

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

7/94

وزارة التربية الوطنية

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES NIVEAUX
D'OZONE A ALGER ET SA BANLIEUE

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

PR: R.KERBACHI

S.DEKAR

PR: R.KERBACHI

PROMOTION

- 1994 -

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'ETUDE DES NIVEAUX
D'OZONE A ALGER ET SA BANLIEUE**

Proposé et Dirigé par :

PR: R.KERBACHI

Etudier par :

S.DEKAR

JURY :

**N.BELHANACHE
S.BOUGHEDAQUI
A.MAZIGHI
R.KERBACHI**

PROMOTION

- 1994 -

* DEDICACE *

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

JE dédie ce travail à mes parents ,
avec tout mon amour.

SALD. DEKAR

Remerciements.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Au terme de ce travail , je tiens à remercier:

M. le professeur R.KERBACHI , d'avoir bien voulu accepter d'encadrer ce travail ; sa compétence dans le domaine et sa grande patience m'ont été d'un grand apport.

Je saisis par la même , l'occasion de lui présenter ma reconnaissance en mémoire des semestres durant lesquels il nous a enseigné.

Mme N.BELHANACHE , maître de conférence à l'école nationale polytechnique d'ALGER ,de m'avoir fait l'honneur de présider cet honorable jury.

M. S.BOUGHEDAOUI , maître assistant à l'université de BLIDA , et M. A.MAZIGHI , assistant à l'école nationale polytechnique , d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements aussi à KARIM et KAMEL , sans lesquels , l'aboutissement de ce travail dans la forme aurait été impossible .

Un grand merci également à AHMED (dit HMIDA) , TAOUES et NADIA pour leur gentillesse.

CHAPITRE IV : EFFETS NUISIBLES DE L'OZONE

IV - 1 Introduction	P	39
IV - 2 Effets sur l'homme.....	P	39
IV - 3 Effets sur la végétation.....	P	42
IV - 4 Effets sur l'environnement.....	P	47

CHAPITRE V : CHOIX DES SITES D'ETUDE, MODE DE PRELEVEMENT ET METHODE D'ANALYSE DE L'OZONE.

V - I Choix des sites d'étude.....	P	48
V - II Méthode de dosage de l'ozone.....	P	51
V - III Mode de prélèvement.....	P	52

CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

VI- 1 Aspects généraux de l'étude.....	P	54
VI - 2 Evaluation de l'ozone en milieu urbain.....	P	55
VI - 3 Evaluation de l'ozone en milieu semi-urbain.....	P	63
VI - 4 Niveaux d'exposition à l'ozone.....	P	72

CONCLUSION.....	P	78
-----------------	---	----

ANNEXE 1.....	P	80
ANNEXE 2.....	P	83

INTRODUCTION

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

En l'espace d'un demi-siècle seulement , la population mondiale a doublé , dépassant aujourd'hui cinq milliards d'habitants , parallèlement , l'activité économique a presque été multipliée par quatre .

La civilisation industrielle fabrique aujourd'hui sept fois plus de biens de consommation qu'il y'a trente ans , pour les élaborer , les usines du monde entier ont besoin d'énergie et de matière premières.

Au cours du processus de fabrication se créent des déchets inévitables dont une large fraction part dans l'atmosphère.

La cause principale de la pollution de l'air provient de l'utilisation , comme source d'énergie , des combustibles fossiles , qu'il s'agisse du charbon , du pétrole, de la lignite ou du gaz naturel . Plus de dix milliards de tonnes d'équivalent charbon sont ainsi brûlées chaque année .

Bien qu'il soit difficile de classer les différents polluants par ordre de toxicité ou de nuisance , quelques grandes familles se distinguent dont celle des oxydants photochimiques.

Ces derniers sont formés à partir de polluants sources.

L'ozone est le plus abondant des oxydants photochimiques, sa teneur naturelle appréciable et sa toxicité, même à faibles teneurs , lui confèrent une approche toute particulière .

Depuis qu'il a été révélé comme constituant fondamental du smog photochimique , l'ozone est à l'origine de multiples recherches ayant trait à, sa toxicité , la détermination des mécanismes réactionnels et l'action des divers facteurs atmosphériques qui régissent son évolution , l'évaluation des niveaux dans la basse troposphère et les moyens d'endiguer son accroissement à court et à long terme.

Nous nous proposerons à travers cette étude , d'enrichir les données déjà existantes relatives à la pollution photochimique et plus globalement à la pollution atmosphérique à laquelle est exposée la ville d'ALGER .

Dans ce contexte , nous chercherons à évaluer les niveaux d'ozone à ALGER et sa banlieue, et à identifier et caractériser les profils diurnes et les sources d'influence de ceux-ci.

CHAPITRE I

GENERALITES DUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

I-1 INTRODUCTION

Il y'a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans les proportions de ses composants est susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une nuisance ou une gêne [1].

Cette définition adoptée en février 1967, par la commission du conseil de l'europe montre que la pollution de l'air n'est pas uniquement due à des rejets de composés nouveaux dans l'atmosphère, mais quelle peut également se caractériser par une augmentation ou une diminution des composants naturels de celle-ci.

Une atmosphère est considérée comme étant pure, lorsqu'elle ne contient que les composés naturels repartis selon les proportions suivantes [2]:

AZOTE (N ₂)	:	78,09 %
OXYGENE (O ₂)	:	20,94 %
ARGON (Ar)	:	0,93 %
CO ₂ , H ₂ , gaz rare	:	0,04 %

Toute substance étrangère à cette composition ou présentant une teneur anormalement élevée est appelée contaminant.

Ce dernier devient un polluant lorsqu'il présente vis-à-vis d'un récepteur des effets susceptibles de lui nuire.

le récepteur est tout objet ou être vivant pouvant être affecté par la qualité de l'air auquel il est exposé.

Les principaux polluants atmosphériques peuvent se répartir en deux grandes catégories, les gaz et les particules solides.

les gaz représentent environ 90% de la masse totale de polluants émise dans l'atmosphère. Ces derniers peuvent être divisés en deux groupes de polluants bien distincts:

les polluants primaires et les polluants secondaires. La différence entre ces deux types de polluants réside dans la manière par laquelle ils sont introduits dans l'atmosphère.

Les polluants primaires sont émis directement par les différentes sources polluantes; c'est le cas du monoxyde d'azote (NO), du dioxyde de soufre (SO₂), du monoxyde de carbone (CO)... quant aux polluants secondaires, ils sont formés à partir de processus chimiques faisant intervenir les polluants primaires tel que l'ozone et le peroxyacétylnitrate (PAN), que l'on peut appeler aussi les oxydants photochimiques.

Compte tenu de l'objectif de notre étude, nous présenterons dans ce qui suit quelques généralités sur l'ozone et ses précurseurs, les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures (H.C).

I-2 LES PRECURSEURS DE L'OZONE

I-2-1 LES OXYDES D'AZOTE

Le terme oxydes d'azote désigne un groupe de polluants composé du monoxyde d'azote NO et du dioxyde d'azote NO₂. La somme des teneurs des deux polluants est désignée communément par les " NOx ".

les NOx peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique.

I-2-1-1 LES SOURCES NATURELLES

Les émissions naturelles d'oxydes d'azote estimées à 340.10 tonnes par ans [3] sont dues pour la plus part à des processus biologiques, faisant intervenir des microorganismes. Les autres sources sont les feux de forêt, les éruptions volcaniques et la foudre.

I-2-1-2 LES SOURCES ANTHROPOGENIQUES

Les sources anthropogéniques sont contrairement aux sources naturelles beaucoup plus localisées. Il en résulte à l'échelle locale des concentrations relativement élevées.

Les activités humaines sont à l'origine d'émissions évaluées à 53.10 tonnes par an [3] dues principalement aux trois sources suivantes:

a) Les installations de combustion

Que ce soit pour le chauffage domestique ,pour les fours industriels ou pour les centrales thermiques ,les hautes températures requises entraînent la formation de monoxyde d'azote par oxydation de l'azote contenu dans l'air et dans le combustible.Ce dernier est rapidement convertit en NO₂.

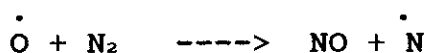
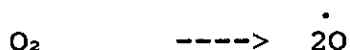
b)Les procédés industriels

Les procédés industriels tels la galvanoplastie,la fabrication de colorants et ceux faisant intervenir l'acide nitrique,contribuent de façon notable à la pollution de l'air par les NOx ,surtout à l'échelle locale,à proximité des sites industriels utilisant les procédés précités.

c)Le trafic routier

Le trafic routier constitue pour sa part la plus importante source anthropologique des NOx. C'est à lui que sont attribuées les épisodes de smogs observés depuis les années 50.

Aux hautes températures,l'azote moléculaire réagit avec l'oxygène pour former les NO selon la série suivante de réactions [4]:



C'est hautes températures sont atteintes dans les moteurs à explosion, les cuisinières etc...

L'importance relative des produits évacués dans l'effluent gazeux dépendra du type de moteur (essence ou diesel) et du régime suivi.

Le tableau N°1 , donne les proportions d'hydrocarbures, de NOx et d'aldéhydes dans l'effluent gazeux suivant le type de moteur [5].

teneur des gaz d'échappement	régime du moteur							
	ralenti		Accélération		croisière		deccélération	
type moteur	E	D	E	D	E	D	E	D
HC (%)	0,50	0,04	0,02	0,02	0,10	0,01	1,00	0,03
NOx (ppm)	30	60	1050	850	650	250	20	30
aldéhyde ppm	30	10	20	20	10	10	300	30

E : moteur essence

D : moteur diesel

TABLEAU N°1 ABONDANCE RELATIVE DES H.C ,NOx ,ET ALDEHYDES SELON LE TYPE ET LE REGIME DU MOTEUR [5].

On remarque qu'en phase d'accélération et en régime de croisière, les concentrations en oxydes d'azote sont supérieures à celle des deux modes: ralenti et décélération. l'inverse est constaté pour les hydrocarbures imbrulés.

Ces considérations s'expliquent par le fait que les températures atteintes aux deux régimes: accélération et croisière sont plus élevées que celles atteintes aux modes: ralenti et décélération.

Il s'en suit une plus importante formation de NOx et une meilleure combustion des hydrocarbures.

la fig n°1 résume les considérations précédentes, elle montre l'évolution des polluants en fonction du régime suivi.

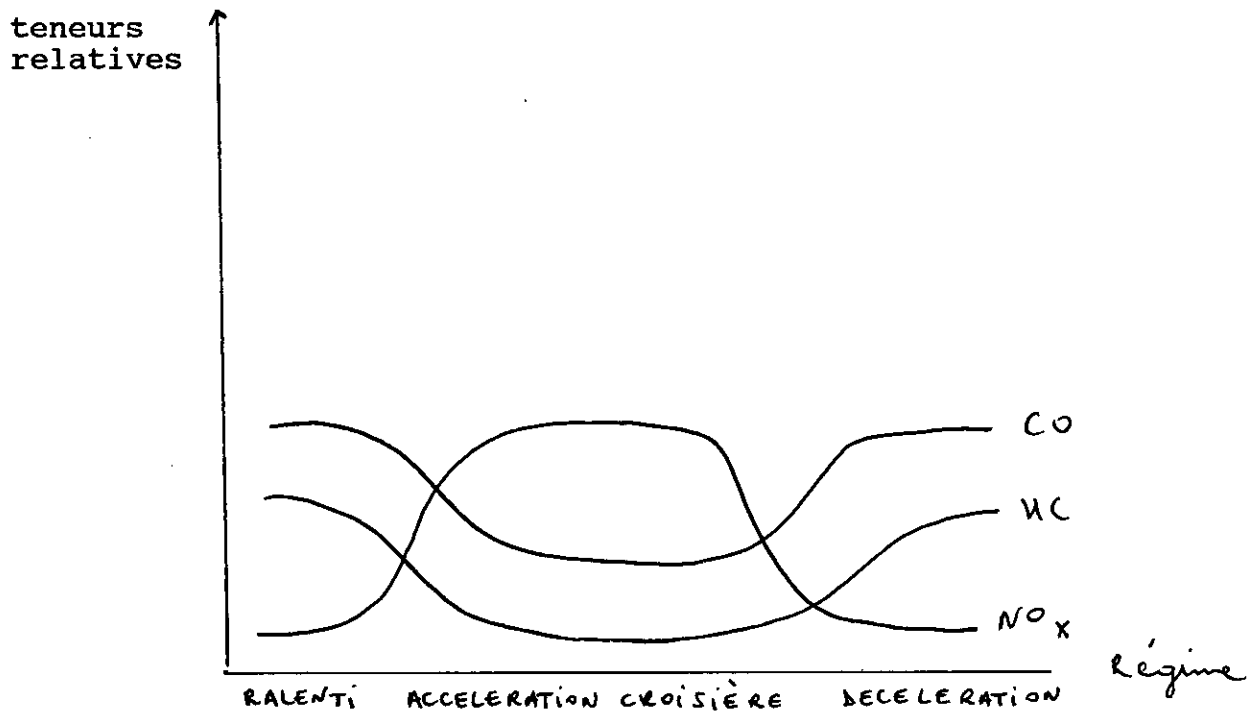


FIG N°1 EVOLUTION DES POLLUANTS EN FONCTION DU REGIME [2].

I-2-1-3 TENEURS USUELLEMENT RENCONTREES

La teneur du monoxyde d'azote dans les régions non polluées serait comprise entre 0,2 et 5 ppb ,et celle du dioxyde d'azote entre 0 et 6 ppb [6].

En milieu urbain ,la concentration du NO₂ est comprise entre 10 et 50 ppb. Cette teneur est multipliée par un facteur 3 à 10 dans les villes à forte circulation automobile [7].

Il à en outre était observé qu'à l'intérieur des maisons équipées de cuisinières à gaz , les concentrations en NO₂ étaient 4 à 7 fois supérieures à celles trouvées dans les maisons équipées de cuisinières électriques.

I-2-2 LES HYDROCARBURES

Les hydrocarbures (HC) ou plus exactement les composés organiques volatils (COV), constituent les composés organiques les plus abondant dans l'atmosphère.

I-2-2-1 LES SOURCES NATURELLES

elles sont constituées par les terpènes et isoprènes émis par certaines variétés de plantes et d'arbres, le CH₄, émis lors de fermentations anaérobies, les mines de charbon et les sous-sols renfermant des gaz naturels et les feux de forêts.

Les quantités d'hydrocarbures émises par les sources naturelles sont bien plus importantes que celle émises par les sources anthropiques.

I-2-2-1 LES SOURCES ANTHROPIQUES

Comme les NOx ,la pollution par les hydrocarbures se rencontre dans les ville ou à l'échelle locale les rejets anthropiques prédominent, ces derniers proviennet de combustion incomplètes des essences et autre dérivées du pétrole ,des évaporations diverses (au niveau du carburateur des véhicules à essence par exemple), solvants industriels etc...

Le tableau N° 2 donne une estimation des quantités d'hydrocarbures émises par les sources naturelles et anthropogéniques ainsi que les concentrations résultantes[?].

	Emission (tonnes/an)		concentration atmosphérique totale
	antropo- génique	naturelles	
CH ₄	160	1050	1,5 ppm
Isoprène et terpène	0	830	0
HC autres que CH ₄	40	2.10 ⁶	0,1 μg/m ³

TABLEAU N° 2 QUANTITES D'HYDROCARBURE EMISES DANS L'ATMOSPHERE ET LES CONCENTRATIONS

Nous représentons au tableau N°30, les taux de NOx et de HC imputable aux activités du trafic routier dans certaines grandes villes.

VILLES	ANNEES	NOx	HC
MEXICO	1989	74%	52%
SANTIAGO	1988	90%	48%
SAO PAULO	1987	89%	76%
BOMBAY	1982	44%	20%
KOWEIT	1987	26%	76%
MANILLE	1987	73%	82%
SEOUL	1983	60%	40%
SARAJEVO	1983	68%	35%
ANKARA	1990	44%	62%

Tableau N°30 : Pollution en NOx et HC imputable au trafic routier dans certaine grandes villes

Il en ressort qu'en moyenne 50 à 70% des NOx et que 30 à 60% des HC émis dans les milieux urbains proviennent des activités du transport.

L'importance de ces deux polluants primaires réside dans le fait qu'ils sont les précurseurs de l'ozone.

I-3 L'OZONE TROPOSPHERIQUE

L'ozone de l'atmosphère supérieur ne constitue pas une source appréciable des quantités d'ozone trouvées dans les basses couches de l'atmosphère [3].

En effet l'ozone apparait comme une conséquence des réactions photochimiques dans laquelle interviennent des éléments qui, en se dégradant sous l'action de radicaux favorisent l'augmentation de ce gaz.

I-3-1 SOURCES D'OZONE TROPOSPHERIQUE

La formation photochimique de l'ozone dans la troposphère s'opère par oxydation des gaz CO, CH₄, hydrocarbures en présence des oxydes d'azote.

L'oxydation du CO génère une production d'ozone relativement lente mais importante à l'échelle globale. Cette production est estimée à 70% de la formation photochimique globale [10].

Les hydrocarbures et le méthane contribuent chacun à environ 45% de la production globale [10]. Cependant la dégradation des H.C est plus rapide avec un temps de séjour variant de quelques heures à quelques jours [10].

Ils sont responsable des fortes teneurs d'ozone rencontrées dans certaines villes.

Comme vue précédament la source principale de ce dernier à l'échelle locale ou régionale est le trafic routier.

L'ensemble de ces sources représentent 80% de l'O₃ troposphérique, les 20% restant sont dûs à un transport depuis la stratosphère qui est maximale à la fin de l'hiver et au début du printemps en fonction des phénomènes d'échange à travers la tropopause, surtout aux latitudes moyennes [].

I-3-2 DISTRIBUTION DE L'OZONE

La figure N°2 représente la distribution de l'ozone en fonction de la latitude et de l'altitude. On remarque que les teneurs moyennes rencontrées dans l'hémisphère nord, sont supérieures à celles de l'hémisphère sud. Cette différence est due à l'industrialisation plus conséquente au nord qu'au sud et donc, présentant plus de sources de précurseurs de l'ozone [10].

En outre la durée de vie de l'ozone serait inférieur au temps de mélange entre les deux hémisphères, ceci explique que le transport de celui-ci vers l'hémisphère sud depuis l'hémisphère nord soit quasiment inexistant [10].

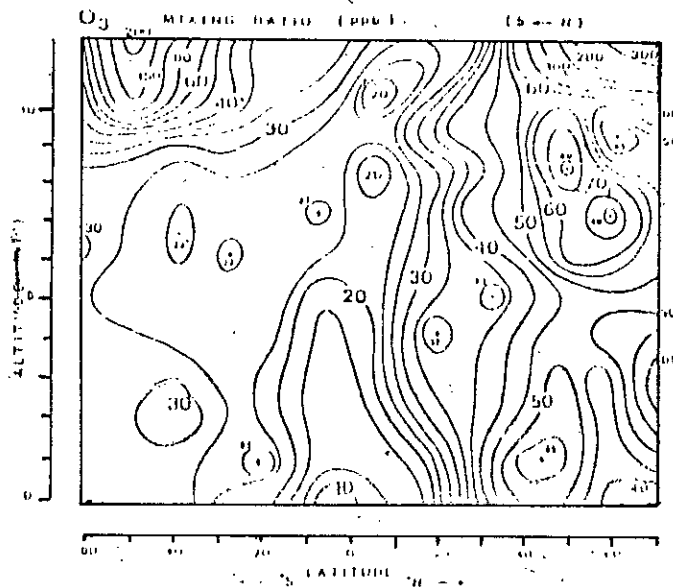


FIG N°3 VARIATION DE LA CONCENTRATION D'OZONE EN FONCTION DE LA LATITUDE ET DE L'ALTITUDE [10].

I-3-3 VARIATION DIURNE ET SAISONIERE DE L'OZONE

L'ozone troposphérique présente 2 profils particuliers:

- Le premier est le profil diurne dépendant des variations journaliers.
- Le second est lié aux variation saisonnières.

Le profil diurne peut être représenté par la figure N°4, on y observe un maximum ,en début d'après ou l'insolation est optimale.

Cette dernière baissant en fin d'après midi, la la concentration d'ozone baisse aussi pour atteindre un minimum la nuit. Au matin l'ozone se remet à croitre avec l'ensoleillement et reprend le profil précédent.

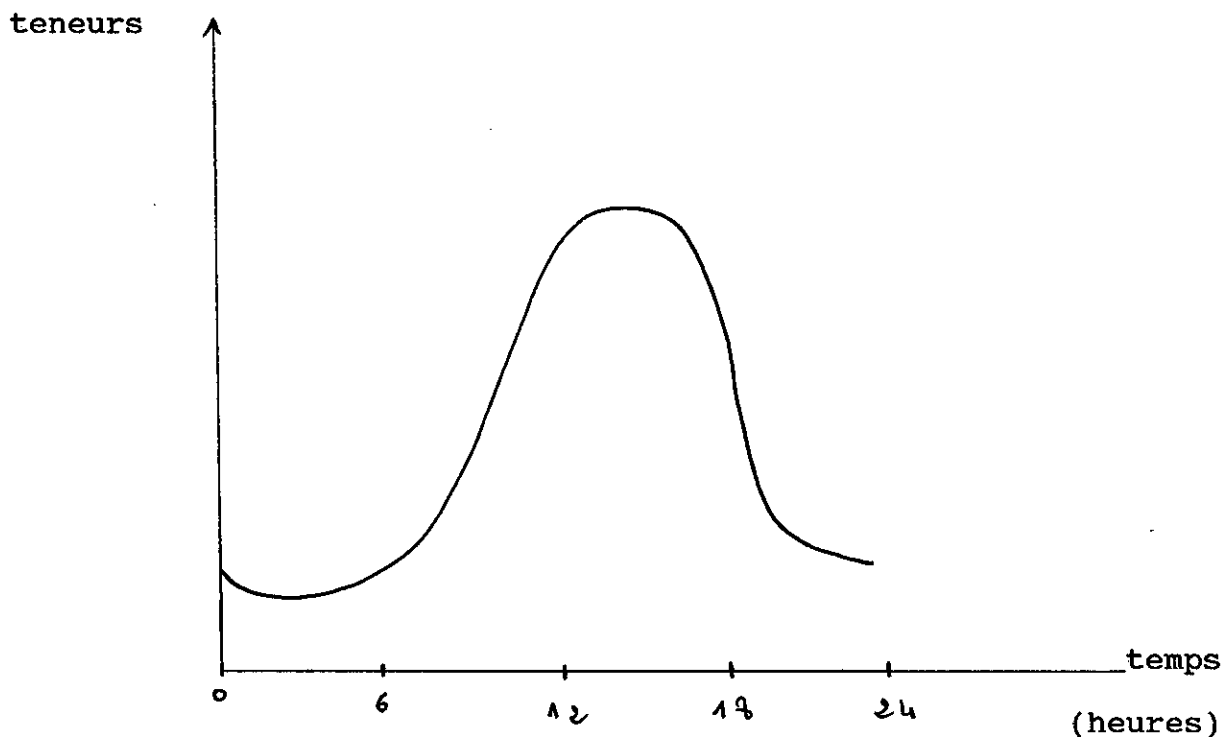


FIG N° 4 VARIATION DIURNE DES TENEURS EN OZONE

Ce schéma est en réalité très simplifié, les variations diurnes de la concentration d'ozone présente des profils bien différents, dépendant des facteurs climatiques et topographique résumés en chapitre II, ainsi que de la présence ou non de précurseurs ou de puits d'O₃.

Deux exemples de ces variations diurnes sont illustrées en figures N° 5 et 6. [111]

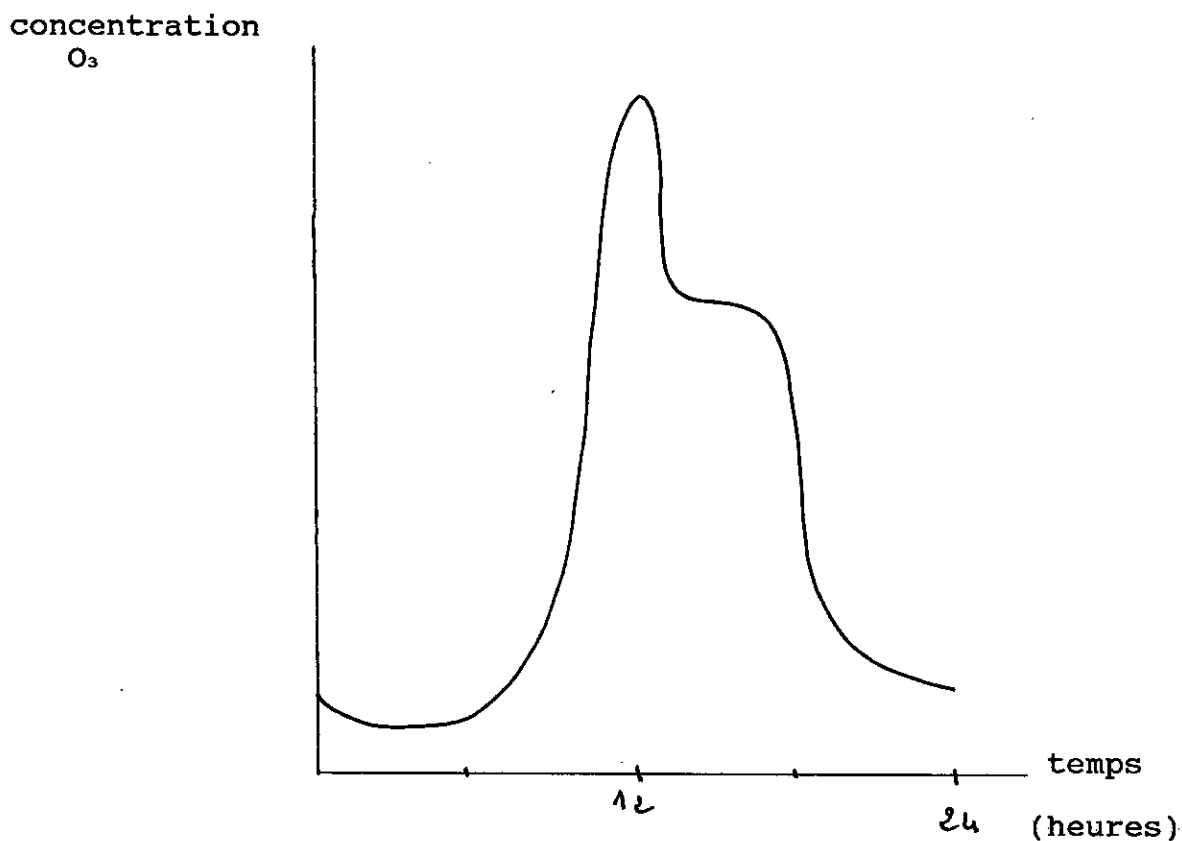


FIG N° 5 EPISODE DE SMOG AGE LORS DU DEVELOPEMENT DE LA COUCHE DE MELANGE.

