

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie de l'Environnement
Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement

THESE DE MAGISTER

En Génie de l'Environnement
Option Génie de l'Environnement

THEME

**Etude de la pollution de l'air par les composés aromatiques
benzène, toluène et xylène (BTX) à Alger**

Présenté par

Abderrahmane BOUKADOUM
Ingénieur en Génie de l'Environnement
De l'Ecole Nationale Polytechnique

A mon père...



رحمه الله

Sommaire

I. Introduction

II. Caractéristiques des polluants étudiés.....3

II.1 Généralités sur la pollution de l'air par le benzène.....	3
II.1.1 Définition, origine et utilisation du benzène.....	3
II.1.2 Sources d'émission.....	4
II.1.3. Effets sur la santé et risques d'exposition.....	6
II.1.4 Teneurs atmosphériques en benzène habituellement rencontrées dans le monde.....	8
II.1.5 Normes et réglementation en vigueur dans certains pays.....	9
II.2 Généralités sur la pollution de l'air par le Toluène.....	10
II.2.1 Définition, origine et utilisation du Toluène.....	10
II.2.2 Les sources d'émission.....	11
II.2.3 Effets du toluène sur la santé humaine	11
II.2.4 Teneurs atmosphériques	12
II.2.5 Normes et réglementation	12
II.3 Généralités sur la pollution de l'air par les xylènes	13
II.3.1 Définition, origine et utilisation des xylènes	13
II.3.2 Les sources d'émission des xylènes... ..	14
II.3.3 Effets des xylènes sur la santé humaine... ..	14
II.3.4 Teneurs atmosphériques.....	15

III Réactivités et transformations chimiques des BTX dans l'atmosphère15

III.2 Origine des radicaux	15
III.2 Mécanisme de réaction du radical OH.....	16
III.3. Réactivité des BTX	18

IV. Classification des sites de mesure et technique utilisée dans le prélèvement et l'analyse des BTX..... 20

IV.1- Classification et critères d'implantation des stations de mesure de la qualité de l'air..	20
IV.2 Les méthodes de prélèvement et d'analyse des BTX.....	25
IV.2.1 Mesure manuelle des BTX.....	25
IV.2.2. Mesure automatique des BTX.....	27

V- Méthodologie expérimentale.....28

V.1- Description et classification du site de mesure.....	28
V.2.- Prélèvement et analyse des BTX.....	32
V.2.1 Principe de mesure.....	33
V.2.2. Acquisition des données.....	34
V.3 Mesure des facteurs météorologiques	37

VI- Résultats et discussion.....38

VI.1 Evolution journalière des teneurs atmosphériques et ampleur de la pollution.....	38
VI.2. Evolution hebdomadaire des teneurs en BTX.....	43
IV.3. Evolution mensuelle et variation saisonnière des BTX.....	45
IV.4. Dispersion des BTX : la rose des vents et la rose de pollution.....	49
IV.5. Relation et corrélation dans et avec les BTX.....	53

IV.5.1 Rapport et corrélation entre les BTX.....	53
IV.5.2 Corrélation entre le benzène et le CO.....	55

V. Conclusion.....	57
---------------------------	-----------

Bibliographie

Annexe

I. Introduction

Depuis le début de l'ère industrielle, les émissions des polluants atmosphériques ont considérablement augmentées, du fait notamment du développement rapide des transports, de l'économie et de la croissance démographique. Les émissions naturelles, aussi importantes soient-elles, telles que l'érosion, les incendies de forêt et les éruptions volcaniques, n'ont jamais eu autant de conséquences sur la qualité de l'air que nous respirons que celles que les activités humaines (émissions anthropogéniques) exercent aujourd'hui.

La nécessité de produire des quantités croissantes d'énergie par combustion et le développement des procédés industriels engendrent de nos jours une multitude d'aérocontaminants gazeux et solides qui sont préjudiciables à l'environnement.

Il est de nos jours reconnu qu'en milieu urbain les activités de transport, en particulier le trafic automobile, constituent l'une des principales sources de la pollution de l'air ambiant.

La combustion incomplète qu'on retrouve dans la quasi-totalité des véhicules et l'évaporation des carburants dans les moteurs et en station de service sont, entre autre, à l'origine d'une forte émission de composés organiques volatils (COV).

Ces COV renferment une forte proportion en hydrocarbures aromatiques monocycliques, principalement le benzène et ses homologues supérieurs, le toluène et le xylène dans ses trois isomères. Parmi ces composés qu'on désigne le plus souvent par le terme BTX, le plus préoccupant est le benzène, compte tenu de sa nocivité, des niveaux habituellement mesurés et de la réglementation qui est devenue de plus en plus sévère.

Par inhalation, les BTX peuvent engendrer différents troubles chez l'être humain exposé. Dans le cas du benzène, les informations issues de la littérature ne laissent aucun doute quant à son caractère cancérigène pour l'homme avec apparition de leucémie. Il est classé, depuis 1987 dans le groupe I (cancérigène prouvé chez l'homme) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC de Lyon).

Parallèlement à leur action directe sur l'homme, les BTX et en particulier les alkylbenzènes participent aux réactions photochimiques dans l'atmosphère et jouent le rôle de précurseurs dans la production d'ozone en basse atmosphère.

La nature des carburants des véhicules, plus spécialement leur proportion en aromatiques, influe sur les teneurs atmosphériques. Les carburants essence et super contiennent environ 46% d'aromatiques et 2 à 3 % de benzène.

Aussi et afin de réduire l'ampleur de cette forme de pollution, la Communauté Européenne et d'autres pays développés exigent à partir de 2005 des carburants avec une teneur maximale de 1% en benzène et 35% en aromatiques totaux. Il n'est toutefois pas certain que cette mesure prise toute seule puisse contribuer d'une manière sensible à l'amélioration de la qualité de l'air. On constate en effet une croissance du trafic routier et du kilométrage annuel et une utilisation accrue de l'air conditionné. Il en résulte un surplus de consommation d'énergie et donc plus d'émissions de polluants.

En Algérie et bien qu'il y ait que peu de données sur la pollution de l'air par les composés aromatiques, on peut, sans risque de se tromper, prévoir une amplification de cette pollution et ce pour trois raisons :

- Augmentation constante du parc automobile algérien. Actuellement le taux de croissance annuel est estimé à plus de 4 %. Avec un taux de motorisation d'environ 1/10 (un véhicule pour 10 habitants), l'Algérie est loin d'être saturée.
- Le carburant essence est très riche en aromatiques : 2 à 3 % du benzène et 45-50% d'aromatiques totaux (taux variables selon les raffineries).
- Le parc automobile qui est très âgé se caractérise par une mauvaise combustion qui engendre de plus fortes émissions de polluants.

Devant cette situation et afin de disposer de données fiables sur une longue période, nous nous sommes intéressés à l'évolution à Alger des teneurs atmosphériques en BTX.

Une telle étude sur les niveaux et type de pollution est nécessaire pour réfléchir aux mesures à prendre et à la formulation d'une stratégie de prévention de la pollution.

Ce travail a été réalisé au Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Il rentre dans le cadre de la mise en place par le Ministère d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air d'Alger. Ce réseau est équipé de quatre stations de mesure dont l'une dispose d'un analyseur en continu des BTX.

II. Caractéristiques des polluants étudiés

Les composés benzène, toluène et xylène désignés généralement par le terme BTX, font partie de la famille des composés organiques volatils. Ce sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques constitués d'un cycle aromatique qui est substitué par un groupement méthyle (CH_3) dans le cas du toluène et par deux groupements dans le cas des xylènes. La pollution de l'air par les BTX résulte principalement des activités anthropiques telles que :

- Les industries pétrolières
- Les industries chimiques et utilisation de solvants
- Le secteur du transport

Comme leur devenir dans l'atmosphère et leur impact sur la santé varient d'un composé à un autre, nous présenterons dans ce qui suit leurs principales caractéristiques séparément.

II.1 Généralités sur la pollution de l'air par le benzène

II.1.1 Définition, origine et utilisation du benzène

Le benzène (C_6H_6) est le composé homologue le plus simple de la série des hydrocarbures aromatiques. C'est un liquide incolore, volatil à odeur agréable dite aromatique et perceptible dans l'air selon les individus entre 1 et 12 ppm soit un seuil olfactif entre 3.2 et 39 mg/m^3 [1]. Le benzène est miscible dans de nombreux solvants organiques et constitue un excellent solvant des composés organiques non ou peu polaires.

C'est un des composants des mélanges complexes issus du craquage ou du reformage catalytique d'hydrocarbures pétroliers. Le benzène est produit principalement par l'industrie pétrochimique. Il est obtenu :

- Par reformage catalytique ;
- A partir de l'essence de pyrolyse ;
- Par hydrodésalkylation du toluène

Au cours du reformage catalytique, les cycloparaffines telles que le cyclohexane, le méthylcyclohexane et le diméthylcyclohexane sont convertis en benzène par isomérisation, déshydrogénation et désalkylation.

L'essence de pyrolyse obtenue par craquage de paraffines légères ou d'hydrocarbures lourds contient des hydrocarbures aliphatiques non saturés et des aromatiques à partir desquels

divers procédés de traitement (hydrogénation, désulfuration, hydroalkylation, distillation) permettent d'obtenir le benzène [2, 3].

La distillation de ces mélanges permet d'obtenir des composants pratiquement purs et en particulier le benzène.

La production de benzène de l'Europe occidentale est de 7.6 millions de tonnes pour une production mondiale de 33 millions de tonnes (1994) [4].

Comme sous produit du pétrole, il entre naturellement dans la composition de l'essence automobile. Dans les carburants son rôle est particulièrement important à cause de ses propriétés antidétonantes susceptibles d'améliorer l'indice d'octane. Utilisé à un taux de 5% et plus avant les années 70, sa teneur dans les carburants est de plus en plus réduite. Dans la majorité des pays occidentaux, les raffineurs sont tenus de produire une essence à un taux maximum de benzène de 1% [5].

En Algérie les carburants essence contiennent 2 à 3% de benzène (taux variable selon la raffinerie considéré, Alger, Arzew, Skikda). Ainsi les quelques deux millions de tonnes de carburant essence produits annuellement contiennent environ 50000 Tonnes de benzène [6].

Les autres emplois du benzène sont principalement [7]. :

- Dans l'industrie chimique ou il est principalement utilisé pour produire de l'éthylbenzène servant à la synthèse du styrène destiné à la fabrication de matières plastiques et d'élastomères Il est également utilisé pour produire :
- du cumène destiné à la fabrication du phénol servant à produire des résines phénoliques et du nylon
- du cyclohexane destiné à la fabrication des résines
- du nitrobenzène servant à fabriquer l'aniline
- fabrication des chlorobenzène, acétones, etc.
- il entre dans la composition de solvants ou diluants
- il est occasionnellement utilisé comme solvant d'extraction, mais seulement en circuit fermé .

II.1.2 Sources d'émission

Les sources d'émission naturelles du benzène sont principalement les feux de forêts et les activités volcaniques.

Les sources anthropiques d'émissions sont de loin les plus importantes. Le trafic routier est le premier responsable de la pollution de l'air par le benzène. C'est ainsi qu'on estime que plus de 90% du benzène provient en milieu urbain du trafic routier [8]. Des mesures effectuées en France par journée interdite à la circulation (le 22 septembre de chaque année) ont montré une réduction de 70% du benzène atmosphérique. Cette réduction a été constatée aussi sur le toluène et les xylènes [9].

Il est rejeté dans l'atmosphère par évaporation pendant le transport et les ravitaillements en carburant aux stations service, mais aussi du fait des processus de combustion incomplète des véhicules à moteur. Dans ce contexte, il faut souligner que le benzène est aussi produit lors de la combustion de l'essence dans le moteur, ce qui fait que même si l'essence ne contenait pas du tout de benzène, les imbrûlés des gaz de combustion, eux, en contiendraient [10].

La proportion de benzène issue des processus d'évaporation est faible. L'essentiel du benzène émis, environ 80% est véhiculé par les gaz d'échappement. Un véhicule non catalysé émet environ 60-70 mg/Km [10]. On estime par ailleurs que 4.10^6 tonnes de benzène sont émises chaque année suite à la combustion des fiouls fossiles [11].

La fabrication du benzène et ses diverses utilisations libèrent également du benzène dans l'atmosphère, mais en quantité très faible par rapport au trafic routier.

Pour réduire ces émissions anthropiques, des techniques de traitement et de prévention existent et sont mises en œuvre dans les pays développés [10]. On agit en général à plusieurs niveaux :

a) Clôre les systèmes d'utilisation d'essence :

En empêchant l'évaporation du carburant, on évite l'évaporation du benzène et on réduit en même temps l'émission d'autres COV, sources de smogs photochimiques

Pour réduire les pertes par évaporation au cours du stockage et des manipulations de carburant, on équipe les dépôts pétroliers et les camions- citernes de systèmes de récupération des vapeurs d'essence. Il est ensuite possible de réduire les émissions des véhicules eux-mêmes en les équipant de pièges à charbon actif au niveau du réservoir et de l'alimentation du moteur.

La réduction du débit de distribution du carburant en station-service constitue aussi un moyen de diminution des émanations d'essence et de benzène. Cette mesure a été généralisée par exemple au Canada en 2001 [12].

b) Utiliser des pots catalytiques :

Pour s'attaquer à la cause principale des émissions dues aux gaz d'échappement, on a généralisé l'utilisation des catalyseurs à trois voies qui oxydent les imbrûlés organiques et

donc le benzène en CO₂ et vapeur d'eau. Le rendement de ces catalyseurs est de l'ordre de 90%.

c) Réduire la teneur en benzène des essences :

La troisième action consiste à réduire la teneur en benzène. Certains pays se sont engagés à produire de l'essence à un taux maximum de 1% de benzène. Cette solution est coûteuse mais possible. L'industrie du pétrole estime toutefois que cette mesure n'aura qu'une faible efficacité [10].

II.1.3. Effets sur la santé et risques d'exposition

La bibliographie reporte un très grand nombre de travaux scientifiques relatifs aux études toxicologiques et épidémiologiques du benzène sur l'être humain et les animaux. Des monographies publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifiques de leurs documents rassemblent les principaux résultats des effets du benzène [13-17].

Chez l'homme la voie d'exposition majoritaire pour le benzène est l'inhalation. La moitié de la quantité inhalée est absorbée [18]. L'absorption cutanée est possible (0.4mg/cm²/h) mais demeure une source secondaire d'exposition.

Les nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques ne laissent pas de doute quant à la nature dangereuse du benzène. C'est un cancérigène pour l'homme entraînant l'apparition de leucémies (prolifération anormale de globules blancs et de leurs cellules souches). Il est classé depuis 1987 dans le groupe 1 (cancérogène prouvé chez l'homme) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de Lyon [16].

Par ailleurs, il peut aboutir à une anémie aplasique (la moelle osseuse ne peut plus produire les précurseurs des cellules sanguines en nombre suffisant). Comme beaucoup de substances génotoxiques, le benzène semble diminuer les défenses immunitaires, ce qui est néfaste pour le long terme [19-21].

Les effets hématotoxiques du benzène, la destruction des cellules souches pluripotentielle qui se traduit par un ralentissement de la moelle osseuse et le développement des cas de pancytopenie qui aboutissent à l'anémie aplasique ont été observés sur des populations exposées professionnellement au benzène [15,19,21].

L'ensemble des études montre que le système hématopoïétique apparaît comme l'organe cible lors de l'exposition au benzène. Une pancytopenie est observée pour des expositions à des

concentrations comprises entre 210 et 640 ppm pour des périodes comprises en 4 mois et 15 ans [20].

Des effets plus divers comprenant une préleucémie ou une leucémie aigue sont également observés lors d'expositions professionnelles à des teneurs comprises entre 210 et 650 ppm pour une période comprise entre 1 et 15 ans [20]. A des teneurs plus faibles, les effets hématologiques reportés sont moindres et correspondant à des leucopénies et des anémies.

Des expositions chroniques au benzène par inhalation induisent aussi des effets neurologiques. Ils correspondent à une atrophie globale des extrémités hautes. Ces effets sont observés chez des sujets présentant des atteintes du système hématopoïétique (anémie aplasique, préleucémie) [22].

Pour évaluer le risque cancérigène pour une exposition donnée, il existe des indicateurs sanitaires. Ces indicateurs sont exprimés sous forme d'excès de risque de développer un cancer du à une exposition vie entière à une unité de dose de benzène ; on les appelle excès de risque unitaire (ERU) ou risque unitaire (RU). Ces valeurs de risque unitaire sont le résultat d'extrapolation des hautes doses vers les faibles doses issues d'études toxicologiques reconnues [23].

Pour le benzène, il existe différentes valeurs de RU qui dépendent de l'organisme émetteur. Les deux instances les plus connues sont l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Environment Protection Agency (EPA) des Etats-Unis. Pour l'OMS la valeur guide relative à la qualité de l'air émise en 1999 [23] et actuellement en vigueur est un risque unitaire exprimé par :

$$\text{OMS : } \text{RU } [\mu\text{g}/\text{m}^3]^{-1} = (4,4 - 7,5) 10^{-6}$$

Cela signifie que pour une exposition vie entière à une unité de dose de benzène, soit $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, tout individu a de $4,4 \cdot 10^{-6}$ chance supplémentaire de développer un cancer (une leucémie dans le cas du benzène)

De la même façon, l'EPA émet également une estimation quantitative du risque cancérigène dû à une exposition vie entière par inhalation de benzène [24].

$$\text{EPA : } \text{RU } [\mu\text{g}/\text{m}^3]^{-1} = (2,2 - 7,8) 10^{-6}$$

Exemple : Risque = 10^{-4} ou 1/10000 pour des concentrations de 13 à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Risque = 10^{-5} ou 1/100000 pour des concentrations de 1,3 à 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Risque = 10^{-6} ou 1/1000000 pour des concentrations de 0,13 à 0,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

II.1.4 Teneurs atmosphériques en benzène habituellement rencontrées dans le monde

A l'inverse des autres polluants classiques comme les SO_2 , le CO et les NO_x , le benzène et les autres hydrocarbures aromatiques monocycliques ne font l'objet d'un suivi régulier que depuis le début des années 90. Il n'existe donc pas un historique du benzène en tant que polluant atmosphérique. C'est naturellement en Europe occidentale, aux USA et au Canada qu'on rencontre le plus d'études et de données.

En milieu ambiant non pollué, l'air contiendrait environ $0,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ [25]. Aux Etats Unis, les concentrations urbaines en benzène sont comprises entre 12 et $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles sont de l'ordre du $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et ne dépassent pas $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zones rurales [26].

Dans les grandes villes canadiennes comme Montréal, Ottawa et Toronto, les teneurs moyennes varient entre 2,3 et $11,4\mu\text{g}/\text{m}^3$ [27].

Une récente étude effectuée dans 6 villes du nord au sud de l'Europe par le laboratoire de référence européen pour la pollution de l'air (ERLAP à Ispra) a montré que les taux de concentrations du benzène dans l'air urbain atteignent des niveaux de plus en plus élevés au fur et à mesure que l'on descend vers le sud de l'Europe (Figure n° 1) [28].

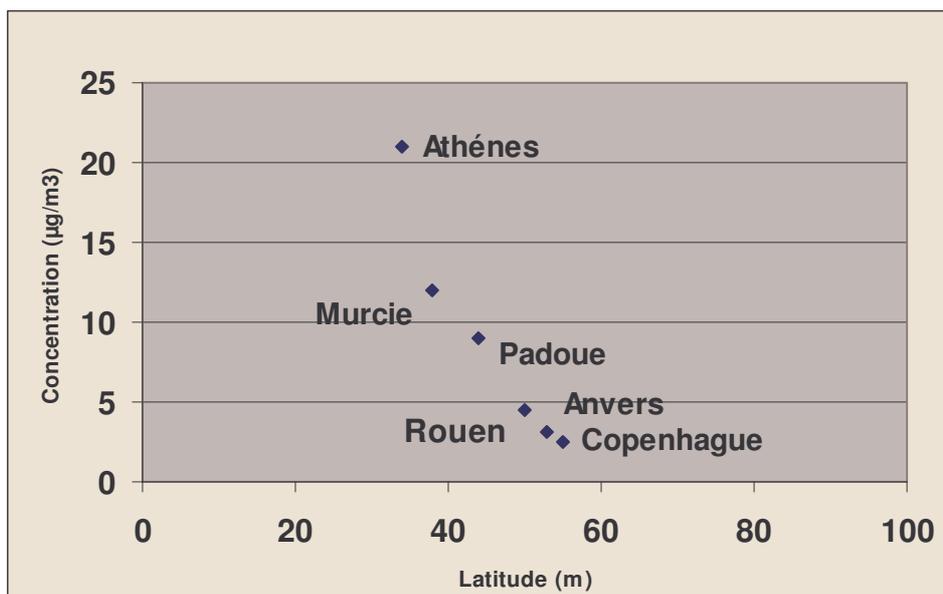


Fig. n°1. Variation des teneurs en benzène en fonction de la latitude en Europe [28].

Les teneurs atmosphériques en benzène sont d'une manière générale tributaires de l'intensité du trafic routier et du confinement du milieu (absence ou non de ventilation). C'est ainsi qu'à Paris le taux de benzène s'élève à $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en site de fond, à $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au bord des rues, à $32.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau des carrefours et à $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en parc souterrain [8].

Les agents de police effectuant un service dans les rues, le personnel des stations- service et les conducteurs de camions citernes de carburant sont souvent exposés à des teneurs très élevées en benzène [29].

II.1.5 Norme et réglementation en vigueur dans certains pays

La réglementation régissant les teneurs en benzène dans l'air ambiant est très récente. Ce n'est en fait qu'à partir de 1995 que certains pays ont commencé à mettre en place des normes sous forme de :

- Valeur limite ou valeur légale qui est le niveau maximal de concentration à ne pas dépasser.
- Objectif de qualité qui représente un niveau de concentration fixé, sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs du polluant sur la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée .

Tableau. n° 1. Résumé des teneurs limites en benzène adoptées par certains pays

Pays	Valeur limite	Objectif de qualité	Observation	Réf.
France	10µg/m ³		Moyenne annuelle jusqu'à 2005 Puis dégressif de 1µg/m ³ par an jusqu'à 2010	[30]
	5µg/m ³		Moyenne annuelle à partir de 2010	
		2µg/m ³	Moyenne annuelle	[31]
Allemagne	10µg/m ³		Moyenne annuelle à partir de 1998	[32]
Pays-bas	10µg/m ³		Moyenne annuelle	[33]
		1 µg/m ³		
Union Européenne	5µg/m ³		Moyenne annuelle	[34]
Angleterre	5ppb (16µg/m ³)		Moyenne annuelle	[11]
		1 ppb (3,2µg/m ³)	Moyenne annuelle	
Australie	5ppb (16µg/m ³)		Moyenne annuelle	[35]
OMS et USA	Pas de seuil limite mais des indicateurs des risques unitaires			

II.2 Généralités sur la pollution de l'air par le toluène

II.2.1 Définition, origine et utilisation du toluène

Le toluène ($C_6H_5CH_3$) est un aromatique liquide, transparent, incolore et qui dégage une odeur sucrée et piquante. C'est un composé volatil qui est inflammable et qui présente une tension de vapeur relativement élevée (3,4 kPa à 25°C). Le toluène est modérément soluble dans l'eau (535 mg/l à 25 ° C) et est miscible avec la plupart des solvants organiques. Le seuil olfactif est de l'ordre de 0,2 ppm [36].

