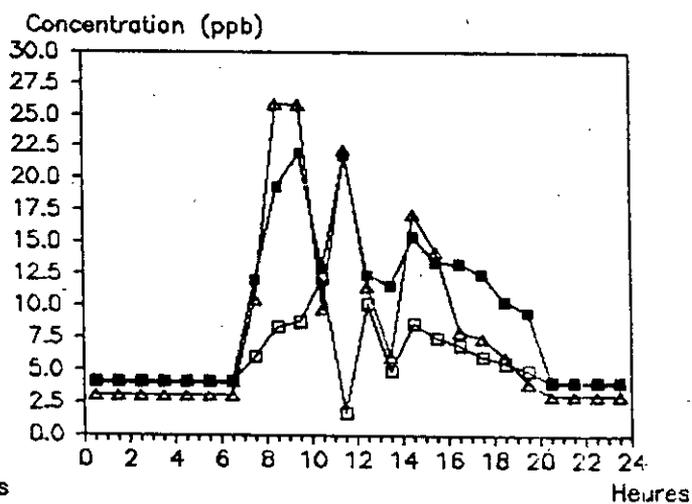
DOUERA
26/05/93



DOUERA
25/05/93



DOUERA
22/05/93



DOUERA
23/05/93

Fig N° : Evolution des teneurs horaires du NO, NO₂, O₃

▲▲▲▲ NO
 ■■■■ NO₂
 ○○○○ O₃

Concentration (ppb)