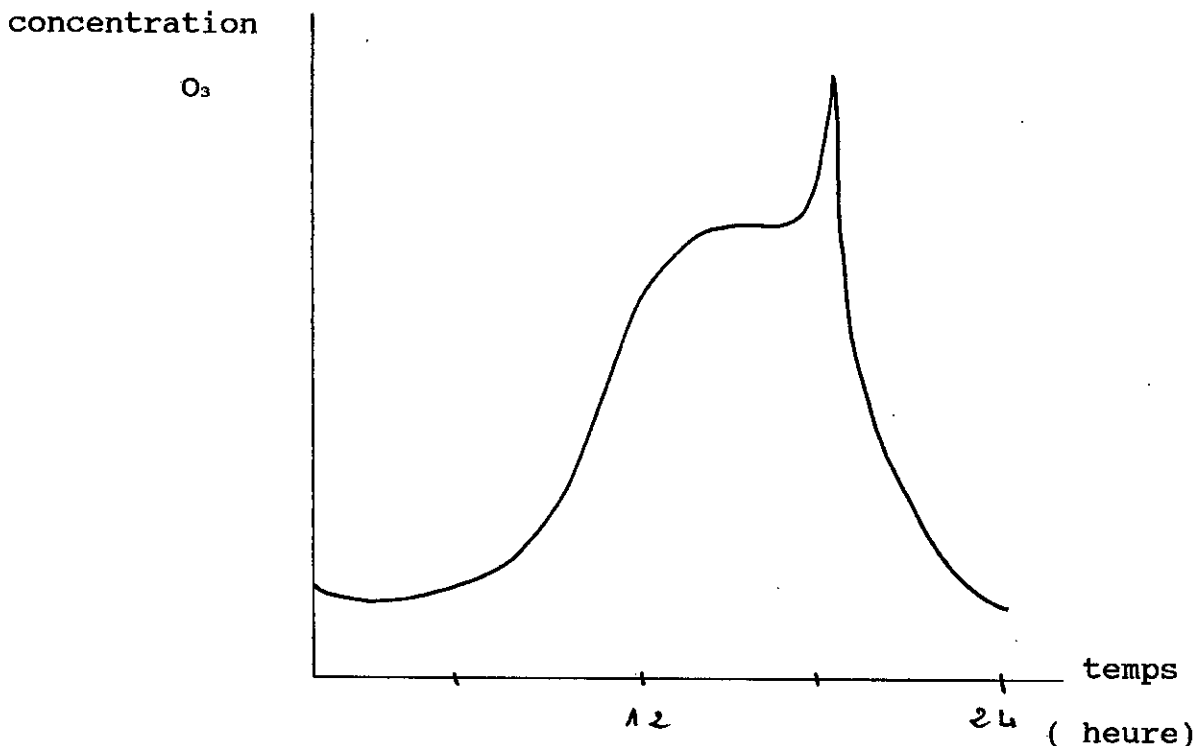


FIG N°6 INFLUENCE D'UN RETOUR DE VENT CHARGE D'OZONE

La variation saisonnière est elle aussi due aux variations du flux de radiations solaires. En hiver, les concentrations d'ozone sont minimales et les conditions d'ensoleillement sont insuffisantes pour engendrer une production photochimique intense

Néanmoins, il arrive que les niveaux de pollutions soient très élevés et associés à une forte stabilité (convection verticale faible); ils sont à l'origine de véritables smogs photochimiques.

En été la convection est plus importante, cependant l'irradiation est intense et les couches d'inversion nombreuses. La production photochimique est alors optimale.

En France par exemple, la concentration d'ozone passe de 30 ppb en hiver à 60-70 ppb en été au mois de juillet [10].

I-3-4 Les niveaux d'ozone

Selon que l'on se trouve dans des zones fortement, peu ou pas urbanisées, les concentrations d'ozone rencontrées diffèrent considérablement.

I-3-4-1 Teneurs de fond

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

La concentration de l'ozone naturel oscille entre 5 et 40 ppb [6]. C'est ainsi qu'au Sahara il a été enregistré des teneurs de quelques ppb [16].

En ces zones, le cycle diurne de l'ozone dépend exclusivement de l'évolution de la hauteur de la couche de mélange (voir chap II), la production photochimique étant quasiment nulle (équilibre photochimique).

I-3-4-2 Teneurs urbaines

Les concentrations de l'ozone en milieu urbain sont très variables, elles peuvent être minimales comme elles peuvent être très élevées au-dessus des seuils admissibles.

En hiver par exemple, l'irradiation solaire est faible et l'ozone est détruit par réaction avec le NO issu du trafic routier, on relève alors des teneurs relativement basses.

En été par contre avec l'amélioration des conditions atmosphériques, l'ozone peut atteindre des pics horaires de l'ordre de 300 ppb [7] voir même 400 ppb [6].

I-3-4-3 Teneurs rurales

L'ozone est un gaz facilement transportable, ce dernier formé dans le panache urbain des villes polluées peut atteindre des zones rurales, il en résulte alors des concentrations élevées avec des maxima horaires pouvant dépasser 150 ppb. [7]

CHAPITRE II

STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE ET DISPERSION DES POLLUANTS

II-1 STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches superposées les unes aux autres ayant chacune des propriétés spécifiques. Parmi ces couches, celles qui intéressent le plus l'étude des polluants sont la troposphère et la stratosphère.

a) La troposphère

Comme le montre la figure N°7, la troposphère débute à partir du sol jusqu'à un niveau appelé tropopause située à 18 Km d'altitude à l'équateur et 11 Km aux pôles [12].

Les gaz contenus dans cette zone sont constamment en mouvement (mélange et turbulence) dû au gradient négatif de température.

Les températures de la tropopause sont les plus basses, environ -75°C à l'équateur et entre -45 et -50°C sous les latitudes moyennes en hiver [13].

C'est dans cette basse couche qu'est la troposphère que se déplacent et se diluent les polluants. Certains polluants inertes peuvent cependant être transportés jusqu'à la stratosphère.

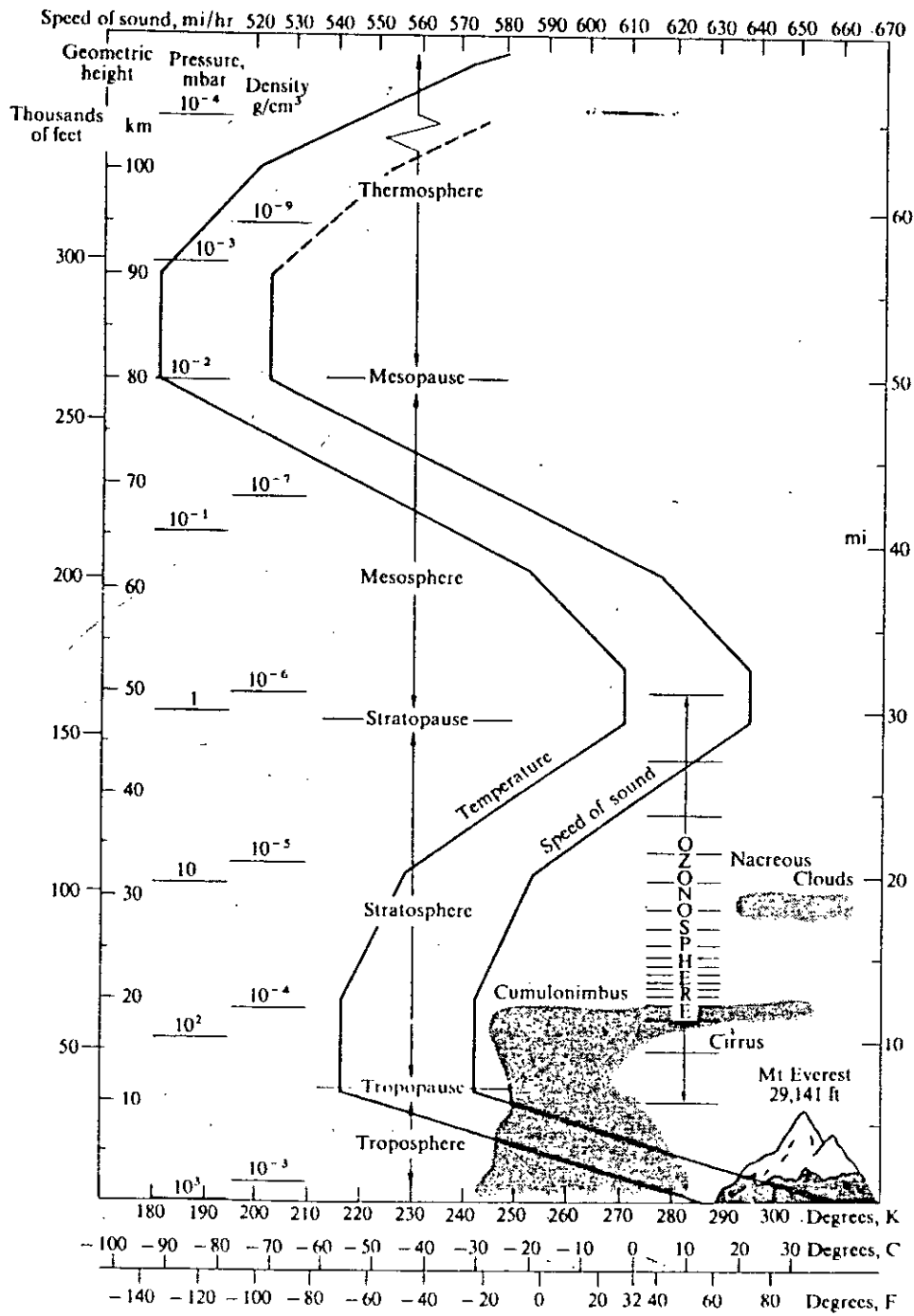


FIG N° 7 STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE [12]

b) la stratosphère

Elle s'élève à partir de la tropopause jusqu'à une altitude de 50 Km [12].

Dans cette zone, le régime thermique se modifie complètement. Il est caractérisé par une isothermie sur 8 à 10 Km, régime auquel fait suite une croissance rapide jusqu'à la limite de cette zone appelée stratopause [13].

Si la diffusion des polluants est des plus rapides dans la troposphère, elle s'effectue au contraire très lentement dans la stratosphère, à cause de la faible vitesse d'échange entre couches d'air d'altitudes différentes.

Les mouvements verticaux qui atteignent en moyenne 30 m/s dans la troposphère, ne font tout au plus que quelques centimètres par secondes de sorte que des polluants introduits à ce niveau peuvent y séjourner des années [14].

La stratosphère est caractérisée par un gradient de température positif dû à l'ozone dont la teneur maximale siège à une altitude comprise entre 20 et 30 Km [13].

A la stratosphère, font suite deux autres zones, la première est la mésosphère caractérisée elle aussi par un gradient thermique négatif, et la thermosphère qui s'étend jusqu'aux limites de l'atmosphère avec des températures de l'ordre de 1500 à 2000 °C [12].

II-2 BALANCE THERMIQUE ET EFFET DE SERRE

l'énergie solaire reçue par notre planète est en moyenne de 460 watts par mètre carré [15]. Cette quantité de chaleur subit en traversant l'atmosphère, diverses réductions que nous schématiserons en figure N°8.

Tout d'abord, une fraction du rayonnement solaire est réfléchiée dans toutes les directions et en particulier vers le haut par les gaz et particules. Une autre fraction est absorbée par les différents gaz avec production de chaleur .

Les hautes températures de la thermosphère sont dues à l'absorption des radiations par l'oxygène atomique et moléculaire et aux altitudes supérieures, par l'hélium et l'hydrogène. Ces éléments absorbent l'énergie solaire jusqu'à une longueur d'onde de 200 nm, c'est à dire dans l'extrême UV [16].

Plus bas dans la stratosphère c'est l'ozone qui atténue le rayonnement en absorbant dans les longueurs d'onde comprises entre 200 et 290 nm, qui seraient préjudiciable pour tout être vivant si elles arrivaient au sol [15].

Enfin, dans la troposphère c'est la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone qui réduisent encore plus l'énergie solaire . Ces gaz absorbent également une grande partie du rayonnement réémis par la terre (domaine de l'infrarouge) constituant ainsi un effet de serre qui contribue au réchauffement de la basse troposphère.

Ce phénomène est naturel, cependant les émissions excessives d'autres gaz CH_4 , N_2O , CFC, ainsi que l'augmentation des niveaux d'ozone dans la basse troposphère ont pour effet de d'intensifier ce phénomène, qui peut engendrer une augmentation de la température moyenne du globe terrestre.

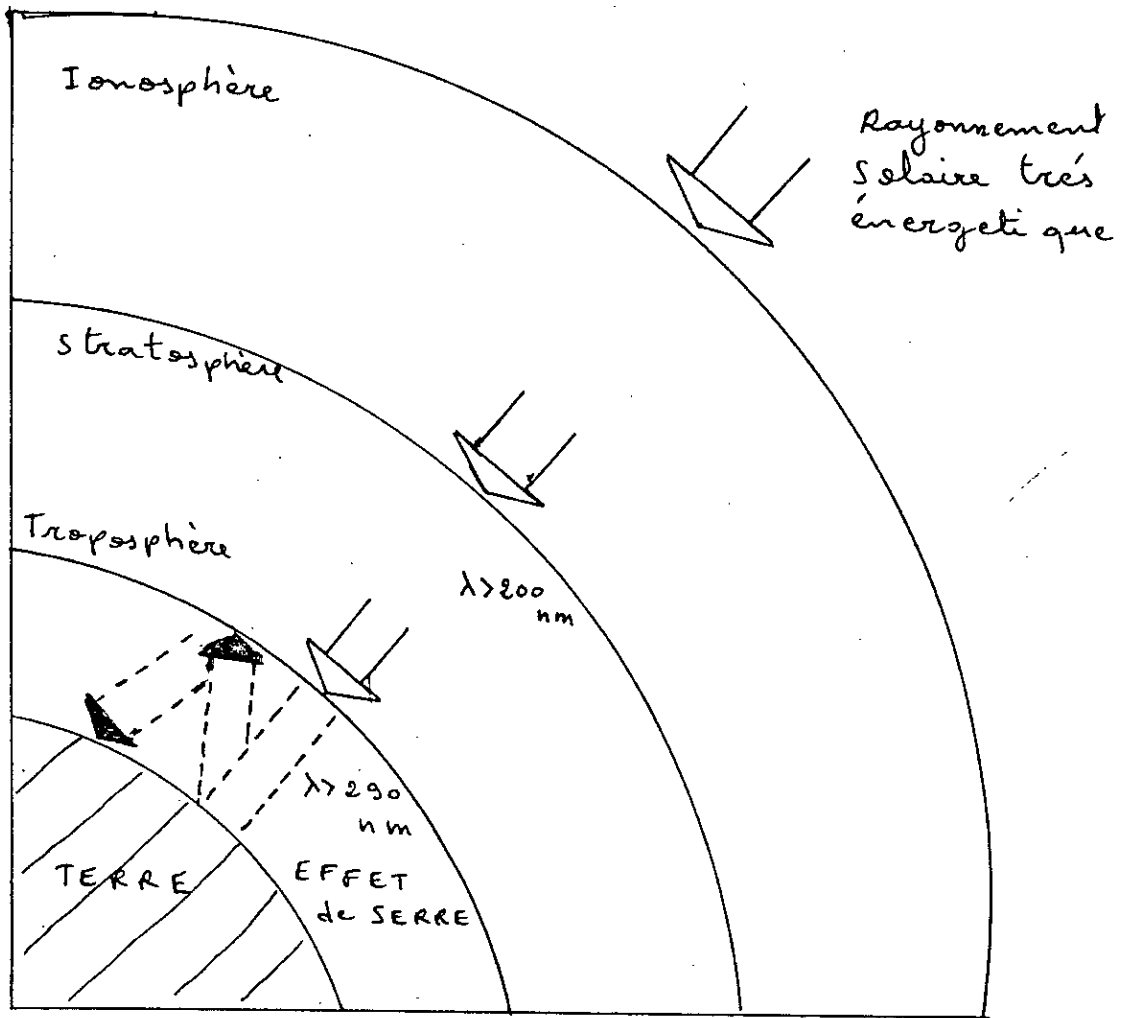


FIG N°8 ILLUSTRATION SCHEMATIQUE DE L'ATTENUATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE ET L'EFFET DE SERRE

II-3 DISPERSION DES POLLUANTS

Dans la basse troposphère ou séjournent le plus souvent les polluants, il existe des mouvements atmosphériques qui régissent la dispersion des polluants et leur répartition dans les divers biotopes.

La connaissance des lois générales de circulation des masses d'air dans la troposphère et dans la stratosphère est donc essentielle pour comprendre les mécanismes par lesquels s'effectue la contamination de la biosphère.

Les polluants émis par les activités humaines évoluent dans le temps et dans l'espace. Ces derniers peuvent selon les conditions météorologiques, être transportés loin de la zone d'émission ou au contraire stagner au dessus d'elle.

Les principaux facteurs influençant la dispersion et le transport des polluants peuvent être limités à la température (phénomène de convection verticale), le vent (phénomène d'advection) et la topographie.

II-3-1 ACTION DE LA TEMPERATURE

Quand on observe la variation de la température sur une verticale, on constate une décroissance à partir du Sol, décroissance assez continue, environ $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ [2], jusqu'à un niveau de l'ordre de 8 à 15 kilomètre [13], c'est le gradient adiabatique de température. Ce phénomène, constant, est dû d'abord à des processus de rayonnement.

En effet la plus grande partie du rayonnement sert à réchauffer la terre, celle-ci à son tour, diffuse vers l'atmosphère un rayonnement de grande longueur d'onde qui affecte principalement les couches les plus basses parcequ'elle sont les plus chargées en gaz aptes à absorber ce rayonnement.

Ces sols échauffés sont à l'origine de transferts de chaleur associés ,ceux -ci,à des transports d'air ,les volumes d'air en contact avec le sol s'échauffant par contact et se dilatant.Ces tranports de matières sur la verticale,sont appelés convections,et on comprend aisément l'action de ces phénomènes sur la dispersion des polluants qui sont entraînés en altitude avec les masses d'air

Cependant en certaines périodes, il peut arriver qu'à partir d'une certaine altitude le gradient de température s'inverse et devienne positif: l'air se réchauffe lorsqu'on s'élève puis redevient negatif si l'on continu l'ascension.

La couche dans laquelle on observe le gradient positif de température est dite couche d'inversion. Cette couche peut prendre naissance au voisinage du sol pendant la nuit [] ;le sol,est par conséquent l'atmosphère à son contact,se refroidissant plus vite que l'atmosphère plus élevée,surtout par temps clair .Les premiers rayons de soleil remettent les choses en place et l'inversion se détruit.

Sur la fig N°9 sont shématisés l'apparition et la destruction d'une inversion nocturne [16].

Un autre type d'inversion peut apparaitre en altitude, c'est le cas à LOS ANGELES ,bordée à l'ouest par l'océan pacifique et à l'est par un désert chaud.L'inversion s'établit en hauteur du fait du vent de mer frais qui souffle au niveau du sol et du vent chaud qui vient du désert à quelques centaine de mètre d'altitude .On est alos en présence d'une superposition d'une masse d'air chaud sur une masse d'air froid.

Ce type d'inversion se rencontre surtout en période de forte stabilité et il peut persisté pendant plusieurs jours.

Une telle inversion est illustrée en fig N°10.[16]

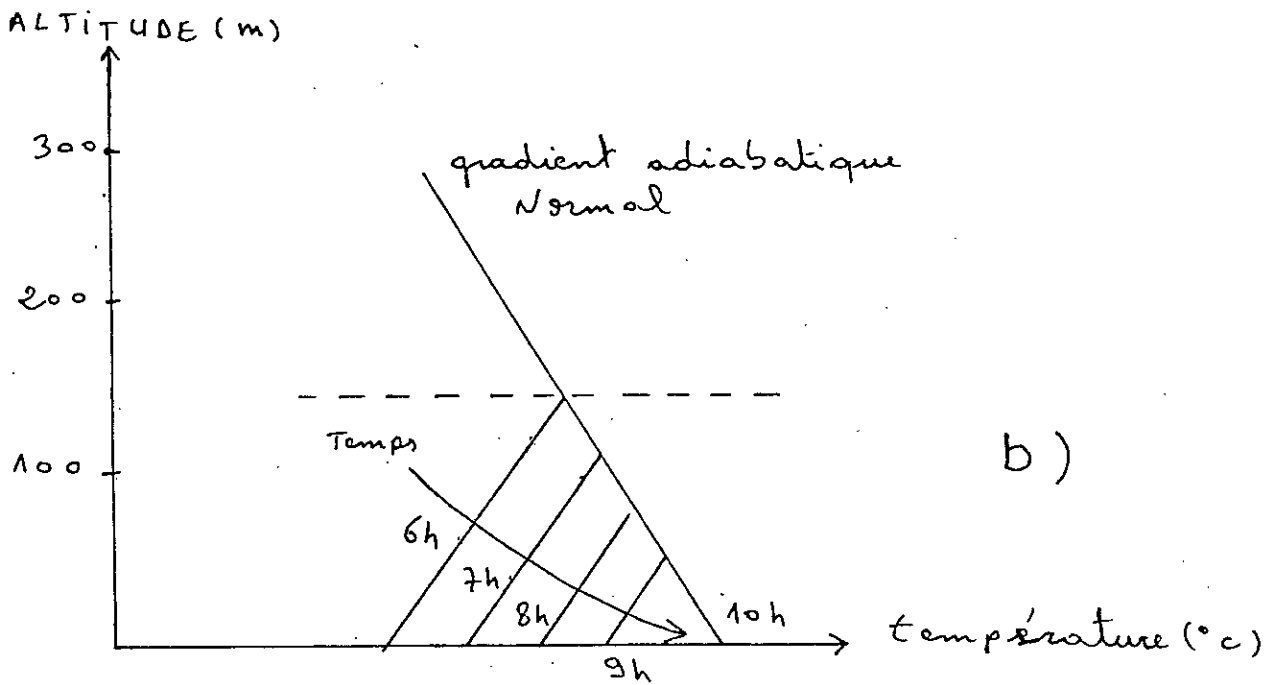
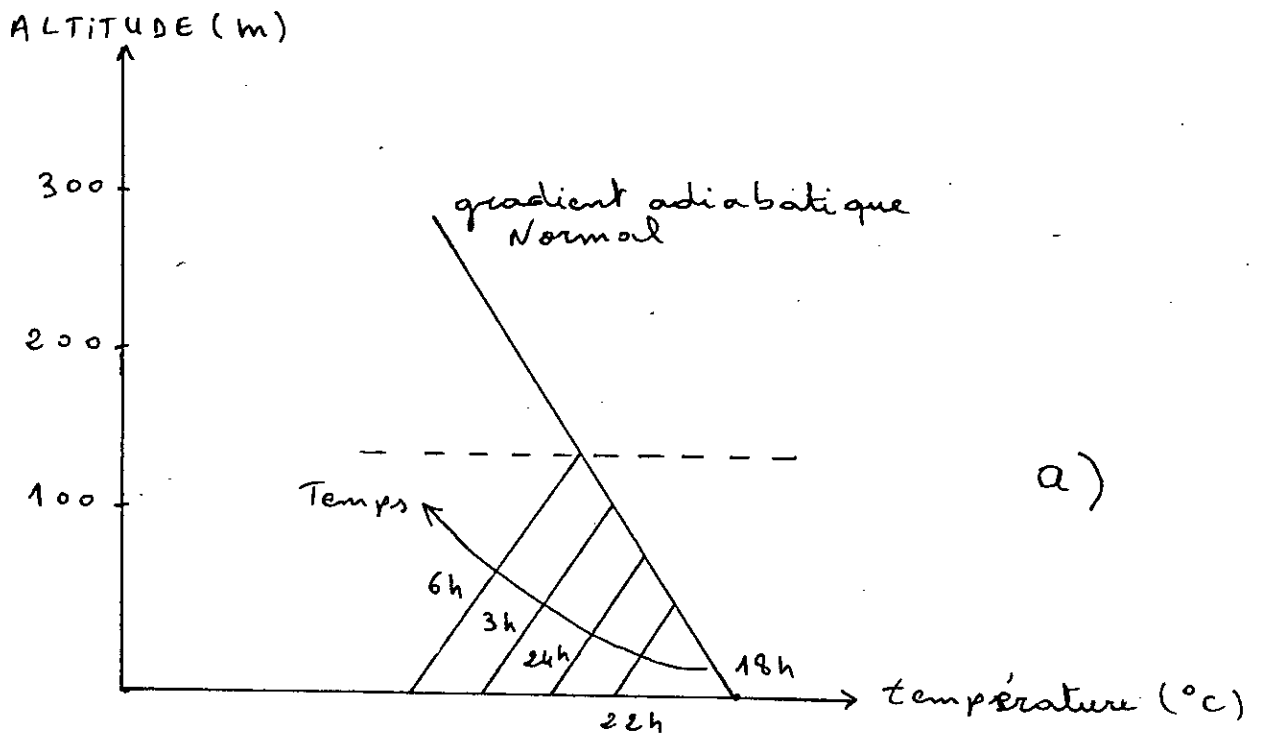


FIG N°9 : INVERSION NOCTURNE [16]

a) Apparition

b) Destruction

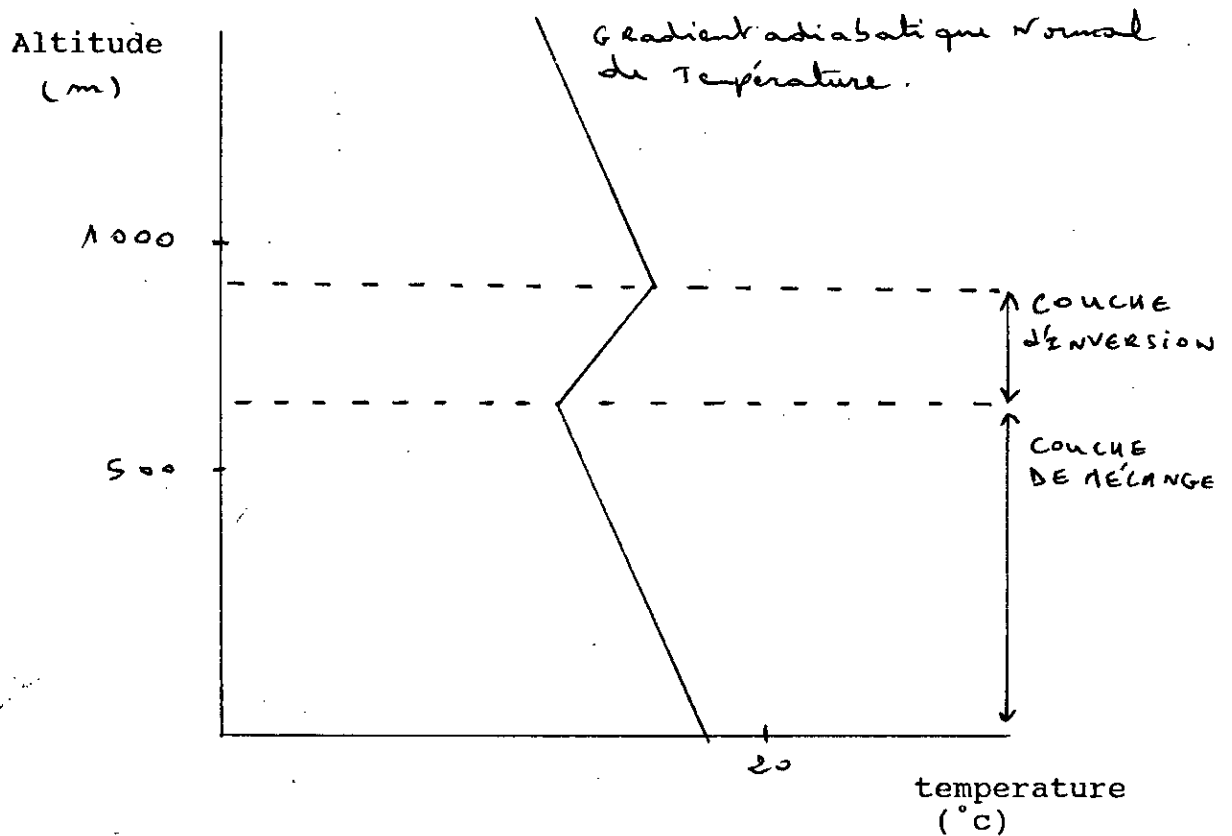


FIG N° 10 INVERSION D'ALTITUDE

Il est évident qu'une couche d'inversion s'oppose à la diffusion des polluants. Ils s'accumulent sous cette dernière et peuvent voir ainsi leur concentration augmenter. La hauteur de la couche de mélange (couche où à lieu les échanges entre masses d'air d'altitudes différentes) est ainsi réduite.