Le toluène est un constituant naturel du pétrole et du charbon. Tout le toluène présent dans le carburant essence provient du procédé normal de raffinage et de transformation du pétrole brut. Sa teneur moyenne dans l'essence est de l'ordre de 8,3% [2, 36].

Pour les utilisations industrielles, le toluène est extrait du pétrole par déshydrogénation catalytique des fractions renfermant du méthylcyclohexane. Le toluène de qualité technique est pur à 98% et il contient jusqu'à 2% de xylènes et de benzène [37]

La principale utilisation du toluène est la production du benzène par le procédé d'hydrodésalkylation. Il est par ailleurs utilisé comme solvant dans les peintures, les vernis, les adhésifs, etc. [37].

Sa production mondiale est estimée à plus de 6 millions de tonnes par an ; les USA en produisent environ le tiers. Ces chiffres ne tiennent pas compte du toluène contenu dans les carburants et consommé dans les activités de transport [37].

II.2.2 Les sources d'émission

La principale source d'émission naturelle du toluène est donnée par la combustion incomplète dans les feux de forêts. Comme le toluène présente une pression de vapeur relativement élevée et une solubilité modérée dans l'eau, l'atmosphère influe beaucoup sur sa répartition. C'est ainsi qu'on estime que 99% du toluène rejeté dans l'environnement devraient être présents dans l'atmosphère, le reste est distribué dans l'eau et le sol [38, 39].

Dans les pays industrialisés, les principales sources du toluène dans l'atmosphère sont les solvants utilisés dans les procédés industriels et les activités de transport. L'évaporation dans les circuits de distribution des carburants et la combustion incomplète des véhicules contribuent à environ 40% des émissions anthropiques. Des procédés industriels y contribuent à plus de 50% [37].

On estime par ailleurs qu'un véhicule émet en moyenne 120 mg/Km, soit environ le double du benzène [40].

II.2.3 Effets du Toluène sur la santé humaine

Le toluène est rapidement et efficacement absorbé à travers les poumons (environ 50 à 80 %) et une grande partie du toluène inhalé peut atteindre le cerveau avant d'être détoxiqué par le foie, siège principal du métabolisme du toluène [41].

Initialement, le toluène se répartit dans les tissus hautement vascularisés et riches en lipides comme le cerveau, les reins et le foie, mais il s'accumule principalement dans les tissus adipeux [42]. Environ 20% de la dose absorbée est expirée telle quelle par les poumons. Le reste est métabolisé principalement par oxydation en alcool benzylique, lequel est oxydé par la suite en benzaldéhyde et en acide benzoïque. La majeure partie de l'acide benzoïque est conjuguée avec de la glycine pour former de l'acide hippurique avant son élimination dans l'urine [43].

Les données relatives aux effets de l'exposition des humains au toluène proviennent d'études portant sur les effets de son utilisation abusive comme solvant ainsi que d'études épidémiologiques de travailleurs exposés [23, 44].

Les études cliniques effectuées sur les volontaires portent sur des expositions répétées assez courtes (20mn à 8 heures) ou sur des expositions répétées (6 à 7 heures par jour pendant des périodes de 3 à 4 jours ou 8 heures deux fois par semaine, pendant une période de 8 semaines) d'un nombre limité de sujets à des concentrations variant de 37,5 à 3000 mg/m³. Dans la plupart de ces études on n'a pas observé d'effets néfastes après une exposition à 375 mg/m³ ou moins, pendant des périodes uniques de 20 mn à 3,5 heures [45, 46] ou après des expositions répétées de 3 à 7 heures pendant des périodes allant jusqu'à 3 jours, d'après divers tests des fonctions neurologiques [47]. Toutefois, on signale une diminution de la fonction neurologique, une augmentation de symptômes neurologiques et une irritation des voies respiratoires chez des volontaires exposés à 375 mg/m³, 6 heures par jour, pendant 4 jours [48]. Ces effets empirent et persistent si la concentration augmente ou si l'exposition dure.

On a aussi signalé dans plusieurs études, moins fiables en raison des limites sur le plan de la conception de l'étude, des effets néfastes à des doses de toluène inférieures à 375 mg/m³ [49, 50].

En plus des effets neurologiques, on rapporte que les travailleurs de sexe féminin exposés à des teneurs de 332 mg/ m³ encourent le risque d'avortement spontané [51].

En vertu de ces études, l'OMS conclue qu'à l'inverse du benzène, le toluène n'exerce pas d'effet hématologique, ne provoque pas de leucémie et n'est pas génotoxique. Ses principaux effets aigus et chroniques sont d'ordre neurologique. La concentration limite à partir de laquelle des effets apparaissent est approximativement de 332mg/m³ [23].

II.2.4 Teneurs atmosphériques

En milieu naturel non pollué, la teneur atmosphérique en toluène est inférieure à $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [52] ; dans les sites ruraux les teneurs sont en général inférieures à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [37].

Dans les centres urbains de plusieurs villes aux USA, Canada et Europe, les teneurs moyennes varient entre 5 et $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des maxima pouvant dépasser $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [53-55].

Comme le toluène se volatilise à partir de l'essence, les concentrations ambiantes les plus élevées, $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et plus, sont enregistrées dans le voisinage immédiat des stations d'essence [53].

A Alger, lors de prélèvements ponctuels effectués en 1998, les teneurs moyennes du toluène s'élevaient à $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement en site urbain et semi-rural [56].

II.2.5 Normes et réglementation

Comme les effets nocifs du toluène n'apparaissent qu'à des teneurs très élevées beaucoup plus importantes que celles rencontrées habituellement dans l'atmosphère, le toluène n'est pas un polluant réglementé. Il existe seulement des recommandations de l'OMS. Sur la base de la concentration limite à partir de laquelle des effets nocifs apparaissent, l'OMS recommande une valeur guide de $0,26 \text{mg}/\text{m}^3$ (1 ppm) comme moyenne hebdomadaire. La valeur guide sur courte durée, moyenne et semi horaire est de $1 \text{mg}/\text{m}^3$ [23].

II.3 Généralités sur la pollution de l'air par les xylènes

II.3.1 Définition, origine et utilisation des xylènes

Les xylènes sont des composés aromatiques monocycliques constitués de deux groupes méthyles liés à un cycle benzénique (formule : $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$). On en connaît trois isomères : l'ortho ou o-xylène (1,2-diméthylbenzène), le méta -ou m- xylène (1,3-diméthylbenzène) et le para- ou p-xylène (1,4-diméthylbenzène).. Liquides volatils incolores et transparents et dégageant une odeur aromatique marquée, les xylènes possèdent une pression de vapeur relativement élevée (de 1100 à 1170 Pa à 25°C) et une solubilité modérée dans l'eau (de 160 à 220 mg/l à 25°C) [38].

Grâce aux techniques chromatographiques de routine, on peut repérer et évaluer quantitativement les xylènes. L'o-xylène se distingue nettement des autres isomères au cours des analyses chimiques, tandis que les isomères méta- et para- ne sont généralement pas séparés lors des analyses de routine. En conséquence, les résultats des analyses des

échantillons prélevés dans l'environnement donnent habituellement la concentration de l'isomère ortho- et la concentration totale des isomères méta- et para confondus

La plupart des xylènes sont obtenus par reformage catalytique du pétrole, ainsi que, comme produits secondaires du craquage des huiles lourdes et brutes. De petites quantités sont obtenues à partir des huiles légères de cokéfaction du charbon [57].

Les xylènes du commerce d'origine pétrolière renferment environ 20% de l'isomère ortho-, 44 % de l'isomère méta- et 20% de l'isomère para-, ainsi que 15 % d'éthylbenzène. Les xylènes tirés du goudron de houille renferment environ de 10 à 15 % de l'isomère ortho-, de 45 à 70% de l'isomère méta- et 28% de l'isomère para- ainsi que de 6 à 10% d'éthylbenzène [58].

Le principal débouché des xylènes purifiés est leur emploi comme antidétonants, comme solvants, dans des produits tels que peintures, vernis et autres enduits, préparations antiparasitaires, encres d'impression, colorants, colles et agents d'étanchéité, agents nettoyants, dégraissants et décapants ainsi que comme solvants d'extraction et matières premières dans l'industrie des plastiques.

En outre, les xylènes constituent une composante mineure naturelle du pétrole. On les retrouve ainsi en proportion importante dans les carburants d'essence. L'essence contiendrait environ 11% en poids de xylènes. La plus grande partie de ces xylènes est brûlée au cours du fonctionnement normal du moteur [36, 57].

II.3.2 Les sources d'émission des xylènes

L'utilisation très répandue des xylènes comme solvant (principalement dans les peintures et enduits) et leur présence à un taux appréciable dans l'essence, constituent les principales sources de contamination de l'atmosphère. On n'a pas pu retrouver l'inventaire global des émissions de xylènes dans l'atmosphère, mais pour un pays comme le Canada par exemple, on estime les émissions à environ 0,1 million de tonne/an dont 58% résulteraient des solvants et 39% des moyens de transport. L'industrie pétrolière n'y contribuerait que pour environ 1,7 % [59].

Dans le cas du trafic routier, les émissions unitaires déterminées sur un échantillon moyen de véhicules s'élèvent à 65 mg/Km et 24 mg/Km respectivement pour le (m+p)-xylène et o-xylène, soit environ 90 mg/Km pour le mélange des isomères. Ce facteur d'émission est légèrement plus faible que celui du toluène [40].

II.3.3 Effets des xylènes sur la santé humaine

L'inhalation est considérée comme la voie la plus importante d'exposition aux xylènes pour la population en général. Dans le cas des xylènes, l'exposition à l'intérieur des locaux joue un rôle important (émanation des peintures, colles, solvants de nettoyage etc.)

Les effets des xylènes sur les êtres humains ont été examinés en laboratoire, chez des volontaires, ainsi que dans des études épidémiologiques de populations professionnellement exposées. Plusieurs cas d'effets neurologiques survenus à la suite d'une exposition aux xylènes ont été signalés [60-63].

Dans plusieurs études épidémiologiques signalées, on rapporte que des travailleurs ont été exposés à des diluants et à des solvants qui renfermaient également de forts pourcentages de benzène ou de toluène ainsi que d'autres composés aromatiques. Il n'est donc pas possible, la plupart du temps, d'attribuer les effets observés aux xylènes seulement.

Des effets transitoires, légèrement négatifs, tels que le déséquilibre du corps au niveau musculaire et la baisse des temps de réaction ainsi que de l'équilibre commandé par le cerveau ont été observés par un groupe de chercheurs chez des volontaires exposés à des concentrations d'au moins $435\text{mg}/\text{m}^3$ de xylènes (100 ppm) [64-66].

Toutefois, dans d'autres études effectuées par ces mêmes chercheurs et par d'autres chercheurs, ces effets n'ont pas été observés à des concentrations supérieures [67].

L'effet des xylènes n'étant pas prouvé, même à des concentrations très élevées, l'OMS ne présente aucun rapport sur les xylènes dans ses ouvrages classiques dédiés aux nuisances des polluants organiques et inorganiques de l'atmosphère.

En vertu de ces données, les xylènes ne sont pas des polluants réglementés et l'OMS ne préconise aucune valeur guide.

II.3.4 Teneurs atmosphériques

En milieu naturel et au dessus des océans, les teneurs atmosphériques en xylènes sont inférieures à celles du toluène et du benzène. En milieu rural, l'ensemble des trois isomères accuse des teneurs allant de 0.5 à $1.7\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ [59].

En milieu urbain les teneurs en xylènes varient de 1 à $85\ \mu\text{g}/\text{m}^3$; l'o-xylène s'élève environ au $1/3$ du (m+p)-xylène [54, 68, 69].

Tout comme pour le benzène et le toluène, les teneurs les plus élevées sont observées au niveau des carrefours, dans les parkings souterrains et particulièrement au niveau des stations services où des maxima de plus de $500\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont enregistrés [53].

III. Réactivités et transformations chimiques des BTX dans l'atmosphère

Une fois émis, dilués et dispersés dans l'atmosphère, les COV et parmi eux les BTX subissent des transformations chimiques et participent à la formation de nouveaux polluants non émis directement, les polluants secondaires.

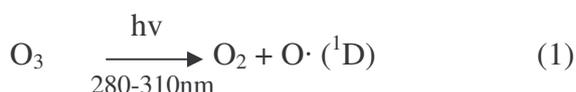
Parallèlement à leur action directe sur l'être humain, les BTX participent à la formation, par réaction dans la troposphère avec les radicaux libres, de la pollution photochimique dont l'ozone est le principal indicateur. Ils constituent avec les NO_x les précurseurs de l'ozone photochimique [70, 71].

Les BTX ont donc une durée de vie limitée dans l'atmosphère et disparaissent, selon leur réactivité, plus ou moins rapidement. Le temps de séjour dans l'atmosphère des BTX varie aussi en fonction des latitudes géographiques et en fonction des saisons. C'est en période estivale où l'activité photochimique est la plus intense qu'on rencontrera les plus faibles teneurs [72].

La disparition des BTX de l'atmosphère résulte principalement de leur réaction avec les radicaux atmosphériques OH[•] [73, 74].

III.1 Origine des radicaux OH[•]

La formation des radicaux OH[•], dont l'importance dans la chimie de la troposphère a été reconnue au début des années 1970, résulte de la photodissociation de l'ozone troposphérique [73, 74].



(O[•] (¹D)) : oxygène atomique à l'état excité)

L'oxygène atomique réagit ensuite avec la vapeur d'eau pour donner les radicaux OH[•] :



On estime ainsi qu'aux latitudes moyennes, la concentration des radicaux OH[•] est de l'ordre de 1 à 2. 10⁶ cm⁻³ [73].

Cette concentration est largement suffisante pour oxyder le CO, le méthane CH₄ et les COV.

III.2 Mécanisme de réaction du radical OH[•]

Sur les BTX, le radical OH[•] réagit selon deux mécanismes : soit par enlèvement d'un hydrogène en fin de chaîne, soit par réaction d'addition sur le cycle benzénique. Dans le

premier cas, on peut obtenir un phénol ou des composés dicarboxylés. Dans le second cas, l'addition donne un composé carbonyle benzénique conjugué (par exemple du benzaldéhyde à partir du toluène). On suppose que la seconde voie est prépondérante dans la réaction entre $\text{OH}\cdot$ et le toluène [75-76]

A titre d'exemple nous présentons ci-après la réaction de $\text{OH}\cdot$ avec le toluène.

a) Réaction de $\text{OH}\cdot$ avec le toluène par enlèvement d'hydrogène [74-76].



Ce radical alkyl conduit ensuite à un carbonyle par le mécanisme suivant

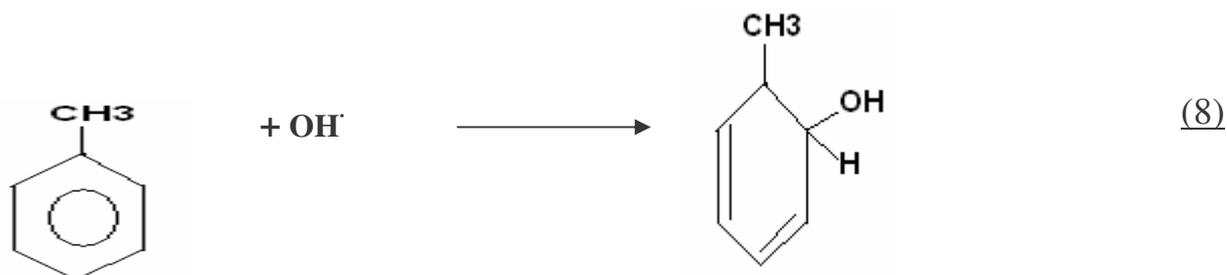


Enfin le radical $\text{OH}\cdot$ est régénéré par la réaction :



b) L'addition du radical $\text{OH}\cdot$ au toluène [74-76].

Elle se fait selon le mécanisme réactionnel suivant



Vis-à-vis de la photooxydation, les BTX n'ont pas la même réactivité, le benzène est le moins réactif et les xylènes sont les plus réactifs.

La réactivité des BTX avec le radical OH· calculée par rapport à celle du méthane (très peu réactif) est donnée en tableau n° 2 [77].

Tableau.n°2. Réactivité des BTX, par rapport au méthane, avec le radical OH' [78].

Composé	Réactivité (par rapport au méthane)
Benzène	250
Toluène	1346
p-Xylène	1530
o-Xylène	1750
m-Xylène	2920

Le benzène accuse ainsi la plus faible vitesse de disparition de l'atmosphère.

Les vitesses de réaction des BTX ont pu être calculées sous diverses latitudes géographiques (Tableau n°3). A Rome, par exemple, la vitesse de réaction du benzène avec les radicaux OH a été estimée à $1.2 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ [72]. Pour cette ville, on a pu estimer les constantes de vitesse relatives au benzène (Tableau n°3).

Tableau. n° 3. Vitesses de réaction des composés aromatiques par rapport au benzène [72].

Composé	benzène	toluène	Ethyl-benzène	p-xylène	o-xylène	m-xylène	Triméthylbenzène	1,3,5-triméthylbenzène
Vitesse relative de réaction	1	4.8	6.2	9.2	10	17.5	33.0	52.0

La réactivité des BTX gouverne par ailleurs leur durée de vie dans l'air ambiant.

Dans les latitudes septentrionales et pour les concentrations de radicaux OH· rencontrées habituellement dans les villes, on a évalué à 9 jours la demi-vie du benzène [75].

Selon divers calculs, la durée de vie des xylènes dans la troposphère varie de 0.5 à 1.5 jours. La durée de vie du toluène est intermédiaire entre celle du benzène et des xylènes [75, 79, 80]. Enfin signalons que les BTX n'interviennent pas dans l'amincissement de la couche d'ozone à cause de leur durée de vie relativement courte qui ne leur permet pas d'arriver jusqu'à la stratosphère à 30-40 km d'altitude. Ils ne participent pas aussi aux phénomènes de réchauffement de la planète car ils n'absorbent pas le rayonnement infrarouge dans la fenêtre atmosphérique 7 à 12 μm où sont actifs les gaz à effet de serre comme le CO_2 , le méthane et les CFC.

IV. Classification des sites de mesure et technique utilisée dans le prélèvement et l'analyse des BTX.

IV.1- classification et critères d'implantation des stations de mesure de la qualité de l'air

Dans toute stratégie de surveillance de la qualité de l'air, il faut en fonction de l'objectif fixé, information de la population, réduction des risques pour l'homme, protection de la végétation, etc., choisir le site le plus adéquat.

En Europe, l'expérience réalisée sur le terrain pendant plusieurs années a montré que pour caractériser la qualité de l'air il faut considérer un ensemble de situation correspondant à divers types de sites de mesure. Les divers sites sont regroupés en classes homogènes. Une telle classification simplifie l'exploitation des résultats des données à l'échelle nationale et internationale. Elle permet également d'homogénéiser les critères d'implantation des stations de surveillance.

En France et d'une manière générale en Europe, on a retenu la classification donnée en tableau n°4 [81].

Pour l'étude de la pollution dans les grandes agglomérations, on a, en général recours à trois types de stations : urbaine, périurbaine et station trafic (tableau n°4). Ces trois classes de stations décrivent de manière suffisante l'exposition des populations aux différentes sources et niveaux de pollution dans les villes. Les caractéristiques de ces trois classes sont données en tableau n° 5, 6 et 7 [81].

**Tableau. n°4. Classification des stations de surveillance de la qualité de l'air en Europe
[81]**

Station de fond réalisant un suivi de l'exposition moyenne des personnes et de l'environnement	Station urbaine	Suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » dans les centres urbains.
	Station périurbaine	Suivi de la pollution photochimique notamment l'ozone et ses précurseurs et éventuellement les polluants primaires et suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » à la périphérie du centre urbain.
	Station rurale régionale	Surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de "fond" notamment photochimique à l'échelle régionale. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et notamment dans les zones rurales.
	Station rurale nationale	Surveillance dans les zones rurales de la pollution atmosphérique dite de "fond" issue des transports de masses d'air à longue distance, notamment transfrontaliers.
Stations de proximité	Industrielle	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum auquel la population riveraine d'une source fixe est susceptible d'être exposée, par des phénomènes de panache ou d'accumulation.
	Trafic	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée
	Station d'observation spécifique	Besoins spécifiques tels que l'aide à la modélisation ou la prévision, le suivi des émetteurs autres que l'industrie ou la circulation automobile (pollution de l'air d'origine agricole...), le maintien d'une station "historique" etc.