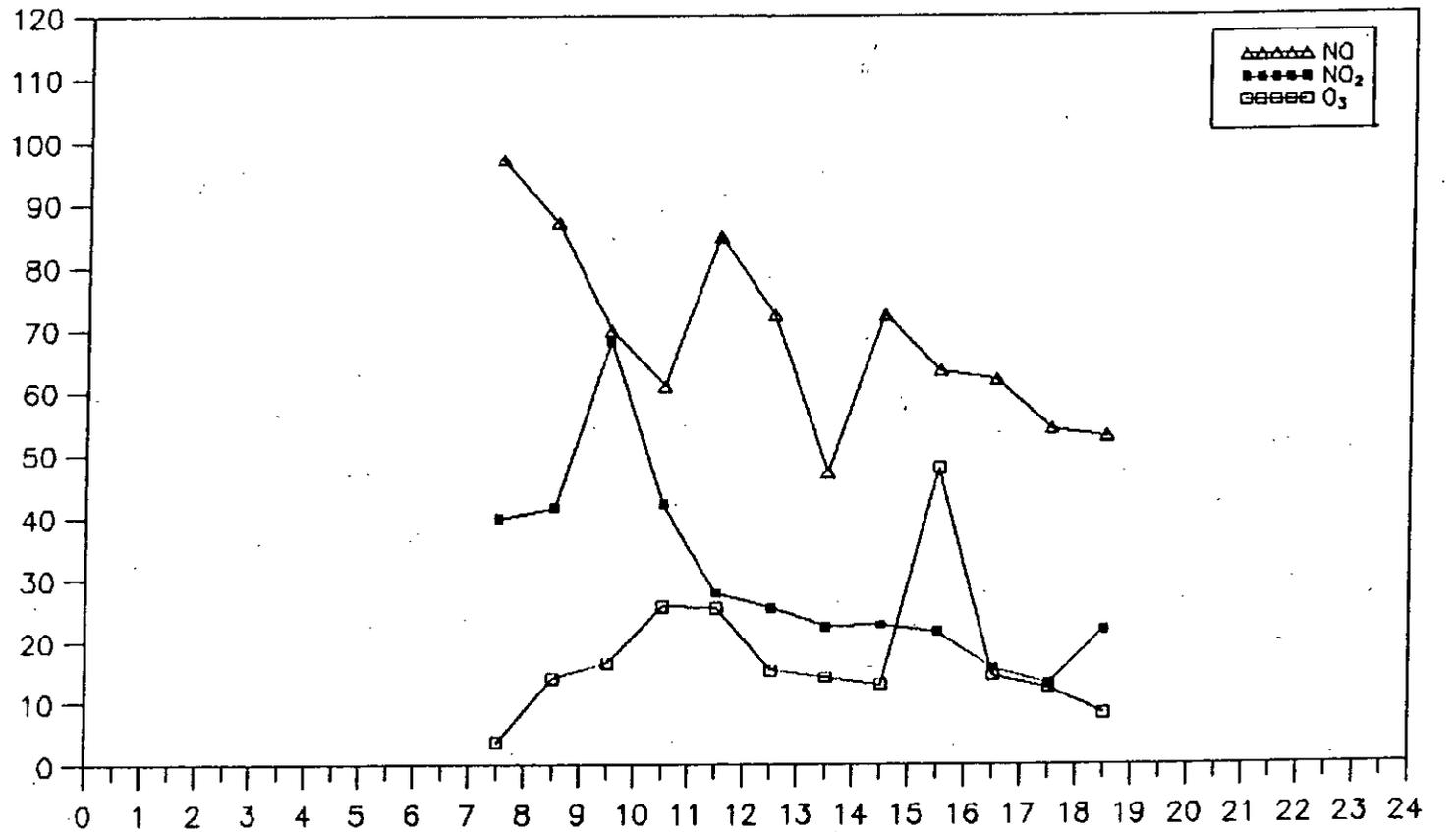


Fig N° : Cycle journalier moyen du NO, NO₂, O₃

ALGER Centre
Rue DIDOUCHE Mourad
05/05/93

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.KERBACHI ,cours pollution atmosphérique,5 ème année, ENP,93
- [2] Detrie, la pollution atmosphérique, Ed Dunod,paris (1969)
- [3] STERN, volume I, 3 ème edition page 56-58.
- [4] Ministère de l'environnement, pollution par l'ozone au QUEBEC, 1992.
- [5] R.Joumard, pollution et transport, ENp 1992.
- [6] Revue générale de thermique, le oxydes d'azote tome 28, n°330, 331 juillet 89.
- [7] CHOVIN, physico - chimie et physiopathologie des polluants atmosphériques ed, MASSON, PARIS, 1973.
- [8] OMS, *les oxydes d'azote, Critère d'hygiène de l'environnement N°4*
Geneve 1978.
- [9] G.TOUPANCE, l'ozone dans la basse troposphère, pollatmosphérique Janvier - Mars 1988.
- [10] A.MARENCO, origine distribution et évolution à long terme de l'ozone troposphérique, *poll atm, Oct-Dec 1988*
- [11] Ministère de l'environnement, Canada, pollution de l'air, 1990.
- [12] OMS, photo-chemical oxidants, environmental Health criteria 7 GENEVE 1979.
- [13] OMS, manuel de gestion de la qualité de l'air et des villes, publication regionales série européenne N°1, Copenhague 1978.
- [14] G.MOUVIER, Chimie atmosphérique, pollution atmosphérique, Oct-Dec 1990.
- [15] Technique et sciences, l'ozone et les CFC, revue n°3, 1991.
- [16] Butler JD air pollution chemistry, academic press, new york 1979.

- [17] Güsten, Formation, transport and control of photo chemical smog, the handbook of environmental chemistry, volume 4, springer Herlag, Berlin 1986.
- [18] Initiation à la physioco chimie de la basse troposphère , pollatm, janvier - mars 88.
- [19] J.BIGNON, effets sur la santé respiratoire de l'homme du NO_2 , O_3 et autres polluants oxydants de l'atmosphère, *poll, atm* octobre - décembre 1990.
- [20] C.F.Lichegary, problèmes liés à l'ozone troposphérique, pluies acides effet de serre *poll, atm*. octobre - décembre 90.
- [21] C.F LICHEGARY, pluies acides et pollutions automobiles, *poll, atm* janvier - mars 89.
- [22] R.JOUMARD, les réglementations anti-pollution automobile *poll.atm*. janvier - mars 89.
- [23] Intersociety comitte methode of air sampling and analysis, pub washington page 329 -(1972).
- [24] E SALTZMAN, colometric micro determination of NO_2 in the atmosphere, Division O f Health service, cincinati, ohio Ref Z 0819707.
- [25] T. AOUdiA, Pollution atmosphérique dans la région Est d'Alger *POLL ATM AVR-Juin 1991*
- [26] Inter society comitte, tentative method for the manuel analysis of oxidizing substances in the atmosphere, REF ZG 093078.
- [27] N.KOUTAL Magister En cours de réalisation, ENP. Alger
- [28] M. Bou ghedaoui, Thèse de Magister, ENP Alger 1993

[29] J.DONATI et A Person, exposition à la pollution automobile en milieu urbain, pollution atm. N°121 p 9-17, 1989.

[30] M.L. Williams et Al, atmosphéric envt volume 22 N°12, 1988.

[31] AC Stern et all *Fundamentals of Air pollution*, 2^{eme} edition
Academic press, 1984.