Nous illustrons en fig N° 11, l'évolution de la hauteur de la couche de mélange.

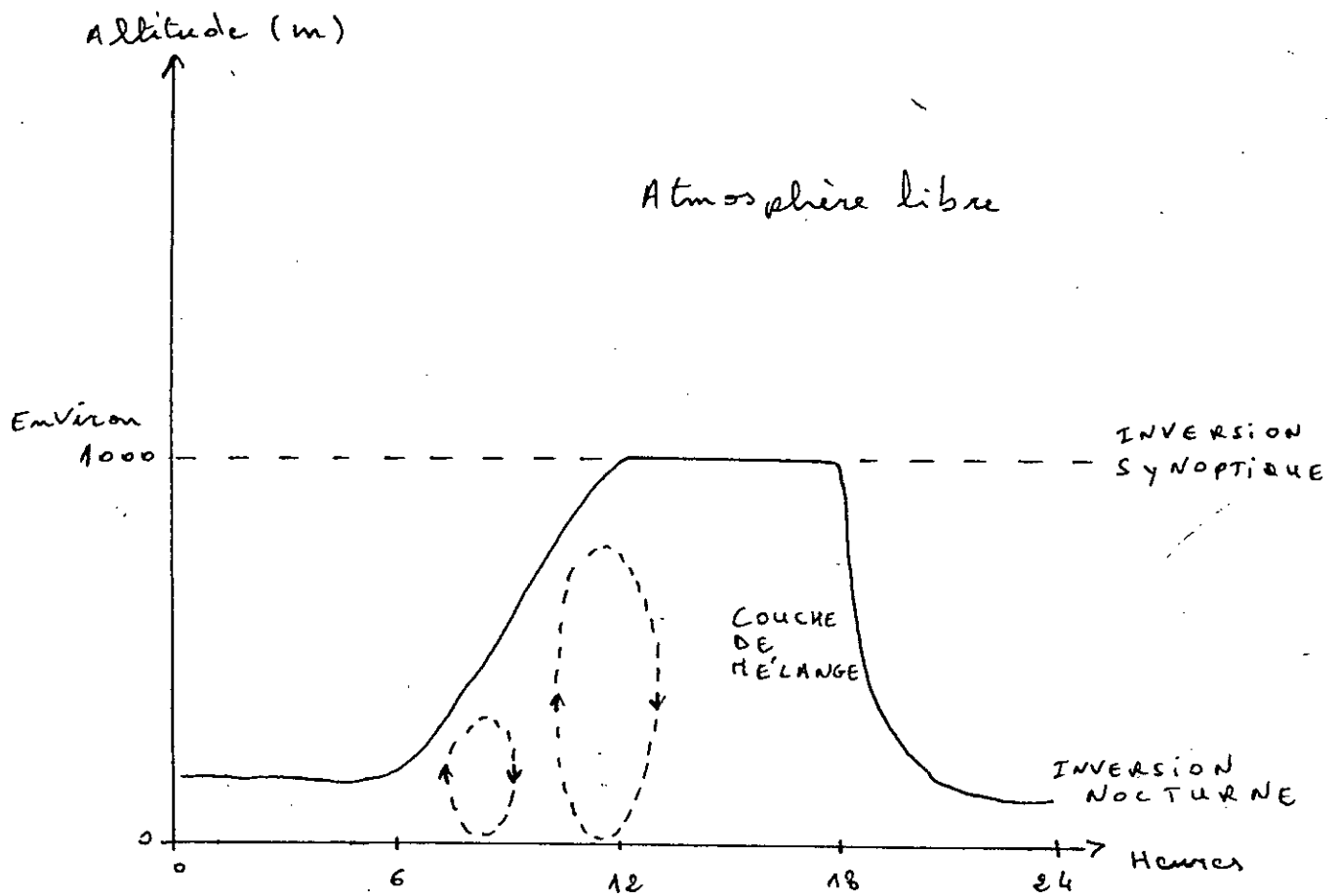


FIG N° 11 : EVOLUTION DE LA HAUTEUR DE LA COUCHE DE MELANGE.

La nuit l'atmosphère est très stable près du sol et la couche de mélange est peu épaisse, quelques dizaines de mètres.

Le matin, le soleil commence à réchauffer le sol, la convection s'amorce et se développe en altitude. La couche de mélange atteint sa hauteur maximale vers 11h et dure jusqu'à 18h.

II-3-2 ACTION DU VENT

Le vent permet d'une part, la dilution des polluants et d'autre part le renouvellement des masses d'air par transport actif de ceci. Il est caractérisé par sa direction et sa vitesse.

La direction du vent au sol peut être différente de celle du vent synoptique par suite des effets dus aux frottements au sol, au relief et au gradient thermique.

On comprend l'importance de cette donnée, vu que les polluants suivent les déplacements des masses d'air dans lesquelles ils se trouvent, ce qui permet de suivre leur évolution et leur transformation si ces derniers font l'objet de modifications associées à des processus chimiques.

Une autre donnée pas moins importante est la vitesse du vent. Plus celle-ci sera élevée et plus la dispersion des polluants sera grande.

La vitesse du vent dépend elle aussi de plusieurs facteurs tels les frottements au sol, la présence d'obstacles et la distance séparant les dépressions des anticyclones. Ceci explique la tendance à l'augmentation de la vitesse avec l'altitude ou le ralentissement des masses d'air en mouvement, dû au frottement sur les rugosités du sol est de moins en moins importante.

- Rose des vents

La rose des vents est définie comme étant tout diagramme élaboré dans le but de montrer la distribution du vent dans un lieu donné et sur une période déterminée.

En figure N°12 est représentée la forme la plus connue de rose des vents. Elle consiste en un cercle duquel émanent 8, 16 ou 36 barres ou lignes, représentant chacune une direction. La longueur des lignes est proportionnelle à la fréquence à laquelle le vent a soufflé de cette direction. La fréquence de calme est portée au centre.

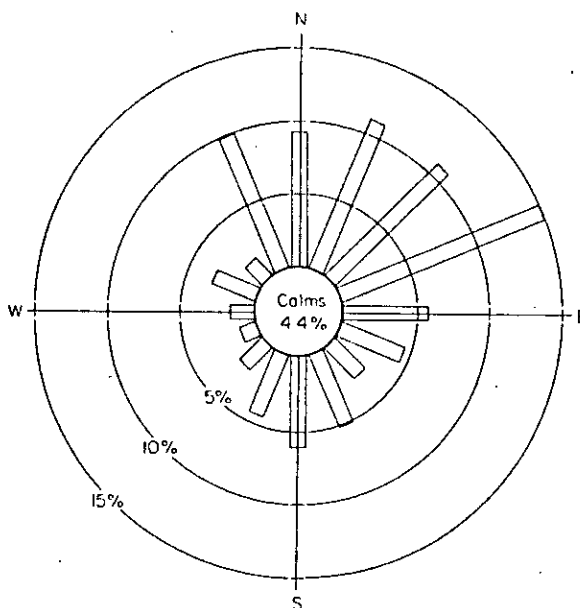


FIGURE N°12 ROSE DES VENTS [16].

La connaissance de la distribution du vent dans le temps et dans l'espace revête un intérêt tout particulier lorsqu'il s'agit d'implantation des unités industrielles susceptibles de présenter un risque de pollution atmosphérique (raffineries, cimenteries, ...).

II-3-3 INFLUENCE DE LA TOPOGRAPHIE

L'évaluation de la topographie du lieu de mesure est intéressant pour identifier les dénivellement du terrain qui peuvent influencer la météorologie locale ou la dispersion des polluants.

Les vallées, montagnes, ainsi que la présence d'étendues d'eau, mer, lacs, étangs sont autant de paramètres peuvent influencer l'advection et la diffusion des polluants.

CHAPITRE III

**TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DANS
L'ATMOSPHERE - FORMATION DU SMOG
PHOTOXYDANTS -**

III.1 INTRODUCTION

L'équilibre physico-chimique de l'atmosphère terrestre résulte d'un ensemble complexe de phénomènes qui peuvent être décrits à partir de la notion de cycle : des constituants « SOURCES » sont émis à la surface par des processus physiques ou biologiques puis diffusent dans l'atmosphère ou, sous l'influence du rayonnement solaire se produisent des interactions chimiques qui, aboutissent à des différenciations, en fonction de l'altitude et de la composition en constituant minoritaires.

Nous nous intéresserons dans ce chapitre, aux principaux processus chimiques de l'atmosphère dans lesquels l'ozone intervient .

III.2 MECANISMES REACTIONNELS DANS LA

STRATOSPHERE [17, 18,]

Dans la stratosphère, aux altitudes supérieures à 30 Km, l'ozone est produit par réaction d'un atome d'oxygène sur une molécule d'oxygène:

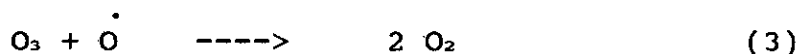


M est un partenaire de choc (il absorbe l'excédent d'énergie libérée) , cela peut être soit une molécule d'azote, soit une molécule d'oxygène.

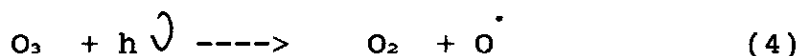
Le radical O mis en jeu provient de la photolyse de l'oxygène moléculaire aux longueurs d'onde inférieures à 200nm selon la réaction:



L'ozone à son tour subit une série de réactions catalytiques qui ont pour finalité sa transformation en oxygène moléculaire et dont le bilan est équivalent à la réaction suivante:



De plus ,l'ozone absorbant fortement les radiations de longueurs d'onde comprises entre 2 et 290 nm ,il est photolysé d'après la réaction:

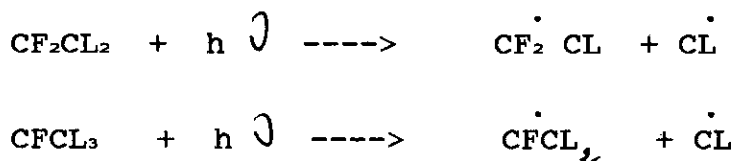


En définitif ,si l'on fait un bilan globale des réactions 1,2,3,4, il apparait que la concentration d'ozone est quasi-stationnaire.

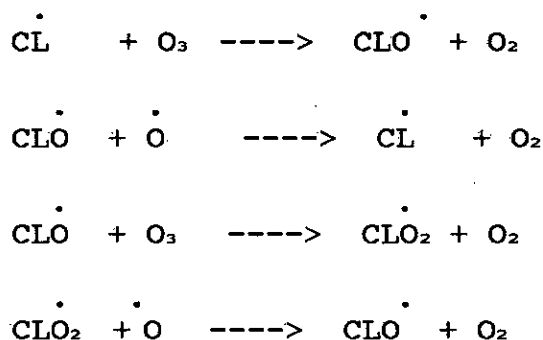
L'ozone produit par la réaction (1),est détruit par les réactions (3) et (4) .

On conçoit alors que l'augmentation d'espèces radicalaires NOx ,ClOx,HOx, issus de constituants sources tels: (CH₄,CFC,N₂O) puissent entrainer une diminution de la concentration d'ozone ,ces derniers catalysant la réaction(3).

le cas des CFC est particulier du fait que les sources se ceux-ci sont exclusivement anthropogénique et que leur durée de vie est relativement grande .Ce qui explique leur transport depuis la basse troposphère jusqu'à la stratosphère ou ils subissent une dissociation aux longueurs d'onde inférieures à 230 nm [2]:



Les radicaux $\dot{\text{C}}\text{L}$ ainsi obtenus réagissent avec l'ozone conduisant à la formation d'oxygène selon la série de réactions []:



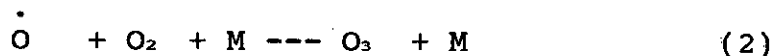
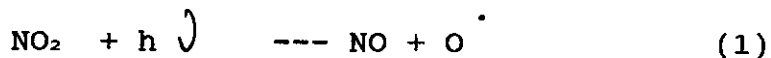
Les radicaux $\dot{\text{C}}\text{L}$ et $\dot{\text{C}}\text{LO}$ sont régénérés et la transformation en chaîne de l'ozone en oxygène se poursuit.

L'une des conséquences directes de l'utilisation des CFC, dont le temps de résidence dans l'atmosphère peut atteindre 130 ans, est l'apparition au dessus de l'antarctique d'un trou d'ozone. Ce trou d'ozone correspond à une diminution de plus de 50% de la quantité intégrée d'ozone entre 1979 et 1987 au cours des mois de septembre et d'octobre. En dehors de cette période, l'ozone se retrouve à un taux normal [].

A noter que la réglementation stricte concernant l'utilisation des CFC et leur remplacement par d'autres substances permettront à long terme la régénération de l'ozone stratosphérique.

III. 3 LES REACTIONS PHOTOCHEMIQUES DANS LA TROPOSPHERE [1344 ,]

Dans la troposphère, la source principal d'atomes d'oxygène nécessaires à la production de l'ozone est la photodissociation du dioxyde d'azote NO₂ par le rayonnement solaire de longueur d'onde comprise entre 280 et 430 nm.

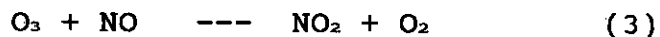


(M étant un partenaire de choc)

En effet l'oxygène moléculaire ne peut plus être dissocié, les radiations solaires qui atteignent la troposphère ($\lambda > 280\text{-}290$ nm) étant moins énergétique.

III.3-1 EN MILIEU NON POLLUE

En absence de COV ,l'ozone produit réagit avec le NO pour former le NO₂.



Cette réaction est rapide et quantitative et peut souvent être considérée comme instantanée à l'échelle du milieu ambiant.

comme la réaction de photolyse du NO_2 est aussi très rapide on peut tenir le raisonnement selon lequel les réactions 1,2 et 3 conduisent à un état d'équilibre photostationnaire ou l'ozone est maintenu à une concentration relativement constante.

Le cycle photodynamique des NO_x et du O_3 est illustré en figure N° 13

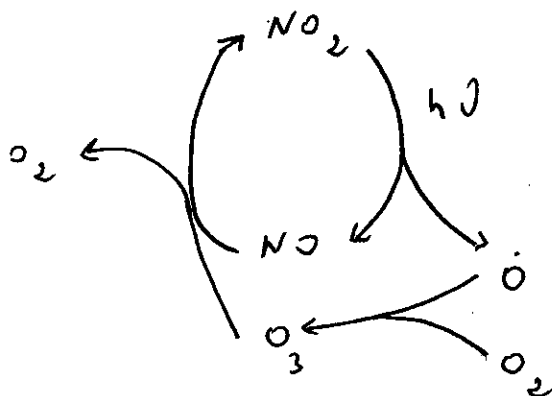


FIG N°13 CYCLE PHOTODYNAMIQUE DES NO_x ET DU O_3

Introduisons les notions de la cinétique classique à cette équilibre :

* La vitesse de formation du NO à partir de la réaction de photolyse du NO_2 est:

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = K_1 I [\text{NO}_2] \quad I : \text{désigne l'irradiation solaire}$$

* La vitesse de consommation de l'ozone par la réaction de titration -réaction N°3 - est:

$$\frac{-d [O_3]}{dt} = K_2 [NO] [O_3]$$

* Le NO et l'ozone sont formés et détruits à la même vitesse:

$$\frac{d [NO]}{dt} = \frac{-d [O_3]}{dt}$$

D'où

$$K_1 I [NO_2] = K_2 [NO] [O_3]$$

$$[O_3] = K \frac{[NO_2]}{[NO]} \quad K = \frac{K_1}{K_2} I$$

De ce résultat ,il en ressort que la concentration d'ozone dépend du rapport $\frac{[NO_2]}{[NO]}$ et de l'irradiation solaire.

III.3-2 EN MILIEU POLLUE

En milieu pollué, bien que les quantités de NO issues du trafic routier soient assez importantes, l'oxydation du NO par l'oxygène moléculaire -réaction N°4- est lente.



De façon qu'une grande proportion du NO présent dans les gaz d'échappement échappe à l'oxydation par dilution.

En effet la vitesse de formation du NO₂ est donné par :

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

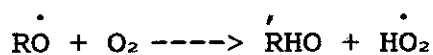
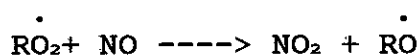
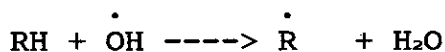
Cette équation cinétique montre que la production de NO₂ est proportionnelle au carré de la concentration de NO.

Si cette dernière était divisée par deux, la vitesse de formation du NO₂ serait divisée par quatre.

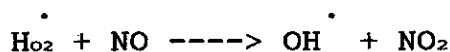
Cette réaction n'est donc pas une source appréciable de NO₂. En outre les fortes teneurs en ozone rencontrées dans les grands centres urbains impliquent l'existence d'espèces chimiques capable de réagir avec le NO (principal puits d'ozone) et former le NO₂ (source du radical O).

Cette double fonction est remplie par les radicaux peroxy RO₂ ou R est soit un radical organique, soit un atome d'hydrogène.

Les radicaux peroxy trouvent leur source dans la dégradation des hydrocarbures (CH₄ INCLUS) sous l'action des radicaux OH (radical hydroxyle).



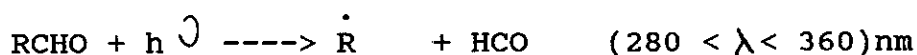
Le radical hydroxyle est régénéré par la réaction:



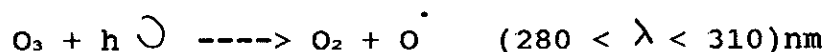
Outre la consommation du monoxyde d'azote, qui comme dit précédemment est le principal puit d'ozone et la formation du NO₂, principal source d'oxygène atomique, il y'a aussi production d'aldéhydes qui comme nous le verrons est avec l'ozone le principal agent responsable de la formation du radical OH.

En effet le radical OH trouve sa source dans deux principaux processus:

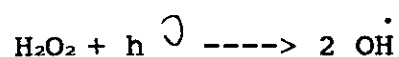
* photodissociation des aldéhydes qui conduit à la formation simultanée de OH et NO₂:



* photodissociation de l'ozone aux longueurs d'onde comprises entre 280 et 310 nm



Un troisième processus peut avoir lieu ,c'est la photodissociation du peroxyde d'hydrogène:



Cependant cette dernière est très mineure car elle a lieu assez loin dans l'UV.

En résumé, la présence de polluants tels les radicaux peroxydes issus de la dégradation des HC sous l'action du radical hydroxyle entraîne une perturbation du cycle photodynamique des NO_x et de l'ozone, ce dernier peut alors augmenter et atteindre des niveaux alarmants.

La figure N°14 illustre le cycle photodynamique des NOx et de l'ozone en présence d'hydrocarbures. La réaction de titration est court circuitée.

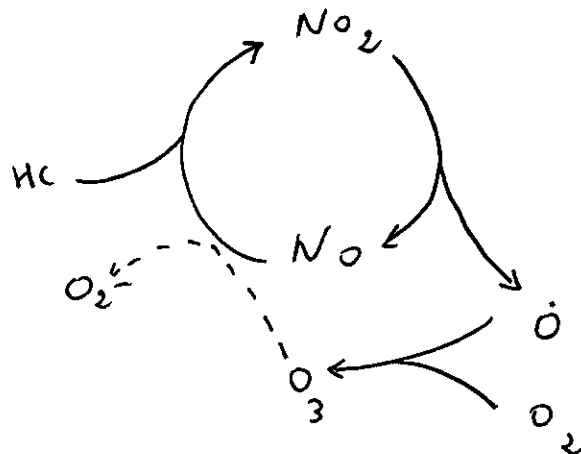


FIG N° 14 Cycle photodynamique des NOx et de l'ozone en présence de polluants (HC).

III.3-3 FORMATION DU SMOG PHOTOCHIMIQUE

Sous certaines conditions, les polluants primaires et secondaires s'accumulent aux débus des zones polluées.

Les réaction photochimiques s'accélèrent, conduisant à un accroissement des propriétés oxydantes de l'atmosphère. Il y'a alors formation d'un aérosol de composés organiques divers dont la dissipation ne pourra avoir lieu que sous l'action mécanique des vents.

Les conditions propices à la formation de tels brouillards sont les suivants:

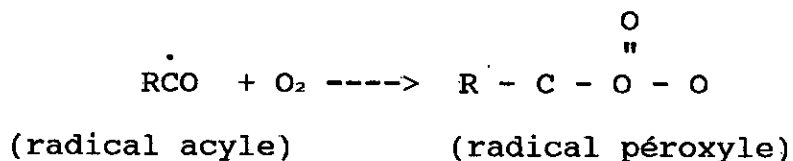
** Forte stabilité verticale (présence d'une couche d'inversion).

** Emissions de fortes proportions d'hydrocarbures par rapport au NO.

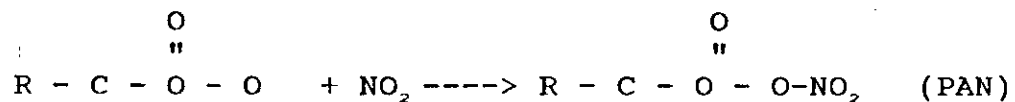
** Forte insolation.

L'aérosol qui se forme contient outre l'ozone et les aldéhydes une espèce nouvelle de composés organiques, les nitrates de peroxyacyle (PAN), derniers photoxydants à être formés vu qu'ils se trouvent en bout de chaîne des mécanismes réactionnels.

En effet les aldéhydes issus de la dégradation des HC réagissent fortement avec le radical $\dot{\text{O}}\text{H}$; il s'ensuit la série suivante de réactions:



Le radical peroxyde ainsi obtenu réagit avec le NO₂ pour former les (PAN):



Cette dernière réaction à lieu en présence de faibles quantités de NO.

Les PAN sont de puissants oxydants .Les plus courants sont les PAN aliphatiques dont les premiers membres sont:

- Le peroxy-acetyl-nitrate R=CH₃-
- Le peroxy-propionyl-nitrate R=CH₃-CH₂-
- Le peroxy-butyryl-nitrate R=CH₃-CH₂-CH₂-

CHAPITRE IV

EFFETS NUISIBLES DE L'OZONE

I\/.1 INTRODUCTION

Les oxydants photochimiques (O.P.C) constituent un groupe complexe et insuffisamment connu d'aérocontaminants chimiques primaires (HC,NOx) et secondaires (O₃,aldéhydes nitrates de peroxyacyles PAN...).

Les déterminations analytiques ,sûrement insuffisantes dans l'environnement,concernent principalement O₃ et NO₂ et l'on admet que la mesure de O₃ est assez bien représentative des niveaux d'O.P.C. De même ,l'ozone semble être un bon indicateur des risques biologiques potentiels liés à la pollution atmosphérique par les O.P.C.

I\/.2 EFFET SUR L'HOMME

De par les différentes recherches effectuées sur les effets des photoxydants [21,22,7],la toxicité de ces derniers et en particulier l'ozone n'est plus à démontrer ,surtout lors d'exposition à de forte teneurs.Cependant les effets néfastes de ces composés après des expositions prolongées à de faibles teneurs restent plus difficiles à évaluer.

C'est le cas dans l'environnement urbain ou la population se trouve exposée à de faibles concentration, hormis quelques exceptions ou des concentrations alarmantes sont atteintes dans certaines grandes villes durant quelques heures en période de fort ensoleillement.

Les études qui sont menées à travers le monde portant sur la détermination des effets de l'ozone se font en ambiance contrôlée ou en ambiance environnementale.

En ambiance contrôlée, le seuil de perception olfactive est compris entre 8 et 20 ppb. L'irritation oculaire intervient au delà de 100 ppb, suivie d'éventuelles modifications de la perception visuelle mise en évidence après 3 heures d'exposition à des concentrations de 200 à 500 ppb.