Tableau. n°5. Caractéristiques d'une station urbaine de surveillance de la qualité de l'air [81]

Objectif	Suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits "de fond" dans les centres urbains.																
Polluants mesurés recommandés	NOx, PM-10, O ₃ , SO ₂ et composés organiques volatils, sous condition de niveaux pertinents.																
Type de zones	Pôles urbains.																
Type d'émetteur	<p>Les sources responsables sont plutôt du type surfacique et multi-émetteur. Les émetteurs se situent à l'intérieur de l'aire urbaine et sont les principaux facteurs de pollution atmosphérique. La station ne se trouve pas sous l'influence dominante ou prépondérante d'une source industrielle, sauf si la densité de population dans un rayon de 1 Km est supérieure à 4 000 hab / Km².</p> <p>La distance aux voies de circulation routière dépend de la densité du trafic exprimé en véhicules/jour, la distance étant prise de la verticale du point de prélèvement au bord de la première voie de circulation, voie de bus ou de stationnement.</p> <table border="1" data-bbox="481 853 1369 1223"> <thead> <tr> <th>Densité du trafic (Veh/jour)</th> <th>Distance minimale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><1000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 000 à 3 000</td> <td>10 m</td> </tr> <tr> <td>3 000 à 6 000</td> <td>20 m</td> </tr> <tr> <td>6 000 à 15 000</td> <td>30 m</td> </tr> <tr> <td>15 000 à 40 000</td> <td>40 m</td> </tr> <tr> <td>40 000 à 70 000</td> <td>100 m</td> </tr> <tr> <td>>70 000</td> <td>200 m</td> </tr> </tbody> </table> <p>Les distances proposées ne tiennent pas compte des contraintes topographiques locales et de possibles effets d'écran. Il conviendra également de prendre en compte le nombre de voies ainsi que la densité du trafic et de la vitesse.</p> <p>Par ailleurs, les stations service, garages de réparation automobile, parkings importants etc. doivent être à plus de 200 m. Les gares routières, stations taxis ou de bus doivent être à plus de 100 m.</p>	Densité du trafic (Veh/jour)	Distance minimale	<1000		1 000 à 3 000	10 m	3 000 à 6 000	20 m	6 000 à 15 000	30 m	15 000 à 40 000	40 m	40 000 à 70 000	100 m	>70 000	200 m
Densité du trafic (Veh/jour)	Distance minimale																
<1000																	
1 000 à 3 000	10 m																
3 000 à 6 000	20 m																
6 000 à 15 000	30 m																
15 000 à 40 000	40 m																
40 000 à 70 000	100 m																
>70 000	200 m																
Densité de population	<p>Il s'agit du critère principal pour ce type de station.</p> <table border="1" data-bbox="466 1556 1417 1742"> <tbody> <tr> <td>Agglomérations <500000 habitants</td> <td>3 000 hab. /km²</td> </tr> <tr> <td>Agglomérations >500 000 habitants</td> <td>4 000 hab. /km²</td> </tr> </tbody> </table> <p>Note : Pour les zones urbaines n'atteignant pas ces densités, il est recommandé de rechercher un site représentatif de la densité maximale de population de l'agglomération surveillée.</p>	Agglomérations <500000 habitants	3 000 hab. /km ²	Agglomérations >500 000 habitants	4 000 hab. /km ²												
Agglomérations <500000 habitants	3 000 hab. /km ²																
Agglomérations >500 000 habitants	4 000 hab. /km ²																
Validation à posteriori	<p>Le rapport R de la moyenne annuelle de monoxyde d'azote sur celle de dioxyde d'azote, exprimées en ppb (particules par milliard), doit être inférieur à 1,5 :</p> $R = \frac{[NO]}{[NO_2]} < 1,5$																

Tableau. n°6. Caractéristiques d'une station trafic de surveillance de la qualité de l'air [81]

L'objectif	L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population, située en proximité d'une infrastructure routière, est susceptible d'être exposée.
Polluants mesurés	Polluants recommandés : les polluants réglementés d'origine « automobile » comme CO, NOx, particules, composés organiques toxiques. Les polluants optionnels sous condition de niveaux pertinents sont les suivants SO ₂ , Pb, métaux, HAP. La mesure de l'ozone n'est pas pertinente
Type de zone	Espace urbain ou éventuellement rural (bord d'autoroute...) Ces stations se situent en priorité dans une zone représentative en termes de trafic et de population exposée (piétons, cyclicités, riverains, automobiliste). L'influence piétonnière potentielle peut être un critère de sélection
Emetteurs	La station doit être sous l'influence directe de la source linéaire, sans aucun obstacle. Il est recommandé d'éviter des configurations comme des haies d'arbre ou murs qui peuvent perturber les mesures. Ce type de station doit se situer à proximité : <ul style="list-style-type: none"> • Soit d'une voirie supportant un trafic supérieur à 10000 véhicules par jour ; • Soit d'une voie type « canyon » comportant un risque d'accumulation de population Le point de prélèvement sera situé au maximum à 5 mètres de la voie, et notamment pour les mesure des oxydes d'azote, la distance est prise de la verticale du point de prélèvement au bord de la première voie de circulation, voie de bus ou de stationnement. La hauteur de prélèvement sera comprise entre 1,5mètres et 3 mètres.

Tabl. n°7. Caractéristiques d'une station périurbaine de surveillance de la qualité de l'air [81]

Objectif	Suivi de la pollution photochimique notamment l'ozone et ses précurseurs, et éventuellement les polluants primaires et suivi du niveau moyen d'exposition de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits "de fond" à la périphérie du centre urbain.
Polluants mesurés	Polluants recommandés : NO _x , O ₃ , précurseurs photochimiques. Polluants optionnels sous condition de niveaux pertinents : SO ₂ , PM10, autres polluants.
Type de zones	Couronne périurbaine ou périphérie intérieure du pôle urbain. Ce type de stations doit être situé dans une zone où les conditions favorables d'un épisode photochimique sont remplies et représentatives du risque individuel d'exposition des populations à des valeurs supérieures aux seuils de protection de la santé
Émetteurs	Les principes applicables aux stations urbaines s'appliquent sans modification aux stations périurbaines.
Densité de population	Il est recommandé de rechercher un site représentatif de la densité maximale de population de la zone surveillée.
Validation à posteriori	Le rapport R de la moyenne annuelle de monoxyde d'azote sur celle de dioxyde d'azote doit être inférieur à 1,5 (ces concentrations sont exprimées en ppb, particules par milliard). R = [NO]/[NO₂] < 1,5

On retiendra de ces tableaux que les critères de classification les plus importants sont la densité de population, la distance aux axes routiers et le rapport des concentrations [NO]/[NO₂].

IV.2 Les méthodes de prélèvement et d'analyse des BTX

Pendant très longtemps, les mesures des Hydrocarbures Aromatique Monocyclique en général et des BTEX (E= éthylbenzène) en particulier, se faisaient uniquement par voie manuelle et de manière discontinue (une fois par semaine par exemple). Après prélèvement sur site, l'analyse se fait alors à posteriori au laboratoire. Ce n'est que récemment vers la fin des années 90 que sont apparus sur le marché des analyseurs automatiques de BTEX travaillant en continu. Ces derniers sont alors installés avec les autres analyseurs des polluants classiques : CO, NO_x ; O₃, hydrocarbures totaux...) dans les stations de mesure.

Nous examinerons dans ce qui suit les principes généraux des deux techniques de mesure.

IV.2.1 Mesure manuelle des BTX

L'échantillonnage consiste en un prélèvement dans l'air ambiant et préconcentration des polluants sur un tube garni de charbon actif ; c'est l'adsorption des polluants sur un support solide approprié.

Il existe trois types de prélèvement.

- a) Prélèvement passif par échantillonneur diffusif : l'échantillonneur diffusif radial est constitué de deux tubes concentriques :
 - un tube externe en polyéthylène microporeux au travers duquel diffusent les composés gazeux
 - un tube interne en tamis cylindrique en acier inoxydable rempli de l'adsorbant.

La masse du composé collecté au cours du temps est donnée en fonction des caractéristiques du capteur, du coefficient de diffusion du gaz et de la concentration du composé dans l'atmosphère d'après l'équation $dm/dt = D.S.dC/dt$

Où dm représente la masse du polluant piégé pendant le temps dt et D est le coefficient de diffusion du polluant considéré ; S : Surface diffusive [82, 83, 84].

L'échantillonneur diffusif ne nécessite donc pas l'emploi d'une pompe d'aspiration d'air et son installation sur site n'est pas liée à la disponibilité de courant électrique.

Par cette technique la durée de prélèvement est de l'ordre d'une semaine ou plus. La méthode est souvent utilisée pour balayer un espace très large et accéder à une cartographie de la pollution dans une région donnée. Elle donne des précisions d'orientations quant au choix du site pour l'implantation de stations fixes de surveillance en continu de la pollution.

b) Prélèvement dynamique sur tube de charbon actif : c'est une méthode qui est largement utilisée dans l'étude des BTEX [85]. Elle consiste à aspirer à l'aide d'une pompe à débit constant, l'air à analyser à travers un tube garni de charbon actif. Il y a concentration du polluant sur l'adsorbant.

La teneur dépend du débit d'aspiration et de la durée de prélèvement. Dans les milieux urbains plus ou moins fortement pollués, le débit est de l'ordre de 0.2 l/mn et la durée de prélèvement est de l'ordre de 4 heures. Des débits et durée plus élevée peuvent conduire au point de perçage (saturation du tube) [85].

Que le prélèvement se fasse par voie passive ou dynamique l'échantillon subit, après prélèvement une désorption chimique au laboratoire dans le solvant CS₂. La séparation et l'analyse des BTX se fait ensuite par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GPG-FID) ou par couplage à la spectroscopie de masse (CPG-MS) [85 - 88].

L'échantillon prélevé peut aussi être désorbé par voie thermique. Dans ce cas l'appareil CPG doit être muni de l'unité de désorption thermique. Cette dernière méthode jouit d'une grande sensibilité et a l'avantage de ne pas consommer du CS₂ qui est d'usage très délicat [86, 87].

c) Prélèvement d'air complet

Cette technique très répandue aux USA est utilisée lorsqu'on s'intéresse au prélèvement et à l'analyse de l'ensemble des COV de faibles poids moléculaires (C₂-C₈). Cette méthode américaine (EPA-TO-14-VOCs in ambient air by canister) utilise pour le prélèvement des récipients sous forme de bonbonnes métalliques (canister de type SUMMA) en acier inoxydable d'environ 6 L de volume [89, 90]

Le débit d'admission d'air à la bombonne est de l'ordre de 10 à 15 ml/mn. Après une préconcentration cryogénique à -150°C suivie d'un réchauffement rapide, les gaz sont acheminés par l'intermédiaire d'un gaz vecteur vers l'appareil CPG-MS où aura lieu la séparation et l'analyse des COV et des BTX [87, 89].

IV 2.2. Mesure automatique des BTX

Pour le prélèvement et dosage quasi-instantané et en continu des BTX ou BTEX, deux types d'appareils ont été récemment développés.

Le premier appareil est en fait un appareil CPG spécifique aux BTEX ; après prélèvement, il y a séparation des différents composés et détection par ionisation de flamme. L'échantillonnage se fait automatiquement en continu avec des cycles de mesure de 15 ou 30 minutes. De tels appareils, sont commercialisés par la firme Environnement SA-France.

Le deuxième appareil qui est dédié à l'analyse en continu des BTX dans l'air ambiant est basé sur le principe de l'excitation électronique en UV des composés aromatiques. Les composés benzène, toluène et xylène ont des spectres d'absorption UV caractéristiques qui permettent leur mesure par spectrophotométrie UV. Les BTX sont concentrés sur adsorbant puis désorbés thermiquement. Cet appareil ne diffère en fait du premier que par le système de détection.

C'est cet appareil que nous avons utilisé lors de ce travail. Nous le décrirons plus en détails dans le chapitre suivant.

V- Méthodologie expérimentale

En pollution atmosphérique, les niveaux de contamination varient dans l'espace et dans le temps, en fonction de la répartition des sources et en fonction des conditions météorologiques et topographiques. Les conséquences d'un taux élevé de pollution vont dépendre de la densité de la pollution au point de mesure et de la nature des écosystèmes.

Pour ces raisons, un suivi de la qualité de l'air ambiant n'est guère interprétable si on ne décrit pas précisément les conditions dans lequel il a été obtenu.

Ce n'est qu'en fonction des caractéristiques du site étudié, de la technique de mesure, sa fiabilité et ses limites, qu'une valeur isolée obtenue en un point précis d'une région et à un moment donné, peut être comparée aux normes et à d'autres résultats mesurés en d'autres régions ou en d'autres périodes.

Aussi, nous nous attelons dans ce chapitre à décrire le site d'étude et la technique de mesure utilisée dans cette étude

V.1- Description et classification du site de mesure

Dans le cadre de la mise en place en avril 2002 du réseau de surveillance de la qualité de l'air baptisé « SAMASAFIA », le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) a installé à travers Alger quatre stations de mesure. Parmi ces stations installées, seule la station de Ben Aknoun a été équipée d'un analyseur automatique de BTX.

Dans l'idée du MATE, ce site situé à la limite jouxtant le laboratoire d'analyses du MATE (figure n°2) devait initialement être un site urbain de fond, voire même un site de référence non exposé à la pollution.

Toutefois, la caractérisation fine de ce site et la comparaison avec la classification européenne des sites de mesure (Tableau. n°4) que nous avons mené au début de nos travaux a montré que ce site était difficile à classer : il ne s'agit en fait ni d'un site urbain et encore moins d'un site de référence, ni d'un site de proximité (site station trafic). En effet l'étude des principaux paramètres de classification de ce site donne :

1- La densité de population dans un rayon de 1 Km autour de la station est inconnue. Le site se situe toute fois à proximité du parc zoologique dans un périmètre qui n'est pas habité sur un rayon d'environ 200 m dans les directions Ouest, Est et Nord et sur un rayon de plus d'un kilomètre dans la direction Sud (figure n°2 et photo n° 1). Avec une population estimée à

19400 habitants répartie sur une superficie de 3,84 Km² [91], la commune de Ben Aknoun n'est pas fortement peuplée (densité de population d'environ 5000 hab./ Km²).

On note par ailleurs l'absence de toute affluence piétonnière à proximité de ce site.

- Dans les directions Ouest, Nord et Est, la rocade sud d'Alger (Figure n°2 et photo n° 2) ceinture à une distance d'environ 120 m le site de mesure.

Cette rocade est fréquentée par un important trafic routier qu'on estime à 42000 véhicule/jour [92].

Les mesures des teneurs atmosphériques en NO_x que nous avons relevées parallèlement à l'étude des BTX sur une durée de 3 mois (avril à juin 2002) donnent un rapport NO/NO₂ qui s'élève à 1,8. Ce rapport est supérieur au rapport limite de 1,5 qui caractérise un site urbain (tableau n°5).

En résumé, on peut dire que le site de mesure est implanté dans la couronne périurbaine d'Alger où il y a discontinuité du bâti, une faible densité de population exposée et un fort taux de monoxyde d'azote, NO, issu des émissions de la rocade sud d'Alger.

Sur la base de ces données et en comparaison avec la classification européenne donnée en tableaux n° 5, 6 et 7, nous concluons que ce site se trouve à la limite d'un site périurbain et d'un site de proximité. Nous le définissons comme étant un site périurbain influencé par les émissions du trafic routier.

Vue Sud



Vue Nord



Vue Est



Vue Ouest



Photo n°1. Station de Ben Aknoun et différentes vues du voisinage immédiat du site de mesure



Photo n°2 : Station de mesure de Ben Aknoun et vue sur la rocade sud

V.2.- Prélèvement et analyse des BTX

Le suivi des BTX à Ben Aknoun a été effectué à l'aide de l'analyseur BTX 2000G qui a été conçu pour les mesures en continu dans l'air ambiant par la société SERES-France. Cet analyseur est dès le départ configuré par le fournisseur pour mesurer en continu le benzène, le toluène et l'isomère p-xylène.

V.2.1 Principe de mesure

Le principe de mesure des BTX par l'analyseur BTX 2000G repose sur trois principales étapes :

- L'adsorption
- La désorption thermique
- La détection

L'air à analyser est prélevé à 3m d'altitude à un débit de 1 l/mn. Les polluants BTX ainsi prélevés sont ensuite adsorbés sur les tubes garnis de « carbotrop ». Le carbotrop est un support solide de carbone graphite de surface spécifique = $100 \text{ m}^2/\text{g}$ (marque Supelco) qui est bien adapté à l'adsorption – désorption thermique des BTX ; Il n'absorbe pas l'eau et les polluants de type SO_2 , NO_x , O_3 etc. et accepte des temps de contact très courts, autorisant ainsi des débits d'échantillonnages élevés et un bon facteur d'enrichissement.

A la fin du cycle d'adsorption, on entame la désorption thermique des BTX pièges.

La désorption thermique a lieu vers 250-280°C et le temps de chauffe est de 5mn.

Les gaz désorbés sont transférés dans une cellule de mesure maintenue sous vide où a lieu la détection. La technique d'adsorption - désorption thermique permet ainsi d'avoir un gain de sensibilité de 2500 (concentration BTX dans la cellule UV/Concentration BTX dans l'air ambiant) [93].

Le système de détection consiste en un spectrophotomètre d'absorption UV. Les polluants benzène, toluène et xylène ont entre 220 et 280 nm des spectres d'adsorption UV intenses et caractéristiques qui permettent selon le facteur d'enrichissement donné plus haut, leur détection dans l'air ambiant à des teneurs inférieures au ppb [93]. Nous présentons en Annexe II le principe de calcul des concentrations et les spectres UV des BTX enregistrés par l'appareil.

L'étalonnage de l'appareil est réalisé à l'aide de mélange de gaz obtenus par un système à double dilution (mélange initial de 100 ppm de marque LNI le SONIMIX 3002). Pour générer des mélanges étalons précis, la double dilution est pilotée par ordinateur.

Le diluteur permet d'avoir des mélanges avec des concentrations de 0.1 ppp à 10 ppm pour chacun des gaz.

La figure n°3, illustre le schéma de principe de l'analyseur BTX 2000G [93]

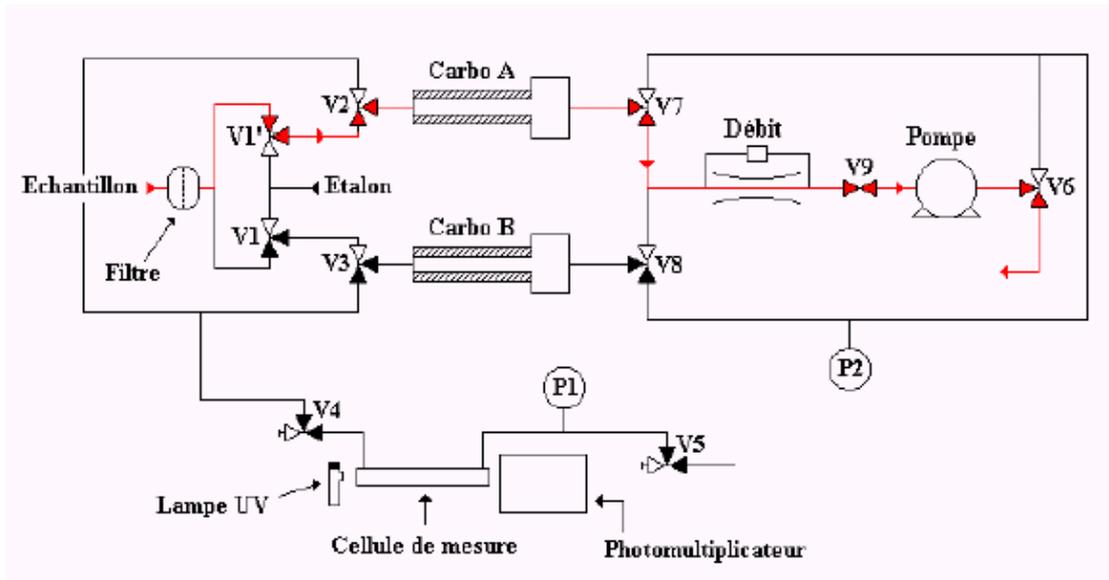


Fig. n°3 : Schéma de principe de l'analyseur BTX [94].

Comme illustré sur la figure n°3, l'analyseur est doté de deux cartouches d'adsorption travaillant en alternance. Pendant qu'une cartouche est en mode d'adsorption, l'autre est en désorption en liaison avec la cellule UV, de façon qu'on puisse avoir des teneurs sur des cycles de mesure quart horaire.

Le spectrophotomètre utilise comme monochromateur une barrette de 2048 photodiodes sur l'intervalle 220-300nm avec une résolution de 0.12nm.

Pour le traitement des données spectrales (absorbance en fonction de la concentration), la méthode des moindres carrés partiels, connue sous le nom de partial least square (PLS), est utilisée. Cette méthode PLS d'analyse des facteurs est un outil puissant qui traite les données sur des moyennes de 1500 spectres en 2 mn. Le traitement et l'analyse multi-composants sont nécessaires car les spectres UV des BTX présentent des chevauchements.

Le PLS permet ainsi d'invalider les données douteuses et de montrer par exemple la présence d'éventuels interférents absorbant dans l'UV et qui n'auraient pas été pris en compte dans le modèle d'étalonnage. L'analyseur opéré ainsi un autocontrôle de l'analyse.

Les teneurs atmosphériques en BTX ainsi mesurées sont affichées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'analyseur. La sensibilité de l'appareil est de $0,15\mu\text{g}/\text{m}^3$ [93, 94].

V.2.2. Acquisition des données

L'analyseur BTX se trouve à l'intérieur d'une station ou baie d'analyse (photo n°3) qui en plus de cet analyseur est équipé d'autres analyseurs de polluants.



Photo. n°3 : Baie d'Analyse de la station de surveillance de BENA KNOUN

Les résultats obtenus sont transmis à une station d'acquisition et moyennés en teneurs horaires ou plus. Le poste central informatique situé au siège du MATE interroge toutes les ½ heures, via une ligne téléphonique, la station d'acquisition. Les données récupérées sont alors validées et exploitées. Elles peuvent être éventuellement divulguées sous forme compréhensible aux médias pour information du large public.

La figure n°4 illustre le cheminement suivi par la mesure, depuis le prélèvement jusqu'à l'information des médias.

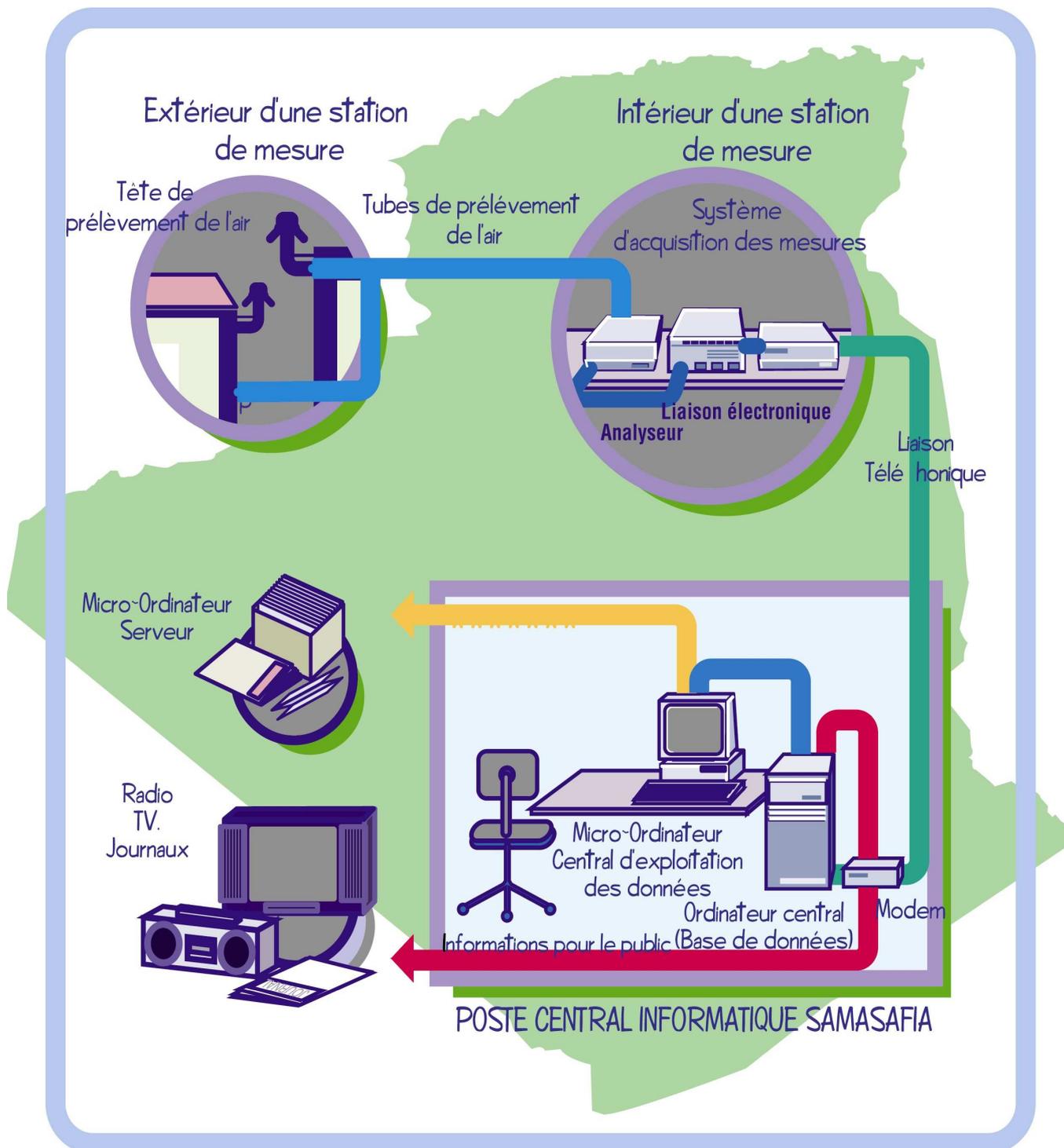


Fig. n°4. Cheminement suivi par la mesure, depuis le prélèvement jusqu'à l'information des médias.

V.3 Mesure des facteurs météorologiques

Dans le réseau de surveillance d'Alger et afin de suivre l'influence des facteurs météorologiques sur la pollution, chaque station de mesure est équipée d'une centrale météorologique pour la mesure de 3 facteurs météorologiques :

-Direction et vitesse du vent

- Humidité

-Température

A BENAÏNOUN, la petite station météo de marque R.M. YOUNG.WA (photo n°1) enregistre des données toutes les 15 minutes.

Les données des paramètres météo relevées par la station nous permettent d'élaborer la rose des vents ainsi que la rose de pollution qui illustre la répartition de l'intensité de la pollution dans toutes les directions.

VI- Résultats et discussion

L'évolution de la pollution de l'air par les trois polluants benzène, toluène et p-xylène (BTX) à Ben Aknoun a été effectuée sur une durée de 148 jours répartis sur 8 mois d'avril à novembre 2002. Pour des raisons d'ordre technique (arrêt de l'appareil, étalonnage défectueux, etc.) les teneurs mesurées durant les autres journées de la période étudiée n'ont pas été validées.

Pour faciliter l'interprétation des résultats et la comparaison avec les normes, les teneurs relevées toutes les 15 minutes par l'analyseur seront exploitées sous forme de moyenne horaire.

VI.1 Evolution journalière des teneurs atmosphériques et ampleur de la pollution

A titre d'exemple, nous présentons en figures n°5 et 6 l'évolution des teneurs horaires du benzène, toluène et p-xylène mesurées respectivement le 25/07/02 et le 21/10/02.

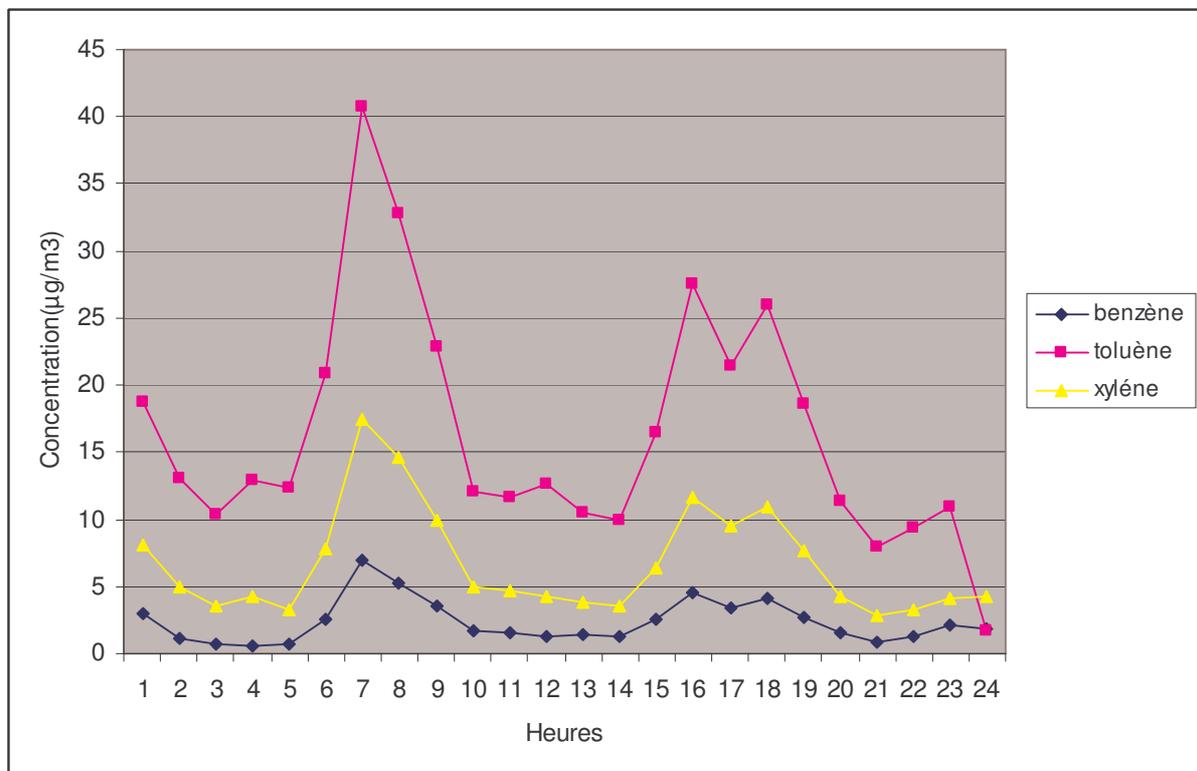


Fig. n°5 : Evolution journalière des teneurs horaires de BTX mesurées le 25/07/02 à Ben Aknoun

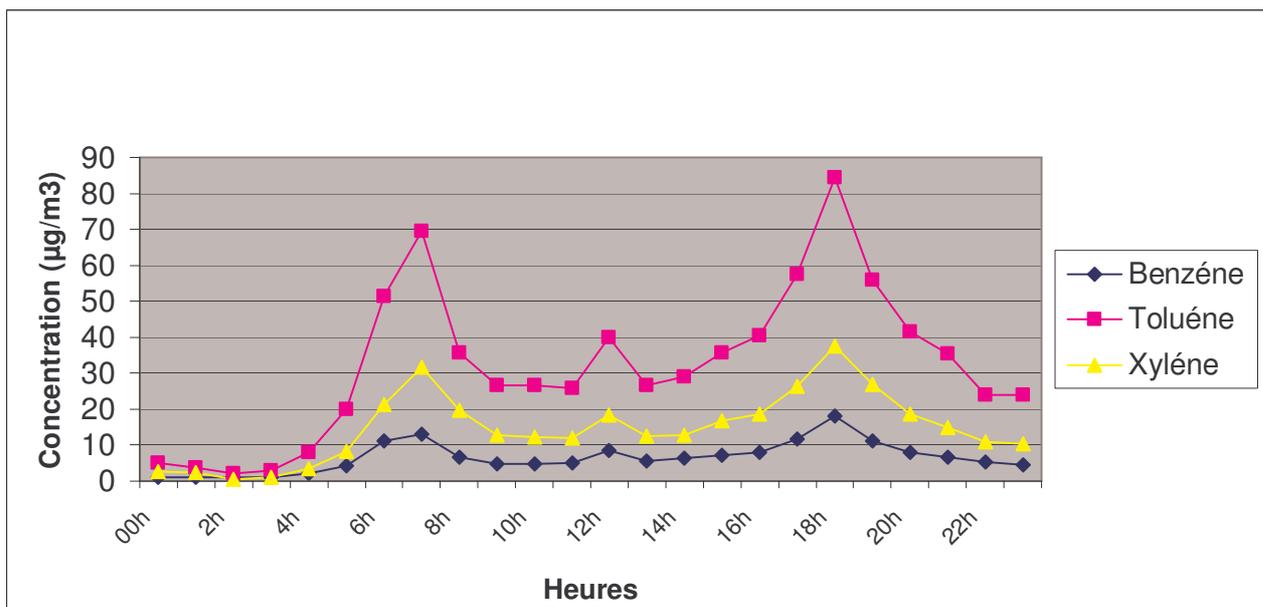


Fig. n°6 : Evolution journalière des teneurs horaires de BTX mesurés le 21/10/02 à Ben Aknoun

Comme c'est souvent le cas en pollution atmosphérique, on note une importante variation temporelle au cours d'une même journée et d'une journée à une autre.

Nous résumons en tableau n° 8, les teneurs moyennes, les maxima, les minima et les écarts-types des polluants étudiés.

Tableau. n°8. Teneurs moyennes, maxima et minima des BTX mesurés à Ben Aknoun

Paramètres	Benzène	Toluène	p-Xylène
Moyenne (µg/m ³)	4,2	23,6	9,5
Ecart-type (µg/m ³)	2,2	7,1	5,5
Maximum (µg/m ³)	20,7	98,9	45,5
Minimum (µg/m ³)	0,1	2,3	0,1

L'évolution journalière moyenne ou cycle diurne moyen des trois polluants mesurés sur l'ensemble de la période étudiée (avril à novembre 2002) est illustrée en figure n°7.

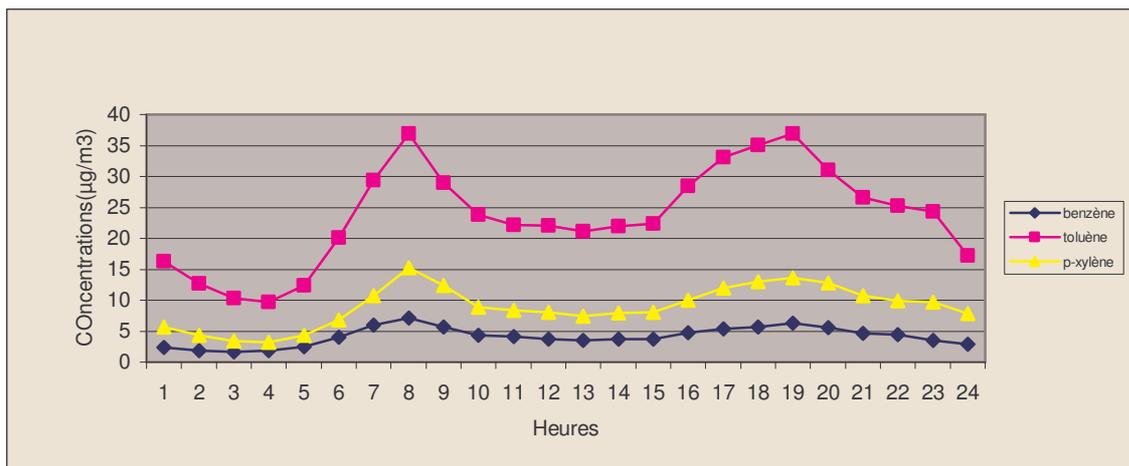


Fig. n°7. Evolution moyenne journalière pour le benzène, toluène et p- xylène durant la période du mois d'avril au mois de novembre 2002

Les teneurs en benzène varient de 0,1 à 20,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la teneur moyenne s'élève à 4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Parmi les trois polluants, le toluène est le composé le plus abondant. Il accuse une teneur moyenne de 23,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour l'isomère p-xylène, les teneurs observées se situent entre celles du benzène et du toluène.

A partir des données individuelles de ces trois polluants, on calcule un niveau global de pollution par les BTX qui atteint en moyenne 37,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'examen du profil journalier moyen (Figure n°7) montre qu'à Ben Aknoun, les trois BTX accusent deux pics importants, l'un en début de matinée vers 8 heures et l'autre en fin de journée vers 18-19heures. On observe parfois aussi un léger pic en milieu de journée. Ces pics peuvent être expliqués par l'influence des émissions du trafic routier de la rocade sud d'Alger. L'intense trafic routier qu'on observe aux heures de pointe engendre au site de mesure des teneurs en BTX très élevées qui avoisinent le double des teneurs journalières moyennes.

Durant l'après midi, l'intensification du trafic routier débute des 16 heures et persiste, surtout en période estivale, au de là de 16 heures (retour des estivants des plages de l'Ouest d'Alger) ce qui explique le large pic observé dans l'évolution journalière.

Ainsi, le cycle diurne des BTX décrit d'une manière assez fidèle les fréquences des déplacements motorisés sur la rocade sud d'Alger. De similaires évolutions journalières des BTX ont été par ailleurs observées dans plusieurs villes européennes [95-97].

On note par ailleurs que les trois polluants évoluent au cours de la journée dans le même sens ; les maxima et minima des trois espèces organiques appariassent au même horaire. Ce résultat suggère que ces composés ont une même source polluante, en l'occurrence le trafic routier, et subissent les mêmes effets de dispersion.

En termes d'ampleur de pollution, les niveaux relevés en ce site périurbain, qui subit l'influence des émissions du trafic routier, ne sont pas très élevés. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en 1998 à Reghaia (est d'Alger) et nettement inférieurs à ceux observés en plein centre ville d'Alger [56].

Une comparaison avec les données recueillies en bibliographie sur des villes de pays développés et pays émergents (tableau n°9) montre aussi que les taux mesurés à Ben Aknoun ne sont pas très alarmants. La situation serait toutefois différente si l'étude était menée en site purement urbain où les démarrages à froid et la circulation au ralenti sont plus fréquents, de même que dans les rues de type canyon où la ventilation naturelle est plus réduite. De telles conditions engendrent en effet une pollution plus intense en composés organiques volatils.

Par rapport aux normes internationales régissant le benzène, on note que l'objectif de qualité de l'air de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en vigueur en France est largement dépassé à Ben Aknoun. Le seuil limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle est toutefois respecté [30].

Les teneurs en benzène mesurées à Ben Aknoun sont par ailleurs justes à la limite du seuil de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ prescrit par la directive européenne du 16 novembre 2000 [34].

Rappelons dans ce contexte que pour l'OMS, le benzène est cancérigène et qu'il n'existe pas un seuil limite au delà duquel il n'aurait pas de risques pour la santé.

Tabl. n°9 : Teneurs en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*) des BTEX mesurées dans certaines villes

Villes et type de site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	(m,p) Xylène	o-Xylène	Réf.
USA : 13 sites dans 8 états américaines -semi rural ou faiblement urbanisé -urbaine	0,5-1,5	0,8-3,5	0,13-0,8	0,5-2,3	0,2-0,8	[98]
	0,8-3,6	1,5-0,5	0,6-2,4	1,8-5,2	0,6-1,9	
Yokohama (japon)	1,7-3,7	4,7-34,3	0,5-3,8	1,0-2,0	0,1-0,8	[97]
Séoul (Corée du sud) -urbain	3,2	24,5	3,0	10,0	3,5	[99]
Paris (France) -station trafic - station urbaine	9,8	34,9	6,1	16,4	6,1	[53]
	4,0	15,0	3,0	7,0	4,0	
Montpellier (France) -station trafic - urbain	4,2	25,8				[100]
	1,6	10,0				
Sao Paulo (brésil) Urbain et station trafic	4,6	44,8	13,3	26,1	6,9	[101]
Santiago (chili) urbain	19,5	83,5	-	46,9	16,5	[102]
Guangzhou, Nanhai et Macau (villes du Sud de la chine) urbain et station trafic	15,4-67,9	28,6-106,9	2,4-31,2	11,4 à 111,5 (les trois isomères)		[103]
Bombay (Inde) urbain	13,7	11,1	0,4	1,3	2,2	[104]
Karachi (Pakistan) urbain	18,2	27,2	-	13,5	4,8	[105]
Izmir (Turquie) Urbain	56,9	106,5	36,9	83,1	84,8	[106]
Alger - urbain - Périurbain	9,6	15,2	0,9	3,2	-	[56]
	4,2	23,6	-	9,5	-	Présente étude

(*) : Les teneurs données en ppb dans les références originales ont été converties en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

VI.2. Evolution hebdomadaire des teneurs en BTX.

Afin de vérifier si la réduction de l'intensité du trafic routier durant les jours de week-end, a un effet sur les niveaux de pollution de l'air par les BTX, nous avons exploité les données recueillies en fonction du jour de la semaine. Le tableau n°10 résume les teneurs journalières moyennes des BTX en fonction du jour de la semaine.

Tableau. n°10. Teneurs journalières moyennes des BTX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en fonction du jour de la semaine

	Samedi (n=15)	Dimanche (n=16)	Lundi (n=21)	Mardi (n=22)	Mercredi (n=21)	Jeudi (n=19)	Vendredi (n=20)
Benzène	4,1	4,3	4,6	4,4	4,4	4,6	4,1
Toluène	21,5	22,9	25,8	25,6	24,2	25,2	20,5
Xylène	8,9	9,1	10,3	9,8	9,6	10,1	8,8
BTX Totaux	34,5	36,3	41	40	38,2	40	33,4

(n représente le nombre de fois où cette journée de la semaine a été étudiée)

Les figures n° 8, 9, et 10 illustrent l'évolution hebdomadaire des teneurs en benzène, toluène et xylène respectivement. Celle de l'ensemble des BTX est présentée en figure n°11.