Après 2 heures d'exposition à des teneurs d'ozone comprises entre 100 et 1000 ppb la résistance des voies aériennes et la ventilation diminuent chez des sujets en bonne santé. Il a en outre été observé une nette augmentation de ces symptômes lorsque le sujet est soumis à un effort physique et qu'il est exposé au froid.

Concernant le potentiel génotoxique de l'ozone, des études ont montré que l'ozone pouvait induire des aberrations chromosomiques au niveau de lymphocytes humains exposés in vitro. Les mêmes résultats ont été obtenus avec les lymphocytes d'hamsters exposés in vivo à l'ozone.

En ambiance environnementale, étant donné le mélange de polluants auquel les individus sont exposés (SO_2 , NO_2 , O_3 ...) et l'importance du tabagisme, il est très difficile de rapporter tel type d'effet à tel polluant. Par contre une association significative des symptômes chroniques respiratoires avec les oxydants totaux a été mise en évidence.

l'action de l'ozone se fait par oxydation des protéines et la peroxydation des acides gras polyinsaturés, il provoque également des dommages par l'intermédiaire de la formation de radicaux libres[7].

Pour la prévention de ces effets néfastes, des valeurs guides ont été proposées par l'OMS en 1987:

Concernant l'ozone ,la teneur à ne pas dépasser est de 75 à 100 ppb sur une heure et de 50 à 60 ppb sur une période d'exposition de 8 heures.

Pour le NO₂, la concentration à ne pas dépasser sur une période d'une heure est de 210 ppb ,elle est de 80 ppb sur une durée de 24 heures.

I\3.3 EFFETS SUR LA VEGETATION

La destruction de la végétation autrefois attribuée aux émissions de SO₂ n'est pas exclusive à ce dernier.

Les oxydants sont responsable de dommages à la plante, qui peuvent être soit aigus entraînant la mort de la cellule, avec apparition de zones plus ou moins étendues de nécroses sur la feuille, soit encore des effets chroniques entraînant l'apparition de nécroses, avec ou sans chlorose [23].

On peut noter également des effets physiologiques correspondant à des altération de la croissance ou à une réduction du rendement de production [17].

Les photoxydants peuvent provoquer l'oxydation des composés organiques (lipides ,enzymes) dans les plantes, la destruction des chloroplastes et la réduction de la photosynthèse [17].

L'ozone parait être de tous les oxydants du brouillard photochimique ,celui qui est doué du pouvoir phytotoxique le plus élevé : certains dommages sont apparus pour des espèces sensibles après des expositions à 30 ppb pendant 4 heures. Concernant le PAN, des dommages à la feuille apparaissent après des expositions de 6 heures à des concentrations de 10 ppb [23].

Les recherches ont montré que des teneurs d'ozone supérieures à 50 ppb pendant le jour au cours de la période de croissance des plantes, pouvaient entraîner des baisses de rendement de 10 à 15% pour des cultures tels, le soja le coton et l'épinard [17].

Les tableaux N°4 et 5 montrent respectivement ,les symptômes et le seuil d'apparition de ceux-ci pour des expositions à l'ozone et au PAN et les types de végétaux relativement sensibles à ces deux polluants [23].

Ces effets de l'ozone sur les végétaux font actuellement l'objet de plusieurs programmes de recherche tels le programme américain NCLAN (Nation Crop Loss Assesment Network) lancé en 1980 et le programme européen d'évaluation des effets des pollutions de l'air et d'autres stressés sur les cultures ,lancé en 1988 [15].

De leur côté ,l'OMS et la CEE ont fixé des valeurs limites pour la protection des végétaux (tableau N°6) [15].

Polluants	Symptômes	type de feuille atteinte	Partie de la feuille atteinte	Seuil d'apparition des lésions(ppm)	Temps d'exposition
O ₃	Taches, petits trous, blanchiment total ou par point, pigmentation, arrêt de la croissance et chute prématurée. Le bout des aiguilles de certains conifères devient brun et elles pourrissent.	Les vieilles et progressivement les jeunes.	Pallissade.	0,03	4 h
PAN Nitrate de peroxyacétyle	La surface inférieure des feuilles devient brillante, argentée ou bronzée.	Jeunes.	Cellules parenchymateuses.	0,01	6 h

Tableau N° 4 : Symptômes et seuil d'apparition pour des expositions à O₃ et PAN.

OZONE		PAN
Récoltes	Arbres, Arbustes, Fleurs d'ornement	
Archide	Aune	Avoine
Avoine	Bouie de neige	Dahlia
Blé	Catalpa	Bette poirée
Brome des près	Chêne	Haricot pinto
Chiendent	Chry santhème	Laiture
	Couronne de mariée	Mouron des oiseaux
	Erable	Moutarde
	Erable argenté	Ortie
	Gléditschia	Petunia
	Lilas	Pois sauvage
	Ocuillet	Tomate
	Muscari	
	Petunia	
	Pin blanc de l'est	
	Pinpon de rosa	
	Pommier	
	Saule pleureur	
	Sycomore	
	Tremble	
	Troène	

Tableau N°5 : Végétaux relativement sensibles à l'attaque de O₃ et PAN.

	Valeurs recommandées (pbb)	SOURCES
Végétation (valeur à court terme) ozone	300(moyenne sur 1/2 h) 150(moyenne sur 1 h) 80(moyenne sur 4 h) 60(moyenne sur 8 h)	UN/CEE 1988 UN/CEE 1988 UN/CEE 1988 UN/CEE 1988
Végétation (valeur à long terme) ozone	50 (moyenne journalière de 9 à 16h. en période culturale)	UN/CEE 1988
Nitrate de peroxyacétyle	300(moyenne sur 1 h) 80(moyenne sur 8h)	OMS (1987) OMS (1987)

Tableau N° 6 : Valeurs recommandées pour la protection des végétaux [15]

I\4 EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

L'ozone est le principal absorbant du rayonnement ultra violet (UV) hautement énergétique. Il permet la vie sur terre en éliminant les radiations de longueurs d'onde comprises entre 240 et 290 nm qui seraient préjudiciable pour tout être vivant [] .

Cependant son augmentation dans la basse troposphère, entraîne un accroissement des propriétés oxydantes de celle-ci associé à une réduction du radical OH° considéré comme "l'épurateur de l'atmosphère", le radical OH° étant le principal agresseur des polluants atmosphériques . De plus l'ozone contribue à la formation d'espèces acides , acide sulfurique et acide nitrique [19,17].

Nous sommes donc en présence d'un accroissement simultané de l'acidité et des propriétés oxydantes de la troposphère qui faut-il le rappeler ont des effets destructeurs sur les écosystèmes naturels (dépérissement des forêts, acidification des lacs etc...).

A l'effet de serre introduit par certains composés qui en absorbant les radiations infrarouge réfléchies par la terre et en les réémettant vers celle-ci augmentent la température dans la basse troposphère, il semble que l'ozone n'y contribuerait qu'à un faible taux comparé aux autres gaz à effet de serre, néanmoins, si la concentration de ce dernier venait à croître considérablement, il est clair que sa contribution au réchauffement globale se trouverait elle aussi accrue.

CHAPITRE V

CHOIX DES SITES D'ETUDE, MODE DE PRELEVEMENT ET METHODE D'ANALYSE DE L'OZONE

\\-1 CHOIX DES SITES D'ETUDE

Pour l'évaluation des niveaux d'ozone a ALGER et sa banlieue, des postes de mesures ont été implantés dans les sites suivants :

- * EL MOURADIA
- * BABA HASSEN
- * ROUIBA

EL MOURADIA est un site urbain, la circulation y est peu dense et ne présente donc pas une source notable de polluants qui pourraient influencer l'évolution de l'ozone.

Le site se trouve en hauteur relativement au centre d'ALGER. la figure N° I est une illustration schématique de sa topographie.

Les localités de BABA HASSEN et de ROUIBA sont des sites semi-urbains ou le trafic routier est faible.

BABA HASSEN est situé a environ 18 kms à l'ouest d'ALGER et ROUIBA à environ 26 kms à l'est.

Ces sites ont été choisis pour trois raisons :

- L'évaluation des niveaux d'exposition à l'ozone en ces lieux .
- L'influence des émissions du trafic routier du centre-ville d'ALGER.
- L'étude d'un éventuel transport d'ozone qui se serait formé dans le panache urbain du centre-ville.

Nous situons en figure N° II , la position des postes d'étude.

← N° S° →

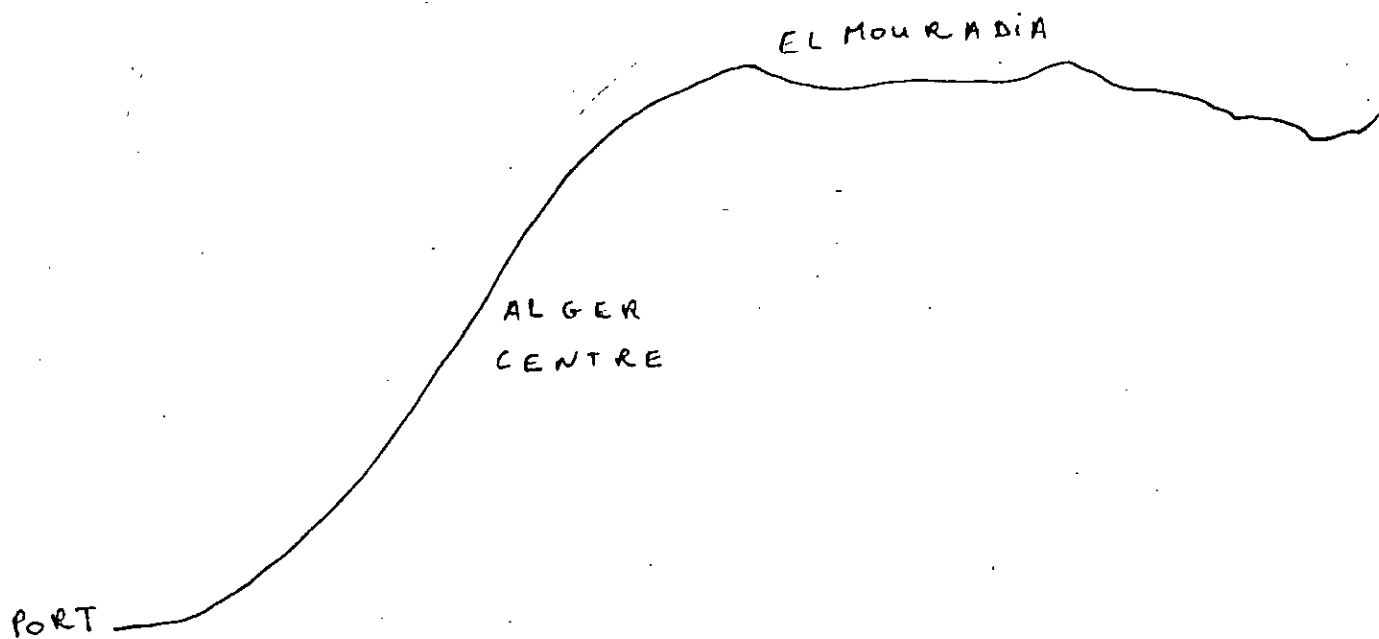


FIG N° I

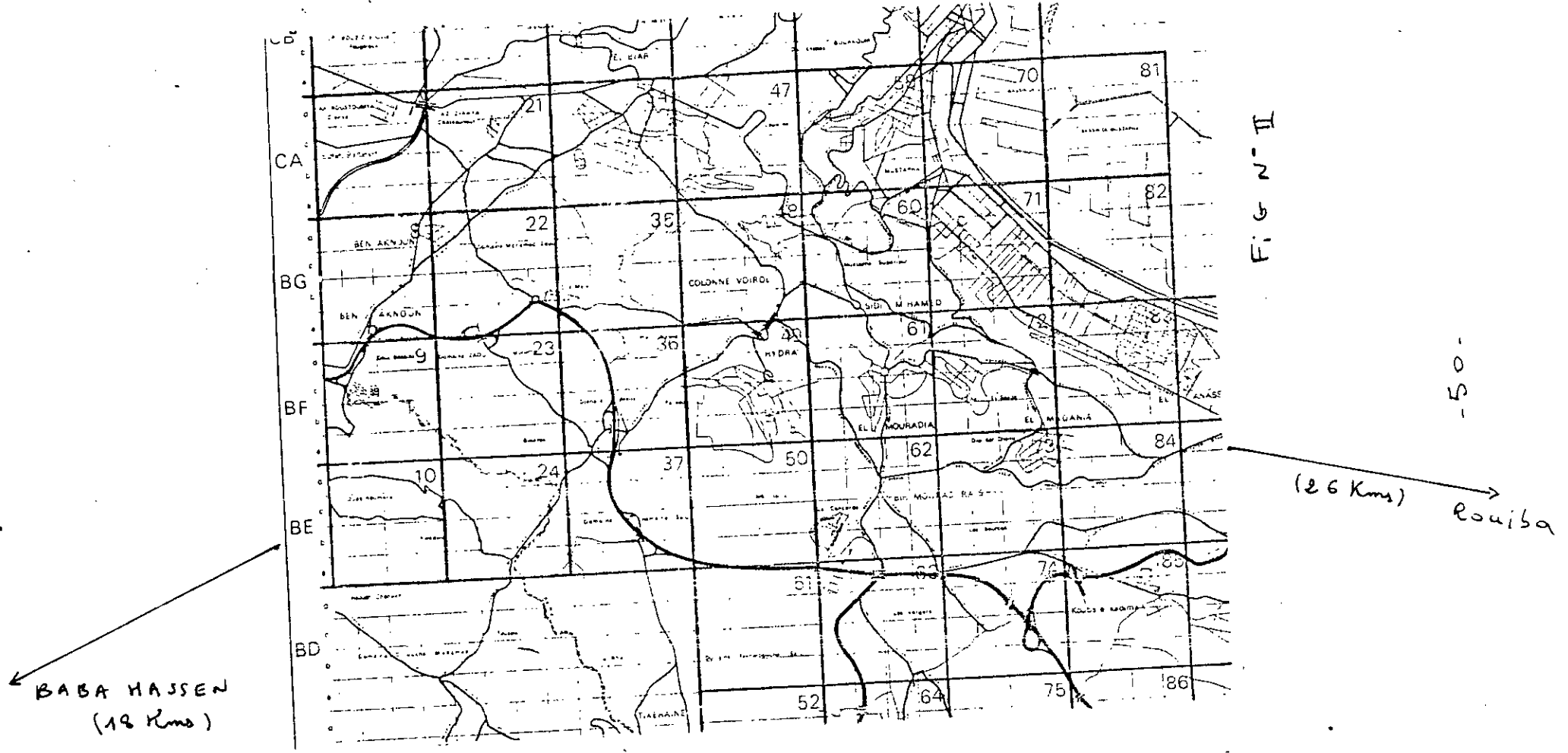


FIG N° II

-50-

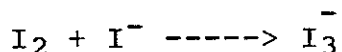
V/-2 DOSAGE DE L'OZONE

Deux méthodes de dosages sont utilisés actuellement :

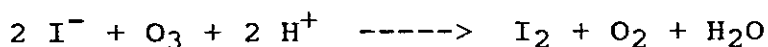
La méthode au (NBKI) - méthode manuelle -

Elle est recommandé par l'Inter Society Commitee sous le nom de " NBKI method " (Neutral Buffered -KI method) [24].

Cette méthode consiste a mesurer l'absorbance de l'ion I_3^- produit par réaction de l'iode I_2 sur l'ion I^- :



L'iode I_2 est obtenu par réaction de O_3 sur l'ion I^- en milieu faiblement acide :



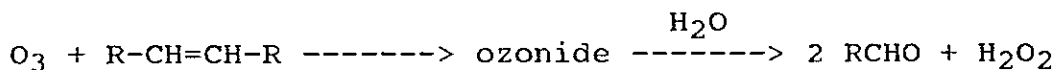
La concentration de l'ion I_3^- est déterminée par spectrophotométrie par mesure de son absorbance a $\lambda = 352 \text{ nm}$.

C'est la méthode utilisé dans la présente étude.

Les détails concernant la préparation des solutions et l'étalonnage sont donnés en annexe 1.

Méthode par chimiluminescence - méthode automatique -

Elle consiste a mesurer l'intensité du rayonnement chimiluminescent engendré par la réaction de l'ozone avec un composé éthylénique selon la réaction : [2, 25]



Les molécules formés prennent l'état excité est l'énergie est rapidement perdue par émission de photons , ces derniers sont captés et enregistrés sur un photomultiplicateur.

L'intensité chimiluminescente est directement proportionnelle à la concentration de l'ozone présente dans l'échantillon.

\/-3 MODE DE PRELEVEMENT

Le dispositif de prélèvement est représenté en figure N° III, il se compose de :

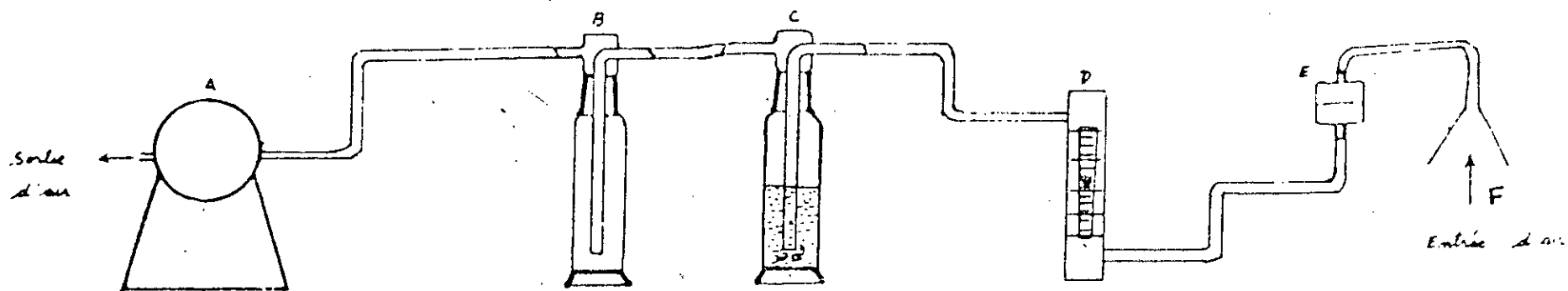
- Une pompe d'aspiration à débit réglable muni d'un filtre pour retenir les suies et poussières.
- Un débitmètre à air.
- Un flacon barboteur en verre borosilicaté.

Le barboteur est relié a la pompe au moyen d'un tube en verre. Les joints sont en PVC.

Comme pompe d'aspiration, on pourra utiliser un simple aérateur d'aquarium.

Le débit de la pompe doit être compris entre 0,5 et 3 l/mn avec une erreur de plus ou moins 2 % .

Pendant le prélèvement, le barboteur devra être protégé de la lumière, on utilisera pour cela du papier aluminium.



dispositif de prélèvement d'air

A pompe d'aspiration

b, c flacons barboteurs

D débitmètre

E porte filtre

f entonnoir

FIG N° III

OPERATIONS A EFFECTUER AU COURS DE TOUT PRELEVEMENT

- Mise en marche de la pompe.
- Introduction de 10 ml de la solution d'absorption dans le flacon barboteur a la ligne d'échantillonnage.
- Arrêt du prélèvement après la durée d'échantillonnage spécifié (1 h).
- transfert des échantillons au laboratoire pour analyse.

CHAPITRE VI

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1 ASPECTS GENERAUX DE L'ETUDE

L'étude entreprise dans ce mémoire a porté sur l'évaluation des niveaux d'ozone susceptibles d'être rencontrés à ALGER et sa banlieue. Pour cela trois sites de mesures ont été retenus:

- Un site urbain à EL MOURADIA

- Deux sites semi-urbains, l'un à BABA HASSEN à l'ouest d'alger et l'autre à ROUIBA à l'est d'alger.

Le site d'EL MOURADIA est représentatif des agglomérations situées en hauteur, qui pourraient être influencées par les émissions de l'intense trafic routier du centre ville d'alger. Ceux de BABA HASSEN et de ROUIBA sont représentatifs des zones semi-urbaines où la circulation automobile est moindre.

Le suivi horaire entrepris pour chaque site permet une bonne appréciation des variations diurnes des teneurs en ozone.

Aux sites de BABA HASSEN et de ROUIBA, l'évaluation des teneurs en ozones a fait l'objet d'un suivi sur une période de 10 jours.

Pour le site d'EL MOURADIA, le suivi a eu lieu sur 2 périodes, la première s'étalant du 18/04/94 au 15/05/94 et la seconde du 14/06/94 au 22/06/94. Ceci afin d'avoir un aperçu sur les niveaux d'ozone à l'approche de l'été.

En tous les sites le suivi diurne a porté sur les 24 heures de la journée.

\I.2 EVOLUTION DE L'OZONE EN MILIEU URBAIN

Nous illustrons en fig 15, 16 et 17 quelques exemples d'évolutions du cycle diurne de l'ozone tel que nous l'avons mesuré entre avril et juin 1994 au site urbain d'EL MOURADIA. L'ensemble des cycles mesurés seront donnés en annexe N° .

L'exploitation des résultats montre que la teneur en ozone croit dès le lever du soleil, atteint un niveau maximal en début d'après-midi, puis décroît lentement jusqu'à des niveaux minimums pendant la nuit.

Dans certains cas on observe que l'ozone qui commence à se former tôt le matin passe par un minimum entre 7 et 8h du matin .Ce minimum correspond à la consommation de l'ozone par le monoxyde d'azote par la réaction de titration:



Ce monoxyde d'azote provient de l'intense trafic routier qui a lieu en ville (heure de pointe entre 7 et 8h).

Le même phénomène de consommation d'^{d'O₃}oxygène est aussi souvent observé en fin d'après-midi entre 17 et 19h.

Ozone (ppb)

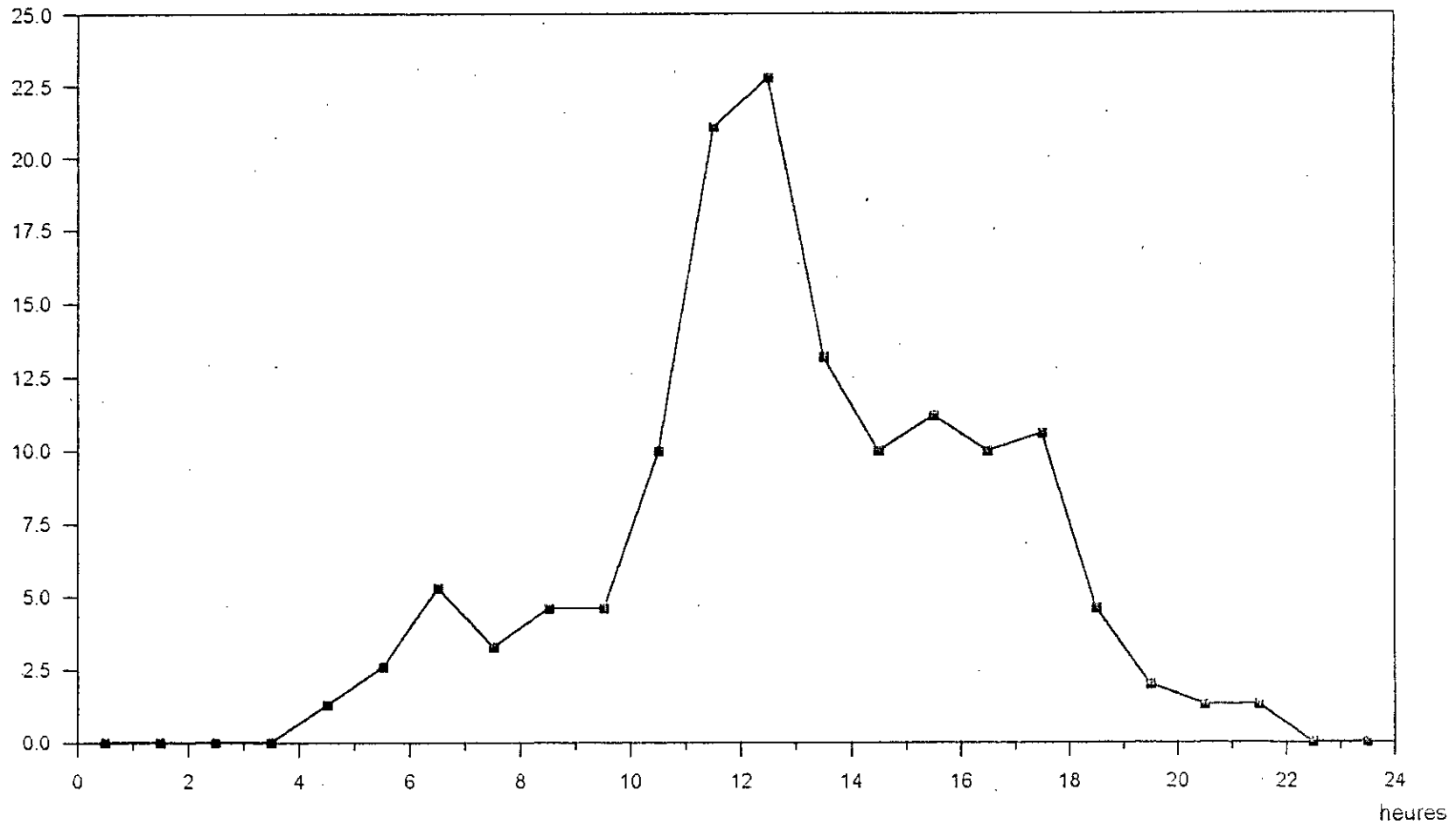


FIG N° 15 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 21/04/94
Site de prélèvement - ELMOURADIA -

Ozone (ppb)