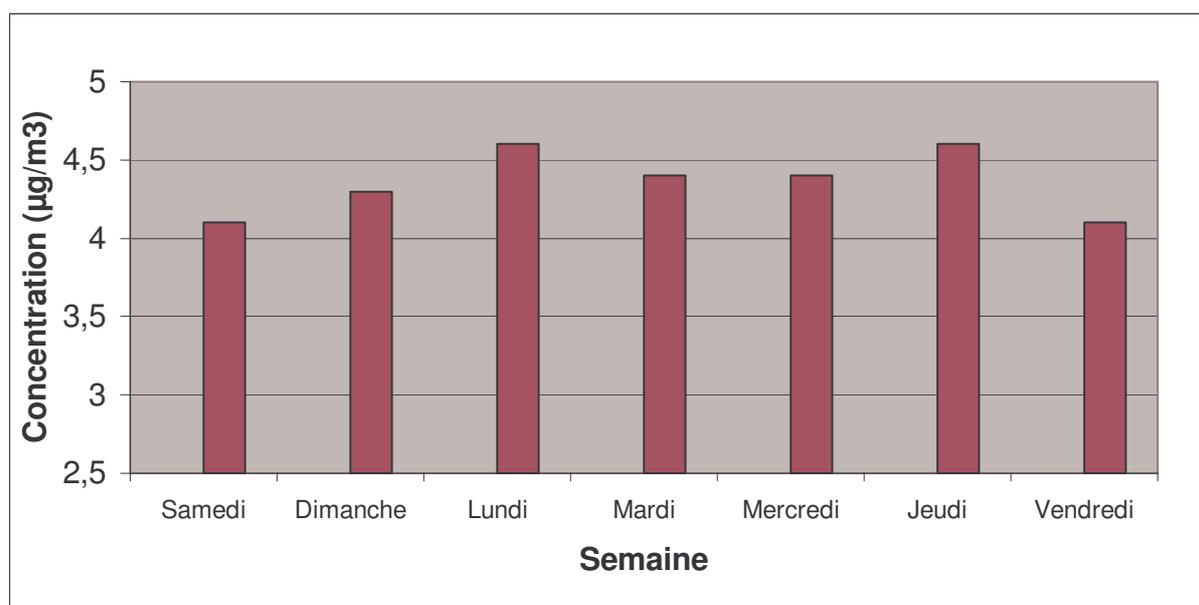


Fig. n°8. Evolution hebdomadaire des teneurs atmosphériques en benzène

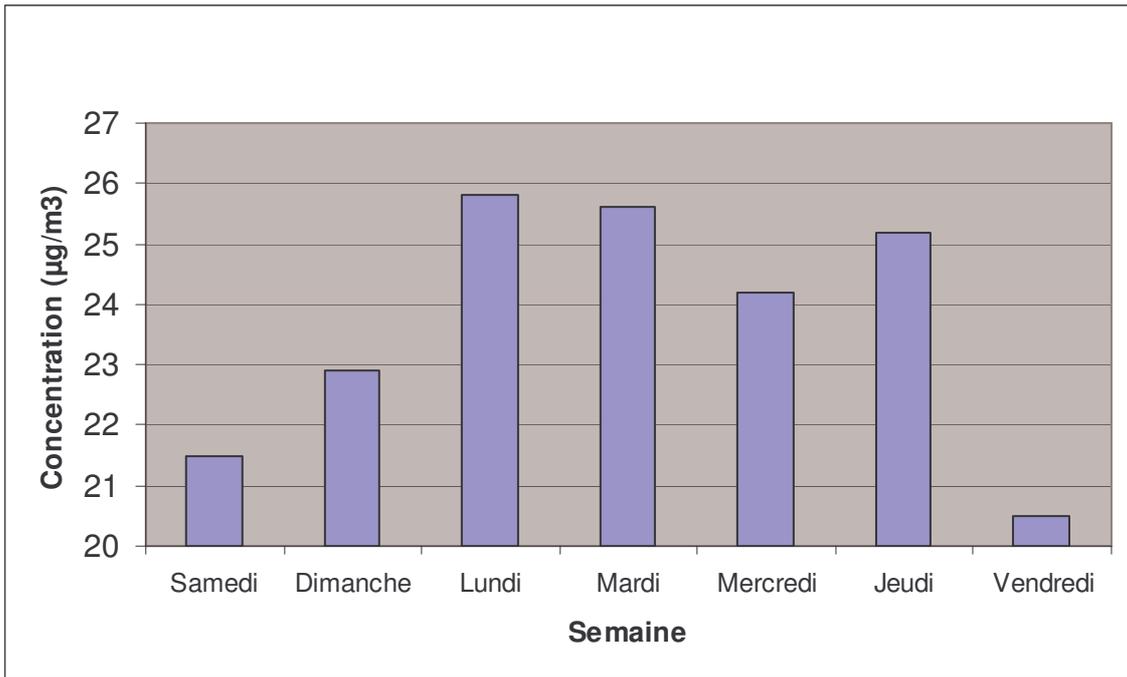


Fig. n°9. Evolution hebdomadaire des teneurs atmosphériques en toluène

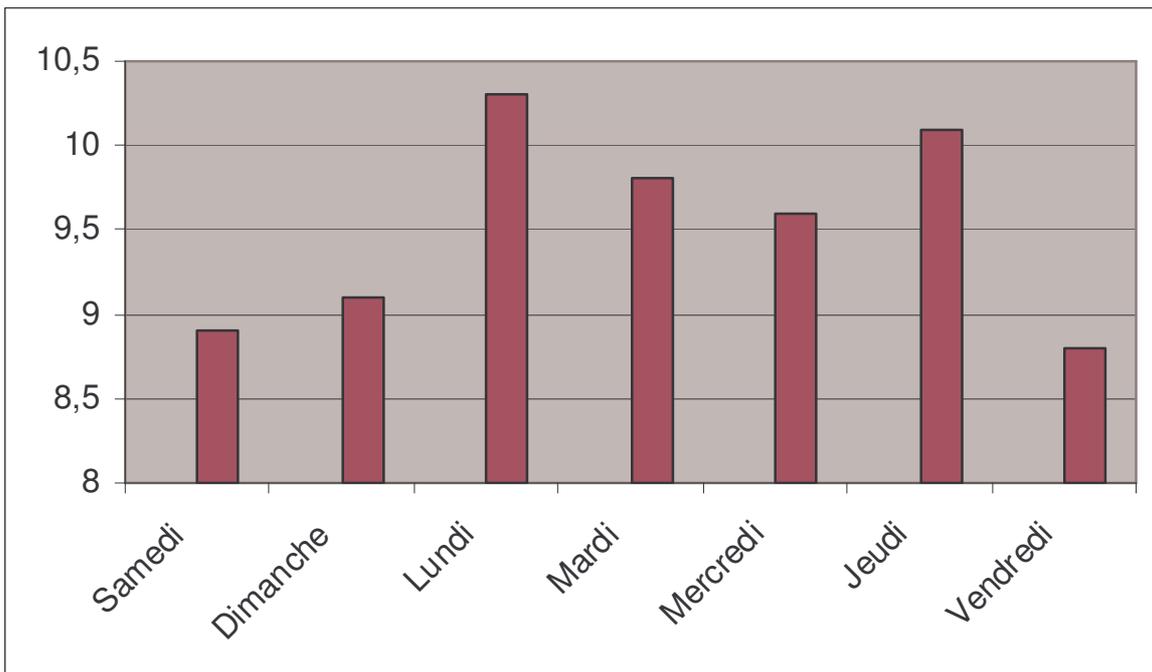


Fig. n°10. Evolution hebdomadaire des teneurs atmosphériques en p-xylène

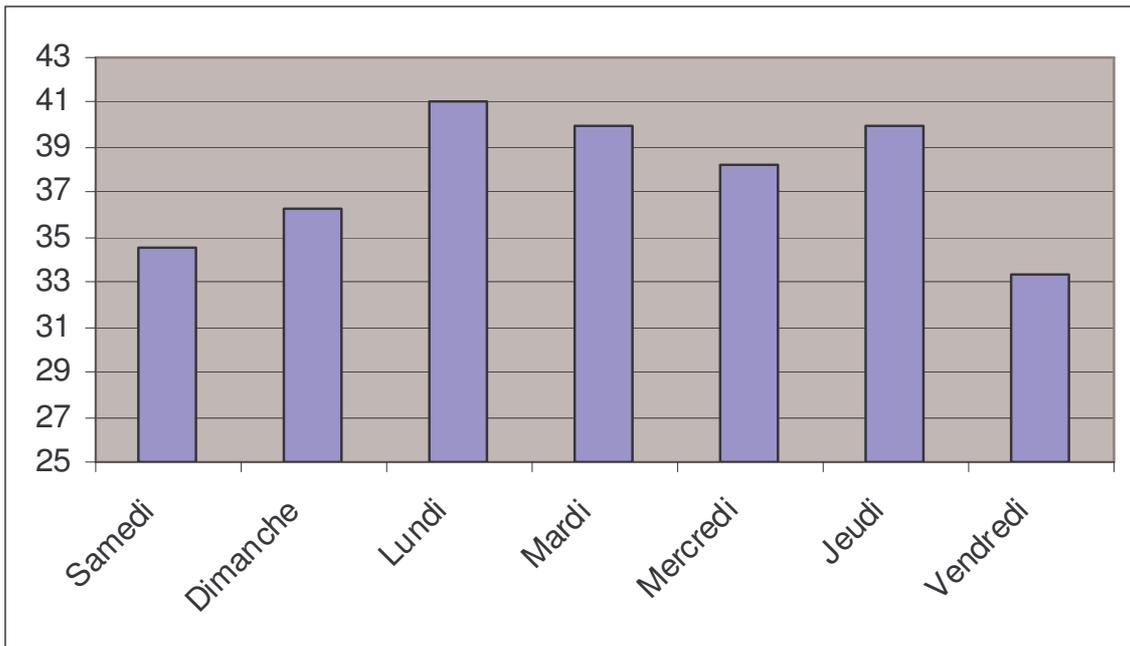


Fig. n°11. Evolution hebdomadaire des BTX totaux

Ces figures montrent que quelque soit le polluant considéré, le vendredi correspond au plus faible taux de pollution. En ce jour de repos, la pollution est réduite par rapport à la journée la plus polluée d'environ 15 à 20%. Comme plusieurs administrations et services (banque etc.) sont fermés où ne reçoivent pas de public le samedi, ce jour de début de semaine vient, en terme de pollution, juste après le jour férié du vendredi. Le jeudi compte paradoxalement parmi les journées de la semaine qui accusent un fort taux de pollution. En effet, ce n'est pas un vrai jour férié car certaines administrations publiques sont ouvertes, le secteur privé et informel active également ce jour et les secteurs de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur sont aussi en activité. Il en résulte une certaine effervescence de la vie socio-économique qui se répercute alors sur les niveaux de pollution.

VI.3. Evolution mensuelle et variation saisonnière des BTX.

Plusieurs études effectuées en Europe, en Asie et aux USA ont montré qu'il existe une différence plus ou moins importante entre les teneurs hivernales et les teneurs estivales des BTX [27, 41, 45, 46]. La présence abondante des radicaux OH[•] en période estivale serait à l'origine de la diminution du taux de pollution par le BTEX en général et les xylènes en particuliers [70].

Bien qu'au cours de notre étude qui s'est étalée d'avril à novembre, la saison d'hiver n'a pas été couverte, nous avons jugé utile de vérifier s'il existait une différence entre les deux périodes suivantes :

- Période à température moyenne ($T_{moyen} = 18,1^{\circ}\text{C}$ selon les relevés de la mini station météo de la station de mesure de Ben Aknoun) et correspondant aux mois d'avril, mai, juin et octobre : saison printemps/ automne (le mois de novembre où seul 6 jours ont été étudiés n'a pas été inclus dans cette période).
- Période à fort ensoleillement et forte température ($T_{moyen} = 25,2^{\circ}\text{C}$) et correspondant aux mois de juillet, août et septembre : saison d'été.

Les figures n° 12, 13 et 14 illustrent à cet effet l'évolution mensuelle des mois d'avril, août et octobre des teneurs respectives du benzène toluène et xylène (l'évolution mensuelle de tous les mois étudiés est donnée en Annexe I).

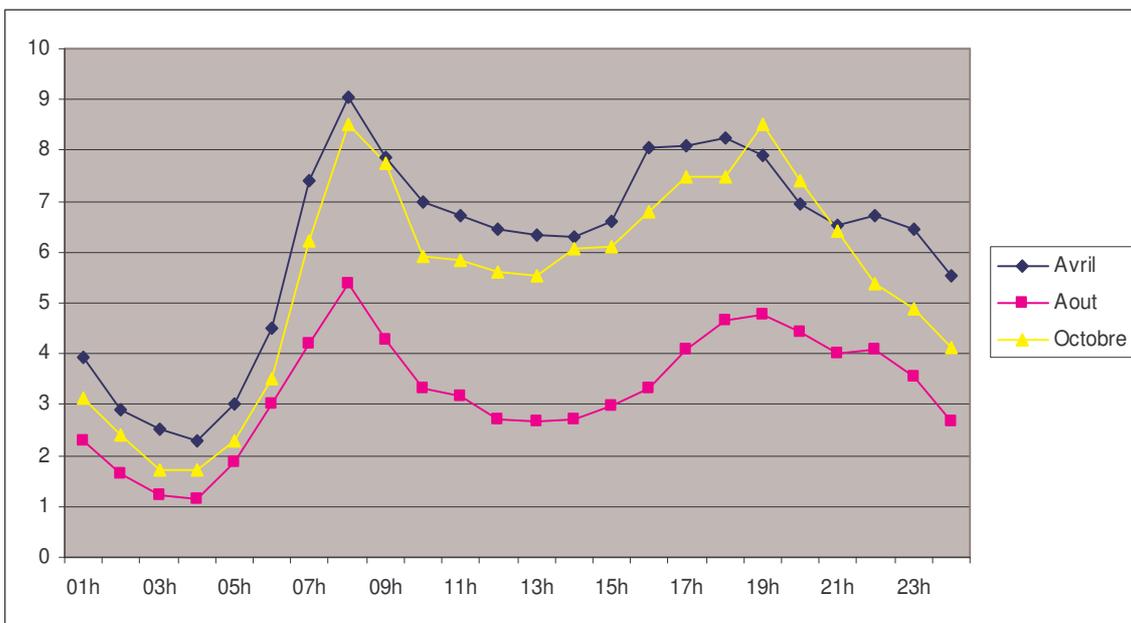


Fig. n°12. Evolution mensuelle des teneurs atmosphériques en benzène

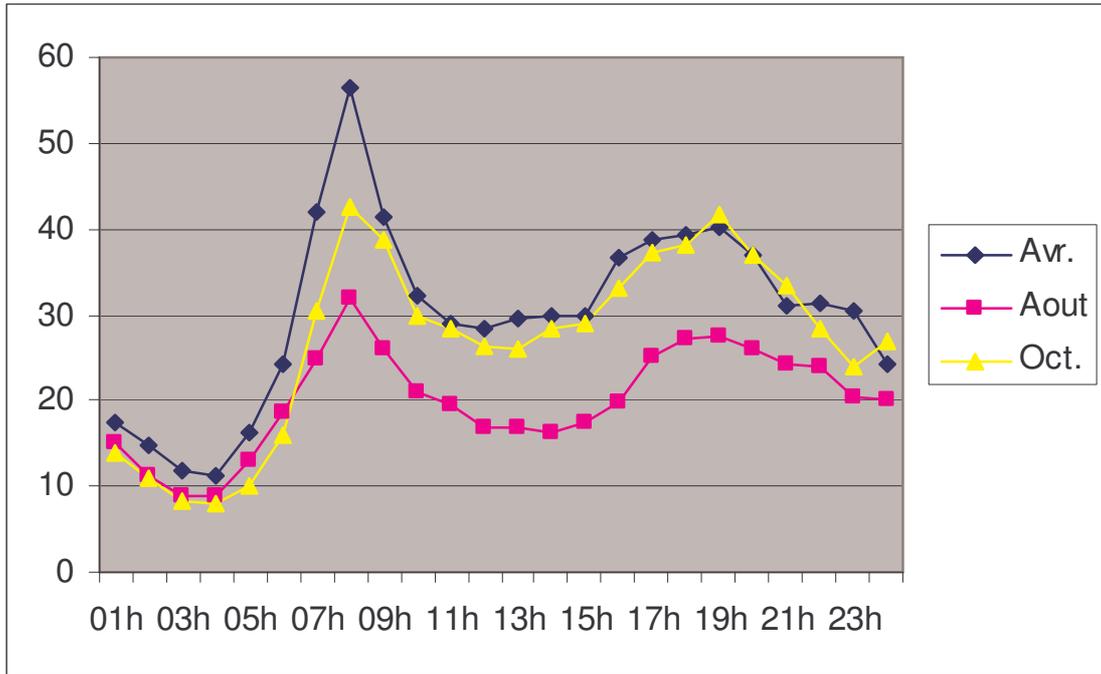


Fig. n°13. Evolution mensuelle des teneurs atmosphériques en toluène



Fig. n°14. Evolution mensuelle des teneurs atmosphériques en p-xylène

L'examen de ces évolutions montre que le mois d'août accuse, quelque soit le polluant considéré, les teneurs les plus faibles. Les mois d'avril et d'octobre (printemps et automne) présentent des évolutions et des niveaux de pollution comparables. Il existe donc un effet de saison.

Les variations saisonnières printemps/automne et été du benzène, toluène, p-xylène et BTX totaux sont représentées en tableau n° 11 et illustrées en figure n°15.

Ces résultats montrent qu'il existe pour les trois polluants une différence significative entre les deux saisons. Cette variation saisonnière qui se caractérise par un écart de température de l'ordre de 7°C est d'environ 20% pour le toluène et xylène et de 36% pour le benzène (tableau n°11).

Tabl. n° 11 : Variation saisonnière des BTX en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Printemps/automne	Été	Taux de variation en %
Benzène	5,5	3,5	36
Xylène	11,3	8,2	27
Toluène	26,4	21,1	20
BTX totaux	43,2	32,8	24

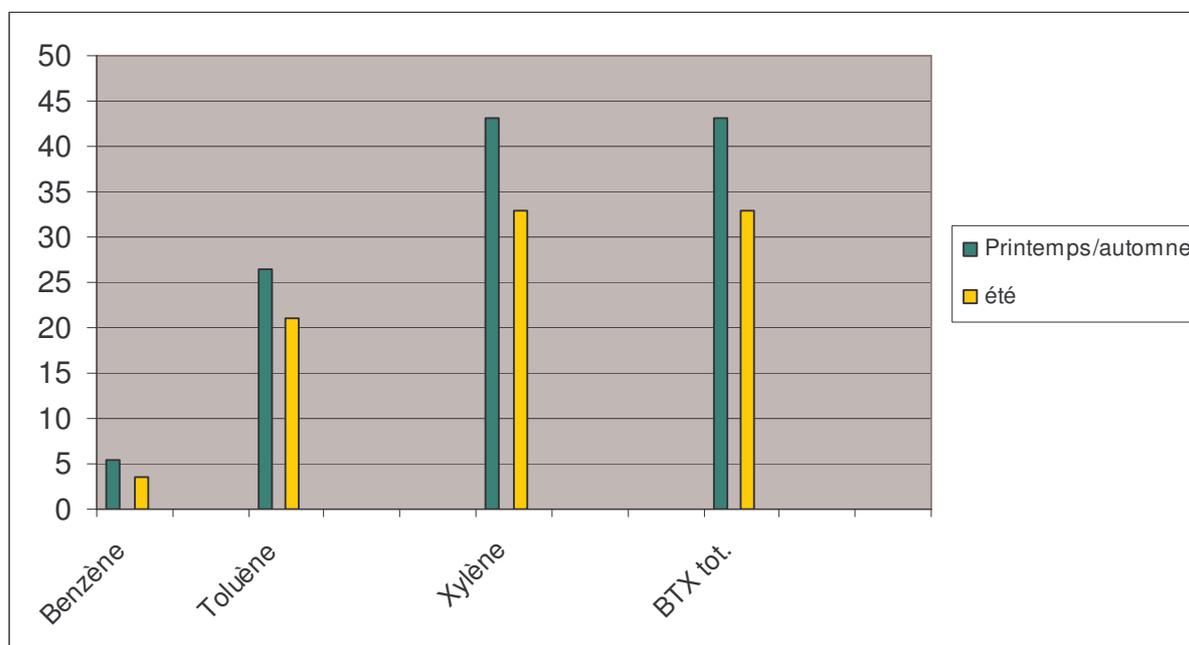


Fig. n°15. Variation saisonnière des teneurs moyennes en BTX

Cette dépendance saisonnière des BTX qui a été observée aussi dans d'autres études [69], s'explique par le fait qu'en période estivale, la photochimie qui est plus intense augmente la concentration des radicaux atmosphériques OH^\cdot . Ces derniers transforment à leur tour, par photoxydation, les composés BTX en d'autres espèces chimiques telles que les phénols, aldéhydes nitrates organiques, etc. [75- 77 et 107].

En ce qui concerne les taux de diminution donnés en tableau N° 11, on constate qu'ils ne concordent pas tout à fait avec la tendance qui prévoit la théorie (voir chapitre III.3). La réactivité des BTX vis-à-vis des radicaux OH^\cdot étant xylène > toluène > benzène, on s'attend à ce que le taux de diminution du benzène soit le plus faible comparé à ses homologues supérieurs.

Cette anomalie dans nos résultats est certainement liée, en partie ou totalement, aux faibles teneurs de benzène qui sont parfois très proches de la limite de détection de l'appareil (les très faibles teneurs apparaissent surtout entre minuit et l'aube) et où les erreurs expérimentales peuvent être plus fréquentes.

VI.4. Dispersion des BTX : la rose des vents et la rose de pollution

L'un des principaux facteurs de dispersion des polluants dans l'air ambiant est le vent avec ses deux composantes, la direction et la vitesse. La dispersion est autant plus faible que la vitesse du vent est faible.

Aussi, et pour étudier l'impact sur le milieu d'une émission polluante donnée, il est utile de faire une étude approfondie des régimes des vents. Une telle étude doit aboutir au tracé de la rose des vents. Une rose des vents est un diagramme à 8 ou 16 directions (N, NNE, NE, E, etc.) où l'on porte sur chacune d'elle la fréquence avec laquelle le vent a soufflé dans cette direction et avec quelle vitesse.

L'exploitation des niveaux de pollution mesurés en fonction de la direction du vent aboutit au tracé de la rose de pollution. Celle-ci indique ainsi la direction de la pollution ou la zone affectée par la pollution et la fréquence ou le pourcentage de répartition des teneurs mesurées dans cette direction.

Nous présentons à titre d'exemple en figure n°16 la rose des vents du mois de septembre 2002 enregistrée par l'anémomètre installé à la station de mesure de Ben Aknoun et la rose de pollution correspondante (figure n°17).

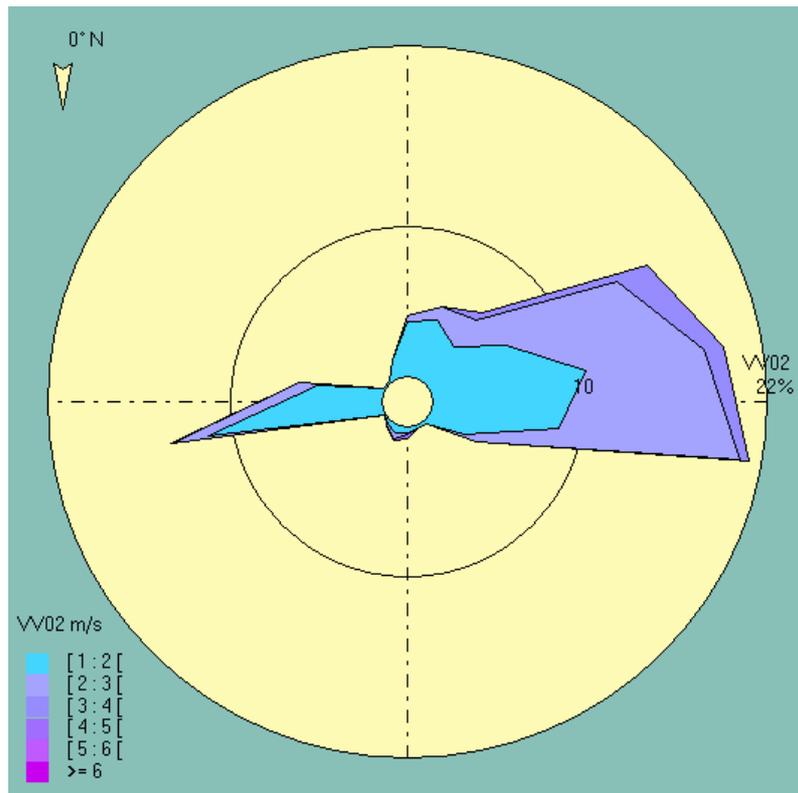


Fig. n°16 Rose des vents au niveau de Ben Aknoun durant le mois de septembre 2002

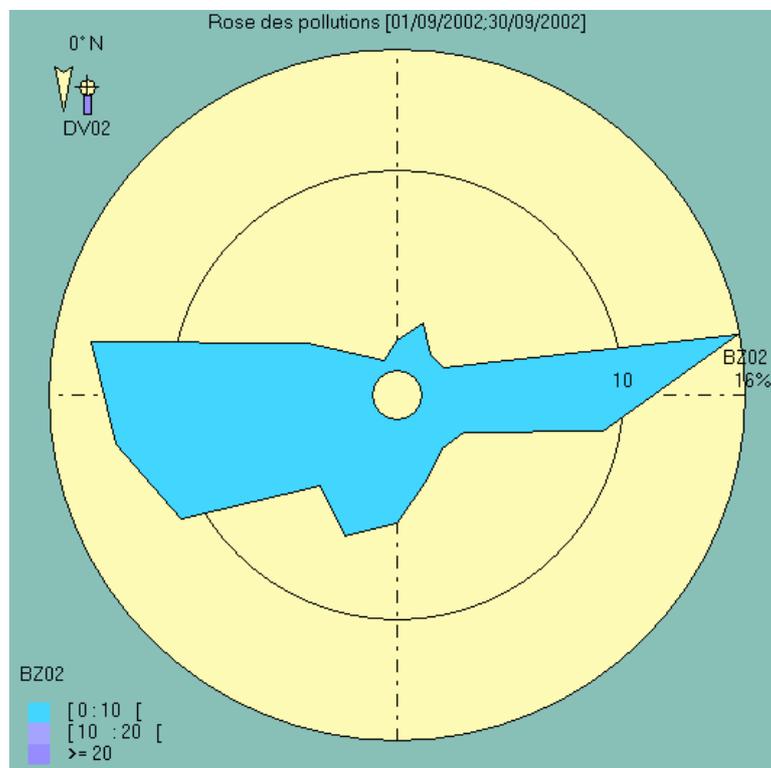


Fig. n°17. Rose de pollution du benzène au niveau de Ben Aknoun durant le mois de septembre 2002

A partir de ces diagrammes caractérisant le site de Ben Aknoun au mois de septembre, on peut tirer les informations suivantes.

- les vents d'Est sont les vents dominants
- dans la direction Est, les fréquences de vitesse du vent s'élèvent à environ 10% pour la classe de vitesse 1 à 2 m/s, 19% pour la classe 2 à 3 m/s et environ 20% pour les vitesses allant de 3 à 4 m/s.
- les vents du Nord sont, avec une fréquence de l'ordre de 5%, moins fréquents que les vents d'Est et sont répartis de manière égale sur les classes de 1 à 2 et 2 à 3m/s.
- les vents du secteur Ouest apparaissent à des fréquences de plus de 10% avec des vitesses modérées comprises en 1 et 3m/s.
- les vents du Sud sont très rares et constituent moins de 1% de l'ensemble des directions de vent observées.

La rose de pollution indique que les secteurs à l'est, à l'ouest et à un degré moindre au sud du site de mesure, sont ceux qui sont le plus affectés par la pollution par les BTX. Dans ces zones le taux de pollution reste en moyenne inférieur à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La région au nord du site de mesure n'est durant ce mois, que rarement affectée par les BTX (fréquence de l'ordre de 3%).

Pour l'ensemble des mois étudiés, nous obtenons les roses de vent et de pollution moyennes que nous présentons respectivement en figures n° 18 et 19.

Il en résulte que sur une grande partie de l'année 2002, les vents dominants sont les vents d'est avec une vitesse modérée de 1 à 4 m/s. En fait, la rose des vents globale est similaire à celle de septembre.

La rose de pollution globale correspondante montre que les zones à l'est, au sud (parc zoologique) et surtout à l'ouest du site de mesure sont les plus affectées par la pollution par les BTX. Les vents cités plus haut entraîne les BTX émis par le trafic routier de la rocade sud vers ces zones.

La pollution, que les vents du sud qui sont, certes peu fréquents, mais qui balaient l'autoroute et entraînent les BTX vers la zone urbaine la plus peuplée de Ben Aknoun, n'est pas saisie par l'analyseur. La position du site de mesure n'est en fait pas adéquate pour la mesure des taux de pollution auxquelles peuvent être réellement exposés les citoyens de Ben Aknoun.

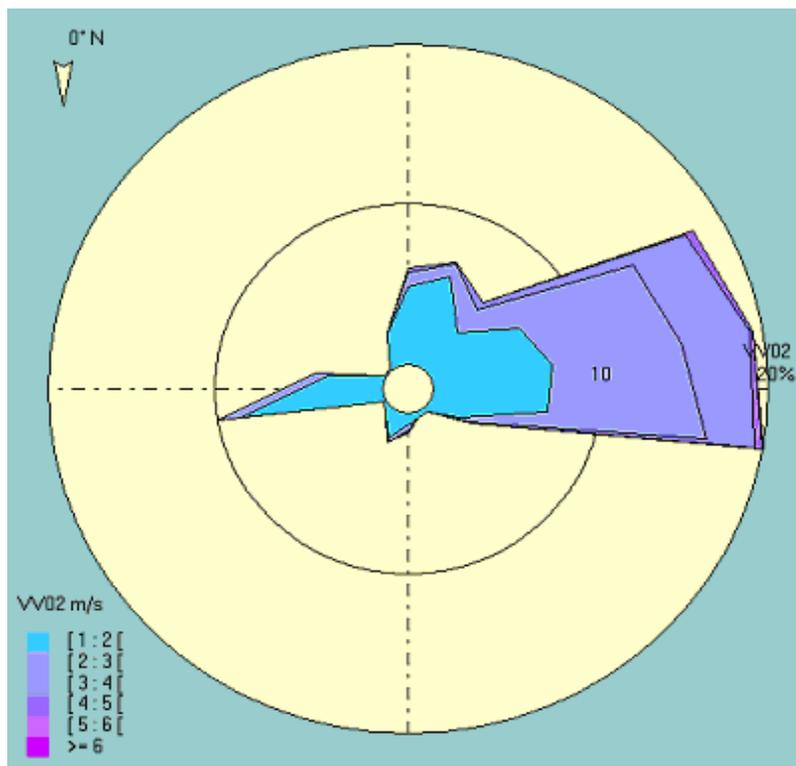


Fig. n°18. La rose des vents au niveau de Ben Aknoun durant la période d'avril à novembre

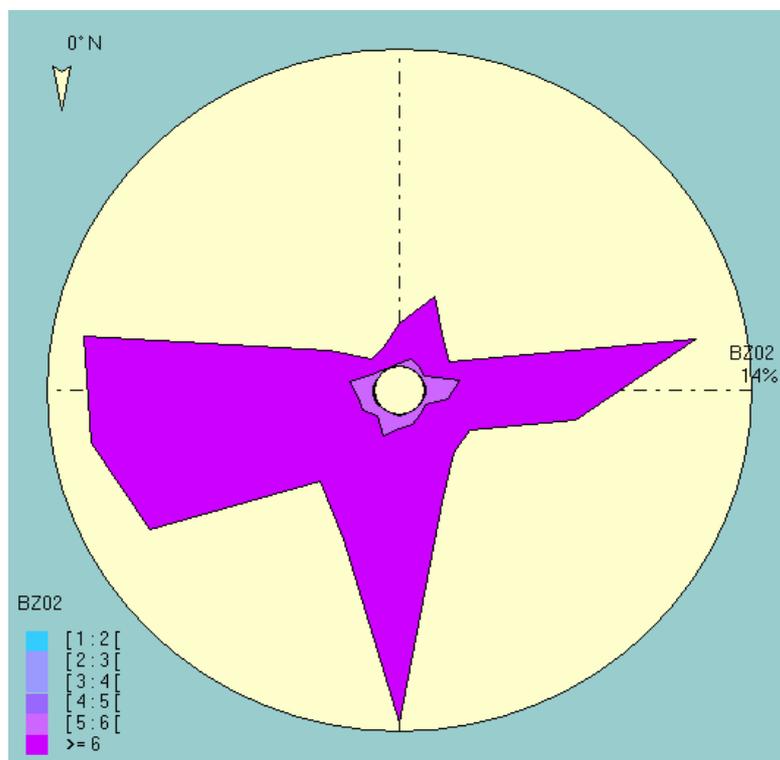


Fig. n°19. Rose de pollution du benzène au niveau de Ben Aknoun durant la période d'avril à novembre 2002

VI.5. Relation et corrélation dans et avec les BTX

VI.5.1 Rapport et corrélation entre les BTX

Le calcul de la distribution par composé du benzène, toluène et p-xylène sur la totalité des BTX donne en moyenne la composition suivante :

Benzène : 11,3% ; toluène : 63.3% ; p-xylène : 25.4%

Le rapport moyen toluène / benzène s'élève à 5,3. Ce rapport qui caractérise les émissions du trafic routier varie généralement de 2 à 3 [78, 105, 107-109,]. Certaines études rapportent des rapports de l'ordre de 5 similaire à celui mesuré à Ben Aknoun [103, 108]. Ce rapport varie en fait selon la nature du carburant, du type de combustion et de l'entretien du moteur (le benzène est produit aussi lors de la combustion) ainsi que de la présence ou non de sources d'émissions autres que celle du trafic routier.

L'étude des corrélations entre les trois polluants donne des corrélations linéaires dont nous présentons les facteurs de corrélation R^2 en tableau n°12

Tableau.n°12. Matrice des facteurs de corrélation R^2 des BTX

	Benzène	Toluène	p-Xylène
Benzène	1	0,93	0,94
Toluène	0,93	1	0,98
p-Xylène	0,94	0,98	1

Les droites de corrélations sont illustrées en figures n°20, 21 et 22 respectivement pour les couples de polluants benzène/ toluène, benzène/p-xylène et toluène/p-xylène.

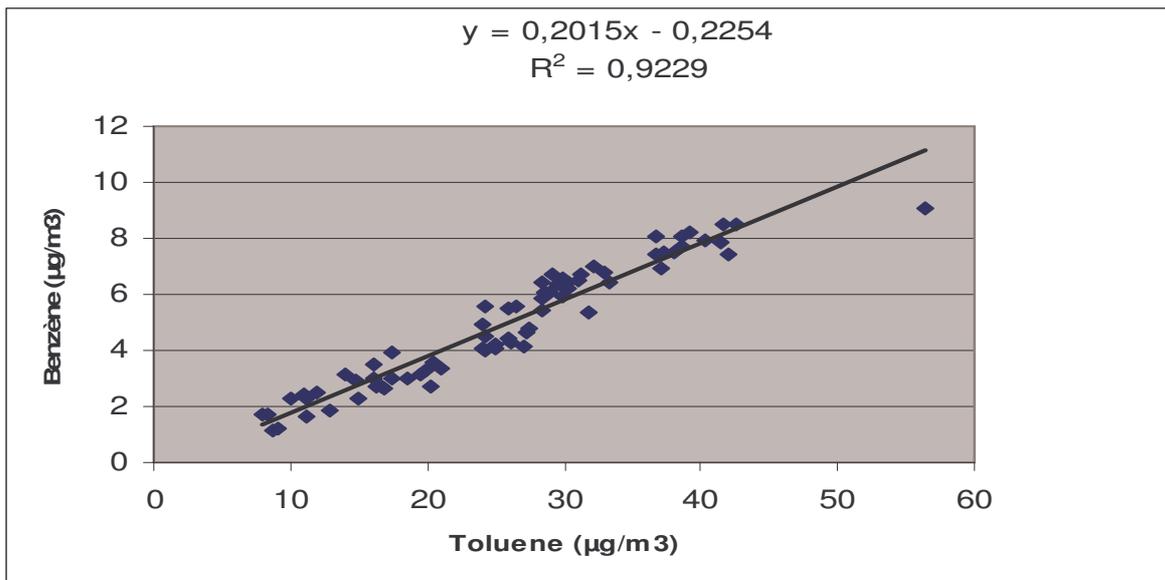


Fig. n°20 Corrélation entre le benzène et le toluène

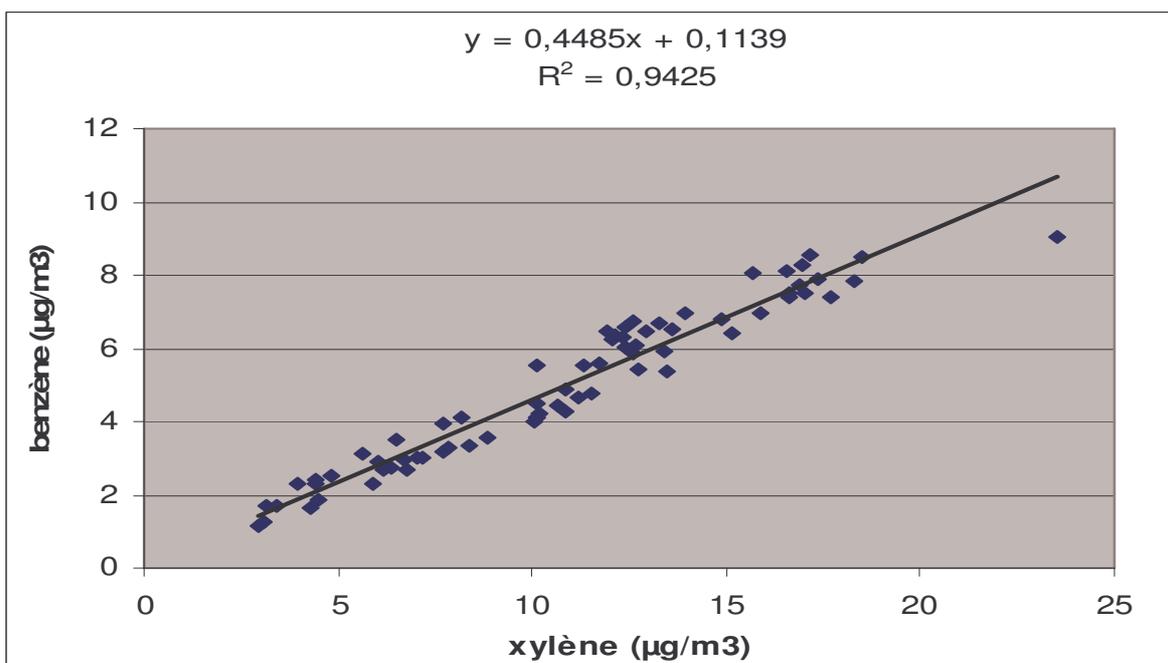


Fig. n°21. Corrélation entre le benzène et le p-xylène

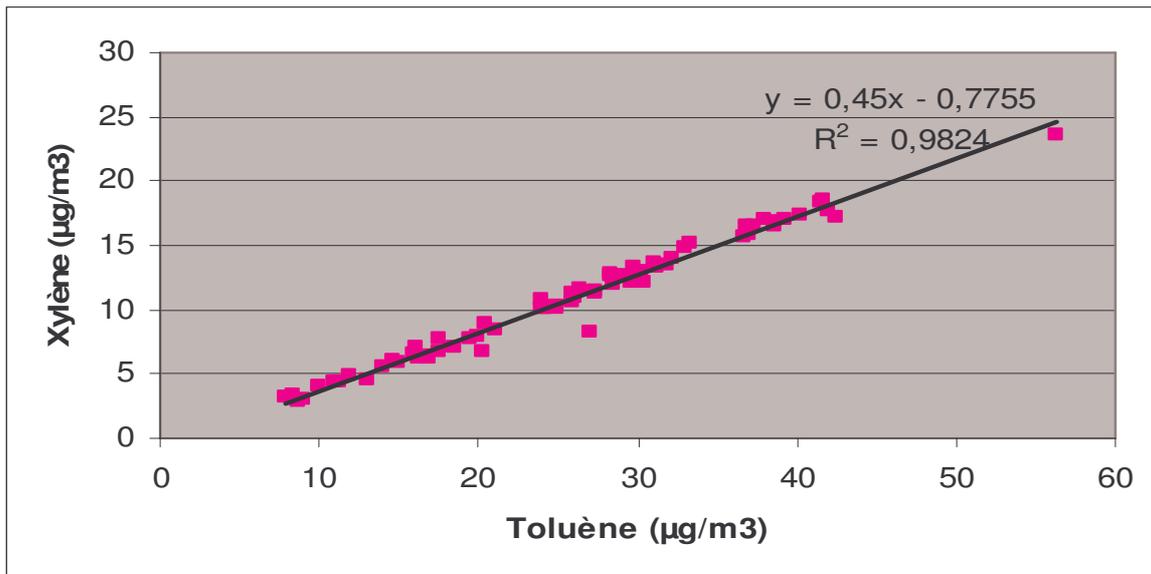


Fig. n°22. Corrélation entre le p-xylène et le toluène

Ces résultats montrent qu'il existe de très bonnes corrélations linéaires entre les trois polluants (R^2 varie de 0,93 à 0,98). Ces corrélations suggèrent une fois de plus que les BTX mesurés à Ben Aknoun ont une origine commune. Les équations des droites de corrélation qui en découlent peuvent être utilisées pour calculer les teneurs des polluants connaissant l'un d'eux ; ces équations ne sont naturellement valables que pour le site étudié.

De bonnes corrélations entre les BTX ont été aussi observées dans des études similaires menées dans d'autres régions du monde. En fait ces corrélations ne sont bonnes qu'en site influencé par les émissions du trafic routier. Elles sont moins significatives lorsqu'il s'agit de sites urbains où on peut rencontrer d'autres sources d'émission des BTX [98, 103, 105, 108, 109].

Par ailleurs, une étude menée sur les émissions des véhicules catalysés et non catalysés mentionne que la corrélation entre le benzène et le toluène n'est bonne que dans le cas de véhicules non catalysés [110]. C'est le cas du parc automobile algérien qui, dans son écrasante majorité, n'est pas doté de catalyseurs.

VI.5.2 Corrélation entre le benzène et le CO

Il est connu que le polluant monoxyde de carbone CO est un très bon traceur de la pollution automobile. Il est émis en forte proportion à proximité des axes routiers et dépend fortement de la densité du trafic routier. Nos résultats présentés dans les paragraphes précédents et

diverses autres études suggèrent que le benzène constitue aussi un bon indicateur de la pollution automobile [30, 54, 97, 109, 110].

La question qui se pose alors est de savoir s'il existe une dépendance ou une corrélation entre le benzène et le CO à Alger. Pour répondre à cette question nous avons tracé le nuage de points donnant des teneurs horaires du benzène en fonction de celles du CO mesurées simultanément à Ben Aknoun et ce pour l'ensemble de la période étudiée ; les teneurs atmosphériques en CO sont mesurées à la station de Ben Aknoun par un analyseur automatique utilisant la détection par Infra rouge du CO. La figure n° 23 illustre la corrélation ainsi obtenue.

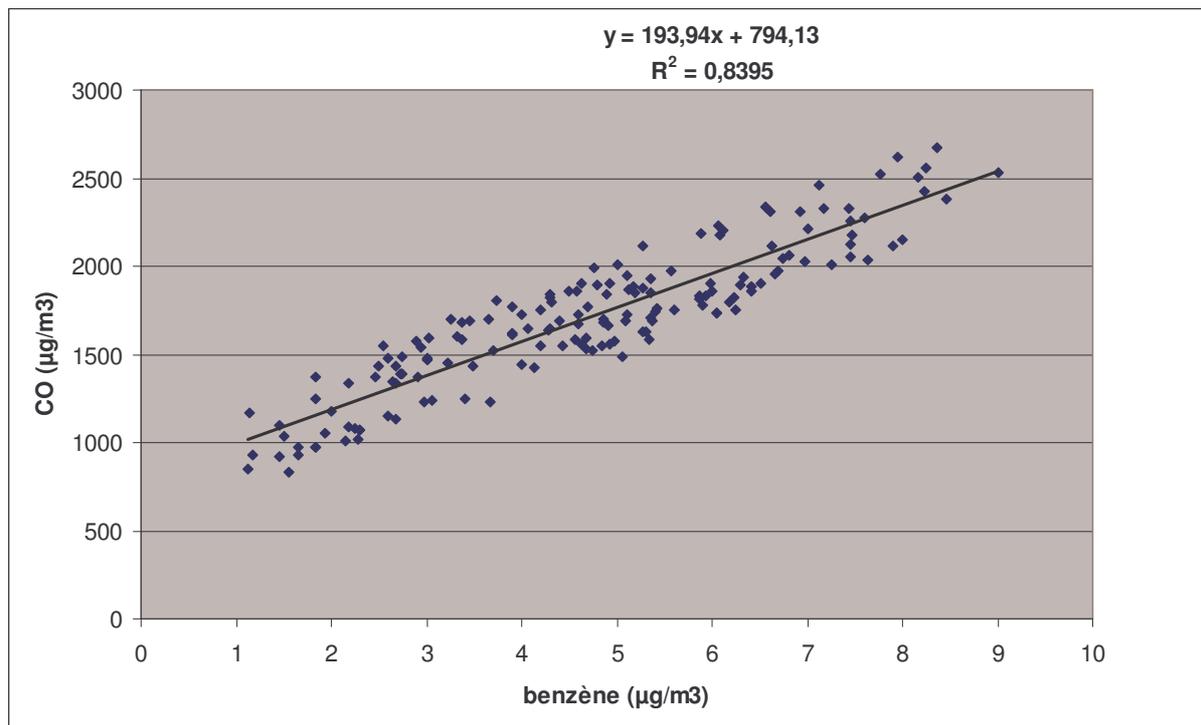


Fig. n°23 : Corrélation entre le Benzène et le CO

On relève une proportionnalité positive entre le CO et le benzène avec un bon coefficient de corrélation de $R^2 = 0,84$.

Une étude similaire menée à Milan à proximité des axes routier aboutit à un coefficient de corrélation de $R^2 = 0,80$ [96].

Il est ainsi possible à partir de la droite de régression d'apprécier les teneurs en benzène au site étudié à partir de la mesure du CO qui du point de vue technique et analytique est plus aisée à réaliser. Il en résulte que comme le CO, le benzène constitue un bon indicateur de la pollution automobile.

VII. Conclusion

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la pollution de l'air par les BTX. Nous avons caractérisé le site où est implantée la station de mesure et l'avons classifié comme étant un site de périphérie qui est influencé par les émissions du trafic routier. De part sa localisation, ce site n'est pas adapté pour le suivi de la pollution urbaine et l'étude de l'exposition des populations.

Le suivi des teneurs en BTX sur une longue durée nous a permis de tracer les évolutions journalières et de mettre en évidence des pics de pollution qui sont liés à l'intensification du trafic routier issue de la rocade sud d'Alger qui passe à une centaine de mètres du site de mesure. L'étude de l'évolution hebdomadaire a montré que la journée du vendredi (jour férié) accuse le taux de pollution le plus faible. L'évolution mensuelle des BTX a montré que le mois d'août est le mois le moins pollué. Une variation saisonnière est ainsi mise en évidence et on relève en saison estivale une diminution du taux de pollution de l'ordre de 25 à 35 %. Cette diminution est en relation avec l'intensification de la photochimie atmosphérique qui a lieu en été. Globalement les évolutions et le comportement des BTX que nous avons observés à Ben Aknoun sont similaires à ceux relevées dans d'autres pays.

En terme de niveaux de pollution, les teneurs mesurées, 4,2 ; 23,6 et 9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement pour le benzène, toluène et p-xylène ne sont pas très élevées et restent en général en dessous des normes en vigueur dans les pays occidentaux.

Les BTX mesurés au cours de cette étude ont une origine commune, le trafic routier. Cette caractéristique fait qu'on aboutit à des corrélations très significatives qui les lient les uns aux autres.

De même, nous avons montré que, tout comme le CO, le benzène constitue un bon indicateur de la pollution automobile. Enfin, l'étude de la rose des vents et la rose de pollution, nous a permis d'identifier les zones qui sont le plus affectées par la pollution par les BTX.

L'étude montre par ailleurs l'importance du choix du site qui doit répondre aux objectifs qu'on veut assigner au suivi de la pollution.

Pour la suite de la surveillance de la pollution par les BTEX, il est non seulement recommandé d'opter pour un site plus adéquat mais aussi de s'équiper par un autre type d'analyseur. La mesure des BTX par le principe UV n'a pas fait ses preuves et il est préférable d'opter pour les analyseurs automatiques basés sur le principe de la CPG et qui équipent de nombreux réseaux de surveillances européens où ils ont donné entière satisfaction.