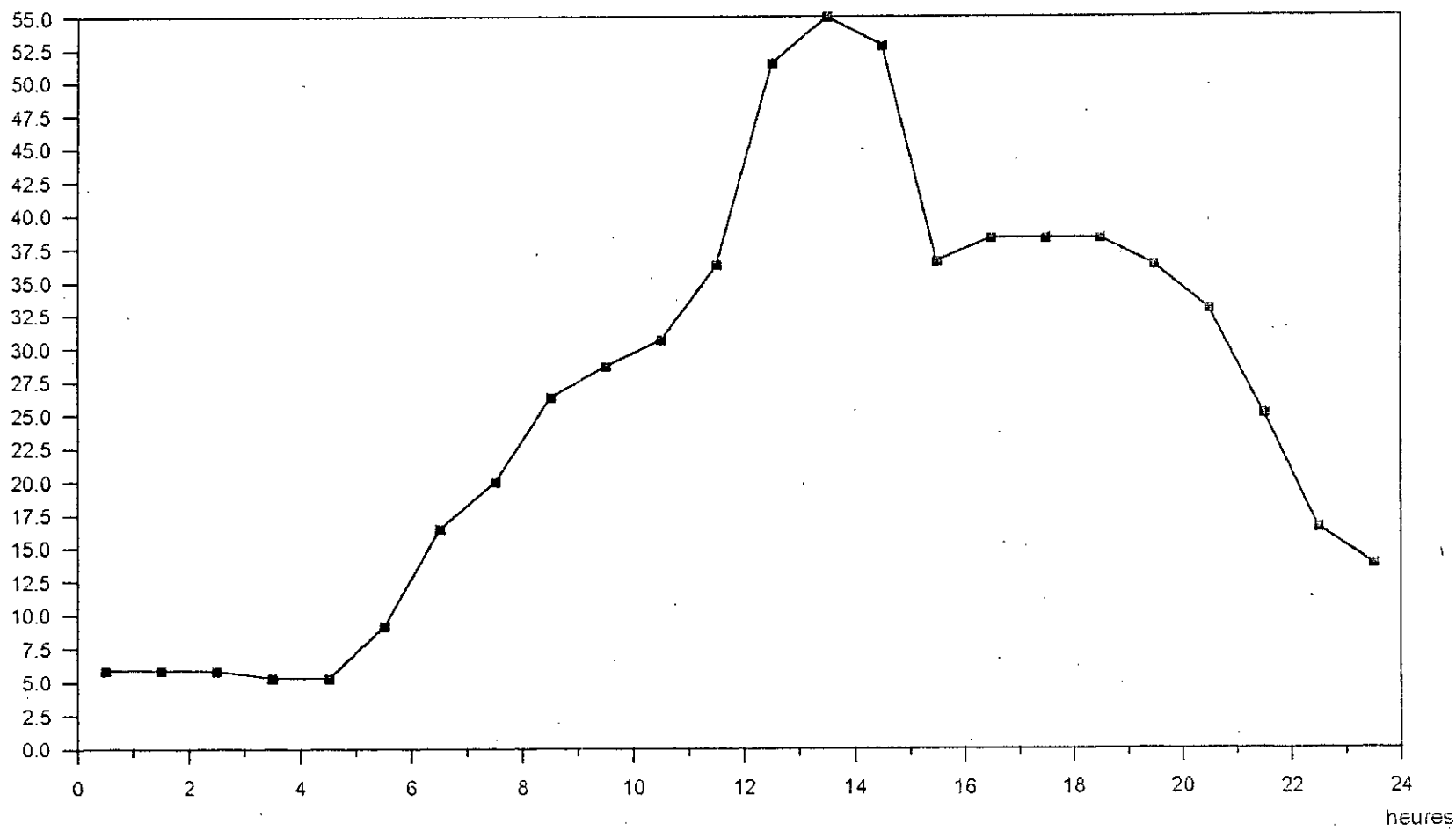


FIG N° 16 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 16/06/94
Site de prélèvement - ELMOURADIA -

- 57 -

Ozone (ppb)

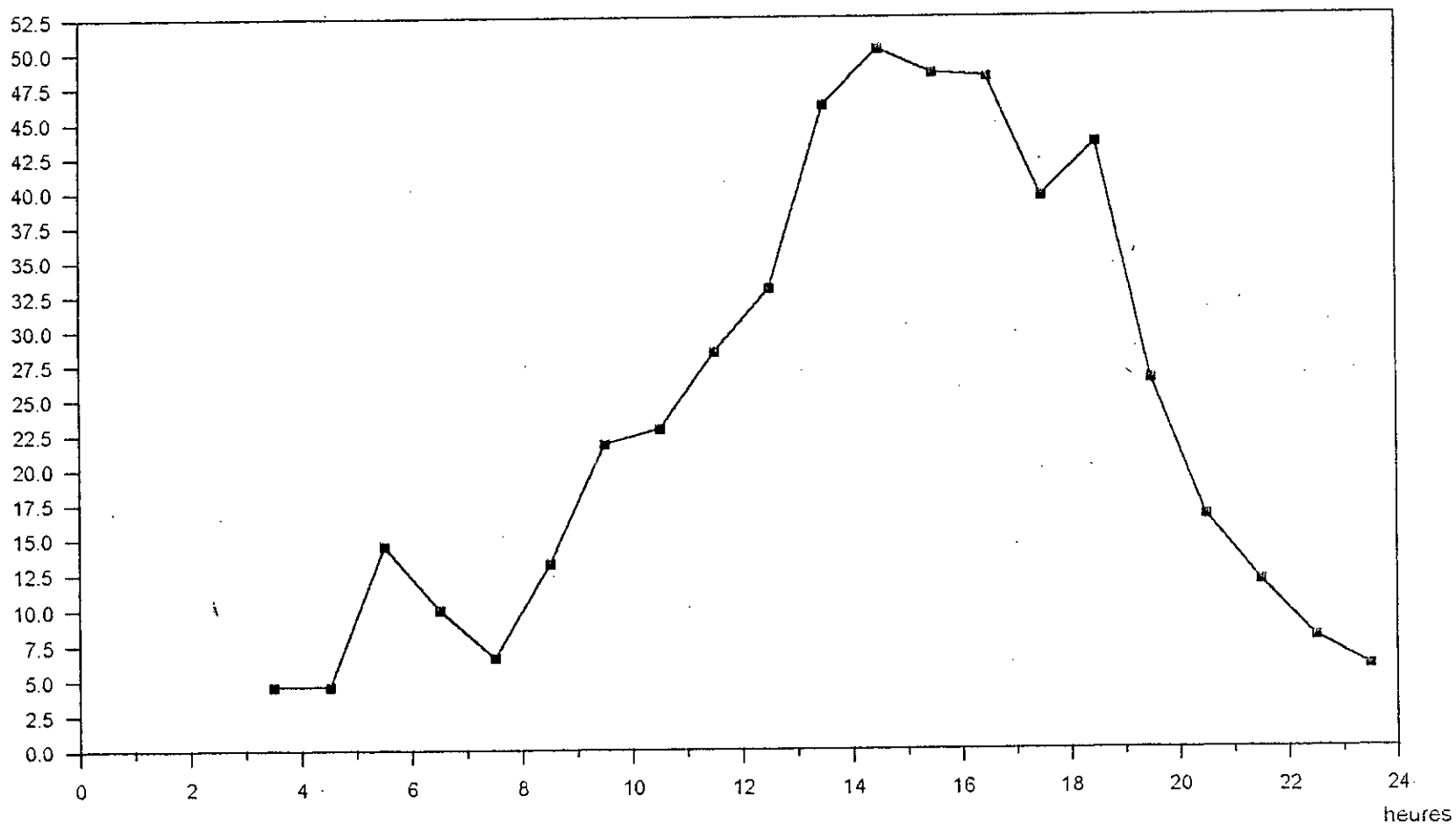


FIG N° 17 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 21/06/94
Site de prélèvement - ELMOURADIA -

Chaque fois que les conditions météorologiques, en particulier le vent, étaient favorables à un apport de NO à partir d'agglomérations voisines, on observe des réductions des teneurs d'ozone et ce même en début d'après-midi. L'allure des courbes est ainsi influencée par la direction du vent et l'irradiation solaire.

Pour avoir une idée sur l'évolution moyenne de l'ozone et l'influence de la période de prélèvement, nous illustrons en figure N° 48 le cycle journalier moyen de l'ozone pour les deux périodes suivies, on remarque que qualitativement l'allure globale des deux cycles est identique.

Les teneurs par contre varient selon la saison, c'est ainsi que le maximum moyen observé au mois de juin est plus élevé que celui de la période AVRIL-MAI.

Ce résultat traduit parfaitement l'influence de l'irradiation solaire et de la température sur la production d'ozone. Cette dernière s'intensifie à l'approche de l'été.

Le profil moyen ainsi enregistré à EL MOURADIA est typique pour un milieu urbain faiblement influencé par les sources de précurseurs d'ozone.

Le jour, la hauteur de la couche de mélange évolue, elle est maximale en milieu de journée, il y'a alors transfert d'ozone à partir de la troposphère libre vers le sol et en même temps production d'ozone selon l'équilibre photostationnaire. La nuit avec la formation de la couche d'inversion, l'ozone de l'après-midi est confiné au niveau du sol ou il subit une destruction par divers mécanismes, entre autre par réaction avec le NO injecté par le trafic routier en fin d'après-midi.

Ozone (ppb)

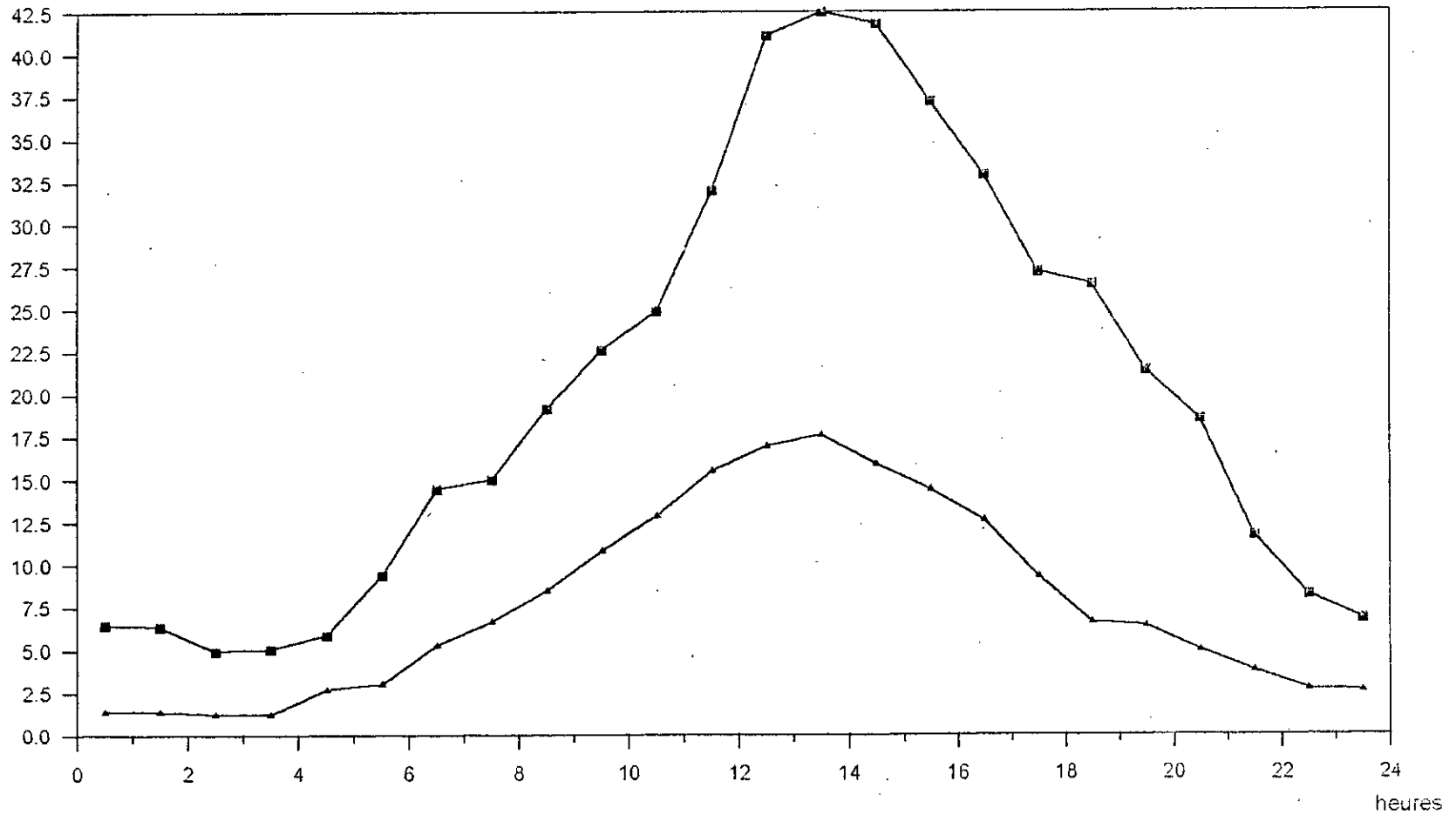


FIG N° 18

▲▲▲ Cycle journalier moyen de l'ozone: période du 18/04/94 au 15/05/94
■ ■ ■ Cycle journalier moyen de l'ozone: période du 14/06/94 au 22/06/94
Site de prélèvement - ELMOURADIA -

Il est à signaler cependant qu'un tel profil dépend des conditions atmosphériques qui peuvent le modifier fortement.

Un exemple typique d'une telle modification est donné par le cycle du 5 MAI 1994 que nous illustrons en figure N°19 .

Durant cette journée , le ciel était dégagé jusqu'aux environs de 11h , puis peu à peu il s'est formé une couverture nuageuse qui a recouvert entièrement le ciel et ce, aux environs de 13h.

Cette couverture nuageuse se maintena jusqu'aux environs de 15h où un vent violent dispersa rapidement les nuages. Cette situation s'est répercuté sur le cycle de l'ozone, en ce sens qu'à midi la teneur en O_3 a chuté fortement et rapidement et est resté faible pendant toute l'après-midi.

Ainsi l'irradiation solaire qui a considérablement diminué en début d'après-midi n'a pas été en mesure de maintenir ou générer une production suffisante d'ozone.

Cet exemple aide à comprendre les variations de certains cycles journaliers . En effet la formation et la dissipation des nuages entraînent des variations du flux énergétique reçu dans la basse troposphère modulant ainsi la production d'ozone.

Ozone (ppb)

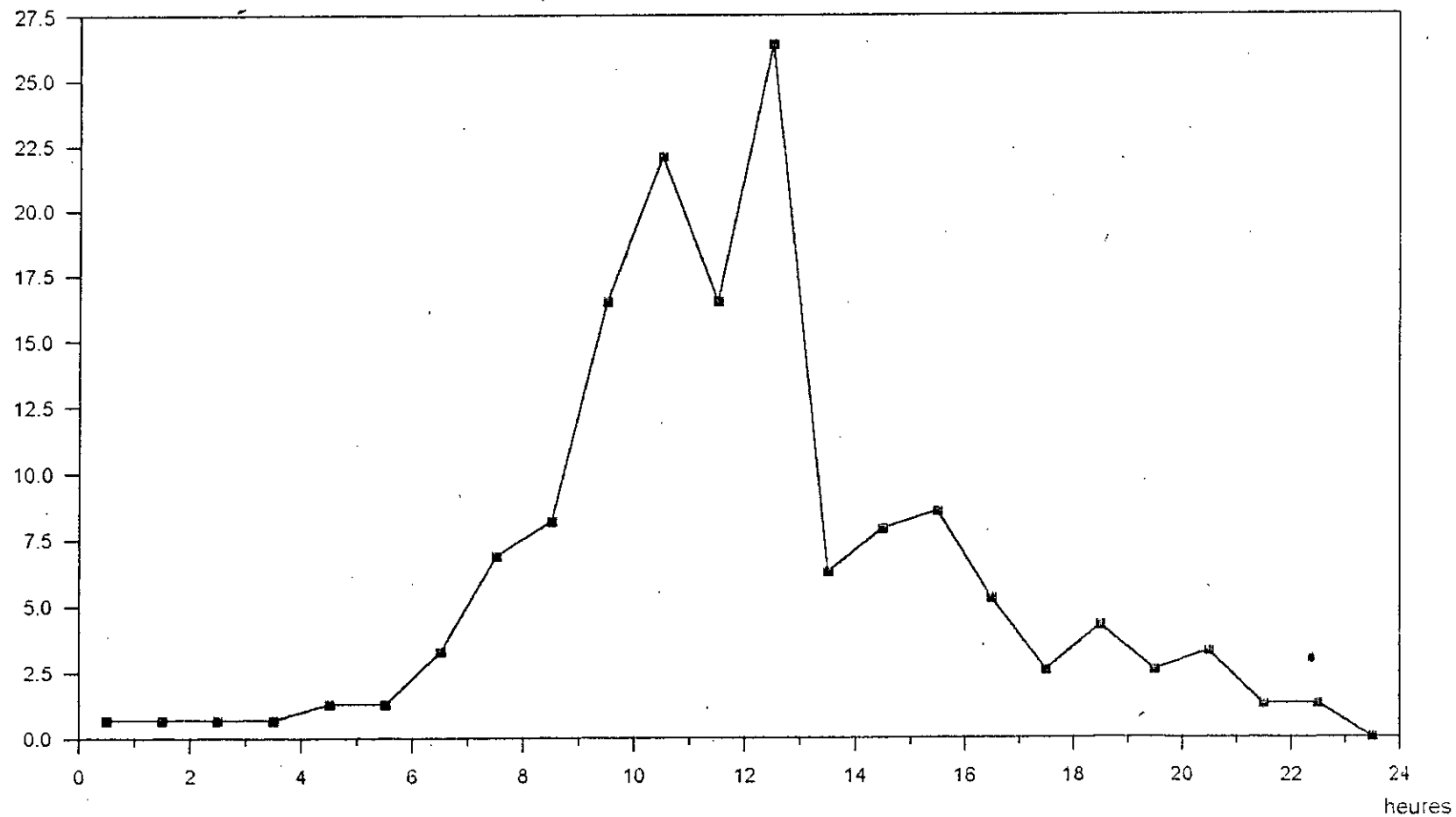


FIG N° 19 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 05/05/94
Site de prélèvement - ELMOURADIA -

V/I.3 EVALUATION DE L'OZONE EN MILIEU SEMI-URBAIN

Comme pour le site d'EL MOURADIA ,les sites de BABA HASSEN et de ROUIBA ont fait l'objet d'un suivi horaire sur plusieurs journées.

Comme exemple d'évolution diurne, nous présentons en figure N° 20 l'évolution de l'ozone telle qu'elle a été enregistré sur 48 heures consécutives (16-17 MAI 1994) au site de BABA HASSEN.

On remarque que globalement, l'évolution de l'ozone suit un profil en forme de cloche .Sa teneur croit au petit matin ,atteint son maximum en début d'après-midi puis diminue et atteint un minimum peu après 22 heures. Le même cycle se répète le lendemain.

L'absence de fluctuations concorde avec le fait que le site de prélèvement est situé dans une agglomération où l'influence du trafic routier est faible.

Les espèces photochimiques sont en équilibre photostationnaire et les fluctuations qu'auraient pu entraîner des apports de NO par réaction avec l'ozone ne sont pas significatives .De plus et vu les faibles niveaux atteints (les teneurs max restent inférieurs à 40 ppb), on peut supposer qu'il n'y a pas eu transport de quantités supplémentaires d'ozone susceptibles d'avoir été formées dans le panache urbain d'ALGER.

Ozone (ppb)

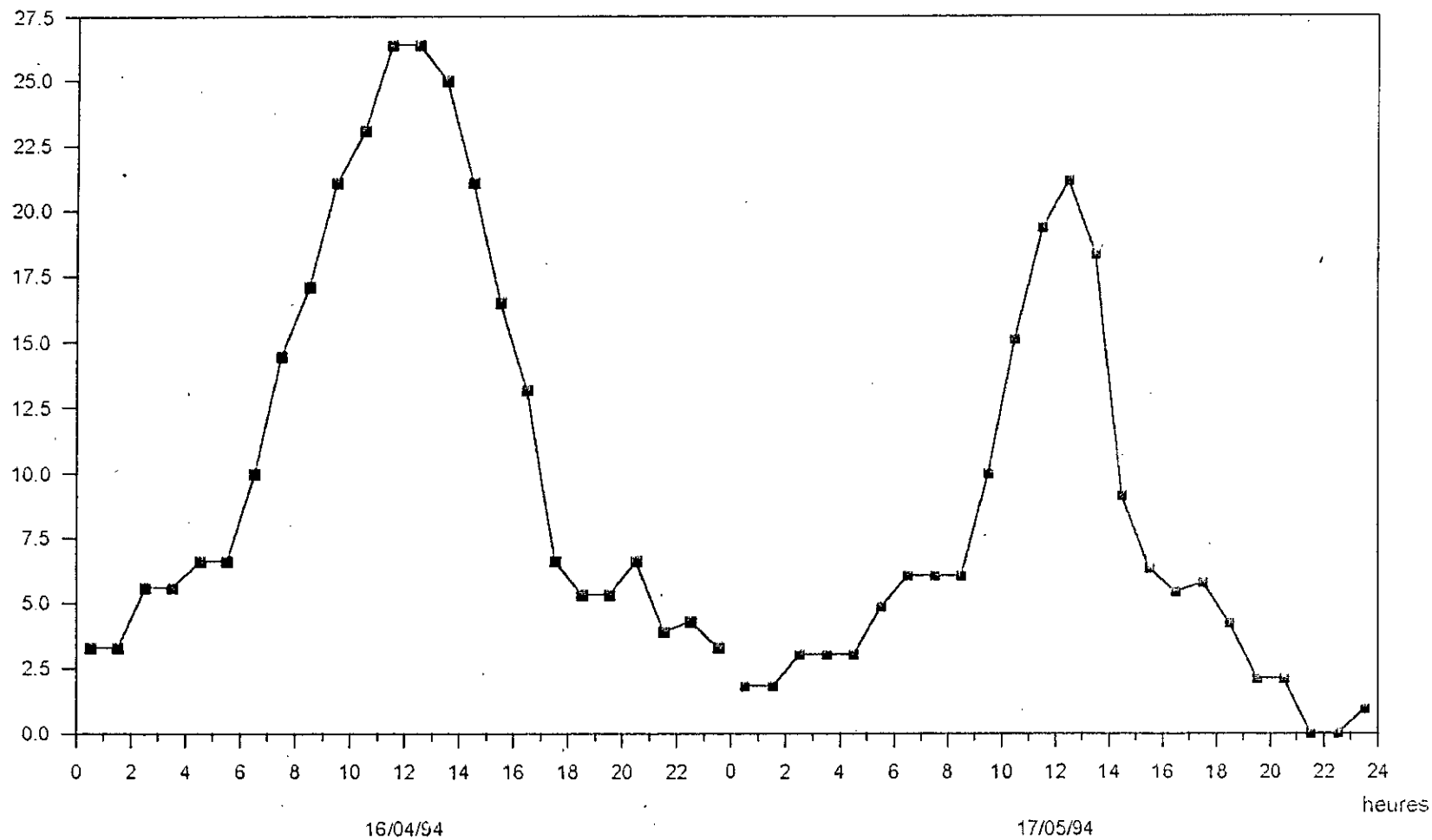


FIG N° 20 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement: - BABA HASSEN -

Aussi, l'heure tardive à laquelle apparait le minimum d'ozone montre bien que nous sommes en présence de l'ozone naturel, la quantité de monoxyde d'azote étant insuffisante à réduire sa concentration . Ainsi , l'ozone ne sera pas totalement détruit pendant la nuit .La diminution nocturne se fait par réaction au sol lorsque l'effet de l'inversion nocturne est maximal.

Pour mieux caractériser l'évolution de la concentration de l'ozone , nous illustrons en figure N°24 son cycle journalier moyen.

La forme en cloche presque parfaite avec des teneurs nocturnes assez appréciables est d'après toupance[] caractéristique d'un milieu naturel situé en plaine par vent faible.

Ne disposant pas de données météorologiques sur ce site, nous avons essayé d'exploiter les données recueillies à la station de météorologie de DAR EL BEIDA . Il s'avère que durant la période considérée , le vent était de direction nord à nord-est .

Si ces observations étaient applicables au site de BABA HASSEN , elles nous perméteraient d'avancer l'hypothèse selon laquelle, les masses d'air , provenant des agglomérations se situant au nord et au nord-ouest de BABA BASSEN , sont quasiment exemptes d'ozone anthropogénique qui aurait pu être formé durant leur avancée.

En effet , la circulation automobile dans ces agglomérations n'est pas assez conséquente pour générer de grandes proportions de précurseurs de l'ozone , les COV et les NOx . Ces derniers , émis en petites quantités seraient vite dispersés dans l'atmosphère.

Ozone (ppb)

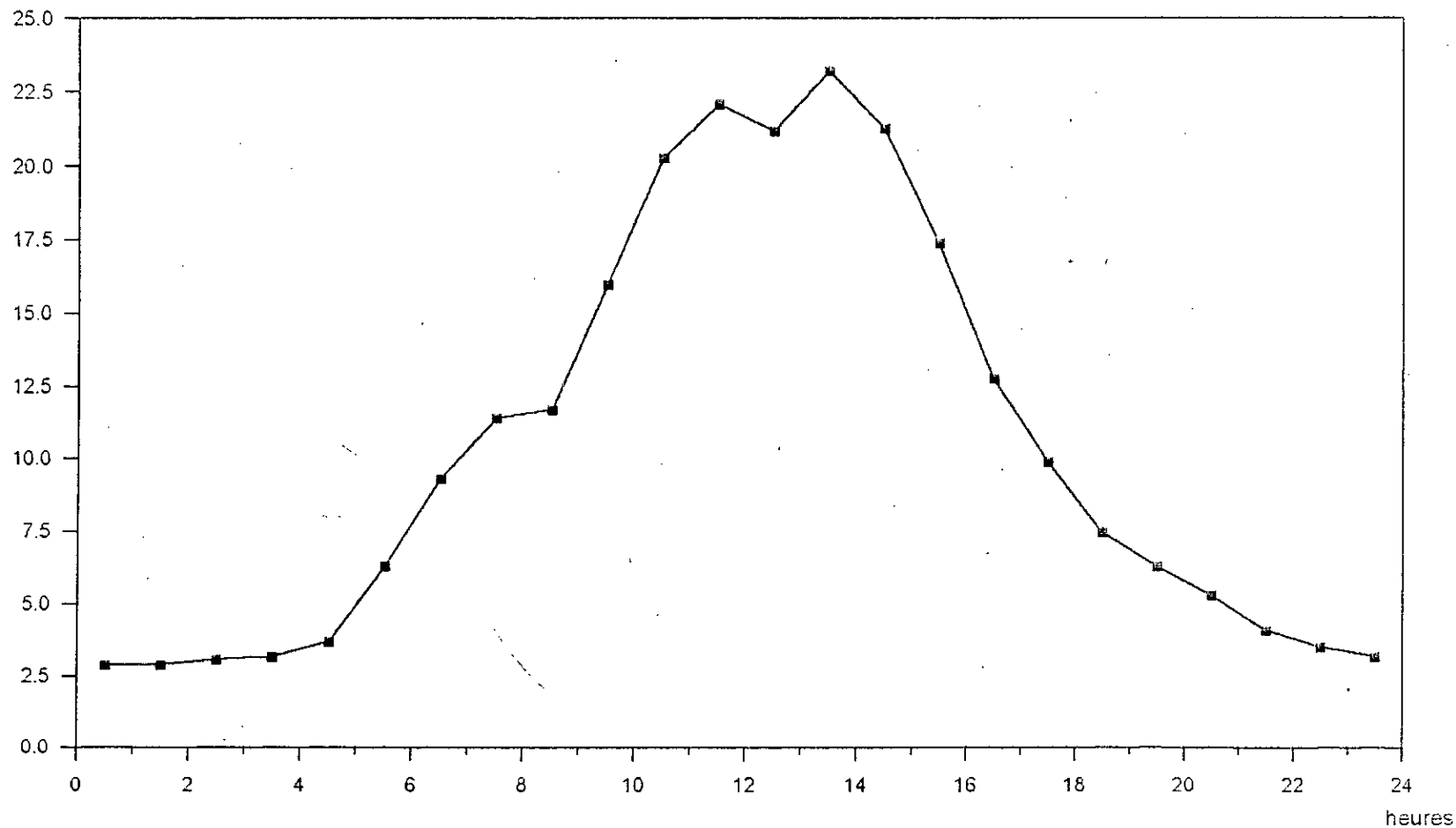


FIG N° 21 : Cycle journalier moyen de l'ozone
Site de prélèvement - BABA HASSEN -
Période: du 16/05/94 au 31/05/94

- 66 -

Bien entendu , il serait érroné de généraliser ces considérations à d'autres périodes autres que celle ayant fait l'objet d'un suivi et il est possible qu'un vent de direction est à nord-est transportant les polluants depuis le centre d'ALGER aurait eu des conséquences totalement différentes.

Concernant le site de ROUIBA et bien qu'il soit considéré comme site semi-urbain ,on observe que l'ozone suit une évolution qui est assez similaire à celle relevée au site urbain d'EL MOURADIA.

En effet comme le montrent les exemples données en figure N° 20 et 23, on observe que l'ozone amorce sa croissance tôt le matin puis ses teneurs diminuent vers 8h pour reprendre ensuite l'évolution croissante.

Comme le site n'est pas exposé directement au trafic routier, on peut supposer qu'il y a eu apport de NO depuis les communes voisines ,voir même d'alger. Souvent, le minimum observé en matinée est décalé dans le temps par rapport aux heures de pointes du trafic routier.

Ce décalage dans le temps peut probablement s'expliquer par le fait que l'air chargé de NO a été transporté sous l'action du vent à partir de zones situées plus ou moins loin du site de mesure.

Comme pour les deux sites précédents ,le maximum est atteint en début d'après-midi.

Ozone (ppb)

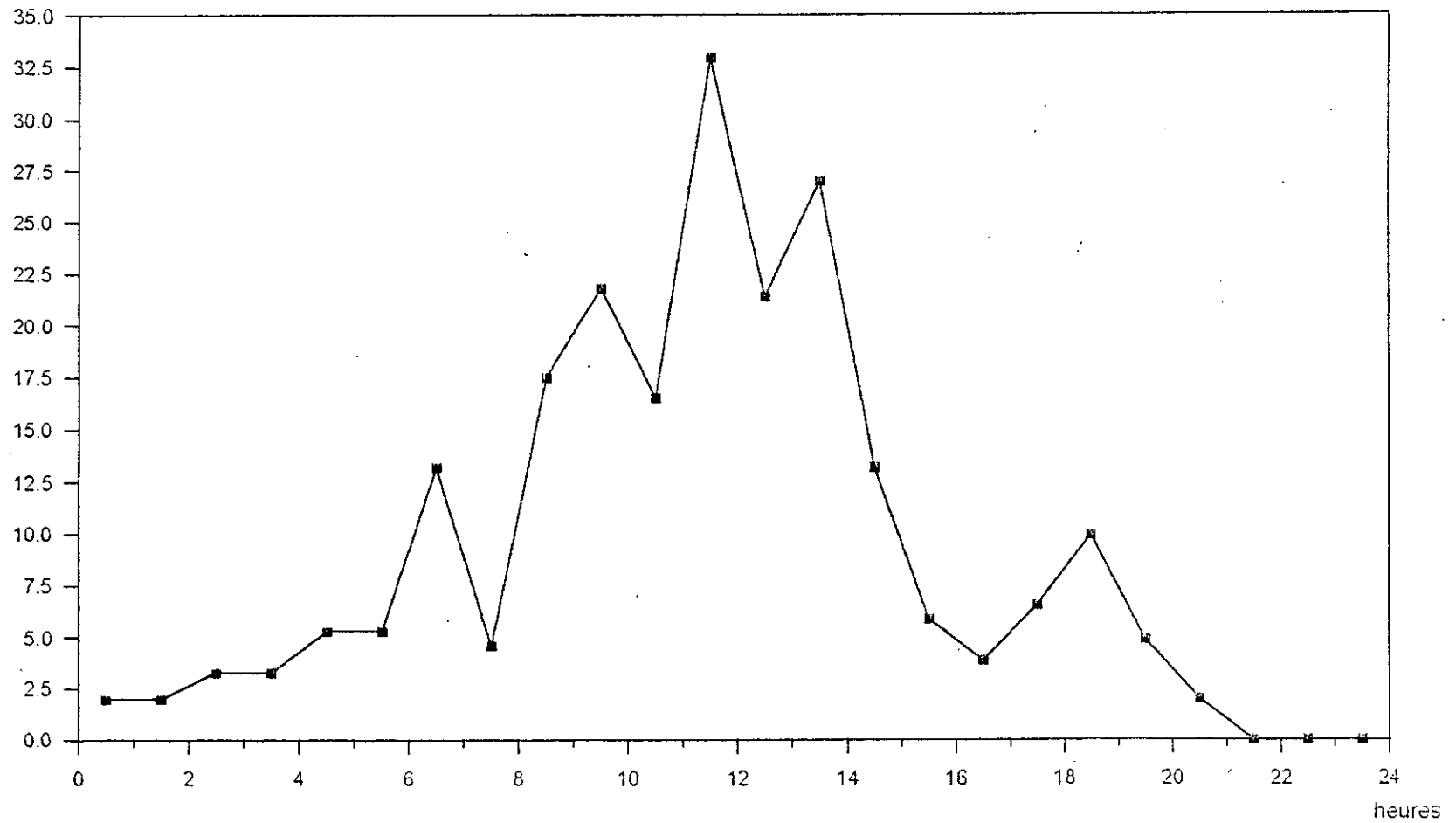


FIG N° 22 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 06/06/94
Site de prélèvement - ROUIBA -

Ozone (ppb)

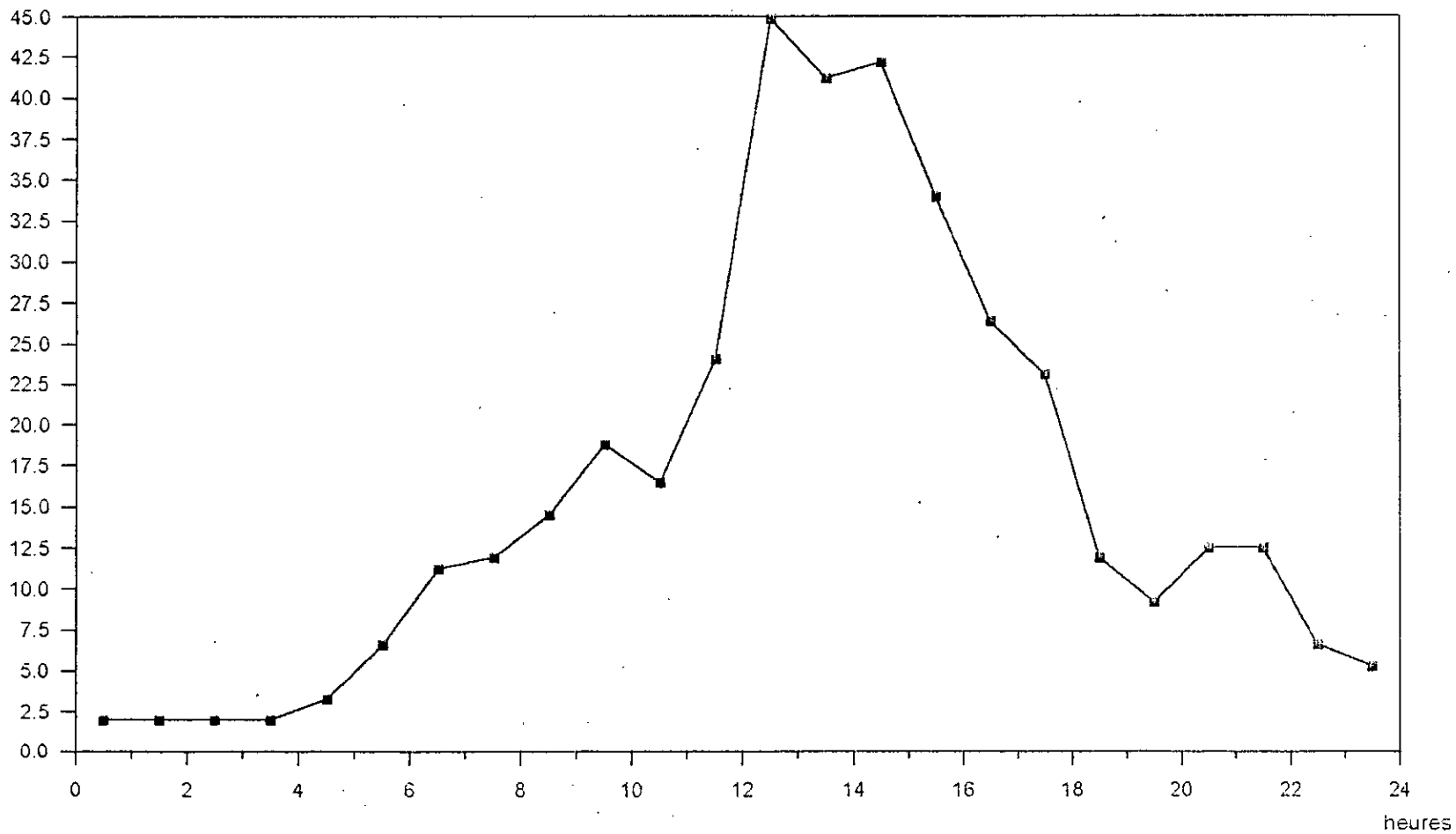


FIG N° 23 : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Le 08/06/94
Site de prélèvement - ROUIBA -

En ce début du mois de juin les teneurs maximales sont relativement faibles, surtout que les études, entreprises dans le but d'évaluer les niveaux de pollution à ALGER, ont montré que l'est d'Alger était le plus exposé à la pollution photoxydante [26].

A partir de la figure N° 24 qui illustre le cycle journalier moyen de cette campagne de mesure ,on note que la teneur horaire maximale moyenne reste inférieure à 40 ppb.

Une telle teneur correspond au niveau de fond de l'ozone naturel. Il n'y a alors ni production photochimique locale ni transport d'ozone à partir du centre ville d'ALGER.

Ozone (ppb)

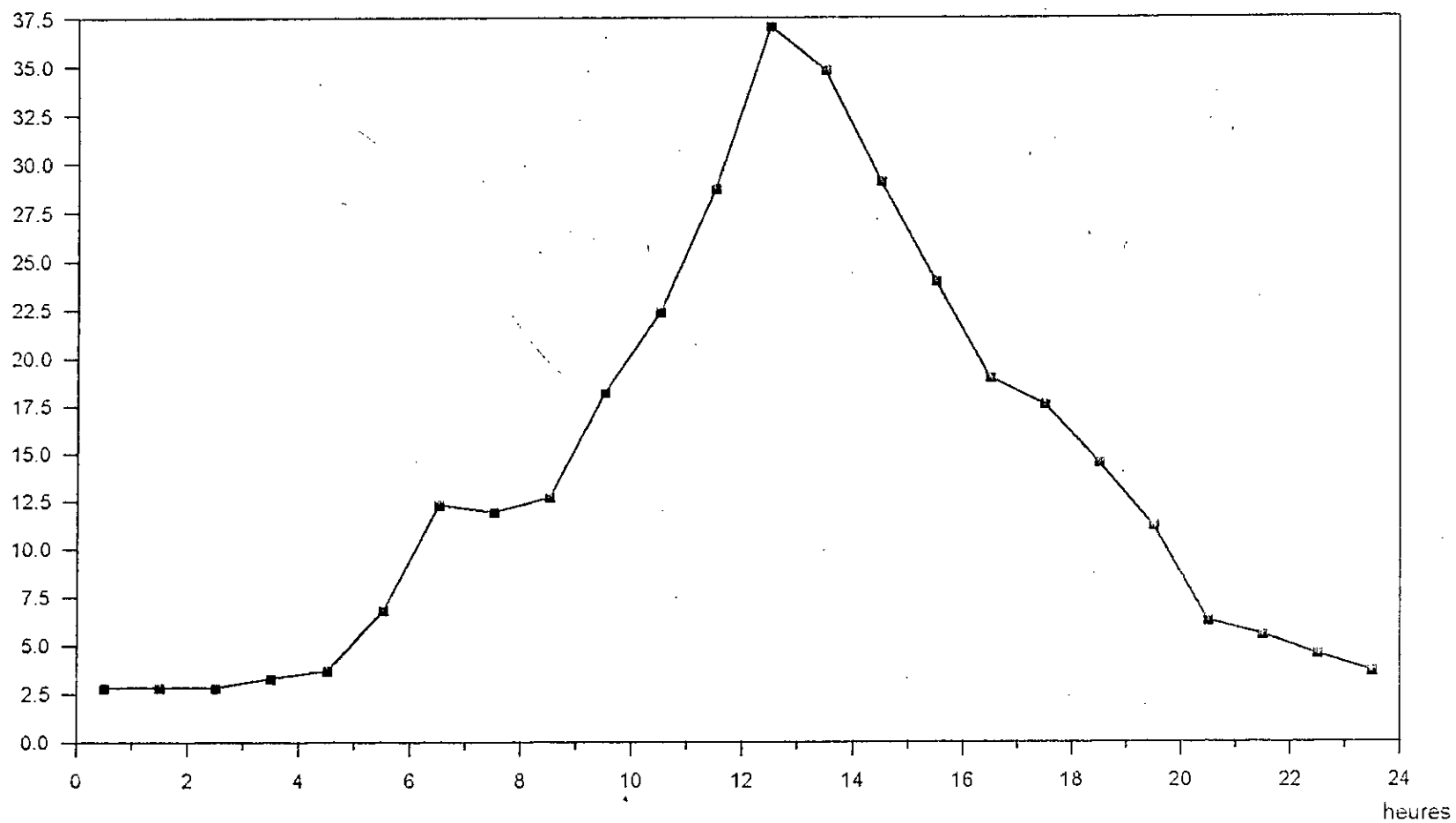


FIG N° 24 : Cycle journalier moyen de l'ozone
Site de prélèvement - ROUIBA -
Période: du 02/06/94 au 12/06/94

\I-4 NIVEAU D'EXPOSITION A L'OZONE

Afin d'avoir un meilleur aperçu sur la situation d'Alger vis à vis de la pollution photoxydante, nous effectuerons dans ce qui suit des comparaisons entre les niveaux d'ozone enregistrés sur les trois sites de mesure avec les normes établies par l'OMS.

Les valeurs maximales recommandées par cet organisme sont de l'ordre de 75 à 100 ppb sur une durée d'exposition d'une heure et de 50 à 60 ppb sur une durée d'exposition de 8 heures.

Les teneurs horaires maximales ainsi que les teneurs moyennes enregistrées sur 8 heures (de 9h à 17h) à EL MOURADIA, BABA HASSEN et ROUIBA sont respectivement reportées aux tableaux N°7,8 et 9.

Il en ressort qu'à aucun moment, les normes précédemment données n'ont été dépassées. Les valeurs enregistrées sont si faible que le seuil de 60 ppb n'a été dépassé que 2 fois et sur une moyenne d'une heure. C'est à dire, un huitième de la durée d'exposition pour laquelle l'effet nuisible de l'ozone se manifeste.

Comparativement à certaines grandes villes très polluées (LOS ANGELES, RIO, BARCELONE, ATHENES, ABIDJAN, NEW YORK) ou la formation photochimique, essentiellement à partir des NOx et des hydrocarbures, peut prendre une très grande importance et ou des teneurs de plusieurs centaines de ppb sont souvent observées (conditions anticycloniques) [15], Alger ne semble pas faire l'objet d'une excessive pollution photoxydante, du moins pour la période étudiée.

JOUR	TENEUR HORAIRE MAX DE O ₃ (ppb).	TENEUR MOYENNE DE O ₃ SUR 8H (9H-17H) (ppb)
18-04-94	20,8	14,6
19-04-94	23,0	17,2
21-04-94	22,8	12,8
22-04-94	15,8	8,8
24-04-94	30,0	14,8
25-04-94	20,0	9,4
27-04-94	15,0	12,8
29-04-94	10,0	6,7
01-05-94	32,0	21,7
03-05-94	20,0	14,7
05-05-94	26,4	13,7
06-05-94	28,4	20,4
08-05-94	31,0	19,6
09-05-94	34,3	28,6
10-05-94	18,1	13,7
11-05-94	18,8	6,0
12-05-94	25,7	18,1
13-05-94	23,7	18,5
14-05-94	40,9	13,6
15-05-94	36,9	13,4
14-06-94	40,9	32,6
15-06-94	36,9	25,0
16-06-94	55,0	41,2
19-06-94	28,4	22,3
20-06-94	43,0	33,0
21-06-94	50,2	37,5
22-06-94	65,3	45,9

Tableau N° 7 : Site de prélèvement -EL MOURADIA-

JOUR	Teneur horaire max de O ₃ en ppb	Teneur moyenne de O ₃ sur 8 h [9h-17h] en ppb.
16-05-94	26,4	21,6
17-05-94	23,1	14,3
18-05-94	13,2	9,1
25-05-94	33,0	16,3
26-05-94	36,3	28,5
27-05-94	30,0	24,6
28-05-94	24,4	16,8
29-05-94	18,5	14,3
30-05-94	23,1	16,1
31-05-94	43,0	31,3

Tableau N° 8 : Site de prélèvement - BABA HASSEN -

JOUR	Teneur Horaire max de O3 (ppb)	Teneur moyenne de O3 sur 8h [9h-17h] (ppb)
02-06-94	40,9	27,4
03-06-94	40	29
04-06-94	33,6	21,7
05-06-94	50	31,5
06-06-94	33	17,8
07-06-94	35	20,5
08-06-94	44,9	31,0
10-06-94	38,9	31,1
11-06-94	50,8	26,3
12-06-94	38,3	30,2

Tableau N° 9 : Site de prélèvement - ROUIBA -

Néanmoins et à titre de prévention, il serait utile d'établir des programmes de surveillance de la pollution atmosphérique .Rappelons que le peu de données dont nous disposons actuellement ne nous permet pas d'avoir une analyse objective de la situation d'ALGER dans le cadre de la pollution de l'air.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude entreprise a porté sur l'évaluation des niveaux d'ozone et leur évolution journalière en trois sites implantés à ALGER-VILLE et sa banlieue ouest et est.

Il apparaît au terme de cette étude que durant la période de prélèvement en saison printanière, la ville d'ALGER et sa banlieue n'a pas connu d'épisode de smog photochimique.

Les niveaux maximum d'ozone mesurés en cette période sont en général inférieurs à 50 ppb et restent par la même, du même ordre de grandeur que les teneurs naturels. Relativement aux recommandations de l'OMS, on n'enregistre aucun dépassement des normes établi.

Au niveau du site urbain d'EL MOURADIA, il est fort possible que le monoxyde d'azote issu de l'intense trafic routier du centre ville ait affecté les niveaux d'ozone. En ce même site, l'influence de l'irradiation solaire a pu être mise en évidence, en ce sens qu'à l'approche de l'été, celle-ci augmentant, elle intensifie fortement la production d'ozone par l'accélération des divers processus photochimiques.

Aux sites semi-urbain de BABA HASSEN (banlieue ouest) et de ROUIBA (banlieue est), les profils des cycles journaliers de l'ozone différent légèrement de ceux du site urbain d'EL MOURADIA. Cette différence est due au fait que ces sites sont moins exposés aux émissions de NO issus du trafic routier.

Les faibles niveaux d'ozone observés en ces deux sites montrent que durant la période étudié, il n'y a pas eu apport d'ozone anthropique. En effet, même si des masses d'air qui balayant le centre-ville s'étaient chargées de précurseurs et s'étaient orientées vers l'est ou l'ouest d'ALGER, il semble que les autres facteurs météorologiques tel que la faible irradiation solaire due aux fréquentes couvertures nuageuses ont été défavorables à une intense production photochimique.

Il est donc indispensable d'axer les études futures sur un suivi régulier des niveaux d'ozone en particulier en période estivale ou les teneurs en ozone peuvent atteindre des niveaux extrêmes.

Dans ce contexte, le choix des postes de prélèvement devra être fait de manière judicieuse, l'ozone étant un polluant que l'on rencontre généralement en dehors des cités fortement urbanisées en raison de sa réaction avec le NO émis par le trafic routier.

ANNEXE 1

1- Préparation des solutions

1-1 Solution d'absorption

- Préparation

* Dissoudre successivement 13,6 g de KH_2PO_4 , 14,2 g de Na_2HPO_4 et 10 g de KI dans un litre d'eau distillée.

* Vérifier le ph et l'ajuster si nécessaire à 6,8 + 0,2 avec de la soude (NaOH) ou KH_2PO_4 .

* Conserver la solution dans une bouteille brune à l'abri de la lumière et à la température ambiante . Cette solution reste ainsi stable pendant plusieurs mois.

1-2 Solution de calibration

- Préparation

La préparation de la solution de calibration se fait en 3 étapes :

$M \pm_2$

1-2-1 Préparation d'une solution mère 0,025 MI_2 (0,05 NI_2)

* Dissoudre successivement 16 g de KI et 3,173 g de I_2 résublimé dans 500 ml d'eau distillée.

* Conserver cette solution à température ambiante un jour au moins avant utilisation.

* Vérifier sa normalité avec $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0,025 MI)

1-2-2 Préparation d'une solution 0,001 MI_2

* Pipeter 4 ml de la solution mère et verser dans une fiole jaugée de 100 ml puis compléter jusqu'au trait avec la solution d'absorption .

* Conserver la solution à l'abri de la lumière.

1-2-3 préparation de la solution de calibration

* Pipeter 4,09 ml de la solution 0,001 MI_2 et verser dans une fiole de 100 ml .

* Completer jusqu'au trait avec la solution d'absorption juste avant utilisation.

1 ml de la solution ainsi obtenue est équivalente à $1\mu l$ de O_3 (conditions standard de pression et de température).

2-Etalonnage

pour obtenir un rang de concentration:

* Verser des quantités croissantes de la solution de calibration de 1 à 10 ml dans une serie de fioles jaugees puis completer jusqu'aux traits avec la solution d'absorption .

* Attendre 30 minutes et mesurer l'absorption de chaque etalon.

3-Expression des résultats

Les absorbances des solutions étalons sont portées sur le tableau N°. La courbe d'étalonnage est représentée en figure N°, elle donne l'absorbance en fonction de la quantité de μl d'ozone par 10 ml de solution.

La concentration d'ozone exprimée en $\mu l/l$ ou ppm (parties par million) est donnée par la relation suivante:

$$[\text{O}_3] \text{ ppm} = \frac{\text{Quantité de } \mu\text{l de O}_3 \text{ par 10 ml}}{\text{Volume d'air échantillonné}}$$

$$[\text{O}_3] \text{ ppm} = \frac{\mu\text{l O}_3 / 10 \text{ ml}}{V} \quad (1)$$

Où V représente le volume d'air échantillonné ramené au conditions normales de température et de pression.

La quantité de $\mu\text{l O}_3 / 10 \text{ ml}$ est calculée à partir de la courbe d'étalonnage:

$$\mu\text{l O}_3 / 10 \text{ ml} = \frac{D_o}{K} \quad (2)$$

K : pente de la courbe d'étalonnage.

D_o:absorbance (densité optique).