Bibliographie

- [1] INRS, benzène, FT49, Institut National de Recherche et de Sécurité, 1997, France
- [2] Kirk R.E et Othmer D.F, Encyclopaedia of chemical technology, vol .3, Wiley Interscience, New-York, 1978
- [3] [http:// www.ines.fr/actualités/benzène](http://www.ines.fr/actualités/benzène)
- [4] AIRPARIF, Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, étude tubes passifs benzène, Paris, décembre 2000.
- [5] European Union, Commission the Auto-Oil Programme, A Report from the Service of the European commission, 1999, pp 110
- [6] NAFTEC, Direction de la production, Communication personnelle, Alger, janvier 29-04-2004.
- [7] Oudiz A, Fahri F. et Lombard J., La filière benzène, INSERM, rapport n° 49, France, 1988
- [8] Donati J, Teneur en hydrocarbures aromatiques monocycliques dans l'air ambiant à Paris, Pollution atmosphérique, janvier-mars 1995, pp.43-51
- [9] Zdanévitch T et N.Gonzalez- Flésca, Influence of vehicle traffic in town centre on BTX pollution, Int.J.Vehicle Design, Vol. 27, 1-4, 2001, pp.105-117
- [10] Gaessler J.P et P.Obe, Pétrole et pollution atmosphérique, Pétrole et Technique n°361, janvier-février 1991, pp.29-33.
- [11] Colls J, Air pollution, FN Spon, London, 1997
- [12] Environnement Canada, Problématique du benzène dans l'Est de Montréal, Montréal (Québec), 2001.
- [13] INCHEM, International Program on Chemical Safety, Environmental Health Criteria n°150 : benzene, World Health Organisation, Genova, 1993
- [14] US.EPA, Benzene oral carcinogenicity, US Environmental Protection Agency, 2000
- [15] ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile for benzene. Update, US. Department of health and human services, Atlanta, 1997
- [16] IARC, International Agency for Research on Cancer, IARC monographs on the evolution of the carcinogenic risk of chemicals to humans, benzene, IARC, Lyon, 1982
- [17] Rinsky R.A., Smith A.B et Horning R., Benzene and leukaemia: an epidemiologic risk assessment, N. Engl. J. Med. n°316, 1987, pp.1044-1050
- [18] Nomiyama K. and Nomiyama H., Respiratory retention, Uptake and excretion of organic solvents in man, Int. arch. Arbeitsmed, 32, 1974, pp. 75- 83

- [19] Aksoy M., Doncol K., Akgun T., Erdem S. and Dincol G., Haematological effects of chronic benzene poisoning in 217 workers, *Br. J. Ind. Med*, 28, 3, 1971, pp.296-302
- [20] Aksoy M., Dincol K., Akgun T., Erdem S. and Dincol G., Details of blood changes in patients with pancytopenia associated with long-term exposure to benzene, *Br.J. Ind. Med*, 29, 1, 1972, pp. 56-64
- [21] Rinsky R.A., Young R.J. and Smith A.B, Leukemia in benzene workers, *Am. J. ind. Med.* , 2, 1981, pp. 217-245
- [22] Baslo A. and Aksoy M., Neurological abnormalities in chronic benzene poisoning. A study of six patients with aplastic anemia and two with preleukemia, *Envi. Res.* , 27, 2, 1982, pp.457-465
- [23] WHO, Air Quality Guidelines for Europe 2^{ed} Ed., WHO Regional Publication Copenhagen, European Series, n°91, 1999,
- [24] US.EPA, Benzene inhalation carcinogenicity, US. Environmental Protection Agency, 1998.
- [25] IUCLID, Benzene. International Uniform Chemical Information Database, Commission Européenne, Bureau des substances chimiques, Ispra, Italie, 1996
- [26] Toxic Air pollution; Volatile organic compounds at urban sites in New Jersey, Lewis Publishers INC, 1987, pp.69-90.
- [27] Dann T. Ambient air measurements of benzene in Canada (1989-1998), Proceedings of the Air and Waste Manag. Ass, Salt Lakes City, Utah, USA, June 18-22, 2000
- [28] La Commission Européenne, Du benzène et des villes, Magazine de la recherche européenne, RDT- Info n°23, 2002
- [29] Leung P.L. and Harrison R.M., Traffic-related exposure to benzene and toluene, *Int. J. vehicle Design*, Vol.20, n° 1-4, 1998, pp. 55-59
- [30] Journal officiel de la République Française. Décret n° 2002-213 du 15 février 2002 relatif à relative à la fixation de valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant.
- [31] Journal officiel de la république Française, Décret n° 98-360 du 6 mai 1998, pp, 7196-7200
- [32] Bundes-Immissionsschutzgesetz- BImSchG (Federal Clean Air Act), Artikel 40, Section 2, Berlin, 1998
- [33] http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dppgss/air1997/obg_9.htm

- [34] Official journal of the European Communities, Directive 2000/69/EC of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and Carbon monoxide in ambient air, L 313, 13 December 2000, pp. 12-21
- [35] [Australian Occupational Health and Safety , Guidance Note on the Interpretation of Exposure Standards for Atmospheric Contaminants in the Occupational Environment](#), 1990
- [36] Kirk R.E , Othmer D.F., Grayson M et Eckroth D, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley, New York, 1983.
- [37] Loi Canadienne sur la protection de l'environnement, Liste des substances d'intérêt prioritaire, rapport n° 4- toluène, Ministère des approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1992.
- [38] Nielsen I.R. et P.Mowe, Environmental hazard assessment: Toluene, Toxic substances Division, Directorate for Air, Climate and Toxic Substances, Department of the Environment, Royaume-uni, 1991
- [39] Mackay D., Shiu W.Y. Ma K.C., Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental Fate for organic. Chemicals, Volume 1, Boca Raton, Lewis Publishers, 1992.
- [40] Sjodin A., Persson K. Andréasson K. Arlander B. and Galle B., On-road emission factors derived from measurements in a traffic tunnel, Int. J. Veh. Design, V20, N°1-4, 1998, pp 147-158
- [41] Low L.K., J.R. Meeks and C.R. Mackerer, "Health effects of the alkylbenzenes. I. Toluene", Toxicol. Ind. Health, n°4, 1988, p. 49-75.
- [42] Sato A., Toxicokinetics of benzene, toluene and xylenes, IARC Sci. Publ. France, vol. 85, ch.3, 1988, p.47-64
- [43] Ogata M., Tomokuni K. et Takastuka Y., « Urinary excretion of hippuric acid and m-or p-methylhippuric acid in the urine of persons exposed to vapours of toluene and m- or p-xylene as a test of exposure », Br. J. Ind. Med., n°27, 1970, pp.43-50
- [44] IPCS (International Programme on Chemical Safety), Environmental Health Criteria 52. Toluene, IPCS, Organisation Mondiale de la Santé, Genève (Suisse), 1985, 146p.
- [45] Gamberale, F et Hultengren M., « Toluene exposure. II. Psychophysiological functions », Work Environ. Health, n°9 (3), 1972, pp. 131-139.
- [46] Winneke, G., "Acute behavioural effects of exposure to some organic solvents; psychophysiological aspects", Occup. Neurol. Acta Neurol. Scand., n°66 (Suppl. 92), 1982, p. 117-129.

- [47] Echeverria, D., Fine L., Glangolf G., Schork A et Sampaio C., « Acute neurobehavioural effects of toluene », *Br. J. Ind. Med.*, n°46, 1989, p. 483-495.
- [48] Andersen, I.,Lundqvist G.R, L. Molhave, O.F. Pedersen, D.F. Procter, M. Veath, D.P. Wyon, “Human response to controlled levels of toluene in six hour exposure”, *Scand. J. Work Environ. Health*, n°9, 1983, pp. 405-418.
- [49] Baelum, J., I. Andersen, G.R. Lundqvist, L. Molhave, D.F. Pedersen, M. Veath et D.P. Wyon, “ Response of solvent-exposed printers and unexposed controls to six-hour toluene exposure”, *Scand. J. Work Environ. Health*, n°11, 1985, p.271-280.
- [50] Dick, R.B., J.V. Setzer, R. Wait, M.B. Hayden, B.J. Taylor, B.Tolos et V. Putz-Anderson, “ Effects of acute exposure of toluene and methylethylketone on psychomotor performance”, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, n°54, 1984, pp. 91-109.
- [51] Lindbohm M.L., Spontaneous abortions among women exposed to organic solvent, *Am. J. Ind. Med.*, 17, 1990, pp 449-463
- [52] Clarkson T.S, R.J. Martin, Rudolph J. ,Graham B W. L., Benzene and toluene in New Zealand air, *Atm.Env*, vol.30, n°4, 1996, pp.569-577
- [53] Coursimault A., Donati J. et H. Viellard, Monoaromatic hydrocarbon emissions in Paris, In. *J. vehicle Design*, vol.20, n°1-4, 1998, pp. 46-54
- [54] Loefgen L., K. Persson and A.M. Stroemvall, Exposure of commuters to volatile aromatic hydrocarbons from petrol exhausts, *Sc. Tot. Env.*, vol. 108, 1991, pp.225-233.
- [55] Leung P.L and R.M. Harrisson, Traffic related exposure to benzene and toluene, *Int. J. vehicle Design*, Vol.20, n°1-4, 1998, pp. 55-59.
- [56] Kerbachi R., M. Keddou, M. Boughedaoui et R. Joumard, Aromatic hydrocarbons in the ambient air of Algiers, *Proc. Int. symp.” transport and Air pollution”*, Graz, Austria, 31 May-2. June 1999.
- [57] Fishbein L., An overview of environmental and toxicological aspects of aromatics hydrocarbons III. Xylene, *Sc. Tol. Environ.*, n°43, 1985, pp.165-183
- [58] Low L.K., J.R, Meeks and C.R. Mackener, Health effects of the alkylbenzene. II. Xylènes, *Toxicol. Ind. Health*, n°5, 1989, pp.85-105
- [59] Loi canadienne sur la protection de l’environnement, Liste des substances d’intérêt prioritaire, rapport : xylènes, Ministère des Approvisionnement et Services, Canada, Ottawa, 1992

- [60] Angerer, J. and H. Wulf. « Occupational chronic exposure to organic solvents: XI, Alkylbenzene exposure of varnish workers: effects on haematopoietic system », *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, n° 56, 1985, p. 307-321.
- [61] Askergrén, A. “Organic solvents and kidney function”, *Adv. Mod. Environ. Toxicol.*, n°2, 1982, p. 157-172.
- [62] Franchini I., A. Cavatorta, M. Falzoi, S. Lucertini and A. Mutti. « Early indicators of renal damage in workers exposed to organic solvents », *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, n°52, 1983, p. 1-9
- [63] Seppäläinen, A.M., K. Husman and C. Martenson. « Neurophysiological effects of long-term exposure to a mixture of organic solvents”, *Scand. J. Work Environ. Health*, n°4, 1978, p. 304-314.
- [64] Riihimäki, V. et K. Savolainen. “Human exposure to m-xylene, Kinetics and acute effects on the central nervous system”, *Ann. Occup. Hyg.*, n°23, 1980, p. 411-422.
- [65] Savolainen, K. and P. Pfaffli. “Dose-dependent neurochemical changes during short-term inhalation exposure to m-xylene”, *Arch. Toxicol.*, n°45, 1980, p 117-122.
- [66] Savolainen, K., J. Kekoni, V. Riihimäki and A. Laine. « Immediate effects of m-xylene on the human central nervous system », *Arch. Toxicol.*, n°7, 1984, p.412-417.
- [67] Seppäläinen, A.M., A. Laine, T. Salmi, V.Riihimäki and E. Verkkala. « Changes induced by short-term xylene exposure in human evoked potentials », *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, n°61, 1989, p. 433-449.
- [68] Cheng L.U, R. P. Angle and H.S. Sandhu, Seasonal variation of volatile organic compounds in Edmonton, Alberta, *Atm. Env.*, vol.31, 1997, pp. 239-246
- [69] Field R.A., Goldstone M.E., Lester J.N. and Perry R., The sources and Behaviour of tropospheric anthropogenic volatile hydrocarbons, *Atm .Env.*, 26 A, 1992, pp. 2983-2996.
- [70] Atkinson R., Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds, A review, *Atm. Env.*, N°24A, 1990, pp. 1-41
- [71] R.G.Derwent, M.E. Jenkin, Hydrocarbons and the long range transport of ozone and PAN across Europe. *Atm. Env.*, 25A (8), 1991, pp 661-1679
- [72] Brocco D., Fratar C., Angell R., Leport L., Petrica M and Ventronne L., Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome, *Atm.Env.*, 34, 1997, pp.557-566.

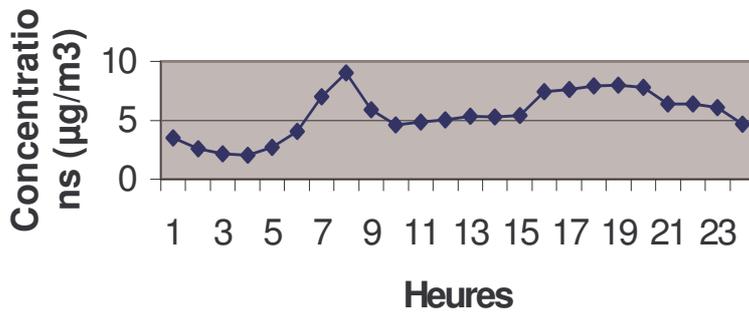
- [73] Carlien P. et G. Mouvier, Initiation à la physico-chimie de la basse troposphère, *poll.Atm.*, janv-mars 1998, pp.12-24
- [74] Megie G., Les modifications chimiques de l'atmosphère et leur effets sur l'environnement, *Poll. Atm.*, janv-mars 1998, pp.5-11
- [75] Stern A.C., *Air pollution*, vol. VI, academic Press, London, 1986.
- [76] Finlayson- Pitts B.J.F. and J.N. Pitts Jr., *Atmospheric chemistry: Fundamentals and experimental techniques*, John Wiley, New-York, 1986
- [77] Atkinson R., S.M. Aschmann and J.Arey, Formation of ring-retaining products from the OH radical-initiated of o-, m- and p- xylènes, *Int. J. Chem. Kint.*, n°23, 1991, pp.77-97
- [78] Singh H.B. and Zimmerman P.B. , *Atmospheric distribution and sources of non methane hydrocarbons in Gaseous Pollutants: characterisation and cycling*, J.O. Nriagu, John Wiley and Sons, New York, 1992, pp. 177-235
- [79] Guesten H., L. Klasinc et D. Maric, Prediction of the abiotic degradability of organic compounds in the troposphere, *J. Atmopsh. Chem.*, n°2, 1984, pp.83-93
- [80] Jori A., D. Calamari, A. Didomenico, C.L. Galli, E. Galli, M. Marinovich and V. Silano, Ecotoxicological profil of xylenes, *Ecotoxicol. Environ. Safety*, n°11, 1986, pp. 44-80.
- [81] ADEME, *Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air*, ADEME Edition, Paris, 2002
- [82] Cocheo V. Sacco P. Boaretto C. et Al., Urban benzene and population exposure, *Nature*, pp.141-142, 2000
- [83] Pennequin –Cardinal A., H. Plaisance, N. Locage, O.Ramalho, S. kirchner et J.C. Galloo; Performances of the radiello diffusive sampler for BTEX measurements: Influence of environmental conditions and determination of model sampling rates, *Atm. Env.* 39, 2005, pp. 2535-2544.
- [84] Bates M. Gonzalez-Flesca N., Cocheo V., Sokhi R., Ambient volatile organic compounds monitoring by diffusive sampling. Compatibility of high up samplers with thermal desorption, *Analyst*, vol.122, 1997, pp. 1481-1489.
- [85] Keith L.H., *Environmental sampling and analysis, a practical guide*, Lewis Publishers, New York, 1991
- [86] Lodge J.P, *Methods of air sampling and analysis*, Lewis Publishers, New York , 3rd edition, 1989

- [87] Winegar E.D., Keith LH, Sampling and analysis of airborne pollutants, Lewis Publishers, New-York, 1993.
- [88] Yohansen J. Wendelkoe J.F, Dimethylformamide and Carbon disulfide desorption for organic vapors on gas-sampling charcoal tubes analysis a gas chromatographic backflush technique, J.Chromatogr., 217, 1981, pp.317-326
- [89] P. Le Cloirec, Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement, Lavoisier, Paris, 1996
- [90] Keith L.H and M. Walker, Handbook of air toxics, Sampling, analysis and properties, Lewis Publishers, New-York, 1995
- [91] Commune de BEN AKNOUN, Service technique de l'urbanisme, janvier 2005, Alger.
- [92] Ministère des transports -DTWA, Rapport sur la gestion du réseau routier stratégique de la wilaya d'Alger, Alger, 1998
- [93] D. Di Bento, P. Breuil, J.C. Marchand et D.Rousson, Analyse automatique des BTX (benzène, toluène, xylène) dans l'air ambiant par spectrophotométrie UV, Rapport équipe « Instrumentation-Analyse » Ecole Nationale Supérieure des Mines de saint-Etienne, France, 1998
- [94] BTX 2000G Manuel d'utilisation et d'entretien -NT 10682, Société d'étude et de réalisation d'équipements spéciaux, France, 2002
- [95] Giugliano M., S. Cernuschi, A. Cemin, G. Lonati, S. Moroni , Traffic and air quality in urban area of Milan, Transport and air pollution, les Collections de l'INRETS, Vol.2, 2000, pp.331-336.
- [96] Rapport Air Languedoc- Roussillon, Benzène à Montpellier et Perpignan (France), bilan de l'année 2003, mars 2004
- [97] Yamamoto N., H.Okayasu, S.Murayama, S.Mori, K.Hunahashi, K.Suzuki, Measurement of volatile organic compounds in the urban atmosphere of Yokohama, Japan, by an automated gas chromatographic system, Atm. Env 34, 2000, pp.4441-4446
- [98] J. F. Pankow, W.luo, D.A.Bender, L.M. Isabelle, J.S. Hollingsworth, C. Chen, W.E. Asher and J.S. Zogorski, Concentrations and co-occurrence correlations of 88 volatile organic compounds (VOCs) in the ambient air of 13 semi-rural to urban locations in the United States, Atm. Env, 37, 2003, pp 5023-5046.

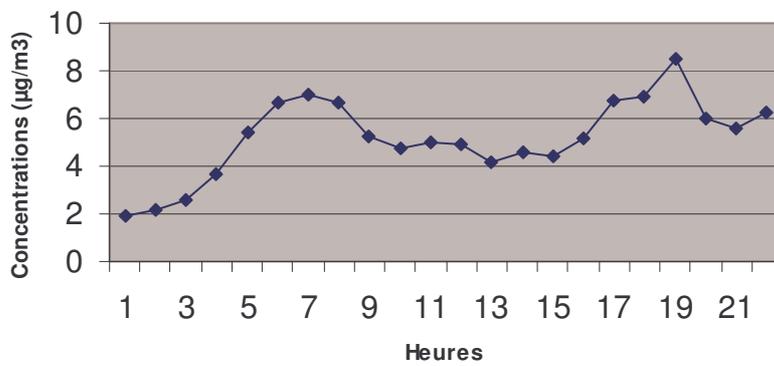
- [99] Na K., Y.P. Kim, Seasonal Characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea, *Atm. Env.*, 35, 2001, pp. 2603-2614
- [100] Rapport de Air-Languedoc-Roussillon, Benzène et toluène à Nimes , Montpellier et Perpignan, Bilan de l'année 2001, janvier 2002, France.
- [101] Colon M., J.D. Pleil, T.A. Hartlage, M.L.Guardani, M.H. Martins, Survey of volatile organic compounds associated with automotive emissions in the urban airshed of Sao Paulo, Brazil. *Atm. Env.*, 35, 2001, 4017-4031.
- [102] Chen I.Y., I. J. Simpson, D.R. Blake, F.S. Rowland, Impact of the leakage of liquefied petroleum gas (LPG) on Santiago air quality, *Geophysical Research Letters*. n°28, 2001, pp 2193-2196
- [103] Wang X.M., Gey. Sheng, J. M. Fu, C.Y.Chan, S.C. Lee, L.Y. Chan, Z.S. Wang, Urban roadside aromatic hydrocarbons in the three cities of the Pearl River delta, Peaople's Republic of China, *Atm. Env*, 36, 2002, pp35141-5148
- [104] Mohan. Rao A.M., G.G.. Pandit, P.Sain, S. Sharma, T.M. Krichnamoorthy, K.S.V. Nambi, Non-methane hydrocarbons in industrial locations of Bombay, *Atm.Env*, 31, 1997, pp. 1077-1085
- [105] Barletta B., S. Meinardi, I.J. Simpson, H.A. Khawja, D.R. Blake, F.F. Rowland, Mixing ratios of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Karachi, Pakistan, *Atm.Env*, 36, 2002, pp.3429-3443.
- [106] Muezzinoglu A., M. Odabasi, L. Onat, Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey, *Atm.Env*, 35, 2001, pp. 753-760
- [107] Luxenhofer O., K.Ballschmiter, C4-C14 Alkyl nitrates as organic trace compounds in air Fresenius. *J. Anal. Chem.*, 350, 1994, pp.395-402
- [108] Lee S.C, MY. Chiu, K.F. Ho, S.C. Zou , Xinming Wang, Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong, *Chemosphere*, 48, 2002, pp. 375- 382
- [109] Monod A., B.C. Sive, Pasquale Avino, Tai Chen, D.R.Blake, F.S. Rowland, Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene, *Atm.Env.*, 35, 2001, pp. 135-149.
- [110] Heeb N.V, A.M. Forss, C. Bach; Fast and quantitative measurement of benzene, toluene and C₂-benzene in automotive exhaust during transient engine operation with and without catalytic exhaust gas treatment, *Atm. Env.*, 33, 1999, 205-215.

ANNEXE 1 : Evolution mensuelle du benzène, toluène et p-xylène

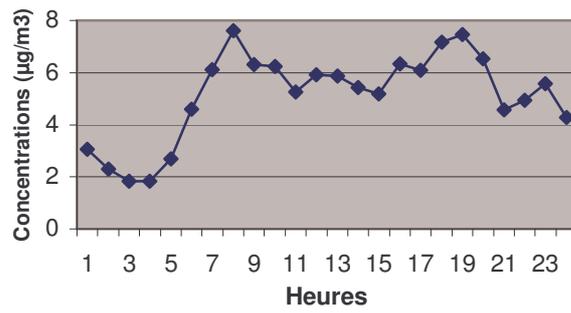
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois d'avril 2002



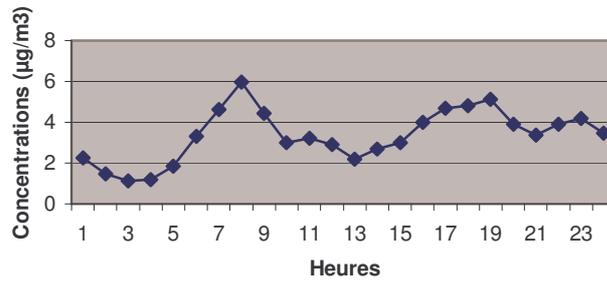
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois de mai 2002



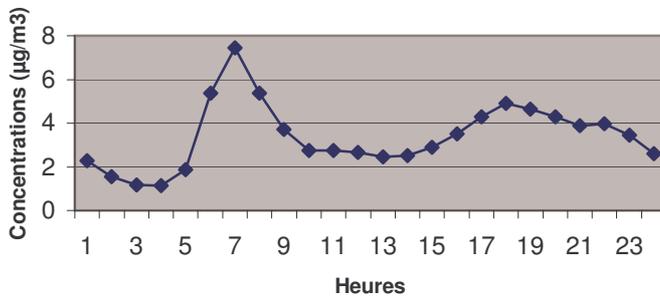
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois de juin 2002



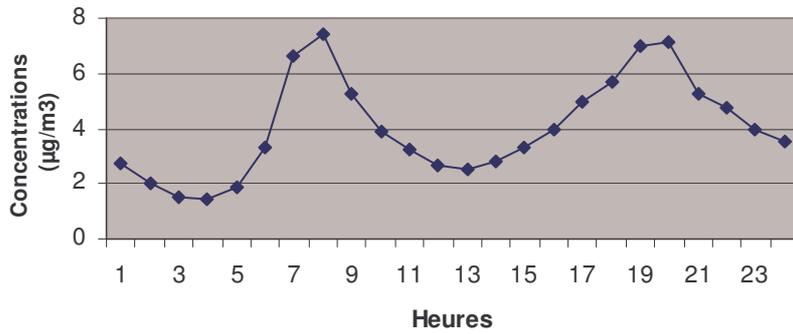
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois de juillet 2002



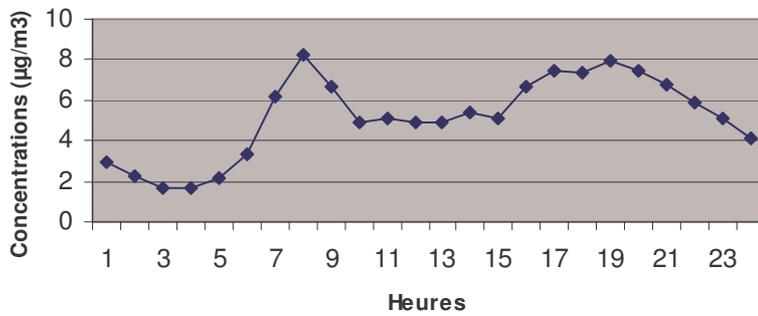
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois d'août



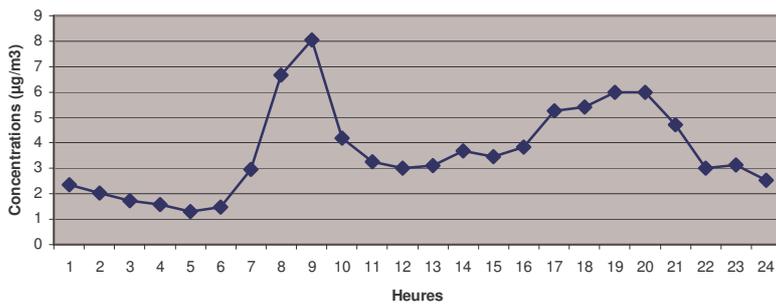
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois de septembre 2002