à partir des équations (1) et (2) on obtient:

$$[\text{O}_3] \text{ ppm} = \frac{D_o}{K V}$$

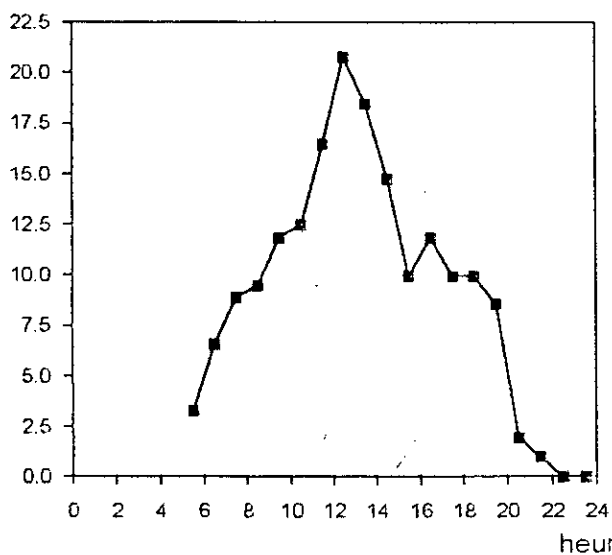
la [] de l'O₃ peut être donnée en $\mu\text{g/l}$

$$[\text{O}_3] \mu\text{g/l} = \frac{[\text{O}_3] \text{ ppm} \cdot \text{Masse molaire de O}_3}{\text{Volume molaire de O}_3}$$

$$= [\text{O}_3] \text{ ppm} \cdot 1,962$$

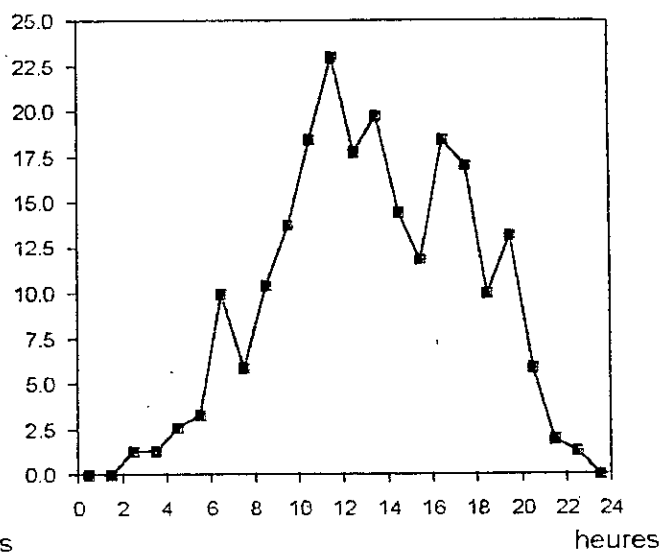
ANNEXE 2

Ozone (ppb)



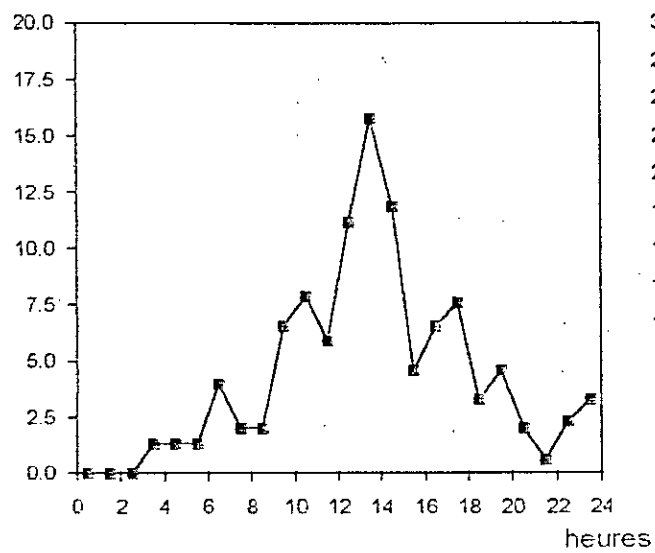
18/04/94

Ozone (ppb)



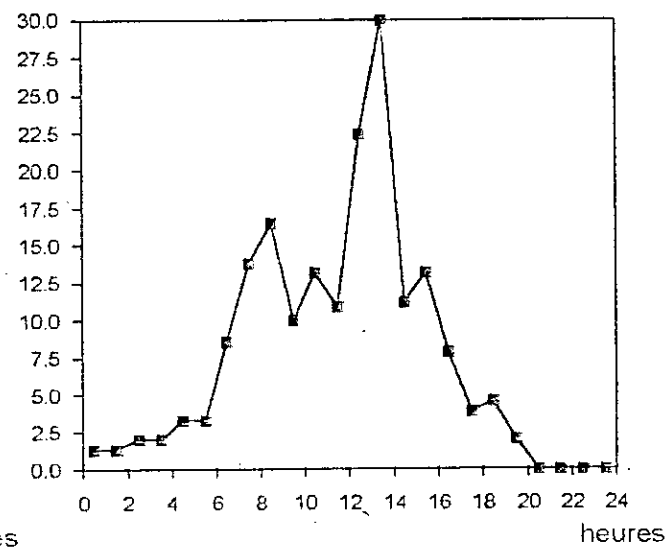
19/04/94

Ozone (ppb)



22/04/94

Ozone (ppb)



24/04/94

FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -

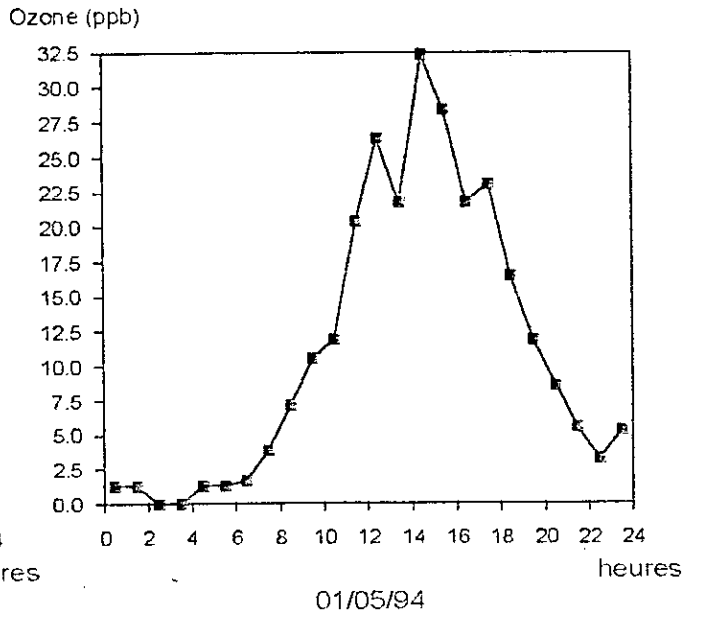
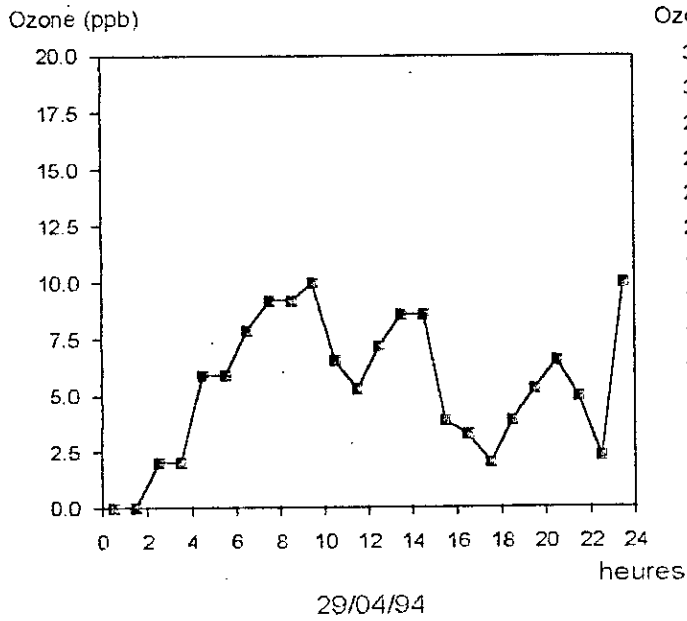
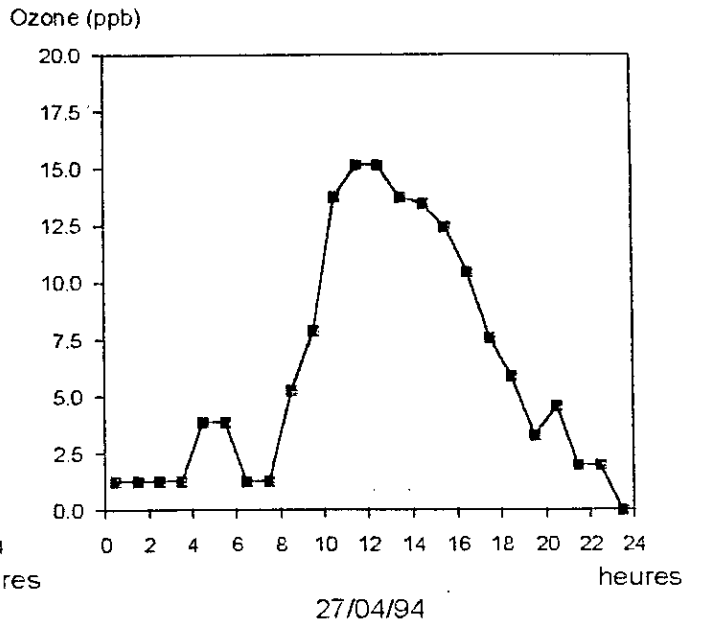
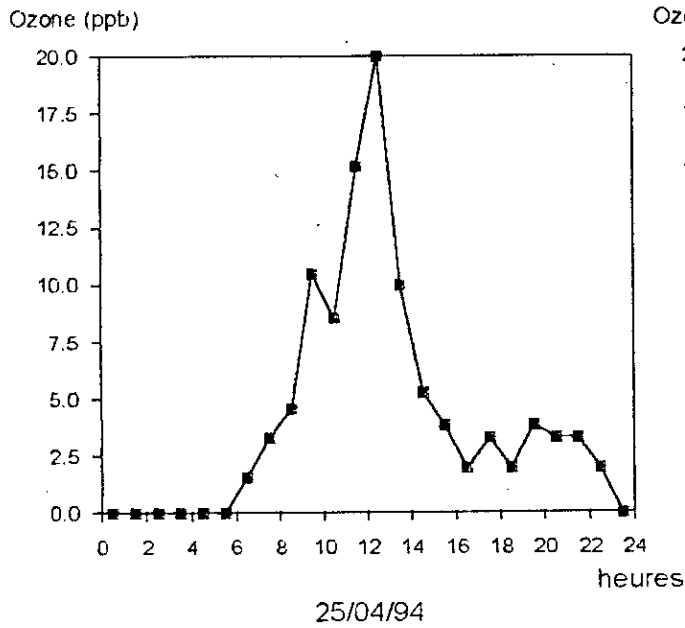
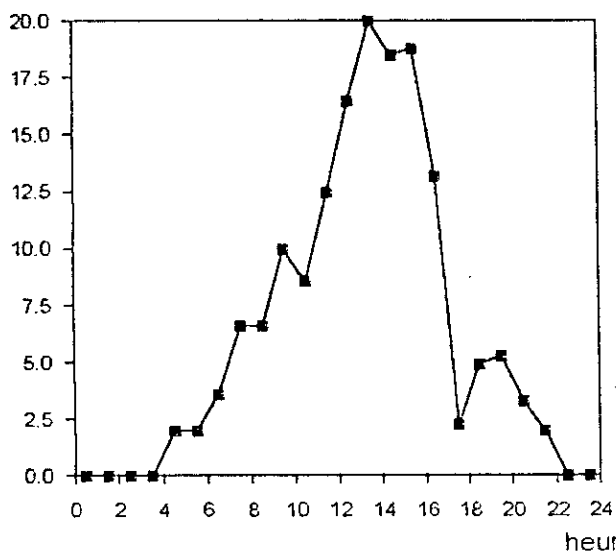


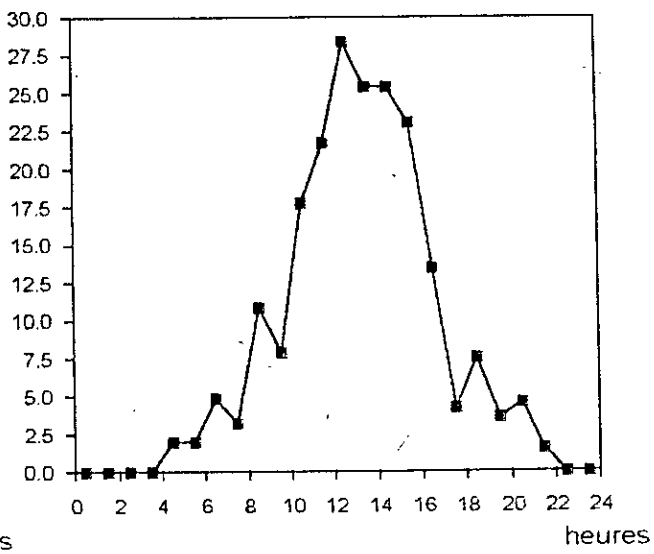
FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -

Ozone (ppb)



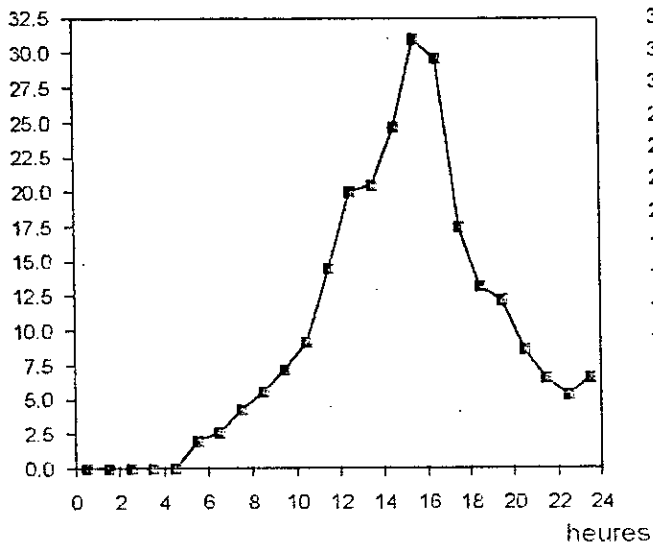
03/05/94

Ozone (ppb)



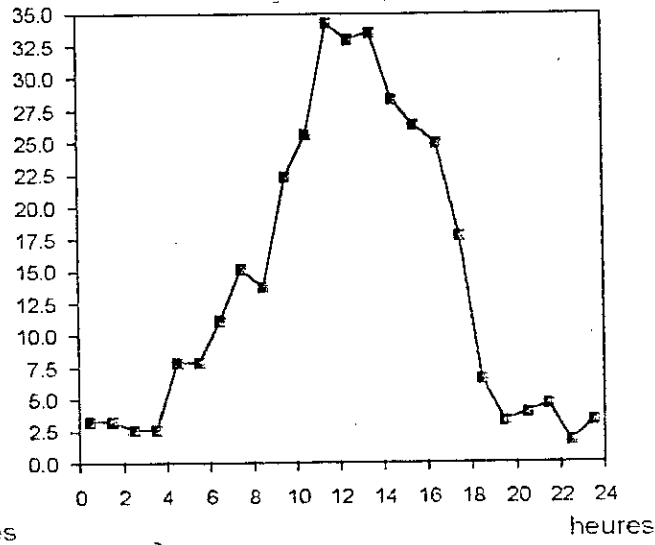
06/05/94

Ozone (ppb)



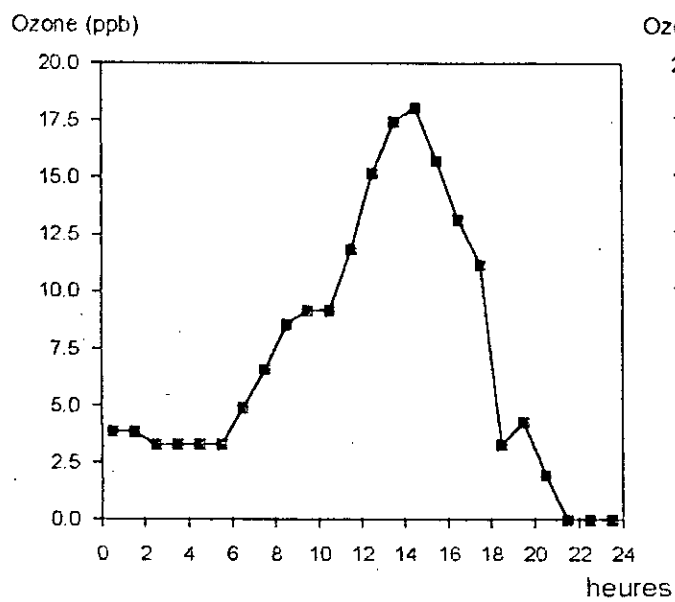
08/05/94

Ozone (ppb)

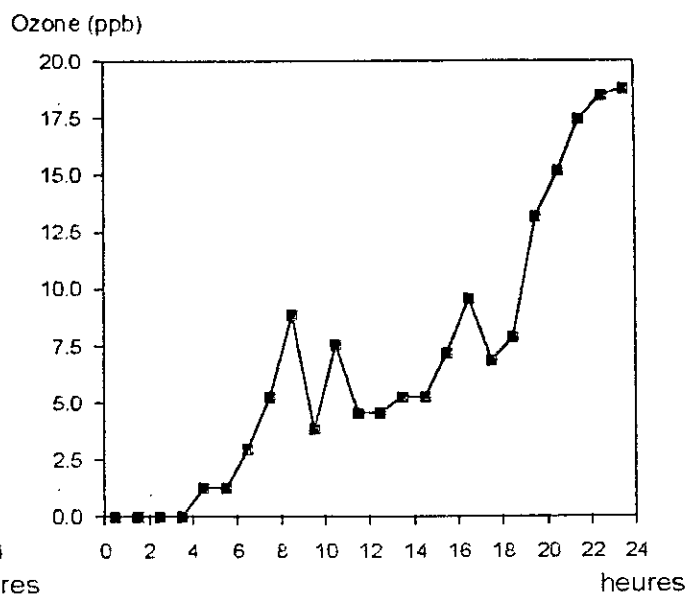


09/05/94

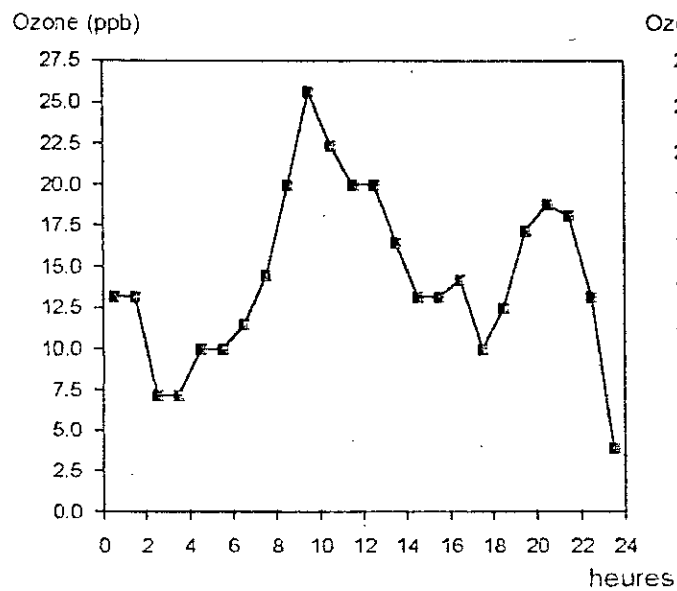
FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -



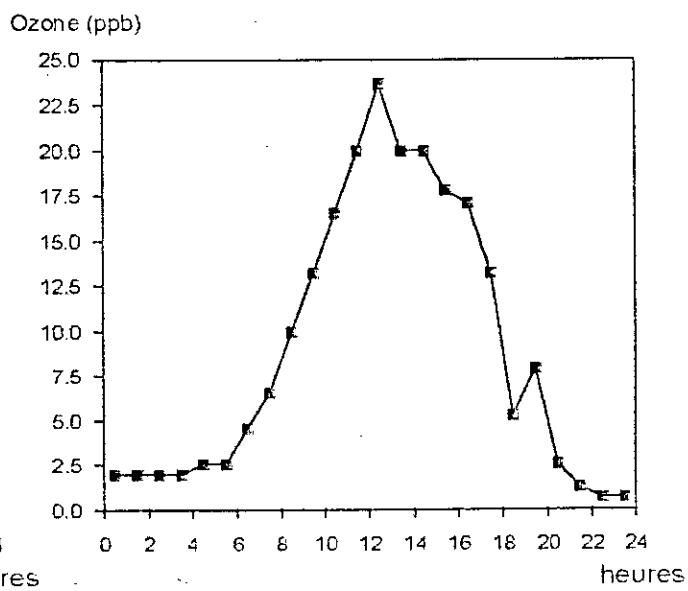
10/05/94



11/05/94



12/05/94



13/05/94

FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -

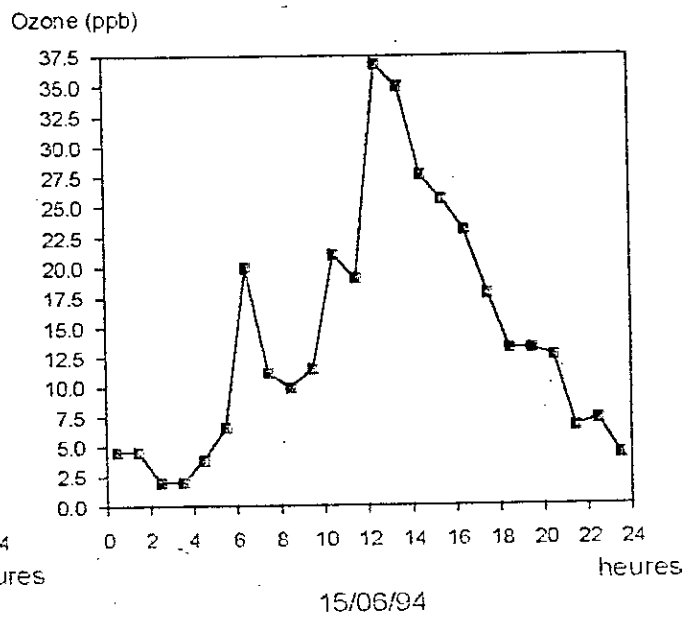
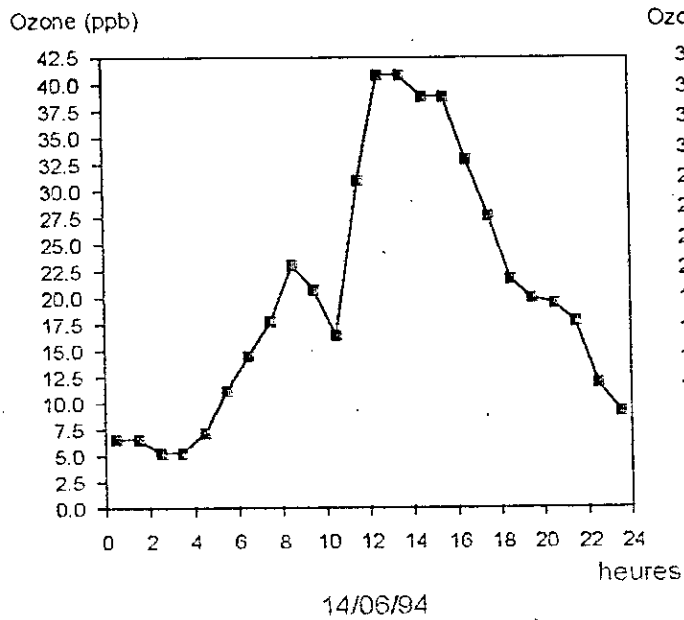
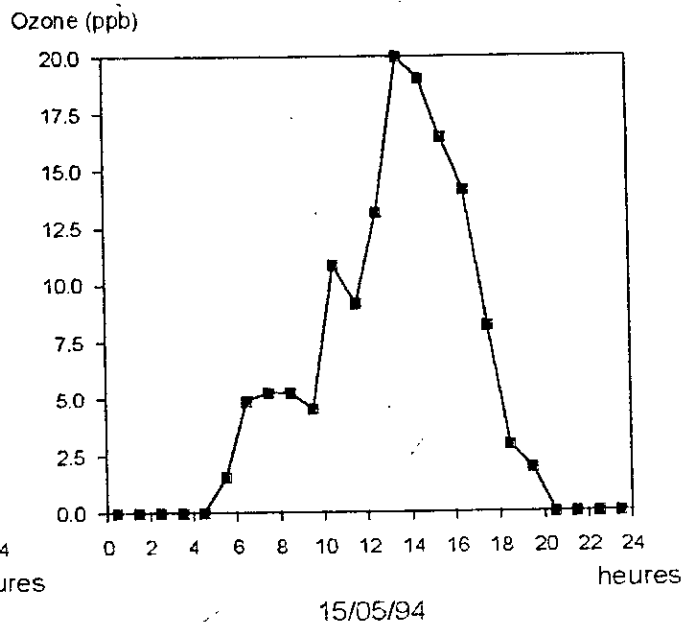
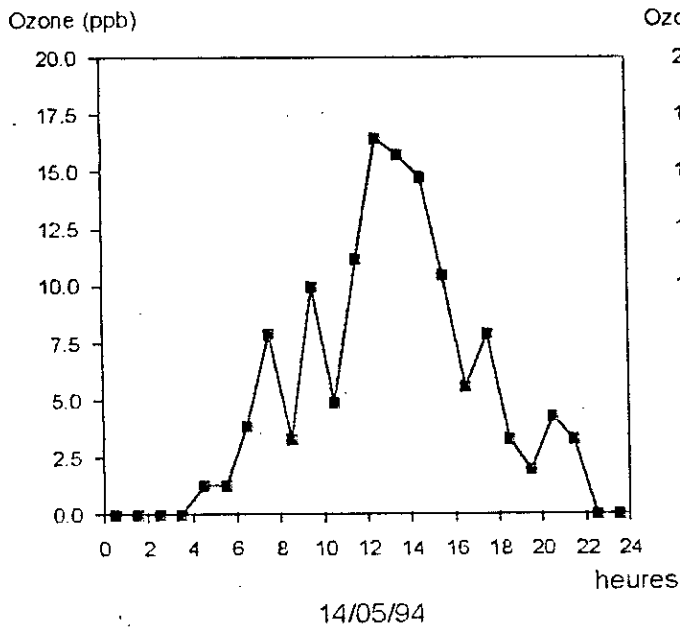
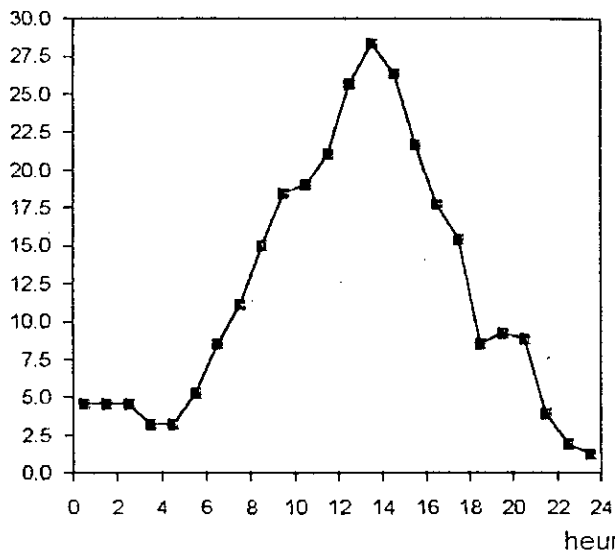


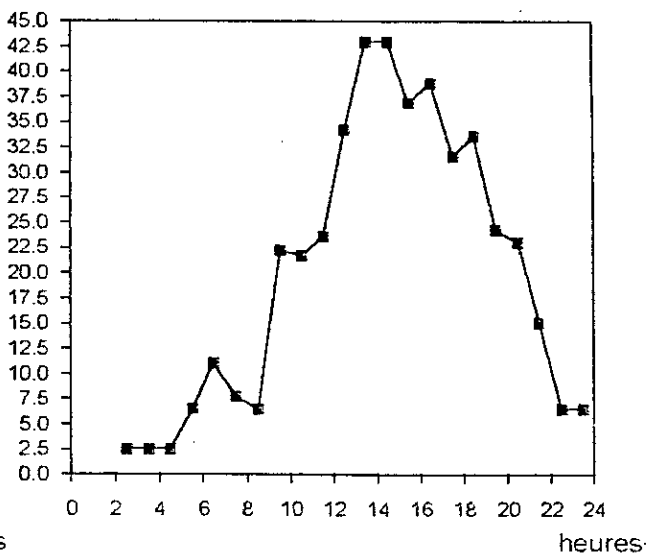
FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -

Ozone (ppb)



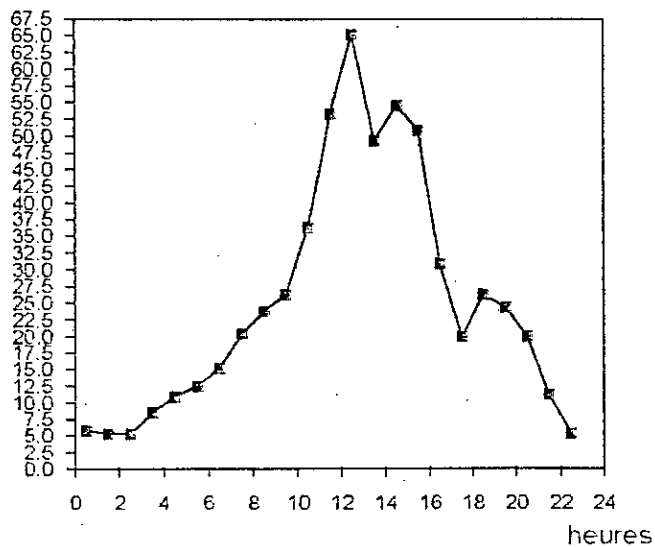
19/06/94

Ozone (ppb)



20/06/94

Ozone (ppb)



22/06/94

FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ELMOURADIA -

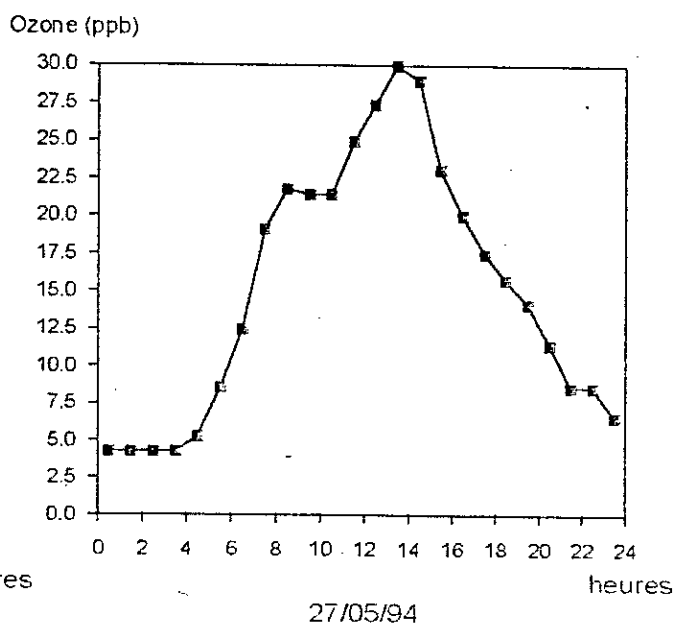
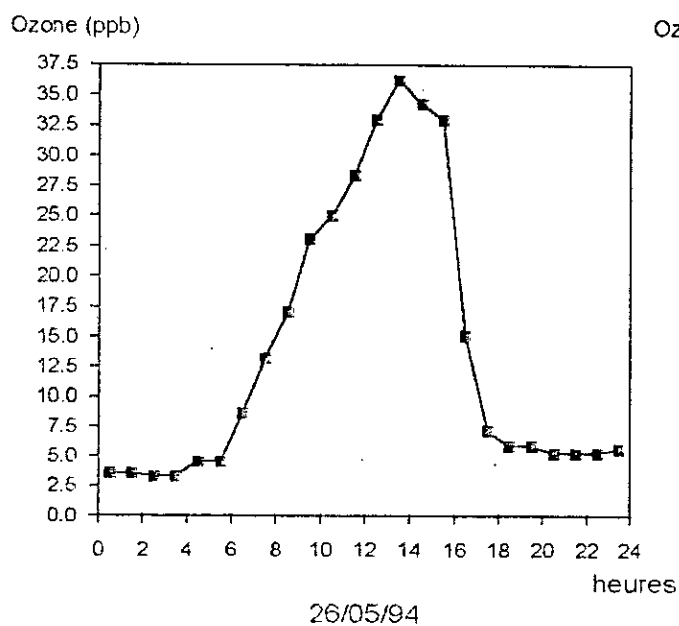
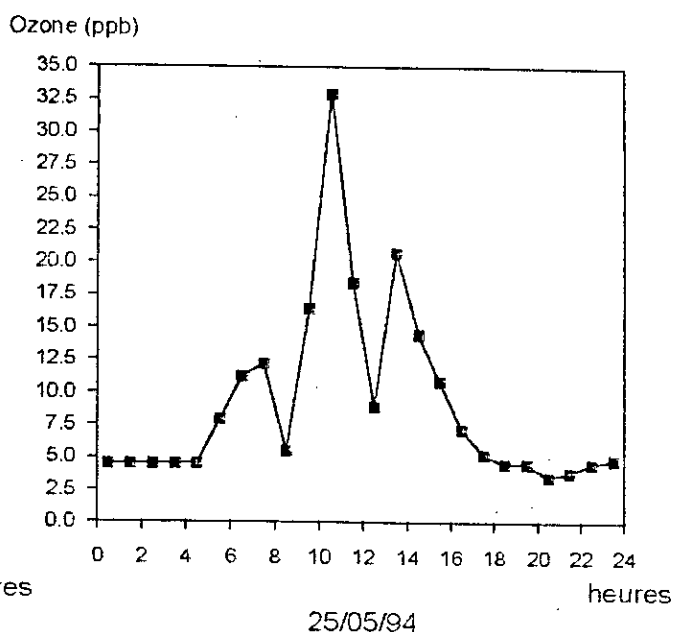
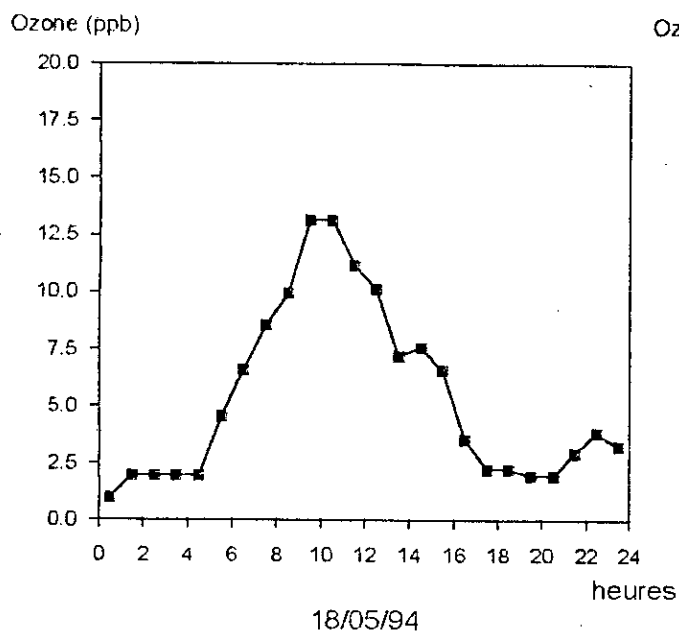
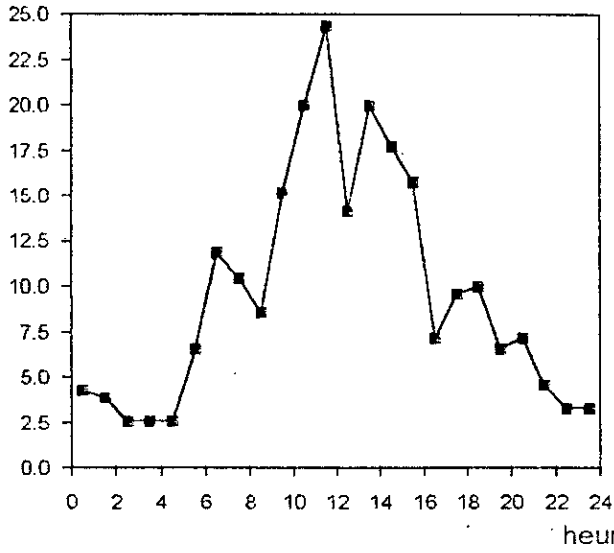


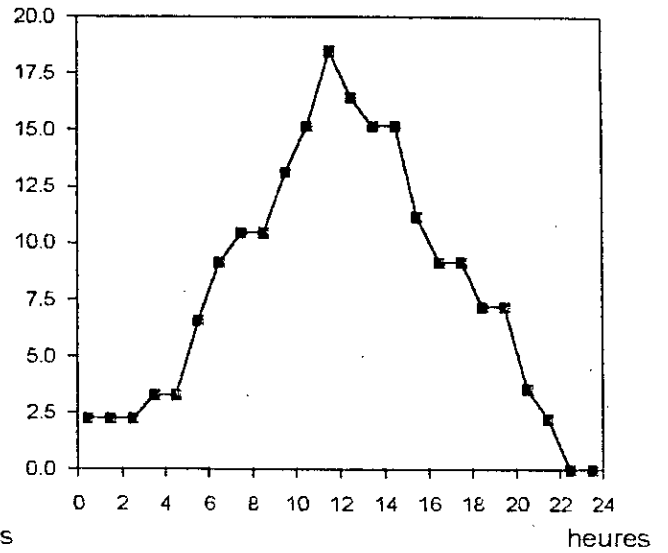
FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
 Site de prélèvement : - BABA HASSEN -

Ozone (ppb)



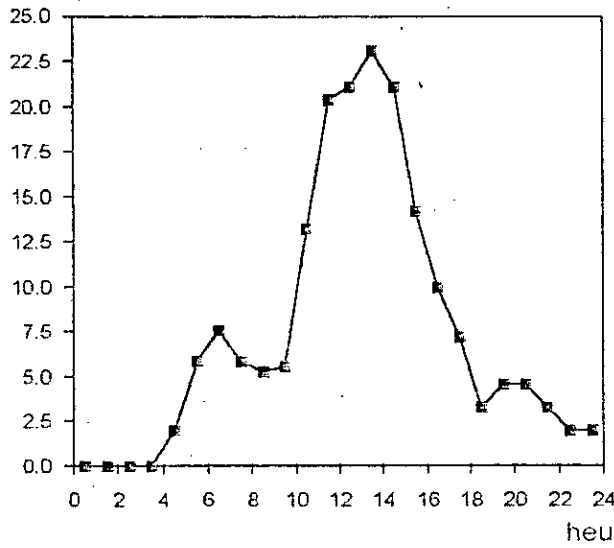
28/05/94

Ozone (ppb)



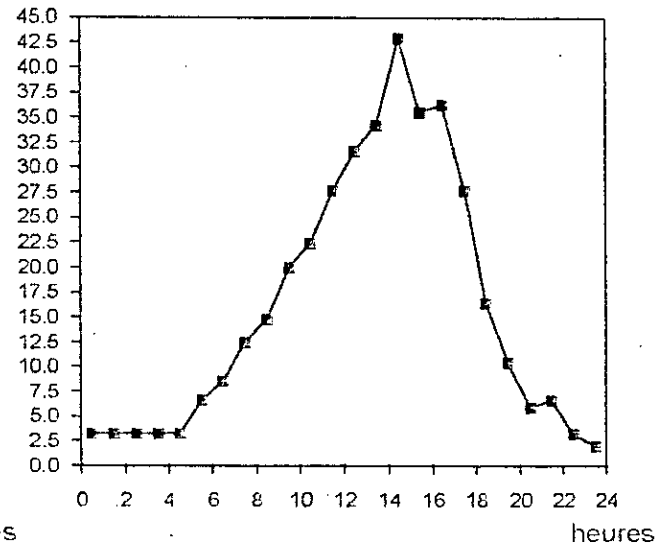
29/05/94

Ozone (ppb)



30/05/94

Ozone (ppb)



31/05/94

FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - BABA HASSEN -

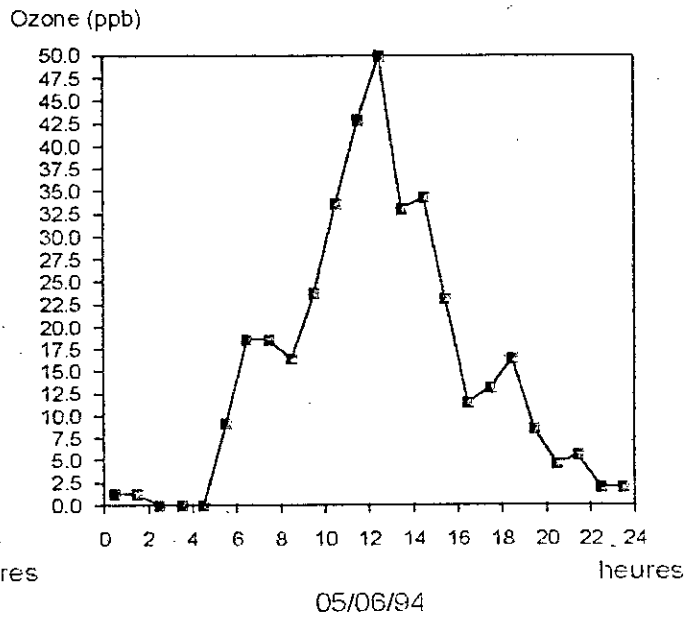
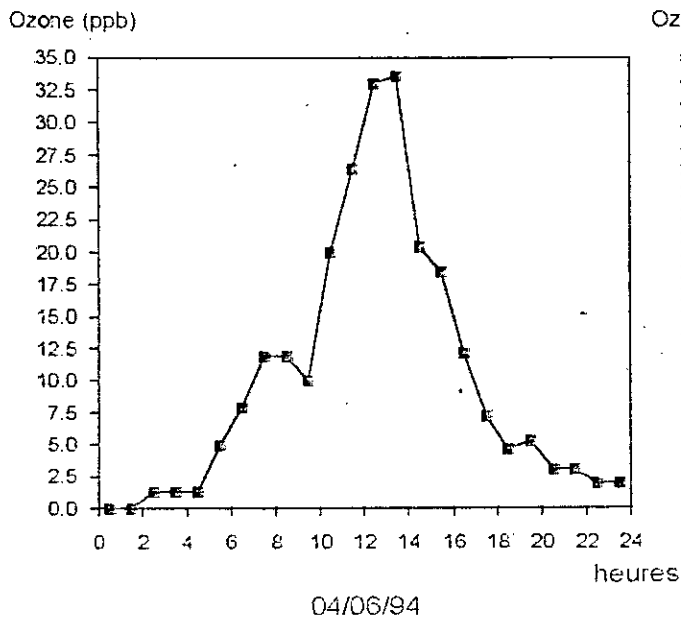
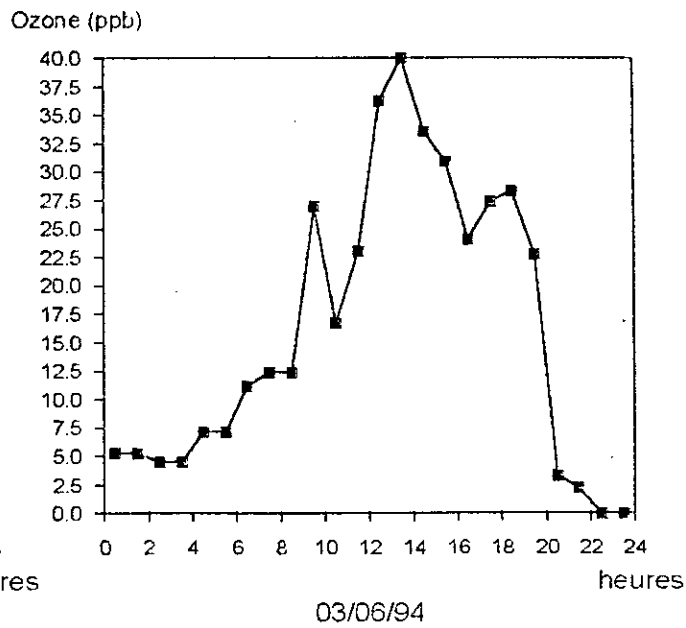
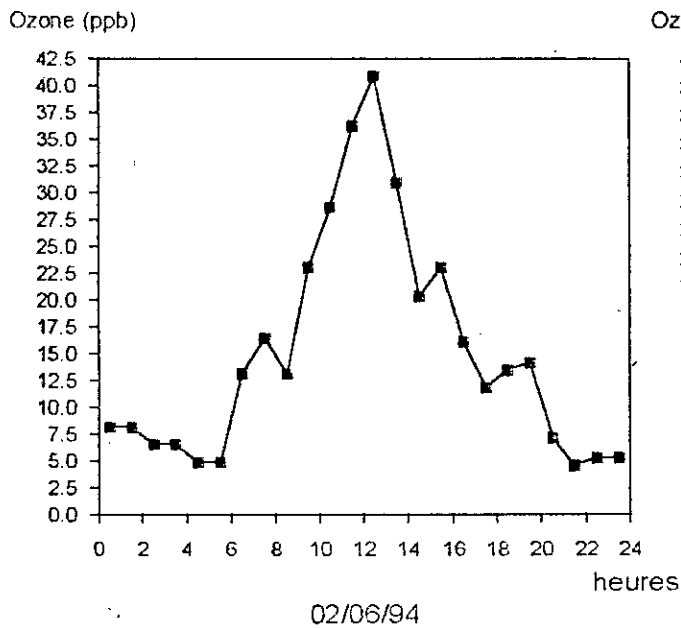


FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
Site de prélèvement : - ROUIBA -

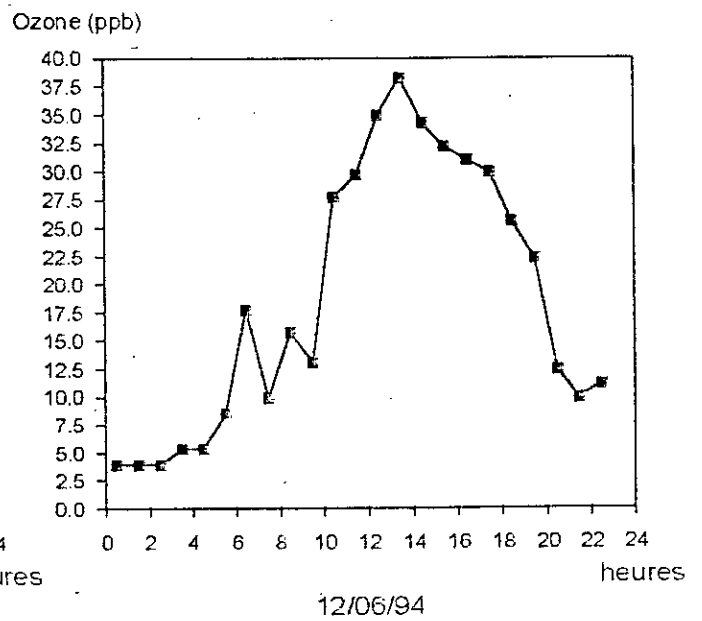
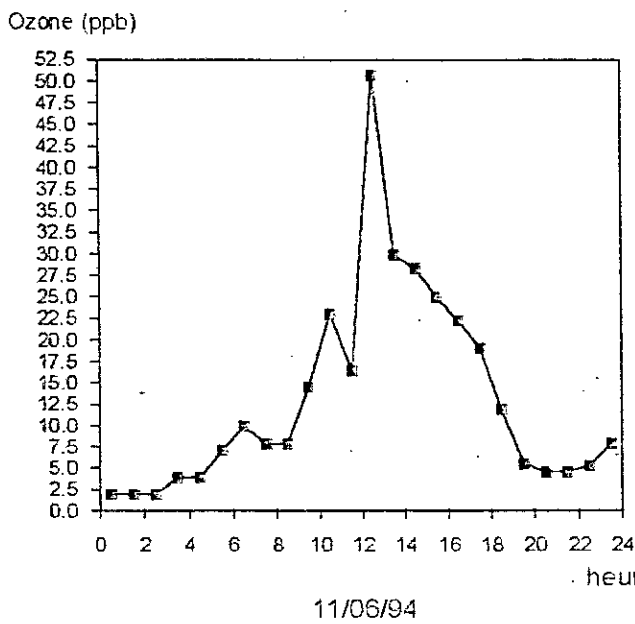
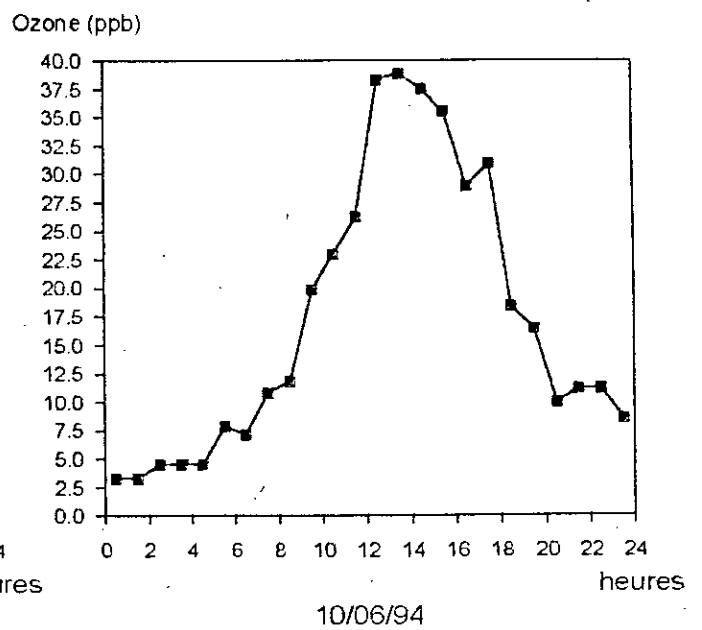
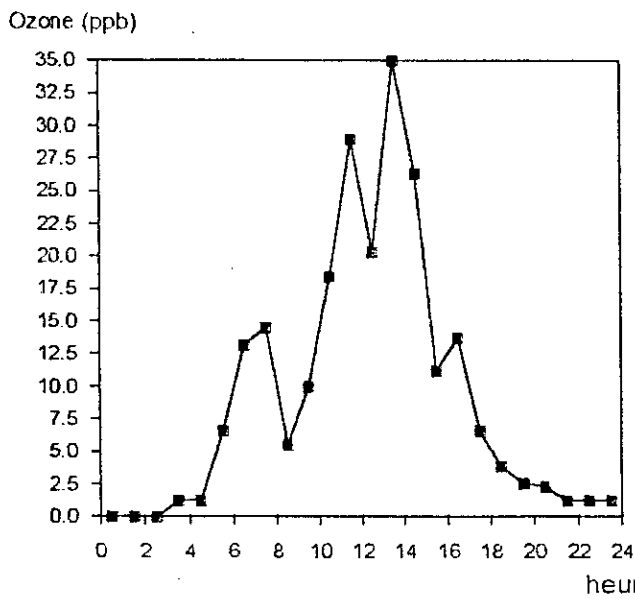


FIG N° : Evolution du cycle diurne de l'ozone
 Site de prélèvement : - ROUIBA -

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.CHOVIN et A.ROUSSEL , physico-chimie et physiopathologie des polluants atmosphériques , éd. MASSON , PARIS , 1973.
- [2] Pr.R.KERBACHI , cours pollution atmosphérique , 5^{ème} Année , ENP , 1994.
- [3] A.C.STERN , Air pollution , volume I , 3^{ème} édition , éd. NEW YORK A.P,1986.
- [4] Revue générale de thermique , les oxydes d'azote , tome 28 , n° 330 , 331 , juillet 1989.
- [5] G. DOTROPE , *La pollution de l'air*, éd. EYROLLES , Belgique , 1972
- [6] OMS , critères d'hygiène de l'environnement, les oxydes d'azote , 1974.
- [7] J.BIGNON , Effets sur la santé respiratoire de l'homme du dioxyde d'azote , de l'ozone et autres polluants oxydants de l'atmosphère ,pollution atmosphérique ,Octobre-Décembre 1990.
- [8] A.C.STERN , Air pollution , volume II , 3^{ème} édition ,éd NEW YORK A.P ,1986.
- [9] R.JOUMARD , pollution et transport , ENP , 1992.
- [10] A.MARENCO , Origine , distribution et évolution à long terme de l'ozone troposphérique , Octobre - Décembre 1988.
- [11] G.TOUPANCE , l'ozone dans la basse troposphère théorie et pratique , pollution atmosphérique , Janvier - Mars 1988.
- [12] E.CHANLEM , Environmental protection , 2^{ème} édition , éd Mc .GRAW HILL , 1979.
- [13] R.EMSALEM , Climatologie générale , Tome I , ENL, 1989.
- [14] J.P.DETRIE , la pollution atmosphérique , éd DUNOD , 1969.
- [15] SCIENCE ET VIE , Atmosphère , atmosphères , Hors série n° 174 , mars 1991.
- [16] JOHN G .RAU et DAVID .C.WOOTEN , Environmental impact analysis hand book , éd Mc .GRAW HILL ,1980.
- [17] G. MEGIE , Les modifications chimiques de l'atmosphère et leurs effets sur l'environnement,pollution atmosphérique ,janvier - mars 1988.
- [18] G.MOUVIER , Chimie atmosphérique , pollution atmosphérique , Octobre-décembre 1990.
- [19] P.PARLIER et G.MOUVIER , initiation à la base physico-chimie de la basse troposphère, pollution atmosphérique , janvier- mars 1988.

- [20] F.RAMADE , ECOTOXICOLOGIE , 2 éme édition , éd MASSON , 1979.
- [21] B.FESTY , Nocivité des oxydants photochimiques , pollution atmosphérique , avril-juin 1986.
- [22] R.MARTHAN et A.BENJEBRIA , distribution de l'ozone dans les voies aériennes , effets sur la mécanique ventilatoire et la réactivité bronchique.
- [23] RICHARD .D.ROSS , la pollution atmosphérique et l'industrie , entreprise moderne d'édition technique et documentation , 1974.
- [24] INTERSOCIETY COMMITTEE , tentative method for the manual analysis of oxydizing substances in the atmosphere. REF : 2G093078 .
- [25] OZONE ET OZONATION DES EAUX.
- [26] N.KOUTAI , la pollution atmosphérique dans le GRAND ALGER , Magister en cours , ENP 1994.