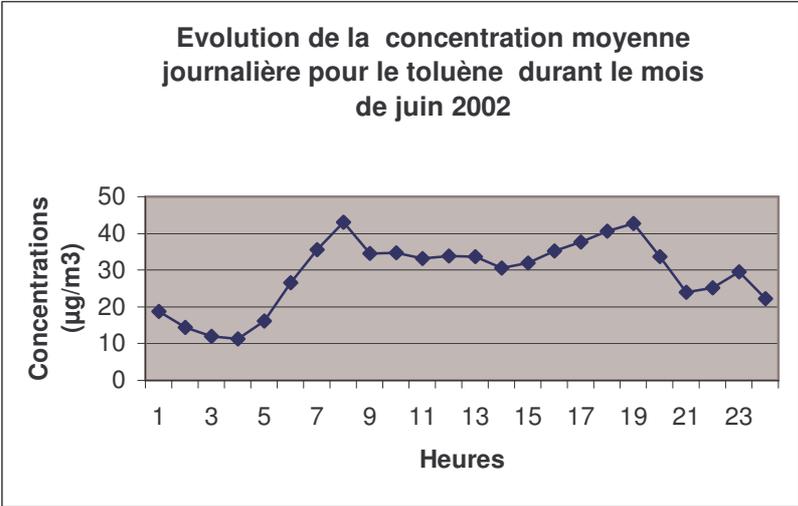
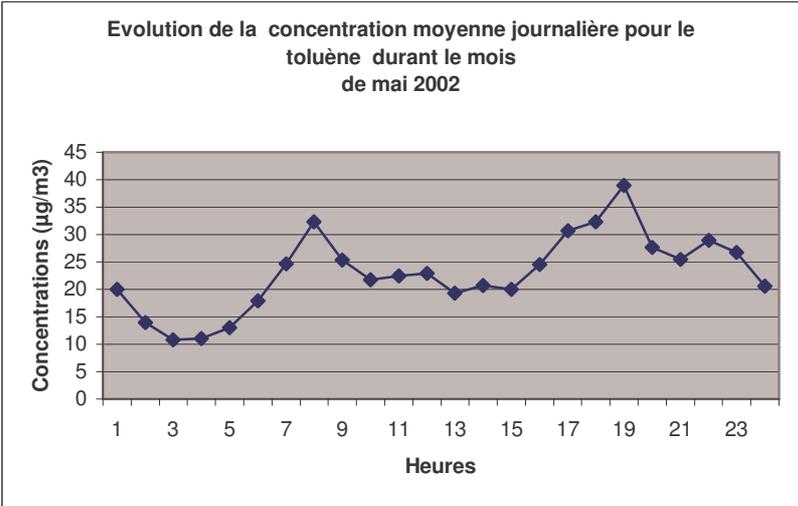
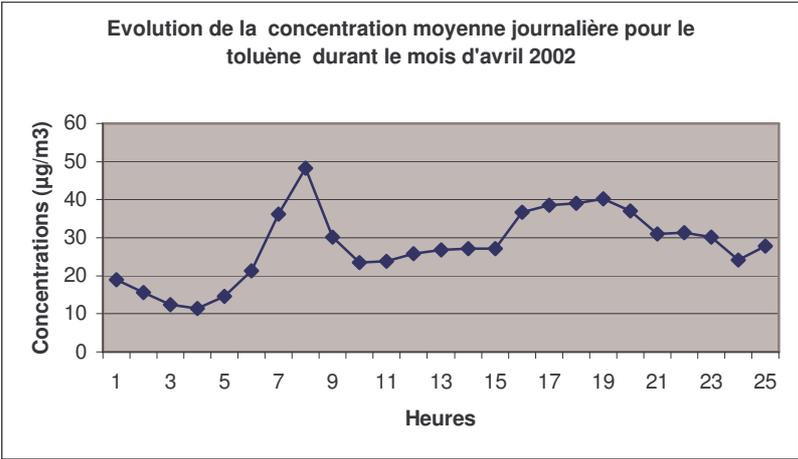


Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois d'octobre 2002

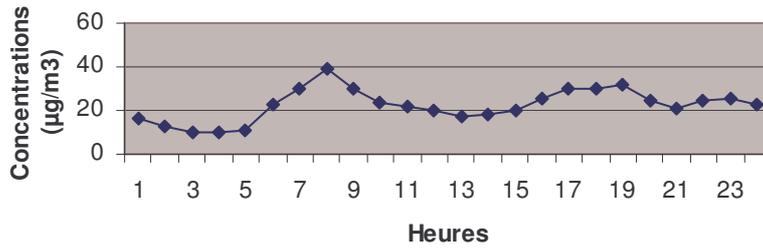


Evolution de la concentration moyenne journalière pour le benzène durant le mois de novembre 2002

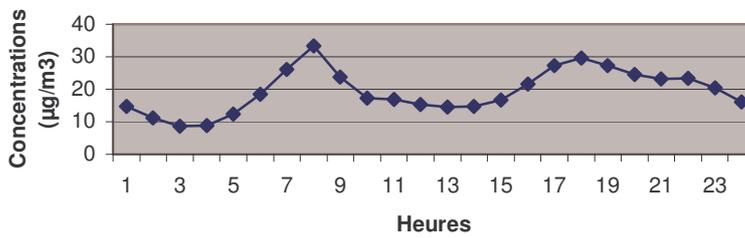




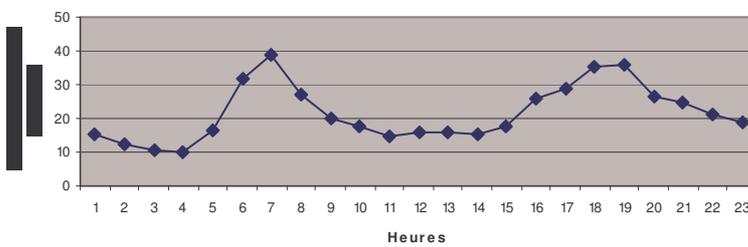
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le toluène durant le mois de juillet 2002



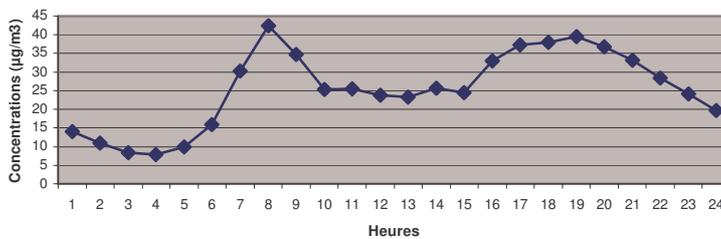
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le toluène durant le mois d'aout 2002



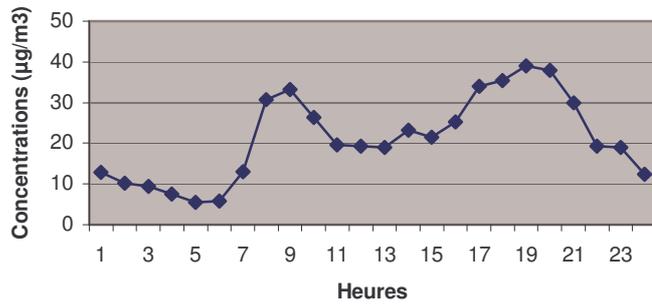
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le toluène durant le mois de septembre 2002



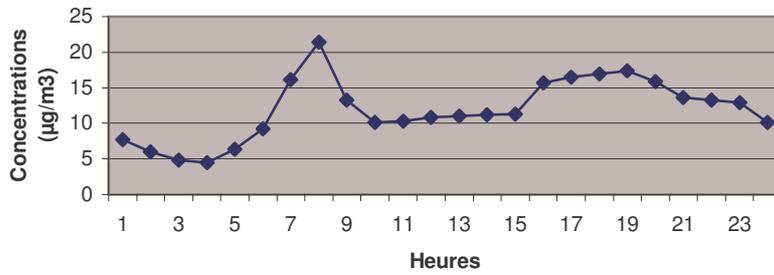
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le toluène durant le mois d'octobre 2002



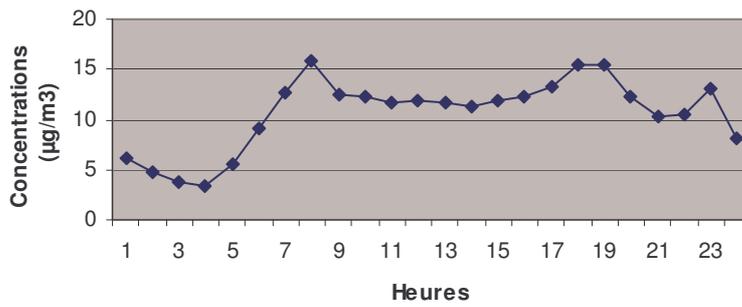
Evolution de la concentration moyenne journalière pour le toluène durant le mois de novembre 2002

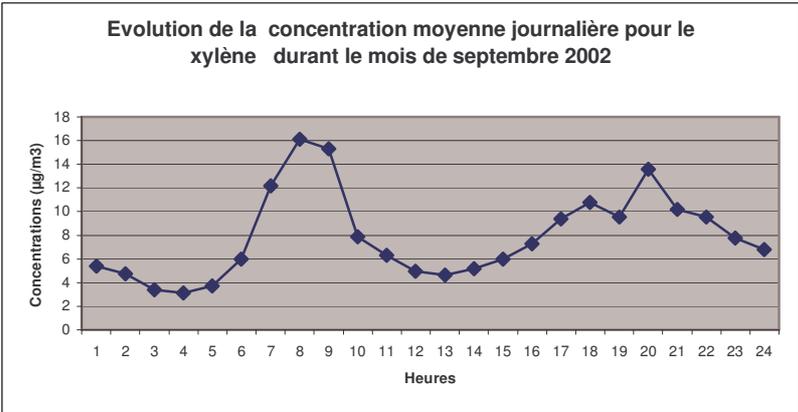
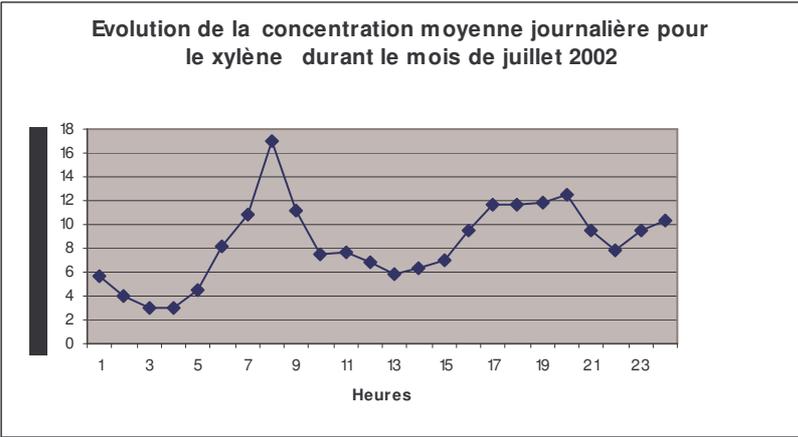
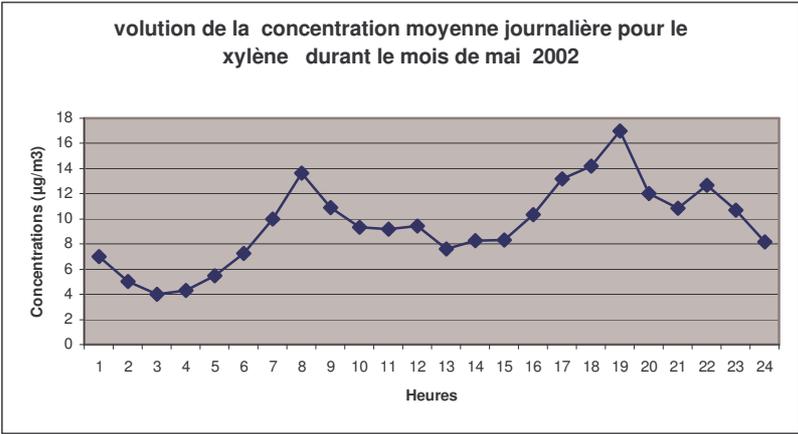


Evolution de la concentration moyenne journalière pour le xylène durant le mois d'avril 2002

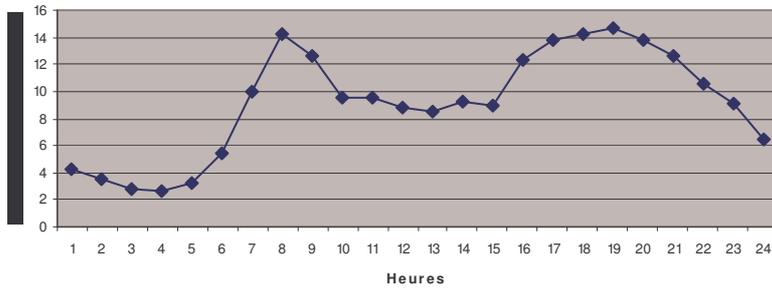


Evolution de la concentration moyenne journalière pour le xylène durant le mois de juin 2002

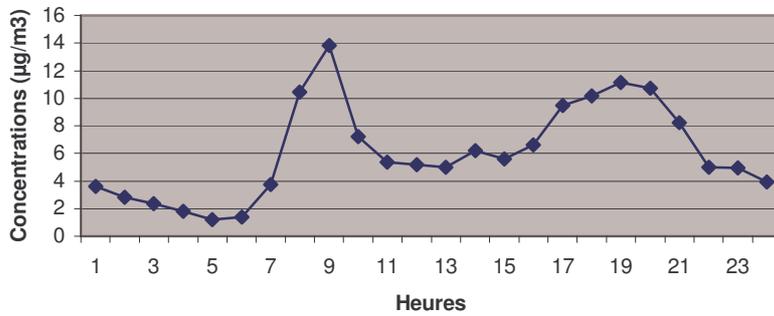




évolution de la concentration moyenne journalière pour le xylène durant le mois d'octobre 2002

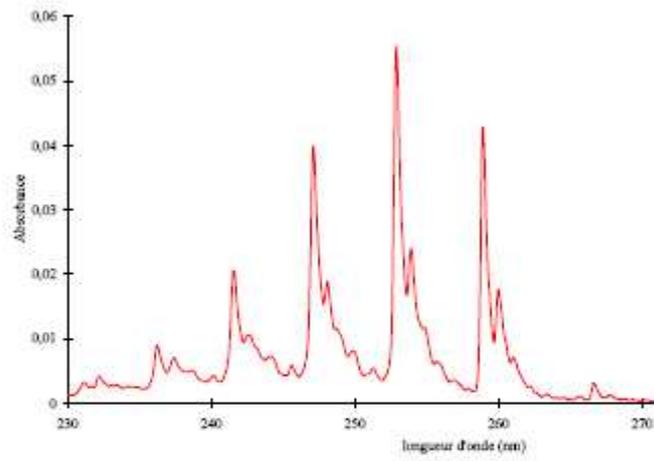
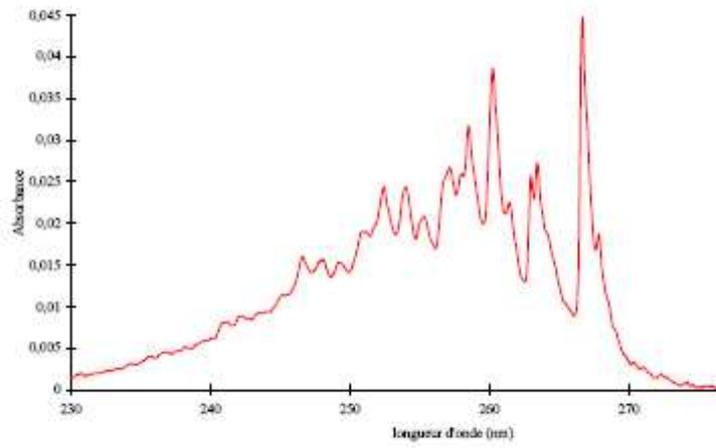
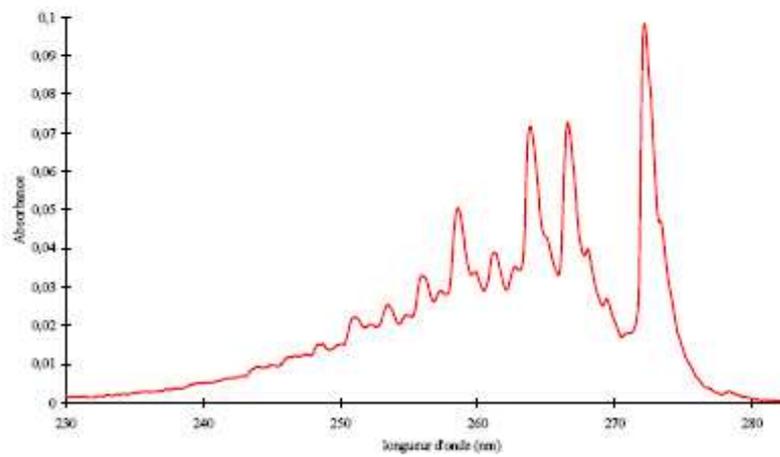


Evolution de la concentration moyenne journalière pour le xylène durant le mois de novembre 2002



ANNEXE II : Principe de calcul des concentrations- spectres UV des BTX

Le spectrophotomètre UV possède une barrette de 2048 photodiodes et procède à l'acquisition de 512 spectres successifs en moins de 2 min entre 220 et 300 nm, région spectrale où les composés aromatiques visés possèdent des bandes d'absorption intenses. Les spectres UV des trois composés BTX sont donnés ci-dessous. La résolution spectrale est d'environ 0,12 nm pour 3 photodiodes. L'enregistrement de la moyenne des 512 spectres permet d'augmenter le rapport signal/bruit et donc la sensibilité du spectrophotomètre. 790 points d'absorption sont relevés sur le spectre entre 240 et 278 nm (région de plus grande intensité des bandes). La méthode PLS (Partial Least Square) est appliquée sur ces points. Cette méthode est une technique d'analyse multivariable qui compare les intensités des pics et des creux sur le spectre d'absorption enregistré par rapport à des matrices de points pré-enregistrées (correspondant aux spectres de différents composés aromatiques purs ou en mélange à des concentrations connues) et corrige les éventuelles dérives. A partir de cette analyse assez complexe du spectre, le microprocesseur calcule les concentrations en BTX dans la cellule de mesure.

**Benzène****Toluène****p-Xylène****Figure . Spectres UV du benzène, du toluène et du p-xylène [94]**

Annexe III. Rose de vent et Rose de pollution

Rose des vents et rose des pollutions

Mode de construction d'une rose des vents

Une rose des vents est construite à partir des données météorologiques. Ces données comprennent les vitesses et provenances des vents pour chaque heure. Une fois éliminées les données pour lesquelles les vitesses de vents sont trop faibles, les données sont classées afin de déterminer la fréquence d'occurrence pour chaque direction (de 0 à 350°). Ces tableaux et roses des vents servent à caractériser globalement les périodes de mesures.

Tableau. Représentation des vitesses de vent en fonction de la direction pour la journée du 05/08/02

Vitesse \ Secteur géographique	[0 :2[	[2 :3[	[3 :4[	[4 :5[	[5 :6[	>6	Cumul
[350 :10[
[10 :30[	2,1						2,1
[30 :50[	8,3						8,3
[50 :70[	2,1						2,1
[70 :90[
[90 :110[
[110 :130[	1,0						1,0
[130 :150[	2,1						2,1
[150 :170[	1,0						1,0
[170 :190[	4,2						4,2
[190 :210[	4,2						4,2
[210 :230[
[230 :250[	1,0	2,1	2,1				5,2
[250 :270[	3,1	17,7	22,9	5,2			49,0
[270 :290[	4,2	3,1					7,3
[290 :310[	2,1						2,1
[310 :330[	5,2						5,2
[330 :350[	6,2						6,2
Cumul	46,9	22,9	25,0	5,2			100%

La classification des données est programmable selon :

- Les intervalles de vitesse de vent ;
- Les intervalles de concentrations ;
- Les seuils minima ;
- Les nombres d'occurrences, les moyennes, les pourcentages

Ainsi à titre d'exemple pour les valeurs appartenant au segment des vitesses de vent entre 0 et 2 m/s et soufflant à partir de la direction de vent oscillante entre 10 et 30 degré, représente un pourcentage ou bien une fraction de 2,1% des valeurs totales.

Pour affiner notre expertise, il est possible d'établir une rose de pollution. Elle est construite sur le même principe que la rose des vents sauf que l'on remplace la fréquence d'occurrence par les concentrations moyennes de chaque polluant.



ملخص

هذه الدراسة تعطي لنا مستويات تلوث الهواء عن طريق الملوثات BTX التي رقيبت لمدة طويلة بموقع بن عكنون المتميز بتأثير الغازات المنبعثة من حركة المرور التركيزات المتوسطة المتحصل عليها للكسيلان، التولويان و البنزان تقدر ب 9.5، 23.6، 4.2 ميكروغرام/م³. مستوى البنزان المتحصل عليه يحترم المستوى العالمي لحماية الصحة المقدر ب 10 ميكروغرام/م³. دراسة المعطيات بينت التغيرات الأسبوعية و الفصلية. دراسة اتجاه الرياح سمحت بتحديد المساحة المتأثرة بالتلوث. تم إثبات: تطور البنزان بدلالة أحادي الكربون، تبين أن البنزان يعتبر مؤشر جيد للتلوث عن طريق BTX عدة علاقات بين الملوثات حركة المرور. الكلمات المفتاحية للكسيلان، البنزان، التولويان، الجزائر، بن عكنون، التلوث، الهواء

Résumé en français :

L'étude présente les niveaux de pollution de l'air par les BTX mesurés sur une longue période à Ben Aknoun (Alger) en un site de périphérie influencé par les émissions du trafic. Les teneurs moyennes en benzène, toluène et xylène s'élèvent respectivement à 4,2 ; 23,6 et 9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le taux de benzène est en moyenne inférieur à la norme internationale de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'exploitation des résultats a permis de mettre en évidence des variations hebdomadaires et saisonnières. L'étude de la rose des vents et de la rose de pollution correspondante à permis de cerner les zones les plus affectées par la pollution.

Diverses corrélations entre les BTX ont été établies. L'évolution du benzène en fonction du CO, montre que le benzène est un bon indicateur de la pollution automobile.

Mots clés : benzène, toluène, xylène, Alger, BTX, pollution de l'air, émissions du trafic routier.

Abstract :

The study presents the level of air pollution by the BTX measured on along period in Ben Aknoun (Algiers) in a perypheral site influenced by the traffic emissions. The average contents in benzene, toluene and xylenes rise respectively: 4.2 / 23.6 / 9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The rate of benzene is on average lower to the international norms of $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. The exploitation of the results has permitted to put in evidence of the weekly and periodical variations.

The study of the comapss rose and pollution rose has permitted to surround the most affected zones by the pollution.

Various interrelationships between the BTX have been established, the evolution of the benzene in focntion of the CO, shows that the benzene is a good indicator of the pollution. cars.

Key words : benzene, toluene, xylene, BTX, Algiers, air pollution, road traffic emissions

ERROR: syntaxerror
OFFENDING COMMAND: --nostringval--

STACK:

/Title
(
/Subject
(D:20051016084516)
/ModDate
(
/Keywords
(PDFCreator Version 0.8.0)
/Creator
(D:20051016084516)
/CreationDate
(SAMASAFIA)
/Author
-mark-